

Elektromagnetna sevanja v bližini sistemov radiodifuzije v Sloveniji

Tomaz Trcek¹, Blaz Valic^{1,2}, Peter Gajsek¹

¹ Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, Ljubljana

² Genera, Prevale 10, Trzin

E-pošta: tomaz.trcek@inis.si

Electromagnetic fields in the vicinity of the broadcasting systems in Slovenia

The requirements of the 2004/40/EC directive about the occupational exposure to the electromagnetic fields have to be transferred to the national legislations at least in year 2012. Most of the employers will be minimally influenced by this, but not in all sectors. One of them is broadcasting, where high exposures are present close to the broadcasting towers. Therefore three broadcasting locations (Nanos, Tinjan and Beli Križ) were subject to the analysis of the occupational exposure. The results show that on the broadcasting towers high exposures are present, exceeding the action values defined in directive 2004/40/EC for up to 100 times. If not directly in front of the antennas, the highest exposures are present near FM antennas, whereas in front of the antennas, the highest exposures are present near UHF antennas as they have higher front to back ratio and narrower radiation pattern compared to FM antennas.

1 Uvod

Z izjemo območja vidne svetlobe in dela infrardečega sevanja ljudje nimamo čutil za zaznavo elektromagnetnih sevanj (EMS). Zaznamo jih šele posredno kot stimulacijo živčnega tkiva v območju nizkih frekvenc ali kot termični učinek v območju visokih frekvenc [1]. Zaradi odsotnosti čutil za zaznavo EMS smo posledično lahko izpostavljeni velikim jakostim EMS, ki imajo škodljive učinke za naše zdravje, pa se tega ne zavedamo. Dejstvo je, da lahko EMS visokih jakosti povzročata akutne negativne vplive na zdravje. Izpostavljenost nizkim jakostim EMS in zapoznani učinki izpostavljenosti so zaenkrat nedokazani, saj niso znani morebitni fizikalni mehanizmi vpliva. Obstaja nekaj epidemioloških raziskav, ki statistično nakazujejo na možnost povečanja tveganja za nastanek nekaterih oblik raka [2].

Z namenom varovanja zdravja pred škodljivimi vplivi EMS so eden najpomembnejših dokumentov smernice mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji ICNIRP [1], ki temeljijo na znanstveno dokazanih akutnih vplivih na ljudi. Te smernice podajajo mejne vrednosti, ki upoštevajo 10 kratni varnostni faktor za poklicno izpostavljenost in 50 za izpostavljenost prebivalstva.

V Sloveniji mejne vrednosti EMS v naravnem in življenjskem okolju določa uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [3], ki delno temelji na smernicah ICNIRP. Področje poklicne izpostavljenosti v Sloveniji še ni regulirano. To se bo predvidoma spremenilo v letu 2012, ko je skrajni rok za implementacijo zahtev direktive 2004/40/ES [4] v slovensko zakonodajo. Direktiva 2004/40/ES določa minimalne zahteve za zaščito zaposlenih, mejne vrednosti pa povzema po smernicah ICNIRP. Direktiva 2004/40/ES je pravno zavezujoči dokument, zato morajo vse članice EU prilagoditi svojo zakonodajo tako, da bodo njena določila veljala tudi na njihovem območju. Ker uvajanje zahtev direktive 2004/40/ES na nekaterih delovnih mestih ni enostavno, imajo delodajalci v obdobju do leta 2012 čas, da spoznajo zahteve direktive 2004/40/ES in delovna mesta postopno ustrezno prilagodijo.

2 Direktiva 2004/40/ES

Direktiva 2004/40/ES določa minimalne zdravstvene in varnostne zahteve za zagotavljanje varnosti in zdravja na delovnih mestih, posamezni članici EU pa je prepuščena možnost, da določi strožje zahteve. Določa mejne vrednosti izpostavljenosti, ki so frekvenčno odvisne, saj se tudi učinki EMS na človeka razlikujejo glede na frekvenco (tabela 1). Poleg mejnih vrednosti izpostavljenosti, ki omejujejo gostoto toka v človeškem telesu in stopnjo specifične absorpcije (SAR), so v direktivi 2004/40/ES določene tudi opozorilne vrednosti lažje merljivih veličin nemotenega elektromagnetnega polja. Opozorilne vrednosti izpostavljenosti omejujejo vrednosti električne poljske jakosti, magnetne poljske jakosti oziroma gostote magnetnega pretoka in gostote pretoka moči, ki so za visokofrekvenčna EMS podane v tabeli 2.

Tabela 1: Mejne vrednosti izpostavljenosti.

Frekvenčno območje	J (glava, trup) (mA/m ²)	SAR (celo telo) (W/kg)	SAR (glava, trup) (W/kg)	SAR (udje) (W/kg)	S (W/m ²)
do 1 Hz	40	/	/	/	/
1-4 Hz	40/f	/	/	/	/
4-1000 Hz	10	/	/	/	/
1-100 kHz	f/100	/	/	/	/
0,1-10 MHz	f/100	0,4	10	20	/
0,01-10 GHz	/	0,4	10	20	/
10-300 GHz	/	/	/	/	50

* f je frekvenca v Hz

Tabela 2: Opozorilne vrednosti za visokofrekvenčna EMS.

Frekvenčno območje	E (V/m)	H (A/m)	B (μ T)	S (W/m ²)
0,1–1 MHz	610	1,6/f	2,0/f	—
1–10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f	—
10–110 MHz	61	0,16	0,2	10
110–400 MHz	61	0,16	0,2	10
400–2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0,36	0,45	50

* f je frekvenca v enotah navedenih v stolpcu frekvenčnega območja

Vrednotenje izpostavljenosti poteka na dveh nivojih. Prvi enostavnejši nivo je ugotavljanje skladnosti z opozorilnimi vrednostmi, pri tem se lahko izvedejo meritve ali izračun v praznem prostoru. Če izmerjene oziroma izračunane vrednosti ne presegajo opozorilnih vrednosti, zagotovo tudi mejne vrednosti izpostavljenosti niso presežene in je delovno mesto skladno z zahtevami direktive 2004/40/ES. Drugi nivo vrednotenja predstavljajo meritve oziroma izračun dozimetričnih veličin znotraj telesa. Te meritve oziroma izračuni so precej bolj zahtevni, vendar lahko le z njimi ugotovimo skladnost delovnega mesta, kjer so bile opozorilne vrednosti presežene.

Primer delovnega mesta, kjer lahko pričakujemo presežene opozorilne vrednosti je delo na radiodifuznem stolpu. V sklopu uvajanja direktive 2004/40/ES v slovenska podjetja smo na Inštitutu za neionizirna sevanja zato podrobneje analizirali oddajne centre Nanos, Tinjan in Beli Križ.

3 Meritve EMS na oddajnih centrih

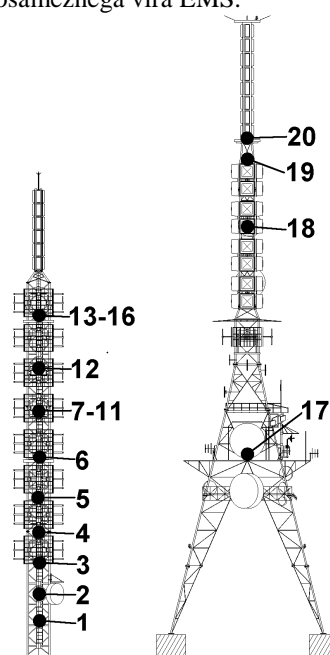
Oddajni center Nanos se nahaja na vrhu planote Nanos. Sestavljajo ga glavni oddajni stolp, pomožni oddajni stolp, telekomunikacijska ploščad ter objekt namenjen bivanju stalne posadke in namestitvi opreme. Na glavnem oddajnem stolpu so na vrhu nameščene antene za UHF TV oddajo, pod njimi so antene za VHF TV, na spodnji polovici stolpa pa so antene za zveze. Na pomožnem stolpu so nameščene antene za FM radio, na njegovem vrhu pa so tudi rezervne antene za UHF TV v primeru izpada glavnega stolpa. Telekomunikacijska ploščad je namenjena mobilni telefoniji in zvezam. Na OC Nanos poteka oddajanje treh UHF TV programov skupne oddajne moči 45 kW, enega VHF TV programa oddajne moči 5 kW in petih FM radijskih programov skupne oddajne moči 29 kW.

Oddajni center Tinjan se nahaja v naselju Tinjan na vrhu hriba. Sestavlja ga oddajni stolp in zabojnik za opremo. OC Tinjan je avtomatiziran in je zato brez posadke. Na zgornji tretjini stolpa so nameščene antene za UHF TV, na sredini antene za FM radio na spodnji tretjini pa antene za zveze. Na OC Tinjan poteka oddajanje šestih UHF TV programov skupne oddajne moči 4,5 kW in osmih FM radijskih programov skupne oddajne moči 12 kW.

Oddajni center Beli Križ se nahaja na hribu nad Piranom oziroma Portorožem. Sestavlja ga oddajni stolp in objekt s telekomunikacijsko ploščadjo. Objekt je

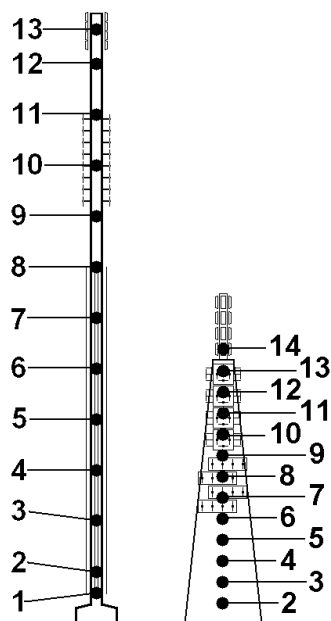
namenjen bivanju stalne posadke in namestitvi opreme, telekomunikacijska ploščad pa mobilni telefoniji in zvezam. Oddajni stolp je namenjen predvsem srednjevalovnemu (SV) radiu. SV antene v obliki žic potekajo od vznožja stolpa do njegove polovice. Nad njimi so nameščene antene za FM radio, čisto na vrhu stolpa so nameščene še antene za UHF TV. Na OC Beli Križ poteka oddajanje petih UHF TV programov skupne oddajne moči 18 kW, sedmih FM radijskih programov skupne oddajne moči 29 kW, in dveh SV radijskih programov skupne oddajne moči 30 kW.

Meritve smo izvajali kot širokopasovne meritve, kar pomeni, da rezultat meritev predstavlja vrednosti EMS kot seštevek EMS vseh frekvenc. Električno poljsko jakost smo merili s sondo v frekvenčnem območju od 0,1 MHz do 3 GHz, s čimer smo zajeli vse prisotne signale. V bližini srednjevalovnega oddajnika smo s sondo s frekvenčnim področjem od 3 kHz do 3 MHz poleg električne poljske jakosti izmerili tudi vrednosti magnetne poljske jakosti. Kot pomožne meritve smo izvedli tudi selektivne meritve, ki podajo vrednost EMS za vsako frekvenco posebej. Selektivne meritve so služile predvsem kot orientacija za določanje velikosti prispevka posameznega vira EMS.



Slika 1: Pomožni stolp (levo) in glavni stolp (desno) z označenimi merilnimi mesti

Na lokaciji Nanos smo meritve EMS izvedli na glavnem in pomožnem stolpu in na telekomunikacijski ploščadi, na lokaciji Tinjan in Beli Križ pa na stolpu. Na lokaciji Nanos je bilo skupno opravljenih 38 meritev, od tega 4 na glavnem in 16 na pomožnem stolpu ter 18 na telekomunikacijski ploščadi. Na lokaciji Tinjan in Beli Križ je bilo opravljenih po 14 meritev. Skica glavnega in pomožnega stolpa na Nanosu z označenimi merilnimi mesti je prikazana na sliki 1, na Tinjanu in Belem Križu pa na sliki 2.



Slika 2: Stolp na lokaciji Tinjan (levo) in stolp na lokaciji Beli Križ (desno) z označenimi merilnimi mesti.

Na lokaciji Nanos na pomožnem stolpu so izmerjene vrednosti znašale od 30 V/m do 600 V/m oziroma od 24 % do 9700 % opozorilne vrednosti. Vse izmerjene vrednosti skupaj z opozorilnimi vrednostmi so podane v tabeli 3.

Tabela 3: Izmerjene vrednosti na lokaciji Nanos na pomožnem in glavnem stolpu.

Merilno mesto	Izmerjena vrednost E [V/m]	Opozorilna vrednost [V/m]
1	30	61
2	51	61
3	75	61
4	146	61
5	140	61
6	100	61
7	150	61
8	400	61
9	350	61
10	200	61
11	140	61
12	200	61
13	175	61
14	600	61
15	222	61
16	200	61
17	35	61
18	40 – 70	61
19	80	61
20	50 – 70	61

Največje vrednosti so bile izmerjene na lokalno zelo omejenem mestu v okolici posameznih sklopov antenskega sistema, kot je delilnik. Na lestvi stolpa so vrednosti znašale približno do 200 V/m oziroma do 1100 % opozorilne vrednosti. Za opozorilno vrednost je bila vzeta vrednost za FM radio, saj je ta sistem prispeval daleč največ sevalnih obremenitev. Na glavnem stolpu so izmerjene vrednosti znašale od 35 V/m do 80 V/m oziroma od 33 % do 170 % opozorilne vrednosti. Za opozorilno vrednost je bila

vzeta vrednost za VHF TV sistem, ki je enaka vrednosti za FM radio, saj je ta sistem prispeval največ sevalnih obremenitev. Izmerjene vrednosti za oba stolpa so podane v tabeli 2. Na telekomunikacijski ploščadi so izmerjene vrednosti znašale do 45 V/m oziroma do 55 % opozorilne vrednosti, povprečno pa okrog 20 V/m. Vrednosti pa niso bile merjene pred antenami mobilne telefonije, kjer so le te lahko bistveno višje, saj je dostop delavca v takšen položaj praktično nemogoč.

Na lokaciji Tinjan je bilo opravljenih 14 meritev. Ena meritev (merilno mesto 1) je bila opravljena izven ograde stolpa, na mestu, ki je prosto dostopno ljudem. Ostalih 13 meritev pa je bilo približno enakomerno razporejenih po višini stolpa. Zadnja meritev (merilno mesto 14) je bila opravljena na vrhu stolpa neposredno pred spodnjo UHV TV anteno. Izmerjene vrednosti so znašale od 22 V/m do 800 V/m oziroma od 13 % do 11700 % opozorilne vrednosti. Za opozorilno vrednost je bila vzeta vrednost za FM radio, saj je ta sistem prispeval daleč največ sevalnih obremenitev, razen za merilno mesto 14, ko je bila za opozorilno vrednost vzeta vrednost za UHV TV sistem.

Tabela 4: Izmerjene vrednosti na lokaciji Tinjan.

Merilno mesto	Izmerjena vrednost E [V/m]	Opozorilna vrednost [V/m]
1	22	61
2	34	61
3	41	61
4	90	61
5	112	61
6	98	61
7	108	61
8	215	61
9	222	61
10	155	61
11	240	61
12	450	61
13	140	61
14	800	74 (kanal)

Na lokaciji Beli Križ je bilo opravljenih 14 meritev. Ena meritev (merilno mesto 14) je bila opravljena na tleh pri oddajnem stolpu, ostalih 13 meritev pa je bilo enakomerno porazdeljenih po višini stolpa. Zaradi srednje valovnega oddajnika, ki deluje pri frekvencah okrog 1 MHz, je bila merjena tako električna kot magnetna poljska jakost. Izmerjene vrednosti električne poljske jakosti so znašale od 36 V/m do 340 V/m, magnetne poljske jakosti pa od 0,31 A/m do 1,26 A/m. Zaradi kombinacije širokopasovnih meritev, različnih opozorilnih vrednosti in različnega načina izračuna odstotkovne vrednosti, podajanje v odstotkih opozorilne vrednosti v tem primeru ni tako enostavno kot v predhodnih primerih. V območju srednjevalovne antene je tako v najslabšem primeru znašala električna poljska jakost 43 % opozorilne vrednosti, magnetna poljska jakost pa 86 % opozorilne vrednosti. V območju anten FM radia (merilna mesta 9-11) je električna poljska jakost znašala od 50 V/m do 68 V/m oziroma od 67 % do 125 % opozorilne vrednosti. V območju UHF TV sistema (merilno mesto 13) pa 60 V/m oziroma 69 % opozorilne vrednosti.

Tabela 5: Izmerjene vrednosti na lokaciji Beli Križ.

Merilno mesto	Izmerjena vrednost E [V/m]	Izmerjena vrednost H [A/m]	Opozorilna vrednost [V/m]/[A/m]
1	340	0,92	521 / 1,36
2	300	1,26	521 / 1,36
3	197	1,12	521 / 1,36
4	150	0,95	521 / 1,36
5	122	1,24	521 / 1,36
6	52	1,12	521 / 1,36
7	91	1,24	521 / 1,36
8	36	0,5	61 / 1,36
9	50	0,33	61 / 1,36
10	67	0,31	61 / 1,36
11	68	/	61 / 1,36
12	50	/	61 / 1,36
13	60	/	72 / 1,36
14	205	0,61	521 / 1,36

4 Zaključek

Prihajajoča direktiva 2004/40/ES bo v Sloveniji nadomestila zakonsko praznino na področju poklicne izpostavljenosti EMS. Čeprav prinaša na videz visoke zahteve, pa bodo njena določila vplivala le na manjši delež delovnih mest oziroma delodajalcev. V času pred uveljavitvijo njenih zahtev je zato predvsem za delodajalce najbolj kritičnih delovnih mest pomembno, da se spoznajo z direktivo 2004/40/ES, njena določila vključijo v oceno tveganja ter plan usposabljanja zaposlenih ter delovna mesta postopno ustrezno prilagodijo zahtevam direktive 2004/40/ES.

Za ocenjevanje tveganja na delovnih mestih je bil sprejet standard SIST EN 50499 [5], katerega glavni namen je poenostaviti postopke ocenjevanja tveganja. Še posebej za tista delovna mesta, za katera je jasno, da ne prihaja do preseganja opozorilnih oziroma mejnih vrednosti izpostavljenosti, standard predlaga enostavne postopke za ocenjevanje tveganja s pomočjo seznama opreme, za katero je jasno, da ne povzroča tveganja za zaposlene. Zato bo s pomočjo tega standarda mogoče hitro in enostavno izdelati oceno tveganja za veliko delovnih mest. Hkrati pa standard opozarja tudi na tiste situacije, naprave oziroma delovna mesta, kjer se meritvam, numeričnim izračunom ali celo obojemu ne bo možno izogniti. Med takšne lokacije sodijo tudi radiodifuzni stolpi. Čeprav dela na takšnih stolpih potekajo redko, so včasih neizbežna. Z vidika zmanjšanja izpostavljenosti EMS bi bilo najenostavneje celoten oddajniški sistem v času del izključiti, a ta ukrep je z vidika zagotavljanja nemotenega delovanja številnih sistemov in storitev, ki so vezani na radiodifuzijo, nezaželen. Seveda pa je zagotavljanje varnosti in zdravja na delovnem mestu na takšnih delovnih mestih na prvem mestu.

Prvi rezultati meritev EMS, ki smo jih izvedli na Inštitutu za neionizirna sevanja na treh radio-difuznih stolpih (Nanos, Tinjan in Beli Križ) kažejo, da so opozorilne vrednosti v bližini oddajnih sistemov presežene. Kot najbolj problematično se je pokazalo območje v bližini FM anten. Tu so sicer v lokalno zelo

omejenem področju posameznih sklopov antenskega sistema izmerjene vrednosti celo do 100 krat presegle opozorilne vrednosti. Na večjem območju, ki mu je lahko izpostavljeno celotno človeško telo, pa so vrednosti v okolici FM antenskega sistema do 10 krat presegle opozorilno vrednost. TV antenski sistem se je zaradi večje usmerjenosti anten izkazal kot dvoličen. Na eni strani so vrednosti neposredno pred antenami tudi do več kot 100 krat presegle opozorilno vrednost, na drugi strani pa so zaradi usmerjenosti anten le-te že takoj za ali pod antenami pod opozorilno vrednostjo.

Ker so meritve pokazale, da so opozorilne vrednosti lahko presežene, so nujni tudi nadaljnji ukrepi. Ponujata se dva možna scenarija: prva možnost je z numeričnimi izračuni ali z meritvami vplivnih veličin znotraj človeškega telesa ugotoviti, ali so presežene tudi mejne vrednosti izpostavljenosti. Če te niso presežene, je delovno mesto v skladu z zahtevami direktive 2004/40/ES in nadaljnji ukrepi (razen ustreznega usposabljanja zaposlenih) niso potrebni. Druga možnost pa je uporaba administrativnih in tehničnih ukrepov, kot so preprečitev dostopa do mesta s preseženimi opozorilnimi oziroma mejnimi vrednostmi izpostavljenosti, uporaba ustrezne osebne zaščitne opreme in izključitev oddajniškega sistema med deli v bližini.

Literatura

- [1] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *HEALTH PHYSICS*, vol. 74, Apr. 1998, pp. 494-522.
- [2] P. Li, J. McLaughlin, and C. Infante-Rivard, "Maternal occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and the risk of brain cancer in the offspring," *Cancer Causes & Control*, vol. 20, Aug. 2009, pp. 945-955.
- [3] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, UL RS 70/1996.
- [4] "Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)," *Official Journal of the European Union*, vol. 47, Apr. 2004, pp. 1-9.
- [5] SIST EN 50499:2009 - Postopki ocenjevanja izpostavljenosti delavcev elektromagnetnim sevanjem.