



Študijo izdelali:

Tomaž Trček univ. dipl. ing.

dr. Blaž Valič univ. dipl. ing.

Odgovorna oseba:

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 povečala.

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 posebni merilnik osebne izpostavljenosti - **dozimeter EME SPY 121 (v nadaljevanju SPY 121)**, ki je namenjen predvsem za podrobno analizo izpostavljenosti posameznika v področju visokih frekvenc za podporo epidemiološkim raziskavam.

2 Izhodišče za študijo

Namen pilotne študije je ugotoviti, v kolikšni meri so prebivalci Republike Slovenije izpostavljeni elektromagnetnim sevanjem različnih visokofrekvenčnih 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.

3 Metodologija

V študijo je bilo vključenih 20 prostovoljcev, ki so 36 ur nosili napravo za merjenje osebne izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem – v nadaljevanju SPY 121.

Osebna izpostavljenost EMS se določi na področju visokih frekvenc 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 SPY 121, 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 SPY 121 so:

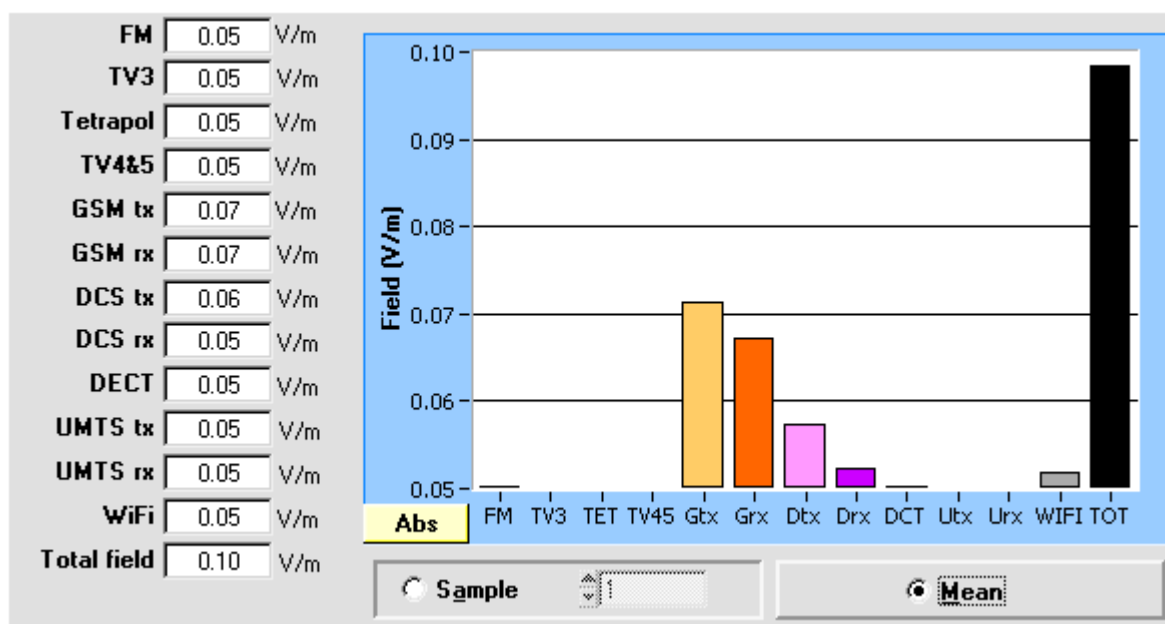
- beleženje vrednosti 24 ur na dan v nastavljivih intervalih;
- neobčutljivost na interference z aktivnostjo uporabnika;
- dinamično območje 40 dB in občutljivost 0,05–5 V/m;
- izotropnost;
- merilno območje za FM, TETRA TV, GSM, DCS, UMTS in WiFi;
- možnost prepoznavanja signala mobilnega telefona ali 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 SPY 121 ločuje izmerjene vrednosti.

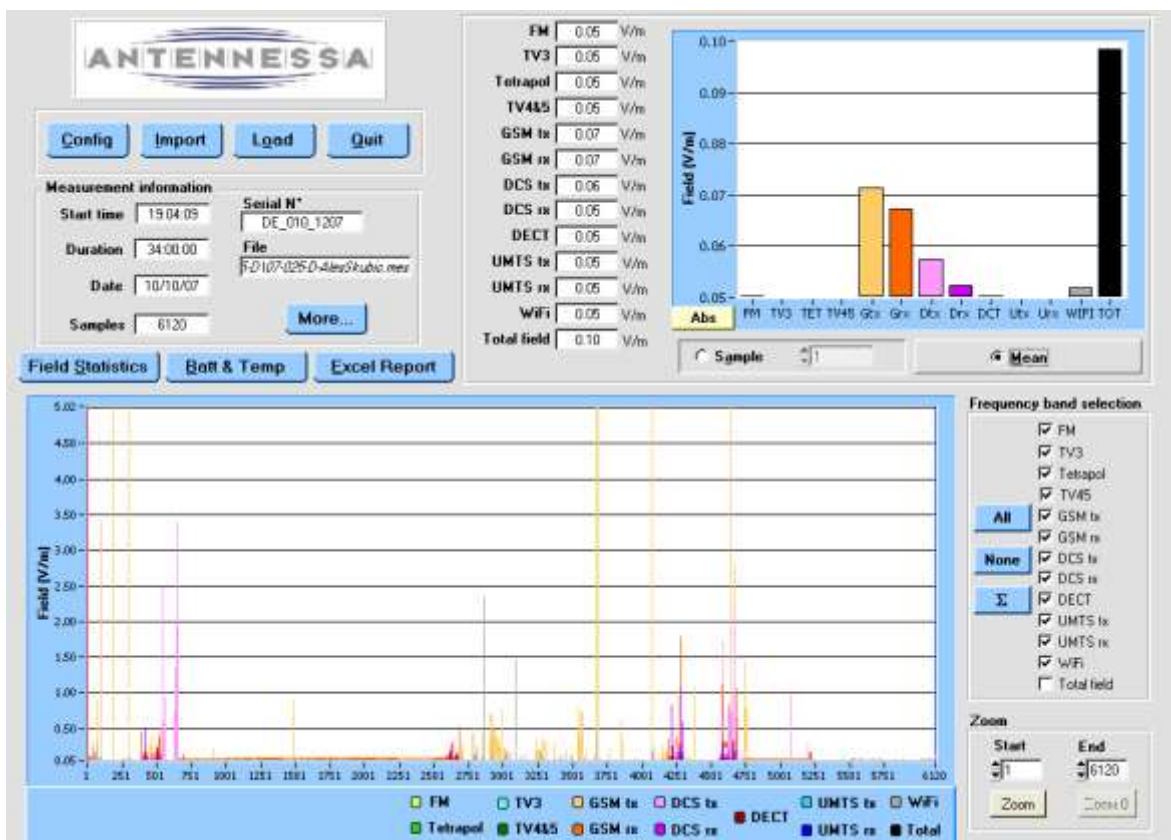
Oznaka	Opis	Frekvenčno območje (MHz)
FM	radijski oddajniki	88 - 108
TV3	televizijski oddajniki	174-223
TETRA	mobilne in bazne postaje v sistemu TETRA	380-400
TV4&5	televizijski oddajniki	470-830
GSM TX	mobilni telefon v sistemu GSM 900	880-915
GSM RX	bazna postaja v sistemu GSM 900	925-960
DCS TX	mobilni 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

SPY 121 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 s SPY 121, 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 20 prostovoljcev. Za analizo rezultatov so bili uporabljeni rezultati 18 oseb, od tega 8 žensk in 10 moških. 12 oseb je prihajalo iz pretežno mestnega okolja, 6 oseb pa iz pretežno podeželskega okolja. Meritve so potekale od meseca maja do 2009 do decembra 2009. Vsaka oseba je v času meritev nosila SPY 121 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).

SPY 121 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. SPY 121 je deloval 36 ur in med tem vsakih 20 sekund zabeležil čas meritve in vrednost EMS v vseh frekvenčnih območjih, kar je za eno osebo pomenilo 6480 vzorčenj meritev. Po preteku 36 ur delovanja se SPY 121 avtomatsko izklopi in preneha z beleženjem rezultatov.

pred sevanji. Za posamezna frekvenčna področja, ki jih meri SPY 121, 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

Izpolnjevanje dnevnika o poteku meritev je bilo za prostovoljce olajšano tako, da je bilo že v samem dnevniku predvidenih pet različnih področij izpostavljenosti, ki so jih prostovoljci označili glede na trenutno situacijo. Področja izpostavljenosti so bila poimenovana:

- 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.**

Tako 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 114.003 vzorčenj meritev EMS za vsa frekvenčna področja. V skupino Mesto/Doma je bilo razvrščenih 45.873 podatkov, v skupino Podeželje/Doma 27.015 podatkov, v skupino Služba 9.384 podatkov, v skupino Mesto/okolje 10.682 podatkov in v skupino Podeželje/okolje 2.997 podatkov. 18.052 podatkov je ostalo nerazvrščenih, saj jih zaradi nejasnosti v dnevniku ni bilo mogoče vključiti v nobeno izmed skupin.

3.1. Merilna negotovost

Merilni sistem SPY 121 je kompakten multifunkcijski merilni sistem namenjen epidemiološkim študijam ter ugotavljanju osebne izpostavljenosti električnim poljem v področju visokih frekvenc. 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 SPY 121 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	$\pm 0,3$
TV3	174	223	$\pm 2,5$
TV4&5	470	830	$\pm 1,1$
GSM RX	935	960	$\pm 1,0$
DCS RX	1805	1880	$\pm 1,6$
UMTS RX	2110	2170	$\pm 1,8$

Tabela 4: Merilna negotovost (z upoštevanim odstopanjem izotropnosti meritev) pridobljena s pomočjo primerjalne študije z 8 merilnimi sistemi SPY 121.

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

Dodatno smo izvedli primerjavo meritev izvedenih s SPY 121 z meritvami z dvema spektralnima analizatorjema. Prvi je spektralni analizator ANRITSU MS 2711 A št. 121081 s pripadajočo bikonično anteno Clampco Sistemi EMSAP2000 (75MHz – 2,5GHz) z merilno negotovostjo $\pm 3,5$ dB. Drugi je spektralni analizator NARDA SRM 3000 s pripadajočo anteno Narda A-0054 z merilno negotovostjo $\pm 1,7$ 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 SPY 121 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 SPY 121 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 SPY 121 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 SPY 121 odstopanja meritev ne presega predvidenih odstopanj.

Opazno je tudi, da so rezultati meritev merilnega sistema SPY 121 večinoma manjši od rezultatov, pridobljenih s spektralnim analizatorjem. Podobne raziskave, opravljene v Angliji (Mann et al, 2005), nakazujejo, da merilni sistem v primeru več virov v istem frekvenčnem območju podaja 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 so protifazni, se efektivna vrednost električnega polja lahko približuje vrednosti nič.

Tabela 6: Primerjava meritev s spektralnim analizatorjem NARDA SRM 3000.

Frekvenčno območje (MHz)		E_{NARDA} (V/m)	E_{EMESPY} (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 SPY 121 manjša od 0,05 V/m, razlike nismo izračunali

Glede na namen uporabe je primerjava vrednosti električnega polja, izmerjenih z merilnim sistemom SPY 121 ter s spektralnim 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 SPY 121 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 merilnega sistema, to je več kot 5 V/m. Nad zgornjo mejo občutljivosti merilnega sistema je bil tudi oddajni signal mobilne telefonije v sistemu DCS za skupine Podeželje/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 skupine Služba Mesto/Okolje in Podeželje/Okolje znašala približno 0,085 V/m, za ostale skupine pa približno 0,065 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 pa je izstopala povprečna vrednost za skupino Podeželje/Okolje, saj je znašala 0,15 V/m. Vrednost je bila nekoliko višja predvsem zaradi manjšega števila vzorčnih meritev v tej skupini in daljšega časa zadrževanja ene osebe v bližini

FM oddajnika. Vse maksimalne in povprečne vrednosti za vse skupine so podane v tabelah 7 do 11, vrednosti so podane v enotah V/m. Tabela 12 podaja maksimalne in povprečne sevalne obremenitve glede na uredbo 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	UMTSx	UMTSrx	WiFi
max	0,48	0,05	0,15	0,72	5,01	1,11	3,66	0,85	5,01	0,08	0,37	5,01
povp	0,0569	0,0500	0,0500	0,0515	0,0545	0,0587	0,0505	0,0507	0,0980	0,0500	0,0502	0,0523

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	UMTSx	UMTSrx	WiFi
max	0,34	0,06	0,36	0,08	5,01	0,94	5,01	0,29	5,01	0,27	0,43	5,01
povp	0,0567	0,0500	0,0500	0,0500	0,0587	0,0685	0,0549	0,0501	0,0682	0,0500	0,0511	0,0606

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

	FM	TV3	TETRA	TV45	GSMtx	GSMrx	DCStx	DCSrx	DECT	UMTSx	UMTSrx	WiFi
max	0,8	0,05	0,15	0,72	5,01	5,01	5,01	1	5,01	0,17	0,22	0,88
povp	0,0562	0,0500	0,0502	0,0590	0,0644	0,0771	0,0583	0,0518	0,0648	0,0502	0,0508	0,0524

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	UMTSx	UMTSrx	WiFi
max	0,8	0,22	0,15	0,41	5,01	1,8	5,01	0,81	4,71	0,76	0,58	1,4
povp	0,0524	0,0500	0,0501	0,0508	0,0785	0,0975	0,0578	0,0584	0,0544	0,0502	0,0530	0,0505

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	5,01	0,43	0,3	0,77	5,01	4,15	3,31	2,04	0,3	0,19	0,36	0,21
povp	0,1504	0,0506	0,0510	0,0543	0,1046	0,0852	0,0541	0,0545	0,0517	0,0502	0,0515	0,0502

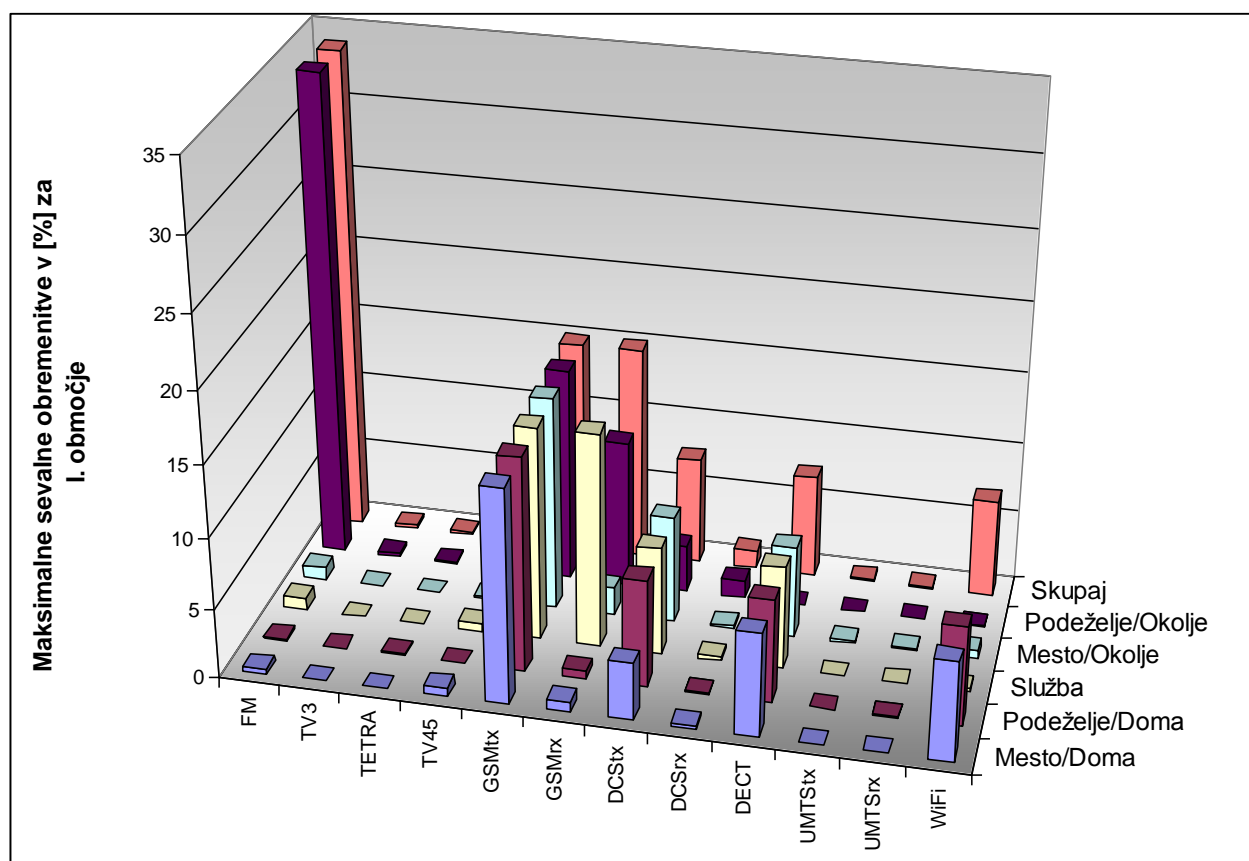
Tabela 12: Maksimalne in povprečne sevalne obremenitve za vseh pet področij izpostavljenosti izražene v odstotkih mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnih sevanjih za I. področje.

Področje izpostavljenosti	Maksimalne trenutne sevalne obremenitve [%]	Povprečne sevalne obremenitve [%]
Mesto/Doma	16,5923	0,0442
Podeželje/Doma	15,1323	0,0491
Služba	15,2662	0,0653
Mesto/Okolje	15,1444	0,0934
Podeželje/Okolje	34,7058	0,5260

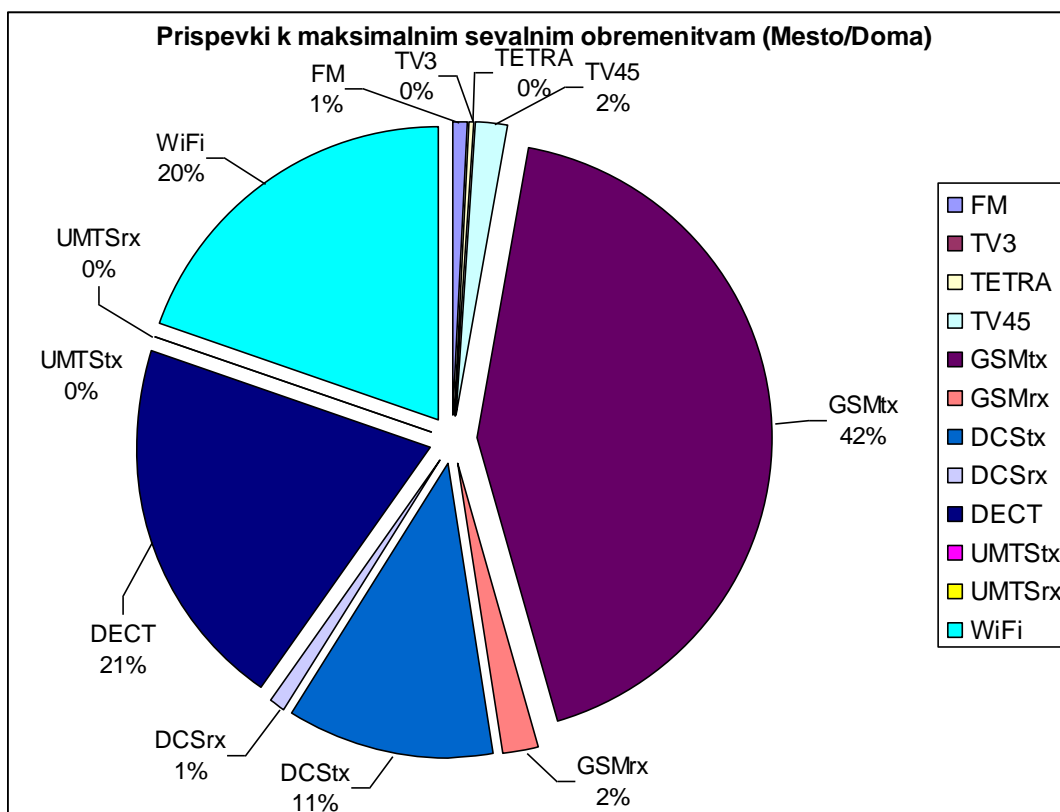
4.1 NAJVIŠJE TRENUTNE SEVALNE OBREMENTITVE

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 sistema GSM, kjer trenutne vrednosti dosežajo več kot 5 V/m ali več kot 15 odstotkov mejne vrednosti za I. območje uredbe o elektromagnetnem sevanju. Več kot 5 V/m ali več kot 7,5 odstotka mejne vrednosti doseže še oddajni signal mobilnih telefonov sistema DCS v skupinah Podeželje/Doma, Služba in Mesto/Okolje, signali brezžične hišne telefonije DECT v skupinah Mesto/Doma, Podeželje/Doma in Služba ter signali WiFi v skupinah Mesto/Doma in Podeželje Doma.

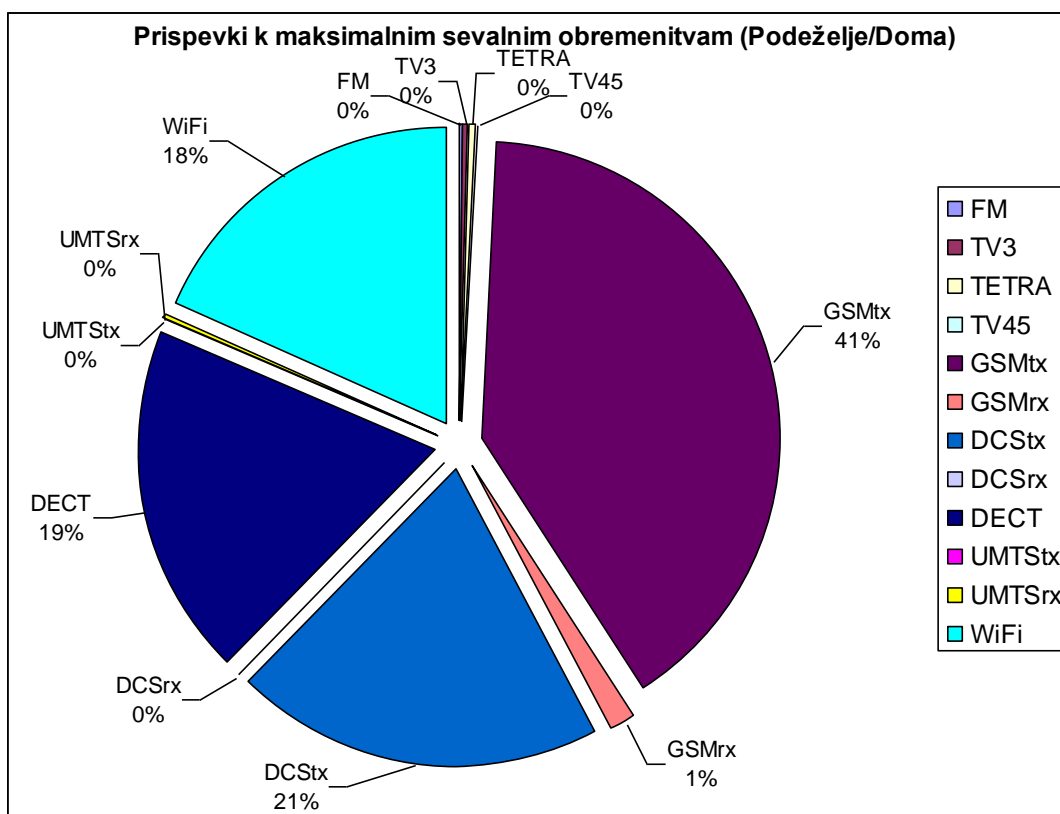
V skupini Podeželje/Okolje je maksimalna vrednost posledica oddajanja FM radia, ko trenutna vrednost doseže več kot 5 V/m ali več kot 33 odstotkov mejne vrednosti za I. območje. Več kot 5 V/m ali več kot 15 % mejne vrednosti so dosegli tudi signali baznih postaj v skupini Služba.



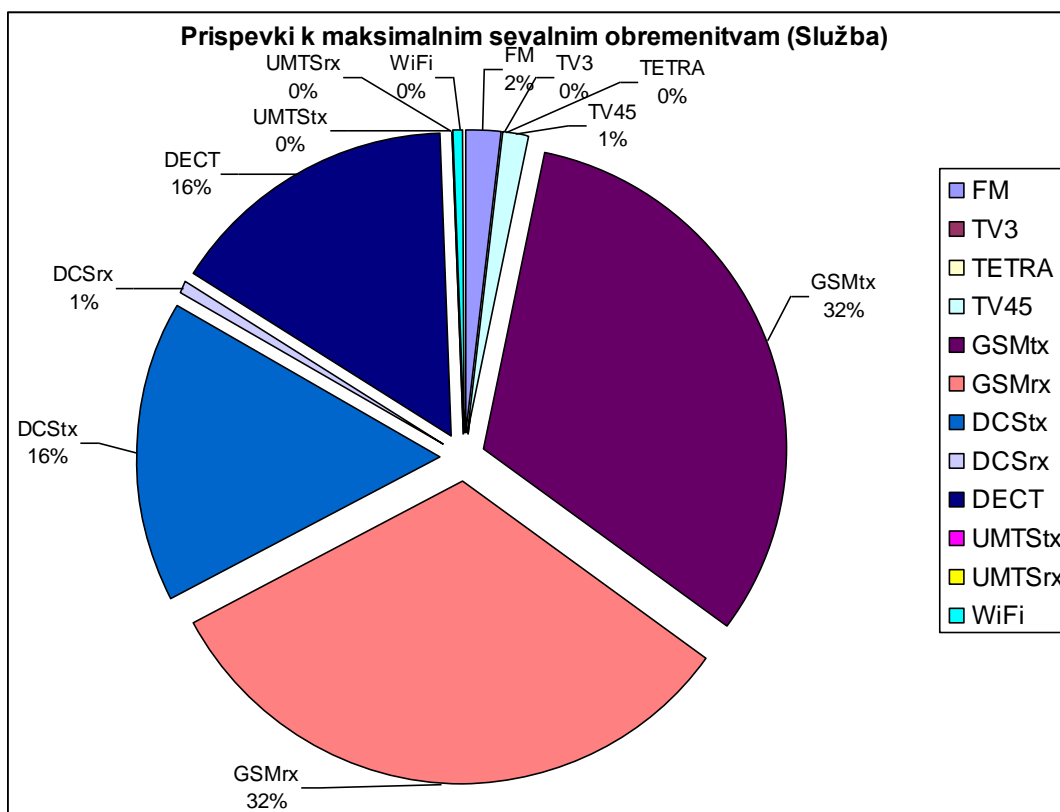
Slika 4: Maksimalne sevalne obremenitve za vseh pet področij izpostavljenosti. Vrednosti so v odstotkih mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju za I. območje.



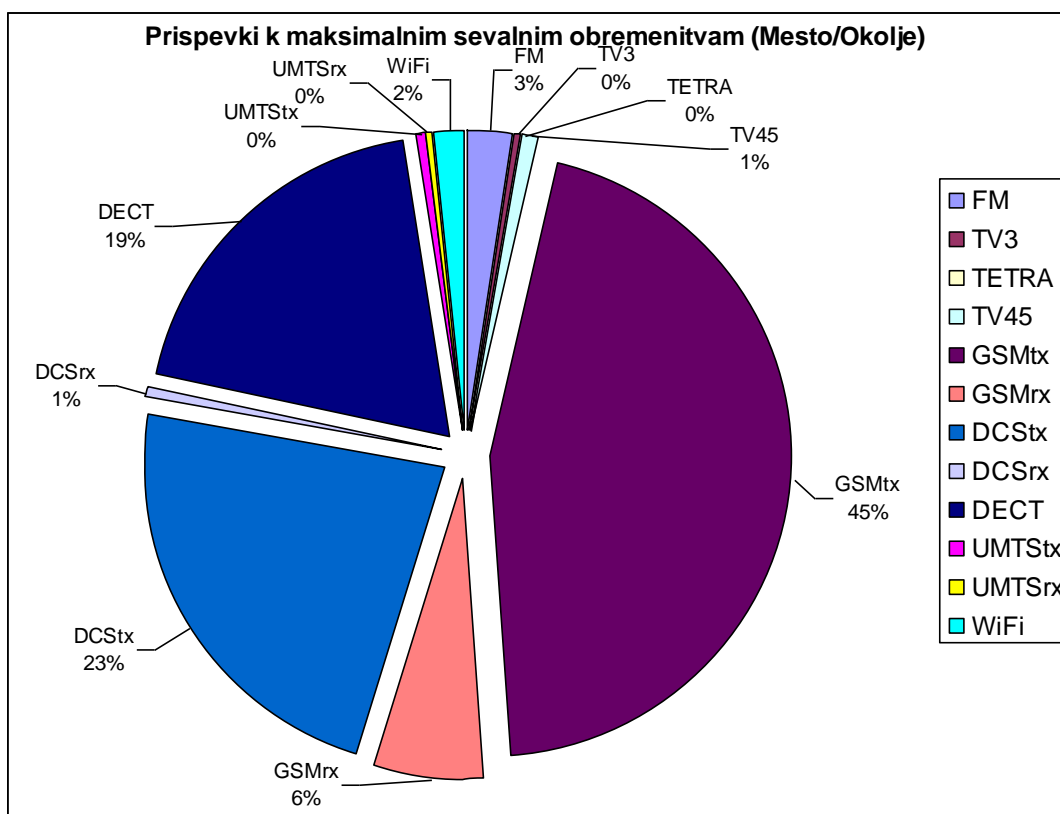
Slika 5: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Mesto/Doma.



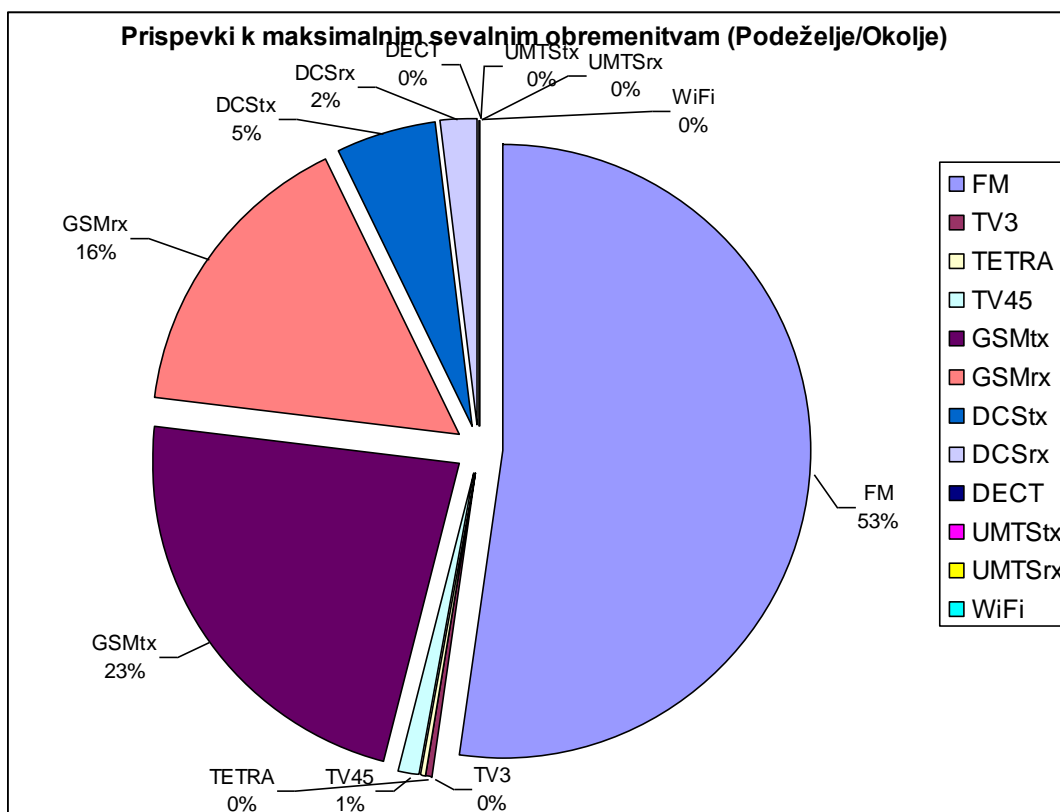
Slika 6: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Podeželje/Doma.



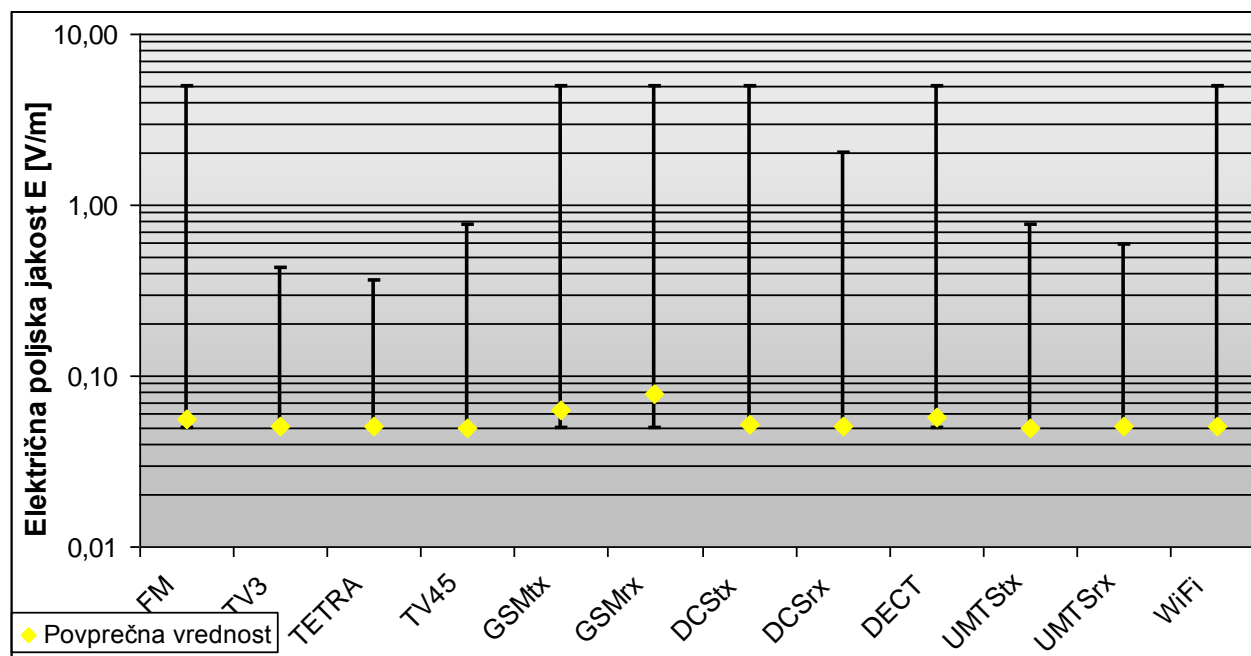
Slika 7: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim maksimalnim sevalnim obremenitvam za skupino Služba.



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.



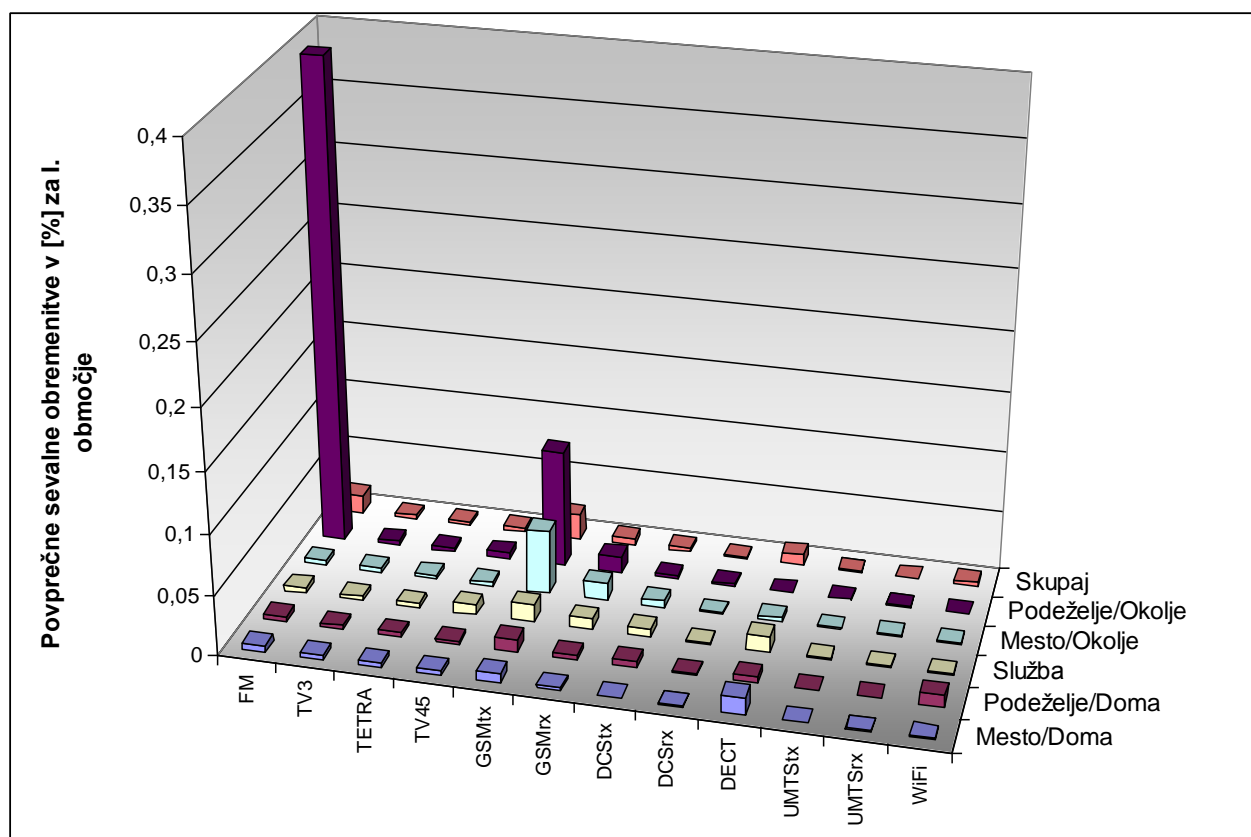
Slika 10: Povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti za vse skupine združene skupaj.

4.2 POVPREČNE SEVALNE OBREMITVE

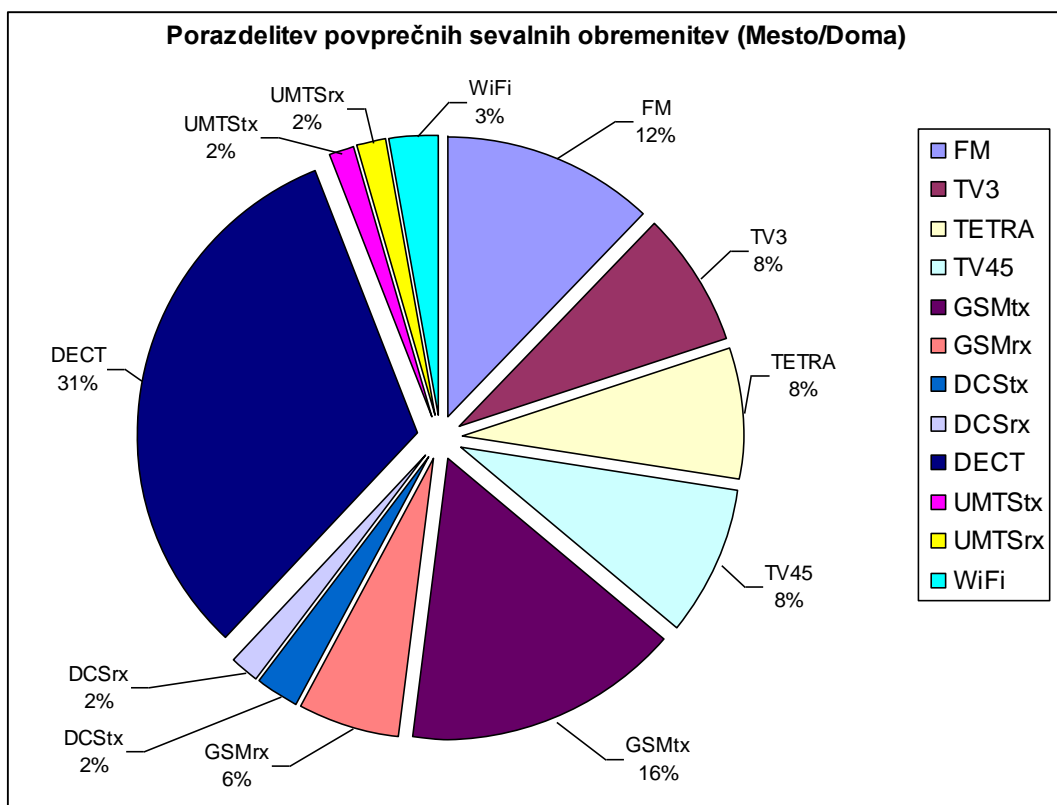
Iz slike 11 je razvidno, da so povprečne sevalne obremenitve majhne, saj ne dosegajo 0,4 odstotka mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju za I. območje. Z izjemo povprečnih sevalnih obremenitev FM radia v skupini Podeželje/Okolje največji delež k povprečnim sevalnim obremenitvam prispeva 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 12 do 16. Najpomembnejši vir so bazne postaje in mobilni telefoni GSM, ki prispevajo od 21 % (Podeželje/Okolje, Slika 16) do 71 % (Mesto/Okolje, slika 15) skupnih povprečnih sevalnih obremenitev. Bolj kot bazne postaje so pomembni mobilni telefoni, saj v vseh skupinah prispevajo večji delež (Mesto/Doma: mobilni telefon GSM 16 %, bazne postaje GSM 6 %; Podeželje/Doma: mobilni telefon GSM 20 %, bazne postaje GSM 8 %; Služba: mobilni telefon GSM 23 %, bazne postaje GSM 13 %; Mesto/Okolje: mobilni telefon GSM 56 %, bazne postaje GSM 15 %; Podeželje/Okolje: mobilni telefon GSM 18 %, bazne postaje GSM 3 %).

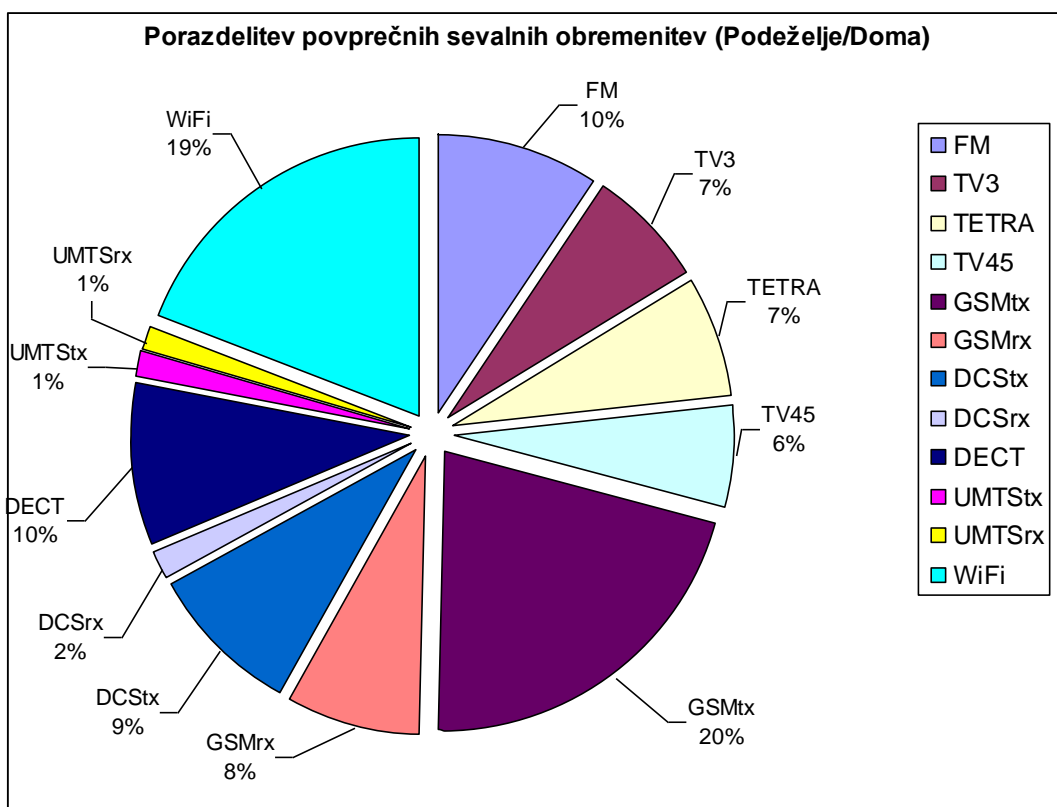
Presenetljivi so rezultati izpostavljenosti v skupini Podeželje/Okolje (Slika 16), ki izrazito odstopa od ostalih skupin, saj prevladuje izpostavljenost sevanjem FM oddajnikom (75 %). Glede na analizo dnevnikov izpostavljenosti prostovoljcev je bilo ugotovljenih več razlag: vzorec v tej skupini je bil sorazmerno majhen – le 2997 podatkov (približno 17 ur meritev) zaradi česar vzorec ni tako reprezentativen kot v ostalih skupinah. Na podeželju je gostota baznih postaj majhna zato se prostovoljci redkeje nahajajo v bližini baznih postaj kot v mestu. Eden izmed prostovoljcev pa se je dlje časa zadrževal v bližini RTV oddajnika.



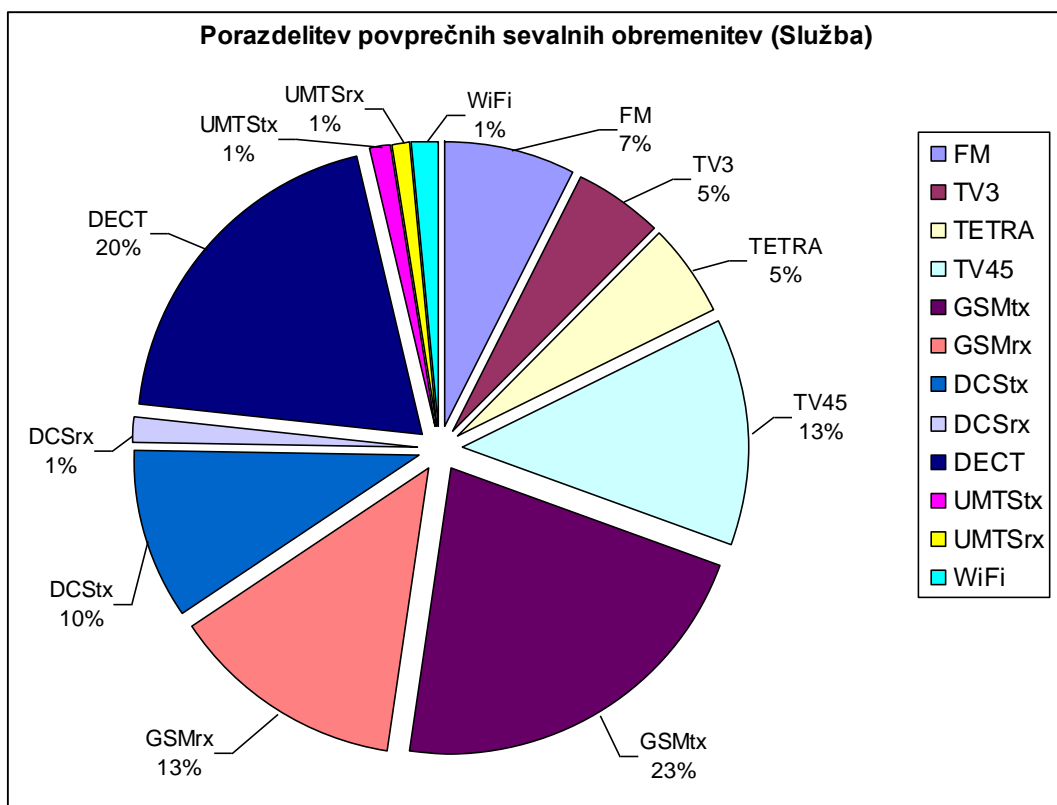
Slika 11: Povprečne sevalne obremenitve za vseh pet področij izpostavljenosti. Vrednosti so v odstotkih mejne vrednosti glede na uredbo o elektromagnetnem sevanju za I. področje.



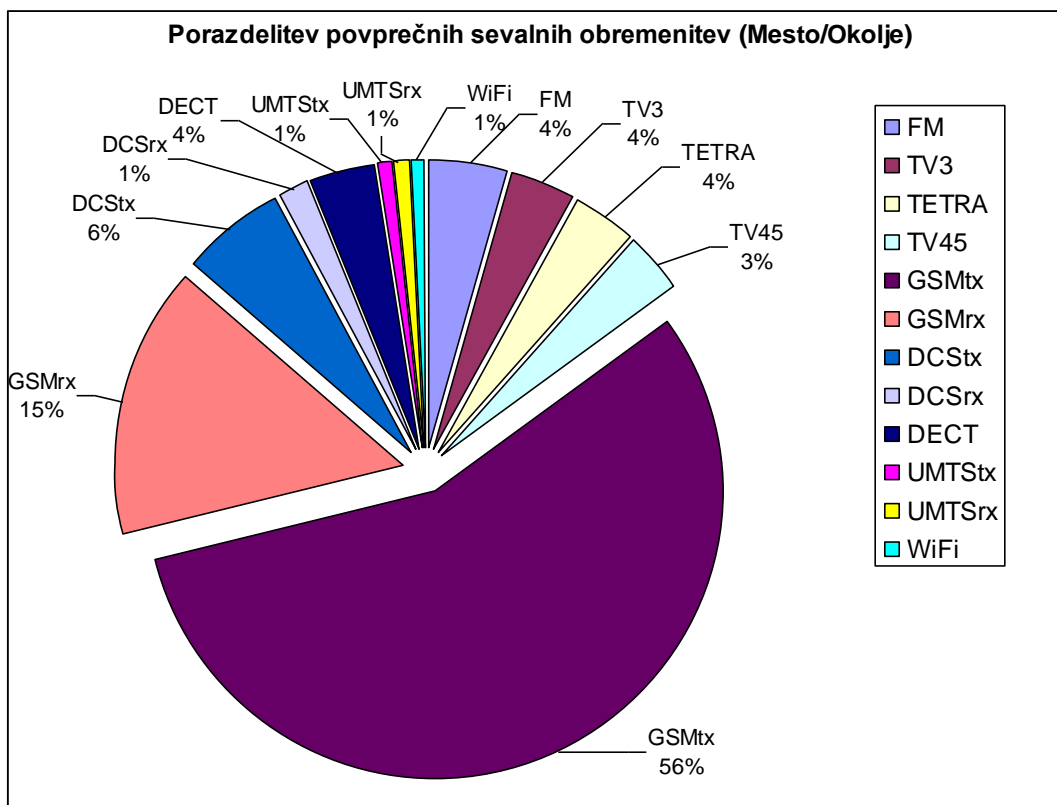
Slika 12: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za Mesto/Doma.



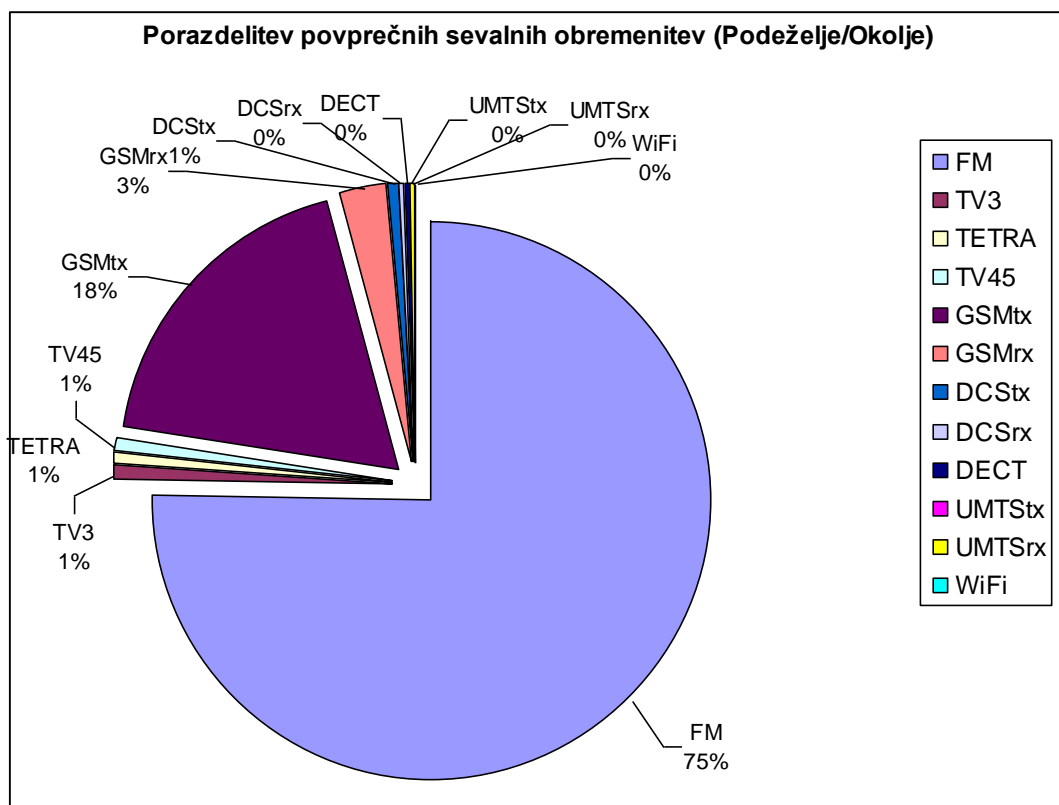
Slika 13: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za Podeželje/Doma.



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

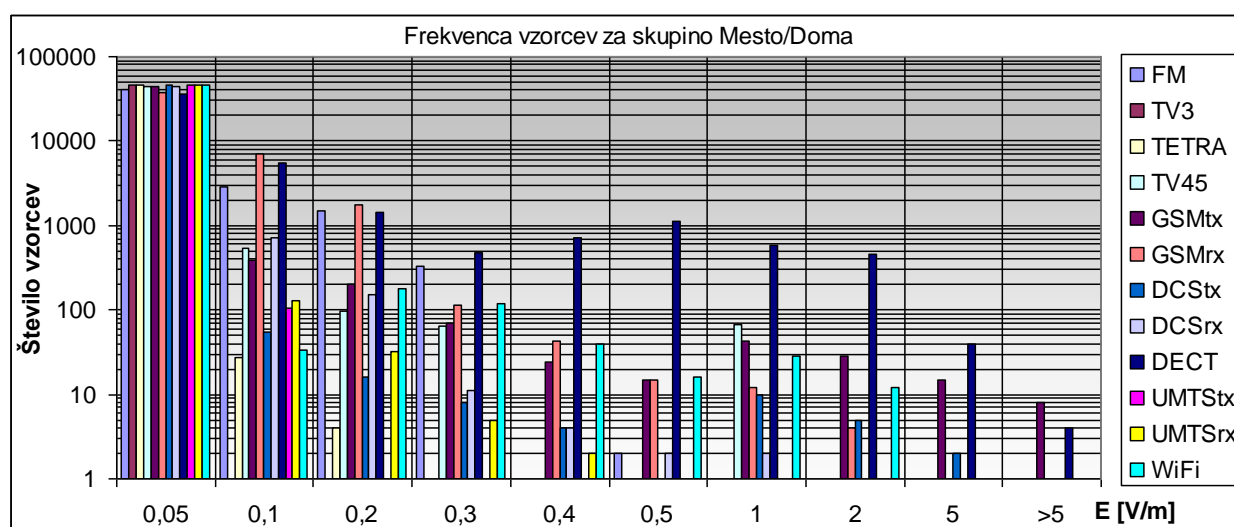


Slika 15: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za Mesto/Okolje.

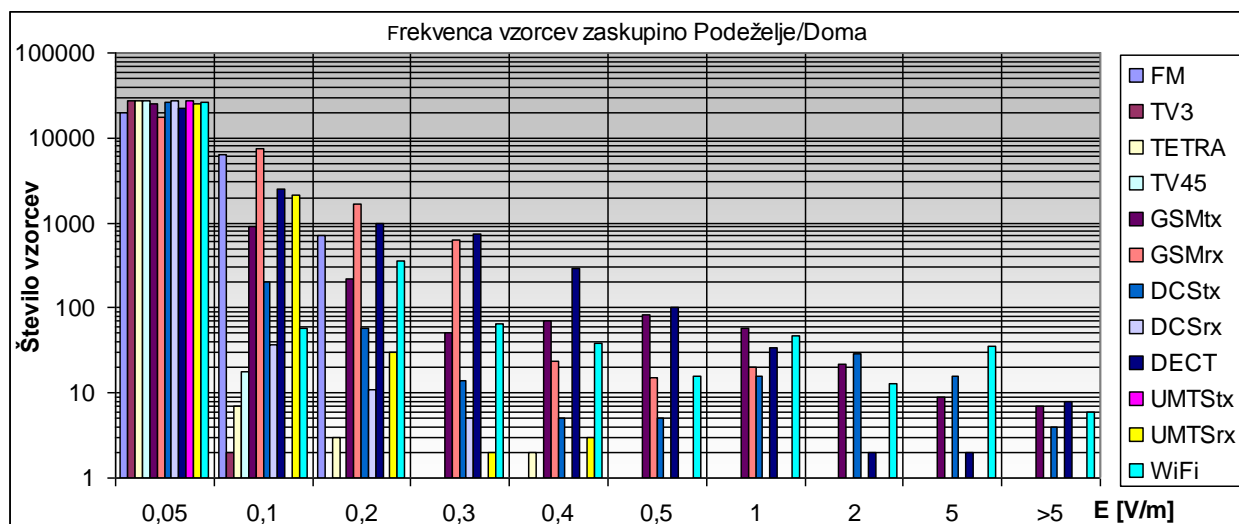


Slika 16: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnim povprečnim sevalnim obremenitvam za Podeželje/Okolje.

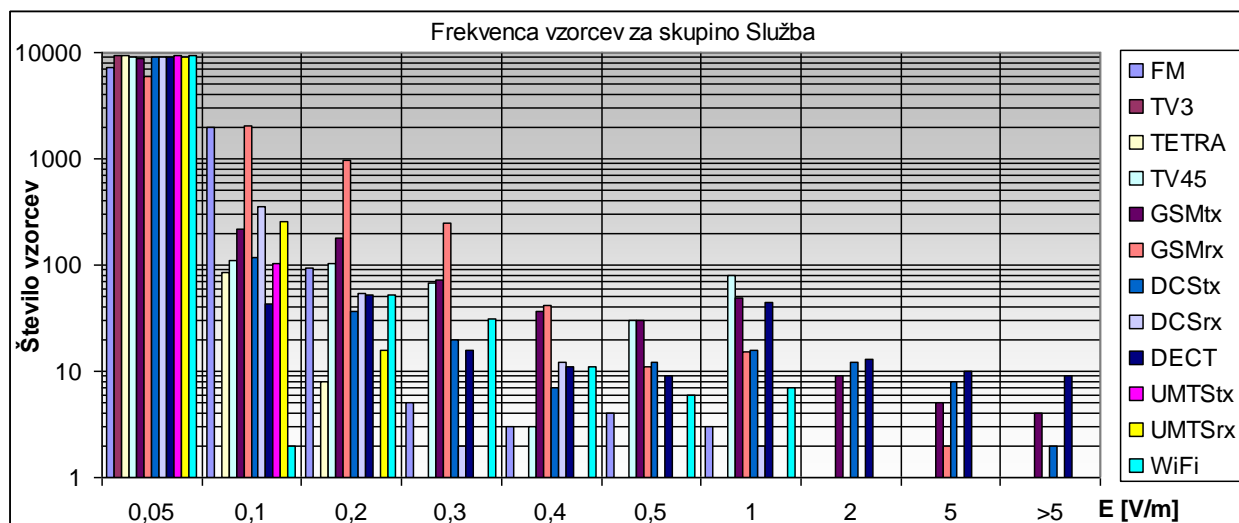
Slike 17 do 21 prikazujejo histogram vzorcev za različna okolja. Večino vzorcev ne glede na vrsto okolja pade v območje do 0,05 V/m.



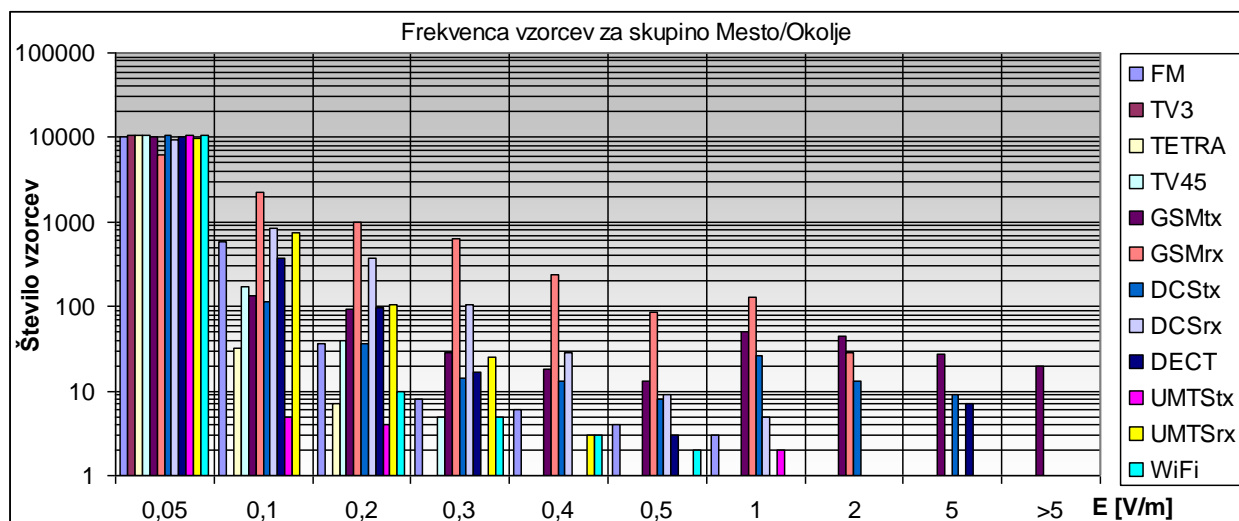
Slika 17: Histogram vzorcev za skupino Mesto/Doma.



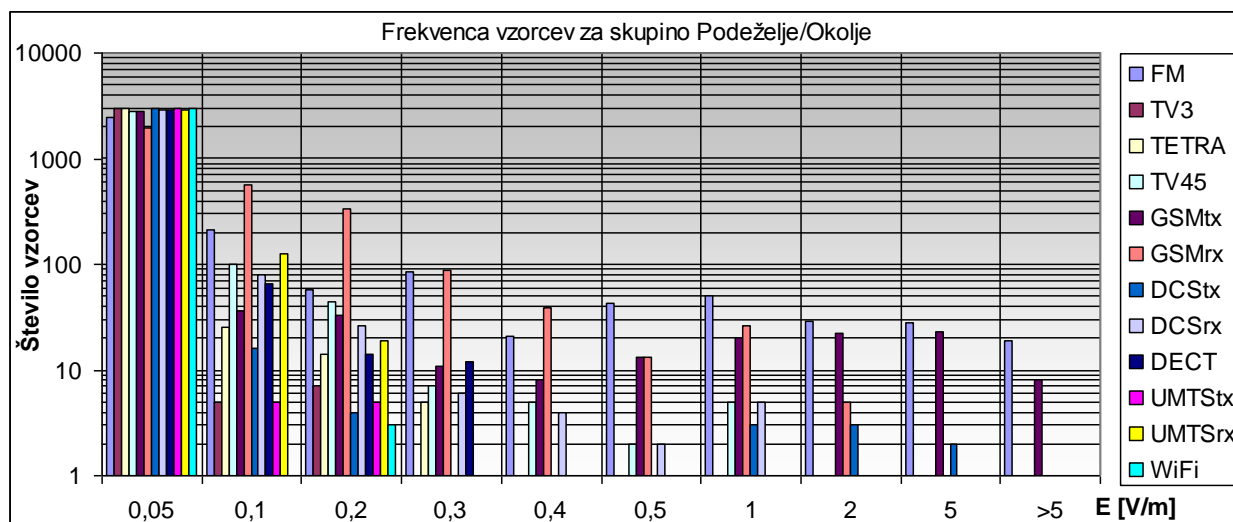
Slika 18: Histogram vzorcev za skupino Podoželje/Doma.



Slika 19: Histogram vzorcev za skupino Služba.



Slika 20: Histogram vzorcev za skupino Mesto/Okolje.



Slika 21: Histogram vzorcev za skupino Podeželje/Okolje.

4.3 ANALIZA VREDNOSTI SAR

Pri meritvah z instrumentom EME SPY, večina podatkov zavzame vrednosti pod nivojem detekcije instrumenta. Izvajanje statistike na takšnih podatkih je precej kompleksno. V tujini so se tega problema lotili s pomočjo algoritma za statistično obdelavo podatkov ROS (Regression on Order Statistics) napisanega za programski paket R (Helsel DR. 2005. In: Scott M, Barnett V, editors. *Nondetects and data analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.). Ugotovili so, da algoritem deluje dobro tudi v primerih, ko je nedetektiranih podatkov več kot 80 odstotkov. Zaradi dobrih rezultatov, ki jih je dala analiza z omenjenim algoritmom je bila takšna analiza uporabljena tudi v tem poročilu.

Pri uporabi algoritma je zaželeno, da je število vzorčnih podatkih čim večje, po možnosti večje od 3000. Algoritem je zasnovan tako, da se za vsako frekvenčno področje izračuna srednja vrednost stopnje specifične absorpcije – SAR za celo telo. SAR je enota, ki predstavlja merilo za količino absorbiranega visokofrekvenčnega EMS v telesu. SAR je možno določiti, če je poznano električno polje v biološkem organizmu in njegove dielektrične lastnosti. Za opisovanje bioloških vplivov se uporablja tako SAR za celo telo, kot tudi lokalizirana SAR. Lokalizirana SAR se uporablja predvsem zaradi neenakomerne porazdelitve energije v biološkem tkivu in lokalno povečane absorpcije energije v bližnjem polju vira sevanja. SAR v telesu je močno odvisna od frekvenca in polarizacije EMS. Pri visokih frekvencah je namreč zelo pomembna orientacija objekta glede na vpadni val, saj se telo obnaša kot antena in absorbira energijo odvisno od dimenzij telesa v primerjavi z valovno dolžino. S SAR je možno opisovati predvsem termične biološke učinke visokofrekvenčnih EMS. Uporablja se povprečni SAR prek 6-minutnega intervala, kolikor znaša časovna konstanta biološkega sistema. Mejna vrednost SAR za celo telo po priporočilih ICNIRP znaša 0,08 W/kg, mejna vrednost lokalizirane SAR pa 2 W/kg. Uporabljeni algoritem (Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Heredia MM, Martens L. 2008. Characterization of personal RF electromagnetic field exposure and actual absorption for the general public. *Health Phys* 95(3):317-30) izračuna vrednost SAR po formuli naslednje oblike:

$$SAR_{WB} = a \cdot E^b$$

kjer je:

SAR_{WB} - stopnja specifične absorpcije za celo telo [W/kg]

E - električno polje [V/m]

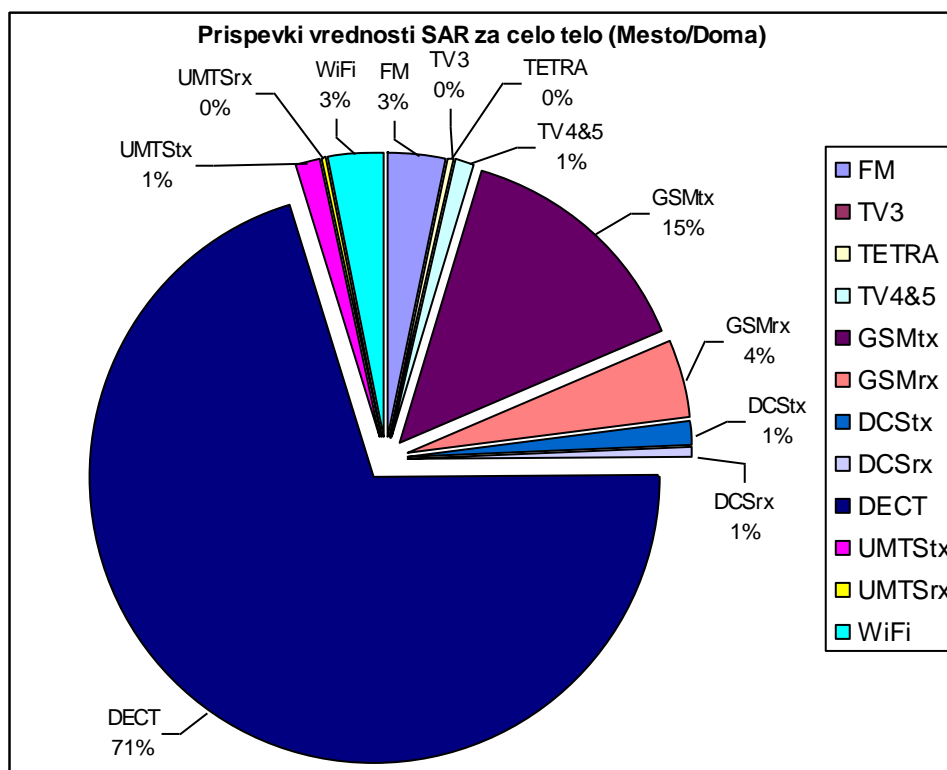
a - prilagoditveni parameter za različne intervale zaupanja ($a_{p05} = 4,71 \cdot 10^{-6}$, $a_{p50} = 8,63 \cdot 10^{-6}$, $a_{p95} = 3,07 \cdot 10^{-5}$, $a_{p95} = 7,39 \cdot 10^{-5}$)

b - prilagoditveni parameter ($b = 2$)

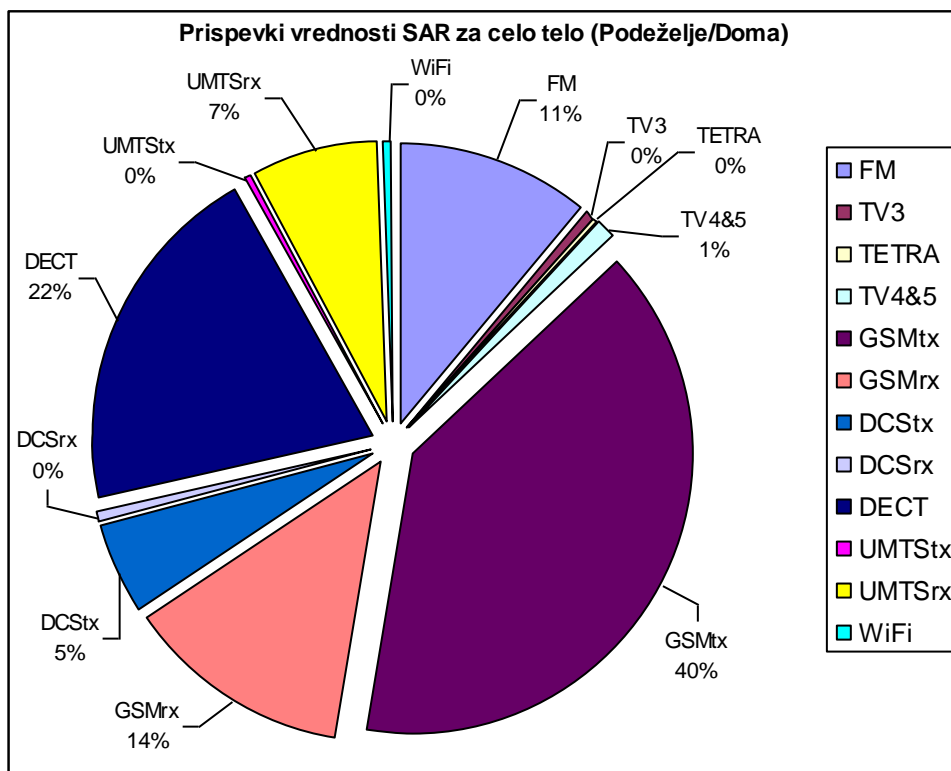
Izračunane vrednosti SAR za celo telo so za posamezne skupine podane v tabeli 13.

Tabela 13: Vrednosti SAR [W/kg] za celo telo glede na različne skupine in frekvenčna območja.

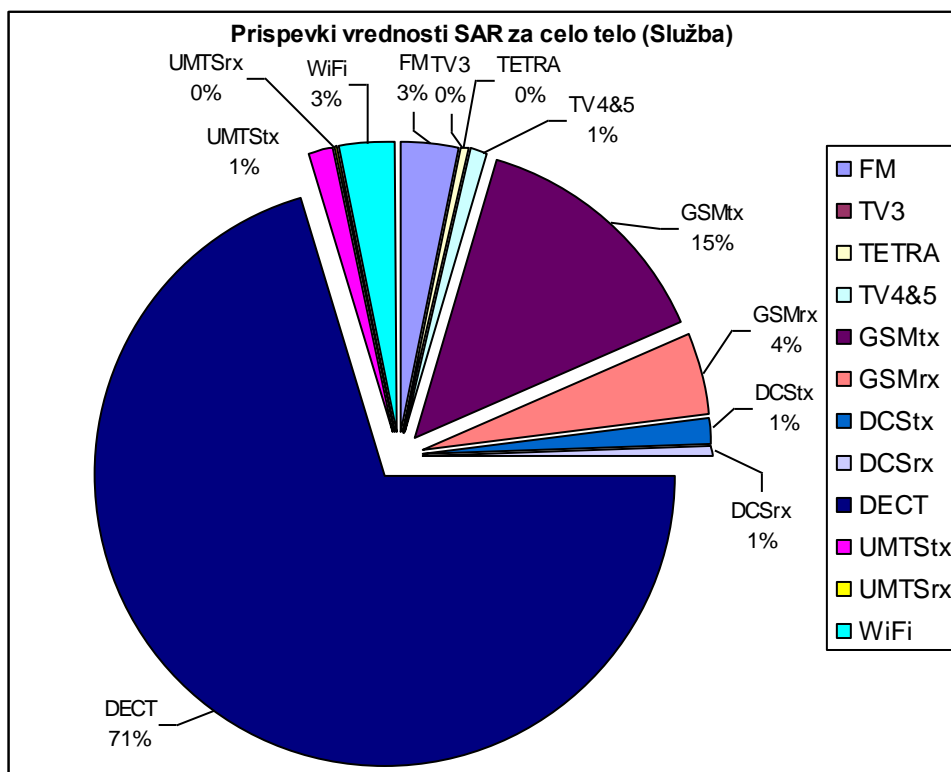
	Dom/Mesto	Dom/Podeželje	Mesto	Podeželje	Služba
FM	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$6,9 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$
TV3	$6,6 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-8}$
TETRA	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$8,3 \cdot 10^{-7}$
TV4&5	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
GSMtx	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$
GSMrx	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$
DCStx	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$
DCSrx	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
DECT	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
UMTStx	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$
UMTSrx	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
WiFi	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$
Total	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$



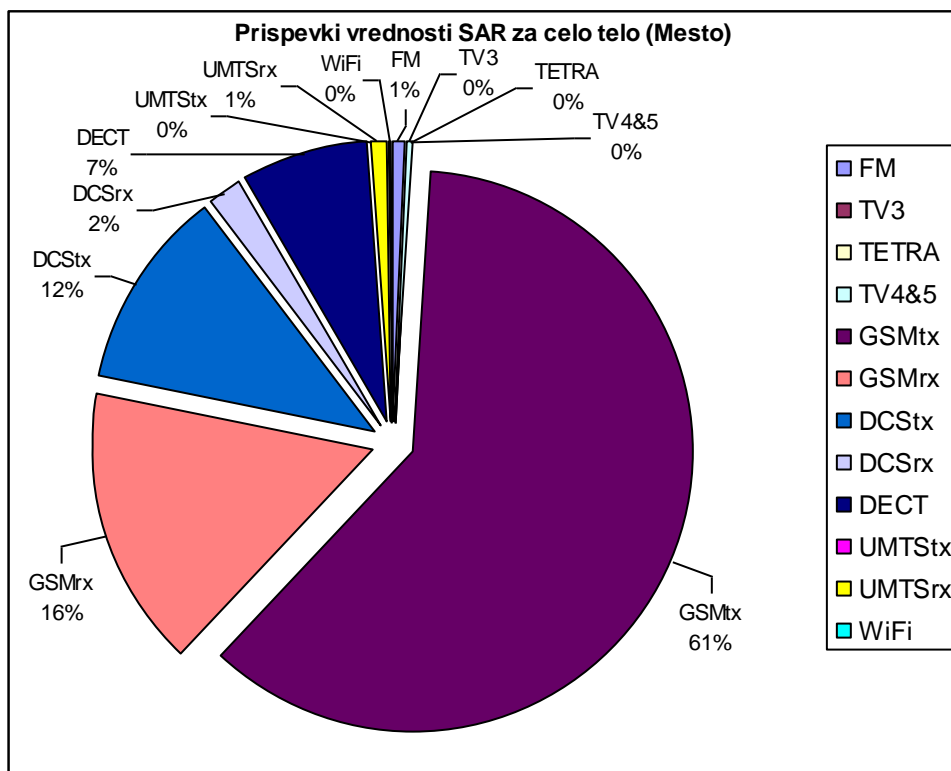
Slika 22: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnemu SAR za celo telo za skupino Mesto/Doma.



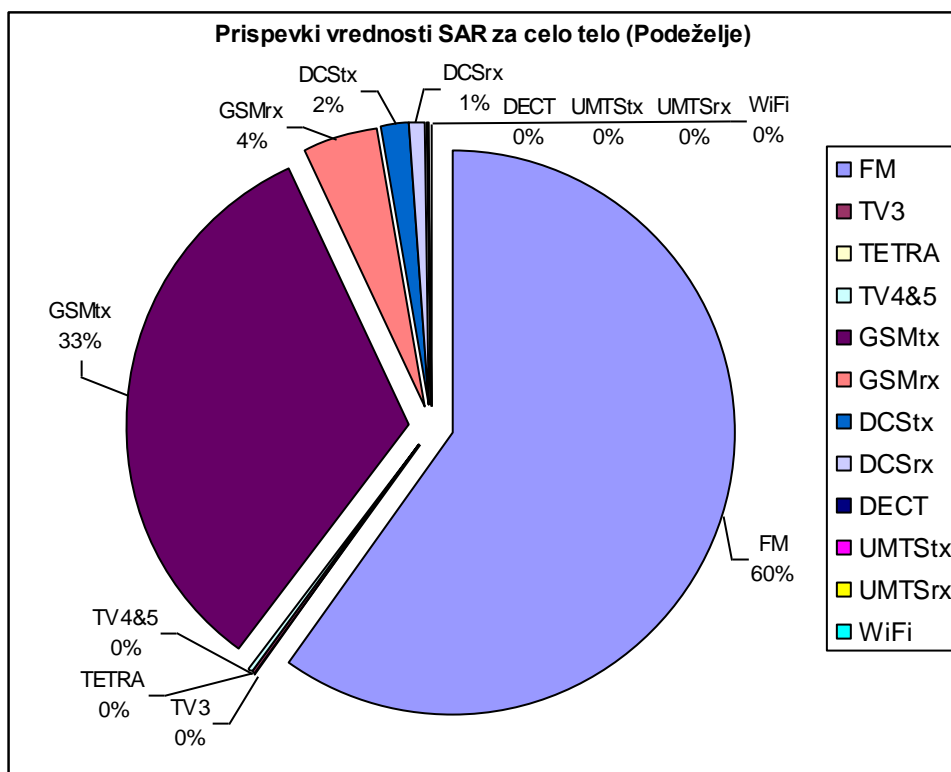
Slika 23: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnemu SAR za celo telo za skupino Podeželje/Doma.



Slika 24: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnemu SAR za celo telo za skupino Služba.



Slika 25: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnemu SAR za celo telo za skupino Mesto.



Slika 26: Posamezni prispevki iz različnih frekvenčnih področij k skupnemu SAR za celo telo za skupino Podeželje.

5 Zaključek

Meritve osebne izpostavljenosti EMS smo izvedli na 18 prostovoljcih, ki so ob sebi 36 ur nosili SPY 121 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 v letu 2009 so:

- Iz rezultatov meritev osebne izpostavljenosti lahko v splošnem za vseh pet področij izpostavljenosti (tabela 12) zaključimo, da je celotna izpostavljenost prebivalstva EMS v vseh primerih nizka.
- Najvišje povprečne vrednosti so bile prisotne v skupini Podeželje/Okolje (0,39 % dovoljene mejne vrednosti).
- Najvišje trenutne sevalne obremenitve kot posledica delovanja vseh virov skupaj so bile prisotne v skupini Podeželje/Okolje (35 % dovoljene mejne vrednosti). V ostalih skupinah so najvišje trenutne sevalne obremenitve znašale približno 15 % dovoljene mejne vrednosti.
- Maksimalnim trenutnim sevalnim obremenitvam so uporabniki v večini primerov izpostavljeni zaradi uporabe mobilnega telefona ali brezžičnega telefona sistema DECT.
- Glavni prispevek k povprečnim sevalnim obremenitvam ravno tako v večini primerov predstavlja uporaba mobilnega telefona, ki predstavlja od 19 % do 63 % vseh povprečnih sevalnih obremenitev, medtem ko bazne postaje mobilne telefonije predstavljajo od 3 % do 17 % vseh povprečnih sevalnih obremenitev. Med sevalnimi obremenitvami zaradi mobilnega telefona najbolj dominira prispevek v sistemu GSM in sicer od 16 % do 56 %, v sistemu DCS od 1 % do 10 % ter v sistemu UMTS manj kot 2 %.
- Vrednosti SAR za celo so bile precej pod dovoljeno mejo in so znašale največ 1,6 % dovoljene mejne vrednosti.
- 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.
- Tako k maksimalnim kot tudi k povprečnim sevalnim obremenitvam največ prispevajo tiste naprave, ki se med uporabo nahajajo v neposredni bližini telesa 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 podeželju izpostavljenost manjša kot v mestih. Vendar to ne velja za mobilne telefone, saj je na podeželju izpostavljenost tem v sistemu GSM večja kot drugje, saj so bazne postaje namreč bolj redko umeščene v prostor kot v mestih in tako je za prenos signala potrebna večja oddajna moč telefona.
- V posameznih primerih, ko je v bližini uporabnika prisoten radijski ali televizijski oddajnik je izpostavljenost temu lahko večja od izpostavljenosti zaradi ostalih virov.
- Izpostavljenost prostovoljcev je bila večino časa pod spodnjo mejo 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
4. Programski paket R (<http://cran.r-project.org>)
5. Helsel DR. 2005. In: Scott M, Barnett V, editors. Nondetects and data analysis. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
6. Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Heredia MM, Martens L. 2008. Characterization of personal RF electromagnetic field exposure and actual absorption for the general public. Health Phys 95(3):317-30.