

POTENCIALNE NEVARNOSTI NEIONIZIRNIH ELEKTROMAGNETNIH SEVANJ

Potential dangers of non-ionised electro-magnetic radiation

Ladislav Mikola*, Bojan Gergič**, Darko Hercog***, Marko Podbersič****, Vojko Matko*****,
Miloš Vute*****, Stanko Lampič***** UDK 628.518:537.53

Povzetek Abstract

Elektromagnetna sevanja delimo v dve skupini: (1) ionizirna sevanja in (2) neionizirna sevanja. Slednja imajo nižje frekvence od ionizirnih in posledično 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 neionizirnih sevanj, s katerimi se vsakodnevno srečujemo, so daljnovodi, gospodinjske naprave, radijski in televizijski oddajniki, radarji, sončna svetloba ter mobilni telefoni in njihove bazne postaje. Nekatera neionizirna sevanja zaznavamo s čutili (vidna svetloba, toplota), medtem ko ionizirnih sevanj ne moremo zaznati.

Electro magnetic radiation is roughly divided into two groups: (1) ionised radiation and non-ionised radiation. The latter have lower frequencies than ionised and consequently too little energy for the ionisation of material. They are divided into one-way electric and magnetic fields, radiation of low and high frequency and infrared, visible and ultra-violet light. The main sources of non-ionised radiation that we meet with every day are power lines, household appliances, radio and television transmitters, radars, sunlight and mobile telephones and their base stations. Some non-ionised radiation can be detected by the senses (visible light, heat), while ionised radiation cannot be sensed.

Uvod

Dandanes si je težko predstavljati življenje brez televizije, radia, mobilnih telefonov in h elektronskih naprav. Omenjene naprave povečujejo življenjsko raven in udobje, a na žalost prinašajo v naše vsakdanje okolje tudi nova elektromagnetna sevanja (EMS). So takšne naprave škodljive? Ali lahko njihova sevanja vplivajo na naše počutje, zdravje?

Uredbe, direktive in smernice na področju neionizirnih sevanj

Področje neionizirnih sevanj je v Republiki Sloveniji neposredno urejeno z le dvema izvorno slovenskima dokumentoma. Ker je Slovenija polnopravna članica Evropske skupnosti, je nujno, da upošteva tudi evropske dokumente oziroma da svojo zakonodajo uskladi z njimi. S kratkim opisom so v nadaljevanju predstavljeni štirje najosnovnejši dokumenti, ki se uporabljajo v Sloveniji. Opozorjeno je tudi na neskladnosti, ki lahko povzročajo težave.

* Mag., Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor, Smetanova ulica 17, Maribor; ladislav.mikola@uni-mb.si

** Dr., Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor, Smetanova ulica 17, Maribor; bojan.gergic@uni-mb.si

*** Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor, Smetanova ulica 17, Maribor; darko.hercog@uni-mb.si

**** Mag., Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje, Vojkova cesta 61, Ljubljana, marko.podbersic@urszr.si

**** Dr., Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor, Smetanova ulica 17, Maribor; vojko.matko@uni-mb.si

***** Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor, Smetanova ulica 17, Maribor; darko.hercog@uni-mb.si

***** Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor, Smetanova ulica 17, Maribor; darko.hercog@uni-mb.si

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

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.

Pravilnik o prvih meritvah in za vire elektromagnetnega sevanja in o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS 70/1996 z dne 6. 12. 1996)

Pravilnik določa vrste veličin elektromagnetnega polja, ki so predmet prvih meritev in obratovalnega spremljanja elektromagnetnega sevanja v okolju kot posledic uporabe ali obratovanja vira sevanja, metodologijo merjenja veličin, vsebino poročila o prvih meritvah in obratovalnem spremljanju 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 obratovalno spremljanje.

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)

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 zakonodajo in jih obvezno upoštevati.

Direktiva 2004/40/EC zahteva zaščito delavcev 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 (angleško: exposure limit values) in opozorilne vrednosti (angl.: action values) neposredno merljivih veličin.

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

in elektromagnetnim poljem (do 300 GHz))

Smernice so obsežen dokument pomembne in priznane mednarodne organizacije, katerih osnovni namen je določitev mejnih izpostavljenosti človeka elektromagnetnim sevanjem tako, da bo zaščiten pred znanimi škodljivimi vplivi na njegovo zdravje. Podlaga teh smernic so številne znanstvene raziskave o vplivih elektromagnetnih sevanj na človeški organizem. Vrednosti veličin, ki jih obravnavajo, so uvrščene v dve kategoriji: osnovne omejitve in referenčni nivoji.

Primerjava vsebin, zahtev in komentar k obravnavanim aktom

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. Podobna, vendar ne popolnoma enaka, je delitev v smernici ICNIRP. To delitev je mogoče primerjati s I. (splošno prebivalstvo) in II. (delavci) stopnjo varnosti, oziroma I. in II. območjem slovenske uredbe.

Tudi glede izbranih veličin so med akti nekatere razlike. Slovenska uredba navaja za nizkofrekvenčna sevanja mejne vrednosti električne poljske jakosti E in magnetne gostote B , gostote inducirane toka in toka dotika, ki v smernici ICNIRP in Direktivi 2004/40/ES nista podana. Prav tako slovenska uredba za visokofrekvenčna sevanja ne navaja specifične absorpcije energije SA in stopnje specifične absorpcije energije SAR , ki sta opredeljeni v Direktivi 2004/40/EC in smernici ICNIRP. SAR je v teh dokumentih navedena tudi z mejnimi vrednostmi.

Enostavna primerjava mejnih vrednosti ni možna, saj se v posameznih dokumentih navajana frekvenčna območja ne ujemajo, prav tako pa je razlika tudi v navedenih veličinah. Z določenimi, nekoliko poenostavljenimi izhodišči, pa je mogoče ugotoviti, za kakšne razlike gre.

Ugotavljamo, da so zahteve slovenske uredbe praviloma veliko strožje kakor zahteve ostalih evropskih dokumentov, ki pa se med sabo skoraj popolnoma ujemajo oziroma povzemajo eden drugega. Ta podobnost je posebej vidna med Direktivo 2004/40/EC in smernico ICNIRP.

Predstandard ENV 50166 in s tem tudi SIST ENV 50166 je bil nedavno preklican, vendar ni nadomeščen z drugim standardizacijskim dokumentom. Zaradi tega ni težav glede mejnih vrednosti, saj so te v veljavni direktivi zelo podobne navedenim v predstandardu in zato skoraj nespremenjene. Večji problem je, da so s pravilnikom o prvih meritvah in obratovalnem spremljanju merilni postopki vezani na v pravilniku navedeni predstandard. Pravilnik se seveda zaradi preklicanega predstandarda ni spremenil, saj v takih primerih avtomatizma ni.

Viri elektromagnetnih sevanj umetnega izvora

Umetna EMS zavzemajo celotni frekvenčni spekter. Najpogostejši viri so električno omrežje, električni motorji, gospodinske naprave, naprave v industriji za obdelavo različnih materialov, računalniki, telekomunikacijske naprave, radijski in televizijski oddajniki, medicinske naprave in radarji.

Statična električna in magnetna polja

Glavni vzrok za statično električno polje je prerazporejanje nabojev kot posledica gibanja. Če človek hodi po neprevodnih 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. Električna železnica v Sloveniji uporablja enosmerno električno napajanje in sicer 1,5 kV, 3 kV ali 6 kV. To lahko povzroča v vlaku statično električno polje do 300 V/m.

Statična magnetna polja so v okolici, kjer tečejo veliki enosmerni tokovi do 100 kA. To je predvsem v industriji pri elektrolizi aluminija, pri uporabi talilnih peči, pri varjenju in podobno. V bližini teh naprav dosežejo magnetna polja od 4 do 7 mT. Pri galvanizacijskih posopkih je pri večjih napravah poraba enosmerne toka od 4 do 10 kA, zato lahko pričakujemo na mestih, kjer se zadržuje osebje, magnetno polje od 0,5 do 4 mT. Razlog izpostavljenosti statičnim magnetnim poljem v okolju so tudi nove tehnologije, kakor je na primer supraprevodni magnetni obroč za shranjevanje električne energije. Magnetno polje na površini zemlje znaša 20 mT in to kljub 600 m globoko

zakopanem solenoidu. Največje gostote magnetnega pretoka znašajo na območjih, ki so dostopne človeku, med 20 in 50 mT. Veliko višje vrednosti so izmerjene pri medicinskih diagnostičnih napravah za magnetno resonančno slikanje (NMR) z nazivno vrednostjo celo do 4 T. Vendar z oddaljenostjo od tuljave magnetno polje že po nekaj 10 m upade na 0,1 mT. Navadno v bivalnem okolju ni virov statičnega magnetnega polja, ki bi lahko potencialno vplivali na človeško zdravje.

Nizkofrekvenčna EMS frekvenc do 100 kHz

Nizkofrekvenčna električna in magnetna polja frekvence 50 Hz povzročajo v bivalnem okolju predvsem distribucija električne energije (daljnovodi, podzemni vodi, transformatorske postaje), visokonapetostni prenosni napajalni sistemi in ogromna množica porabnikov, priključenih prek zunanjih in notranjih vodov na razdelilne transformatorske postaje. Sem spadajo tudi mali porabniki z vrsto gospodinjskih in drugih aparatov, ki jih človek vsakodnevno uporablja. Značilne 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. Njihova razvrstitev glede na ustvarjeno magnetno polje (gostoto magnetnega pretoka B) na določeni oddaljenosti prikazuje slika 1.

Visokofrekvenčna EMS 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 ...).

Umetne vire lahko glede na njihovo uporabo in frekvenco razvrstimo takole:

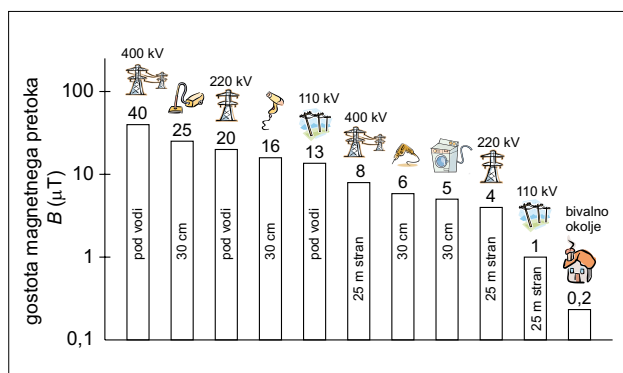
Statična električna in magnetna polja	v industriji za elektrolizo aluminija, varjenje, taljenje, galvanizacijo, visokonapetostne naprave z enosmernimi statičnimi polji, močni magneti v metalurgiji, v medicini za magnetno resonančno slikanje, v znanosti za magnetospektografijo, ciklotronske naprave in različne visokoenergijske tehnologije
do 50 Hz	v prometu za napajanje električnih železnic, v elektrogospodarstvu za generiranje in distribucijo električne energije, transformacijske postaje, daljnovodi, razdelilne postaje, v gospodinjstvu za gospodinske aparate, zabavno elektroniko, računalnike, v industriji za induktivno segrevanje
do 250 kHz	v industriji za induktivno segrevanje, rezalne naprave, varilne stroje, računalnike
do 3 MHz (NF)	radionavigacija, radiodifuzija, naprave za urejanje prometa
do 30 MHz (VF)	v industriji za segrevanje, varjenje, sušenje, lepljenje, polimerizacijo, v medicini za diatermijo, sterilizacijo, radioastronomija, radiodifuzija
do 300 MHz (VHF)	v industriji za segrevanje, varjenje, sušenje, lepljenje, v medicini za diatermijo, RA in TV oddajniki, radionavigacija, radarji, kontrola zračnega prometa
do 3 GHz (UHF)	v industriji prehrane, mikrovalovne peči, TV oddajniki, radarji, telemetrija, usmerjene zveze, v medicini za diatermijo
do 30 GHz (SHF)	radarji, navigacija, merjenje višine, satelitske zveze, usmerjene zveze
do 300 GHz (EHF)	raziskave vesolja, radioastronomija, radiometeorologija

V industriji (lesna, predelovalna, kovinska galanterija ...) običajno 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.

Viri **EMS visokih frekvenc** (radarji, radijski in TV oddajniki ...) so oddaljeni od bivalnih lokacij in ponavadi niso dostopni. Običajna izpostavljenost ljudi je več kakor 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, je prikazana na sliki 2.

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

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 osebnih merilnikov poljskih jakosti).



Slika 1. Prikaz gostote magnetnega pretoka (v mikrotleslih) nekaterih virov EMS omrežne frekvence 50 Hz:

- v bližini vira na oddaljenosti, ki je človeku dostopna ali napravo uporablja,
- običajna raven v bivalnem okolju, kateremu smo stalno izpostavljeni.

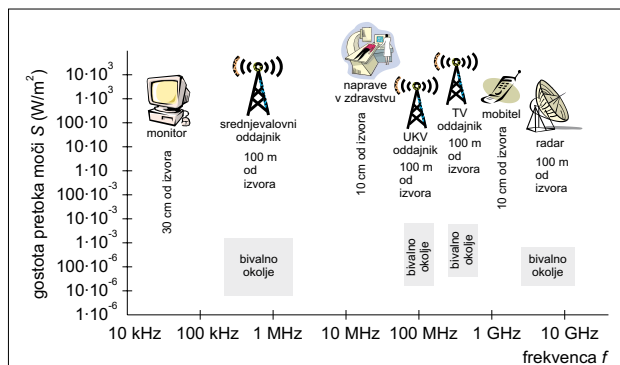
Figure 1. Presentation of the density of the magnetic current (in microteslas) of some sources of EMR of a network frequency of 50 Hz:

- in the vicinity of the source to a distance at which it is accessible to people or equipment is usable,
- normal level in the living environment to which we are constantly exposed

Radijski in televizijski oddajniki

Srednjevalovni oddajniki oddajajo amplitudno moduliran signal v frekvenčnem področju med 526 in 1605 kHz različnih oddajnih moči od nekaj kW do nekaj MW. Najpomembnejši je srednjevalovni oddajnik Domžale, ki oddaja I. radijski program RTV Slovenija s 100/300 kW. V Sloveniji trenutno obratujeta še dva srednjevalovna oddajnika, in sicer na Belem Križu in Nemčavcih, ki sta namenjena narodnostnima manjšinama.

UKV radijski in televizijski oddajniki oddajajo frekvenčno in amplitudno modulirane signale na frekvenčnem območju med 47 in 790 MHz oddajnih moči od nekaj 100 W do nekaj 100 kW. V Sloveniji je prek 120 UKV radijskih (88–108 MHz) in 7 oddajnih centrov, ki obsegajo 202 lokacij s 464 oddajnimi enotami televizijskih oddajnikov (od 1–99 kanalov) z različnimi oddajnimi močmi (od 400 W–400 kW). Oddajni sistemi so običajno 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 so znotraj strnjenegega naselja.



Slika 2. Primerjava gostot pretoka moči, ki jih sevajo različni visokofrekvenčni viri EMS. Za posamezni vir EMS je navedeno območje gostote pretoka moči, ki jo lahko pričakujemo v bližini vira ali običajno v bivalnem okolju:

- v bližini vira na oddaljenosti, ki je človeku dostopna ali napravo uporablja,
- običajna raven v bivalnem okolju, kateremu smo izpostavljeni večinoma vsi in je navadno 1000-krat manjši od vrednosti v bližini vira (stalno prisotna raven).

Figure 2. Comparison of densities of energy which various high frequency sources of EMR radiate. For individual sources of EMR, the area of density of energy is given that we can expect in the vicinity of a source or normally in the living environment:

- in the vicinity of the source to a distance at which it is accessible to people or equipment usable,
- normal level in the environment to which for the most part we are all exposed to and is generally 1000 times less than the values in the vicinity of a source (constantly present level).



Slika 3. Skupina oddajnih RTV anten na Pohorju
Figure 3. Group of RTV transmission antennae on Pohorje.

Meritve ravni elektromagnetnih sevanj, ki so posledica močnostnih radijskih in TV oddajnikov v okolju, so bile izvedene v neposredni bližini oddajnih anten zunaj nadzorovanih območij. Glede na uporabljena merila 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 in Gajšek, 1999). Človek je največjim sevalnim obremenitvam v okolju izpostavljen v bližini srednjevalovnih oddajnikov, v okolici katerih doseže električna poljska jakost tudi do $74,4 \text{ V/m}$. Na drugih lokacijah, kjer so močnostni radijski in TV-oddajniki (oddajna moč $> 100 \text{ W}$), so bile izmerjene vrednosti pod $8,9 \text{ V/m}$.

Mobilna telefonija

Pomembni, gotovo ne zanemarljivi viri, ki smo jim vedno pogosteje izpostavljeni, so nedvomno mobilni in prenosni telefoni relativno nizkih oddajnih moči ($< 7 \text{ W}$). Tipične oddajne moči mobilnih telefonov znašajo $0,6 \text{ W}$ za TACS, $0,25 \text{ W}$ za GSM in $0,125 \text{ W}$ za DCS 1800.

Izpostavljenosti uporabnika v neposredni bližini oddajne antene mobilnega telefona ni mogoče ugotoviti le na podlagi merjenja poljskih jakosti. Zaradi velike nehomogenosti elektromagnetnega sevanja v reaktivnem bližnjem polju takih naprav je treba 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 $2,1 \text{ W/kg}$ prek 10 g tkiva pri 900 MHz , medtem ko pri 1800 MHz ne preseže 3 W/kg .

Bazne postaje mobilne telefonije

V začetku 80-tih let je bilo v Evropi uvedeno več analognih mobilnih sistemov s frekvenčnimi pasovi okoli 150 , 200 in 400 MHz . Analogni sistemi zaradi uvedbe digitalnega sistema vedno bolj izginjajo. Digitalni sistemi temeljijo na usklajenem evropskem standardu GSM, ki je poimenovan po skupini strokovnjakov (Groupe Special Mobile), ki je pripravila strokovne podlage za ta standard. Naslednja skupina digitalnih komunikacijskih sistemov, ki temelji na GSM, se imenuje PCN (Personal Communication Network). Eden od sistemov je znan kot DCS 1800 in obratuje v frekvenčnem območju okoli $1,8 \text{ GHz}$.

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 in sod., 2001).

Profesionalne 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, s 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 neionizirna sevanja so podane meritve TETRA sistema in možni vplivi na zdravje (NRPB, 2001).

Radar

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 v posamezni smeri precej nizke povprečne moči. Ker se navadno uporabljajo za spremljanje pojavov v zraku, so zasnovani 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 kakor 1000-krat manjši od energije, ki je usmerjena v zrak. Zaradi teh lastnosti niso velik vir sevanja. 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.

Elektromagnetna sevanja in njihov vpliv na biološke sisteme

Vpliv nizko- in visokofrekvenčnih elektromagnetnih polj

Nizkofrekvenčna električna polja povzročijo prerazporeditev nabojev v telesu, medtem ko 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, lahko ti tokovi povzročajo draženje živcev in mišic in imajo druge biološke učinke.

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. Večinoma 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. Pri majhnem dvigu telesne temperature termoregulacijski center samodejno uravnava temperaturo telesa na normalno vrednost.

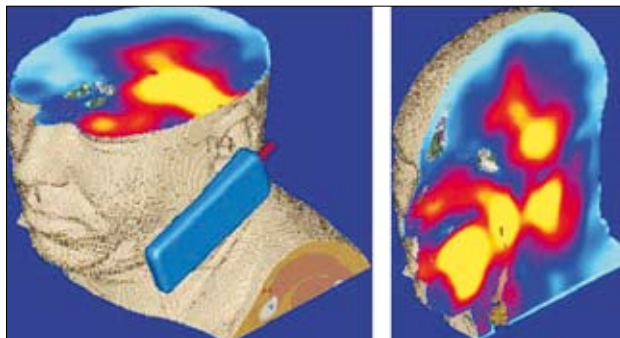
Elektromagnetno sevanje lahko prodre v tkivo, pri čemer je vdorna globina odvisna od frekvence valovanja. Vdorna globina je razdalja, pri kateri se amplituda vpadnega vala zmanjša na 36 %. Pri frekvencah okrog 1 MHz elektromagnetni val znatno prodre v organizem, medtem ko se pri frekvencah nad 10 GHz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

Energijska absorpcija

Pri višjih frekvencah, kjer je večina interakcij posledica absorpcije energije na enoto mase, se kot dozimetrična veličina uporablja stopnja specifične absorpcije (SAR

– Specific Absorption Rate). SAR (W/kg) je določena s količino moči, prenesene na biološko maso. S SAR je možno opisati predvsem termične biološke učinke visokofrekvenčnih EMS. Običajno se uporablja povprečna SAR v 6-minutnem intervalu, kolikor znaša časovna konstanta biološkega sistema.

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



Slika 4. SAR porazdelitev pri uporabi mobilnega telefona. Mobilni aparat se med telefoniranjem nahaja v neposredni bližini glave. Njegovo elektromagnetno sevanje lahko povzroči močno lokalno absorpcijo elektromagnetne energije, kar ima za posledico zelo nehomogeno lokalno porazdelitev stopnje specifične absorpcije (SAR) v glavi.

Figure 4. SAR distribution with the use of a mobile telephone. During use, mobile apparatuses are in the immediate vicinity of the head. Their electro-magnetic radiation can cause strong local absorption of electromagnetic energy, which results in a very non-homogenous local distribution of the specific absorption rate (SAR) in the head.

Stopnja specifične absorpcije in zdravje

Znanstveni dokazi kažejo, da lahko EMS negativno vplivajo 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 (opekline, vročinska izčrpanost in vročinski udar) zaradi čezmerno segrevanja. Ugotovljeno je, da kratkotrajna izpostavljenost celega telesa vrednosti SAR do 4 W/kg prispeva k dvigutemperature telesa za manj kakor 1 °C. 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 od 15–20-minutnem izpostavljanju SAR 4 W/kg temperatura telesa narasla za 0,2 do 0,5 °C.

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, ki so morebiti bolj občutljivi na izpostavljenost mikrovalovom (otroke, nosečnice in ostarele). Ob upoštevanju varnostnega faktorja znaša dopustna vrednost SAR za celo telo 0,08 W/kg (ICNIRP, 1998). Če pride do izpostavljenosti samo dela telesa (npr. glava med uporabo mobilnega telefona), lokalno omejena vrednost SAR ne sme preseči 2 W/kg.

Pod pragom, ko segrevanje ni več možno, govorimo o netermičnih učinkih. V povezavi z možnimi netermičnimi učinki Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) ugotavlja, da nobena dosedanja raziskava ni dokazala 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 kakor 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.

Vpliv mobilnih telefonov na zdravje

Znanstveni rezultati kažejo, da obstaja zelo majhna verjetnost, da bi izpostavljanje EMS mobilnih telefonov in baznih postaj vplivalo na razvoj rakavih obolenj. Številne raziskave na živalih, ki so bile izpostavljene EMS mobilnih telefonov, so pokazale, da ni jasnih dokazov o tem, da bi EMS vplival na razvoj raka na možganih. Razpoložljivi izsledki namreč ne kažejo na obstoj škodljivih vplivov mikrovalov na zdravje pod ravnimi, ki jih določajo priporočila Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) in priporočila EU. Ob tem se je treba zavedati, da se mobilni telefoni široko uporabljajo relativno kratek čas, zato morebitnih učinkov po daljši izpostavljenosti in daljši latentni dobi še ne bi bilo mogoče odkriti in posledično tveganja zaradi EMS mobilne telefonije ni mogoče popolnoma izključiti.

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

Eksperimentalno merjenje EMS ročne radijske postaje motorola GP 900-99

Večkanalna ročna radijska postaja (RP) GP 900 omogoča prenos informacij med udeleženci radijskega omrežja ZA-RE. RP deluje v VHF področju v SI (simpleks) ali SD (semiduplex) načinu. V SD načinu je oddajna frekvenca 4,5 MHz nižja od sprejemne. Oddajno moč RP je možno izbrati med 1 W in 5 W. Za delovanje uporablja kratko palično anteno impedance 50 Ω.

Merjenje je bilo opravljeno s PMM 8053 merilnikom elektromagnetna polja za frekvenčno področje od 5 Hz do 40 GHz s pripadajočima merilnima sondama:

- Electric Field Probe EP - 183 za merjenje električne poljske jakosti E , v razponu 0,8-1200 V/m v frekvenčnem območju 1 MHz-18 GHz
- Magnetic Field Probe HP - 102 za merjenje magnetne poljske jakosti H , v razponu 0,01-20 A/m v frekvenčnem območju 30-1000 MHz

Večina meritev je bila opravljenih v neposredni bližini radijske postaje, kjer veljajo zakonitosti *bližnjega polja*, ko E in H nista več sofazni in hitro padata z razdaljo od antene. Vsak objekt v neposredni bližini antene lahko močno spremeni naravo polja. Npr. merilna sonda blizu vira sevanja lahko bistveno spremeni značilnosti polja. Zagotoviti je treba minimalno razdaljo 100 mm med merilno sondo in najbližjimi kovinskimi objekti.

Za merjenje smo izbrali *kanal 26* (repetitor Nanos). S tem je bila določena oddajna frekvenca RP : $f_{od} = 168,7375$ MHz. Na izbranih razdaljah so bile izmerjene vrednosti

d (m)	Ex (V/m)	Ey (V/m)	Ez (V/m)	E (V/m)
0,05	752	36	18	758
0,1	232,5	26,7	19,3	235
0,2	59,1	14,9	19,3	64
0,3	24,2	11,3	13,3	30
0,5	0	9,4	9,8	14
1	5,3	6,4	4,4	9
2	5,4	2,6	3,15	7
3	1,2	1,5	1,4	2
4	2,1	1,35	0,95	3

Preglednica 1. Električna poljska jakost E pri $P_{od} = 5$ W.
Table 1. Electric field intensity E at $P_{od} = 5$ W.

d (m)	Ex (V/m)	Ey (V/m)	Ez (V/m)	E (V/m)
0,05	313	90,4	127,6	350
0,1	93,6	12,7	10,14	95
0,2	23,8	6,12	7,51	26
0,3	10,2	4,6	5,7	13
0,5	5,27	3,75	4,38	8
1	1,95	2,27	1,61	3
2	2,2	0,7	1,2	3
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

Preglednica 2. Električna poljska jakost E pri $P_{od} = 1$ W.
Table 2. Electric field intensity E at $P_{od} = 1$ W.

d (m)	Ex (V/m)	Ey (V/m)	Ez (V/m)	E (V/m)
0,05	0,895	0,915	0,435	1,352
0,1	0,285	0,274	0,094	0,406
0,2	0,097	0,101	0,017	0,141
0,3	0,044	0,052	0	0,068
0,5	0	0,023	0	0,023
1	0	0	0	0,000

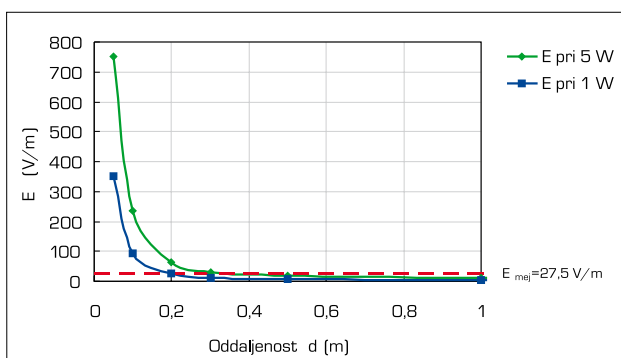
Preglednica 3. Magnetna poljska jakost H pri $P_{od} = 5 \text{ W}$
Table 3. Magnetic field intensity H at $P_{od} = 5 \text{ W}$.

d (m)	Ex (V/m)	Ey (V/m)	Ez (V/m)	E (V/m)
0,05	0,387	0,391	0,183	0,580
0,1	0,117	0,111	0,036	0,165
0,2	0,033	0,039	0	0,051
0,3	0	0,018	0	0,018
0,5	0	0	0	0,000
1	0	0	0	0,000

Preglednica 4. Magnetna poljska jakost H pri $P_{od} = 1 \text{ W}$
Table 4. Magnetic field intensity H at $P_{od} = 1 \text{ W}$.

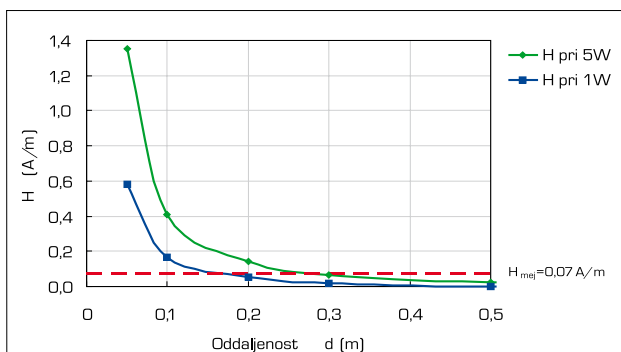
ortogonalnih prostorskih sestavin električne poljske jakosti E_x, E_y, E_z in magnetne poljske jakosti H_x, H_y, H_z . Na zaslonu se izpišeta vrednosti nadomestne električne in magnetne poljske jakosti, ki sta računski vrednosti, podani z enačbama:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad \text{in} \quad H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$



Slika 5. Odvisnost električne poljske jakosti E od razdalje d za oddajni moči 5 W in 1 W z vrisano mejno vrednostjo ($E_{mej} = 27,5 \text{ V/m}$)

Figure 5. Dependence of electric field intensity E on the distance d for transmission powers of 5 W and 1 W with outline limit value ($E_{mej} = 27,5 \text{ V/m}$).



Slika 6. Odvisnost magnetne poljske jakosti H od razdalje d za oddajni moči 5 W in 1 W z vrisano mejno vrednostjo ($H_{mej} = 0,07 \text{ A/m}$)

Figure 6. Dependence of magnetic field intensity H on the distance d for transmission powers 5 W and 1 W with outline limit value ($H_{mej} = 0,07 \text{ A/m}$).

Za vse oddaljenosti (d) merilne sonde od antene so v preglednicah podane izmerjene in računski vrednosti električne poljske jakosti E in magnetne poljske jakosti H pri oddajni moči 5 W in 1 W.

Iz grafov sta razvidni mejni efektivni vrednosti za električno poljsko jakost $E_{mejna} = 27,5 \text{ V/m}$ in magnetno poljsko jakost $H_{mejna} = 0,07 \text{ A/m}$, ki ju navaja trenutno veljavna Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Mejni vrednosti veljata za območje II, ki zajema območje brez stanovanj, namenjeno obrtni ali



Slika 7. Merilnik PMM 853 z merilno sondo EP-183 za merjenje EMS ob dnevih zaščite, reševanja in pomoči 2005 v Mariboru

Figure 7. PMM 853 measuring device with measuring probe EP-183 for measuring EMR during Protection and Rescue 2005 in Maribor

drugi podobni dejavnosti, skladiščni ali servisni dejavnosti. V preglednici 1 so z rumeno obarvane vrednosti električne poljske jakosti E , ki presegajo mejno dopustno vrednost $E_{mejna} = 27,5 \text{ V/m}$.

Daje uporabnik zunaj območja nedopustno velikih vrednosti električne poljske jakosti E , zadostuje oddaljenost RP vsaj 30 cm ali več pri polni oddajni moči 5 W. Pri zmanjšani oddajni moči RP 1 W se oddaljenost lahko zmanjša na manj kakor 20 cm. Čeprav proizvajalec priporoča optimalno oddaljenost do mikrofona okrog 5 cm, bi bilo smiselno uporabljati RP na večji oddaljenosti in tudi z zmanjšano močjo.

V preglednici 2 so z rumeno obarvane vrednosti električne poljske jakosti E , ki presegajo mejno dopustno vrednost $E_{mejna} = 27,5 \text{ V/m}$.

V preglednici 3 so z rumeno obarvane vrednosti magnetne poljske jakosti H , ki presegajo mejno dopustno vrednost $H_{mejna} = 0,07 \text{ A/m}$.

V preglednici 4 so z rumeno obarvane vrednosti magnetne poljske jakosti H , ki presegajo mejno dopustno vrednost $H_{mejna} = 0,07 \text{ A/m}$.

Viri in literatura

1. Andersen, J. B., Mogensen, P. E., Pedersen, G. F., 2001. Exposure Aspects of W-CDMA. Report to the GSM Association, Center for Personkommunikation, Aalborg University, Denmark.
2. COST 281 – European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, www.cost281.org
3. ICNIRP, 1998. 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.
4. ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, <http://www.icnirp.org/>
5. Miklavčič, D., Gajšek, P., 1999. Vpliv neionizirnih elektromagnetnih sevanj na biološke sisteme. Založba FE in FRI, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko.
6. NRPB, 2001. 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.
7. Projekt FORUM EMS, 2003. Elektromagnetna sevanja – Mobilna telefonija in zdravje. Ljubljana.
8. WHO, World Health Organisation, <http://www.who.org>



Slika 8. Merjenje EMS repetitorja ob dnevih zaščite, reševanja in pomoči 2005 v Mariboru

Figure 8. Measuring the EMR of the teacher during Protection and Rescue 2005 in Maribor