

PILOTNA ŠTUDIJA O OSEBNI IZPOSTAVLJENOSTI ELEKTROMAGNETNIM SEVANJEM



ZAKLJUČNO POROČILO

Ljubljana, 14.11.2007

Študijo izdelali:

Tomaž Trček univ. dipl. ing

Dr. Blaž Valič univ.dipl.ing

Odgovorna oseba:

Doc.dr. Peter Gajšek univ.dipl. ing

1 Uvod

Z razvojem tehnologij se v naši družbi povečuje obremenjenost našega bivalnega in delovnega okolja z elektromagnetnimi sevanji (EMS). Jakost umetno ustvarjenih sevanj se je v primerjavi z naravnimi sevanji p ovejčala.

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. Zato zadnjih dvajset let povsod v svetu pospešeno tečejo raziskave o vplivu EMS na zdravje človeka. V ta namen so bile imenovane številne neodvisne ekspertne skupine, ki spremljajo in vrednotijo raziskave po vsem svetu in zainteresirani javnosti poročajo o rezultatih. Ker je eno najresnejših vprašanj, ali so taka sevanja rakotvorna, je največ raziskav posvečenih raziskovanju stopnje tveganja ljudi, ki so izpostavljeni EMS, da zbolijo za rakom.

Sredi osemdesetih let so se pojavile prve epidemiološke študije, ki so nakazovale, da je življenje in delo v bližini virov EMS lahko nevarno predvsem za nastanek nekaterih vrst raka. Pozneje so posamezniki poročali še o drugih simptomih ali boleznih, ki naj bi jih povzročala EMS. Posebej se je skrb za zdravje povečala ob množični uporabi mobilnih telefonov, čeprav se zdi, da ljudem večji problem kot uporaba mobilnih telefonov predstavlja bližina baznih postaj.

Vzročno povezavo med izpostavljenostjo določeni snovi in boleznijo, simptomi ali smrtjo dokazujemo z epidemiološkimi študijami in eksperimenti na živalih. Iskanje povezave med vzrokom in posledico je lahko zelo zahtevno, posebej zato, ker različne izpostavljenosti povzročajo enake bolezni in ker nas pogosto zanima vpliv šibkejšega povzročitelja, katerega vpliv je potrebno prikazati ločeno od vpliva močnejšega. Odgovori na vprašanja, ali je določena snov zdravju škodljiva, so zato posebej pri iskanju šibkih vplivov povzročitelja na zdravje človeka, težavni. Potrebno je narediti več različnih študij na različnih skupinah ljudi in z različnimi metodologijami in šele potem presojati, ali so bili dokazi dovolj močni za sklepanje o tem, kako nevarna je kaka snov.

Ena največjih težav pri raziskovanju vpliva izpostavljenosti EMS na zdravje človeka je gotovo določanje **izpostavljenosti**. Če je pri epidemioški študiji izpostavljenost definirana napačno, so lahko povsem napačni tudi dobljeni rezultati, ki govorijo o tveganju: prešibki ali celo premočni. Najustreznejši način določanja izpostavljenosti EMS za epidemiološke študije so trajne meritve osebne izpostavljenosti, kar je bilo v praksi do sedaj precej težko zagotoviti.

Zato se je pojavila potreba po merilnem inštrumentu, ki bi bil preprost za uporabo, majhen in robusten, z ustrezno avtonomijo ter obenem vseboval dovolj zmogljivo merilno napravo, ki bi merila več frekvenčnih območij hkrati. Razvit je bil osebni dozimeter Antenessa EME SPY 120, ki je namenjen predvsem za podrobno analizo osebne izpostavljenosti ter v podporo epidemiološkim raziskavam.

2 Izhodišče za študijo

Namen pilotne študije je ugotoviti, v kolikšni meri so posamezniki izpostavljeni elektromagnetnim sevanjem različnih virov.

Osebno izpostavljenost EMS ugotavljamo navadno s pomočjo numeričnih dozimetričnih izračunov in meritev, ki jih je mogoče izvesti na več načinov oziroma z različnimi merilnimi inštrumenti. Trenutni posnetek obremenjenosti najbolj natančno podajo spektralni analizatorji – merilni inštrumenti, ki izmerijo frekvenčno selektivno EMS v širokem frekvenčnem območju. Meritev pa ne vsebuje le ene vrednosti, ampak je sestavljena iz množice merilnih rezultatov za različne frekvence znotraj izbranega frekvenčnega območja. S tem je mogoče ugotoviti prispevek posameznega vira, obenem pa omogočajo tudi natančno določanje skupnih sevalnih obremenitev.

Slabost meritev s spektralnim analizatorjem je, da so dolgotrajne, drage ter obenem zelo občutljive ter zahtevajo skrbno ravnanje. Poleg spektralnega analizatorja je EMS mogoče meriti s širokopasovnim merilnimi inštrumenti. Rezultat takšne meritve je zgolj ena izmerjena vrednost, ki predstavlja največjo vrednost EMS v določenem merilnem frekvenčnem območju. Tako ne vemo, pri kateri frekvenci je bila ta vrednost dosežena, zato v primeru, da se nahajamo na območju, kjer je več virov različnih frekvenc, ne vemo, kateri vir jo je povzročil.

Za določanje osebne izpostavljenosti EMS nobena do prej omenjenih metod ni najbolj primerna. Oba tipa merilnih inštrumentov – tako spektralni analizator kot širokopasovni merilni inštrument imata omejene možnosti avtomatskega ponavljanja meritev in shranjevanja izmerjenih vrednosti, prav tako sta napravi sorazmerno veliki in občutljivi, rokovanje z njimi pa zahtevno. Obenem je zaradi številnih različnih virov EMS, s katerimi se v vsakdanjem življenju srečujemo, določanje zgolj največje vrednosti nezadostno. Pomembno je določiti, kateri viri prispevajo največ k sevalnim obremenitvam in kako dolgo so jim ljudje izpostavljeni. Zato se je pojavila potreba po merilnem inštrumentu, ki bi bil preprost za uporabo, majhen in robusten, z ustrezno avtonomijo ter obenem vseboval dovolj zmogljivo merilno napravo, ki bi merila več frekvenčnih območij hkrati. Razvit je bil osebni dozimeter Antennessa EME SPY 120, ki omogoča vse prej omenjeno.

Dosegljivost dozimetra je omogočila izvajanje epidemioloških raziskav o izpostavljenosti EMS. Ena izmed pilotnih študij na tem področju je potekala v Angliji. Potekala je v letu 2004 v sklopu Britanske agencije za varovanje zdravja (Health Protection Agency). Glavni namen omenjenega projekta je bil v praksi preizkusiti delovanje osebne dozimetra za določanje osebne izpostavljenosti EMS Antennessa DSP 090. Z dozimetrom Antennessa DSP 090, ki je predhodna verzija dozimetra Antennessa EME SPY 120, so najprej opravili testne meritve ter preučili njegove lastnosti, odzivanje na različne signale pod različnimi pogoji ter njegovo funkcionalnost. Druga polovica projekta se ukvarja z osebno dozimetrijo, kjer so z omenjenim dozimetrom opravili študijo na 10-ih prostovoljcih. Vsaka oseba je en teden nosila dozimeter in v tem času pisala dnevnik o poteku meritev. Dozimeter je beležil vrednosti vsaki dve minuti. Tako pridobljene podatke so glede na dnevnik, ki so ga pisali prostovoljci, razdelili na različna okolja, v katerem so se zadrževali prostovoljci v času meritev. Izbrali so sedem različnih okolij ter nato analiziral zbrane podatke. Ker se poročilo ne ukvarja s statistično analizo podatkov ampak z analizo uporabnosti osebne dozimetra, so bili njihovi glavni zaključki: da se večina izmerjenih vrednosti nahaja pod spodnjim detekcijskim nivojem dozimetra 0,05 V/m; dozimeter kljub temu lahko uspešno loči ljudi, ki se nahajajo v bližini močnejših virov sevanja (bazne postaje, radijski in TV oddajniki), od ostalih; povprečne sevalne obremenitve so večje, ko se osebe nahajajo zunaj objektov, ugotovili pa so tudi nekatere pomanjkljivosti osebne dozimetra in proizvajalcu predlagali popravke, kar je bilo pri nasledniku (Antennessa EME SPY 120) tudi upoštevano. Študija je dostopna na domači strani Agencije.

(http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/hpa_rpd_reports/2005/hpa_rpd_008.pdf).

3 Metodologija

V študijo je bilo vključenih 30 prostovoljcev, ki so 34 ur nosili napravo za merjenje osebne izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem – v nadaljevanju dozimeter.

Osebna izpostavljenost EMS se določi na področju visokih frekvenc v frekvenčnem področju od 80 do 2500 MHz, kjer se nahaja večina visokofrekvenčnih virov sevanja (radiodifuzija, mobilna telefonija, brezžične računalniške mreže in podobno).

Na tako zbranih podatkih se opravi statistična analiza. Rezultate se ovrednoti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, ki velja v republiki Sloveniji. Vse rezultate se čimbolj jasno prikaže tudi grafično in tabelarično.

Rezultati raziskave so zanimivi tako za same udeležence raziskave kot tudi za strokovno javnost. Rezultati so uporabni na različnih področjih, kot na primer pri preučevanju sevalnih obremenitev ljudi, okoljskem načrtovanju, pravni ureditvi tega področja kakor tudi načrtovanju in izvajanju monitoringa EMS.

V raziskavi smo uporabili selektivni večpasovni osebni dozimeter proizvajalca Antenessa model EME SPY 120, ki beleži obremenjenost osebe z EMS ves čas in vsepovsod ne glede na to, kje se oseba v danem trenutku zadržuje in kaj počne. Celotna meritev je glede frekvenčnega spektra osredotočena na radijske in televizijske signale, mobilno telefonijo ter Wi-Fi. Ti signali so v največji meri prisotni v našem življenjskem okolju in jim je zato posvečena tudi največja pozornost.

Meritev znotraj posameznih frekvenčnih pasov je širokopasovna. Glavne karakteristike dozimetra Antenessa EME SPY so:

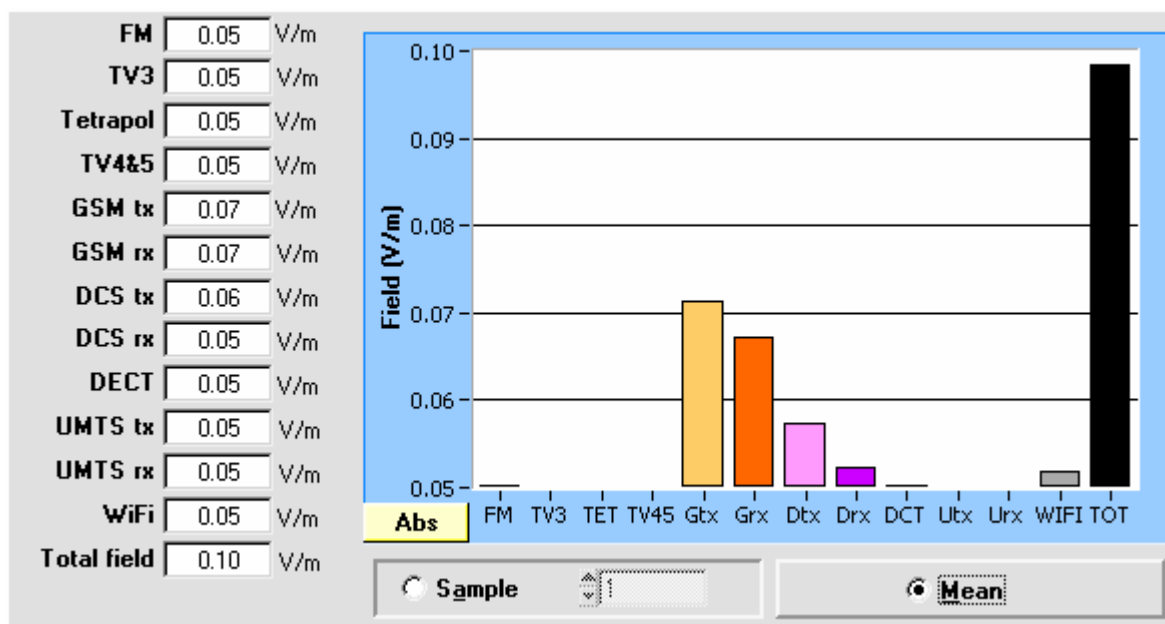
- beleženje vrednosti 24 ur na dan v nastavljivih intervalih;
- neobčutljivost na interference z aktivnostjo uporabnika;
- dinamično območje 40dB in občutljivost 0,05–5V/m;
- izotropnost;
- merilno območje za FM, TETRA TV, GSM, DCS, UMTS in WiFi;
- možnost prepoznavanja signala mobilnega telefona ali bazne postaje;
- vzorčenje v intervalu od 4 – 255 sekund;
- 7168 zapisov v txt ali Excel formatu;
- nekajdnevna avtonomija;
- ima interno, od zunaj nastavljivo uro.

Tabela 1: Prikaz frekvenčnih območij, po katerih dozimeter Antenessa EME SPY 120 ločuje izmerjene vrednosti.

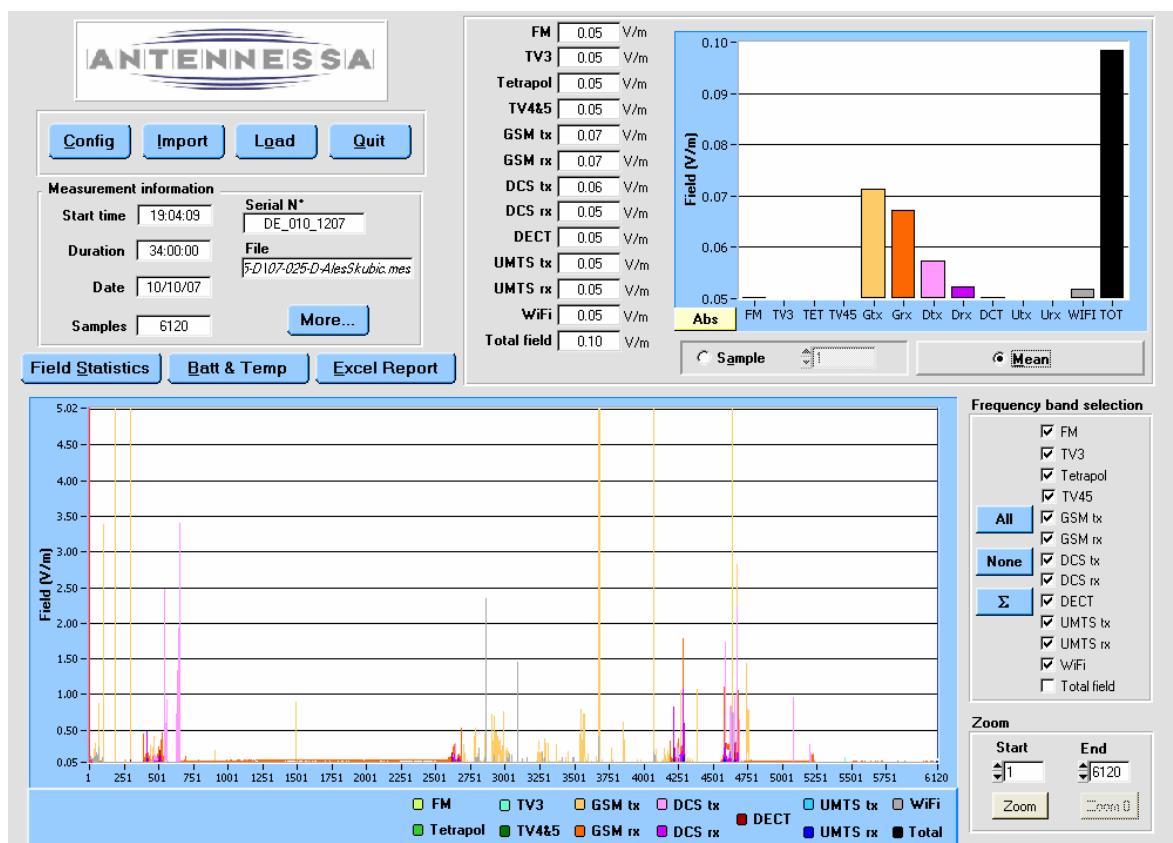
Oznaka	Opis	Frekvenčno območje (MHz)
FM	radijski oddajniki	88 - 108
TV3	televizijski oddajniki	174-223
TETRA	mobilne in bazne postaje v sistemu TETRA	380-400
TV4&5	televizijski oddajniki	470-830
GSM TX	mobilni telefon v sistemu GSM 900	880-915
GSM RX	bazna postaja v sistemu GSM 900	925-960
DCS TX	mobilni telefon v sistemu GSM 1800	1720-1785
DCS RX	bazna postaja v sistemu GSM 1800	1805-1880
DECT	brežični hišni telefon	1880-1900
UMTS TX	mobilni telefon v sistemu UMTS	1920-1980
UMTS RX	bazna postaja v sistemu UMTS	2110-2170
WiFi	brežična lokalna računalniška omrežja	2400-2500

Dozimeter je opremljen z mini USB priključkom, prek katerega je omogočena komunikacija z osebnim računalnikom. Ko z dozimetrom posnamemo določeno število meritev, le te prenesemo v računalnik s pomočjo programskega paketa, ki je priložen dozimetru. Programski paket nam omogoča različne interpretacije izmerjenih rezultatov.

Na sliki 1 je prikazan primer selektivnega merjenja EMS z dozimetrom Antenessa EME SPY 120, kjer se nazorno vidi prispevek posameznega vira EMS, na slikah 2 pa je podanih nekaj variant oz. možnosti analize izmerjenih rezultatov.



Slika 1: Povprečna vrednost izmerjenih vrednosti električne poljske jakosti po posameznih frekvenčnih področjih ter celotne vrednosti poljske jakosti zaradi vseh virov skupaj (TOT). FM-radijski oddajniki, TV3 in TV4&5-televizijski oddajniki, GSMtx-mobilni telefon v sistemu GSM 900; GSMrx-bazna postaja v sistemu GSM 900; DCS tx-mobilni telefon v sistemu DCS; UMTStx-mobilni telefon v sistemu; UMTSrx-bazna postaja v sistemu UMTS



Slika 2: Primer analize izmerjenih vrednosti

Na sliki 2 se vidi celoten spekter, ki je bil posnet skozi 6120 vzorčenj, v zgornjem desnem kotu slike pa je graf, ki nam kaže povprečno vrednost posameznega frekvenčnega prispevka prek celotnega obdobja meritev.

Programski paket nam omogoča povečavo na ožjem področju, da vidimo posamezne detajle v ožjem časovnem prostoru. Nadalje nam omogoča izklapljanje posameznih frekvenčnih področij (okenca v desnem spodnjem kotu), kar je prav tako v funkciji detajlnega preučevanja prispevkov posameznih frekvenc.

Za izvedbo študije osebne izpostavljenosti EMS je bilo izbranih 30 prostovoljcev, od tega 18 moških in 12 žensk. 19 oseb je prihajalo iz pretežno mestnega okolja, 11 oseb pa iz pretežno podeželskega okolja. Meritve so potekale v času od 30.7.2007 do 8.11.2007. Vsaka oseba je v času meritev nosila dozimeter ob sebi, obešen čez ramo v priročni usnjeni torbici ali z zaponko pripetega za pas ali prosto v nahrbtniku. Prostovoljecem je bil poleg dozimetra izročen vprašalnik (dnevnik), v katerega so vpisovali, kdaj in kje so se med meritvami nahajali in morebitne posebnosti (glej sliko 3).

Dozimeter je bil pred izročitvijo nastavljen in vklopljen, tako da za izvedbo meritev prostovoljnimi osebami ni bilo potrebno nikakršno znanje o delovanju in upravljanju z dozimetrom. Dozimeter je deloval 34 ur in med tem vsakih 20 sekund zabeležil čas meritve in vrednost vseh frekvenčnih območij, kar je za eno osebo pomenilo 6120 vzorčenj meritev. Po preteku 34 ur delovanja se dozimeter avtomatsko izklopi in preneha z beleženjem rezultatov.

INSTITUTE OF NON-IONIZING RADIATION		INIS		INŠTITUT ZA NEIONIZIRNA SEVANJA	
Vprašalnik za sodelujoče v projektu merjenja EMS z osebnim dozimetrom Antennessa EME SPY 120					
Številka	_____				
Osební podatki					
Ime in priimek	_____				
Starost	_____	let			
Spol	M	Ž			
Pohlic (delovno mesto)	_____				
Identifikacijski dokument	_____				
Prebivališče					
ulica in hišna številka	_____				
poštna številka, pošta	_____				
Kontakt					
Elektronska pošta	_____				
telefon	_____				
mobilni telefon	_____				
<p>Zavedam se, da je osebni dozimeter Antennessa EME SPY 120 očitljiva naprava brez baterijem, da bom s njim stalno deloval.</p> <p>V času izvajanja meritev bom dozimeter vedno nosil ob sebi (za pasom, čez ramo ali v nahrbtniku), razen ko to ni moogoče (spanje, umivanje, bližina močnilnih virov EMS...).</p> <p>Če bo med izvajanjem meritev bom izpolnil vprašalnik na naslednjih strani in ga skupaj s osebnim dozimetrom vrnil invajalniku v - Inštitutu za neionizirna sevanja.</p>					
Kraj in datum	_____				
Podpis	_____				
<small>Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, 1000 Ljubljana, tel.: (01) 568 2733</small>					
Vprašalnik o poteku meritev					
Številka		_____			
Kontakt: Tadej Trošč 041 626 284 t.trosc@inis.si		Pričetek meritev	datum _____	ura _____	
		Konec meritev	datum _____	ura _____	
čas	lokacija	posebnosti (stanje lokacije, mobilni telefon, WiFi, ...)			
Navduedodine opombe _____ _____ _____					
<small>Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, 1000 Ljubljana, tel.: (01) 568 2733</small>					

Slika 3: Vprašalnik (dnevnik) o poteku meritev, ki so ga izpolnjevale prostovoljne osebe v času meritev

Po končanih meritvah so prostovoljci dozimeter vrnili. Podatki, shranjeni v pomnilniku dozimetra, pa so bili s pomočjo programskega paketa prenešeni na osebni računalnik, kjer se shranijo v

datoteko s končnico .mes. Za nadaljnjo obdelavo pa je bil primernejši način shranjevanja podatkov v MS Excelovi obliki, ki jo lahko generira omenjeni programski paket.

Za vsako frekvenčno področje je iz dozimetra pridobljen podatek o električni poljski jakosti v voltih na meter. Določila uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96) pa predpisujejo, da je potrebno v primeru sočasne izpostavljenosti večim signalom različnih frekvenc podati skupno sevalno obremenitev v procentih dovoljene mejne vrednosti. Skupne sevalne obremenitve ali varnostni indeks SI se določi s pomočjo naslednjega izraza:

$$SI = \sum (E_i / E_{mi})^2$$

kjer je:

- SI - varnostni indeks podan v procentih
 E_i - vrednost izmerjene komponente frekvenčnega pasu
 E_{mi} - mejna vrednost komponente frekvenčnega pasu

Mejna vrednost E_{mi} je frekvenčno odvisna in ima pri vsaki frekvenci dve vrednosti. Po uredbi o elektromagnetnem sevanju poznamo namreč tako imenovano I. območje in II. območje varstva pred sevanji. Za posamezna frekvenčna področja, ki jih meri dozimeter, ima mejna vrednost E_{mi} ki je podana v V/m, vrednosti, kot so prikazane v tabeli 2.

Tabela 2: mejne vrednosti za posamezna frekvenčna področja

frekv. področje \ območje	I. območje	II. območje
FM	8,6	27,5
TV 3	8,6	27,5
TETRA	8,6	27,5
TV 4 & 5	9,3	29,7
GSM	12,9	41,1
DCS	18,2	58,1
DECT	18,6	59,4
UMTS	19	61,4
WiFi	19	61,4

Po proučitvi izpolnjenih dnevnikov o poteku meritev s strani prostovoljcev smo na podlagi zapisov v dnevniku določili pet različnih področij izpostavljenosti:

- 1. Mesto/Doma - pomeni izpostavljenost osebe v njenem domu v mestu;**
- 2. Podeželje/Doma – pomeni izpostavljenost osebe v njenem domu na podeželju,**
- 3. Služba - pomeni izpostavljenost osebe na njenem delovnem mestu;**
- 4. Mesto/Okolje - pomeni izpostavljenost osebe v njenem okolju izven doma in službe v mestu;**
- 5. Podeželje/Okolje - pomeni izpostavljenost osebe v njenem okolju izven doma in službe na podeželju.**

Zbrani podatki so služili za nadaljnjo statistično analizo. Določene so bile maksimalne, minimalne in povprečne vrednosti. Rezultati obdelanih podatkov so bili predstavljeni tabelarično in grafično.

Skupaj je bilo zajetih 183.600 vzorčenj meritev EMS za vsa frekvenčna področja. V skupino Mesto/Doma je bilo razvrščenih 57.974 podatkov, v skupino Podeželje/Doma 43.024 podatkov, v

skupino Služba 17.005 podatkov, v skupino Mesto/okolje 14.715 podatkov in v skupino Podeželje/okolje 7.296 podatkov. Ostali podatki so ostali nerazvrščeni, saj jih zaradi nejasnosti v dnevniku ni bilo mogoče vključiti v nobeno izmed skupin.

3.1. Merilna negotovost

Merilni sistem EME SPY 120 je kompakten multifunkcijski dozimeter namenjen epidemiološkim študijam ter osebni dozimetriji. Omogoča selektivno določanje sevalnih obremenitev za 12 frekvenčnih območij sočasno. Njegova pomembna lastnost je izotropnost, kar pomeni, da sprejema signale ne glede na njihovo smer.

Za merilni sistem EME SPY 120 proizvajalec ob kalibraciji določi odstopanje izotropnosti, kar pomeni odstopanje izmerjenega signala v odvisnosti od smeri vpada elektromagnetnega sevanja na merilni sistem (Tabela 2). Še pomembnejši podatek od odstopanja izotropnosti je celotna merilna negotovost merilnega sistema. Ob obširni epidemiološki študiji so v Angliji (Mann et al., 2005) testirali 8 takšnih merilnih sistemov in določili njihovo merilno negotovost.

Tabela 3: Odstopanje izotropnosti meritev (podatek proizvajalca)

Frekvenčno območje (MHz)			Odstopanje izotropnosti (dB)
FM	88	108	± 0,3
TV3	174	223	± 2,5
TV4&5	470	830	± 1,1
GSM RX	935	960	± 1,0
DCS RX	1805	1880	± 1,6
UMTS RX	2110	2170	± 1,8

Tabela 4: Merilna negotovost (z upoštevanjem odstopanjem izotropnosti meritev) pridobljena s pomočjo primerjalne študije na 8 merilnih sistemov EME SPY 120

Frekvenčno območje (MHz)			Merilna negotovost (dB)
FM	88	108	± 1,5
TV3	174	223	± 2,0
TV4&5	470	830	± 2,6
GSM RX	935	960	± 3,1
DCS RX	1805	1880	± 3,7
UMTS RX	2110	2170	± 3,7

Dodatno smo izvedli primerjavo meritev izvedenih z EME SPY 120 z meritvami z dvema spektralnim analizatorjema. Prvi je spektralni analizator ANRITSU MS 2711 A št. 121081 s pripadajočo bikonično anteno Clampco Sistemi EMSAP2000 (75MHz – 2,5GHz) z merilno negotovostjo ± 3,5 dB. Drugi je spektralni analizator NARDA SRM 3000 s pripadajočo anteno Narda A-0054 z merilno negotovostjo ± 1,7 dB. Pred tem je bilo potrebno rezultate, pridobljene s spektralnim analizatorjem, pravilno sešteti. Namreč, spektralni analizator izmeri vrednost električnega polja pri veliko različnih frekvencah, medtem ko merilni sistem EME SPY 120 izmeri le efektivno vrednost električne poljske jakosti za nekaj frekvenčnih območji. Zato je bilo potrebno iz rezultatov, pridobljenih s spektralnim analizatorjem, za vsako frekvenčno območje, ki ga uporablja merilni sistem EME SPY 120 določiti efektivno vrednost električne poljske jakosti.

Primerjava meritev s spektralnim analizatorjem ANRITSU MS 2711 A je potekala v bližini bazne postaje sistema GSM 900. Rezultati primerjave so predstavljeni v Tabeli 5.

Tabela 5: Primerjava meritev s spektralnim analizatorjem ANRITSU MS 2711 A

Frekvenčno območje (MHz)		E_{EMESPY} (V/m)	$E_{ANRITSU}$ (V/m)	Razlika (dB)
GSM RX	935 960	1,71	1,03	-2,20

Primerjava meritev s analizator NARDA SRM 3000 je potekala v bližini bazne postaje.

Iz primerjave je razvidno, da v primerih, kjer je spektralni analizator izmeril majhno vrednost električnega polja, tudi merilni sistem EME SPY 120 izmeri majhno vrednost (<0,05). Največje odstopanje pri vseh opravljenih primerjalnih meritvah je bilo -2,6 dB. Vendar ob upoštevanju merilne napake tako spektralnega analizatorja kot tudi merilnega sistema EME SPY 120 odstopanja meritev ne presega predvidenih odstopanj.

Opazno je tudi, da so meritve merilnega sistema EME SPY 120 večinoma manjše od meritev, pridobljenih s spektralnim analizatorjem, kar bi mogoče vodilo v razmišljanje, da merilni sistem EME SPY 120 ponavadi izmeri prenizke vrednosti električnega polja. Delno je to res, saj podobne raziskave, opravljene v Angliji (Mann et al., 2005), nakazujejo, da merilni sistem v primeru več virov v istem frekvenčnem območju podaje večinoma do 30 % manjše vrednosti kot so dejanske. Vendar se je ob tem potrebno zavedati, da meritev s spektralnim analizatorjem ter kasnejše računsko določanje efektivne vrednosti električnega polja v primeru več virov polje preceni. Vzrok je v tem, da se pri računskem seštevanju, ki temelji na seštevanju gostote pretoka energije, upošteva, kakor da bi bili viri na mestu meritve sofazni. V resnici to ne velja, celo več, v primeru velikega števila virov, ki niso sofazni, se efektivna vrednost električnega polja lahko približuje vrednosti nič.

Tabela 6: Primerjava meritev s spektralnim analizatorjem NARDA SRM 3000

Frekvenčno območje (MHz)		E_{EMESPY} (V/m)	E_{NARDA} (V/m)	Razlika (dB)
Labor – pod naseljem v bližini bazne postaje				
FM	88 108	0,07	<0,05	
TV3	174 223	0,05	<0,05	
TV4&5	470 830	0,10	0,10	-0,03
GSM RX	935 960	0,48	0,46	-0,02
DCS RX	1805 1880	0,03	<0,05	
UMTS RX	2110 2170	0,03	<0,05	

Opomba: kjer je bila vrednost električnega polja, zmerjena z merilnim sistemom EME SPY 120 manjša od 0,05 V/m, razlike nismo izračunali.

Glede na namen uporabe je primerjava vrednosti električnega polja, izmerjenih z merilnim sistemom EME SPY ter s spektralnima analizatorjema ANRITSU MS 2711 A ter NARDA SRM 3000 pokazala, da v literaturi podana merilna negotovost sovпада z razliko primerjalnih meritev ter ne presega predvidenih odstopanj. Na podlagi teh ugotovitev se je merilni sistem EME SPY 120 izkazal kot ustrezen.

4 Meritve in obdelava podatkov

Za vsako izmed skupin so bile v nadaljevanju določene minimalne, maksimalne in povprečne vrednosti. Minimalna vrednost je na vseh frekvenčnih področjih znašala 0,05 V/m, saj je to spodnja meja občutljivosti dozimetra, dejanske minimalne vrednosti so lahko tudi precej manjše. Maksimalna vrednost za primer oddajnega signala mobilne telefonije v sistemu GSM je bila vedno nad zgornjo mejo občutljivosti dozimetra, to je več kot 5 V/m. Nad zgornjo mejo občutljivosti dozimetra je bil tudi oddajni signal mobilne telefonije v sistemu DCS za skupine Mesto/Doma, Služba in Mesto/Okolje. Tudi signali brezžične hišne telefonije (DECT) so bili v primeru skupin Mesto/Doma, Podeželje/Doma in Služba nad zgornjo mejo občutljivosti dozimetra. Ostale maksimalne vrednosti so bile precej nižje in so le redko presegle vrednost 1 V/m.

Povprečne vrednosti so skoraj za vsa frekvenčna področja in za vse skupine znašale nekoliko nad 0,05 V/m, razen za primer mobilne telefonije sistema GSM, kjer je povprečna vrednost za bazne postaje za vse skupine razen za skupino Podeželje/Doma znašala približno 0,1 V/m. Nekoliko nad vrednostjo 0,05 V/m je znašala tudi povprečna vrednost za mobilni telefon sistema GSM za skupino Služba, Mesto/Okolje in Podeželje/Okolje, ko je ta znašala približno 0,08 V/m. Najbolj je odstopala povprečna vrednost za mobilni telefon v primeru skupine Služba, ko je ta znašala 0,14 V/m ali 0,01 % glede na mejno vrednost, ki jo določa uredba o EMS za I. območje. Vse maksimalne in povprečne vrednosti za vsa vse skupine podane v tabelah 7 do 11, vrednosti so podane v enotah V/m. Tabela 12 podaja maksimalne in povprečne sevalne obremenitve glede na uredbu o elektromagnetnih sevanjih za I. področje za vseh pet področij izpostavljenosti

Tabela 7: Maksimalne in povprečne vrednosti za skupino Mesto/Doma. Vrednosti so v enotah V/m

	FM	TV3	TETRA	TV45	GSMtx	GSMrx	DCStx	DCSrx	DECT	UMTStx	UMTSrx	WiFi
max	0,23	0,12	0,14	0,11	5,01	1,26	5,01	0,45	5,01	0,43	0,30	5,01
povp	0,0537	0,0500	0,0500	0,0519	0,0595	0,0967	0,0519	0,0511	0,0572	0,0500	0,0537	0,0513

Tabela 8: Maksimalne in povprečne vrednosti za skupino Podeželje/Doma. Vrednosti so v enotah V/m

	FM	TV3	TETRA	TV45	GSMtx	GSMrx	DCStx	DCSrx	DECT	UMTStx	UMTSrx	WiFi
max	0,24	0,07	0,05	0,08	5,01	0,58	0,16	0,05	5,01	0,19	0,05	2,33
povp	0,0517	0,0500	0,0500	0,0500	0,0563	0,0531	0,0500	0,0500	0,0539	0,0500	0,0500	0,0516

Tabela 9: Maksimalne in povprečne vrednosti za skupino Služba. Vrednosti so v enotah V/m

	FM	TV3	TETRA	TV45	GSMtx	GSMrx	DCStx	DCSrx	DECT	UMTStx	UMTSrx	WiFi
max	0,41	0,05	0,24	0,26	5,01	4,79	5,01	1,08	5,01	0,14	0,23	2,37
povp	0,0539	0,0500	0,0560	0,0532	0,0804	0,1408	0,0691	0,0773	0,0573	0,0500	0,0511	0,0520

Tabela 10: Maksimalne in povprečne vrednosti za skupino Mesto/Okolje. Vrednosti so v enotah V/m

	FM	TV3	TETRA	TV45	GSMtx	GSMrx	DCStx	DCSrx	DECT	UMTStx	UMTSrx	WiFi
max	0,63	0,19	0,79	0,3	5,01	3,9	5,01	1,08	0,53	0,05	0,25	1,58
povp	0,0535	0,0500	0,0505	0,0508	0,0760	0,1061	0,0602	0,0636	0,0533	0,0500	0,0512	0,0514

Tabela 11: Maksimalne in povprečne vrednosti za skupino Podeželje/Okolje. Vrednosti so v enotah V/m

	FM	TV3	TETRA	TV45	GSMtx	GSMrx	DCStx	DCSrx	DECT	UMTSx	UMTSrx	WiFi
max	0,35	0,2	0,05	0,11	5,01	0,98	2,68	0,15	0,06	0,05	0,11	0,46
povp	0,0802	0,0505	0,0500	0,0500	0,0896	0,0772	0,0506	0,0501	0,0500	0,0500	0,0501	0,0625

Tabela 12: Maksimalne in povprečne sevalne obremenitve za vseh pet področij izpostavljenosti izražene v odstotkih mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnih sevanjih za I. področje

Področje izpostavljenosti	Maksimalne trenutne sevalne obremenitve [%]	Povprečne sevalne obremenitve [%]
Mesto/Doma	22,6790	0,0604
Podeželje/Doma	15,1021	0,0314
Služba	15,1250	0,1923
Mesto/okolje	15,1250	0,0991
Podeželje/okolje	15,1569	0,1126

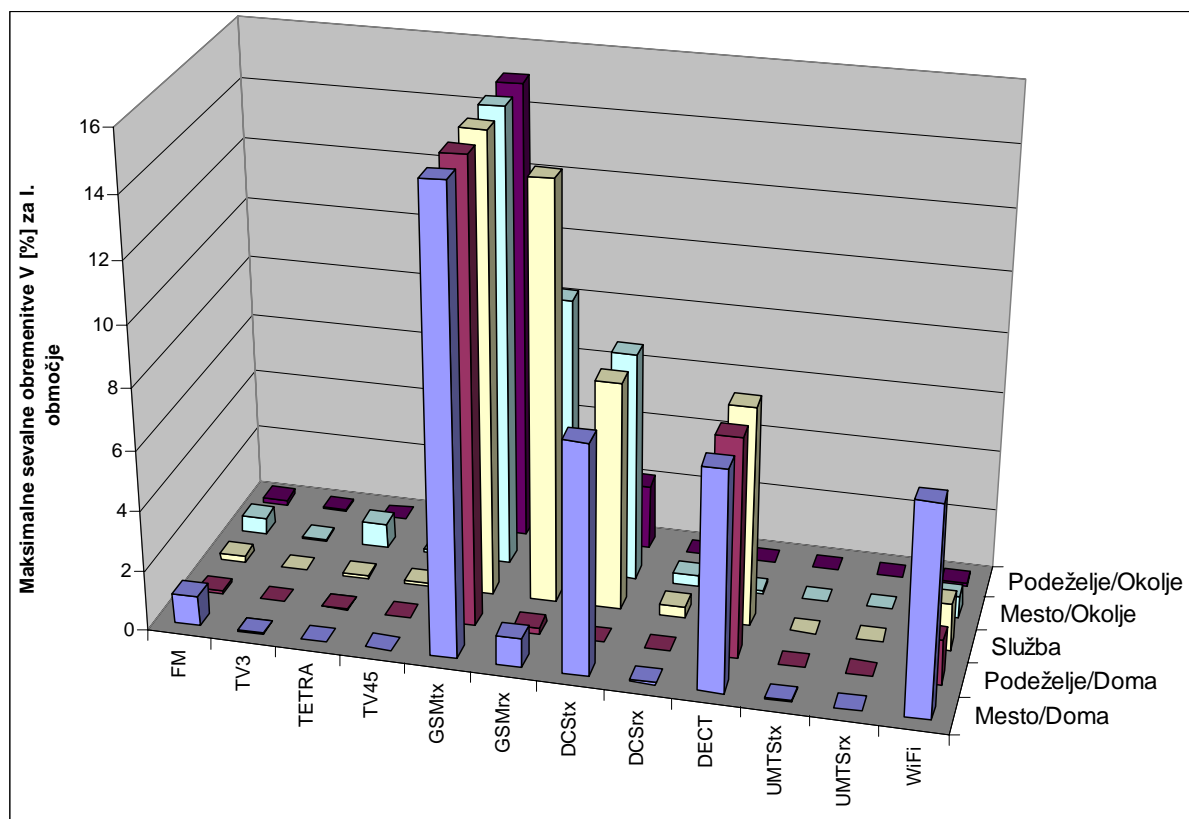
4.1 NAJVIŠJE TRENUTNE SEVALNE OBREMNITVE

K najvišjim trenutnim sevalnim obremenitvam (slika 4) največ prispevajo oddajni signali komunikacijskih naprav, ki jih ljudje nosijo s seboj ali so v času njihovega oddajanja v njihovi neposredni bližini. Največje maksimalne vrednosti tako v vseh skupinah dosežejo oddajni signali mobilnih telefonov GSM, kjer trenutne vrednosti dosegajo več kot 5 V/m ali več kot 15 odstotkov mejne vrednosti za I. območje uredbe o elektromagnetnem sevanju. Visoke maksimalne vrednosti dosegajo tudi oddajni signali mobilnih telefonov sistema DCS in signali brezžične hišne telefonije DECT. V skupini Služba, Mesto/Doma in Mesto/okolje vrednosti za oddajni signal sistemov DCS in DECT presežejo vrednost 5 V/m, kar je več kot 7 odstotkov mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju za I. področje.

Iz rezultatov meritev osebne izpostavljenosti za mesto/doma lahko zaključimo, da največji delež k celotnim sevalnim obremenitvam ob upoštevanju najslabših možnih primerov prispevajo mobilni telefoni GSM in sicer 39 %, DECT in DCS telefona do 19%, brezžični WI-FI do 18%, radijski oddajniki FM 3 % ter bazna postaja GSM do 2 %. Vsi ostali viri v mestu/doma prispevajo manj kot 2 %.

Iz rezultatov meritev osebne izpostavljenosti za podeželje/doma lahko zaključimo, da največji delež k maksimalnim trenutnim sevalnim obremenitvam prispevajo mobilni telefoni GSM in sicer 63 %, DECT telefon do 30 %, brezžični WI-FI do 6 % ter bazna postaja GSM do 1 %. Vsi ostali viri v mestu-doma prispevajo manj kot 2 %.

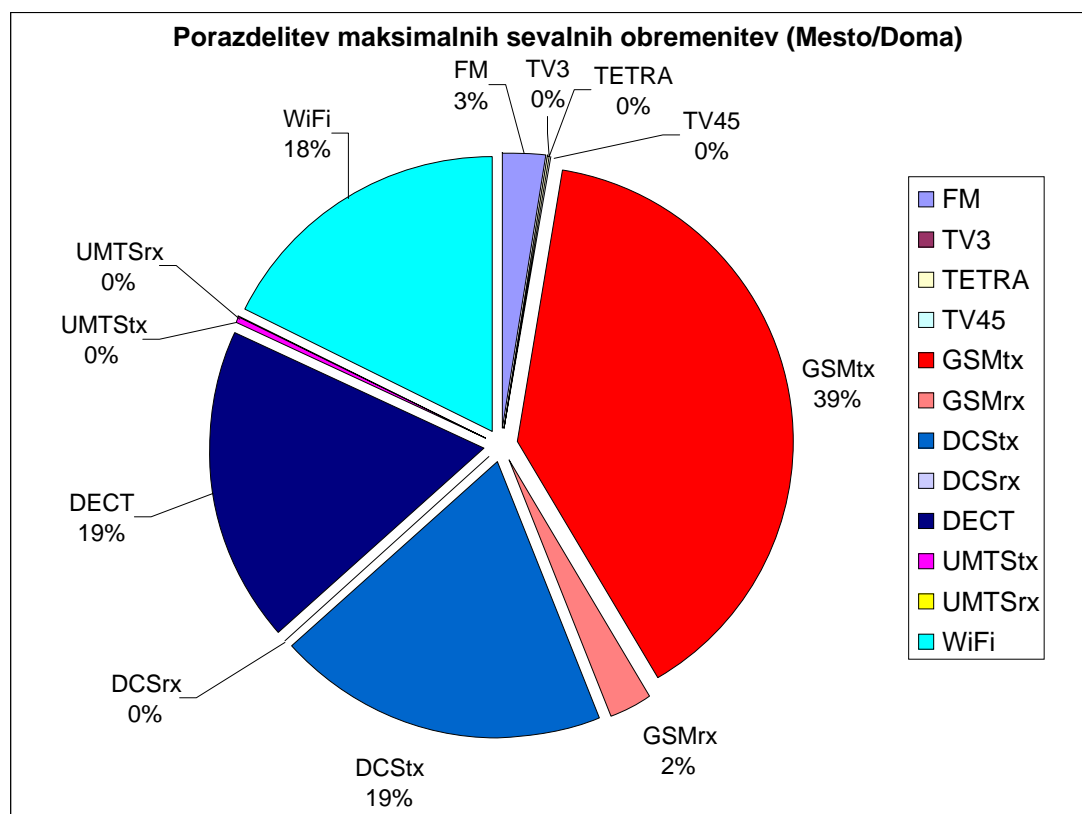
Največje trenutne sevalne obremenitve v službi so posledica mobilnega telefona GSM (34%), bazne postaje GSM (30%), DECT in DCS telefona do 16 % ter brezžičnega WI-FI do 3 %. Iz rezultatov meritev osebne izpostavljenosti v službi lahko zaključimo, da ostali viri prispevajo k celotni sevalni obremenitvi manj kot 2 %.



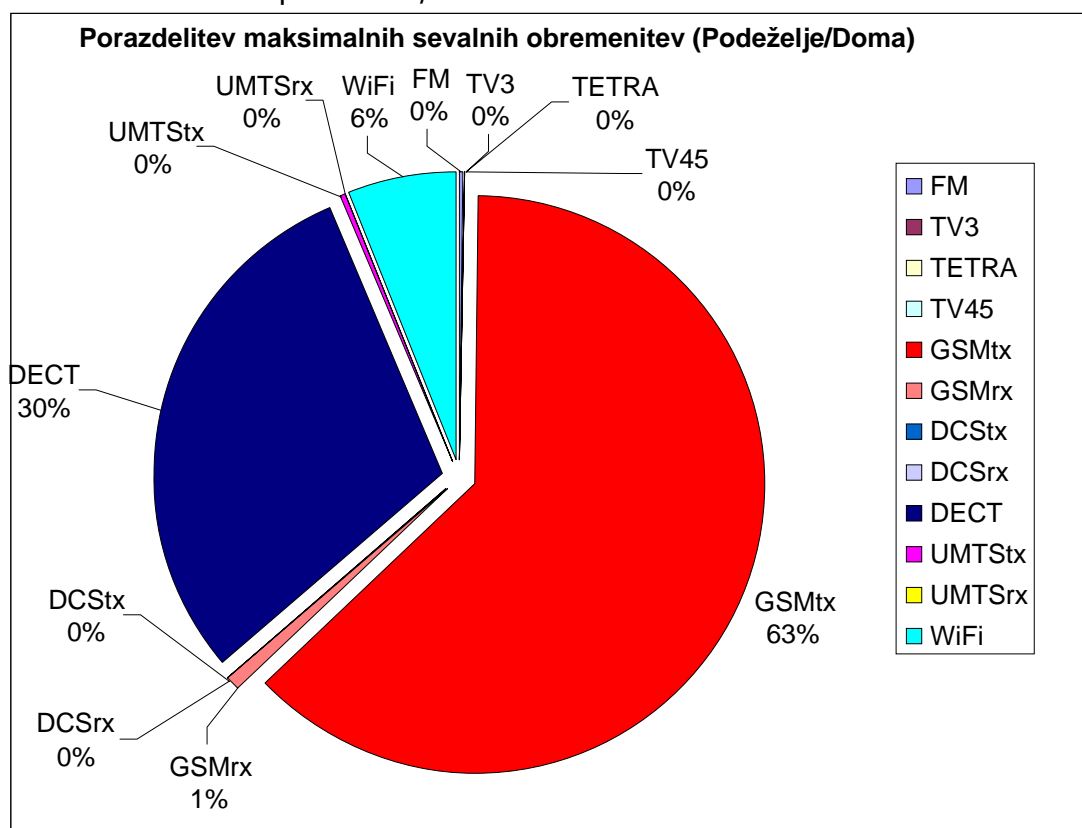
Slika 4: Maksimalne sevalne obremenitve za vseh pet področij izpostavljenosti. Vrednosti so v odstotkih mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju za I. področje.

V podeželje/okolje pa zelo izstopa mobilni telefon GSM z 84 % in DCS z 12 %, sledi bazna postaja GSM z 3%, FM radijski oddajnik z 1 %. Vsi ostali viri prispevajo manj kot 1 %.

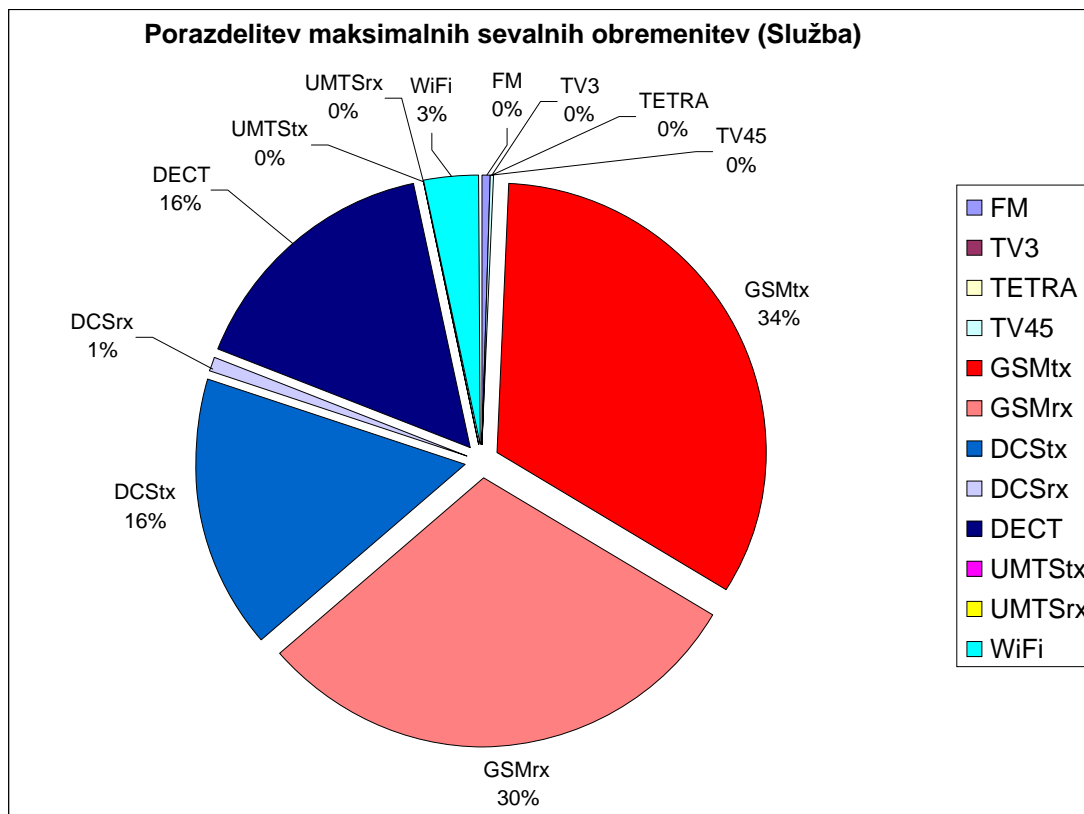
V mesto/okolje pa največje vrednosti dosega mobilni telefon GSM (44 %), sledi bazna postaja GSM (27 %), mobilni telefon DCS (22 %), FM radijski oddajnik, Wi-Fi in TETRA (vsi po 2 %). Vsi ostali viri prispevajo manj kot 2 %.



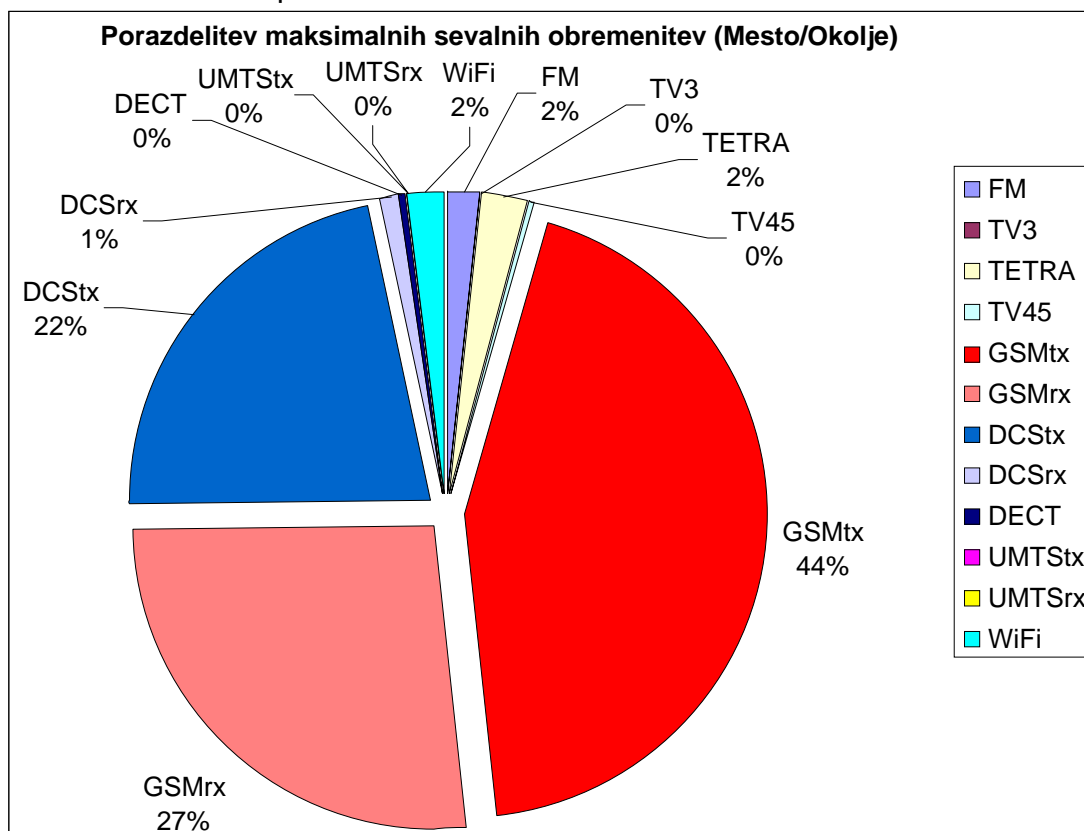
Slika 5: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Mesto/Doma.



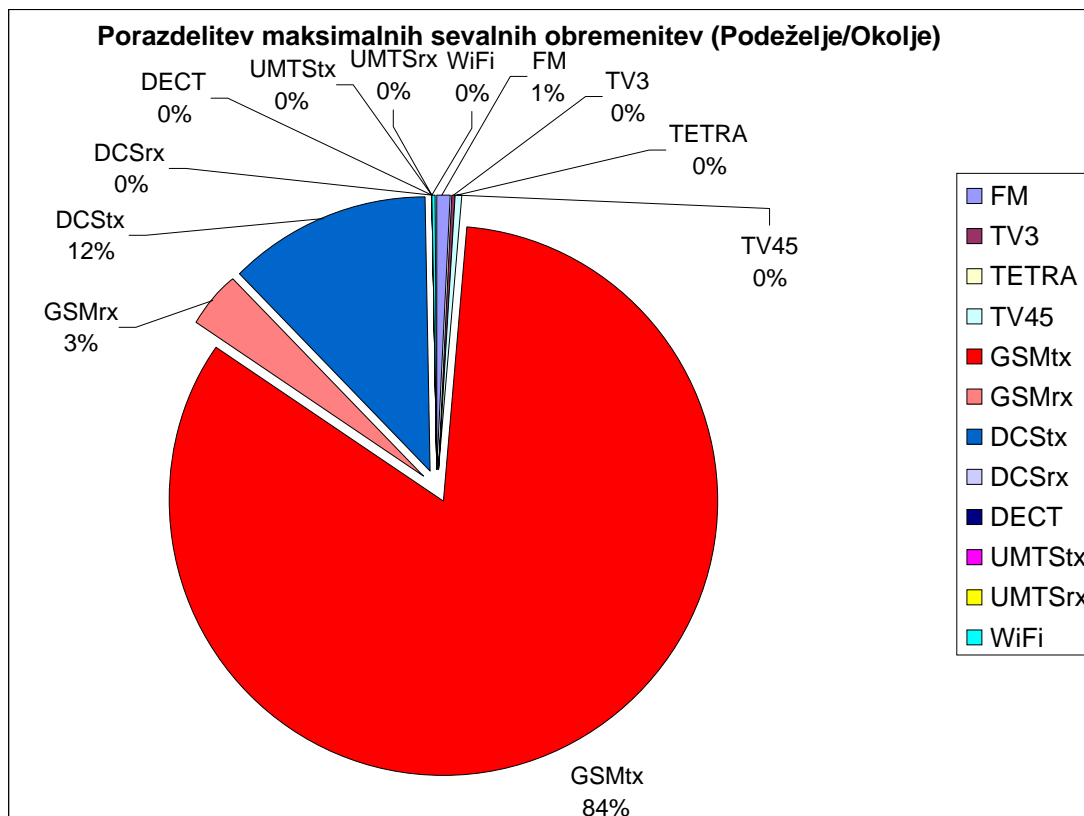
Slika 6: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Podeželje/Doma



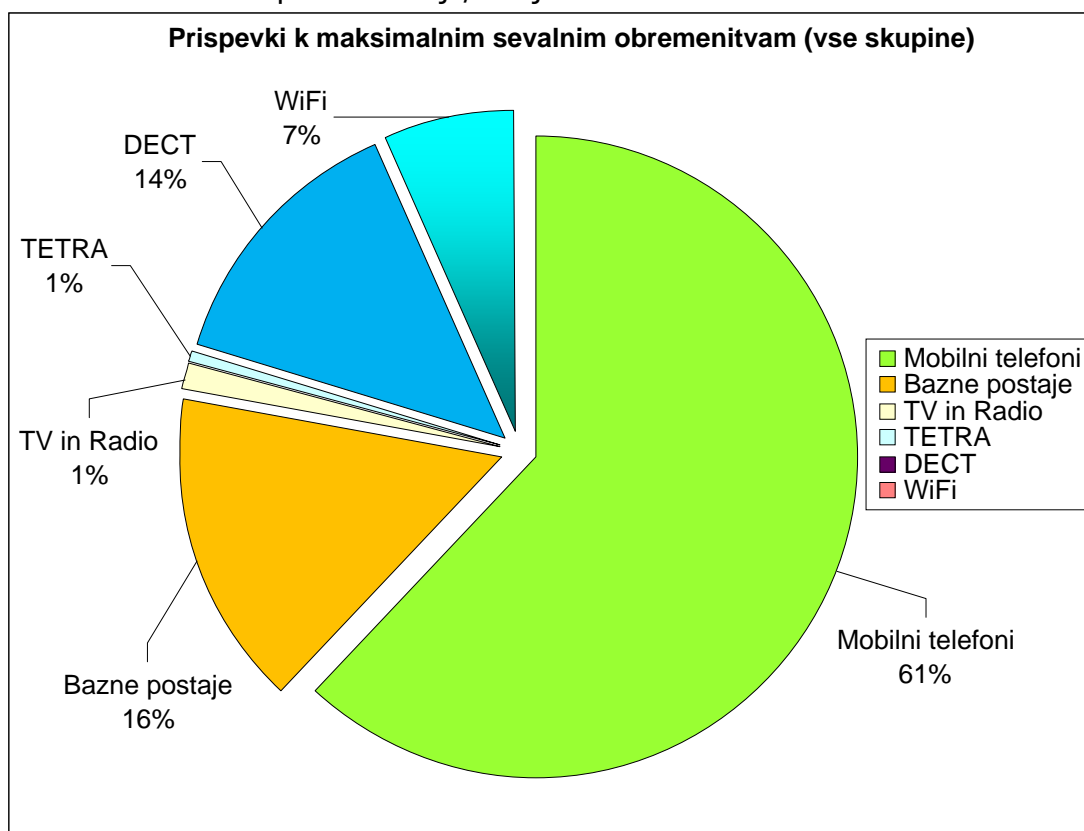
Slika 7: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Služba



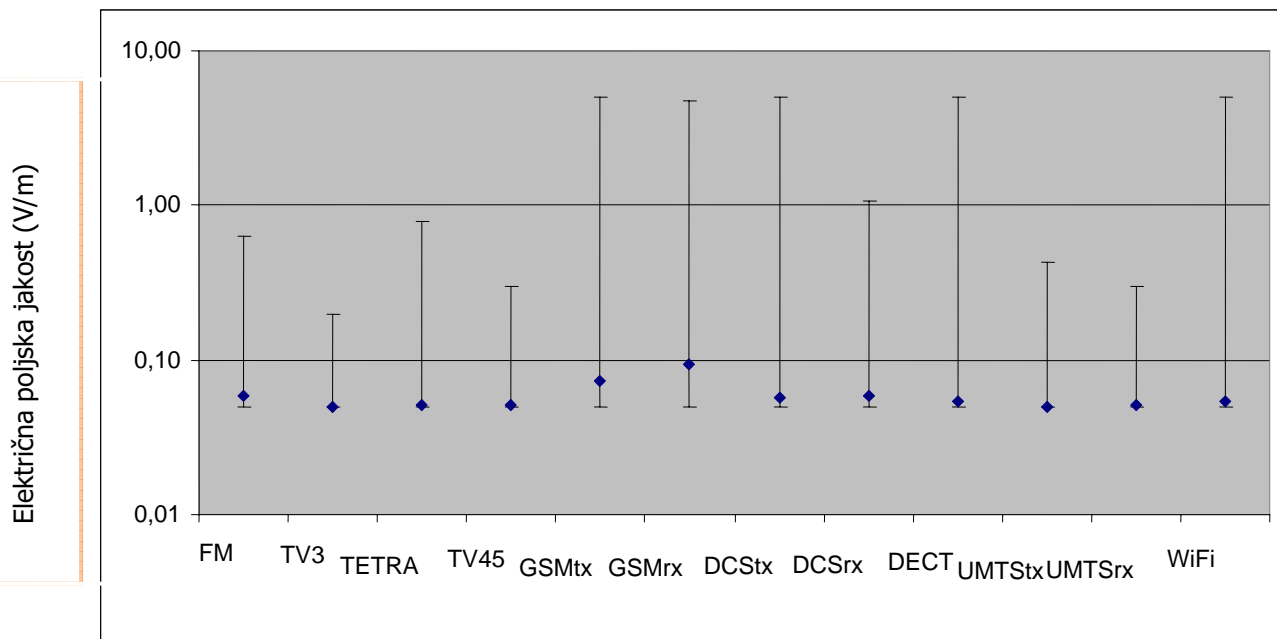
Slika 8: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Mesto/Okolje



Slika 9: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Podeželje/Okolje



Slika 10: Posamezni prispevki k skupnim najvišjim trenutnim sevalnim obremenitvam razdeljenih po sorodnih virih EMS za vse skupine izpostavljenosti skupaj



Slika 11: Povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti za vse skupine združene skupaj.

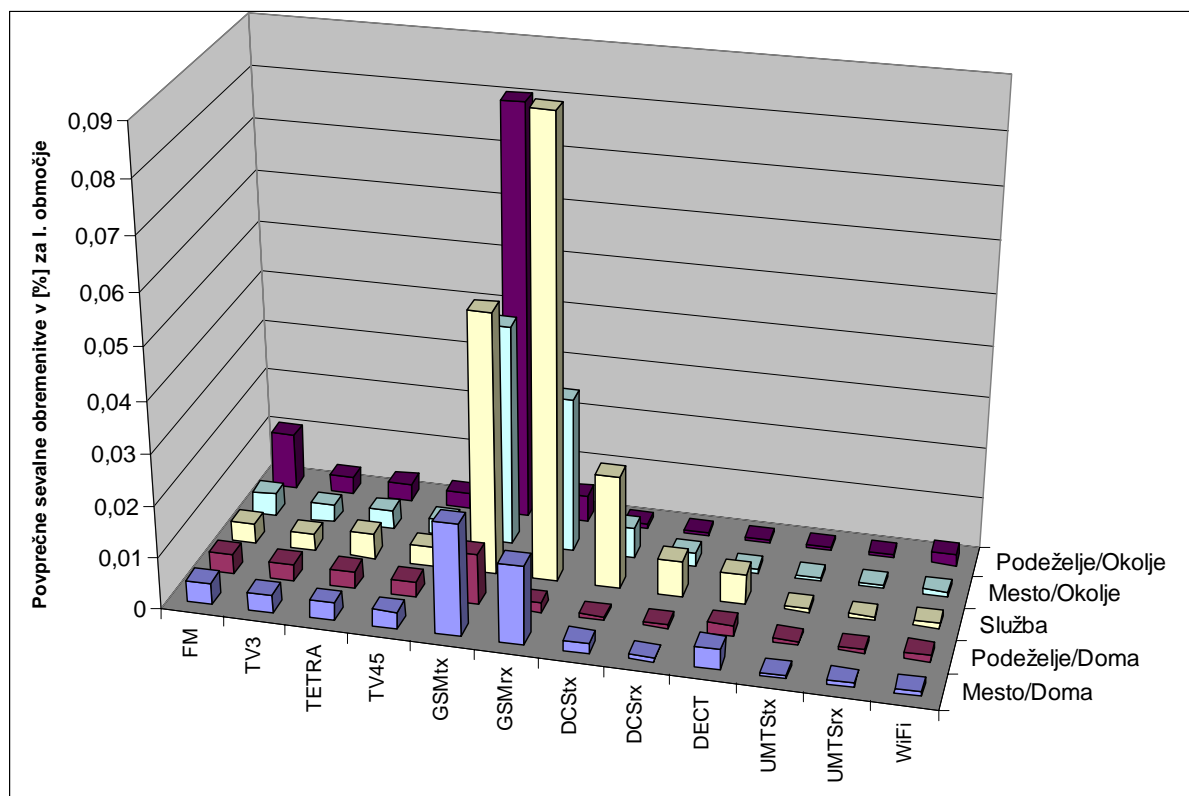
4.2 POVPREČNE SEVALNE OBREMENTITVE

Iz slike 12 je razvidno, da so povprečne sevalne obremenitve majhne, saj ne dosežajo 0,1 odstotka mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju za I. območje. Največji delež k povprečnim sevalnim obremenitvam prispeva sistem mobilne telefonije GSM, in sicer tako bazne postaje kot tudi mobilni telefoni.

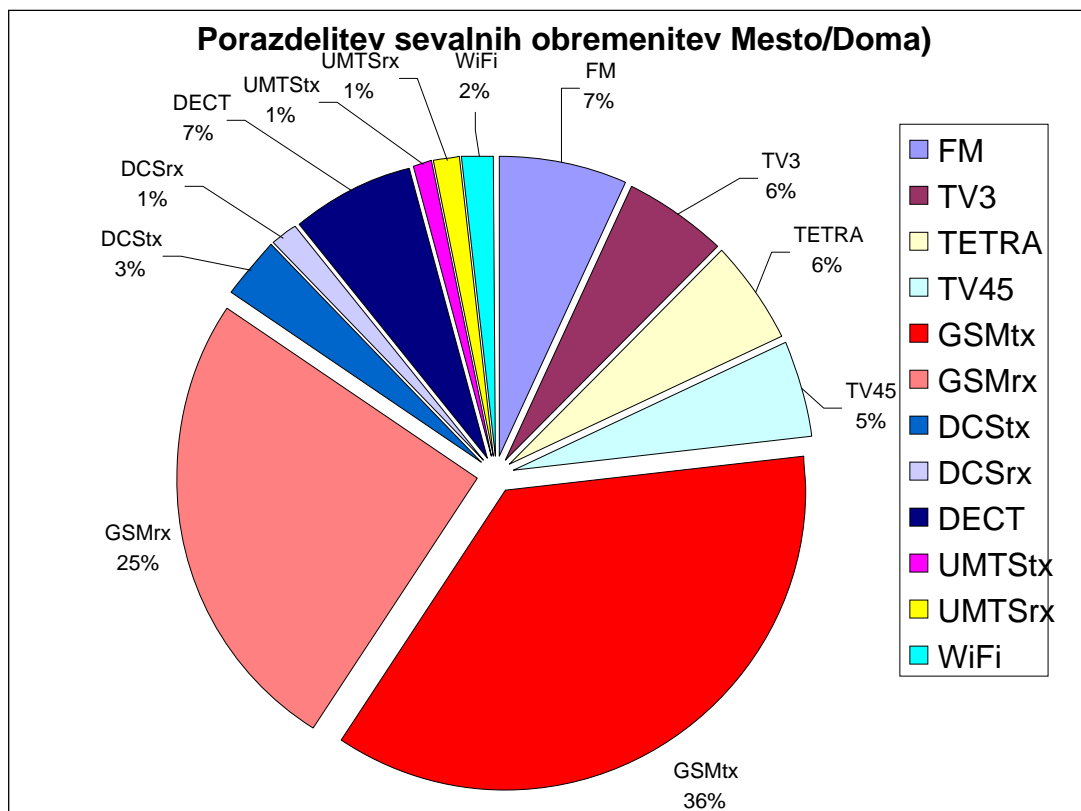
Prispevki posameznih virov k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za posamezne skupine so podrobneje prikazani na slikah 13 do 17. Najpomembnejši vir so bazne postaje in mobilni telefoni GSM, ki prispevajo od 38 % (Podeželje/Doma, Slika 14) do 75 % (Podeželje/Okolje, slika 17) skupnih povprečnih sevalnih obremenitev. Bolj kot bazne postaje so pomembni mobilni telefoni, saj v večini od skupin prispevajo večji delež (Mesto/Doma mobilni telefon GSM 36 %, bazne postaje GSM 25 %, Podeželje/Doma: mobilni telefon GSM 32 %, bazne postaje le 6 %). Rezultati so pričakovani zaradi večje oddaljenosti med uporabnikom in bazno postajo na podeželju kjer je oddajna moč mobilnega telefona večja.

Presenetljivi so rezultati za izpostavljenost v skupini Služba (slika 15), kjer prevladuje izpostavljenost sevanjem baznih postaj GSM (46 %) ter mobilnim telefonom GSM (26 %). Glede na analizo dnevnikov izpostavljenosti prostovoljcev sta ugotovljena dva razloga: prostovoljci, ki so sodelovali v raziskavi, so bili zaposleni v bližini baznih postaj in so zato sodelovali v raziskavi; v večini primerov je bila lokacija delovnega mesta v urbanih središčih, kjer je gostota baznih postaj večja kot v spalnih predelih mest ali na podeželju, zato je tudi prispevek baznih postaj večji.

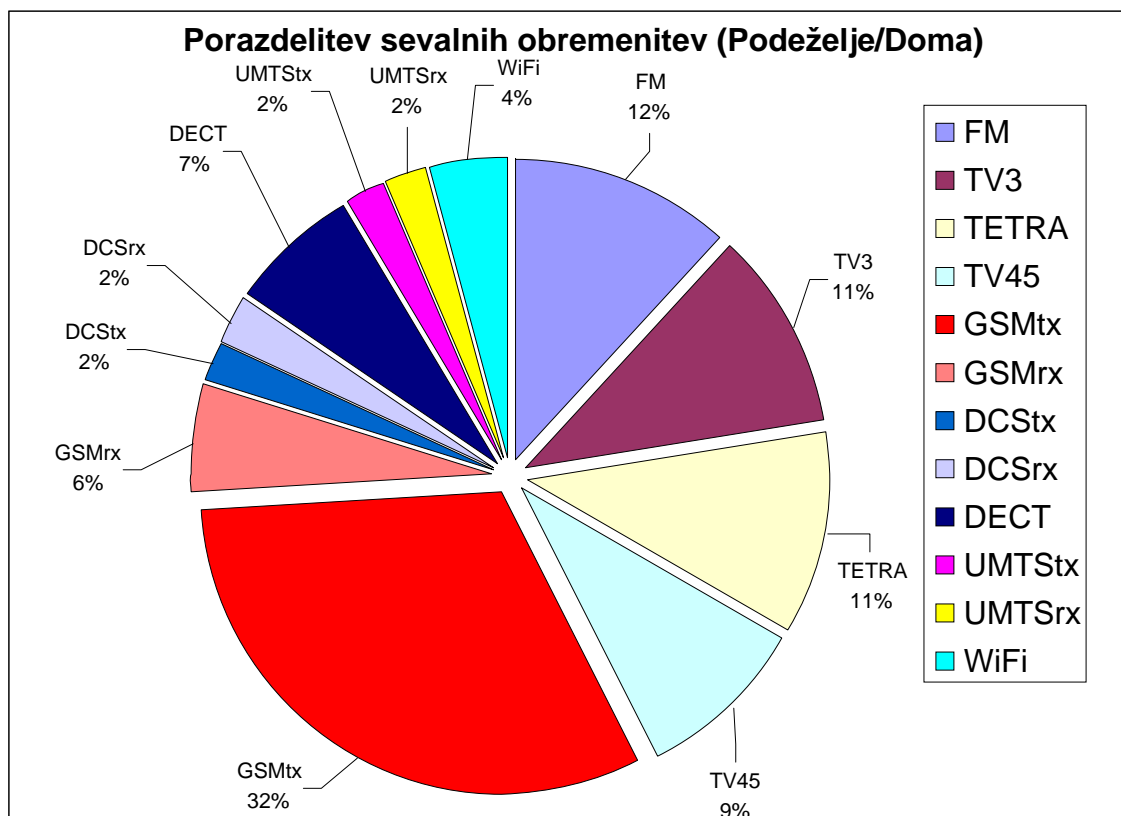
V primeru skupine Podeželje/Okolje (slika 17) je razvidno, da k skupnim sevalnim obremenitvam daleč največ prispeva uporaba mobilnega telefona GSM in sicer kar 71 %. V to skupino so namreč razporejeni podatki, ko se ljudje niso nahajali doma, ampak so se nahajali izven urbanih središč v prostem času (sprehod, rekreacija ...) Tako velik prispevek mobilnega telefona GSM kaže na veliko uporabo mobilnega telefona v tem času. Vzorec je bil sorazmerno majhen - le 7296 podatkov (približno 40 ur).



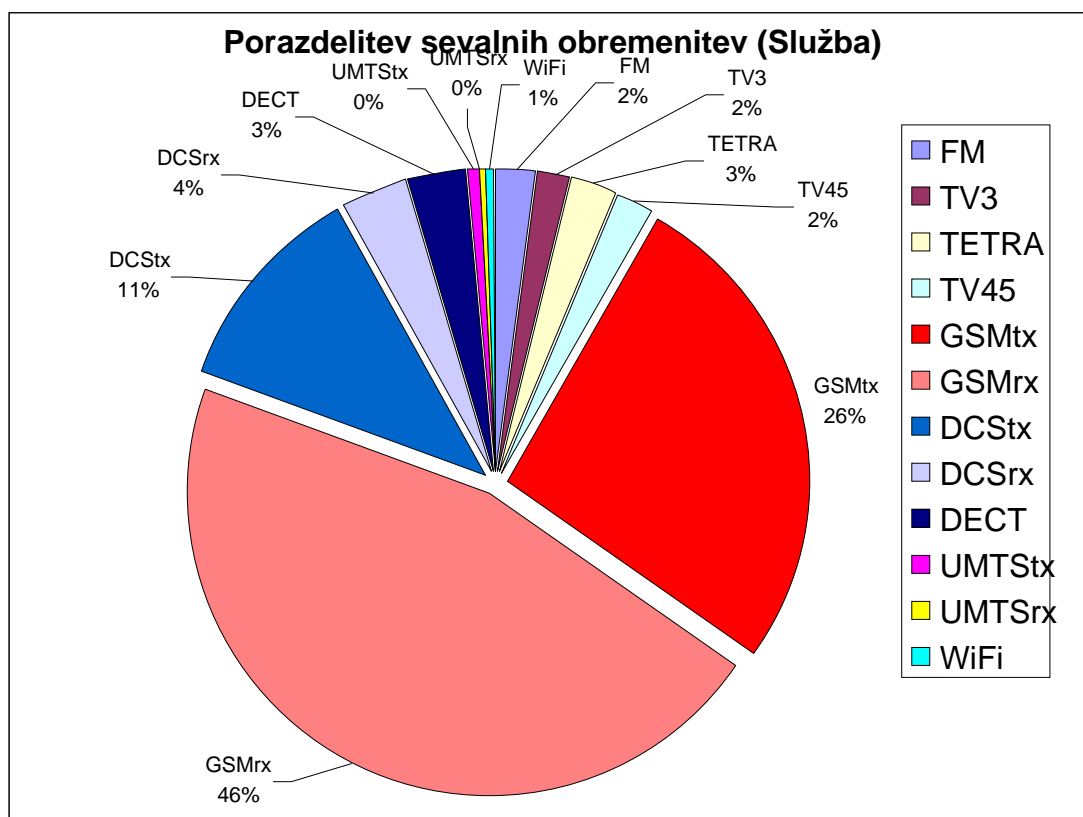
Slika 12: Povprečne sevalne obremenitve za vseh pet področij izpostavljenosti. Vrednosti so v odstotkih mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju za I. področje.



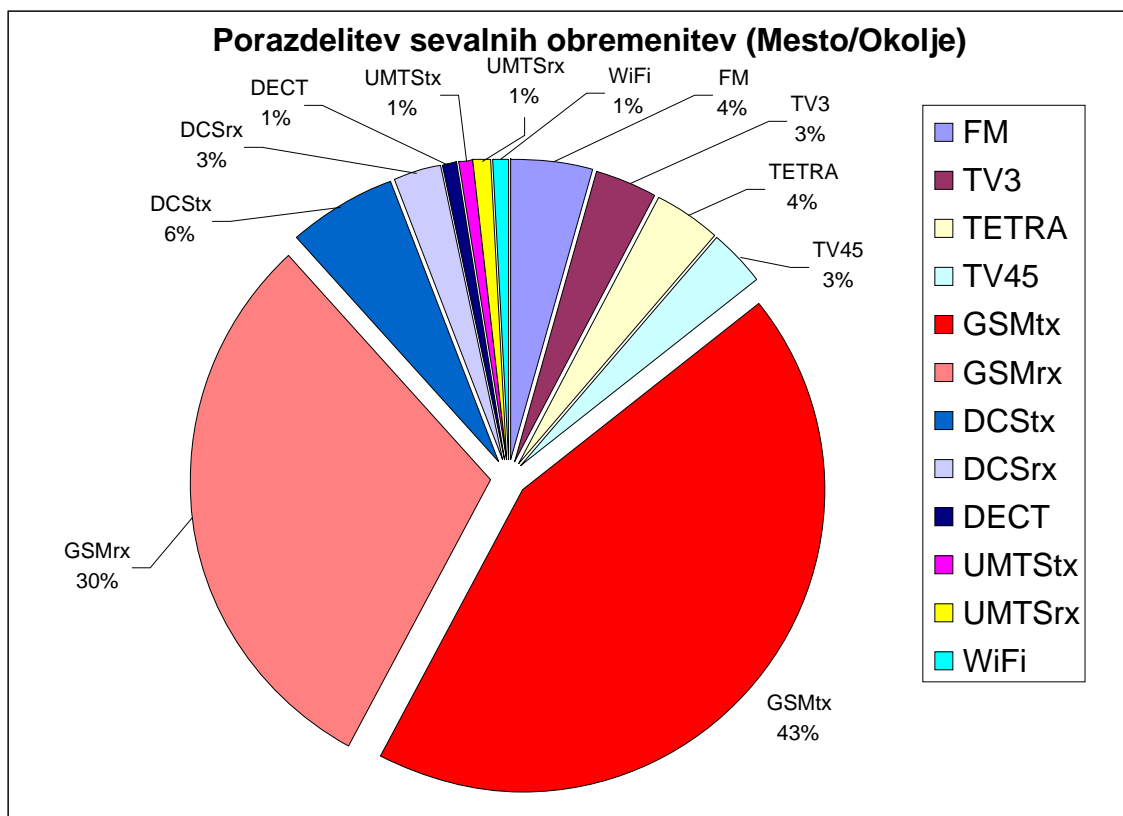
Slika 13: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za Mesto-Doma.



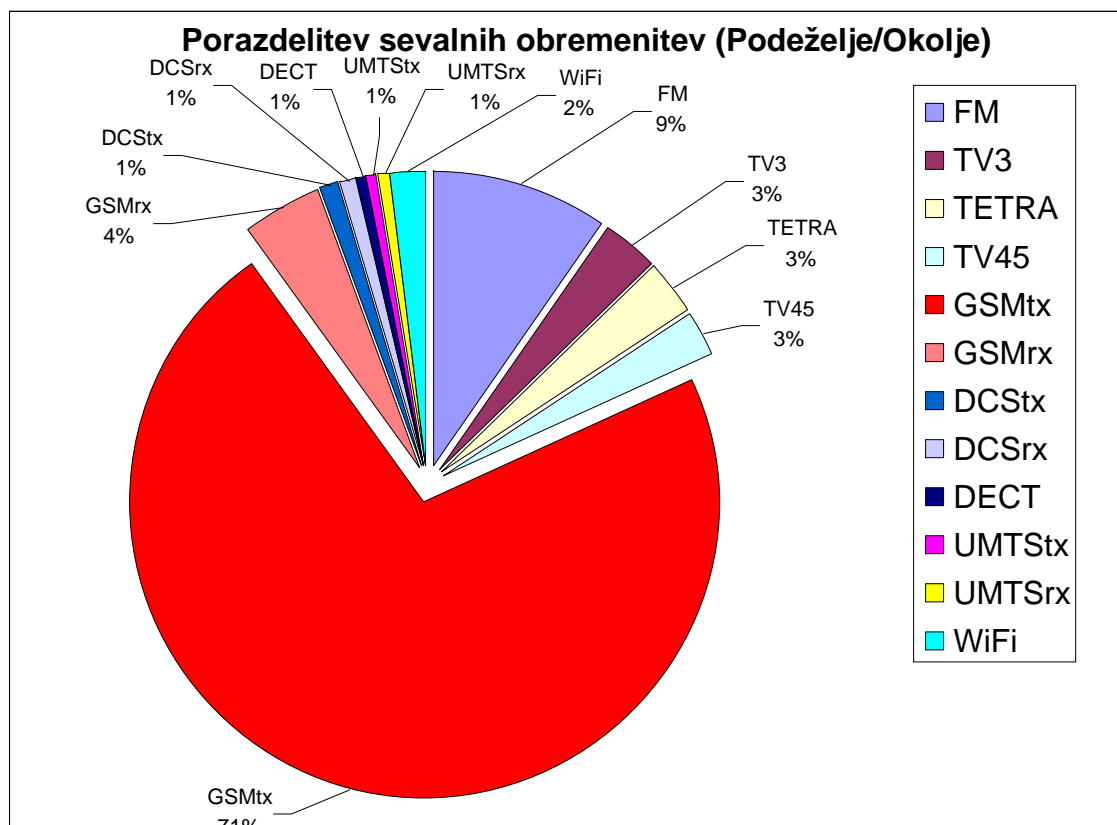
Slika 14: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za podeželje-doma.



Slika 15: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za službo.

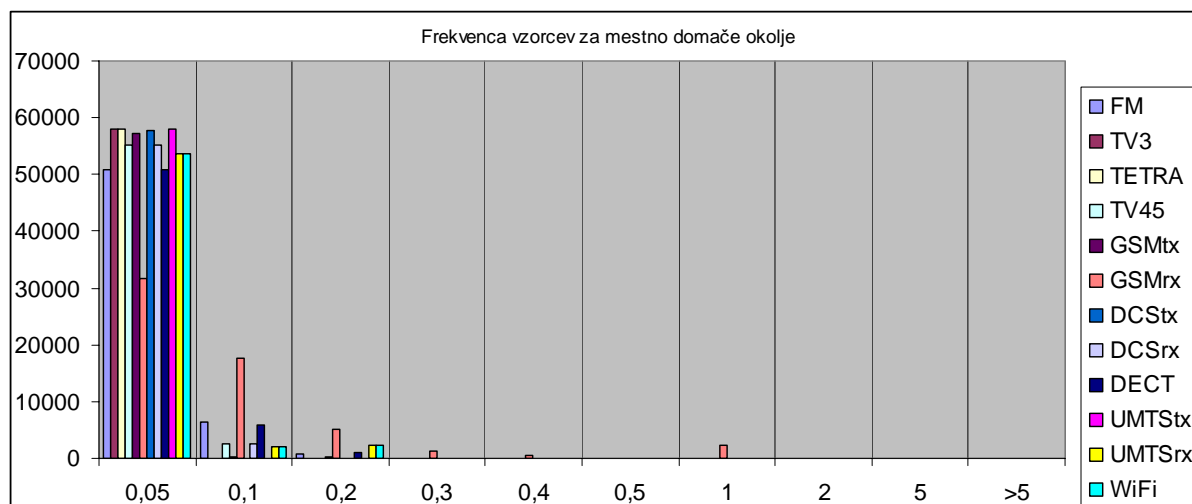


Slika 16: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za mesto/okolje

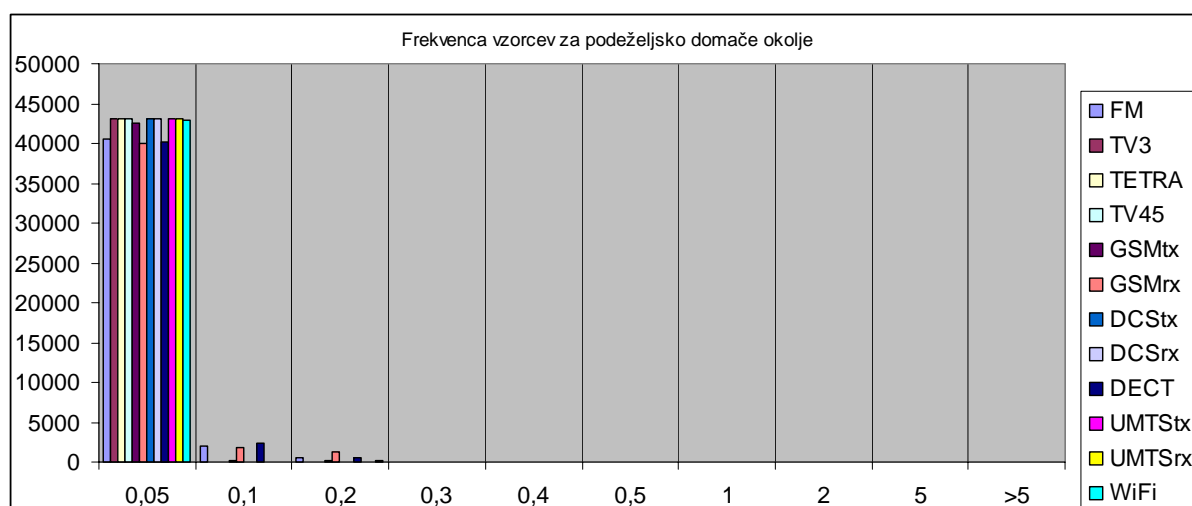


Slika 17: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za podeželje/okolje.

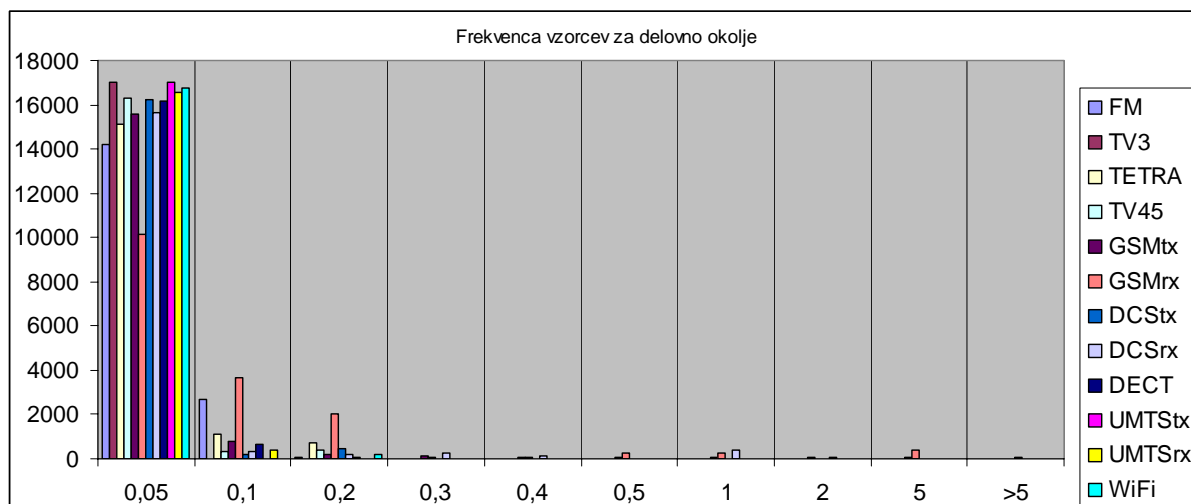
Slike 18 do 22 prikazujejo histogram vzorcev za različna okolja. Večino vzorcev ne glede na vrsto okolja pade v območje do 0,05 V/m.



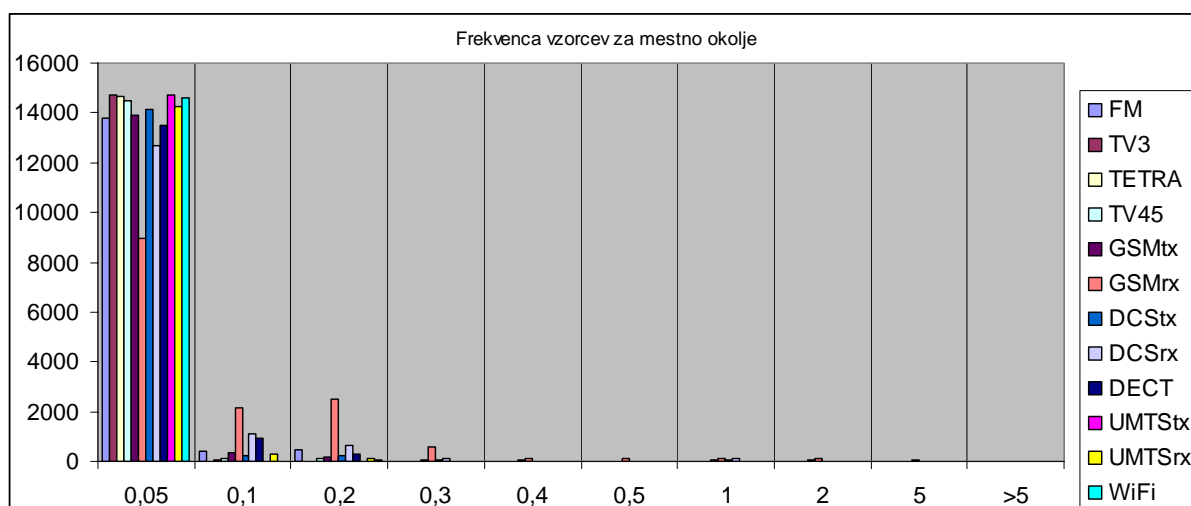
Slika 18: Histogram vzorcev za mestno domače okolje



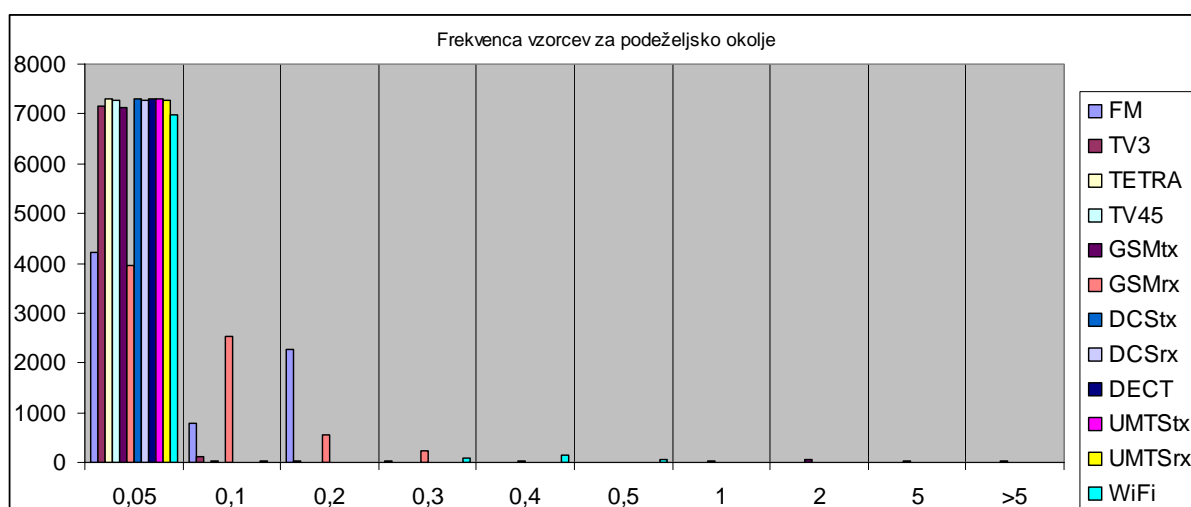
Slika 19: Histogram vzorcev za podeželsko domače okolje



Slika 20: Histogram vzorcev za delovno okolje



Slika 21: Histogram vzorcev za mestno okolje



Slika 22: Histogram vzorcev za podeželsko okolje

5 Zaključek

Meritve osebne izpostavljenosti EMS smo izvedli na 30 prostovoljcih, ki so ob sebi 34 ur nosili dozimeter Antenna EME SPY 120 in pisali dnevnik o poteku meritev in njihovem gibanju.

Meritve so bile izvedene za dvanajst različnih frekvenčnih območij, ki zajemajo glavne vire visokofrekvenčnih EMS v okolju v frekvenčnem območju od 88 - 2500 MHz (radijske frekvence, TV frekvence, TETRA, GSM, DCS, DECT, UMTS in WiFi).

Bistveni zaključki študije so:

- Iz rezultatov meritev osebne izpostavljenosti lahko v splošnem za vseh pet področij izpostavljenosti (tabela 8) zaključimo, da je celotna izpostavljenost prebivalstva EMS v vseh primerih nizka. Najvišje povprečne vrednosti najdemo v službi (0,2 % dovoljene mejne vrednosti), medtem ko najvišje trenutne sevalne obremenitve najdemo v mestu/doma (22 % dovoljene mejne vrednosti).
- Glavni delež k najvišji trenutni obremenitvi na vseh področjih izpostavljenosti prispevajo mobilni telefoni in sicer kar 61 %, medtem ko bazne postaje mobilne telefonije prispevajo le 16 %. Med sevalnimi obremenitvami zaradi mobilnega telefona najbolj dominira prispevek v sistemu GSM in sicer 47 %, v sistemu DCS 15 % ter v sistemu UMTS le 3%.
- Ostali viri EMS, ki smo jih tudi izmerili z osebnim dozimetrom (RA, TV, DECT, TETRA in Wi-Fi), pa predstavljajo 23 % celotne sevalne obremenitve. Izstopa brezžični hišni telefon DECT (14 %), ki so jih prostovoljci uporabljali neposredno ob telesu. V posameznih primerih so visokim trenutnim vrednostim EMS izpostavljeni tudi uporabniki brezžičnih lokalnih računalniških omrežij Wi-Fi (7 %). Ostali viri sevanja (TETRA, RA in TV oddajniki) pa so od uporabnikov precej oddaljeni in tako precej manj obremenjujejo prebivalstvo (2%).
- Iz rezultatov meritev vidimo, da so uporabniki izpostavljeni najvišjim sevalnim obremenitvam zaradi sevanja mobilnih telefonov v sistemu GSM. Pomembno je dejstvo, da so precej manjšim, tako povprečnim kot tudi maksimalnim trenutnim vrednostim, izpostavljeni uporabniki sistema DCS in UMTS. Da so vrednosti EMS za sistem UMTS precej nižje, vpliva predvsem dejstvo, da so oddajne moči telefona v sistemu UMTS nižje od oddajnih moči v sistemu GSM, zaradi višje frekvence delovanja tega sistema pa so tudi dovoljene višje mejne vrednosti. Iz tega sledi, da je bolje uporabljati mobilni telefon v načinu UMTS kot pa GSM, saj so sevalne obremenitve v primeru mobilne telefonije UMTS nekajkrat manjše;
- najvišje trenutne vrednosti sevalnih obremenitev so zabeležene v mestu/doma (22 % mejne vrednosti) zaradi visokega deleža mobilnega telefona (58 % delež) ter brezžičnega sistema Wi-Fi (18 % delež) ter telefona DECT (19% delež). V drugih področjih izpostavljenosti najvišje trenutne vrednosti dosežejo 15 % mejne vrednosti zaradi sevanja mobilnih telefonov.
- tako k maksimalnim kot tudi k povprečnim sevalnim obremenitvam največ prispevajo tiste naprave, ki se med uporabo nahajajo v neposredni bližini uporabnika. Na prvem mestu je to mobilni telefon v GSM sistemu, ki bistveno presega sevalne obremenitve vseh drugih virov EMS vključno z baznimi postajami.
- v splošnem je na podežlju izpostavljenost manjša kot v mestih, vendar pa je izpostavljenost mobilnim telefonom GSM precej večja kot drugje, ker so bazne postaje postavljene bolj redko umeščene v prostor kot v mestih in tako je potrebna za prenos podatkov večja oddajna moč telefona.
- poleg mobilnih telefonov pomembno k celotni sevalni obremenitvi prispevajo tudi brezžični Wi-Fi sistemi. Še posebno je to razvidno iz izpostavljenosti v domovih prostovoljcev.
- izpostavljenost drugim virom EMS kot so radijski oddajniki, televizijski oddajniki in Tetra pa je na spodnji meji občutljivosti merilnega sistema.

6 Literatura

1. Laboratory & Volunteer Trials of an RF Personal Dosimeter, (http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/hpa_rpd_reports/2005/hpa_rpd_008.pdf)
2. SM Mann, DS Addison, RP Blackwell, M Khalid: Personal Dosimetry of RF Radiation. Health Protection agency, 2006
3. Uradni list RS 70/96, Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, Ministrstvo za okolje in prostor RS