

POROČILO PROJEKTA (zveza: 808-00-37/2004):

**RAZISKAVA ELEKTROMAGNETNEGA SEVANJA RADIJSKIH
TELEKOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV IN POSTOPKI ČLOVEKA PRI
RAVNANJU S TEMI NAPRAVAMI**

KAZALO

PRVO POROČILO

obsega:

- Pregled standardov in ostalih predpisov s področja bioloških učinkov na človeka 1
- Stanje v EU in zvezi NATO 1

DRUGO POROČILO

obsega:

- Zakonska in tehnična regulativa za področje neionizirnih sevanj 6
- Pregled radijskih telekomunikacijskih sistemov in naprav - literatura 14
- Vpliv teh naprav na človeka - literatura 22
- Eksperimenti in bližnja merjenja v laboratoriju 28

TRETJE POROČILO

obsega:

- Mejne vrednosti elektromagnetnih sevanj za VF vire sevanja 30
- Preventivni ukrepi za zmanjšanje vpliva elektromagnetnih sevanj 37
- Pravilna uporaba ročne radijske postaje Motorola GP 900 38

ČETRTO POROČILO

obsega:

- Tabelarni pregled meritev 43

**PRVO POROČILO ZA PROJEKT
RAZISKAVA ELEKTROMAGNETNEGA SEVANJA RADIJSKIH TELEKOMUNIKACIJSKIH
SISTEMOV IN POSTOPKI ČLOVEKA PRI RAVNANJU S TEMI NAPRAVAMI**

Obsega

- Pregled standardov in ostalih predpisov s področja bioloških učinkov na človeka,
- Stanje v EU in zvezi NATO.

**PREGLED STANDARDOV IN OSTALIH PREDPISOV S PODROČJA BIOLOŠKIH
UČINKOV NA ČLOVEKA**

POVZETEK

Pregled domačih in tujih standardov.

Republika Slovenija

1 Zakoni

- Zakon o varnosti in zdravju pri delu, Uradni list RS, št. 56, 1999

2 Uredbe, predpisi

- Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, Uradni list RS, št. 70, 1996
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja ter o pogojih za njegovo izvajanje, Uradni list RS, št. 70, 1996
- Pravilnik o vrstah amaterskih radijskih postaj in tehničnih pogojih za njihovo uporabo, Uradni list RS, št. 41, 1998

3 Standardi

- SIST ENV 50166-1, Human exposure to electromagnetic fields- Low frequency (0 Hz to 10 kHz)
- SIST ENV 50166-2 Human exposure to electromagnetic fields- High frequency (10 kHz to 300 GHz)

Evropska skupnost

1 Direktive

- The Electromagnetic Compatibility Directive 89/336/EEC)

2 Standardi

- ENV 50166-1, Human exposure to electromagnetic fields- Low frequency (0 Hz to 10 kHz)
- ENV 50166-2, Human exposure to electromagnetic fields- High frequency (10 kHz to 300 GHz)

STANJE V EU IN ZVEZI NATO NA TEM PODROČJU

1 Standardi

- IEC 62226-1, Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range- Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body-Part 1: General
- IEC 62226-2-1 Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range- Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body-Part 2-1: Exposure to magnetic fields-2D models
- IEC 62369-1, Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from Short Range Devices (SRDs) in various applications over the frequency range 0-300GHz. Part 1: Fields produced by devices for Electronic Article Surveillance, Radio Frequency Identification and similar systems.

- IEC 62369-2, Assessment of human exposure to electromagnetic fields in the frequency range 0-300 GHz- Part 2: Fields produced by devices used for Alarms; Alert; Asset tracking, monitoring and protection; Detection; Security; Telecommand and control; Telemetry and similar Short Range and/or Low Power Radio Devices.
- IEC 60657, Non- ionizing radiation hazards in the frequency range from 10 MHz to 300000 MHz
- IEC 80825, Safety of laser products, 2000.
- ANSI/IEEE/ASA/ standardi -John M. Osepchuk and Ronald C. Petersen, Historical review of RF exposure standards and the International committee on electromagnetic safety (ICES), Bioelectromagnetics supplement, Wiley-Liss Inc., 6:S7-S16, 2003.
- IEEE C95.1-1991 (3kHz – 300GHz).
- IEEE C95.6-2002 (3kHz – 300GHz).

2 Dokumenti svetovne zdravstvene organizacije WHO

- Environmentla health criteria 137, Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz), World Health Organization, Geneve, 1993.
- WHO, Electromagnetic fields and public health, Health Effects of Radiofrequency field, Fact sheet N183.
- WHO, Electromagnetic fields and public health, Radars and Human health, Fact sheet N226.

Ostali domači viri:

Ministrstvo za okolje, prostor in energijo

- [Agencija Republike Slovenije za okolje](#)
Agencija RS za okolje vodi na področju elektromagnetnih sevanj naslednje postopke:
 - izdaja pooblastila za izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa skladno s Pravilnikom o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja ter pogojev za njegovo izvajanje
 - vodi seznam pooblaščenecv za izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa za vire elektromagnetnega sevanja
 - zbira in obdeluje poročila o prvih meritvah in obratovalnih monitoringih za vire elektromagnetnih sevanj (Poročilo o stanju okolja 2002)

Gajšek P.: Poročilo o stanju okolja v Sloveniji – področje sevanja

Agencija za pošto in elektronske komunikacije RS

Agencija za pošto in elektronske komunikacije RS je neodvisna organizacija, ki opravlja skladno z:

- zakonom o telekomunikacijah (Uradni list RS, št. 30/01) določene naloge, ki zagotavljajo delovanje in razvoj telekomunikacij in telekomunikacijskega trga ter učinkovito in nemoteno uporabo radiofrekvenčnega spektra;
- zakonom o medijih (Uradni list RS, št. 35/01) določene naloge urejanja in nadzora radijske in televizijske dejavnosti;
- zakonom o elektronskem poslovanju in elektronskem podpisu (Uradni list RS, št. 57/00) določene naloge akreditacijskega organa.

Inštitut za neionizirana sevanja

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

Inštitut za neionizirna sevanja ima naslednja pooblastila:

- Pooblastilo za izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa za vire elektromagnetnega sevanja
- Pooblastilo za izdelavo izdelavo presoj vplivov na okolje zaradi obremenjevanja z emisijami elektromagnetnih sevanj

Mobilni operaterji v Sloveniji

- Mobitel
 - brošura: Ali elektromagnetna sevanja mobilnih telefonov in baznih postaj vplivajo na naše zdravje?
- Simobil, Debitel, Vodafone
 - brošura o baznih postajah

Fakultete

- Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo - nič uporabnega
- Fakulteta za farmacijo - nič uporabnega
- Fakulteta za elektrotehniko Ljubljana - Laboratorij za Sevanje in Optiko
- Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru
 - Laboratorij za aplikativno elektromagnetiko
 - dr. Božidar Hribernik univ.dipl.inž.el.
 - dr. Mladen Trlep univ.dipl.inž.el.

Knjižnice

- **Centralna Medicinska knjižnica Ljubljana**
 - Papuga Petar, Metodologija epidemioloških raziskav o vplivu neioniziranih sevanj na ljudi, magistrska naloga, Ljubljana 1997.
- **Centralna Tehniška knjižnica**
 - Cestnik Breda, Nizkofrekvenčna elektromagnetna polja ter njihov vpliv na človeka, Elgo, ISSN C500-0475, št. 5, 1991.
- **Knjižnica FE Ljubljana**
 - Gajšek P., Miklavčič D., Vpliv neioniziranih elektromagnetnih sevanj na biološke sisteme., Učbenik-1. izd. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko., 210 str. 1999.
 - Cestnik Breda: Nizkofrekvenčna elektromagnetna polja ter njihov vpliv na človeka.
- **Knjižnica FERI Maribor**
 - Vidakovič Mile, Neionizirana elektromagnetna sevanja in vplivi na človeka, diplomska naloga univerzitetnega študijskega programa, Maribor, 2000.
 - Križmarič Miljenko, Neionizirana sevanja in njihov vpliv na biološke sisteme, diplomsko delo visokošolskega študija, Maribor, 1997.
- **Univerzitetna knjižnica Maribor:**
 - Jeglič Anton, Kundič Milan, Gajšek Peter, Strokovni seminar o neioniziranih sevanjih, Ljubljana, maj 1993.
 - Gajšek Peter, Parametric dependence of specific absorption rate (SAR) on permittivity of different biological tissues : doctoral thesis, Ljubljana 2001.
 - Gajšek Peter, Elektromagnetna sevanja: strokovni seminar, Ljubljana, september 1994.
 - Peter Gajšek, Miklavčič Damijan, Mednarodni seminar o elektromagnetnih sevanjih, Ljubljana 1997.
 - Gajšek Peter, Elektromagnetna sevanja in zdravje: mobilni telefoni in njihove bazne postaje, Ljubljana, Mobitel, 1999.
 - Garvas Franc, Sevanje in zaščita pred sevanjem, Ljubljana, Inštitut Prevent, 1995.
 - IEEE Spectrum - Foster K. J. and Moulder J. E., Are mobile phones safe?. IEEE Spectrum, August 2000.
- **Ostale knjižnice**
 - Jerman Igor in ostali, Neionizirana sevanja in organizmi: zaključno poročilo o rezultatih opravljenega znanstveno-raziskovalnega dela napodročju temeljnega

raziskovanja, BION, Inštitut za bioelektromagnetiko in novo biologijo, Ljubljana 1997.

- Bratanič Jasna, Merjenje bioloških vplivov neionizirnih sevanj, magistrska naloga, Ljubljana 1994.
- Gajšek Peter, Neionizirna elektromagnetna sevanja, Strokovni seminar o varstvu in zdravju pri delu, Ljubljana 1998.
- Fefer Dušan, Meritve neionizirnega sevanja, Neionizirna in ionizirna sevanja, Radon v delovnem in bivalnem okolju, EKOsistem, Maribor 1994.
- Podboj Matjaž, Ocena učinkov neionizirnega sevanja mobilnih sistemov, diplomska naloga, Ljubljana 1996.
- Fefer Dušan, Neionizirna sevanja, standardi in meritve, Strokovni seminar o neionizirnih sevanjih, Ljubljana, 12. maj 1993.

SiQ

- Oddelek za elektromagnetna sevanja – zelo kratek html dokument

Zavod za varstvo pri delu

- »Laboratorij za neionizirajoča sevanja«, kjer se nahajajo le osnovni podatki o laboratoriju – nič uporabnega

Ostali mednarodni viri: baze podatkov dostopne preko interneta

- **Web of Science & Science Indicators**

Servis Web of Science (WoS) omogoča dostop do treh baz podatkov z indeksi citiranosti: Science Citation Index Expanded®, Social Sciences Citation Index® in Arts & Humanities Citation Index®. Vključeni so podatki za obdobje od leta 1970 dalje, baze podatkov pa se dopolnjujejo tedensko.

ISI Science Indicators je online dostopna baza podatkov, ki vsebuje zbirne statistične podatke o citiranosti in publikacijah od leta 1981 do leta 2002 in odraža dosežke na področju znanosti in raziskav v več kot 170 državah.

- **ProQuest**

Servis ProQuest (ProQuest online information service) omogoča ločeno ali istočasno iskanje po bazah podatkov ABI/INFORM Global, ProQuest Computing, Proquest Telecommunications, ProQuest Social Science Journals in Wilson Social Sciences Abstracts. Polna besedila člankov so dostopna od leta 1971.

Ločeno je omogočeno tudi iskanje po bazi podatkov ProQuest Digital Dissertations. Zapisi vsebujejo povzetke iz disertacij, ki so izšle leta 1980 ali kasneje, pri magistrskih nalogah pa najdemo povzetke za obdobje po letu 1988.

- **OCLC FirstSearch Electronic Collections Online**

Baza podatkov Electronic Collections Online (ECO) vsebuje polna besedila člankov, ki jih dostopamo s pomočjo servisa OCLC FirstSearch.

- **EIFL Direct**

Projekt EIFL Direct (Electronic Information for Libraries Direct) je nastal kot skupni projekt ustanov Zavoda za Odprto družbo (del omrežja Soroševih skladov) in EBSCO Publishing, ki je eden največjih dobaviteljev elektronskih in tiskanih strokovnih in znanstvenih revij na svetu.

Prek projekta EIFL Direct so dostopne naslednje baze podatkov s polnimi besedili: Academic Search Premier, Business Source Premier, MasterFILE Premier, Regional Business News, Newspaper Source, Health Source: Nursing/Academic Edition, MEDLINE, ERIC, Health Source: Consumer Edition, Clinical Pharmacology, Communication & Mass Media Complete, American Humanities Index.

- **ScienceDirect**

Online informacijski servis ScienceDirect® omogoča dostop do polnih besedil člankov iz serijskih publikacij založbe Elsevier Science in nekaterih drugih založb.

- **Engineering Village 2**

Engineering Village 2 je vmesnik za bazo podatkov Ei Compendex, poleg tega pa vsebuje tudi povezave do relevantnih spletnih mest (Website Abstracts), do novic s področja industrije, industrijskih standardov in specifikacij (The US Patent and Trademark Office) ter sorodnih online baz podatkov.

pod Ei Compendex je najbolj obširna interdisciplinarna tehnična baza podatkov na svetu z več kot 3 milijoni povzetkov člankov iz znanstvenih revij, tehničnih poročil in predavanj ter prispevkov s konferenc v elektronski obliki od 1970 dalje. V bazi atkov Compendex najdemo 5,9 milijonov referenc iz 5000 mednarodnih znanstvenih revij in prispevkov s konferenc.

- **Kluwer Academic Publishers**

Dostopna so polna besedila člankov od leta 1997 (skupaj cca. 650 revij).

- **SpringerLink**

Dostop do 481 revij založbe Springer v polnem besedilu.

- **Emerald Fulltext**

Emerald vsebuje polna besedila člankov revij založbe MCB University Press od leta 1994 dalje in abstrakte teh revij od leta 1989 dalje. Obsega približno 120 revij predvsem s področja managementa, tehnike, ekologije in izobraževanja.

- **DOAJ**

LUND University Library (Švedska) ponuja prost dostop do "DOAJ - Directory of Open Access Journals.

DRUGO POROČILO ZA PROJEKT

RAZISKAVA ELEKTROMAGNETNEGA SEVANJA RADIJSKIH TELEKOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV IN POSTOPKI ČLOVEKA PRI RAVNANJU S TEMI NAPRAVAMI

Obsega

- Zakonska in tehnična regulativa za področje neionizirnih sevanj
- Pregled radijskih telekomunikacijskih sistemov in naprav - literatura
- Vpliv teh naprav na človeka – literatura
- Experimenti in bližnja merjenja v laboratoriju

POVZETEK

Poročilo predstavlja nadaljevanje prvega projektnega poročila in obsega uvodno poglavje v katerem je predstavljeno zaključno poročilo zakonske in tehniške regulative v Sloveniji in EU. Sledi pregled radijskih telekomunikacijskih sistemov in naprav s pregledom frekvenc, njihove uporabe, gostote moči, maksimalne oddajne moč, itn. v nacionalnem okolju, pri čemer so zajeti samo javni nam dostopni sistemi, ki predstavljajo zbirko in opis civilnih sistemov v Sloveniji. Sledi poglavje Vpliv elektromagnetnega sevanja na biološke sisteme z navedbo najpomembnejših ugotovitev posameznih raziskav. V zadnjem poglavju pa so predstavljeni rezultati eksperimentalnih merite.

ZAKONSKA IN TEHNIČNA REGULATIVA ZA PODROČJE NEIONIZIRAJOČIH SEVANJ

Uvod

Področje neionizirnih sevanj je v Republiki Sloveniji neposredno urejano s praktično le dvema izvorno slovenskima dokumentoma. Ker pa je Slovenija s svojim delovanjem vpeta v mednarodno dogajanje in je polnopravna članica Evropske skupnosti, je nujno, da spoštuje tudi pravila, ki veljajo v njej, oziroma, da svojo zakonodajo uskladi z EU. Število dokumentov, ki izhajajo iz tega širšega območja je seveda večje. Hierarhija in povezave med njimi niso vedno popolnoma enostavne in je glede njihove uporabe treba včasih sprejeti lastne odločitve, skladne z izhodišči in cilji določene naloge.

V tej obravnavi izhajamo iz tega, da je Slovenija samostojna država z mednarodnimi obveznostmi. Zato razen predstavitve slovenskih dokumentov posežemo v evropski prostor z obravnavo evropskih direktiv, standardov in dokumentov priznane mednarodne komisije, delujoče na področju neionizirnih sevanj.

Dokumenti v Republiki Sloveniji

Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (Uradni list RS 70/1996 z dne 6. 12. 1996)

Ta uredba določa v zvezi z elektromagnetnim sevanjem v okolju (v nadaljnjem besedilu: sevanje) mejne vrednosti veličin elektromagnetnega polja v okolju, stopnje varstva pred sevanjem v posameznih območjih naravnega in življenjskega okolja, način določanja in vrednotenje obremenitve okolja zaradi sevanja ter ukrepe za zmanjševanje in preprečevanje čezmernega sevanja. Določbe se nanašajo na sevanje nizkofrekvenčnih virov od 0 Hz do vključno 10 kHz pri napetosti večji od 1 kV in na sevanje visokofrekvenčnih virov od 10 kHz do vključno 300 GHz in oddajno močjo večjo od 100 W.

Veličine, ki jih navaja ta uredba so naslednje:

- električna poljska jakost E , ki se izraža v voltih na meter (V/m),
- gostota magnetnega pretoka B , ki se izraža v teslih (T),
- magnetna poljska jakost H , ki se izraža v amperih na meter (A/m),

- gostota pretoka moči, ki se izraža v vatih na kvadratni meter (W/m^2).

Uredba navaja mejne vrednosti veličin in sicer:

- mejno efektivno vrednost električne poljske jakosti in gostote magnetnega pretoka ter mejno temensko vrednost električne poljske jakosti in gostote magnetnega pretoka za nizkofrekvenčno sevanje,
- mejno efektivno vrednost električne in magnetne poljske jakosti ter mejno vrednost povprečne vrednosti gostote pretoka moči za visokofrekvenčno sevanje,
- mejno temensko vrednost električne in magnetne poljske jakosti ter mejno temensko vrednost pretoka moči za impulzno elektromagnetno polje visokofrekvenčnega sevanja.

Posebej je definiran pomen mejne efektivne in temenske vrednosti elektromagnetnih veličin ter povprečne vrednosti gostote pretoka moči.

V uredbi sta določeni dve stopnji varstva pred sevanjem in na osnovi tega dve območji:

- I. območje potrebuje povečano varstvo, na primer bolnišnice, zdravilišča, turistični objekti, stanovanjska naselja, igrišča, parki, trgovine in vrsta objektov oziroma območij, ki so vsakodnevno dostopna množici prebivalcev in
- II. območje, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je zaradi sevanja bolj moteč, na primer objekti industrijske, obrtne, transportne, skladiščne dejavnosti ter vsa druga območja, ki ne spadajo v prvo območje.

Glede na navedena izhodišča so v uredbi podane mejne vrednosti veličin posebej za nizkofrekvenčna sevanja in posebej za visokofrekvenčna sevanja, tako da so v obeh primerih uvedeni določeni frekvenčni pasovi v katerih veljajo različne vrednosti mejnih vrednosti.

Posebno poglavje je namenjeno določanju in vrednotenju obremenitve s sevanjem. V praksi prihaja do zelo različnih primerov, na primer večjega števila virov sevanja na istem območju, kjer je treba upoštevati v uredbi navedene kriterije, da je ocena vplivov skladna z zahtevami in primerljiva če pride do večkratnih ali ponovnih merenj.

Naslednje poglavje obravnava ukrepe zmanjševanja sevanja. Predvsem velja zahteva, da nov poseg v okolje ali rekonstrukcija objekta ali naprave ne sme povzročiti čezmerne obremenitve s sevanjem. Če je ta čezmerna že pred posegom, pa ne sme povzročiti njenega povečanja. Pomembno je tudi, da mora investitor zagotoviti prve in občasne meritve tistih veličin, za katere ta uredba podaja mejne vrednosti. Ukrepi morajo biti predvideni že v fazi načrtovanja objekta. V tem poglavju so navedene tudi nekatere pristojnosti ministrstva pristojnega za varstvo okolja in inšpekcijskih služb.

Uredbi so priložene štiri priloge:

- Izračun čezmerne obremenitve zaradi sevanja nizkofrekvenčnih virov sevanja
- Izračun čezmerne obremenitve zaradi sevanja visokofrekvenčnih virov sevanja
- Izračun časovnih povprečij pri izpostavljenosti sevanju, ki je krajša od 6 minut
- Izračun čezmerne obremenitve zaradi sevanja visokofrekvenčnih virov sevanja pri izpostavljenosti impulznim elektromagnetnim poljem

**Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja ter o pogojih za njegovo izvajanje
(Uradni list RS 70/1996 z dne 6.12.1996)**

Ta pravilnik določa vrste veličin elektromagnetnega polja, ki so predmet prvih meritev in obratovalnega monitoringa elektromagnetnega sevanja v okolju kot posledice uporabe ali obratovanja vira sevanja, metodologijo merjenja veličin, vsebino poročila o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu ter način in obliko sporočanja podatkov ministrstvu, pristojnemu za varstvo okolja.

Navedeni so tudi pogoji, ki jih mora izpolnjevati oseba, ki izvaja prve meritve ali obratovalni monitoring.

Obseg meritev po tem pravilniku je naslednji:

- za nizkofrekvenčno sevanje merjenje ефективne vrednosti električne poljske jakosti in gostote magnetnega pretoka,
- za visokofrekvenčno sevanje merjenje ефективne vrednosti električne in magnetne poljske jakosti in povprečne vrednosti gostote pretoka moči,
- za visokofrekvenčno sevanje z impulznim poljem merjenje temenske vrednosti električne in magnetne poljske jakosti in gostote pretoka moči,
- izračun veličin, za vire sevanja, za katere je predpisano vrednotenje na podlagi podatkov o obratovanju vira sevanja,
- izdelava poročila o meritvah in izračunih obremenitve okolja s sevanjem.

V pravilniku so navedene zahteve in obveznosti o izvajanju prvih meritev veličin elektromagnetnih polj ter obratovalnega monitoringa, to je občasnih ponovnih meritev v določenih časovnih intervalih.

Posebno poglavje se nanaša na metodologijo merjenja veličin elektromagnetnega polja. Za različne primere je, na primer, navedena višina in oddaljenost merjenja od vira sevanja, pa tudi čas merjenja posameznih veličin. Razen tega pa se pravilnik sklicuje na načine, ki so določeni za nizko frekvenco v standardu SIST ENV 50166-1 in tehnični specifikaciji IEEE Std 644-1987, za visoko frekvenco pa v standardu SIST ENV 50166-2 in tehnični specifikaciji IEEE Std C95.3-1991.

Navedena je tudi vsebina poročila, ki ga mora izdelati izvajalec meritev, tako o prvih, kot o občasnih meritvah. Poročilo mora zavezanec hraniti najmanj pet let za visokofrekvenčna in najmanj deset let za nizkofrekvenčna sevanja.

Pravilnik določa tudi pogoje, ki jih mora izpolnjevati fizična ali pravna oseba, ki izvaja prve meritve ali obratovalni monitoring. To dejavnost smejo opravljati le od ministrstva pooblaščen osebe.

Direktiva 2004/40/EC Evropskega parlamenta in Sveta z dne 29. aprila 2004 o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah v zvezi z izpostavljenostjo delavcev tveganjem, ki nastajajo zaradi fizikalnih dejavnikov (elektromagnetnih sevanj)

Ta direktiva (smernica) izhaja iz zahtev direktive 89/391/EGS in je dokument, ki določa minimalne zahteve, ki jih morajo države članice Evropske skupnosti uvesti v svojo regulativo in jih obvezno upoštevati. Možno je sicer, da posamezne članice sprejmejo tudi strožje ukrepe, vendar s temeljitim razmislekom. Vsekakor je ta direktiva v svoji osnovni obliki veljavna tudi za Republiko Slovenijo. Je ena od direktiv, prevedenih v slovenski jezik.

Direktiva 2004/40/EC zahteva zaščito delavcev (workers) pred škodljivimi vplivi elektromagnetnih polj, torej neposredno zaposlenih v območjih sevanja, kjer se zadržujejo med svojim delom. Nanaša se na vpliv statičnih magnetnih in časovno spremenljivih električnih, magnetnih in elektromagnetnih polj frekvenc do 300 GHz in sicer na njihove kratkoročne vplive na zdravje. Dolgoročnih vplivov ne zajema. Loči mejne vrednosti izpostavljenosti (exposure limit values) in opozorilne vrednosti (action values), to je velikost neposredno merljivih veličin, električne poljske jakosti E , magnetne poljske jakosti H , magnetne gostote B in gostote pretoka moči S . Oboje je kasneje s številčnimi vrednostmi podano v prilogi direktive v dveh tabelah. Dopusčeno je, da države članice uporabljajo druge vire, dokler ne bodo zahteve evropskih standardov usklajene in podrobno navedene.

Posebno poglavje podrobneje razčlenjuje obveznosti delodajalcev pri ugotavljanju in oceni tveganj. Zagotoviti morajo ustrezne meritve in izračune in ustrezno ukrepati, če so mejne vrednosti presežene. Navedenih je nekaj posebnih opozoril na kaj naj bo delodajalec posebej pozoren.

Podrobneje so navadeni ukrepi za preprečevanje in zmanjševanje tveganj, od izbire delovnih metod in opreme, tehničnih ukrepov za zmanjšanje sevanj, vzdrževanja opreme, varovalne osebne opreme do omejitev trajanja izpostavljenosti.

Delavci morajo biti o tveganju celovito obveščeni in vključeni v potrebna posvetovanja. Zagotovljen mora biti ustrezen zdravstveni nadzor in delavci morajo imeti možnost videti svojo zdravstveno dokumentacijo.

Države članice morajo vsakih pet let poročati Evropski komisiji o izvajanju te direktive.

V prilogi so definirane fizikalne veličine in podane enote, ki se uporabljajo za opis izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem in sicer:

- kontaktni tok I_c (A),
- gostota toka J (A/m²),
- električna poljska jakost E (V/m),
- magnetna poljska jakost H (A/m),
- magnetna gostota B (T),
- gostota pretoka moči S (W/m²),
- specifična absorpcija energije SA (J/kg),
- stopnja specifične absorpcije energije SAR (W/kg).

Izmed teh veličin je mogoče neposredno meriti kontaktni tok, magnetno gostoto, magnetno poljsko jakost in gostoto pretoka moči.

V prvem delu direktive so navedene mejne vrednosti izpostavljenosti za gostoto toka J za glavo in trup, povprečno SAR za celo telo, lokalizirano SAR za glavo in trup, lokalizirano SAR za ude in gostoto pretoka moči S . Podane so v sedmih frekvenčnih pasovih s pojasnilom, da so tako opredeljene vrste učinkov, na primer na centralni živčni sistem, toplotni udar na celotno telo, čezmerno segrevanje tkiva na površini telesa. V opombah k tej tabeli so dana podrobna navodila za izračunavanje posameznih parametrov.

V drugem delu direktive so navedene opozorilne vrednosti. Te so dobljene iz mejnih vrednosti izpostavljenosti skladno z obrazložitvijo, ki jo uporablja Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji v svojih navodilih (ICNIRP 7/99). To so učinkovite vrednosti električne poljske jakosti E , magnetne poljske jakosti H , magnetne gostote B , ekvivalentne gostote pretoka moči ravnih valov S_{eq} , toka dotika I_c in induciranege toka uda I_L . Velja za nemoteno polje. V tej tabeli je določeno 13 frekvenčnih pasov med 0 in 300 GHz. V opombah so prav tako navodila za izračunavanje s podrobnostmi, ki veljajo v posameznih frekvenčnih pasovih in nekaterimi omejitvami za impulzno modulirana elektromagnetna polja.

Standardi

V Republiki Sloveniji imamo za področje elektromagnetnih sevanj v slovensko standardizacijo prevzet evropski predstandard v dveh delih, ENV 50166-1 in ENV 50166-2 s slovenskima oznakama SIST ENV 50166-1 in SIST ENV 50166-2. Standard ni preveden v slovenskim jezik. Kljub temu, da je bil kot evropski predstandard sprejet že leta 1995, še vedno ni prešel v obliko standarda EN. Upoštevanje določil standardov po evropskem principu sicer ni obvezno, razen v posebnih primerih, ko je to nedvoumno zahtevano, na primer, v predpisih. Po drugi strani pa velja, po takozvanem novem pristopu, da so evropske direktive dokumenti, ki ne vsebujejo vseh podrobnosti. Te so namreč v standardih, ki določeno direktivo podpirajo, čeprav v njej niso citirani. Iz tega sledi, ker so določila direktive obvezna, da so tudi določila standardov, ki jo podpirajo, sicer posredno, obvezna. Tako velja tudi v tem primeru. Praksa kaže, da je treba standarde kot izhodiščni dokument za osnovne, (včasih so to minimalne) zahteve vsekakor upoštevati.

Predstandard ENV 50166-1 (SIST ENV 50166-1) Human exposure to electromagnetic fields. Low- frequency (0 Hz to 10 kHz) CENELEC January 1995

Ta predstandard se nanaša na izpostavljenost človeka elektromagnetnim poljem nizkih frekvenc. Nadaljnja obravnava deli prizadete v dve kategoriji: delavce (workers) in splošno prebivalstvo (general public). Glede na to delitev se razlikujejo mejne vrednosti veličin, ki so za to frekvenčno območje navedene, oziroma izrazito vplivajo na človeško telo. Navedeno je tudi področje, za katero predstandard velja, oziroma, kje ne velja.

V definicijah je pojasnjen neposreden (direct) in posreden (indirect) učinek (effect), električna poljska jakost E , magnetna poljska jakost H , magnetna gostota B , efektivna električna poljska jakost E s komponentami E_x , E_y in E_z , gostota (induciranega) toka ((induced) current density) in tok dotika (contact current).

V nadaljevanju so navedene efektivne mejne vrednosti gostote inducirane toka (v mA/m²) in toka dotika (v mA) za delavce in splošno prebivalstvo v različnih frekvenčnih pasovih. Vrednosti za delavce so okoli 2,5 krat večje.

Za električno polje so navedeni referenčni nivoji (reference level) električne poljske jakosti E (v V/m) za delavce in splošno prebivalstvo v frekvenčnih pasovih. Vrednosti za delavce so okoli 2,5 krat večje, vendar časovno omejene.

Za magnetno polje so navedene referenčne vrednosti magnetne gostote B (v T) za delavce in splošno prebivalstvo, v frekvenčnih pasovih, glede na izpostavljenost celega telesa ali samo udov. Vrednosti za delavce so okoli 50 krat večje.

Zadnje poglavje obravnava zahteve za merilno opremo in izvedbo meritev. Merilna oprema mora biti ustrezna glede merjenih parametrov in glede klimatskih razmer. Opozorjeno je na frekvenčne karakteristike za primer harmonskih komponent. Naprave pa se delijo v dva tipa: prve imajo izotropne sonde (tri ortogonalne senzorje), izmerijo pa efektivno vrednost polja neposredno, druge pa imajo anizotropne sonde, s katerimi se izmeri tri ortogonalne komponente iz katerih se izračuna poljska jakost. Merilna oprema mora biti ustrezno kalibrirana in skupna merilna negotovost ne sme preseči $\pm 10\%$.

V štirih dodatkih (annex) so pojasnjene podrobnosti glede nekaterih pojmov, meritev ter izračunov. V zadnjem je naveden obsežen spisek 22 referenčnih virov.

Predstandard ENV 50166-2 (SIST ENV 50166-2) Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz to 300 GHz) CENELEC January 1995

Ta predstandard se nanaša na izpostavljenost človeka elektromagnetnim poljem visokih frekvenc. Tudi v njem je delitev na delavce in splošno prebivalstvo.

Predstandard najprej navaja v njem obravnavane fizikalne veličine, njihove simbole, enote ter definicije in termine. Njih število je večje, kot v prvem delu predstandarda.

Za delavce je navedena mejna vrednost gostote toka J (mA/m²) za frekvenčni pas 10 kHz do 10 MHz, stopnja specifične absorpcije energije SAR (W/kg) ločeno za celo telo, trup in ude ter specifična absorpcija energije SA (mJ/kg) za frekvenčni pas 10 kHz do 300 GHz. Vrednosti veljajo za 6 minutni interval. Referenčni nivoji za električne poljske jakosti E (V/m), magnetne poljske jakosti H (A/m) in gostoto pretoka moči S (W/m²) so dani v dveh tabelah in sicer njihove efektivne vrednosti in za pulzirajoča polja temenske vrednosti, obkraj v večjih frekvenčnih pasovih. Veljajo za časovni interval izpostavljenosti večji ali enak 6 minut. Nakazan je tudi izračun mej za izpostavljenost manj kot 100 ms. Za hkratno sevanje enega ali več virov so nakazane formule za racionalno oceno.

Tudi pri visokofrekvenčnem sevanju so mejne vrednosti za delavce bistveno večje, kot za splošno prebivalstvo (okoli 2 do 5 krat).

Merilne metode in merilna oprema so v tem predstandardu dokaj podrobno opisane. Glede na široko frekvenčno območje, vrsto veličin in možnost mnogih specifičnih situacij je to nujno potrebno.

Merjenja lahko potekajo v bližini izvorov sevanja, ali v večji oddaljenosti. Uporabljena oprema je lahko širokopasovna, ali ozkopasovna. Nekatere veličine se lahko ugotavljajo z numeričnimi metodami.

Vsekakor mora biti merilna oprema skrbno izbrana in naj omogoča, če je mogoče, več merjenj, na primer učinkovite in temenske vrednosti poljskih jakosti. Nekaj zahtev se nanaša tudi na antene.

V poglavju o procedurah je naglašeno poznavanje karakteristik izvora in širjenja sevanja, kar omogoča boljšo izbiro merilne opreme in metod, ter tako boljše merilne rezultate. Ob tem se sklicuje na reference, navedene v nadaljevanju. Prav tako veljajo reference za oceno poljske jakosti in gostote pretoka moči. Posebej je naglašena selekcija merilnih instrumentov, ki je odvisna od frekvenca, odzivnega časa, temenskih vrednosti in polarizacije v polju. Opozorjeno je tudi na primer galvanske ali kapacitivne povezave z maso in posebnosti v tem primeru. Za meritve na mestu so dana navodila o postopkih. Merilna oprema mora biti kalibrirana. Za kalibracijo so navedene metode in kalibracijske negotovosti, ki smejo biti ± 1 dB ali manj. Merilne negotovosti so lahko do ± 5 dB, ob dobro definiranih modulacijskih karakteristikah so lahko reducirane na okoli ± 3 dB. Opisani so možni vzroki napak sond oziroma senzorjev.

Predstandard ima osem dodatkov. V njih so dani principi za postavitve meja izpostavljenosti elektromagnetnemu sevanju, obravnavani so viri elektromagnetnih polj, vsebina praktičnih navodil za merjenja, vsebina informacije glede merilnih sistemov za veličine elektromagnetnih polj, numerične procedure za izračun elektromagnetnih veličin v polju sevanja, numerične procedure za izračun *SAR* v bioloških tkivih, primer izračuna izpostavljenosti večih virov in grafični prikaz referenčnih nivojev *E*, *H* in *S*.

Vodila

Vodila (guidelines) so dokumenti, ki jih pogosto izdajajo mnoge organizacije, tako nacionalne kot mednarodne, državnega ali civilnega značaja, za različna, ne samo tehnična področja. Vodila niso dokumenti z obvezno uporabo. Če pa se njihova določila vnesejo v druge dokumente, na primer v predpise, ta nastopi. Upoštevanje vodil je povezano s pomembnostjo organizacije, ki jih je izdala, z njeno strokovnostjo, tradicijo in mednarodnim priznavanjem. Na področju elektromagnetnih sevanj je taka organizacija ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji). Komisija je doslej izdala vrsto dokumentov in publikacij za navedeno področje, ki so upoštevana v mednarodni praksi, kar bo vidno v nadaljnji obravnavi. Pomemben dokument te organizacije so tudi vodila, ki v določenem smislu veljajo tudi v Sloveniji. ICNIRP tesno sodeluje z WHO (World Health Organization, Mednarodna zdravstvena organizacija), ki prav tako intenzivno deluje na področju zaščite pred neionizirnimi sevanji.

Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), ICNIRP, 1998 (Vodila za mejno izpostavljenost časovno spremenljivim električnim, magnetnim in elektromagnetnim poljem (do 300 GHz)

Ta vodila so obsežen dokument, katerih osnovni namen je določitev mejnih izpostavljenosti človeka elektromagnetnim sevanjem tako, da bo zaščiten pred znanimi škodljivimi vplivi na njegovo zdravje. Vodila so osnovana na vrsti znanstvenih raziskav o vplivih elektromagnetnih sevanj na človeški organizem. Vrednosti veličin, ki jih obravnavajo, so uvrščene v dve kategoriji: osnovne omejitve in referenčni nivoji.

V vodilu so definirane veličine, ki so predmet obravnave, nato pa podani mehanizmi povezav med različnimi polji in človeškim telesom. Sledi razlaga bioloških osnov za omejitve izpostavljenosti sevanjem različnih frekvenc in oblik, na primer pulzirajoče polje, z obširnejšim prikazom rezultatov usmerjenih raziskav, na primer raka. Raziskave so izvedene s pomočjo celičnih kultur, na živalih, pa tudi prostovoljcih. Vplivi so deljeni v neposredne in posredne.

Zelo pomembno poglavje so podrobna vodila za omejitve izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem. Ob tem se loči izpostavljenost delavcev na delovnem mestu (occupational) in izpostavljenost splošnega prebivalstva (general public). Kot osnovne omejitve so označene tiste ki izhajajo iz zanesljivih zdravstvenih raziskav in se nanašajo na gostoto toka J , stopnjo specifične absorpcije energije SAR in gostoto pretoka moči S . Te vrednosti ne smejo biti presežene. Referenčni nivoji izpostavljenosti so navedeni za primerjavo z izmerjenimi vrednostmi fizikalnih veličin. Ujemanje z navedenimi referenčnimi nivoji zagotavlja ujemanje z osnovnimi omejitvami.

V tekstu so navedene numerične vrednosti osnovnih omejitev izpostavljenosti in sicer v šestih frekvenčnih pasovih do 10 GHz, ločeno za delavce in splošno prebivalstvo. Dane so mejne vrednosti za gostoto toka J (mA/m^2), stopnjo specifične absorpcije energije SAR (W/kg) za celo telo, SAR lokalno za glavo in trup in SAR lokalno za ude. Za frekvence med 10 GHz in 300 GHz je v posebni tabeli podana gostota pretoka moči S (W/m^2) za obe kategoriji prebivalstva. Mejne vrednosti za splošno prebivalstvo so praviloma pet krat manjše, kot za delavce.

Referenčni nivoji, ki so navedeni v nadaljevanju, so dobljeni s pomočjo matematičnih modelov in z ekstrapolacijo rezultatov iz laboratorijskih raziskav za specifične frekvence. Ob tem so predpostavljene specifične, definirane razmere. V dveh tabelah, eni za izpostavljenost delavcev časovno spremenljivim električnim in magnetnim poljem in drugi splošnega prebivalstva, so dani referenčni nivoji električne poljske jakosti E (V/m), magnetne poljske jakosti H (A/m), magnetne gostote B (T) in ekvivalentne ploskovne gostote moči S_{eq} (W/m^2). Tudi v tem primeru so referenčni nivoji za splošno prebivalstvo praviloma pet krat manjši, kot za delavce.

V dveh tabelah so navedene referenčne vrednosti kontaktnih tokov prevodnih objektov in referenčne vrednosti v udih induciranih tokov do 110 MHz za delavce in splošno prebivalstvo. Vrednosti za splošno prebivalstvo so okoli dva krat manjše od vrednosti za delavce.

Posebno poglavje obravnava istočasno izpostavljenost poljem z večimi frekvencami. Navedene so formule za določanje kriterijev ustreznosti J , SAR , E , H in I_c , pri čemer so upoštewane osnovne mejne vrednosti ali referenčni nivoji.

V poglavju o zaščitnih ukrepih za odpravljanje ali zmanjšanje vpliva elektromagnetnega sevanja je navedenih nekaj osnovnih pristopov za izpolnjevanje zahtevanih kriterijev.

Sledi obsežen seznam referenčne literature, v dodatku pa slovar pojmov z definicijami in enotami veličin.

Primerjava vsebin, zahtev in komentar k obravnavanim aktom Območje veljavnosti

Slovenska uredba predvideva dve stopnji varstva pred sevanjem za dve območji in glede na to navaja mejne vrednosti veličin. Evropska direktiva 2004/40/EC se nanaša le na zaščito delavcev, kar bi lahko primerjali s pogoji za II. stopnjo varnosti v slovenski uredbi. Predstandard SIST ENV 50166 loči v svoji obravnavi delavce in splošno prebivalstvo. Praktično enaka delitev je v vodilu ICNIRP. To delitev je mogoče primerjati s I. (splošno prebivalstvo) in II. (delavci) stopnjo varnosti, oziroma I. in II. območjem slovenske uredbe. Vendar brez pomisleka tega ni mogoče trditi, ker se lahko pojavi dvom v mešanih območjih.

Izbrane veličine

Tudi glede izbranih veličin so med akti določene razlike. Slovenska uredba navaja za nizkofrekvenčna sevanja mejne vrednosti električne poljske jakosti E in magnetne gostote B , gostote inducirane toka in toka dotika, ki sta podana v SIST ENV 50166-1, vodilu ICNIRP in direktivi 2004/40/ES, pa ne. Prav tako slovenska uredba za visokofrekvenčna sevanja ne navaja specifične absorpcije energije SA in stopnje specifične absorpcije energije SAR , ki sta definirani v SIST ENV 50166-2, direktivi 2004/40/EC in vodilu ICNIRP. SAR je v teh dokumentih podana tudi z mejnimi vrednostmi.

Primerjava mejnih vrednosti

Enostavne primerjave ni mogoče izvesti, saj se v posameznih dokumentih navajana frekvenčna območja ne ujemajo, prav tako pa je razlika tudi v podanih veličinah. Z določenimi, nekoliko poenostavljenimi izhodišči, pa je le mogoče ugotoviti, za kakšne razlike gre. Primerjali bomo vrednosti za E , B in H za nizko frekvenco 50 Hz in E , H in S za dve visoki frekvenci 170 MHz in 900 MHz ločeno za I. območje, oziroma splošno prebivalstvo in za II. območje, oziroma delavce. Primerjava se nanaša ne efektivne vrednosti trajno prisotnih elektromagnetnih polj. Vrednosti za pulzirajoča polja so bistveno drugačna.

Tabela 1: Primerjava mejnih vrednosti veličin za I. območje-splošno prebivalstvo

Frekvenca	50 Hz			170 MHz			900 MHz		
	E	B	H	E	H	S	E	H	S
SI uredba	500	0,01	-	8,6	0,022	0,2	12,9	0,035	0,45
ICNIRP	5000	0,1	80	28	0,073	2	41,25	0,111	4,5
SIST ENV	10000	0,64	-	27,5	0,07	2	41,1	0,109	4,5

E (V/m), B (mT), H (A/m), S (W/m²)

Tabela 2: Primerjava mejnih vrednosti veličin za II. območje-delavce

Frekvenca	50 Hz			170 MHz			900 MHz		
	E	B	H	E	H	S	E	H	S
SI uredba	10000	0,1	-	27,5	0,07	2	41,1	0,109	4,5
ICNIRP	10000	0,5	400	61	0,16	10	90	0,24	22,5
2004/40/EC	10000	0,5	400	61	0,16	10	90	0,24	22,5
SIST ENV	30000	1,6	-	61,4	0,16	10	92,1	0,244	22,5

E (V/m), B (mT), H (A/m), S (W/m²)

Že iz teh nekaj podatkov se da ugotoviti, da so zahteve slovenske uredbe praviloma veliko strožje, kot zahteve ostalih evropskih dokumentov, ki pa se med sabo skoraj popolnoma ujemajo, oziroma povzemajo eden drugega. To podobnost je posebej vidna med direktivo 2004/40/EC in vodilom ICNIRP, kjer so gotovo v direktivi, ki je novejšega datuma, povzeti podatki vodila za tisti del, ki se nanaša na delavce. Bistvenih razlik pa ni niti v predstandardu ENV 50166. Enako velja za stopnjo specifične absorpcije energije SAR , ki je slovenska uredba ne omenja, v ostalih dokumentih pa so mejne vrednosti enake.

Najnovejša informacija, dobljena ob zaključku pisanja tega poročila pravi, da je predstandard ENV 50166, s tem pa tudi SIST ENV 50166 nedavno umaknjen, vendar ni nadomeščen z drugim standardizacijskim dokumentom. Ob tem ne vidimo problema glede mejnih vrednosti, saj so te v veljavni direktivi zelo podobne navedenim v predstandardu in zato praktično nespremenjene. Večji problem je, da so s Pravilnikom o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu merilne procedure vezane na ta, v pravilniku citirani, predstandard. Pravilnik pa se seveda zaradi umika predstandarda ni

spremenil, saj v takih primerih avtomatizma ni. Menimo, da ima kljub temu vsebina predstandarda, ob pomanjkanju izvedbenih navodil, najmanj toliko veljavnost, kot jo imajo vodila.

Skoraj gotovo bo treba čim prej slovensko zakonodajo uskladiti z evropskimi zahtevami, ki veljajo za vse članice Evropske skupnosti, torej tudi za Slovenijo. V tem trenutku imamo nekakšno dvojnost: imamo slovensko uredbo, slovenski pravilnik in istočasno evropsko direktivo, ki nas prav tako obvezuje. Vendar zanjo še ne vemo, na kakšen način bo uvedena v slovensko regulativo. Tako stanje je lahko vzrok za zaplete, posebno kadar gre za mednarodne projekte, ali na primer investicije drugih evropskih držav v Republiki Sloveniji.

Dogajanje na področju zaščite pred neionizirnimi sevanji je zelo intenzivno, zato pričakujemo, da bo prihajalo do sprememb in dopolnitev tudi teh aktov. Tudi med evropskimi dokumenti so še določene razlike, kar je opaziti že na poimenovanju nekaterih pojmov, uporabljenih simbolov, pa tudi vsebin. Gotovo pa je, da se je določena stopnja urejenosti že vzpostavila, kar daje možnosti za nadaljnje bolj urejeno delo na tem področju.

PREGLED RADIJSKIH TELEKOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV IN NAPRAV

To poglavje je praktično v celoti povzeto po učbeniku "Vpliv neionizirnih sevanj na biološke sisteme", avtorjev Damijana Miklavčiča in Petra Gajška, v katerem je obravnavana tematika obširno obdelana.

Viri elektromagnetnega sevanja

Najpogostejši viri so električno omrežje, gospodinjske naprave, naprave v industriji za obdelavo različnih materialov, računalniki, telekomunikacijske naprave, radijski in televizijski oddajniki, medicinske naprave in radarji.

Tabela 3: Delitev elektromagnetnega sevanja po frekvencah (ARSO)

frekvenca	ime področja	značilni viri in uporaba
0-30 Hz	statična polja	
30-300 Hz	ekstremno nizke frekvence (ELF)	Naprave 50Hz/60Hz
300 Hz-3 kHz	(VF)	
3-30 kHz	zelo nizke frekvence (VLF)	
30-300 kHz	(LF)	
300 kHz-3 MHz	(MF)	radijski oddajniki
3-30 MHz	visoke frekvence (HF)	radijski in TV-oddajniki, industrija
30-300 MHz	(VHF)	(UKV-oddajniki), televizijski oddajniki, radionavigacija, radarji, zračna kontrola prometa
300 MHz-3 GHz	(UHF)	televizijski oddajniki (IV. in V. področje), radarji, usmerjene zveze (mob. telefonija)
3-30 GHz	supervisoke frekvence (SHF)	radarji, navigacija, satelitske in usmerjene zveze
30-300 GHz	ekstremno visoke frekvence (EHF)	radiometeorologija

Viri sevanja v bivalnem okolju

Za določitev izpostavljenosti se navadno priporoča meritev in ocena skupne sevalne obremenitve okolja.

Leta 1996 je bil izveden raziskovalni projekt "**Posnetek stanja obremenjenosti okolja zaradi elektromagnetnih sevanj v Sloveniji**", ki sta ga financirali Ministrstvo za okolje in prostor ter Ministrstvo za znanost in tehnologijo (Miklavčič, 1996). Omenjeni projekt obsega konkretne rezultate meritev EMS v Sloveniji na naslednjih najbolj značilnih virih v okolju:

- daljnovodi; 10 kV, 110 kV, 220 kV in 400 kV,
- razdelilne transformatorske postaje (RTP),
- radijski oddajniki (SV, UKV oddajna moč > 100 W); Domžale, Nemčavci, Nanos, Krim, Trdinov vrh, Boč in Beli Križ,
- TV oddajniki (UHF, VHF oddajna moč > 100 W).

Meritve sevalnih obremenitev v omenjenem projektu so bile izvedene izven nadzorovanega območja v okolici vira sevanja. Visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja v okolju so posledica radijskih in televizijskih oddajnikov, telekomunikacijskih naprav, ter radarjev, ki so skoraj vedno na višinskih lokacijah (stolpi na visokih stavbah, na vrhovih vzpetin itd.). V njihovi bližini navadno ni stanovanjskih in drugih objektov, zaradi česar ni možnosti prekomerne izpostavljenosti EMS. Dostop v neposredno bližino oddajnika je nezaposlenim prepovedan in onemogočen z ograjo, kar je tudi glavni razlog, da prebivalstvo ni izpostavljeno visokim jakostim EMS v bližini oddajne antene. Pri tistih virih sevanja, kjer nadzorovanega območja ni (npr. daljnovodi), pa so meritve izvedene na mestih, kjer so sevalne obremenitve navšje.

Viri sevanja **frekvence 50 Hz** (daljnovodi, gospodinjske naprave,...) se nahajajo neposredno v bivalnem okolju in smo jim trajno izpostavljeni.

Viri sevanja **visokih frekvenc** (radarji, radijski in TV oddajniki,...) so oddaljeni od bivalnih lokacij in ponavadi niso dostopni. Običajna izpostavljenost ljudi je več kot 1000-krat manjša od dopustnih mejnih vrednosti. Njihova razvrstitev glede na gostoto moči, ki je odvisna od oddajne moči in oddaljenosti od posameznega vira EMS.

Statična električna in magnetna polja

Če človek hodi po neprovodnih tleh se lahko nabije do nekaj kV. To ima za posledico električno poljsko jakost v bližini telesa okrog 10 kV/m, včasih tudi do 500 kV/m. Rokovanje s plastičnimi materiali povzroča visoka električna polja do nekaj sto kV/m. Na oddaljenosti 30 cm od računalniških monitorjev lahko izmerimo nekaj 10 kV/m.

Razlog izpostavljenosti statičnim magnetnim poljem v okolju so predvsem nove tehnologije (supraprovodni magnetni obroči za shranjevanje električne energije). Magnetno polje na površini zemlje, kljub 600 m globoko zakopanemu solenoidu, znaša 20 mT. Največje gostote magnetnega pretoka na območjih, ki so dostopne človeku, znašajo med 20 in 50 mT (WICNIRP, 1996). Navadno v bivalnem okolju ni virov statičnega magnetnega polja, ki bi potencialno lahko vplivali na človeško zdravje.

Časovno spreminjajoča se polja frekvenc do 100 kHz

Tipične vrednosti električne poljske jakosti v bivalnem okolju znašajo med 1 in 15 V/m in so zelo nehomogene. Tipične vrednosti gostote magnetnega pretoka v bivalnem okolju znašajo med 10 in nekaj 100 nT.

Za **gospodinjske aparate** velja, da lahko pričakujemo na razdalji treh centimetrov od 10 do 1000 μ T, kar je odvisno tudi od kakovosti izdelave električnega aparata. Za posamezne gospodinjske aparate so v tabeli 4 navedene tipične vrednosti gostote magnetnega pretoka, ki so bile izmerjene pri

gospodinjskih aparatih različnih proizvajalcev. Magnetno polje je precej lokalizirano in z oddaljenostjo hitro upada.

Tabela 4. Sevanja gospodinjskih aparatov na različnih oddaljenostih (Miklavčič, 1999, in WHO)

Različni gospodinjski stroj	Gostota magnetnega pretoka B (μT) v oddaljenosti		
	3 cm	30 cm	1 m
Sušilnik las	6 do 2000	1 do 7	do 0,3
Brivnik	15 do 1600	0,1 do 9	do 0,3
Ročni vrtalnik	300 do 800	2 do 3,5	do 0,2
Sesalnik za prah	200 do 800	2 do 20	do 2
Ročni mešalnik	60 do 700	0,6 do 10	do 0,25
Fluorescentna svetilka	40 do 400	0,5 do 25	do 0,25
Prenosni grelnik	10 do 180	0,15 do 5	do 0,25
TV sprejemnik	2,5 do 50	0,04 do 2	do 0,15
Štedilnik	1 do 50	0,15 do 0,5	do 0,04
Pralni stroj	0,8 do 50	0,15 do 3	do 0,15
Opekač	7 do 18	do 0,7	do 0,01
Pomivalni stroj	3,5 do 20	0,6 do 3	do 0,3
Sušilec perila	0,3 do 8	0,09 do 0,3	do 0,06
Avtomat za kavo	1 do 3	0,01 do 0,2	do 0,01
Hladilnik	0,5 do 1,7	0,01 do 0,35	do 0,01

Računalniški monitor pa poleg ioniziranih sevanj, ki so s predpisi za ekrane že urejena in zato zanemarljivo majhna, generirajo tudi neionizirana sevanja in sicer:

- elektrostatično polje visokih napetosti (VN) 10 do 25 kV - katodna cev,
- ekstremno nizke frekvence (ELF) 50 Hz - vertikalno odklonskih sistemov,
- nizke frekvence (VLF) 12 do 30 kHz - horizontalno odklonskih sistemov,
- visoke frekvence (RF) 1 do 20 MHz - digitalnih elektronskih sistemov.

Pri oddaljenosti 30 cm od zaslona lahko navadno pričakujemo naslednje vrednosti električne in magnetne poljske jakosti:

- pri 50 Hz; od 5 do 60 V/m in 0,1 do 0,2 A/m,
- pri 15 kHz; do 10 V/m in do 0,17 A/m,
- pri 20 MHz pa največ 2 V/m.

Med glavne vire nizkofrekvenčnih EMS doma in v okolju spada **distribuiranje električne energije**:

- daljnovodi,
- podzemni vodi,
- transformatorske postaje.

Največje jakosti električnega polja nastopijo v bližini 400 kV visokonapetostnih nadzemnih električnih vodov. Neposredno pod vodom na mestu največjega povesa znaša električna poljska jakost 7540 V/m. Magnetno polje pa se v odvisnosti od bremenskega toka močno spreminja in v najslabšem primeru pod 400 kV daljnovodom ne preseže 40 μT . Vse druge konfiguracije daljnovodov in transformatorske postaje dosegajo na človeku dostopnih lokacijah neprimerno nižje vrednosti (Miklavčič, 1999, Hribernik, 2004).

Visokofrekvenčna sevanja frekvenc med 100 kHz in 300 GHz

V našem okolju je veliko raznovrstnih oddajnikov visokofrekvenčnih sevanj in njihovo število z novimi tehnologijami še narašča. Nekaj virov visokofrekvenčnih sevanj lahko najdemo v bivalnem okolju (radijski oddajniki, mikrovalovna pečica, mobilni telefon, prenosni telefon, radioamaterski oddajnik...).

Visokofrekvenčni viri velikih moči generirajo v svoji bližini precej visoke poljske jakosti. Ker so ti viri nameščeni na oddaljenih in nenaseljenih lokacijah ter za nepooblaščen nedostopni (ograjeno območje), navadno ni možnosti za prekomerno sevalno obremenitev prebivalstva.

Radijski in TV oddajniki

Srednjevalovni oddajniki oddajajo amplitudno moduliran signal v frekvenčnem področju med 526 in 1605 kHz različnih oddajnih moči od nekaj kW do nekaj MW (tabela 5). Sevalne obremenitve navadno niso odvisne samo od oddajne moči, temveč tudi od oblike oddajne antene. Srednjevalovni oddajniki uporabljajo monopolne antene (površinski val). UKV radijski in televizijski oddajniki pa oddajajo frekvenčno in amplitudno modulirane signale na frekvenčnem območju med 47 in 790 MHz oddajnih moči od nekaj 100 W do nekaj 100 kW. Antena je sestavljena iz skupine dipolov, ki so nameščeni na visokih stolpih (10-100 m). Njihov glavni snop je usmerjen horizontalno z rahlim nagibom snopa navzdol.

Tabela 5. Pomembnejši oddajniki v Sloveniji (Miklavčič, 1999)

Oddajnik	frekvenčno območje	maksimalne oddajne moči
srednji val	526-1605 kHz	do 300 kW
TV področje I.	47-68 MHz kanal 2-4	do 100 kW
UKV radio	88-108 MHz	do 100 kW
TV (III.)	174-230 MHz kanal 5-12	do 100 kW
TV (IV./V.)	470-860 MHz kanal 21-69	do 400 kW

Meritve nivojev elektromagnetnih sevanj, ki so posledica močnostnih radijskih in TV oddajnikov v okolju, so bile izvedene v neposredni bližini oddajnih anten izven nadzorovanih območij. Glede na uporabljene kriterije za določitev meje med bližnjim in daljnim poljem je bilo ugotovljeno, da se merilno mesto nahaja vedno v daljnem polju antene, kjer gostota pretoka moči upada s kvadratom oddaljenosti (Miklavčič, 1999). Človek je največjim sevalnim obremenitvam v okolju izpostavljen v bližini srednjevalovnih oddajnikov, v okolici katerih doseže električne poljska jakost tudi do 74,4 V/m. Na drugih lokacijah, kjer so močnostni radijski in TV-oddajniki (oddajna moč > 100W), pa so bile izmerjene vrednosti pod 8,9 V/m (tabela 8).

Srednjevalovni oddajniki

Število srednjevalovnih oddajnikov se zmanjšuje (v zadnjih letih se je število razpolovilo), ker tudi lokalne radijske postaje prehajajo na frekvenčno področje UKV-FM, ki zagotavlja kvalitetnejši sprejem radijskih signalov (stereo) in je tehnično primernejše za lokalno radiodifuzijo.

Še vedno najpomembnejši je srednjevalovni oddajnik Domžale, ki oddaja I. radijski program RTV Slovenija s 100/300 kW in ima zelo velik pomen za pokrivanje Evrope v nočnem času.

UKV radio in VHV/UHV televizija

V Sloveniji je prek 120 UKV radijskih (88-108 MHz) in 7 oddajnih centrov, ki obsegajo 202 lokacij s 464 oddajnimi enotami televizijskih oddajnikov (1-99 kanala) z različnimi oddajnimi močmi (400 W - 400 kW). Oddajni sistemi so navadno sestavljeni iz večje skupine oddajnih anten radijskih in televizijskih programov na enem samem mestu, ki se razlikujejo glede na čas oddajanja, izhodno moč in frekvenco.

Vsi RTV oddajniški centri so ograjeni in tako ni možen dostop v neposredno bližino oddajnih anten. Večina oddajnih centrov, ki sevajo največje moči, se nahaja na visokih vzpetinah, ki niso poseljene. Le redki se nahajajo znotraj strnjenegega naselja.

Mobilna telefonija

Tipične oddajne moči mobilnih telefonov znašajo 0,6 W za TACS, 0,25 W za GSM in 0,125 W za DCS 1800.

Izpostavljenosti uporabnika v neposredni bližini oddajne antene mobilnega telefona ni mogoče ugotoviti le na osnovi merjenja poljskih jakosti. Zaradi velike nehomogenosti elektromagnetnega sevanja v reaktivnem bližnjem polju takih naprav je potrebno za natančno določitev absorpcije v telesu uporabiti zelo zahtevne računalniške modele ali izvesti meritve na ustreznih, človeku podobnih fizikalnih modelih. Tako izvedeni izračuni kažejo, da se med normalnim obratovanjem pri oddajni moči 1 W SAR poveča na največ 2,1 W/kg prek 10 g tkiva pri 900 MHz, medtem ko pri 1800 MHz ne preseže 3 W/kg.

Bazne postaje mobilne telefonije

Ker ni bilo globalnega standarda, so se pojavili različni sistemi, ki so kasneje postali enaki kot sistem TACS (Total Access Communication System), ki se uporablja v Avstriji, Irski, Italiji Španiji... Razširitev normalnega TACS področja se imenuje ETACS. Analogni sistemi zaradi uvedbe globalnega sistema GSM vedno bolj izginjajo.

Digitalni sistemi slonijo na usklajenem evropskem standardu GSM, ki je poimenovan po skupini strokovnjakov (Groupe Special Mobile), ki je pripravila strokovne podlage za ta standard. Naslednji set digitalnih komunikacijskih sistemov, ki temelji na GSM, se imenuje PCN (Personal Communication Network). Eden od sistemov je znan kot DCS1800 in obratuje v frekvenčnem območju okoli 1,8 GHz.

Sistem UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) je sistem mobilnih in brezžičnih komunikacij tretje generacije, ki pripada družini IMT - 2000 in je opredeljen v standardih Evropskega inštituta za telekomunikacijske standarde (ETSI). IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) je sistem mobilnih komunikacij tretje generacije, opredeljen v standardih Mednarodne telekomunikacijske zveze (ITU). Storitve UMTS/IMT-2000 obsegajo storitve mobilne govorne telefonije, multimedijske storitve, dostop do interneta, intraneta in drugih, na internetnem protokolu (IP) temelječih storitev s hitrostjo prenosa podatkov do 2 Mbit/s (www.3gpp.org, Andersen 2001).

Mobilne komunikacije TETRA (akronim za prizemni snopovni radio – TERrestrial TRunked RAdio) je standard za profesionalni mobilni radio (PMR). Tehnologija TETRA je nastala kot rezultat sodelovanja Evropskega inštituta za telekomunikacije (European Telecommunications Standard Institute - ETSI) z dobavitelji opreme, ponudniki storitev in končnimi uporabniki. TETRA omogoča sočasen prenos digitaliziranega govora in podatkov, z poudarkom na varnosti in zanesljivosti (<http://www.siemens.at/tetra>). Zato so primarni uporabniki tehnologije TETRA tisti, ki zahtevajo visoko stopnjo varnosti (npr. policija, gasilci, reševalci, vojska). V poročilu angleške svetovalne skupine za neionizirana sevanja so podane meritve TETRA sistema in možni vplivi na zdravje (NRPB, 2001).

Tabela 6. Frekvenčna območja za različne mobilne sisteme.

Sistem	Frekvenčno območje (MHz)			Število kanalov
	navzgor	navzdol	kanala (kHz)	
TETRA	380-400	410-430	25	800
TACS 900	890-905	935-950	25	600
ETACS	872-888	917-933	25	640
GSM	905-915	950-960	200	50
DCS 1800	1710-1785	1805-1880	200	375
UMTS/IMT2000	1920-1980	2110-2170	200	300

Digitalne bazne postaje obsegajo razrede moči od 2,5 W do 320 W. Tipične moči, ki se uporabljajo v praksi, ne presegajo 40 W za GSM. Analogni sistemi dosegajo moči do 20 W. Najvišja dovoljena moč analogne bazne postaje znaša 100 W (50 dBm). Stranski listi pa imajo tako nizke moči, da so najmanj za 20 dB nižje od glavnega snopa in tako ne potrebujejo posebne pozornosti, saj so sevalne obremenitve dosti pod dopustnimi nivoji.

Tabela 7. Izračunane vrednosti za posamezni sistem predstavljajo najslabši možni primer (WICNIRP, 1996, Miklavčič 1999).

Sistem	moč nosilca (W)	število nosilcev	električna poljska jakost (V/m)	magnetna poljska jakost (A/m)
TACS	20	40	53	0,14
GSM	40	10	38	0,10
DCS 1800	20	10	27	0,07

Kjer so antene baznih postaj nameščene na strehah visokih stavb, bi bilo potrebno omejiti dostop ljudi v to območje ter zagotoviti minimalno oddaljenost, kjer se ljudje ne bi smeli zadrževati. Antene baznih postaj so nameščene na stolpih višine med 15 in 50 m ali na strehah visokih stavb. Usmerjenost glavnega snopa antene proti tlam je manjša kot 10° , zato mora biti izpostavljenost prebivalstva glavnemu snopu sevanj baznih postaj omejena približno na 60 m.

Radar

Glede na obratovalno frekvenco (1 - 10 GHz) spada radar med izvore mikrovalov, ki imajo podobne lastnosti kot svetloba. Radarski signal se širi premočrtno. Za pridobitev prave informacije med oddajno anteno in tarčo ne sme biti ovir. Če naleti na oviro, se namreč od nje odbije. Sprejeti odboj od tarče je zelo šibek in ga lahko zaznamo le z zelo občutljivimi radarskimi sprejemniki.

Radarjev je več vrst in jih po moči in trajanju paketa mikrovalov delimo na: radarje dolgega dosega, radarje kratkega dosega (ladijske) in radarje kot merilnike hitrosti. Radarji za nadzor zračnega prometa in meteorološki radarji spadajo med radarje dolgega dosega. Oddajne moči radarjev za nadzor zračnega prometa so večje od oddajnih moči meteoroloških radarjev. Radarji za nadzor zračnega prometa imajo rotirajočo anteno (360°) in zato oddajajo precej nizke povprečne moči v katerikoli smeri. Ker se navadno uporabljajo za spremljanje pojavov v zraku, so projektirani tako, da je večina energije usmerjena v zrak, torej stran od naseljenih območij. V neposredni bližini antene le majhen delež energije zadene ob tla. Ta je ponavadi več kot 1000-krat manjši od energije, ki je usmerjena v zrak. Zaradi teh lastnosti niso velik vir sevanja (ARSO). V Sloveniji trenutno obratujejo trije radarski sistemi, katerih največja oddajna moč v impulzu presega 50 kW. Od tega sta dva civilna sistema in en vojaški.

Poleg primarnega radarja ima radarski sistem navadno tudi sekundarni radar z dosti nižjo močjo v impulzu. Rezultati meritev gostote pretoka moči sekundarnega radarja na celotnem področju meritev kažejo, da je prispevek k celotni sevalni obremenitvi zaradi delovanja sekundarnega radarja zelo majhen in ga lahko zanemarimo (Miklavčič, 1999).

Tabela 8. Sevalne obremenitve nekaterih pomembnejših visokofrekvenčnih virov EMS v Sloveniji (Miklavčič 1999)

Srednjevalovni radijski oddajniki					
oddajnik	oddajna moč (kW)	oddajna frekvenca (kHz)	oddaljenost (m)	električna poljska jakost E (V/m)	magnetna poljska jakost H (A/m)
Beli križ	15	549	100	54,5	0,17
	10	1170		16,3	0,08
	15	549	180	9,7	0,02
	10	1170		5,6	0,01
Nemčavci	7-8	648	100 1200	14,8 0,9	0,1 0,003
Domžale	300	918	100 600	74,4 3,7	0,26 0,1
UKV radijski oddajniki (Nanos)					
oddajnik	oddajna moč (kW)	oddajna frekvenca (MHz)	oddaljenost (m)	električna poljska jakost E (V/m)	gostota pretoka moči S (W/m ²)
RA morje	10	88,6	na meji nadzorovanega območja	3,07	0,025
RA 1	50	92,9		8,3	0,18
RA 2	100	95,3		8,9	0,21
RA Koper	50	103,1		7,26	0,14
RA 3	50	105,7		7,7	0,16
VHF/UHF televizijski oddajniki (Nanos)					
oddajnik	oddajna moč (kW)	oddajna frekvenca (MHz)	oddaljenost (m)	električna poljska jakost E (V/m)	gostota pretoka moči S (W/m ²)
TVS 1	35	182,25	na meji nadzorovanega območja	4,75	0,06
TV Koper	400	519,25		6,7	0,12
TVS 2	400	631,25		6,14	0,10
TV 3	150	791,25		2,75	0,02
Radarji					
Radar za nadzor zračnega prometa	oddaljenost od vertikalne osi antene (m)		temenska vrednost gostote pretoka moči S_M (W/m ²)		
Radar civilne plovbe Watchman na letališču Brnik	15		0,19		
	33		0,83		
	50		0,65		
	100		0,36		
	150		0,18		
	75		0,90		
	300		0,36		
	1050		0,0255		
1500		0,0006			
Hidrometeorološki radar	oddaljenost od vertikalne osi antene (m)		temenska vrednost gostote pretoka moči S_M (W/m ²)		
Hidrometeorološki radar na Lisci	9		12		
	22		208		
	34		375		
	47		229		
	21		143		
	75		0,03		
	165		15		
	282		4		

Viri EMS v delovnem okolju

Statična električna in magnetna polja

Statična magnetna polja srečujemo v okolici, ki uporabljajo velike enosmerne tokove tja do 100 kA. To je predvsem v industriji pri elektrolizi aluminija, pri uporabi talilnih peči, pri varjenju in podobno (Hietanen, 2002). V bližini teh naprav magnetna polja dosežejo od 4 do 7 mT. Pri galvanizacijskih posopkih, kjer je pri večjih napravah poraba enosmernega toka od 4 do 10 kA, pa lahko na mestih, kjer se zadržuje osebe, pričakujemo magnetno polje od 0,5 do 4 mT.

Veliko višje vrednosti so izmerjene pri medicinskih diagnostičnih napravah za magnetno resonančno slikanje (NMR) z nazivno vrednostjo celo do 4 T. Neposredno ob tuljavi 0,5 T magneta lahko nastopijo vrednosti do 250 mT. Z oddaljenostjo v smeri osi tuljave hitro upadajo, tako da lahko pri oddaljenosti 14 m pričakujemo 0,1 mT. V radialni smeri pade magnetno polje na to vrednost že pri oddaljenosti 11 m.

Nizkofrekvenčna polja do 100 kHz

Nizkofrekvenčnim EMS so poklicno najbolj izpostavljeni nedvomno delavci v proizvodnji in pri prenosu električne energije ter težki in predelovalni industriji.

Celovita analiza izpostavljenosti zaposlenih v proizvodnji, distribuciji in prenosu električne energije z osebni dozimetri kaže, da so najbolj izpostavljeni električarji. Sledijo jim vzdrževalci in tehniki. Najmanj pa so izpostavljeni zaposleni v administraciji.

Visokofrekvenčna EMS frekvenc med 100 kHz in 300 GHz

V industriji (lesna, predelovalna, kovinska galanterija...) navadno uporabljajo visokofrekvenčne generatorje standardnih frekvenc (od 0,2 do 2450 MHz) in različnih moči (0,1-100 kW) za obdelavo materialov.

V medicini uporabljajo visokofrekvenčne generatorje srednjih moči do 500 W in standardnih frekvenc za doseg pozitivnih fizioterapevtskih učinkov. To so namenski viri, ki sevajo v svojo okolico poleg koristnih za pacienta, tudi parazitna elektromagnetna polja navzočim operaterjem.

Največje tveganje za zdravje zaposlenih v oddajnikih in zvezah zaradi izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem lahko pričakujemo med vzdrževanjem antenskih sistemov. Tako se za zmanjšanje sevalnih obremenitev zaposlenih izvajajo preventivni ukrepi in druge tehnične rešitve (znižanje oddajne moči med opravljanjem vzdrževalnih del, uporaba osebnih zaščitnih sredstev in osebni merilniki poljskih jakosti).

Tabela 9. Izmerjene vrednosti poljskih jakosti, ocena sevalnih obremenitev glede na izvor (Miklavčič, 1999).

Vir	izhodna moč (kW)	frekvenca (MHz)	lokacija	električno polje E (V/m)	magnetno polje H (A/m)
avto telefon	$2 \cdot 10^{-2}$	890-960	0,1 m	50	-
brežični telefon	10^{-4}	27-44	0,1 m	13-20	-
AM oddajnik	300	0,91	antenski stolp kontrolna soba	1500 80	0,1 -
UKV oddajnik	100	95,3	antenski stolp kontrolna soba	do 450 do 3	do 7 -
TV oddajnik	400	631,25	antenski stolp kontrolna soba	do 400 do 5	do 4 -
radar za nadzor zračnega prometa	70	2880	na letališču kontrolna soba	do 19 0,01	do 0,05 -

Literatura

- J. B. Andersen, P. E. Mogensen, G. F. Pedersen, "Exposure Aspects of W-CDMA", Report to the GSM Association, Center for Personkommunikation, Aalborg University, Denmark, December 2001
- ARSO, "Poročila o stanju okolja v Sloveniji - elektromagnetna sevanja", Agencija RS za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor, <http://www.arso.gov.si/>
- M. Hietanen, A.M. Hämäläinen, P. Nandelstadh, "Electromagnetic fields in the work environment, Guidance for occupational exposure assessment", Finnish institute of occupational health, Helsinki 2002
- B. Hribernik, M. Trlep, "Vpliv elektromagnetnega polja na ljudi". Posvetovanje o močnostni elektrotehniki in sodobnih električnih inštalacijah, 25. in 26. marec 2004, Radenci, Elektrotehniško društvo Maribor, 2004
- ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, <http://www.icnirp.org/>
- D. Miklavčič, P. Gajšek, Z. Svetik, L. Vodovnik, F. Bobanovič, D. Šemrov "Posnetek stanja obremenjenosti okolja z elektromagnetnimi sevanji", zaključno poročilo o rezultatih opravljenega projekta v okviru ciljnega raziskovalnega projekta Varstvo okolja, Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, Slovenski institut za kakovost in meroslovje, 1996
- D. Miklavčič, P. Gajšek, "Vpliv neioniziranih elektromagnetnih sevanj na biološke sisteme". Založba FE in FRI, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 1999
- NRPB, "Possible Health Effects from Terrestrial Trunked Radio (TETRA)", Report of an Advisory Group on Non-ionising Radiation, National Radiological Protection Board, Chilton, Vol. 12, No. 2, 2001
- WHO, World Health Organisation, Electromagnetic fields (EMF), <http://www.who.int/peh-emf/en/>
- WICNIRP, "Non-Ionizing Radiation". Proceedings of the 3rd International Non-Ionizing Radiation Workshop Baden (Vienna), Austria, April 22-26, 1996, R. Matthes, (ed.) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1996

VPLIV TEH NAPRAV NA BIOLOŠKE SISTEME - literatura

Elektromagnetna sevanja delimo na ionizirana sevanja in neionizirana sevanja. Druga imajo nižje frekvence od ioniziranih in premajhno energijo za ionizacijo snovi. Delimo jih na enosmerna električna in magnetna polja, sevanja nizkih in visokih frekvenc ter infrardečo, vidno in ultravijolično svetlobo. Glavni viri neioniziranih sevanj, s katerimi se vsak dan srečujemo, so daljnovodi, gospodinjske naprave, radijski in televizijski oddajniki, radarji, sončna svetloba ter mobilni telefoni in njihove bazne postaje.

Nizkofrekvenčna električna in magnetna polja

Nizkofrekvenčna magnetna polja inducirajo kroženje električnih tokov v telesu, pri čemer je velikost tokov odvisna od velikosti in frekvence zunanega magnetnega polja. Če je polje dovolj veliko (to je zelo redko), tokovi lahko povzročajo draženje živcev in mišic, pa tudi druge biološke učinke.

Visokofrekvenčna elektromagnetna polja

Visokofrekvenčna (VF) elektromagnetna polja povzročajo glavne biološke učinke v obliki segrevanja tkiva. Ko visokofrekvenčni elektromagnetni val pri širjenju skozi prostor naleti na živo snov, se del energije odbije, del pa prodre v globino in se v tkivu absorbira. Absorbirana energija se pretvori v različne oblike in tako lahko pride do interference z delovanjem organizma. V veliki večini, se absorbirana energija pretvori v termično. Posledično, pride do segrevanja organizma, kar se v večini bioloških sistemov odraža v povišanju telesne temperature za stopinjo in več. V primeru majhnega

dviga telesne temperature, termoregulacijski center avtomatsko uravna temperaturo telesa na normalno vrednost.

Polje lahko prodre v tkivo, pri čemer je vdorna globina odvisna od frekvence valovanja. Vdorna globina je razdalja, pri kateri se amplituda vpadnega vala zmanjša na 36 % (vrednost $1/e$). Pri frekvencah okrog 1 MHz elektromagnetni val znatno prodre v organizem, medtem ko se pri frekvencah nad 10 GHz praktično celotni val absorbira v koži. Pri uporabi mobilnega telefona je vdorna globina približno do 1 cm.

Energijska absorpcija

Pri nizkih frekvencah (pod 100 kHz) lahko veliko bioloških učinkov povežemo z gostoto toka v tkivu (A/m^2). Tako se ta parameter zelo pogosto uporablja kot dozimetrična veličina. Kot dozimetrično veličino pri višjih frekvencah, kjer je večina interakcij posledica absorpcije energije na enoto mase, pa se uporablja stopnja specifične absorpcije (SAR – Specific Absorption Rate) v W/kg . SAR (W/kg) je določena s količino moči, prenesene biološki masi. S pomočjo SAR je možno opisati predvsem termične biološke učinke visokofrekvenčnih EMS. Navadno se uporablja povprečna SAR v 6-minutnem intervalu, kolikor znaša časovna konstanta biološkega sistema (Miklavčič, 1999).

$$SAR = \frac{|J|^2}{\sigma\rho} = \frac{\sigma \cdot |E|^2}{\sigma}$$

J - gostota toka (A/m^2)

ρ - gostota tkiva (kg/m^3)

σ - električna prevodnost tkiva (S/m)

E - notranja električna poljska jakost (V/m)

Pri visokih frekvencah je zelo pomembna orientacija objekta glede na vpadni val EMS. Telo se namreč obnaša kot antena in absorbira energijo v odvisnosti od dimenzije telesa v primerjavi z valovno dolžino. Če zanemarimo refleksijski faktor, se vsa vpadna energija absorbira v telesu.

SAR in vpliv na zdravje

Ugotovljeno je, da kratkotrajna izpostavljenost celega telesa vrednosti SAR do $4 W/kg$ prispeva k dvigu temperature telesa za manj kot $1^\circ C$. Znanstveni dokazi kažejo, da imajo lahko EMS negativen vpliv na zdravje, ko stopnja specifične absorpcije (SAR) doseže in preseže vrednost $4 W/kg$ za celo telo. Pri visokih jakostih lahko pride do akutnih poškodb (katarakta, opekline, vročinska izčrpanost in vročinski udar) zaradi čezmerne segrevanja. Po vseh znanstvenih merilih je tak dvig temperature še sprejemljiv. V eni izmed študij, ki so jo opravili na prostovoljcih, so ugotovili, da je pri 15 - 20 min izpostavljanju SAR $4 W/kg$, temperatura telesa narasla za $0,2$ do $0,5^\circ C$ (Gajšek, 2003).

Znanstvena literatura ne izključuje možnosti negativnih učinkov EMS pod vrednostjo SAR $4 W/kg$ za celotno telo, zato je bil uveden varnostni faktor (safty factor), ki ne upošteva samo pomanjkljivih znanstvenih izsledkov, temveč tudi druge možne okoliščine, v katerih pride do izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem. Varnostni faktor reda 50 je bil uveden zato, da bi zaščitili tiste ljudi (otroke, nosečnice in ostarele), ki so morebiti bolj občutljivi na izpostavljenost mikrovalovom. Ob upoštevanju varnostnega faktorja znaša dopustna vrednost SAR za celo telo $0,08 W/kg$ (ICNIRP, 1998). V primeru, da pride do izpostavljenosti samo dela telesa (npr. glava med uporabo mobilnega telefona), pa lokalno omejena vrednost SAR ne sme preseči $2 W/kg$ (Gajšek, 2003).

V povezavi z možnimi netermičnimi učinki Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) ugotavlja, da nobena dosedanja raziskava ni pokazala na obstoj negativnih vplivov na zdravje pri jakostih pod dovoljenimi mejnimi vrednostmi, kljub dejstvu, da lahko VF EMS vplivajo na biološke sisteme pri

jakostih, ki so premajhne za zaznavni dvig temperature. Tako Svetovna zdravstvena organizacija kot tudi Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji sta mnenja, da rezultati opravljenih raziskav o netermičnih učinkih ne dajejo zanesljive podlage za oblikovanje mejnih vrednosti (Forum EMS, 2003).

Raziskave vpliva EMS na biološke sisteme

Raziskave, ki preučujejo možne biološke učinke zaradi izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem, v splošnem delimo na skupine:

- **In vitro** raziskave – raziskave potekajo na komponentah bioloških sistemov (molekule, kulture celic, tkiva...). Takšne raziskave nudijo določen vpogled v mehanizme interakcij z elektromagnetnimi sevanji. **In vitro** študije so pomembne za določanje mehanizmov interakcij in ugotavljanje ustreznih bioloških posledic in pogojev izpostavljenosti. Ugotovljene učinke v **In vitro** pogojih je potrebno preveriti še v **In vivo** pogojih.
- **In vivo** raziskave – raziskave potekajo na celovitih bioloških sistemih, kot so npr. laboratorijske živali. Njihova velika izvedbena prednost je v izredno veliki kontroli nad laboratorijskimi pogoji, kjer so vsi parametri okolja in izpostavljenosti konstantni.
- Raziskave na ljudeh – laboratorijske raziskave na prostovoljcih ter epidemiološke raziskave na različnih skupinah ljudi v delovnem in bivalnem okolju. Laboratorijske raziskave na prostovoljcih se izvajajo z njihovim soglasjem in nudijo izredno kontrolirane pogoje izpostavljenosti. Epidemiološke raziskave na drugi strani preučujejo vzorce in možne vzroke določenih obolenj pri izbrani populaciji ljudi. Navadno en del izpostavljene skupine ljudi EMS primerjajo z neizpostavljeno ali vsaj manj izpostavljeno skupino ljudi. Največja težava je zagotoviti dve popolnoma identični skupini v zadostnem številu, ki bi se razlikovali samo v izpostavljenosti EMS.

Vsekakor pa še vedno niso dokazane posledice, kot so izguba spomina, spanje, glavobol, rak, sprememba tlaka krvi, subjektivni efekti (hypersensitivnost), možganska blokada krvi, rast tumorja, sprememba reakcijskega časa in epidemiološka obolenja pri dovoljenih količinah EMS. Vsi znanstveni rezultati temeljijo na potrjevanju hipotez s pomočjo eksperimenta. Verodostojnosti posameznega znanstvenega rezultata se bistveno poveča, če je le-ta ponovljiv oz. če lahko do enakih ali podobnih rezultatov pridejo tudi raziskovalci drugih znanstvenih skupin.

Vpliv mobilnih telefonov

V zadnjem času je sicer precej medijske pozornosti zbudila študija, ki je del projekta REFLEX. Avtorji so na podlagi rezultatov v omenjeni študiji poročali o učinkih mikrovalov na celične kulture ter tako spodbudili domneve o možnosti, da bi elektromagnetno sevanje mobilnih telefonov povzročalo raka. Dosedaj objavljene raziskave pa ne dajejo povoda za zaskrbljenost. Razpoložljivi izsledki namreč ne kažejo na obstoj škodljivih vplivov mikrovalov na zdravje pod nivoji, ki jih določajo priporočila Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) ter priporočila EU. Potrebno pa se je zavedati, da so mobilni telefoni v široki uporabi relativno kratek čas, zato eventualnih učinkov po daljši izpostavljenosti in daljši latentni dobi še ni bilo mogoče odkriti in posledično tveganja zaradi EMS mobilne telefonije ne moremo popolnoma izključiti.

Uporaba mobilnih telefonov pa lahko tudi posredno vpliva na zdravje. Študije so namreč pokazale, da se ob uporabi mobilnih telefonov med vožno (z ali brez sistema za prostoročno telefoniranje) povečuje število prometnih nezgod.

Uporaba EMS v medicini

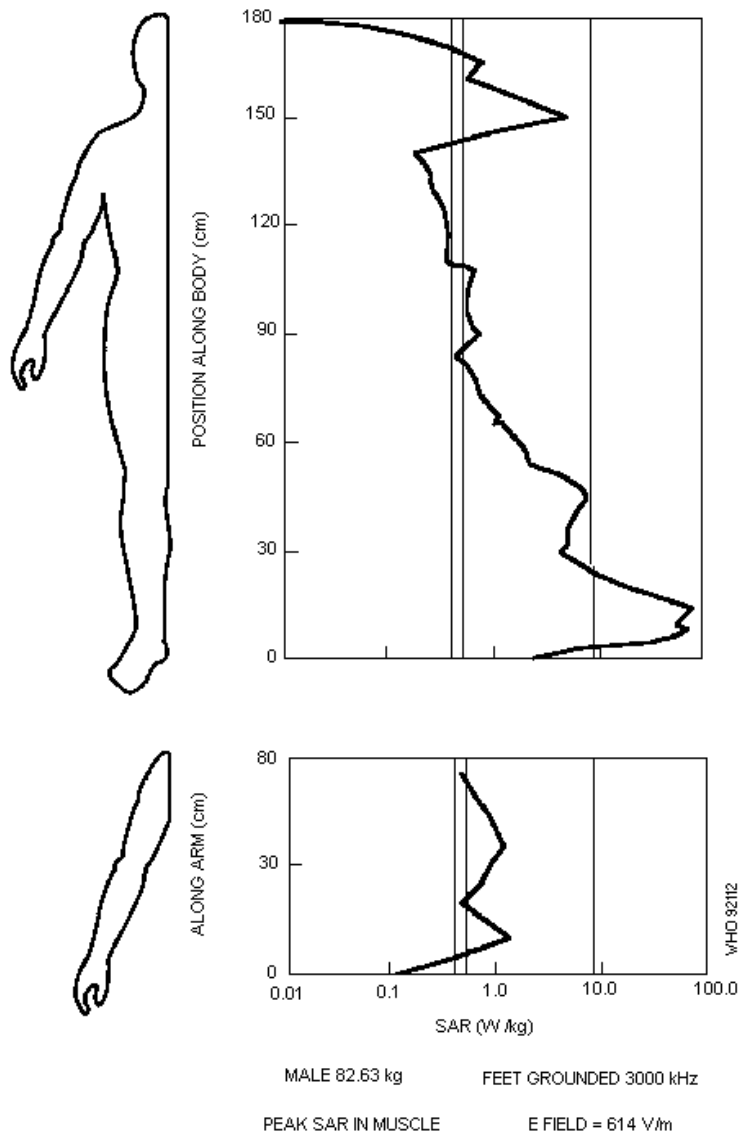
Elektromagnetna sevanja se lahko s pridom uporabljajo tudi v zdravstvu. EMS so čedalje bolj razširjena v medicini za terapevtske aplikacije in diagnostične metode. Pri tem se uporabljajo najrazličnejše oblike električnih signalov, različnih frekvenc in jakosti. Na eni strani lahko najdemo eno vrsto naprav z obliko signala PEMF (pulzirajoče elektromagnetno polje), ki se uporablja pri različnih terapevtskih aplikacijah, kot so celjenje kosti, ligamentov in kit, perifernih živcev po

transsekciji ali stisnjenju, zdravljenje diabetičnih nevropatij, zmanjšanje posledic akutne možganske ishemije in akutne ishemijem srčne mišic. Na drugi strani pa se različni signali lahko uspešno uporabljajo za zdravljenje kroničnih ran.

Vpliv EMS na posamezne dele biološkega sistema

EMS vpliva na posamezne dele biološkega sistema. Ugotovljeno je bilo, da lahko pri lokalni povišani SAR pride do poškodbe oči. Oči so namreč zaradi slabe prekrvavljenosti in s tem zmanjšane sposobnosti odvajanja toplote v primerjavi z drugimi tkivi izredno občutljive na izpostavljanje visokofrekvenčnim sevanjem. Enkratna kratkotrajna izpostavitve oči močnemu VF sevanju ima lahko za posledico nastanek karaktera oz. sive mreže. VF sevanja lahko vplivajo tudi na delovanje nadledvične žleze in ščitnice. Raziskave glede teh vplivov se precej razlikujejo. Nekatere raziskave so namreč pokazale vpliv na ščitnico že pri SAR 2,1 W/Kg, medtem ko pri drugih raziskavah ni prišlo do nobenih sprememb pri SAR do 25 W/Kg. Poskusi na živalih so pokazali, da lahko EMS povzročijo različne spremembe imunskega sistema in krvne slike. Učinki sevanja nastopijo pri SAR višjem od 0,5 W/Kg. Pri izpostavljanju VF EMS, ki povzročijo segrevanje, prihaja tudi do vpliva na kardiovaskularni sistem. Pri poskusih na živalih, ki so bile izpostavljene takšnim sevanjem, je prišlo do povišanja bitja srca in povišanja krvnega tlaka. Raziskave, ki so potekale na podganah so pokazale, da traja izpostavljenost impulznim EMS vrednosti SAR od 0,3 do 2,5 W/Kg ni vplivala na frekvenco bitja srca in krvni tlak. Poskusi na živalih so med drugim pokazali, da pri kronični izpostavljenosti SAR > 2 W/Kg lahko pride do sprememb v centralnem živčnem sistemu. Na podlagi raziskav o naravnem in pogojnem obnašanju poskusnih živali je mogoče sklepati, da pri SAR višjih od 1 W/kg lahko pride do motenj v določenih vedenjskih vzorcih. V splošnem pa velja, da so te motnje reverzibilne.

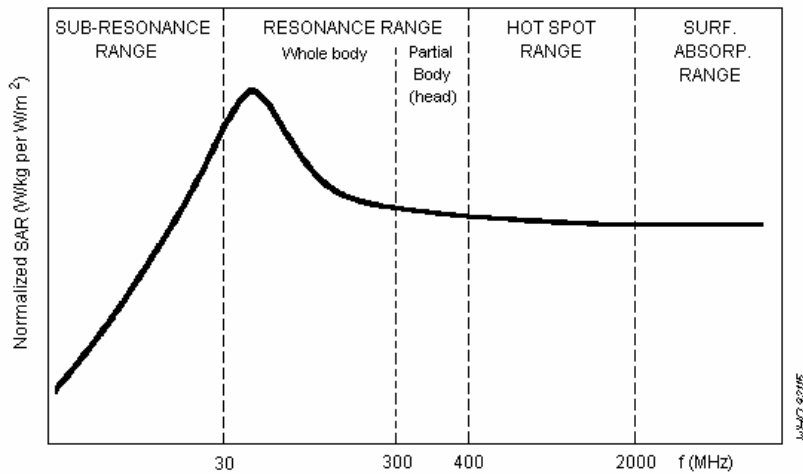
Na sliki 1 je prikazana porazdelitev izračunanih SAR vrednosti v človeškem telesu izpostavljenem električnemu polju 614 V/m. Maksimalne SAR vrednosti so bile izračunane iz razmerja električne prevodnosti posameznega tkiva in povprečne električne prevodnosti celotnega eliptičnega elementa. Največja SAR vrednost je bila dobljena okolici gležnja in je znašala 100W/kg. Omenjena SAR vrednost je sicer precej visoka, a se pojavlja v razmeroma majhnem volumnu.



Slika 1: Izračunane SAR vrednosti v človeškem telesu izpostavljenem električnemu polju 614 V/m

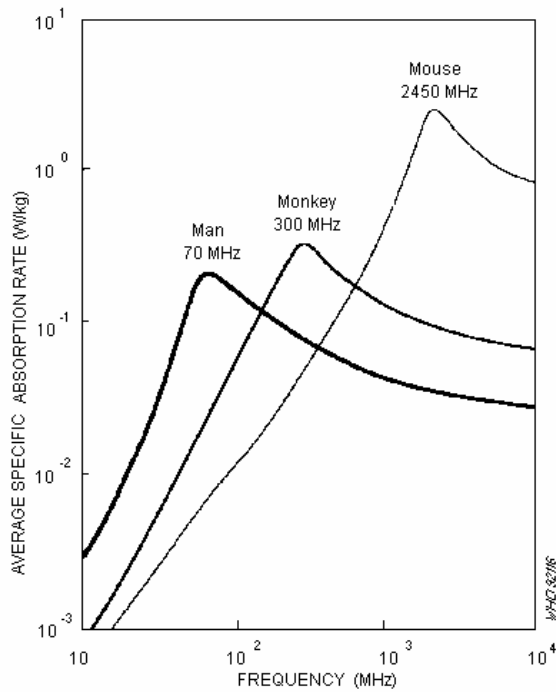
SAR je tudi frekvenčno odvisen! Na sliki 2 je prikazana frekvenčna odvisnost SAR vrednosti pri ljudeh. Prikazano odvisnost delimo na 4 območja:

- podrezonančno območje (sub-resonance range): območje vsebuje frekvence manjše od 300 MHz. V tem območju se s povišanjem frekvence SAR povečuje;
- Resonančno območje (resonance range): resonančno območje pokriva frekvence od 30 MHz do 300 MHz. V resonančnem območju pride do največje absorpcije! Pri manjših delih telesa (npr. glava) resonančno območje zajema tudi višje frekvence;
- "hot-spot" območje (hot spot range): območje zajema frekvence od 400 MHz do 3 GHz. V tem območju se pojavljajo lokalne energijske absorpcije, le-te pa s povečanjem frekvence poenjajo;
- površinsko absorpcijsko območje (surface absorption range): to območje pokriva frekvence višje od 3 GHz. V tem območju prihaja do lokalnih povišanj temperature, pri čemer pa se takšna povišanja pojavljajo samo na površini telesa.



Slika 2: Frekvenča odvisnost normiranih SAR vrednosti pri ljudeh

Povprečane SAR vrednosti so odvisne tudi od velikosti biološkega telesa. Na Sliki 3 so prikazane povprečne SAR vrednosti v odvisnosti od frekvence za ljudi, opice in miši. Iz grafa je razvidno, da se pri manjšem biološkem telesu rezonačno območje, torej območje v katerem prihaja do največje absorpcije EMS, pojavi pri višjih frekvencah.



Slika 3: Frekvenča odvisnost povprečnih SAR vrednosti pri ljudeh, opicah in miših

Literatura

- WHO, World Health Organisation, <http://www.who.org>
- COST 281 - European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, www.cost281.org
- D. Miklavčič, P. Gajšek, "Vpliv neioniziranih elektromagnetnih sevanj na biološke sisteme". Založba FE in FRI, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 1999
- P. Gajšek, »Ali elektromagnetna sevanja mobilnih telefonov in baznih postaj vplivajo na naše zdravje?«, Mobitel d.d., 2003.
- INCHEM, »Environmental health criteria 137 - electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz)«, www.inchem.org
- Projekt FORUM EMS, »Elektromagnetna sevanja - Mobilna telefonija in zdravje«, Ljubljana, December 2003
- REFLEX, Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Energy Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods. <http://www.verum-foundation.de/>
- ICNIRP, »Guidelines on limits of exposure to time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (0,1 Hz to 300 GHz)«, International Commission on Non-Ionising Radiation Protection, Health Physics, vol. 54, 1998
- ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, <http://www.icnirp.org/>

EKSPERIMENTI IN BLIŽNJA MERJENJA V LABORATORIJU

Za potrebe merjenj elektromagnetnih polj v Republiki Sloveniji se uporabljata standarda SIST ENV 50166-1 in SIST ENV 50166-2, ki sta prevzeta po evropskima standardoma. Način meritev visokofrekvenčnega polja v območju 10 kHz do 300 GHz, merilne metode, potrebno merilno opremo, definicije in strokovne izraze opisuje standard SIST ENV 50166-2.

V vakuumu potujejo elektromagnetni valovi s hitrostjo $c = 300000 \text{ km/s}$. V radijskih oddajnikih oscilator harmonično (sinusno) pospešuje elektrone v anteni, ki seva elektromagnetno valovanje. Električna in magnetna poljska jakost v daljnem polju nihata sočasno in sta premosorazmerni druga z drugo. Zato je celotna energija elektromagnetnega valovanja vsota energij električnega in magnetnega polja. Pri ravninskem elektromagnetnem valovanju (daljno polje) sta električno in magnetno polje v fazi in krajevno premaknjeni za 90° ter istočasno pravokotni na smer širjenja valovanja. Enota električne poljske jakosti E je V/m, magnetne poljske jakosti H pa A/m. Pomembna je množina energije, ki jo valovanje v enoti časa prenese skozi enoto ploskve. Gostota pretoka moči je določena z enačbo

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (\text{W/m}^2), \text{ kjer je}$$

E – efektivna vrednost električne poljske jakosti

H – efektivna vrednost magnetne poljske jakosti

Pred začetkom meritev je treba oceniti pričakovano poljsko jakost in gostoto pretoka moči. Če ocenjena vrednost preseže mejne vrednosti, mora merilec nositi zaščitna oblačila. Pri frekvencah višjih od 1 GHz pa mora s posebnimi zaščitnimi sredstvi zaščititi tudi oči oziroma obraz. Paziti je treba, da ne prekoračimo merilnega območja merilnih naprav, ker bi to povzročilo uničenje senzorja polja.

Bližnje in daljno polje

Obratovalna frekvenca, dimenzije vira in oddaljenost med merilnim mestom in virom določajo, ali izvajamo meritev v bližnjem ali daljnem polju.

Ločiti je treba med področjema polj anten majhnih dimenzij, kjer so dimenzije reda ene valovne dolžine ali manj, $D < \lambda$ in anten velikih dimenzij, kjer so dimenzije večje kot valovna dolžina, $D \gg \lambda$.

Pri tem pomenijo oznake: λ - valovna dolžina, D - največja dimenzija antene v oddajnem režimu.

V prostoru okrog anten majhnih dimenzij ($D < \lambda$) se električna poljska jakost zmanjšuje z $1/r^3$ oziroma $1/r^2$, medtem ko se v daljnem polju zmanjšuje z $1/r$. Pri majhnih antenah je meja med bližnjim in daljnim poljem določena z $\lambda/2\pi$, medtem ko je pri velikih določena z $2D/\lambda$.

V bližini vira visokofrekvenčnih EMS ima polje poleg sevalne komponente močno reaktivno (induktivno ali kapacitivno) komponento. Območje do $\lambda/2\pi$, kjer prevladuje reaktivna komponenta, se imenuje bližnje reaktivno polje. V tem polju se energija še pretaka iz antene v prostor in nazaj. Reaktivno polje hitro upada z razdaljo od vira ($1/r$).

Sevalno bližnje polje je področje v bližini antene, kjer električno in magnetno polje nista proporcionalni ter se ne ujemata v fazi. Tu se električna in magnetna poljska jakost spreminjata z $1/r$. Relativna faza in amplituda povzročata kompleksno porazdelitev polja znotraj področja $2D^2/\lambda$. Pri razdalji, manjši od $D/2\pi$, se spremeni tudi polarizacija in razmerje med električnim in magnetnim poljem.

Če se meri v oddaljenosti najmanj ene valovne dolžine (λ) od vira sevanja, zadostuje meritev samo veličine E ali H . Druga veličina se določi iz enačbe za karakteristično impedanco Z .

V daljnem polju uporabimo enačbo za karakteristično impedanco

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \text{ } [\Omega]$$

medtem ko za bližnje polje to ne velja.

Za natančno meritev visokofrekvenčnih elektromagnetnih sevanj je potrebno pridobiti podatke o glavnih tehničnih karakteristikah in režimu obratovanja vira. Te informacije so potrebne za oceno pričakovanih poljskih jakosti ter za izbiro najbolj primerne merilne metode z ustrežno metrološko verificirano merilno opremo.

Za določitev sevalne obremenitve je potrebno poznati:

- oddaljenost od vira
- prisotnost odbojnih objektov, ki lahko povečajo električno poljsko jakost za faktor 2.

Instrumenti, ki so kalibrirani za merjenje gostote pretoka moči v daljnem polju, merijo neko navidezno moč, dejansko pa merijo le električno ali magnetno poljsko jakost. V bližnjem polju torej merimo le komponenti poljskih jakosti, katerima priredimo ustrezni gostoti pretoka moči (S_E in S_H), ki sta si praviloma različni. Za oceno sevalne obremenitve se uporablja tista, ki je po absolutni vrednosti večja. Ta je vedno enaka ali kvečjemu večja od dejanske gostote pretoka moči.

V daljnem polju, kjer je polje homogeno in je val raven ter se gostota moči spreminja obatnosorazmerno s kvadratom razdalje ($1/r^2$), velja izraz za karakteristično impedanco in je torej dovolj, da izmerimo le eno od vsebovanih komponent, s pomočjo katere lahko izračunamo ostali dve.

Pri frekvencah do 30 MHz običajno merimo magnetno poljsko jakost, pri višjih frekvencah pa električno poljsko jakost. Če so na kraju meritev prisotni signali več virov sevanj, ki obratujejo pri enakih ali različnih frekvencah, jih moramo meriti ločeno z ustreznimi merilnimi antenami. Vrednost celotne gostote pretoka moči je vsota posameznih gostot pretoka moči.

TRETJE POROČILO ZA PROJEKT

RAZISKAVA ELEKTROMAGNETNEGA SEVANJA RADIJSKIH TELEKOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV IN POSTOPKI ČLOVEKA PRI RAVNANJU S TEMI NAPRAVAMI

Obsega (pravilna uporaba naprav, pravilno ravnanje reševalcev pri reševanju v bližini naprav)

- Mejne vrednosti elektromagnetnih sevanj za VF vire sevanja
- Preventivni ukrepi za zmanjšanje vpliva elektromagnetnih sevanj
- Pravilna uporaba ročne radijske postaje Motorola GP 900

POVZETEK

Poročilo predstavlja nadaljevanje prvih dveh poročil in je smiselno razdeljeno v tri poglavja. Prvo poglavje Mejne vrednosti elektromagnetnih sevanj za VF vire sevanja podaja strnjen pregled Slovenske uredbe in Direktiv EU na tem področju. V drugem delu Preventivni ukrepi za zmanjšanje vpliva elektromagnetnih sevanj so opisani preventivni ukrepi, s katerimi je mogoče doseči, da so sevalne obremenitve na t. i. območjih s povečanim varstvom dolgoročno pod emisijskimi mejnimi vrednostmi. V tretjem poglavju pa so navedena priporočila in ukrepi ter pravilna uporaba za zmanjšanje izpostavljenosti EMS v bližini ročne radijske postaje Motorola GP 900

MEJNE VREDNOSTI ELEKTROMAGNETNIH SEVANJ ZA "VF vire" SEVANJ

Uvod

V raziskavi smo osredotočeni na VF vire EMS, zato bomo pri ugotavljanju čezmernega sevanja upoštevali podatke iz dokumentov le za mejne vrednosti za visoke frekvence. Vsekakor je osnovni in obvezni dokument v RS Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [1]. Ker pa je RS članica EU nikakor ne smemo mimo Direktive 2004/40/EC [2] iz leta 2004, katere določbe morajo biti uvedene v regulativo držav članic v določenem roku. Do tega v Republiki Sloveniji še ni prišlo, zato se navedene mejne vrednosti obeh dokumentov med sabo razlikujejo. Praviloma so vrednosti v Uredbi strožje, kot v Direktivi. Vsekakor je v tem trenutku treba upoštevati Uredbo. Kdaj in kako se bo izvedla uskladitev z Direktivo in kakšen bo rezultat, žal ne moremo napovedati. Primerjave vrednosti v standardih SIST ENV in v vodilu ICNIRP ne bomo izvedli, saj sta standarda umaknjena, vodilo pa, čeprav priznan, ni dokument z obvezno uporabo. Vendar pa, kakor smo že ugotovili, so mejne vrednosti v teh dveh dokumentih praktično identične z mejnimi vrednostmi v Direktivi.

1 Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju

1.1 Mejne vrednosti Uredbe za visokofrekvenčne vire sevanja

V tabeli povzemamo mejne efektivne vrednosti električne in magnetne poljske jakosti ter mejno povprečno vrednost gostote pretoka moči za sedem v Uredbi določenih visokofrekvenčnih pasov. Vrednosti veljajo za II. območje, ki je definirano zlasti kot območje brez stanovanj, namenjeno industrijski, obrtni ali drugi podobni proizvodni dejavnosti, transportni, skladiščni ali servisni dejavnosti, ter vsa druga območja, ki niso določena kot I. območje. Menimo, da je izbira mejnih vrednosti za II. območje primerna za objekte in naprave, ki so obravnavane v tej raziskavi. II. območje tudi najbolje sovпада z opredelitvijo veljavnosti Direktive 2004/40/EC.

Tabela 1. Mejne efektivne vrednosti VF sevanja za II. območje

Frekvenčno območje (MHz)	Mejna efektivna vrednost električne poljske jakosti ($L_{E,i}$) (V/m)	Mejna efektivna vrednost magnetne poljske jakosti ($L_{H,i}$) (A/m)	Mejna povprečna vrednost gostote pretoka moči ($L_{S,i}$) (W/m^2)
$> 0,01 \leq 0,042$	400	16,8	-
$> 0,42 \leq 0,68$	400	$0,7 / f^{(1)}$	-
$> 0,68 \leq 10$	$275 / f^{(1)}$	$0,7 / f^{(1)}$	-
$> 10 \leq 400$	27,5	0,07	2
$> 400 \leq 2000$	$1,37 \cdot \sqrt{f}^{(1)}$	$3,64 \cdot 10^{-3} / \sqrt{f}^{(1)}$	$f / 200^{(1)}$
$> 2000 \leq 150000$	61,4	0,163	10
$> 150000 \leq 300000$	$0,158 \cdot \sqrt{f}^{(1)}$	$4,21 \cdot 10^{-3} / \sqrt{f}^{(1)}$	$6,67 \cdot 10^{-5} \cdot f^{(1)}$

⁽¹⁾ - f je frekvenca izražena v MHz.

1.2 Izračun čezmerne obremenitve zaradi sevanja VF virov sevanja

Kadar imamo primer vira z večimi frekvencami sevanja ali več virov sevanja, je treba za oceno čezmerne sevanja uporabiti kriterije, ki so navedeni v Prilogi 2 uredbe in veljajo v naslednji obliki:

$$\sum_i \frac{E_i}{L_{E,i}} + \sum_j \frac{H_j}{L_{H,j}} > 1 \quad 10kHz < f \leq 680kHz$$

$$\sum_i \left(\frac{E_i}{L_{E,i}} \right)^2 > 1 \quad \text{ter} \quad \sum_j \left(\frac{H_j}{L_{H,j}} \right)^2 > 1 \quad 680kHz < f \leq 300GHz$$

$$\sum_i \frac{S_i}{L_{S,i}} > 1 \quad 10MHz < f \leq 300GHz$$

E_i - efektivna vrednost električne poljske jakosti i-tega vira oziroma i-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah,

H_j - efektivna vrednost magnetne poljske jakosti j-tega vira oziroma j-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah,

S_j - povprečna vrednost gostote pretoka moči i-tega vira oziroma i-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah

$L_{E,i}$, $L_{H,i}$, $L_{S,i}$ - i-temu frekvenčnemu območju ustrezna mejna vrednost električne, magnetne poljske jakosti in povprečne vrednosti gostote pretoka moči iz tabele 3 in 4 v 5. členu te uredbe.

Če je kraj meritve izpostavljen sevanju, ki traja manj kot 6 minut in je posledica obratovanja ali uporabe enega ali več visokofrekvenčnih virov sevanja, ki sevajo pri frekvencah večjih od 680 kHz, je ne glede na določbe prejšnjega odstavka obremenitev območja čezmerna, če za časovna povprečja iz prvega odstavka priloge 3, ki je sestavni del te uredbe, velja:

$$\sum_i \left(\frac{E_{pov,i}}{L_{E,i}} \right)^2 > 1 \quad \text{ter} \quad \sum_j \left(\frac{H_{pov,j}}{L_{H,j}} \right)^2 > 1 \quad 680\text{kHz} < f \leq 300\text{GHz}$$

$$\sum_i \frac{S_{pov,i}}{L_{S,i}} > 1 \quad 10\text{MHz} < f \leq 300\text{GHz}$$

kjer je:

$E_{pov,i}$ - časovno povprečje efektivne vrednosti električne poljske jakosti iz prvega odstavka priloge 3 i-tega vira oziroma i-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah,

$H_{pov,i}$ - časovno povprečje efektivne vrednosti magnetne poljske jakosti iz prvega odstavka priloge 3 j-tega vira oziroma j-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah,

$S_{pov,i}$ - časovno povprečje povprečne vrednosti gostote pretoka moči i-tega vira oziroma i-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah,

$L_{E,i}$, $L_{H,i}$, $L_{S,i}$ - i-temu frekvenčnemu območju ustrezna mejna vrednost električne, magnetne poljske jakosti in povprečne vrednosti gostote pretoka moči iz tabele 3 in 4 v 5. členu te uredbe.

Če je kraj meritve izpostavljen sevanju, ki traja manj kot 100 ms in je posledica obratovanja ali uporabe enega ali več visokofrekvenčnih virov sevanja, ki sevajo pri frekvencah manjših ali enaki 680 kHz, je ne glede na določbe prvega odstavka tega člena obremenitev območja čezmerna, če za časovna povprečja iz drugega odstavka priloge 3 velja:

$$\sum_i \frac{E_{pov,i}}{L_{E,i}} + \sum_j \frac{H_{pov,j}}{L_{H,j}} > 1 \quad 10\text{kHz} < f \leq 680\text{kHz}$$

$E_{pov,i}$ - časovno povprečje efektivne vrednosti električne poljske jakosti iz drugega odstavka priloge 3 i-tega vira oziroma i-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah,

$H_{pov,i}$ - časovno povprečje efektivne vrednosti magnetne poljske jakosti iz drugega odstavka priloge 3 j-tega vira oziroma j-te frekvence, če vir seva pri več frekvencah,

$L_{E,i}$, $L_{H,i}$ - i-temu frekvenčnemu področju ustrezna mejna vrednost električne in magnetne poljske jakosti iz tabele 3 in 4 v 5. členu te uredbe.

Pri izračunu iz prejšnjih odstavkov se upoštevajo samo deleži pri tistih frekvencah ali tistih virih, za katere velja:

- $E_i / E_{\max} > 0,2$ in
- $H_j / H_{\max} > 0,2$,

kjer sta E_{\max} in H_{\max} največja od vseh E_i in H_j , ki prispevajo k elektromagnetnemu polju zaradi sevanja.

1.3 Izračun časovnih povprečij pri izpostavljenosti sevanju, ki je krajša od 6 minut

V Prilogi 2 uredbe je uporabljeno časovno povprečje električne in magnetne poljske jakosti, katerega način določanja je podan v Prilogi 3 uredbe. Razen teh dveh parametrov je definirano tudi časovno povprečje gostote pretoka moči.

Če je čas izpostavljenosti sevanju krajši od 6 minut in je frekvenca večja od 680 kHz, se izračuna:

- časovno povprečje efektivne vrednosti za električno poljsko jakost po enačbi:

$$E_{pov} = \sqrt{\frac{1}{T_2} \sum_n E_n^2 t_n}$$

- časovno povprečje efektivne vrednosti za magnetno poljsko jakost po enačbi:

$$H_{pov} = \sqrt{\frac{1}{T_2} \sum_n H_n^2 t_n} \quad \text{in}$$

- časovno povprečje povprečne vrednosti gostote pretoka moči po enačbi:

$$S_{pov} = \frac{1}{T_2} \sum_n S_n t_{ni} .$$

Če je čas izpostavljenosti sevanju krajši od 100 ms in so frekvence manjše ali enake 680 kHz, se izračuna časovno povprečje efektivne vrednosti za električno poljsko jakost po enačbi:

$$E_{pov} = \frac{1}{T_1} \sum_n E_n t_{ni}$$

in časovno povprečje efektivne vrednosti za magnetno poljsko jakost po enačbi:

$$H_{pov} = \frac{1}{T_1} \sum_n H_n t_n .$$

Oznake v enačbah iz prejšnjih odstavkov pomenijo:

E_{pov} - časovno povprečje efektivne vrednosti električne poljske jakosti,

H_{pov} - časovno povprečje magnetne poljske jakosti,

S_{pov} - časovno povprečje povprečne vrednosti gostote pretoka moči,

E_n - efektivna vrednost električne poljske jakosti v času n-te izpostavljenosti sevanju,

H_n - efektivna vrednost magnetne poljske jakosti v času n-te izpostavljenosti sevanju,

S_n - povprečna vrednost gostote pretoka moči v času n-te izpostavljenosti sevanju,

t_n - čas trajanja n-te izpostavljenosti sevanju,

T_1 - čas povprečenja, enak 100 ms, in

T_2 - črečenja, enak 6 minut.

2 Direktiva 2004/40/EC Evropskega sveta in parlamenta

Direktiva 2004/40/EC navaja v svoji prilogi mejne vrednosti izpostavljenosti in opozorilne vrednosti za elektromagnetna sevanja. Vsa pojasnila so podana v tekstu priloge k Direktivi.

2.1 Mejne vrednosti izpostavljenosti Direktive 2004/40/EC

V Tabeli 2 so navedene mejne vrednosti izpostavljenosti za definirane parametre. Navajamo tabelo s pripadajočo obrazložitvijo, oziroma opombami.

Tabela 2. Mejne vrednosti izpostavljenosti

Frekvenčno območje	Gostota toka za glavo in trup J (mA/m ²) (efektivna vrednost)	Povprečna SAR za celo telo (W/kg)	Lokalizirana SAR (glava in trup) (W/kg)	Lokalizirana SAR (udje) (W/kg)	Gostota pretoka moči S (W/m ²)
Do 1 Hz	40	–	–	–	–
1 – 4 Hz	40/f	–	–	–	–
4 – 1000 Hz	10	–	–	–	–
1000 Hz – 100 kHz	f/100	–	–	–	–
100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20	–
10 MHz – 10 GHz	–	0,4	10	20	–
10 – 300 GHz	–	–	–	–	50

Opombe:

1. f je frekvenca v Hz.
2. Mejne vrednosti izpostavljenosti za gostoto toka so namenjene zaščitni pred akutnimi vplivi izpostavljenosti na tkiva centralnega živčnega sistema v glavi in trupu telesa. Mejne vrednosti v razponu frekvenc 1 Hz do 10 MHz temeljijo na ugotovljenih škodljivih vplivih na centralni živčni sistem. Takšni akutni vplivi so v bistvu trenutni in znanstvene upravičenosti za spreminjanje mejnih vrednosti izpostavljenosti, katere trajanje je kratko, ni. Ker pa se mejne vrednosti izpostavljenosti nanašajo na škodljive vplive na centralni živčni sistem lahko te mejne vrednosti izpostavljenosti dopuščajo višje gostote toka v drugih telesnih tkivih kot v centralnem živčnem sistemu pod enakimi pogoji izpostavljenosti.
3. Zaradi električne nehomogenosti telesa je treba gostote toka izračunati kot povprečja na prečni prerez velikosti 1 cm², pravokotno na smer toka.
4. Za frekvence do 100 kHz se lahko izračunajo temenske vrednosti gostote toka tako, da se pomnoži efektivna vrednost z (2)^{1/2}.
5. Za frekvence do 100 kHz in za impulzna magnetna polja se maksimalna gostota toka, povezanega z impulzi, lahko izračuna iz časov dviganja/upadanja in maksimalne stopnje spremembe gostote magnetnega pretoka. Inducirana gostota toka se nato lahko primerja z ustrežno mejno vrednostjo izpostavljenosti. Za impulze s trajanjem t_p, je treba ekvivalentno frekvenco, ki jo je treba uporabiti za mejne vrednosti izpostavljenosti, izračunati kot $f = 1/(2 t_p)$.
6. Vse vrednosti SAR je treba povprečiti prek obdobja 6-ih minut.
7. Za izračun lokalizirane SAR se uporablja masa, povprečena na 10 g stičnega tkiva; tako dobljena maksimalna SAR bi morala biti vrednost, uporabljena za oceno izpostavljenosti. Teh 10 g tkiva naj bi

bila masa stičnega tkiva s skoraj homogenimi električnimi lastnostmi. Pri določanju stične mase tkiva je priznано, da se ta koncept lahko uporablja v numerični dozimetriji, vendar povzroča težave pri neposrednih fizikalnih meritvah. Lahko se uporabi enostavna geometrija, kakor na primer kubična masa tkiva, pod pogojem da imajo izračunane dozimetrične količine konservativne vrednosti, ustrezne navodilom o izpostavljenosti.

8. Za impulzne izpostavljenosti v razponu frekvenc 0,3 do 10 GHz in za lokalizirano izpostavljenost glave, se za to, da bi omejili in se izognili slišnim vplivom, ki jih povzroča termoelastična ekspanzija, priporoča dodatna mejna vrednost izpostavljenosti. To pomeni, da SA v povprečju ne sme presegati 10mJ/kg na 10 g tkiva.

9. Povprečja gostot pretoka moči je treba izračunati za vsakih 20 cm² izpostavljenega območja in za vsako 68/f^{1,05}-minutno obdobje (kjer je f v GHz) za kompenziranje vedno krajšega prodiranja v globino, ko narašča frekvenca. Maksimalne gostote pretoka moči v prostoru, izračunane kot povprečje za 1 cm², ne smejo presegati 20-kratne vrednosti 50 W/m².

10. Za impulzna ali tranzientna elektromagnetna sevanja ali na splošno za sočasno izpostavljenost virom elektromagnetnih sevanj različnih frekvenc je treba uporabiti ustrezne metode ugotavljanja, meritev in/ali izračuna, s katerimi je mogoče analizirati značilnosti oblik valov in vrsto medsebojnih bioloških interakcij, ob upoštevanju usklajenih evropskih standardov, ki jih je razvil CENELEC.

2.2 Opozorilne vrednosti izpostavljenosti Direktive 2004/40/EC

Opozorilne vrednosti v Tabeli 3 so pridobljene iz mejnih vrednosti izpostavljenosti v skladu z obrazložitvijo, ki jo uporablja Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) v svojih navodilih o omejevanju izpostavljenosti neionizirnim sevanjem (ICNIRP 7/99).

Tabela 3. Opozorilne vrednosti izpostavljenosti

Frekvenčno območje	Električna poljska jakost, E (V/m)	Magnetna poljska jakost, H (A/m)	Gostota magnetnega pretoka, B (μT)	Ekvivalentna gostota pretoka moči ravnih valov, S _{eq} (W/m ²)	Kontaktni tok, I _C (mA)	Inducirani tok uda, I _L (mA)
0 – 1 Hz	–	1,63x10 ⁵	2x10 ⁵	–	1,0	–
1 – 8 Hz	20000	1,63x10 ⁵ /f ²	2x10 ⁵ /f ²	–	1,0	–
8 – 25 Hz	20000	2x10 ⁴ /f	2,5x10 ⁴ /f	–	1,0	–
0,025 – 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	–	1,0	–
0,82 – 2,5 kHz	610	24,4	30,7	–	1,0	–
2,5 – 65 kHz	610	24,4	30,7	–	0,4 f	–
65 – 100 kHz	610	1600/f	2000/f	–	0,4 f	–
0,1 – 1 MHz	610	1,6/f	2/f	–	40	–
1 – 10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	–	40	–
10 – 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
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	–	–

Opombe:

- f je frekvenca v enotah, navedenih v stolpcu frekvenčnega območja.
- Za frekvence med 100 kHz in 10 GHz je treba za S_{eq}, E, H, B in I_L izračunavati povprečja prek 6-minutnega intervala.

3. Za frekvence, ki presegajo 10 GHz, je treba izračunavati povprečja za S_{eq} , E, H in B za vsak $68/f^{1,05}$ –minutni interval (f v GHz).

4. Za frekvence do 100 kHz se najvišje opozorilne vrednosti za poljske jakosti lahko izračunajo tako, da se efektivne vrednosti pomnožijo z $(2)^{1/2}$. Za impulze s trajanjem t_p se mora ekvivalentna frekvenca, ki jo je treba uporabiti, izračunati kot $f = 1/(2t_p)$.

Za frekvence med 100 kHz in 10 MHz se najvišje opozorilne vrednosti za poljske jakosti izračunajo tako, da se efektivne vrednosti pomnožijo z 10^a , kjer je $a = (0,665 \log (f/10^5) + 0,176)$, f v Hz.

Za frekvence med 10 MHz in 300 GHz se najvišje opozorilne vrednosti izračunajo tako, da se ustrezne efektivne vrednosti pomnožijo z 32 za poljske jakosti in s 1000 za ekvivalentno gostoto pretoka moči ravnih valov.

5. Za impulzna ali tranzientna elektromagnetna sevanja ali na splošno za sočasno izpostavljenost virom elektromagnetnih sevanj različnih frekvenc je treba uporabiti ustrezne metode ocenjevanja, meritev in/ali izračuna, s katerimi je mogoče analizirati značilnosti oblik valov in naravo medsebojnih bioloških delovanj, ob upoštevanju usklajenih evropskih standardov, ki jih je razvil CENELEC.

6. Za temenske vrednosti impulznih moduliranih elektromagnetnih sevanj je tudi predlagano, naj nosilne frekvence ne bi presegale 10 MHz, S_{eq} , izračunan povprečno za širino impulza naj ne bi presegal 1000–kratnih opozorilnih vrednosti S_{eq} ali da poljska jakost ne bi smela 32–kratno presegati opozorilnih vrednosti poljske jakosti nosilne frekvence.

Sklep

Podatki o elektromagnetnem sevanju naprav so lahko pridobljeni na različne načine: kot podatki proizvajalcev in kot rezultati eksperimentalnih raziskav, merjenj. V vsakem primeru pa se je treba pri vrednotenju opirati na mejne vrednosti, ki jih navajajo veljavni predpisi in/ali standardi. Iz tega izhajajo nadaljnja navodila za varno delo, oziroma ukrepe v najrazličnejših primerih, ki se pojavljajo v praksi.

Navedli smo določila dveh virov, za katera mislimo da sta v tem času polnoveljavna v Republiki Sloveniji. Ker pa so raziskave neionizirnih sevanj zelo intenzivne, se pojavljajo vedno nova spoznanja, pa tudi novi viri primerjav, kar bo sčasoma pripeljalo do spremenjenih ali novih dokumentov. Nujno je, da se dogajanja na tem področju neprestano spremljajo.

Vsekakor je treba upoštevati slovensko članstvo v Evropski skupnosti in s tem povezano obveznost uporabe evropske regulative. Kljub temu je nujno spremljati in spoznavati dogajanja v širšem mednarodnem prostoru, oziroma organizacijah, ki se s tem področjem poglobljeno ukvarjajo.

Literatura

[1] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, Uradni list RS št. 70, 1996, str. 5925-5931

[2] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004, Official Journal of the European Union, 24. 5. 2004, L 184/1- L 184/9, prevod

Dokumenti v Republiki Sloveniji

Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (Uradni list RS 70/1996 z dne 6. 12. 1996)

Ta uredba določa v zvezi z elektromagnetnim sevanjem v okolju (v nadaljnjem besedilu: sevanje) mejne vrednosti veličin elektromagnetnega polja v okolju, stopnje varstva pred sevanjem v posameznih območjih naravnega in življenjskega okolja, način določanja in vrednotenje obremenitve okolja zaradi sevanja ter ukrepe za zmanjševanje in preprečevanje čezmernega sevanja. Določbe se nanašajo na sevanje nizkofrekvenčnih virov od 0 Hz do vključno 10 kHz pri napetosti večji od 1 kV in na sevanje visokofrekvenčnih virov od 10 kHz do vključno 300 GHz in oddajno močjo večjo od 100W

PREVENTIVNI UKREPI ZA ZMANJŠANJE VPLIVA ELEKTROMAGNETNIH SEVANJ

Uporaba preventivnih napotkov skuša zmanjšati tveganje morebitnih škodljivih vplivov elektromagnetnih sevanj, ki jih z znanstveno gotovostjo ni mogoče potrditi. Preventivni ukrepi so pomembni v območju pod emisijskimi mejnimi vrednostmi in v tistih primerih, ko gre za daljšo izpostavljenost ljudi elektromagnetnim sevanjem. S preventivnimi ukrepi je mogoče doseči, da so sevalne obremenitve na t. i. območjih s povečanim varstvom dolgoročno pod emisijskimi mejnimi vrednostmi. Gre za mesta, kjer se ljudje danes dlje časa zadržujejo oz. kjer se bodo dlje časa zadrževali v prihodnosti.

Najpomembnejši dejavniki s pomočjo katerih lahko zmanjšamo stopnjo absorpcije elektromagnetnega valovanja so: čas, oddaljenost in zaščita oz. oklop.

Čas

Zmanjšanje časa izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem, ima za posledico manjše vrednost specifične absorpcije SAR.

Razdalja

V primeru da sta čas izpostavljenosti in jakost sevanja konstantna, absorpcija elektromagnetnega sevanja upada z oddaljenostjo od vira sevanja.

Zaščita oz. oklop

Termin *oklop* se nanaša na bariero med virom sevanja in prejemnikom elektromagnetnega sevanja. Oklopi so predvsem namenjeni zmanjševanju prejetega sevanja. Oklopi lahko ustavijo vso sevanje ali le del sevanja odvisno od tipa oklopa in kvalitete materiala.

Preventivni ukrepi pri uporabi mobilnih telefonov in prenosnih komunikacijskih naprav

Ob nakupu in uporabi prenosnih komunikacijskih naprav, je priporočljivo upoštevati sledeča navodila oz. preventivne ukrepe:

- nakup telefona oz. mobilne prenosne naprave s čim nižjo vrednostjo SAR
- uporabo prostoročnega kompleta za telefoniranje v avtu in zunaj njega
- omejitev pogovorov le na najnujnejše
- uporabo zunanjih antenskih priključkov, ki povečujejo oddaljenost med uporabnikom in anteno

Preventivni ukrepi na področjih, kjer se nahajajo viri elektromagnetnega sevanja

V področjih, kjer se nahajajo sevalni viri, lahko izpostavljanje elektromagnetnim sevanjem zmanjšamo s sledečimi ukrepi:

- označitev mest z opozorilnimi tablami: mesta, ki so izpostavljena elektromagnetnim sevanjem, morajo obvezno biti označena z opozorilnimi tablami, saj se lahko na tak način prepreči nevedno izpostavljanje sevalnim virom;
- namestitev jasno vidnih opozorilnih znakov na mestih, kjer je možna interferenca med viri elektromagnetnega sevanja in srčnimi spodbujevalniki;
- uporaba zaščitnih očal: zaradi slabe prekrvavitve v očeh, lahko izpostavljanje očem EMS privede do njihove trajne poškodbe, zato je v takšnih področjih priporočljiva uporaba zaščitnih očal;
- Uporaba zaščitnih oblačil: v področjih močnejšega EMS je priporočljiva uporaba zaščitnih oblačil, saj lahko njihova uporaba prepreči opekline kože.

PRAVILNA UPORABA ROČNE RADIJSKE POSTAJE Motorola GP 900

Večkanalna ročna radijska postaja GP 900 služi za zvezo med udeleženci radijskega omrežja ZA-RE. Radijska postaja (RP) lahko deluje v SI (simpleks) ali SD (semidupleks) načinu v VHF področju. Na razpolago je 99 kanalov, ki so razvrščeni v frekvenčnem pasu 168 MHz do 174 MHz. Oddajno moč RP je možno izbirati med 1 W in 5 W. Kot prenosna RP uporablja za delovanje kratko palično anteno impedance 50 Ω .

Splošna varnostna navodila

Motorola, ki je proizvajalec omenjene RP, v priloženi tehnični dokumentaciji podaja nekaj navodil za učinkovito in varno delo z RP. Splošna varnostna navodila, ki se nanašajo na vse njihove RP so veljavna od 1.1.1998, ko so zamenjala do tedaj veljavna varnostna navodila.

Izpostavljenost energiji radijskih frekvenc

RP, ki proizvaja in seva elektromagnetno energijo radijskih frekvenc je izdelana v skladu s sledečimi nacionalnimi in mednarodnimi standardi in smernicami, ki obravnavajo izpostavljenost človeka elektromagnetnemu sevanju (EMS):

European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC):

ENV 50166-1 1995 E Human exposure to electromagnetic fields Low frequency (0 Hz to 10 kHz)

ENV 50166-2 1995 E Human exposure to electromagnetic fields High frequency (10 kHz to 300 GHz)

Proceedings of SC211/B 1996 "Safety Considerations for Human Exposure to EMFs from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the Frequency Range 30 MHz - 6 GHz (EMF - Electro Magnetic Fields)

U.S. and International Standards:

Federal Communications Commission Report and Order No. FCC 96-326 (August 1996)

American National Standards Institute (C95.1 - 1992); National Council on Radiation-Radiation Protection and Measurements (NCRP-1986);

Da bi zagotovili optimalno delovanje RP, in da bi bila izpostavljenost uporabnika EMS znotraj smernic predhodno omenjenih standardov, je treba upoštevati sledeče napotke:

Prenosno delovanje RP

Ukrepi za zmanjšanje izpostavljenosti EMS

- RP držite pokončno, tako da je mikrofonski oddaljen 2,5 cm do 5 cm od ust. Med oddajanjem naj bo antena vsaj 2,5 cm do 5 cm oddaljena od glave.
- Če RP nosite pritrjeno ob telo naj bo antena vsaj 2,5 cm do 5 cm oddaljena od telesa in oddaljena od srca.
- Ne uporabljajte RP, ki ima poškodovano anteno. Poškodovana antena lahko ob dotiku z vašo kožo povzroči lažjo opekline.

Elektromagnetna skladnost

Skoraj vsaka elektronska naprava je dovzetna za elektromagnetne motnje, če je neustrezno oklopljena ali projektirana.

- V izogib elektromagnetnih motenj okolici izklopite RP povsod, kjer je to zahtevano. Posebej je to pomembno v bolnišnicah in povsod, kjer so v uporabi razne elektronske naprave, ki so občutljive na zunanje EMS.
- Ko ste na letalu se strogo ravnajte po navodilih, ki veljajo v letalskem prometu ali jih vam daje posadka letala.

Obratovalna opozorila

- RP v prevoznih sredstvih ne sme biti neposredno ob zračni blazini ali v območju delovanja ob napolnitvi. Zračna blazina, ki se napolni z veliko silo močno pospeši RP in ta lahko resno poškoduje koga od ljudi v vozilu.
- Izklopite RP, kadar se nahajate v eksplozivni ali potencialno eksplozivni atmosferi, razen če je RP narejena posebej za delovanje v eksplozijskem okolju. Iskrenje v takem okolju lahko povzroči eksplozijo ali požar, kar ima za posledico telesne poškodbe ali celo smrt.
- V potencialno eksplozivni atmosferi ne menjajte baterije niti je ne polnite. Pri vstavljanju ali jemanju baterije iz ležišča se lahko pojavi na kontaktu iskra in povzroči eksplozijo.

- Zaradi možnih vplivov pri izvajanju detonacij izklopite RP, ko ste v bližini električnih detonatorjev in upoštevajte signale in navodila odgovornih oseb.

Potencialno eksplozivna atmosfera zajema aktivnosti kot so: nalivanje goriva pod krovom na plovilih, prevoz ali hranjenje kemičnih sredstev ali goriv, območja zraka, ki vsebuje eksplozijsko nevarno koncentracijo delcev žita, prahu ali kovinskih delcev. Območja s potencialno eksplozivno atmosfero so često, ne pa vedno, označena!

- Vsaka napajalna baterija ali akumulator za napajanje RP lahko povzroči resno poškodbo, rano ali opekline na telesu, če pride predmet iz prevodnega materiala, kot so ključi ali nakit v dotik z nezaščitenimi kontakti. Prevodni material lahko povzroči kratek stik in predmet se močno segreje. Previdno ravnajte z vsako napolnjeno baterijo, posebej če jo shranite v žep, torbico ali kamorkoli drugam, kjer so tudi kovinski predmeti.

Uporaba RP v vozilu

Da bodo zagotovljene optimalne lastnosti RP, in da bo izpostavljenost EMS znotraj meja, ki so podane v že omenjenih standardih in direktivah, se je vedno treba držiti naslednjih postopkov:

- Oddajajte le, ko so ljudje v vozilu, zunaj vozila pa le, če so oddaljeni od antene najmanj 30 cm pri oddajni moči RP enaki ali manjši od 15 W.
- Mobilna antena mora biti inštalirana na zunanji strani vozila skladno z zahtevami proizvajalca antene in po navodilih v priročniku za inštalacijo antene.
- Kadar mora RP delovati kot upravna (kontrolna) postaja je pomembno, da je antena montirana zunaj zgradbe na mestu, kjer ni v neposredni bližini ljudi.

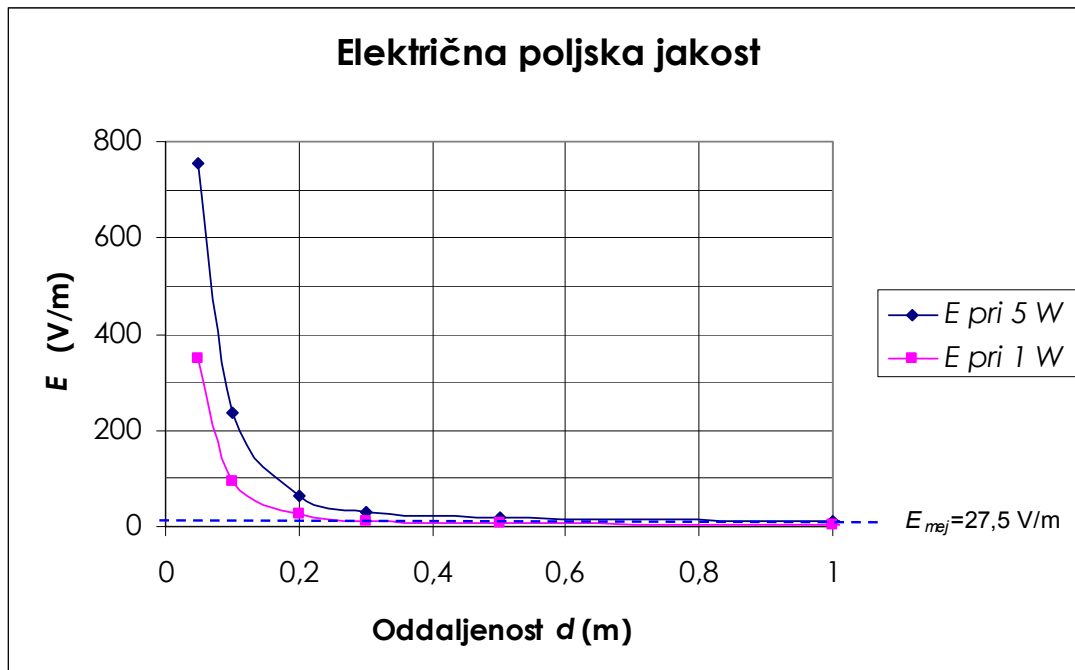
Varnostni napotki za RP GP 900 (navodila za uporabo)

Pri normalni uporabi RP je vpliv visokofrekvenčnega EMS daleč pod dovoljeno mejo.

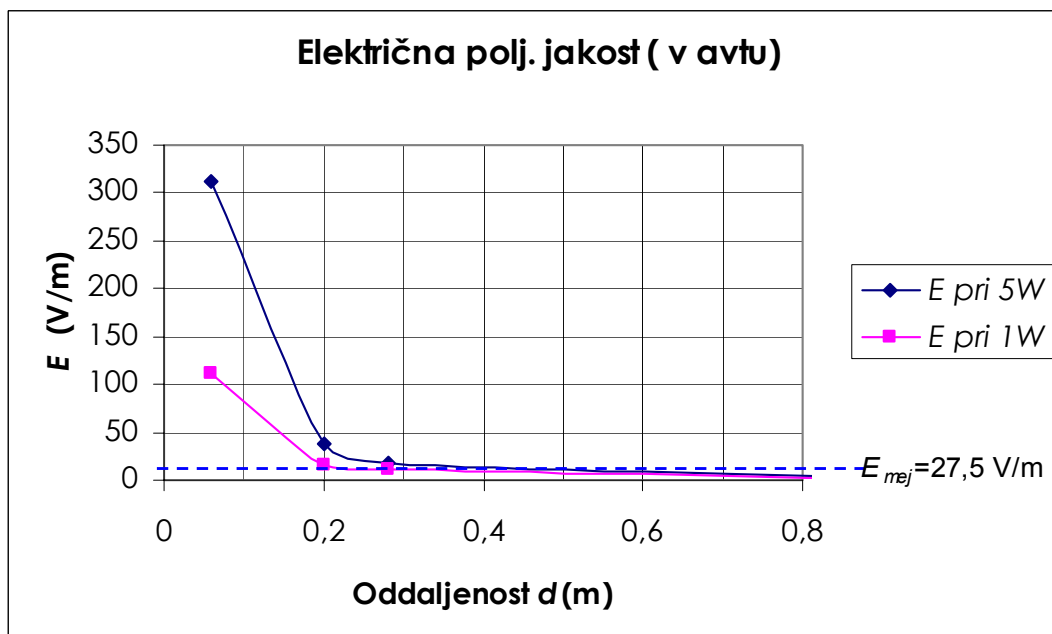
- Pri oddajanju se antena ne sme dotikati kože, posebej velja to za obraz in oči. Zveza bo najbolje delovala, če bo RP v pokončni legi in bo mikrofonski del 5 cm do 10 cm oddaljen od ust.
- Ne pritiskajte tipke za oddajo (PTT), ko to ni potrebno.
- Ne dovolite otrokom, da bi se igrali z RP.
- Ne uporabljajte postaje v bližini nezaščitenih (oklopljenih) električnih detonatorjev in v eksplozijski atmosferi.
- Ne izpostavljajte baterije vročini (ognju), ker lahko eksplodira.

Eksperimentalni rezultati in dodatni napotki

V naslednji dveh diagramih je prikazana odvisnost izmerjene vrednosti električne poljske jakosti E v okolici sevajoče RP v označenih razdaljah. V diagramih je vrisana mejna dopustna vrednost električne poljske jakosti E_{mejna} , ki jo podaja **Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju**. Podatki so vzeti iz tabele za območje II, kamor spada območje brez stanovanj, namenjeno obrtni ali drugi podobni proizvodni dejavnosti, skladiščni ali servisni dejavnosti in ga lahko smiselno primerjamo z območjem, ki ga definira Direktiva 2004/40/EC, veljavna za delavce (workers).



Slika 1: Grafični prikaz poteka električne poljske jakosti E za obe oddajni moči 5 W in 1 W v odvisnosti od oddaljenosti merilne sonde od prenosne ročne RP GP 900



Slika 2: Grafični prikaz poteka električne poljske jakosti E za obe oddajni moči 5 W in 1 W v odvisnosti od oddaljenosti merilne sonde od prenosne ročne RP GP 900 s kratko paličasto anteno v avtomobilu.

Pri uporabi RP v avtomobilu mora biti antena montirana zunaj na vozilu, tedaj bo vpliv EMS na ljudi v vozilu zanemarljiv. Tako je zapisano v navodilih in tudi naš eksperiment je to potrdil. Merilnik v avtu ni zaznal nobene električne poljske jakosti E , ko je RP s paličasto anteno oddajala zunaj na strehi vozila.

Dodatna navodila za zmanjšanje izpostavljenosti EMS

- Oddajajte z manjšo močjo 1 W. Šele, če vas klicani slabo ali sploh ne sliši, povečajte moč na 5 W.

Eksperimentalno dobljena vrednost električne poljske jakosti E je na razdalji 10 cm od postaje in moči 5 W približno 2 do 3 krat večja, kot je pri isti razdalji in moči 1 W.

- Uporabite zunanji mikrofonski konektor, ki se priključi na univerzalni konektor RP.

Z zunanjim mikrofonom je možno povečati razdaljo do sevajoče antene precej nad priporočenih 5 cm do 10 cm. Iz grafa eksperimentalne meritve se vidi, da električna poljska jakost E najhitreje pada ravno v neposredni bližini antene.

- Pogovor omejite na čim krajši možni čas.

ČETRTO POROČILO ZA PROJEKT

RAZISKAVA ELEKTROMAGNETNEGA SEVANJA RADIJSKIH TELEKOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV IN POSTOPKI ČLOVEKA PRI RAVNANJU S TEMI NAPRAVAMI

Obsega

- Tabelarični pregled meritev

POVZETEK

Poročilo predstavlja nadaljevanje prvih treh poročil. V strnjeni obliki so predstavljene tabelarične ugotovitve in podatki meritev, ki zajemajo potencialne nevarnosti neionizirnih elektromagnetnih sevanj.

TABELARIČNI PREGLED MERITEV

Marconi Puma T2
Nokia THR 880
Stornophone 7000
Motorola MX 2000
Motorola MTH 800
Sepura
RP Vertex FLT99
RP Motorola

Uporabljen merilni instrument:

PMM 8053 General Purpose Field Meter za merjenje elektromagnetnih polj v frekvenčnem območju od 5 Hz do 40 GHz

Oddajni moči in frekvenčnemu območju RP ustrezajoči merilni sondi:

Electric Field Probe EP - 183 za merjenje električne poljske jakosti E, velikosti 0,8 - 800 V/m (dopustna preobremenitev 1200 V/m) v frekvenčnem območju 1 MHz - 18 GHz; interna kalibracija v E2PROM.

Magnetic Field Probe HP - 102 za merjenje magnetne poljske jakosti H, velikosti 0,01 - 20 A/m (dopustna preobremenitev 40 A/m) v frekvenčnem območju 30 - 1000 MHz; interna kalibracija v E2PROM.

Meritve so bile izvedene v zaprtem prostoru 1 m nad tlemi in ob zagotovljeni predpisani minimalni razdalji 100 mm med merilno sondo in najbližjimi kovinskimi objekti.

TABELE

Pomen oznak v tabelah:

r - razdalja med radijsko postajo (anteno) in merilno sondo v cm

Average - srednja vrednost 60-ih izmerjenih vrednosti veličine v času 1 minute na podani razdalji r (RP je neprekinjeno oddajala 1 minuto z 20 skundno pavzo med dvema serijama merjenj).

Max - največja izmerjena vrednost veličine med 60-mi merjenji.

Min - najmanjša izmerjena vrednost veličine med 60-mi merjenji.

Error! Objects cannot be created from editing field codes. relativni procentualni pogrešek.

Error! Objects cannot be created from editing field codes. relativni procentualni pogrešek.

U_{bo} napetost neobremenjenega akumulatorja RP pred meritvijo.

- Rumeno obarvane so izmerjene vrednosti električne poljske jakosti E in magnetne poljske jakosti H , ki presegajo mejno dopustno vrednost $E_{mejna} = 27,5$ V/m in mejno dopustno vrednost $H_{mejna} = 0,07$ A/m.

r (cm)	Marconi Puma					Nokia				
	E (V/m)			e_E (%)		E (V/m)			e_E (%)	
	Average	Max	Min	e_{max} (%)	e_{min} (%)	Average	Max	Min	e_{max} (%)	e_{min} (%)
5	58,641	65,410	49,120	11,54	-16,24	67,233	77,200	60,730	14,83	-9,67
10	21,204	24,280	19,160	14,51	-9,64	26,463	27,570	22,850	4,18	-13,65
20	10,851	12,300	9,670	13,36	-10,88	9,565	10,990	8,550	14,90	-10,61
30	7,932	9,230	6,550	16,36	-17,42	6,153	7,030	5,170	14,25	-15,98
50	4,464	5,200	4,000	16,49	-10,39	3,601	4,240	2,830	17,74	-21,41
100	2,143	2,540	1,900	18,53	-11,34	1,982	2,410	1,320	21,58	-33,41
200	0,988	1,140	0,900	15,42	-8,88	0,980	1,320	0,840	34,72	-14,27
300										
400										
500										
r (cm)	H (A/m)					H (A/m)				
	H (A/m)			e_H (%)		H (A/m)			e_H (%)	
	Average	Max	Min	e_{max} (%)	e_{min} (%)	Average	Max	Min	e_{max} (%)	e_{min} (%)
5	0,183	0,208	0,166	13,37	-9,52	0,144	0,160	0,131	10,84	-9,25
10	0,080	0,092	0,072	15,63	-9,51	0,066	0,075	0,060	13,64	-9,09
20	0,031	0,037	0,028	20,92	-8,50	0,027	0,033	0,024	23,90	-9,89
30										
50										

$$U_{bo} = 8,33 \text{ V} \quad U_{bo} = 4,15 \text{ V}$$

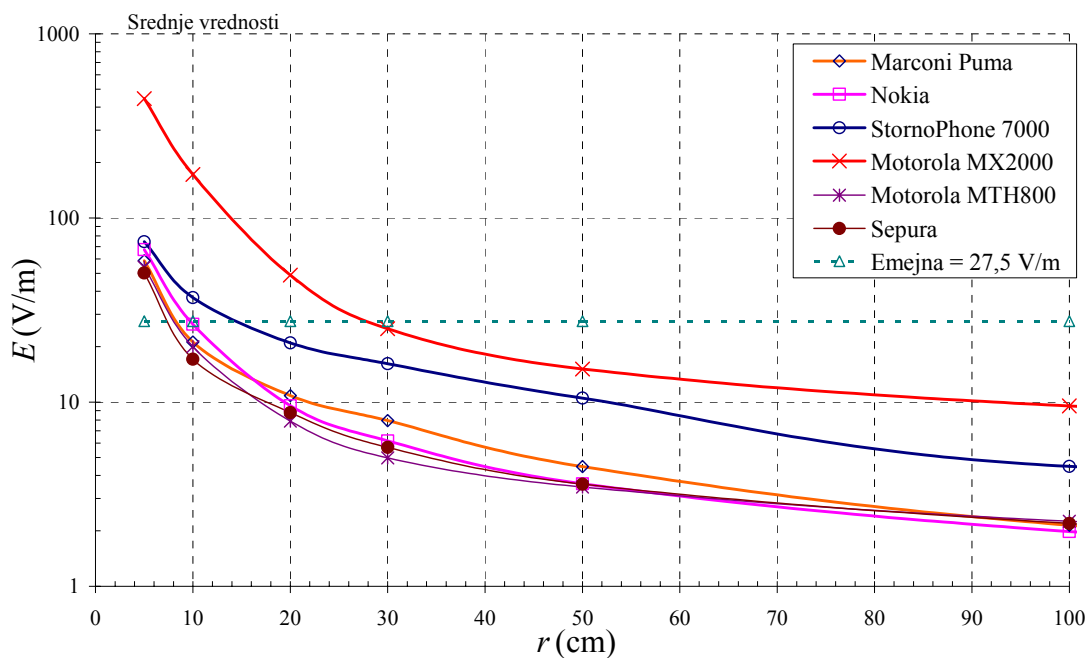
StornoPhone 7000						Motorola MX2000				
E (V/m)			e _E (%)			E (V/m)			e _E (%)	
r (cm)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)
5	74,371	74,840	73,350	0,63	-1,37	444,787	452,640	371,740	1,77	-16,42
10	36,961	38,660	36,340	4,60	-1,68	172,372	174,850	164,250	1,44	-4,71
20	20,984	22,080	18,600	5,22	-11,36	48,929	49,750	48,050	1,68	-1,80
30	16,158	17,390	15,300	7,63	-5,31	25,015	26,680	24,130	6,66	-3,54
50	10,517	11,210	9,700	6,59	-7,77	15,128	17,930	14,530	18,52	-3,95
100	4,473	5,840	3,890	30,58	-13,02	9,540	11,830	8,880	24,01	-6,91
200	4,101	4,600	3,220	12,18	-21,48	6,178	6,570	5,340	6,34	-13,57
300						4,423	4,850	3,990	9,66	-9,78
400						1,375	1,850	0,850	34,50	-38,20
500						1,534	2,000	1,190	30,41	-22,41
H (A/m)			e _H (%)			H (A/m)			e _H (%)	
r (cm)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)
5	0,274	0,285	0,268	4,00	-2,21	0,749	0,771	0,702	2,88	-6,33
10	0,119	0,123	0,086	3,06	-27,94	0,272	0,279	0,255	2,46	-6,35
20	0,055	0,060	0,053	9,22	-3,52	0,090	0,095	0,057	5,05	-36,97
30	0,036	0,040	0,033	11,74	-7,81	0,048	0,051	0,040	6,58	-16,41
50	0,026	0,027	0,024	3,85	-7,69	0,019	0,022	0,018	15,28	-5,68

$$U_{bo} = 5,56 \text{ V} \quad U_{bo} = 5,88 \text{ V}$$

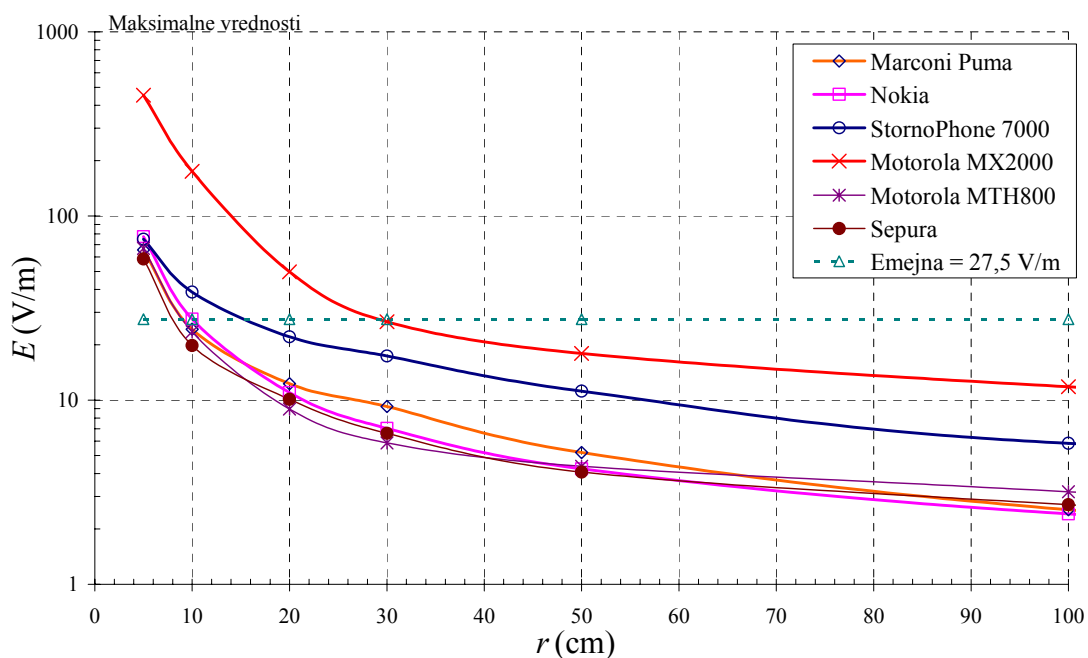
Motorola MTH800						Sepura				
E (V/m)			e _E (%)			E (V/m)			e _E (%)	
r (cm)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)
5	54,07	66,65	44,89	23,26		50,27	58,49	44,25	16,35	-11,98
10	19,98	23,54	17,95	17,79	-10,18	17,12	19,83	15,47	15,84	-9,63
20	7,88	8,95	7,08	13,54	-10,18	8,77	10,12	7,82	15,42	-10,81
30	4,98	5,86	4,37	17,59	-12,31	5,68	6,61	5,04	16,45	-11,21
50	3,46	4,38	2,80	26,55	-19,10	3,59	4,07	3,14	13,47	-12,46
100	2,25	3,18	1,62	41,05	-28,15	2,19	2,71	1,70	23,64	-22,44
200	1,42	1,62	1,27	14,30	-10,39	1,18	1,43	1,06	20,69	-10,54
H (A/m)			e _H (%)			H (A/m)			e _H (%)	
r (cm)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)	Average	Max	Min	e _{max} (%)	e _{min} (%)
5	0,1303	0,1500	0,1050	15,16	-19,39	0,1465	0,1680	0,1330	14,65	-9,24
10	0,0550	0,0650	0,0480	18,11	-12,78	0,0691	0,0810	0,0620	17,28	-10,23
20	0,0312	0,0360	0,0280	15,25	-10,36	0,0318	0,0360	0,0290	13,27	-8,76

$$U_{bo} = 4,14 \text{ V} \quad U_{bo} = 8,33 \text{ V}$$

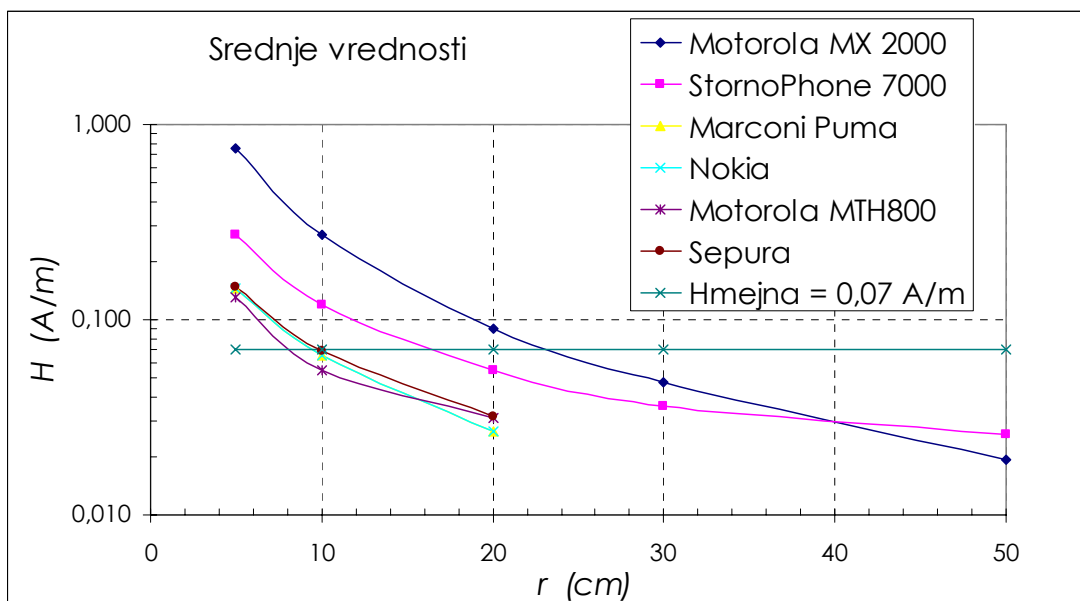
GRAFI



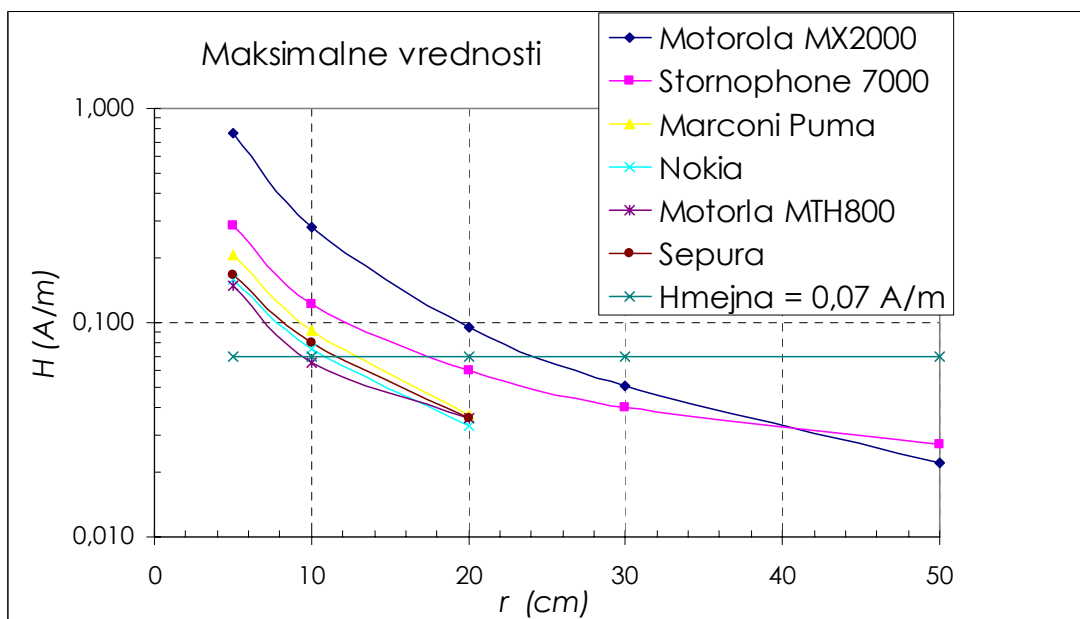
Slika 1: Odvisnost srednjih (Average) vrednosti električne poljske jakosti E od razdalje r z vrisano mejno dopustno vrednostjo $E_{\text{mejna}} = 27,5$ V/m.



Slika 2: Odvisnost maksimalnih (Max) vrednosti električne poljske jakosti E od razdalje r z vrisano mejno dopustno vrednostjo $E_{\text{mejna}} = 27,5$ V/m.



Slika 3: Odvisnost srednjih (Average) vrednosti magnetne poljske jakosti H od razdalje r z visano mejno dopustno vrednostjo $H_{\text{mejna}} = 0,07$ A/m.



Slika 4: Odvisnost maksimalnih (Max) vrednosti magnetne poljske jakosti H od razdalje r z visano mejno dopustno vrednostjo $H_{\text{mejna}} = 0,07$ A/m.

RP Vertex FLT99

Meritev je bila izvedena v zaprtem prostoru z oddajno frekvenco 168,5750 MHz in močjo približno 10 W. RP je bila priključena na omrežno napetost 230 V/ 50 Hz. V sredino pokrova (1,5 m x 0,75 m) 1,7 m visokega kovinskega zaboja je bila z magnetom pritrjena palična antena.

Samo v idealnih razmerah, ko je palična antena postavljena nad površino zemlje, ki dobro prevaja VF tokove, ima krožni horizontalni sevalni diagram. Zaradi velikosti in oblike kovinskega zaboja se je popačil sevalni diagram tako, da je bilo elektromagnetno polje v neposredni bližini antene šibkejše od

polja na razdalji 4 m, od koder dalje je jakost spet padala. Ker je bila merilna sonda nekoliko nižje od antene, je bila med merjenjem na majhnih razdaljah nekako v senci velikega kovinskega zaboja, pa tudi vpliva refleksij od okolnih predmetov ni mogoče povsem zanemariti. V prid razjasnitvi rezultata merjenj bi kazalo enako merjenje opraviti še na odprtem prostoru.

Vertex FLT 99(168.5750 MHz)					
<i>E</i> (V/m)			<i>e_E</i> (%)		
<i>r</i> (m)	Average	Max	Min	<i>e_{max}</i> (%)	<i>e_{min}</i> (%)
1	36,19	41,16	33,73	13,73	-6,80
2	14,57	16,79	12,60	15,28	-13,49
3	15,97	18,72	13,31	17,24	-16,64
4	18,43	22,05	16,38	19,65	-11,12
5	14,26	16,29	10,49	14,23	-26,44
7	8,13	10,06	6,82	23,77	-16,09
<i>H</i> (A/m)			<i>e_H</i> (%)		
<i>r</i> (m)	Average	Max	Min	<i>e_{max}</i> (%)	<i>e_{min}</i> (%)
1	0,040	0,045	0,036	12,27	-10,19
2	0,021	0,023	0,018	10,22	-13,74
3	0,038	0,042	0,034	9,61	-11,27
4	0,023	0,025	0,021	9,73	-7,83
5	0,019	0,022	0,017	14,38	-11,61
7	0,014	0,015	0,011	7,02	-21,52

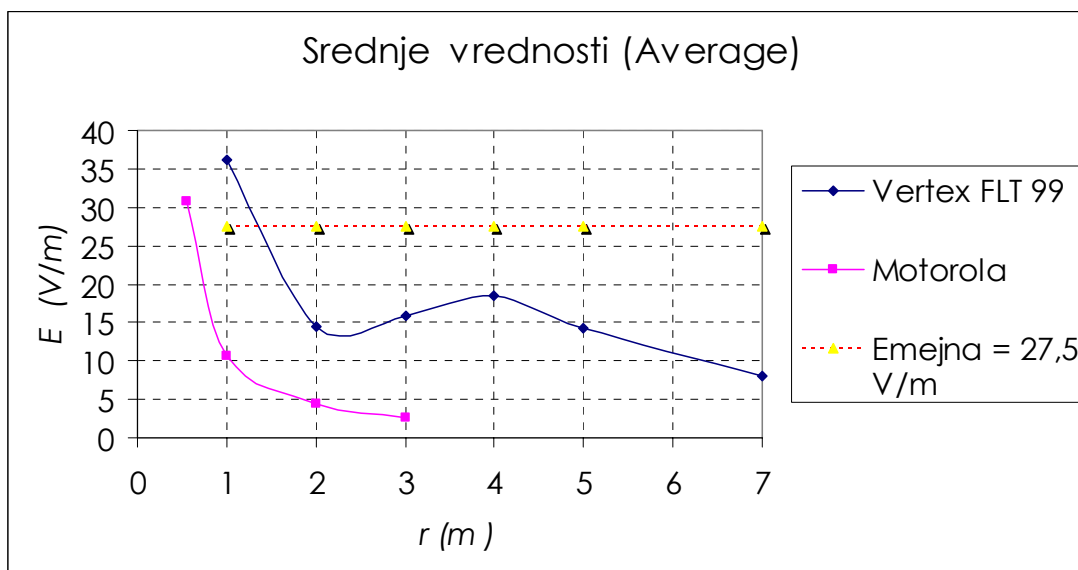
RP Motorola

RP je bila montirana v avtomobilu in napajana iz akumulatorja, ko motor ni deloval. Palična antena je bila pritrjena na vrhu v sredini na zunanji strani vetrobranskega stekla. RP je oddajala z močjo približno 10 W pri frekvenci 420 MHz.

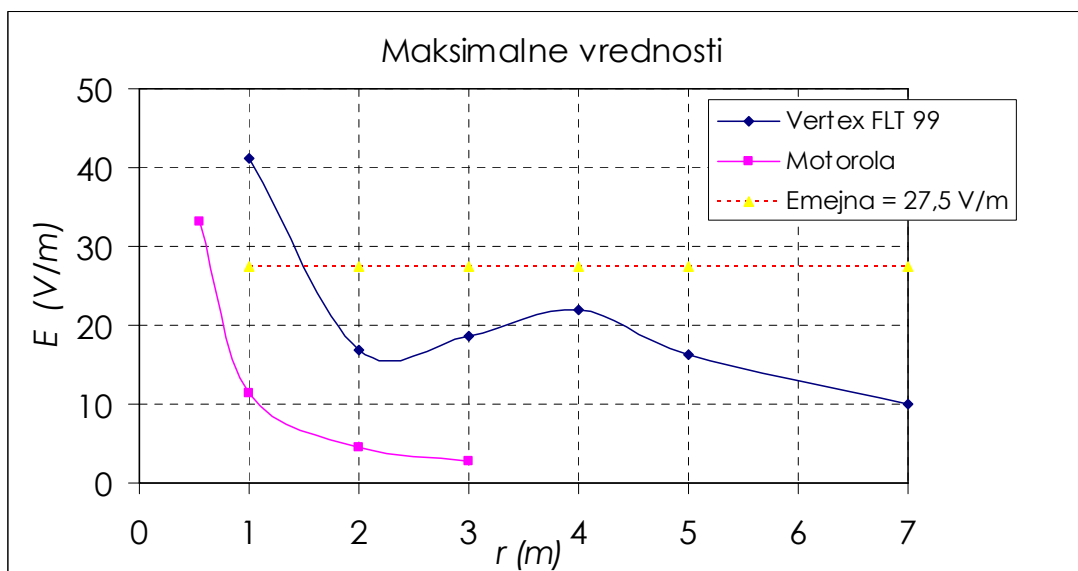
Samo v neposredni bližini antene 0,5 m sta bili prekoračeni mejni dopustni vrednosti za *E* in *H* (rumeno označena polja v tabeli). Voznik in sopotnik v avtomobilu sta pri normalnem položaju telesa na sedežu v polju dopustnih vrednosti za *E* in *H* (*). Tik ob notranji strani vetrobranskega stekla pa električna magnetna poljska jakost naraste do 40 V/m!

Motorola (420 MHz)					
<i>E</i> (V/m)			<i>e_E</i> (%)		
<i>r</i> (m)	Average	Max	Min	<i>e_{max}</i> (%)	<i>e_{min}</i> (%)
0,55	30,67	33,23	24,34	8,35	-20,64
1	10,74	11,30	10,27	5,24	-4,35
2	4,44	4,60	4,09	3,71	-7,79
3	2,54	2,79	2,25	9,72	-11,52
*	12,23	13,92	11,41	13,83	-6,69
<i>H</i> (A/m)			<i>e_H</i> (%)		
<i>r</i> (m)	Average	Max	Min	<i>e_{max}</i> (%)	<i>e_{min}</i> (%)
0,55	0,111	0,115	0,107	3,92	-3,31
1	0,042	0,043	0,040	2,34	-4,80
*	0,043	0,048	0,040	12,27	-6,44

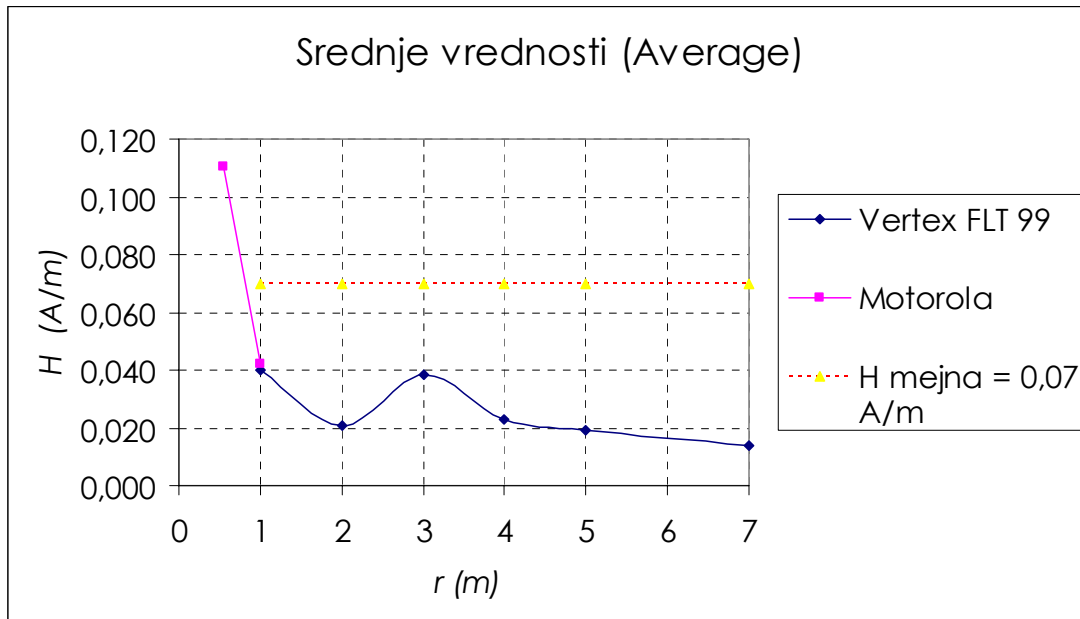
- Izmerjena vrednost v avtu na oddaljenosti voznikove glave od antene ($r < 0,5$ m)



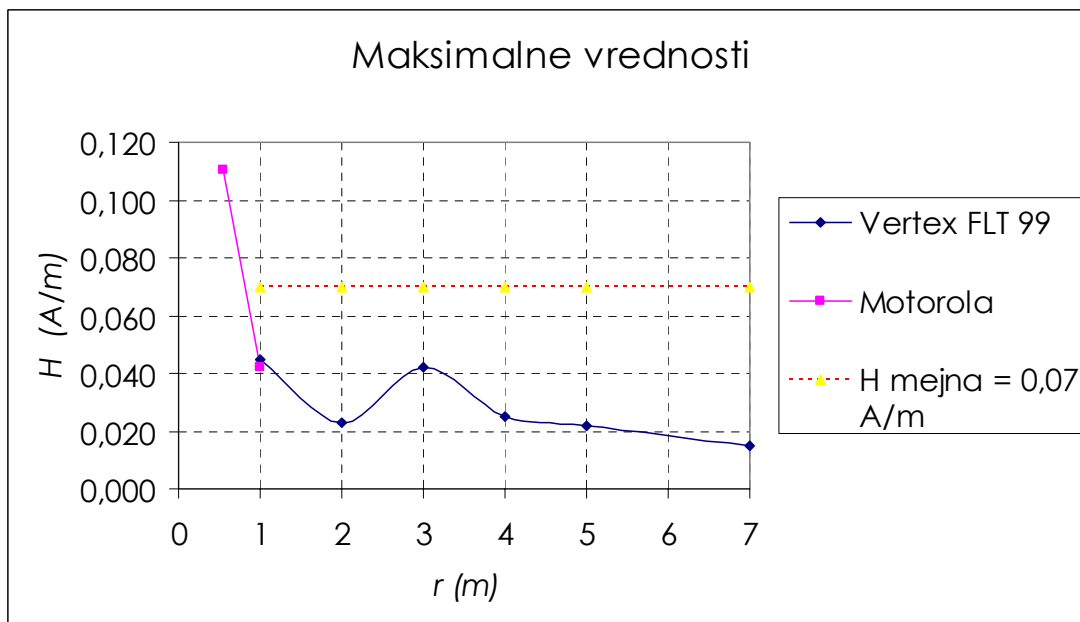
Slika 5: Odvisnost srednjih (Average) vrednosti električne poljske jakosti E od razdalje r z vrisano mejno dopustno vrednostjo $E_{\text{mejna}} = 27,5$ V/m



Slika 6: Odvisnost maksimalnih (Max) vrednosti električne poljske jakosti E od razdalje r z vrisano mejno dopustno vrednostjo $E_{\text{mejna}} = 27,5$ V/m.



Slika 7: Odvisnost srednjih (Average) vrednosti magnetne poljske jakosti H od razdalje r z vrisano mejno dopustno vrednostjo $H_{\text{mejna}} = 0,07$ A/m.



Slika 8: Odvisnost maksimalnih (Max) vrednosti magnetne poljske jakosti H od razdalje r z vrisano mejno dopustno vrednostjo $H_{\text{mejna}} = 0,07$ A/m.