

**METODOLOGIJA EPIDEMIOLOŠKIH RAZISKAV O VPLIVIH  
NEIONIZIRNIH SEVANJ NA LJUDI**

**KAZALO**

<b>POVZETEK</b>	<b>1</b>
<b>1 <u>UVOD</u></b>	<b>2</b>
<b>1.1 Neionizirna sevanja</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Viri neionizirnih sevanj</b>	<b>3</b>
1.2.1 Naravna sevanja	5
1.2.2 Umetna sevanja	6
1.2.3 Mehanizmi delovanja neionizirnega sevanja	10
<b>1.3 Smeri raziskav neionizirnih sevanj</b>	<b>12</b>
1.3.1 Vpliv na endokrini sistem	14
1.3.1.1 Melatoninski mehanizem	15
1.3.2 Spremembe dedne zasnove in mutageneza	17
1.3.3 Vpliv na rast in razmnoževanje	17
1.3.4 Vpliv na delovanje vegetativnega živčnega sistema	17
1.3.5 Vpliv na oči	18
1.3.6 Vpliv na nosečnost	19
1.3.7 Nevropsihološke raziskave vpliva elektromagnetnega polja na ljudi	20
<b>1.4 Pregled literature o epidemioloških raziskava neionizirnih sevanj</b>	<b>22</b>
1.4.1 Raziskave povezanosti levkemij in izpostavljenosti elektromagnetnim poljem	22
1.4.2 Rak na prsni in izpostavljenost elektromagnetnim poljem	23
1.4.3 Možganski tumorji in izpostavljenost elektromagnetnim poljem	23
1.4.4 Vpliv neionizirnih sevanj in obolevanje za drugimi boleznimi	24
1.4.4.1 Alzheimerjeva bolezen in izpostavljenost elektromagnetnim poljem	25
1.4.4.2 Preobčutljivost za neionizirna sevanja	25

<b>1.5 Pregled literature o metodologiji epidemioloških raziskav</b>	<b>26</b>
1.5.1 Homogenost elektromagnetnega polja	26
1.5.2 Ocenjevanje izpostavljenosti neionizirnim sevanjem	27
1.5.3 Nepoklicna izpostavljenost	27
1.5.3.1 Povprečje izpostavljenosti v času	29
1.5.3.2 Točkovne meritve	29
1.5.3.3 Razdalje med stanovanjskimi objekti in električnim omrežjem v naselju in način postavitve omrežja	30
1.5.4 Poklicna izpostavljenost	32
1.5.5 Pomanjkljivosti epidemioloških raziskav	32
<b>2 <u>Namen in cilji naloge</u></b>	<b>34</b>
<b>3 <u>Material in metode dela</u></b>	<b>34</b>
3.1 Merilni instrumenti	34
3.2 Metode merjenja	35
<b>4 <u>Rezultati dela</u></b>	<b>36</b>
<b>5 <u>Diskusija</u></b>	<b>41</b>
<b>6 <u>Sklepi</u></b>	<b>43</b>
<b>7 <u>Literatura</u></b>	<b>44</b>
<b>8 <u>Priloga</u></b>	<b>58</b>

**8.1 Preglednice objavljenih epidemioloških raziskav skupinah preučevanih boleznih po**

Magistrska naloga je opravljena v Ljubljani v sodelovanju z Oddelkom za procesno in merilno tehniko Fakultete za elektrotehniko in računalništvo.

Mentor: prof. dr. Dražigost Pokorn

Komentor: prof. dr. Anton Jeglič

člani komisije za zagovor:

Predsednik: akad. prof. dr. Boštjan Žekš

član: prof. dr. Martin Janko

član: prof. dr. Dražigost Pokorn

Datum zagovora:

## **P O V Z E T E K**

Magistrska naloga opisuje neionizirna sevanja (NIS), njihove vire in porazdelitev v delovnem in bivalnem okolju ter v naravi. Posebna pozornost je namenjena šibkim elektromagnetnim poljem (EMP) zelo nizkih frekvenc.

Prikazane so raziskovalne smeri v bioelektromagnetiki, vedi, ki si že od sedemdesetih let tega stoletja prizadeva ugotavljati biološke učinke NIS in preprečevati nezaželena zdravstvena tveganja.

Nekoliko natančneje so opisani eksperimentalno že potrjeni vplivi NIS na izločanje melatonina, hormona pinealne žleze, ki po številnih ugotovitvah kaže veliko poti delovanja na homeostazo živih organizmov, predvsem po neuroendokrinih in nevrohumoralnih povezavah. Opisani so mehanizmi mutagenega delovanja NIS po termičnih in netermičnih vplivih na gensko zasnovo.

Različne biološko pomembne učinke NIS na ljudi, ki so tem sevanjem povprečno izpostavljeni, bi lahko razjasnili le z ustrezno metodologijo dobro usklajenih in pravilno zasnovanih epidemioloških raziskav. Pri tem moramo upoštevati sinergijske vplive med različnimi elektromagnetnimi polji (EMP) ter drugimi fizikalnimi in kemičnimi dejavniki.

Opisani so posebni *okenski učinki* pri posameznih frekvenčnih in jakostnih fizioloških oknih, ki so verjetno specifična za vrsto organizma in biološko strukturo.

### **Ključne besede:**

**neionizirna sevanja, elektromagnetna polja, epidemiološke raziskave**

## UVOD

Številne znanstveno dvomljive trditve o vplivu NIS na ljudi in njihovem morebitnem zdravstvenem tveganju so izzvale veliko dvomov o zanesljivosti izidov epidemioloških raziskav.

Nepopolno poznavanje biofizikalnih mehanizmov delovanja NIS na žive organizme je usmerilo več pozornosti na epidemiološke kakor na temeljne raziskave bioloških učinkov NIS, ker so te s praktičnega stališča zanesljivejše (Sagan 1996).

Poročila o nevrovegetativnih motnjah vzdrževalcev daljnovidov je med prvimi opisala Asanova (Asanova 1966). Najpogostejša bolezenska znamenja so bile motnje delovanja srca in ožilja, prebavil in nevrovegetativnega živčevja. Dvajset let kasneje je skupina vodilnih raziskovalcev s področja bioloških učinkov NIS povedala, da način delovanja NIS na zdravje še ni jasno opredeljen (Reichmanis 1981, Aldrich, Easterly 1987).

Raziskave javnega mnenja v ZDA so pokazale, da več kot petdeset odstotkov udeležencev ankete z zanimanjem spremlja izide epidemioloških raziskav o vplivu EMP na zdravje. Približno devet odstotkov vprašanih je odgovorilo, da gre za zelo nevarne posledice, večina pa meni, da je treba opraviti še nekaj več raziskav, preden se poseže v zakonodajo in trenutno veljavne standarde o izpostavljenosti NIS (Sagan 1996).

Čedalje več je poročil, ki pri natančnejšem opisu izpostavljenosti in upoštevanju drugih, sočasno delujočih obremenilnih dejavnikov pokažejo višjo stopnjo tveganja od prvotno ugotovljene, ki je do takrat ne vidimo.

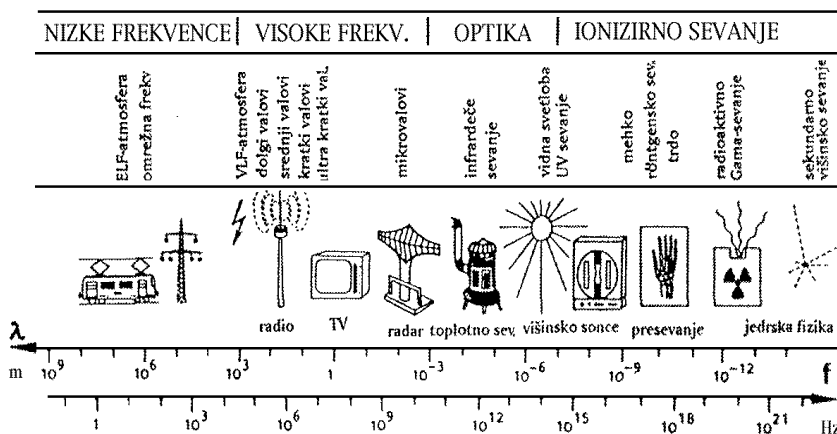
Nasprotujoče si izide lahko pojasnimo le z novimi metodološkimi prijemi ob zavedanju, da neka stopnja zdravstvenega tveganja obstaja, čeprav statistična značilnost na različnih krajih ni zmeraj ponovljiva .

Najbrž bi pri tem morali upoštevati še posebnosti lokalnega statičnega polja, ki je v nekaterih raziskavah vplivalo na izide laboratorijskih poskusov (Wilson idr. 1990, Blackman 1993, Swanson 1994, Bowman 1995). To pomeni, da trenutno veljavni predpisi, ki določajo meje poklicne in nepoklicne izpostavljenosti, ne zagotavljajo popolne varnosti pred učinki NIS na zdravje ljudi.

## 1 Neionizirna sevanja

še pred nekaj desetletji se je izraz neionizirna sevanja (NIS) dokaj redko uporabljal. V svetu se za neionizirna sevanja uporablja oznaka **NIR** (nonionizing radiation). Pri nas se pogosto uporablja napačen izraz “neionizirajoča sevanja”.

NIS so elektromagnetna sevanja iz naravnih in umetnih, civilizacijskih, virov. Naravne vire delimo na zemeljske (zemeljska krogla z atmosfero in ionosfero) in nezemeljske, ki izvirajo iz medplanetarnega prostora ali vesolja. NIS imajo energijo fotona, ki je manjša od 12,4 eV (elektronvoltov), valovno dolžino večjo od 100 nm (nanometrov =  $10^{-9}$  m) in frekvenco manjšo od  $3 \cdot 10^{15}$  Hz. Področje ionizirnih sevanj se začne s frekvencami nad 3000 THz in valovnimi dolžinami pod 100 nm. Minimalna ionizirna energija za biološke materiale je 12,4 eV (elektronskega volta), to pa ustreza energiji fotonov pri valovni dolžini 100 nm. Elektromagnetna valovanja lahko razdelimo na območja svetlobnih, radijskih in nizkih frekvenc (Jeglič 1993).



**Slika 1: Delitev NIS glede na valovno dolžino in frekvenco (Bratanič 1994)**

V *svetlobnem pasu* ločimo ultravijolično svetlobo od 100 do 400 nm, vidno svetlobo od 400 do 780 nm in infrardečo svetlobo od 0,78 do 1000  $\mu$ m (mikrometrov =  $10^{-6}$  m). Med sevanji, ki prihajajo na Zemljo iz nezemeljskih virov, je najmočnejše sončno sevanje.

Tovrstnega sevanja naša čutila skoraj ne zaznavajo, razen ozkega pasu elektromagnetnih valov frekvence od 750 THz (terahercov =  $10^{12}$  hercov) do 385 THz. Ta frekvenčni pas ustreza valovnim dolžinam od 400 do 780 nm, v njem človeško oko sevanje zaznava; imenujemo ga *vidna svetloba*.

Frekvenčno območje elektromagnetnih sevanj med mehkim ionizirnim sevanjem in vidno svetlobo imenujemo *ultravijolično sevanje* (UV - 3000 - 750 THz).

Glede na biološke učinke posameznih valovnih dolžin je UV sevanje razdeljeno na 3 podskupine: UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) in UV-C (pod 280 nm). Frekvenčni pas, ki ga človeška koža zaznava kot toploto, imenujemo *infrardeče sevanje*. Valovne dolžine infrardečega sevanja so razdeljene v tri biološko pomembne pasove: IR-A (0,78 - 1,4 μm), IR-B (1,4 - 3 μm) in IR-C (3 - 1000 μm) (Jeglič 1993).

Sevanje	f	l	energija fotona
UV	3000 THz-750 THz	100 - 400 nm	12,4 - 3,10 eV
UVC	3000 - 1070	100 - 280	
UVB	1070 - 952	280 - 315	
UVA	952 - 750	315 - 400	
Vidno	750 - 385	400 - 780	3,1 - 1,59 eV
IR	385 - 0,3 THz	0,78 - 1000 mm	1590 - 1,24 meV
LASER	1500 - 15	0,2 - 20 mm	6200 - 62 meV
RF	300 Ghz - 0,1 Mhz	1 mm - 3000 m	1240 meV - 0,41 meV

### **Preglednica I: Preglednica frekvenc, valovnih dolžin in energij UV in IR sevanj**

**(Jeglič 1993)**

**Lastnosti sevanja** opisujemo s frekvenco, z jakostjo ali energijo in modulacijo. Jakost električnega polja  $E$  merimo v V/m (voltih na meter), jakost magnetnega polja  $B$  v T (teslih). Moč vira sevanja merimo v W (vatih), izpostavljenost sevanju pa označujemo v joulih na kvadratni meter ( $J/m^2$ ) (Jeglič 1993).

Elektromagnetno polje določajo parametri frekvence  $f$ , valovna dolžina  $\lambda$ , električna poljska jakost  $E$ , magnetna poljska jakost  $H$ , električna polarizacija  $P$  (smer polja  $E$ ), hitrost širjenja  $c$  in Pointingov vektor ( $S$ ), ki podaja velikost in smer gostote elektromagnetnega pretoka.  $E$ ,  $H$  in  $S$  so vektorji, ki so med seboj pravokotni. Valovna hitrost v praznem prostoru je enaka svetlobni, v snovi pa jo določajo električne lastnosti snovi, dielektričnost  $\epsilon$  in permeabilnost  $\mu$ .

**Radijske frekvence** so v območju od 300 GHz (gigaherc =  $10^9$  hercov) do 0,1 MHz (megaherc =  $10^6$  hercov), ustrezajo valovnim dolžinam od 1 mm do 3000 m.

**Mikrovalovi** zajemajo področje od 300 GHz do 0,3 GHz. Frekvenčni spekter od 300 MHz do 0,3 MHz, je razdeljen na pasove **VHF** (300 - 30 MHz), **HF** (30 - 3 MHz) in **MF** (3 - 0,3 MHz). **Nizke frekvence (LF)** so od 300 do 30 kHz ( $\lambda = 1 - 10$  km), zelo nizke frekvence (**VLF**) od 30 do 3 kHz ( $\lambda = 10 - 100$  km) in ultranizke frekvence (**ULF**) od 3 kHz - 300 Hz ( $\lambda = 100 - 1000$  km). Tem sledijo ekstremno nizke frekvence (ELF) s frekvencami, manjšimi od 300 Hz in valovnimi dolžinami nad 1000 km.

Sevanje	f	l
EHF	300 - 30 GHz	1 - 10 mm
SHF	30 - 3	10 - 100
UHF	3 - 0,3	100 - 1000
VHF (UKW)	300 - 30 MHz	1 - 10 m
HF (KW)	30 - 3	10 - 100
MF (MW)	3 - 0,3	100 - 1000
LF (LW)	300 - 30 KHz	1 - 10 km
VLF	30 - 3	10 - 100
ULF	3 - 0,3	100 - 1000
ELF	< 0,3 KHz	> 1000 km

## **Preglednica II: Preglednica radijskih frekvenc (Jeglič 1993)**

V okviru neionizirnih sevanj se obravnava tudi **ultrazvok**, to je mehansko valovanje na ultrazvočnih frekvencah (Jeglič 1994).

### **1.2 Viri neionizirnih sevanj**

#### **1.2.1 Naravna sevanja**

Povsod na Zemlji sta pričujoče zemeljsko magnetno polje in zemeljsko električno polje. Magnetno polje Zemlje ima jakost  $B = 45 - 50 \mu\text{T}$  (mikrotesla). Električno polje Zemlje  $E$  je okrog 100 V/m (voltov na meter). Zemeljski polji sta nastali zaradi fizikalnih procesov in dogajanja v Zemljini krogli in v zemeljski atmosferi. Spremembe polj so izredno dinamične in tesno povezane z vremenskim dogajanjem v atmosferi. Na zemeljska polja močno vplivajo tudi dogajanja na Soncu, ki povzročajo včasih tako imenovane magnetne viharje, ti pa vplivajo zlasti na električno polje Zemlje (Jeglič 1993).

Nekateri avtorji poudarjajo pomen zemeljskega polja za nemoteno delovanje bioloških sistemov (Aschof idr. 1985, Blackman 1993, Swanson 1994, Bowman 1995). Teoretična utemeljitev na podlagi primerjave manjšega števila meritev je le prvi korak pri nadaljnjem preverjanju pomembnosti vpliva zemeljskega magnetnega polja na pojav levkemije pri otrocih (Bowman idr. 1995).



*Naravna polja* se v zgradbah spremenijo. Spremembe nastanejo zaradi oblike prostorov in gradbenih materialov, predvsem železne konstrukcije, ki je iz feromagnetne snovi (snov, ki privlači magnetno polje, samo polje pa se v njeni neposredni bližini nekoliko dehomogenizira).

Zaradi električnih dogajanj v atmosferi (atmosferske razelektritve v obliki bliskov) nastajajo tudi nizkofrekvenčna in visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja; ta obsegajo frekvenčni spekter od ekstremno nizkih do najvišjih frekvenc v svetlobnem območju valovnih dolžin in jih imenujemo *atmosferiki*. Ob tem se v ozračju poveča koncentracija ionov s pozitivnim ali negativnim predznakom, in ti ustvarjajo zelo variabilna polja (Jeglič 1994).

Izredno šibka električna in magnetna polja ustvarjajo tudi živi organizmi. Ta polja obsegajo zelo širok spekter v frekvenčnem območju NIS.

Na Zemljo prihajajo različna kozmična sevanja, sončni veter, rentgensko sevanje, ultravijolično sevanje, vidna svetloba, infrardeče sevanje, kozmično ultrasevanje. Največ sevanj iz vesolja proti Zemlji prihaja s Sonca (Jeglič 1994).

Del vesoljskih neionizirnih sevanj ne pride do Zemlje, ker se absorbira v atmosferi. Izjema sta dve prepustni okni, eno prepušča del optičnih frekvenc, drugo pa radijske frekvence iz kratkovalovnega območja in del ultrakratkih valov v mikrovalovnem območju (Jeglič 1994).

## 1.2.2 Umetna sevanja

Najpogostejši umetni viri NIS so železnica z enosmernim ali izmeničnim pogonom (16,5 Hz), telefonija s 25 Hz in 300 do 3000 Hz, električna omrežja (50 Hz) z visokonapetostnimi daljnovodi, transformatorji, nizkonapetostnim omrežjem ter številnimi industrijskimi in gospodinjstskimi porabniki (Jeglič 1994).

*Viri teh sevanj so razdeljeni na:*

- močne vire, ki dajejo v glavnem snopu v razdalji 100 m od vira izpostavljenost  $1 \text{ W/m}^2$  (radijski in TV oddajniki, radarji za nadziranje zračnega prostora, vremenski radar, satelitski komunikacijski terminali ipd.)
- šibke vire, pri katerih je značilna izpostavljenost pod  $10 \text{ mW/m}^2$  (kabelska TV, radarji prometne policije, mikrovalovni relejni sistemi v telekomunikacijah ipd.) (Jeglič 1993).

*Umetna neionizirna sevanja v zgradbah*

*Svetila* so eden najpogosteje uporabljenih virov NIS. Izmerjene vrednosti so zelo različne; tako na primer merjenje pokaže električno polje 50 V/m pri 50 Hz in 0,1 V/m pri 10 kHz, drugič pa 5 V/m v bližini bančnega terminala za 50 Hz in harmonske komponente ter 22 V/m pri območju med 28 in 32 kHz. Merjenje pred televizijskim zaslonom daje 20 V/m pri 15 kHz in v področju do 100 kHz še vrednosti nekaj 10 V/m. Pravilna ozemljitev hišne napeljave je najpomembnejša za zmanjševanje vrednosti električnega polja in nadziranje magnetnega polja v bivalnem okolju.

Umetne mase, iz katerih so talne obloge, bistveno povečajo vrednosti električnega polja.

Umetne tkanine za oblačila, zavese ipd. generirajo statične naboje in napetosti, in povzročajo celo preboje v obliki iskre. Hkrati precej povečajo količino ionov v ozračju - ta pa je bistveno večja pri uporabi odprtega ognja ali v zakajenih bivalnih prostorih. Povečana količina pozitivno nabitih ionov lahko pri občutljivih ljudeh povzroči slabo počutje in slabšo delovno storilnost (Jeglič 1993).

Vrednosti magnetnega polja v zgradbah pri 50 Hz so najpogosteje med 0,1 in 10  $\mu$ T. Mednarodno združenje za varstvo pred NIS v sodelovanju s Svetovno zdravstveno organizacijo na tem frekvenčnem območju predlaga mejne dopustne vrednosti za poklicno izpostavljene 10 kV/m za E-polje in 500  $\mu$ T za B-polje. Za prebivalstvo so določene nekoliko nižje mejne vrednosti: 5 kV/m za E polje in 100  $\mu$ T za B polje. Vrednosti se prilagajajo glede na število ur izpostavljenosti (IRPA, WHO).

"Blodeči zemeljski tokovi" (Stray ground currents) so električni tokovi, ki nedefinirano potujejo v tleh ob železniških progah, ozemljitvi napeljave v stavbah, razdelilnih transformatorskih postajah (RTP) in najrazličnejših porabnikih v industriji in gospodinjstvih.

#### *Visokofrekvenčna polja*

Danes ni mogoče nadzorovati vrste naprav v vsakdanji uporabi, ki sevajo v območju visokih frekvenc (srednjih, kratkih in ultrakratkih radijskih frekvenc do območja mikrovalov). To so predvsem radarji, mobilne radijske postaje, komunikacijski sateliti, protivlomne alarmne naprave, mikrovalovne pečice, UV-svetila, laserji ipd.

#### *Indukcijsko in dielektrično gretje*

Vrtinčni tokovi, ki se inducirajo v izmeničnem magnetnem polju, grejejo material, ter ga lahko taliyo in kalijo (Jeglič 1993).

Frekvence tovrstnih sevanj lahko sežejo do nekaj MHz visoko, največkrat so v območju 50 ali 60 Hz. Kadar gre za delo v neposredni bližini vira sevanja, lahko nastane večja izpostavljenost v območju rok, kjer je gostota magnetnega pretoka od 1 do nekaj 10 mT (Jeglič 1993).

V medicini je že dalj časa znana uporaba kratkovalovnih (27 MHz) in mikrovalovnih (2450 MHz) frekvenc pri diatermiji, katere cilj je zvišanje temperature tkiva. Pri tem je operater izpostavljen električnemu polju 60 V/m in pretoku 0,16 A/m<sup>2</sup>.

Zadnja leta uporaba magnetoterapija v medicini narašča, predvsem pri zdravljenju degeneracijskih in travmatskih sprememb mišično-tetivnega sistema in okostja. Stimulacija pri tovrstnem zdravljenju poteka največkrat v obliki pravokotnih izmeničnih pulzov pri gostotah polja med 1 in 10 mT (Jeglič 1994).

Frekvenca	RM električna poljska jakost	RMS magnetna poljska jakost	Gostota moči ekvivalentnega ravninskega vala	
			W/m <sup>2</sup>	mW/cm
MHz	V/m	A/m	W/m <sup>2</sup>	mW/cm
0.1 - 1	614	1.6/f	-	-
> 1 - 10	614/f	1.6/f	-	-
> 10 - 400	61	0.16	10	1
> 400 - 2000	3f <sup>1/2</sup>	0.008f <sup>1/2</sup>	f/40	f/400
> 2000 - 300000	137	0.36	50	5

**Preglednica III: Mejne ekspozicije za poklicno izpostavljenost**

**RF EM poljem (Jeglič 1995)**

Frekvenca	RM električna poljska jakost	RMS magnetna poljska jakost	Gostota moči ekvivalentnega ravninskega vala	
			W/m <sup>2</sup>	mW/cm
MHz	V/m	A/m	W/m <sup>2</sup>	mW/cm
0.1 - 1	87	0.23/f <sup>1/2</sup>	-	-
> 1 - 10	87/f <sup>1/2</sup>	0.23/f <sup>1/2</sup>	-	-
> 10 - 400	27.5	0.073	2	0.2
> 400 - 2000	1.375 f <sup>1/2</sup>	0.0037f <sup>1/2</sup>	f/200	f/2000
> 2000 - 300000	61	0.16	10	1

**Preglednica IV: Preglednica priporočene mejne izpostavljenosti**

**RF**

**EMP za prebivalstvo (Jeglič 1995)**

### 1.2.3 Mehanizmi delovanja neionizirnega sevanja

Splošno znani mehanizmi vpliva EMP na ljudi, ki so znanstveno sprejeti, veljajo le za visoke jakosti EMP. Človeško telo v EMP deluje kot sprejemnik. Pri tem so vplivi električne komponente EMP nekoliko drugačni od B- komponente EMP.

Električno polje spremeni električni naboj na površini izpostavljenega telesa in posredno vpliva na električne tokove v njem, magnetno polje pa v telesu inducira električne tokove. Znano je, da EMP z električnimi naboji, ki jih inducirajo na neozemljenih ali slabo ozemljenih objektih, lahko sprožijo, da ob dotiku skozi telo steče električni tok v zemljo. Tok je odvisen od upornosti (impedance) osebe proti zemlji in celotnega naboja ter geometrične oblike objekta (Jeglič 1995).

Delovanje NIS na biološke strukture je razdeljeno na **toplotne** in **netoplotne učinke**. Pri toplotnem delovanju se absorbirana elektromagnetna energija NIS v telesu spremeni v toploto. Učinek je odvisen od dielektrične lastnosti obsevane biološke strukture in veliko drugih dejavnikov (glej str. 15).

Električni tokovi, ki jih v telesu ustvari časovno spreminjajoče se EMP, lahko neposredno vplivajo na živčno in mišično vzdražljivost, predvsem nevarni so vplivi na dihanje in delovanje srca. Oblika v telesu induciranih električnih tokov je odvisna od električnih lastnosti tkiv, največkrat so to oblike zaključnih zank; pri teh so največje gostote toka inducirane na perifernih tkivih, njihova velikost pa se zmanjšuje proti središču telesa (Gajšek 1997).

Izsledki temeljnih raziskav še zmeraj niso zanesljivo pojasnili mehanizma nastajanja sprememb v bioloških strukturah. Poglavitni problem tovrstnih raziskav na celični ravni je ločevanje toplotnih učinkov delovanja NIS na biološke strukture pri nižjih stopnjah specifične absorpcije od netoplotnih, kajti že zelo majhne spremembe okolja lahko močno vplivajo na poskuse. Tako temperaturne razlike  $0,2^{\circ}\text{C}$  že značilno vplivajo na rast in razmnoževanje (NCRP report 1986). Pri večini tkiv sesalcev mora ta dodatna toplota doseči vsaj 70% toplote, ki nastaja pri presnovi, da bi se značilno povečala temperatura v izpostavljenem tkivu ( $> 0,1^{\circ}\text{C}$ ). Ob domnevi, da zaradi lastne termoregulacije telo lahko zadrži vso absorbirano energijo in da vpadna energija ne preseže 70 W, znaša pri površini telesa  $A = 1,75\text{ m}^2$  dopustna gostota energije  $10\text{ mW/cm}^2$ .

Pragovne vrednosti tokovne gostote, ki v telesu povzročijo depolarizacijo živčne membrane, so od 1 do  $10\text{ mA/m}^2$ . To pomeni, da bi za takšne vrednosti potrebovali izredno močna zunanja polja,  $100\text{ kV/m}$  za E-polje, in nad  $1,5\text{ kA/m}$  za B-polje (Jeglič 1995).

Toplotni učinki so dobro raziskani in se ne razlikujejo od učinkov hipertermije, nastale zaradi drugih vzrokov (Adey 1980). Na področju zelo nizkih frekvenc do 300 Hz je znan netoplotni vpliv EMP na vzdražljivosti živčnih in mišičnih celic, ko električni tokovi v telesu presežejo prag vzdražljivost teh celic (Bratanič 1994). Radijske frekvence EMP lahko inducirajo tokove, ki stimulirajo vzdražljivo tkivo pri frekvencah, nižjih od 1 MHz (Jeglič 1995).

Spremembe na kromosomih so ugotovili pri stopnji specifične absorpcije  $5\text{ W/cm}^2$ , vendar drugačne kot pri obsevanju z rentgenskimi žarki (NCRP report 1986).

Poleg tega je treba upoštevati tudi **"okenski efekt"**. To je pojav, ko elektromagnetna polja vplivajo na biološki sistem tako, da za desetinko stopinje ali celo manj povečajo njegovo temperaturo pri posameznih frekvenčnih in jakostnih "oknih"(območjih) in pri tem povzročijo kemične, fiziološke in psihološke učinke, ki niso posledica

toplote delovanja na biokemične procese. Zunaj teh "oken" omenjenih učinkov ni. Ti nastajajo zaradi zaviralnih ali pospeševalnih bioloških učinkov NIS na žive sisteme (Adey 1980).

Tako je, na primer, možgansko tkivo najbolj občutljivejšo v frekvenčnem oknu med 6 in 20 Hz. Pri modulirani radijski frekvenci in mikrovalovih so raziskovalci ugotovili okenski učinek pri gradientih polj reda velikosti 10-1 V/cm oziroma 10-7 V/cm. Prva občutljivostna stopnja je registrirana na posnetku EEG, druga pa na zmogljivosti prostorske orientacije in iskanja plena nekaterih morskih vretenčarjev (Adey 1980).

Morda zahteva povezovanje celic ojačevalni vpliv, ki temelji na neravnotežnih procesih z daljnosežnim medsebojnim resonančnim vplivom med molekulami. Najbrž so zato nekateri poskusi slabo ponovljivi (Adey 1980, Ružič 1996).

Veliko raziskav kaže, da se pojavljajo biološki učinki tudi tedaj, ko ni visokofrekvenčnega ali nizkofrekvenčnega segrevanja teles. Vplivi se kažejo na celotnem območju EMP, od enosmernih električnih in magnetnih polj do svetlobnega sevanja v UV-območju (Froelich idr. 1983). Pri preučevanju visokofrekvenčnih EMP je treba poudariti vpliv sestave tkiv na vdorno globino absorbirane energije. Tako je pri 0,1 GHz v tkivu z malo vode vdorna globina približno enaka vdorni globini v tkivu z veliko vode (6,4 cm in 6,6 cm), pri frekvenci 10 GHz pa je vdorna globina v tkivu z malo vode enajstkrat manjša kot v tkivu z veliko vode (0,3 cm in 3,3 cm) (Gajšek 1997).

Raziskave fizikalnih mehanizmov delovanja NIS zahtevajo sodelovanje strokovnjakov z več področij. Biofizikalnih domnev o bioloških učinkih in načinu delovanja NIS na celični ravni je precej. Ene določajo povezavo med električno napetostjo in obliko določenih biopolimerov (opisala sta jih Astumian in Tsong). Markin in Tsong opisujeta oscilacijsko zaporo aktivacije med encimom in substratom. Pomembnost mikrokinetike in ionskih prenašalcev poudarja tripoložni Zeemanov model Chiabriere in Bianca. Vedenje nabitih delcev v zunanem magnetnem polju je temelj domneve o Larmorjevi precesiji (Edmonds 1993). Teorija ciklotronske resonance, avtorja A. Liboffa, ki razlaga združeni vpliv sinusnega in enosmernega magnetnega polja na izmenjavo kalcija zunaj celice in v njej, je že vrsto let vzrok ostrih razprav v bioelektromagnetiki.

Teorija parametrične resonance združuje vpliv sinusnega in enosmernega magnetnega polja na vezavo ionov kalcija na transportni protein v celični membrani (kalmodulin). Vpliv nehomogenosti EMP na povečanje polarizacijske sile, ki spremeni glikokaliks v celični membrani, zagovarja McLeod s teorijo polarizacijske sile.

Pomen impedance skupine celic, izpostavljenih zunanjemu EMP poudarja skupina A. Pille. Vse domneve temeljijo na razlagah sprememb membranske napetosti, membranske prevodnosti in sinhronizacije nevronov z radijsko frekvenco in mikrovalovi. Ta interakcijski proces zajema več stopenj: vpliv na dipolno organizacijo v območjih okrog štrlečih delov membranskih proteinov, posledični prenos energije prek glikoproteinov in spremembe encimskih reakcij v celicah. Angleški biofizik Herbert Froelich je na temelju dielektričnih lastnosti bioloških snovi v živih celicah izpeljal teorijo o koherentnih oscilacijah v organizmih (Jerman 1993).

Nekateri poudarjajo reakcije prostih radikalov na gensko zasnovo (Steiner 1986). Izidi raziskav o bioloških učinkih NIS si pogosto nasprotujejo, ker ni splošno sprejeta teorija o interakcijah NIS in bioloških sistemov.

Vpliv EMP na biološke strukture je lahko tudi koristen. čedalje več je poročil o preprečevalnem delovanju EMP na pojav osteopenije in o pospeševalnem učinku EMP na celjenje kostnih zlomov (Magee idr. 1991, Blank 1991, Mammi 1991, Brighton idr. 1991). Magnetna stimulacija pomaga tudi pri celjenju poškodovanih živcev (Subramanian idr. 1991, Sissen 1991).

Dejstvo pa je, da noben teoretični model ne more pojasniti vseh opazovanih učinkov NIS (Bratanič 1994).

### 1.3 Smeri raziskav neionizirnih sevanj

Znanstvena spoznanja in napovedi o škodljivosti NIS so še zmeraj predmet znanstvenih opazovanj, ker so učinki NIS na biološke strukture le delno potrjeni, in ne zmeraj z zadostno stopnjo značilnosti, posebno če jih primerjamo s tistimi o ionizirnih sevanjih. Delovanje NIS na biološke materiale temelji na njihovih termičnih in netermičnih učinkih (Sagan 1996).

Izidi prvih raziskav so se zelo razlikovali; nekateri so zanikali biološke učinke NIS, drugi pa opazovali učinke le pri visokih vrednostih EMP. Kmalu se je pojavilo vprašanje, ali so izsledki teh raziskav kakovostni. Zato sta nadvse zaželena nepristranska analiza in poenotenje standardov na temelju neoporečnih raziskav in ekspertiz (Guy 1992).

#### *Temeljne raziskovalne smeri:*

- **molekularni učinki in vpliv na organele,**
- **tkivni učinki NIS,**
- **kromosomski in mutageni učinki NIS,**
- **karcinogeni učinki NIS,**
- **vplivi NIS na reprodukcijo in razmnoževanje,**
- **vplivi NIS na rast in razvoj,**
- **vplivi NIS na celjenje zlomljenih kosti in regeneracijo živcev,**
- **vplivi NIS na hematopoezo in imunost,**
- **vpliv NIS na endokrine in avtonomne živčne funkcije,**
- **vplivi NIS na srčno-žilni sistem,**
- **vplivi NIS na delovanje možganov,**  
(spremljanje delovanja posameznih frekvenčnih in jakostnih oken)
- **cerebrovaskularni vplivi NIS,**
- **vplivi NIS na živčno-mišični sistem,**
- **vplivi NIS na mrežnico in na nastajanje sive mreže,**
- **toplotni učinki kratkih valov in mikrovalov,**
- **zdravljenje tumorskih bolezni z lokalno aplikacijo električnega toka.**

Ob primerjavah raziskovalnih izsledkov moramo upoštevati precej dejavnikov. Najpomembnejše razlike v eksperimentalnih metodah, ki lahko vplivajo na izide, so:

- gostota polja  
(SAR -stopnja specifične absorpcije ob določeni gostoti EMP, E- in B- komponente),
- čas in presledki izpostavljenosti sevanju,
- valovna dolžina in frekvenca EMP,

- velikost in masa izpostavljenega biološkega vzorca,
- termoregulacijske zmogljivosti raziskovanega sistema,
- debelost in sestava preučevanih tkiv,
- orientiranost vzorca v razmerju vektorjev preučevanega polja,
- oblika impulza (kontinuirani, pulzni ali drugače modulirani),
- električna ali biološka izolacija in zaščita,
- drugi dejavniki iz okolja (toplota, vlaga, svetloba, hitrost premikanja zračnih plasti),
- fiziološko in psihološko stanje preučevanega organizma, predvsem v poskusih na laboratorijskih živalih (anestezija, obrzdanost, način manipuliranja, prehranjenost, čas hranjenja in pojenja) (NCRP report 1986).

### **1.3.1 Vplivi neionizirnih sevanj na endokrini sistem**

Odziv preučevanih sesalcev na NIS je po nevrofizioloških in nevroendokrinih merilih podoben stresnemu odzivu na kateri koli dejavnik iz okolja. Najbolj zaznavne so bile spremembe koncentracije stresnih hormonov dopamina, ščitničnih hormonov, inzulina, serotoninina, kateholaminov, prostaglandina in melatonina (Kos 1994, Gorczynska idr. 1991, Anderson idr. 1995, Arnetz 1995). Opazovane spremembe so se le redko ponovile, največkrat so jih zaznali le na nekaterih skupinah merjenih hormonov.

Zelo zanimive izsledke opisuje raziskava, opravljena na zajcih. Po parietotemporalni aplikaciji mikrovalov se je zvišala koncentracija glukokortikoidov in znižala koncentracija tiroidnih hormonov. Potem so zaznali še imunosupresivni učinek ob padcu imunokompetentnih celic (Bogolyubov idr. 1986).

Delavci z računalniškimi prikazovalniki so že po tridesetih minutah dela s prikazovalniki imeli zvišane vrednosti kortizola v slini. Sprememba hormonske koncentracije se je pojavila sočasno z drugimi znamenji stresnega odziva (pospešen srčni utrip, hitrejše dihanje in zvišan krvni pritisk) (Schreinecke 1990).

Pri drugi skupini delavcev pri računalnikih, ki so imeli kožne bolezni, domnevno nastale zaradi izpostavljenosti NIS, so se zvišali stresni hormoni (tiroksin, kateholamini in prolaktin), znižala pa se je količina testosterona (Arnetz idr. 1992).

Odmiki od fizioloških meja so se potem, ko opazovani niso bili več izpostavljeni NIS znova povrnili na fiziološko raven. čas uravnavanja je bil nekoliko daljši od časa izpostavljenosti (Kos, 1994).

Največ pozornosti pri raziskavah vpliva NIS na endokrini sistem je namenjeno melatoninu, hormonu žleze češarike, ki ima zelo tesne nevrohumoralne povezave z drugimi deli endokrinega sistema.

#### **1.3.1.1 Melatoninski mehanizem**

Večinski delež melatonina izloča pinealna žleza, ki je rudimentarni del vidnega sistema. Med drugimi, manj pomembnimi ustvarjalci tega hormona je v ospredju še mrežnica (Stevens idr. 1997)

Zgornji vratni ganglij s svojimi simpatičnimi vlakni uravnava izločanje melatonina. Simpatične signale prenaša noradrenalin iz intrapinealnega živca. Dnevno-nočni ritem, to je biološka ura, je poglaviti dejavnik pri spreminjanju ravni melatonina v krvi. Povezava biološke ure in nihanje ravni melatonina v krvi je značilna za vse sesalce s človekom vred. Temeljni pogoj za izločanje melatonina je odsotnost svetlobnih signalov, ki prek

retinohipotalamične proge zavirajo izločanje melatonina. Odsotnost svetlobnih signalov preko suprahiazmatičnih jeder sproži izločanje melatonina.

Druge endokrine žleze ne vplivajo na izločanje melatonina. Pokazalo se je ravno nasprotno, da melatonin povzroča spremembe v hipotalamo-pituitarno-gonadalni povezavi. To je teoretična zasnova domneve o vplivu melatonina na pojav rakavih obolenj dojk, jajčnikov in prostate.

Prvi laboratorijski poskusi iz leta 1970 so pokazali padec ravni melatonina pri podganah, izpostavljenih izmeničnemu EMP (Wilson idr. 1997).

Spremembe pri izločanju melatonina lahko vplivajo na izločanje drugih hormonov, npr. estrogenov in prolaktina in po tej poti spremenijo proliferacijo malignih celic v različnih fazah njihove rasti. Poskusi in vitro so pokazali onkostatično delovanje melatonina.

Domneve o povezavi melatonina in raka na prsih so temeljile na ugotovitvi povečane pogostosti te bolezni v tehnološko razvitih družbah (Sagan 1996).

Ena poglavitnih razlik med razvitimi in nerazvitimi državami je vsekakor v količini in pogostosti uporabe umetne svetlobe, predvsem ponoči. Prav tako je v številnih poslovnih prostorih dnevna svetloba dopolnjena z umetno. Novi viri umetne svetlobe značilno vplivajo na večjo gostoto EMP, ki jih ustvarjata električno omrežje v naseljih in električna napeljava v stanovanjskih in poslovnih objektih.

Temeljna domneva o melatoninu predvideva, da znižanje ravni tega hormona v krvi pod vplivom EMP in umetne svetlobe lahko, dolgoročno gledano, poveča tveganje raka na prsih. Največji vpliv naj bi bil takrat, ko je izločanje hormona zavirano, torej ponoči. Preverjanje domneve o melatoninu je potekalo v treh smereh:

- **vpliv svetlobe na izločanje melatonina,**
- **učinki EMP na spreminjanje ravni melatonina v krvi,**
- **povezavo raka na prsih in ravni melatonina v krvi.**

Ugotovitve Petera Semma in sodelavcev so potrdile statistično značilen vpliv EMP na izločanje melatonina pri budrah. Normalno nočno izločanje se je značilno znižalo pod vplivom dovolj močnega vira umetne svetlobe. Poleg EMP in umetne svetlobe vplivajo na delovanje pinealne žleze in izločanje melatonina še drugi dejavniki: uživanje alkoholnih pijač, delo v izmenah ipd. (Seem idr. 1980, 1983).

še zmeraj ni ugotovljeno, kako na izločanje melatonina vpliva umetna svetloba podnevi. Prav tako ni raziskav o vplivu naravne nočne iluminacije na izločanje melatonina. Statistično značilni izidi o povezavi raka na prsih pri poskusnih živalih tega vpliva na ljudeh niso potrdili. Zato je domneva o povezanosti raka na prsih in ravni melatonina ostala le spodbuda številnim neodvisnim laboratorijem, da nadaljujejo raziskovanje (Stevens 1997).

### **1.3.2 Spremembe dedne zasnove in mutageneza**

Zbujeni atomi ogrožajo živo snov, če spremenijo molekule, ki so bistvene za življenje celice; osrednji položaj med takimi molekulami ima deoksiribonukleinska kislina (DNK), ki je lahko kritični cilj NIS (NCRP 1986). Raziskave so pokazale spremembo v strukturi DNK le tedaj, ko se tkiva segrevajo, to je ob toplotnih učinkih NIS (WHO 1993). Szmigelsky je ugotovil povečano incidenco spontanih in kemično induciranih tumorjev po večmesečni mikrovalovni (2450 MHz) sevalni obremenitvi miši (SAR 2,5 in 7 W/kg). Opazili so podobne učinke pri eksperimentalno izzvanem stresu in sevalni obremenitvi SAR 2 - 3 W/kg (Szmigelsky idr. 1982).

Raziskave o vplivih NIS na molekularni ravni so dokazale značilne učinke le pri nekaterih proteazah (Klainer in Frazer 1975, NCRP 1993).



Himotripsin se po obsevanju z valovnimi dolžinami od 209 do 600 cm<sup>-1</sup> spektroskopsko spremeni ob vstopni moči sevanja 3 W (okrog 150 V/m) in 4 W (cca 200 V/m). Pri vstopni moči 5 W je raztopina z encimom postala motna. Avtorji članka menijo, da so ti učinki posledica sprememb v terciarni strukturi makromolekul. Dozdajšnji preskusi o netermičnih učinkih NIS na molekularni ravni pa kažejo, da bo težko dokazati vpliv NIS na biološko aktivne molekule; to velja še posebno za jakosti elektromagnetnih polj, ki nas največkrat spremljajo v delovnem in bivalnem okolju.

Prav tako avtorji niso mogli natančno dokazati vpliva NIS na celične organele, predvsem na mitohondrije, razen toplotnih učinkov močnih NIS (NCRP 1986).

če so izpostavili celice sesalcev EMP 2450 MHz, je to pri jakosti 200 mW/cm<sup>2</sup> po desetih minutah pospešilo razmnoževanje celic. Po tridesetih minutah je bil dosežen nasprotni učinek. Spremembe na kromosomih so ugotovili pri stopnji specifične absorpcije 5 W/cm<sup>2</sup>, vendar drugačne kot pri obsevanju z rentgenskimi-žarki (NCRP 1986).

Osrednji problem tovrstnih raziskav na celični ravni je ločevanje termičnih učinkov od netermičnih pri višjih stopnjah specifične absorpcije, kajti že zelo majhne spremembe okolja zelo vplivajo na poskuse. Tako že temperaturne razlike 0,2 °C lahko značilno vplivajo na rast in razmnoževanje (NCRP 1986, Adey 1980).

### **1.3.3 Vpliv neionizirnih sevanj na rast in razmnoževanje**

Tudi na tem področju raziskav je obilo nasprotujočih si izidov. Prva poročila o tem, da so kure, izpostavljene 60 Hz EMP in magnetni poljski jakosti 160 μT, znesle manj jajc so sprožila vrsto raziskav o morebitnem vplivu EMP na rast in razmnoževanje. Še presenetljivejši so bili izidi o spremembah zarodkov po izpostavitvi parentalne generacije svinj 60 Hz EMP napetosti 30 kV/m. Pri podganah, izpostavljenih 60 Hz EMP 100 kV/m, so poročali o manjšem številu parjenj in spočetij kakor pri kontrolni skupini podgan ob normalnih razmerah (WHO, 1984). Podobne izide raziskave so dobili, ko so izpostavili podgane radijskim frekvencam (Brown-Woodman idr. 1989). Prav tako obstaja nekaj raziskav, ki zanikajo kakršne koli vplive NIS na rast in razmnoževanje (Lebovitz idr. 1983, 1987)

Glede diferenciranosti tkiv lahko opazujemo večje tveganje pri bolj diferenciranih tkivih in hitro rastočih celicah. Na primer: hitrost celičnega preoblikovanja in razmnoževanja spolnih celic in krvotvornih celic kostnega mozga je večja od rasti in preoblikovanja vezivnega tkiva v neprizadetem območju. Raziskave ruskih znanstvenikov so pri poskusih na več vrstah živali pokazale, da EMP najbolj vplivajo na spolne celice, najmanj pa na obtočila (Kartashev, 1992).

### **1.3.4 Vpliv NIS na delovanje vegetativnega živčnega sistema**

Motnje delovanja avtonomnega živčnega sistema, pri katerem so najpogostejša bolezenska znamenja zmanjšanje srčne frekvence z občasnimi tahikardijami, nihanje krvnega pritiska, omedlevica ipd., so opisane kot "bolezen radijskih valov" (NCRP report 1986). Že od samega začetka so motnje delovanja vegetativnega živčnega sistema osrednji cilj opazovanja učinkov NIS na ljudi (Asanova 1966). V primerjalni klinični raziskavi je v kateri je znašala izpostavljenost gostoti pretoka moči 100 W/m<sup>2</sup>, izidi niso pokazali škodljivih posledic. Le polovica delavcev je imela med izpostavljenostjo subjektivni občutek toplote v telesu, vendar je ta l po izklapljanju EMP

izgini. Zanimiv je bil zapozneli učinek na nevrovegetativni ravni; anksioznost in povečanje krvnega pritiska sta trajala še nekaj mesecev po izpostavljenosti višjim vrednostim gostote pretoka moči (Graham idr. 1985).

Vrsta dvojno slepih poskusov, ki jih je naredil Graham Charles s sodelavci, je pokazala upočasnitev pulza zdravih prostovoljcev le ob nekaterih jakostih EMP.

V zadnjem od štirih poskusov so razdelili štiriinpetdeset preiskovancev v tri skupine: prva je bila izpostavljena nizki jakosti EMP: 6 kV/m, 10 mT; druga srednji jakosti: 9 kV/m in 20 mT; in tretja visoki jakosti: 12 kV in 30 mT. Preiskovance so izpostavljali EMP dvakrat po tri ure s tridesetminutnimi premori. Merili so srčne potenciale po elektrokardiografski metodi, potenciale, sprožene v možganih pod vplivi značilnih in neznačilnih dražljajev. Poleg tega so s posebej prirejenim vprašalnikom ugotavljali subjektivno počutje in zaznavo resnične in lažne izpostavljenosti. Pred in po raziskavi so vsem merili telesno temperaturo, pulz in krvni tlak ter ugotavljali čas spanja, jemanje zdravil, alkohola, poživil, hrane in zaznavanje stresnega stanja. Preiskovanci so bili podrobno seznanjeni z načinom poteka raziskave (Graham idr. 1994).

Statistično značilno upočasnitev srčne frekvence so zaznali le na elektrokardiogramih preiskovancev v srednji jakostni skupini (9 kV/m, 20 mT). Druge jakosti EMP niso vplivale na srčno frekvenco. Podaljšan odzivni čas in podaljšanje časa pri opravljanju zahtevnejših nalog sta bila statistično značilna samo v prvi skupini preiskovancev (6 kV/m, 10 mT) (Graham idr. 1994, 1995).

Statično EMP podobne jakosti ni vplivalo na frekvenco srčnega utripa v prvi raziskavi, ki jo je opravila ista skupina raziskovalcev.

Pojav neodzivnosti vegetativnega živčnega sistema lahko pripišemo delovanju adaptacijskih mehanizmov, ki ohranjajo odzivnost vegetativnega živčnega sistema v fizioloških mejah in določajo prag stresnega odziva (NCRP report 1986).

Takšni izidi podpirajo domnevo, da se bodo ljudje bolj zaznavno odzivali na nekatere kombinacije jakosti in frekvence kot na druge. Občasna izpostavljenost je lahko po takšnih izidih nevarnejša od nepretrgane, pod pogojem, da je jakost EMP v območju fiziološkega okna.

### **1.3.5 Vpliv neionizirnih sevanj na oči**

Mrežnica je izredno občutljiv organ za ozko območje vidne svetlobe, ki predstavlja zelo ozek spekter NIS (opisano v prvem poglavju). Strokovnjaki domnevajo, da visoke jakosti visokofrekvenčnih sevalnih obremenitev lahko lahko poškodujejo vid poklicno izpostavljenih ljudi.

Skupina raziskovalcev je primerjala parametre pupilarnih refleksov in preobčutljivosti za EMP skupine bolnikov, ki so se pritoževali zaradi nespecifičnih bolezenskih znamenj (opis v drugem poglavju), po izpostavljanju EMP različnih nizkih frekvenc, s pupilarnimi refleksi ljudi, občutljivih za kemične agense. Opazovali so nekoliko zakasnelo odzivnost simpatične komponente pupilarnega refleksa (Wang idr. 1994).

Poskusi na podganah so jasno pokazali, da izpostavljenost glave in oči radijskim frekvencam EMP povzročajo spremembe na lečah in tudi katarakto, ki ne kaže nobenih posebnosti v primerjavi z drugimi primeri sive mreže (Carpenter 1977). Omenjeni vplivi zaradi neustrezne metodološke obravnave populacijskega vzorca še zmeraj niso povsem raziskani (Sommer 1977, NCRP 1986). Pri skupini delavcev na švedskem sta Aurell in Tengroth leta 1973 dokazala značilno povezavo med izpostavljenostjo radijskim frekvencam in prizadetostjo mrežnice ter očesnega ozadja, ki je bila le v dveh primerih vzrok poslabšanja vida (NCRP 1986).

čeprav je mogoče, da močno mikrovalovno sevanje povzroči očesne spremembe, še zmeraj ni jasnih dokazov, da bi visokofrekvenčna EMP nizkih jakosti, ki so značilna za normalno bivalno in naravno okolje, kakor koli vplivala na oči (Gajšek 1997).

### **1.3.6 Vpliv neionizirnih sevanj na nosečnost**

Epidemiološka opazovanja, v katera so bile zajete ženske, ki so pri delu uporabljale računalniške prikazovalnike, niso pokazala povečanega tveganja za spontani splav ali prirojene malformacije zarodkov (Chernoff idr. 1992, Juutilainen idr. 1991). Dve leti kasneje je ista raziskovalna skupina ugotovila skoraj petkrat večje tveganje spontanega splava pri ženskah, ki živijo v okolju, obremenjenem z EMP (Juutilainen 1993). Pri ženskah, ki so bile pri opravljanju dela večino delovnega časa izpostavljene EMP sevalno slabšega računalniškega prikazovalnika, je Lindbohm s sodelavci ugotovil skoraj štirikrat pogostejše spontane splave kakor pri kontrolni skupini žensk, ki so uporabljale bolj kakovostne prikazovalnike (Lindbohm idr. 1992). Leta 1989 je znana skupina raziskovalcev v ZDA objavila podatke o škodljivem vplivu električnih grelcev v vodnih posteljah na povečanje pogostosti spontanega splavov in mrtvorojenih otrok (Wertheimer idr. 1989). Druge epidemiološke raziskave tega niso potrdile, strokovnjaki Nacionalnega sveta za varovanje pred NIS pa so izsledke omenjenih raziskav povsem razvrednotili (NRPB 1994).

### **1.3.7 Nevropsihološke raziskave vpliva neionizirnih sevanj na ljudi**

Posamezne raziskave preučujejo škodljive učinke NIS na funkcionalni ravni, predvsem na spremembe v delovanju nevropsiholoških, to je filogenetsko mlajših struktur možganske skorje. Te lahko po nevrohumoralni poti vplivajo na druge dele telesa (Kolmodin-Hedman 1988, Cook 1992, Kalyada 1989).

Pri laboratorijskih poskusih je bil že večkrat potrjen učinek EMP na neurotransmitske mehanizme v možganih. Tako se je pri injiciranju kolinergičnega antagonista fiziostigmina izničil učinek kratkotrajne izpostavljenosti močnemu EMP na prostorsko orientacijo miši (Lai 1995). Spremembe stereotipnih gibov, motnje spontane motorične aktivnosti, agresivnost, motnje dnevno-nočnega ritma, motnje pozornosti, vedenjske spremembe v spolnosti, so se večkrat ponovili pri poskusih na živalih (Kos 1994).

Vsebina neurotransmiterjev (serotonin) v čelnem in temenskem delu možganske skorje podgan, izpostavljenih petdeseterčnemu EMP ( $B=0,005$  mT in  $0,1$  mT,  $E=1$  kV/m in  $5$  kV/m), je bila značilno nižja v primerjavi z drugimi deli skorje in možgansko skorjo kontrolne skupine.

Druge raziskave so pokazale, da izpostavljenost šestdeseterčnemu EMP, jakosti  $50 \mu\text{T}$ , v embrionalnem in neonatalnem obdobju laboratorijskih živali lahko povzroči značilne nevrološke motnje na ravni spoznavne in čustvene dejavnosti (Hagino 1995). Te so primerljive z nevrobiološkimi spremembami mezolimbicnih dopaminergičnih nevronov humanih zarodkov.

Prebivalci v naseljih v neposredni bližini visokonapetostnih daljnovodov in močnih magnetnih polj se pogosteje pritožujejo zaradi glavobola in depresivnega razpoloženja (Dowson idr. 1988, Perry idr. 1989).

Lokomotorična dejavnost, pogojni obrambni refleksi, kontinuirana in evocirana bioelektrična aktivnost motorične in senzomotorične skorje možganov poskusnih živali, izpostavljenih jakosti  $1500\text{mW/cm}^2$  in frekvenci  $375$  Hz, je bila zaznavno spremenjena (Zecca idr. 1995).

Jakost zemeljskega magnetnega polja se je zmanjševala sočasno z razvojem in povečevanjem relativne mase možganov glede na druge dele telesa. Nekatere epidemiološke raziskave kažejo, da je pri izpostavljenosti EMP povečano zdravstveno tveganje za bolezni krvotvornih organov in manjše tveganje za nastanek možganskih tumorjev (Feychting 1993).

Zelo šibka, pulzna magnetna polja že pri 50 nT in frekvenci 0,01 Hz lahko izzovejo agresivno vedenje in psihično napetost pri ljudeh in živalih, odvisno od smeri polja glede na lokalno geomagnetno polje (Rajeswari 1985). Ljudje, poklicno izpostavljeni radijskim frekvencam, so imeli vedenjske motnje, ki jih niso potrdili s psihološkim testiranjem (Maraccini idr. 1990).

Občasno, prekinjajoče se izpostavljanje EMP pri frekvenci 45 Hz je upočasnilo proces učenja, podaljšalo latenco evociranih možganskih potencialov, povečalo alfa in beta aktivnost v EEG ter zvišalo povprečno frekvenco možganskih valov (Lyskov 1992).

Na temelju takšnih izsledkov lahko predvidevamo, da bodo filogenetsko mlajše celice, nastale z upadanjem jakosti geomagnetnega polja, manj občutljive za močna magnetna polja in občutljivejše za šibka. To potrjujejo tudi nekateri spodbujevalni učinki zelo šibkih EMP na bolj diferencirane živčne celice (Bellosi 1993, Sandyk 1995).

#### **1.4 Pregled literature o epidemioloških raziskavah neionizirnih sevanj**

Prva epidemiološka raziskava o vplivu NIS na pojav levkemije pri otrocih se je pojavila leta 1979. Wertheimerjeva in Leeper sta postavila hipotezo, da so magnetna polja daljnovodov lahko dejavnik tveganja za omenjeno bolezen (Wertheimer 1979). Veliko kasnejših epidemioloških raziskav tega ni potrdilo. Pokazalo se je, da sta nezadostno definiranje skupin in ocenjevanje izpostavljenosti NIS povzročila zelo nasprotujoče si izide epidemioloških raziskav (Aldrich idr. 1992). Osrednja pozornost pri preučevanju bioloških učinkov NIS je od samega začetka usmerjena k povezanosti NIS in obolevanja za rakavimi boleznimi. Največ epidemioloških raziskav je obravnavalo levkemije in limfome, možganske tumorje, raka na prsih in še nekatere druge rakave bolezni.

Načrtovanje epidemioloških raziskav največkrat temelji na dvostopenjski teoriji karcinogenosti: iniciacija in pospeševanje tumorske rasti (Iversen in Atrup 1984). Za zdaj ni znano, ali deluje EMP kot iniciator ali promotor, čeprav je domneva o promotorskem delovanju nekoliko sprejemljivejša (Cridland 1993, Garaj-Vrhovac 1996).

švedska raziskava iz leta 1993 je pokazala najtesnejšo povezanost med časom diagnosticiranja in ugotovljenimi vrednostmi EMP kot promotorja tumorske rasti (Feychting in Ahlbom 1993). Na temelju izsledkov epidemioloških raziskav je težko dokončno in usmerjeno sklepati o splošni povezanosti preučevanih bolezni in izpostavljenosti NIS. Raziskave na živalih temeljijo na visokih vrednostih EMP in močnih sevalnih obremenitvah, zato jih je težko uporabiti pri načrtovanju epidemioloških raziskav. Poleg tega je čedalje več zavajajočih dejavnikov in novih sevalnih obremenitev okolja, ki jih z nikakršno novo metodologijo ne moremo izključiti pri opazovanju prebivalstva.

Takšno spoznanje spodbuja dvome, da trenutno veljavni standardi, ki določajo meje poklicne in nepoklicne izpostavljenosti, ne zagotavljajo varnosti pred učinki NIS na zdrave ljudi.

Izidi pomembnejših epidemioloških raziskav o povezanosti poklicne in nepoklicne izpostavljenosti EMP in pojavom levkemij, možganskih tumorjev, raka na prsih in drugih skupin rakavih bolezni so prikazani v preglednicah (priloga magistrske naloge).

### **1.4.1 Raziskave povezanosti levkemij in izpostavljenosti EMP**

Prva epidemiološka raziskava Wertheimerjeve in Leeperja je sprožila veliko zanimanja za učinke NIS pri nastajanju malignih bolezni (Wertheimer idr. 1979). Predvsem so iskali kumulativne učinke sevalnih obremenitev skozi retrogradne modele epidemioloških raziskav.

Retrogradne študije o incidenci levkemije pri delavcih, izpostavljenih EMP, so zajele veliko nadpovprečno izpostavljenih oseb in pokazale statistično mejne vrednosti korelacije med pričakovano in opazovano obolevnostjo (Milham 1982, Savicz idr. 1987, Loomis idr. 1990, Theriault idr. 1994). Problem opazovanja delavcev v elektroindustriji je sočasna izpostavljenost različnim frekvencam in jakostim EMP, zato so vse domneve lahko sugestibilnega pomena (Gajšek 1997).

Ena novejših retrogradnih raziskav je raziskava francoskih in kanadskih raziskovalcev, ki je zajela več kot 223.000 delavcev iz treh elektrodistribucijskih firm v Franciji in Kanadi (Electricite de France-Gaz de France, 170.000 delavcev; Ontario Hydro, 32.543 delavcev; in Hydro Quebec, 21.749 delavcev). V obdobju opazovanja, od leta 1970 do 1989, se je med delavci pojavilo 4.151 novih primerov malignih obolenj in možganskih tumorjev. Povprečna izpostavljenost na delovnih mestih je izračunana na podlagi meritev z merilniki ekspozicije, ki so jih nosili delavci (vzorec za določanje povprečne izpostavljenosti: 2066 delavcev, ki so opravljali dela, podobna delu opazovane kohorte) na značilnih delovnih mestih. Raziskovalci so izračunali, da je bilo pri večini izpostavljenih, razporejenih pri vrednosti  $3,1 \mu\text{T-let}$  (mikrotesla-let) 2,41 krat povečano tveganje, da zbolijo akutno nelimfoidno levkemijo pri 95-odstotnem intervalu zaupanja med 1,07 in 5,44. Nekoliko večje zdravstveno tveganje je izračunano za akutno mieloidno levkemijo (3,15 pri 95-odstotnem intervalu zaupanja od 1,2 do 8,27). Ob povprečni izpostavljenosti  $0,2 \mu\text{T}$  je bilo zdravstveno tveganje za akutno nelimfoidno levkemijo 2,36-krat večje pri 95-odstotnem intervalu zaupanja od 1,00 do 5,58, za akutno mieloidno levkemijo pa 2,25 krat večje pri 95-odstotnem intervalu zaupanja od 0,79 do 6,46 (Theriault idr. 1994). Večina objavljenih raziskav je imela mejne in pozitivne izide za povezanost pojava levkemij in poklicne izpostavljenosti EMP.

### **1.4.2 Rak na prsih in izpostavljenost elektromagnetnim poljem**

Zveza med rakom na prsih in izpostavljenostjo EMP še zmeraj ni povsem pojasnjena.

V opazovano skupino so bili telefonski operaterji državnega podjetja, zaposleni v obdobju 1976-80. Povprečna izpostavljenost je določena na podlagi nepretrganega spremljanja izpostavljenosti 50.582 zaposlenih med nastajanjem primerjalne študije. Laboratorijski izidi kažejo, da elektromagnetna polja lahko zmanjšajo zaviralni učinek hormona melatonina na celice prsnega raka (Demers idr. 1980, 1991). Ameriška raziskava iz leta 1991 je pri populaciji telefonskih delavcev v New Yorku pokazala povečano število primerov prsnega raka pri moških, ki se sicer pri moških redko pojavlja (Matonski idr. 1991). Prav tako je norveška študija po več kot desetletnem spremljanju skupine Norvežank, ki delajo kot telefonistke, pokazala povezanost med opravljanjem dela radiotelegrafskega operaterja in povečanim tveganjem obolevnosti za rakom na prsih (Tynes idr. 1992). Podroben pregled epidemioloških raziskav povezanosti raka na prsih z izpostavljenostjo NIS je v preglednicah v prilogi.

### 1.4.3 Možganski tumorji in izpostavljenost elektromagnetnim poljem

Večina retrogradnih raziskav poklicne izpostavljenosti NIS je poleg levkemije analizirala še pojav možganskih tumorjev. Skupina svetovalcev Nacionalnega sveta za varovanje pred sevanji je podrobno preučila sedem najodmevnejših raziskav (Wertheimer in Leeper 1979, Fulton idr. 1980, Tomenius 1986, Savitz idr. 1988, Coleman idr. 1989, Myers idr. 1990 in London idr. 1991) in ugotovila znanstveno sprejemljive dokaze o povezanosti med rakom pri otrocih in izpostavljenostjo NIS. Dokazi za možganske tumorje so bili šibkejši od dokazov za levkemijo (NRPB 1992).

Od vseh raziskav so le maloštevilne pokazale večje tveganje za nastanek možganskih tumorjev ob izpostavljenosti EMP (Savitz idr. 1995). Preglednice v prilogi vsebujejo podatke o epidemioloških raziskavah možganskih tumorjev pri otrocih in odraslih, poklicno in nepoklicno izpostavljene NIS.

### 1.4.4 Vplivi neionizirnih sevanj in obolevanje za drugimi boleznimi

#### 1.4.4.1 Alzheimerjeva bolezen in izpostavljenost neionizirnim sevanjem

Izsledki raziskave, ki so jo opravili na Finskem, so pokazali povezanost med izpostavljenostjo magnetnim poljem in Alzheimerjevo boleznijo. Izid je pokazal 2,9-krat večje tveganje pri značilnosti  $p < 0,17$  za moške in ženske. V isti skupini je za žensko populacijo ugotovljeno relativno tveganje 7,3 pri značilnosti  $p < 0,08$ . Pri še večji populaciji je izračunano tveganje 3,8 z značilnostjo  $p < 0,0008$  (!) za ženske in 3,0 pri  $p < 0,003$  za oba spola. Mehanizem sprememb še ni dovolj raziskan; največ pozornosti je usmerjeno v dogajanje s kalcijevimi ioni, ki so lahko pomemben dejavnik v patofiziološkem procesu pri nastanku Alzheimerjeve bolezni (Sobel idr. 1994).

#### 1.4.4.2 Preobčutljivost za neionizirna sevanja

Sposobnost posameznih živali, predvsem ptic in čebel, da direktno zaznavajo spreminjanje smeri zelo šibkih magnetnih polj, je bila izhodiščna domneva številnih laboratorijskih poskusov na živalih in ljudeh (Phillips and Deutchlander 1997).

Pri močnih EMP poljih (od 5 do 15 kV/m za E polje in nad 10 mT za B polje) in frekvencah nad 10 Hz, se pri ljudeh pojavlja bliskanje v očeh, ki jih imenujemo **elektro-** in **magnetofosfene**. Prag zaznave EMP je lahko zelo individualen. To potrjujejo poskusi Reissenweberja in sodelavcev, ki so pokazali, da nekateri ljudje zaznavajo fosfene tudi pri nižjih frekvencah EMP (Reissenweber idr. 1992).

Pulzno sevanje v frekvenčnem območju od 216 do 6500 MHz pri nekaterih ljudeh izzove šumenje, pokanje ali brenčanje v ušesih. Pojav so imenovali "*slišati mikrovalove*". Splošno sprejeta razlaga tega pojava je, da vpadni pulz v lobanji povzroči minimalno, vendar hitro termoelastično razširitev, ki se kot tlačni val seli skozi kosti proti notranjosti ušesa, kjer jo oseba zazna kot določen zvok (Frey 1961, Guy idr. 1975).

Preobčutljivostni pojavi so bili največkrat opaženi pri poklicih za računalniškimi prikazalniki. Seznam bolezenskih znamenj, ki jih opisujejo bolniki, je izredno dolg; najpogosteje omenjajo: utrujenost, nihanje krvnega pritiska, občutek tesnobe in bolečine v prsih, rdečica kože in izpuščaji podobni nevrodermatitisu, nespečnost, glavobol, vrtoglavica, rahlo tresenje rok in nog, čustvena preobčutljivost in vzkipljivost, anksioznost, povečana potreba po spanju, utrujenost oči in motnje akomodacije, občutek vročine v glavi, pogosto zehanje itn. Iz opisanih

bolezenskih znamenj je razvidno, da so težave nevrovegetativno in predvsem stresno pogojene, ker zmanjšanje delovnika in izvajanje režima za preprečevanje stresa sčasoma pripelje do spontanega izboljšanja pri večini primerov.

Zanimanje za preobčutljivostne odzive ob izpostavljenosti NIS je bil povod ustanovitve posebne delovne skupine v projektu Cost 244, ki je del prizadevanj Evropske skupnosti, da z večstransko obravnavo skuša odgovoriti na vprašanje o naraščajočem problemu preobčutljivosti za NIS (Lennoye 1994). Več raziskovalnih skupin je iskalo optimalen metodološki model prepoznavanja, diagnosticiranja in preprečevanja preobčutljivostnih težav pri osebah s posebnim sindromom, ki je predvidoma posledica poklicne izpostavljenosti NIS. Narejeni so bili provokacijski testi s kontinuiranimi EMP različnih frekvenc in konfiguracijami polj, ki simulirajo posebne izvore EMP (Sandström idr. 1991, Rea idr. 1991, Bell idr. 1991, Korpinen idr. 1993). Izidi so največkrat individualno specifični, ob tem, da raziskave ne pokažejo ponovljive statistične značilnosti (Hamnerius idr. 1995, Arnetz 1995, Andersson 1995).

Nerazumevanje medicinske stroke za tovrstne preobčutljivosti je v svetu sprožilo val ustanavljanja *društev električno preobčutljivih*, ki se po najboljših močeh prizadevajo najti rešitve za svoje težave (Hughes 1995).

## **1.5 Pregled literature o metodologiji epidemioloških raziskav neionizirnih sevanj**

Večina raziskav obravnava povezanost rakavih boleznih z izpostavljenostjo zelo šibkim magnetnim poljem v domovih. Največ tovrstnih raziskav so naredili v skandinavskih državah (mejne vrednosti izmerjenih magnetnih polj frekvence 50 Hz so bile od 0,1 do 1  $\mu$ T). Tokovi, ki se pri teh jakostih magnetnega polja inducirajo v telesu, so za dva velikostna razreda nižji od normalnih tokov, ki nastajajo zaradi delovanja mišic in živčevja (Gajšek 1997).

Epidemiološka statistična merila (**p** vrednost, relativno tveganje in interval zaupanja) nas lahko zavedejo s številčnimi vrednostmi, ker te ne ponazarjajo metodoloških podrobnosti pri načrtovanju in izpeljavi epidemioloških raziskav.

*Relativno tveganje* nam pove, za koliko je večje tveganje pri izpostavljenih skupinah v primerjavi s kontrolno skupino. Vrednost 1 za relativno tveganje pomeni enako incidenco zdravstvenega tveganja za določeno bolezen opazovane in kontrolne skupine, ki ni bila izpostavljena preučevanemu dejavniku.

*Interval zaupanja* pokaže natančnost izidov. če vsebuje številko ena, so ocenjene vrednosti manj realistične, s povečanjem opazovanih primerov in kontrol se interval zaupanja zoži in izidi raziskave so nekoliko zanesljivejši.

### **1.5.1 Homogenost elektromagnetnega polja in gradienti**

Nehomogenost E-komponente EMP je bila značilno višja pri otrocih, obolelih za levkemijo v primerjavi s kontrolno skupino otrok, ko so bile vrednosti B-komponente polja pri primerih in kontrolah podobne (Coghill 1995). Dnevno-nočno nihanje statičnega magnetnega polja v navadnih razmerah ne presega 5% temeljne vrednosti polja na posamezni točki. Nihanje se izjemoma poveča ob tako imenovanih magnetnih viharjih v sončnem sistemu.

Pri ocenjevanju izpostavljenosti EMP ocenjujemo poleg jakosti še frekvenco posameznega sevanja (Jeglič 1994). Na homogenost EMP v stavbah močno vplivajo "blodeči zemeljski tokovi" (Stray ground currents), ki nedefinirano potujejo v zemlji ob železniških progah, ozemljitvi napeljave v stavbah, razdelilnih transformatorskih postajah in različnih porabnikih v industriji in gospodinjstvih. Pokazali so se kot pomemben korelacijski dejavnik med izpostavljenostjo NIS in obolevnostjo preučevanega vzorca. Verodostojno povezavo med "blodečimi tokovi" in obolevnostjo so pokazali le izsledki nekaterih raziskav malignih melanomov, metaplazij kostnega mozga-levkemijah in nevroloških obolenjih (NCRP report 1986, Wertheimer 1995, Savicz 1995).

### **1.5.2 Ocenjevanje izpostavljenosti EMP**

Obkroža nas veliko dejavnikov, ki lahko zdravju škodujejo ali pa nanj blagodejno vplivajo, ne da se bi jih zavedali. Mednje lahko štejemo kemične onesnaževalce zraka, radon, ozon, hrup, mikroorganizme, razkužila, konzervanse v hrani, ultravijolično sevanje s Sonca in vsa druga ionizirna in neionizirna sevanja iz naravnih in umetnih virov. škodljivost ali koristnost teh je odvisna predvsem od časa izpostavljenosti in količine ali koncentracije posameznega dejavnika ter zmogljivosti posameznega biološkega sistema, da se jim upre ali da izniči njihovo delovanje.

Ugotavljanje škodljivosti posameznih dejavnikov v delovnem ali bivalnem okolju je predmet številnih epidemioloških raziskav. Poglavitni dejavnik verodostojnosti izidov takšnih raziskav je čim natančnejša ocena najmanjše in največje stopnje izpostavljenosti preučevanemu dejavniku. Povprečna stopnja izpostavljenosti je prav



tako pomemben dejavnik pri ocenjevanju tveganja, vendar ni dovolj zanesljiv kazalnik morebitnih kritičnih, nadstandardnih jakosti polj (Sagan 1996).

Nekatere epidemiološke raziskave so zaradi različnih metod ocenjevanja imele nasprotujoče si izide, in ti so še poglobili nesoglasje v mednarodnih uradih za določanje vrednosti tvegane izpostavljenosti in določanje varnostnih ukrepov za osebe, poklicno in nepoklicno izpostavljene elektromagnetnemu sevanju.

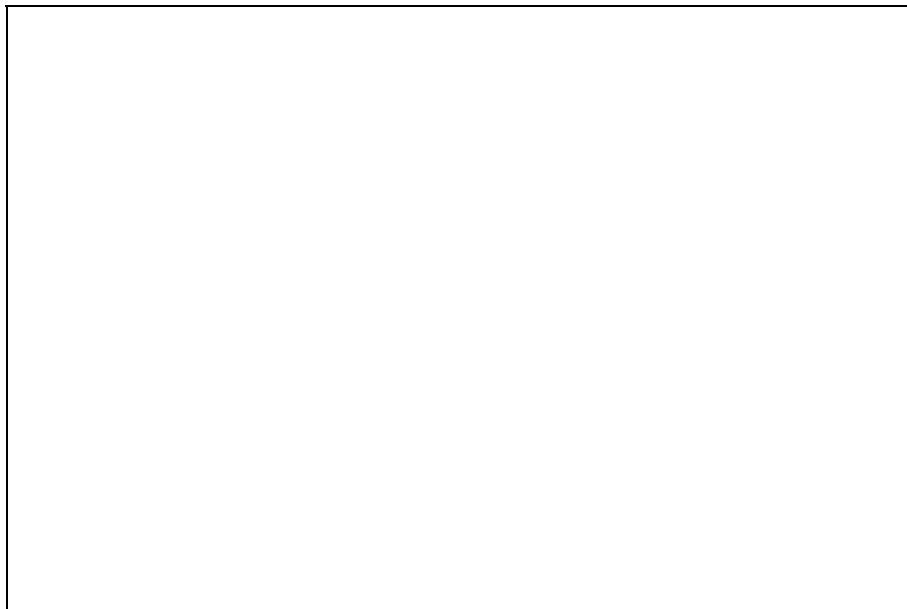
Ko govorimo o tovrstni izpostavljenosti, ločimo električno in magnetno jakost polja. Zadnja je bolj dinamična in se spreminja s količino električnega toka v omrežju ali v napravah z nastavljivo jakostjo. Poleg teh umetnih polj smo zmeraj izpostavljeni statičnemu magnetnem polju Zemlje, ki po območjih niha med 30 in 50  $\mu$ T.

Merjenje izpostavljenosti pomeni merjenje določenega dejavnika, ne da bi izmerjene vrednosti povezovali z zdravstveno pomembnimi učinki. Pri ocenjevanju izpostavljenosti ionizirnemu sevanju je bistveno manj težav, četudi delo ne poteka v laboratorijih.

Za ocenjevanje izpostavljenosti EMP so izdelali posebne baterijsko napajane inštrumente majhnih velikosti, priročne za nošenje v žepu. Imenovali so jih AMEX (Average Magnetic Field Exposure). Napravo je mogoče namestiti na roko, tako kot ročno uro ali pa nositi v žepu. Kasneje izdelani inštrumenti vsebujejo računalnike in elektronsko vezje za snemanje in kumulativno shranjevanje izmerjenih vrednosti v nastavljivih frekvenčnih presledkih. Po določenem času merjenja je bilo mogoče določiti povprečno vrednost magnetnega polja, ki mu je bil posameznik izpostavljen.

Nekoliko bolj zapletena naprava za določanje izpostavljenosti EMP je EMDEX (Electric and Magnetic Digital Exposure Meter). Izdelana je tako, da vsebuje po merjenju popoln, časovno določen zapis o izmerjenih vrednostih EMP.

Meritev izpostavljenosti z EMDEX-om kaže slika 2.



**Slika 2: Magnetno polje pri osemletni deklici; štiriindvajseturna izpostavljenost je merjena z EMDEX metrom (Sagan 1996)**

Pri takšnem spremljanju izpostavljenosti EMP lahko zaznamo nihanja EMP v bivalnih prostorih in okolici. Vrednosti EMP za vsak prostor so specifične. Visoke nepretrgane vrednosti so ugotovili pri uporabi električnega pregrinjala, še višje, a kratkotrajne konice, pa med hojo pod daljnovodi (Sagan 1996).

Magnetno polje v prostoru niha po frekvenci in jakosti. Poglavitni cilj pri ocenjevanju izpostavljenosti je ugotoviti, katera vrednost polja ima biološke učinke. Prav tako je treba določiti nevarne frekvenčne pasove.

Morda obstaja prag izpostavljenosti, pod katerim ni bioloških učinkov, ali pa obstajajo fiziološka okna, pod in nad katerimi takšnih učinkov ni. še večji problem je, če so ta okna specifična za biološko vrsto ali pozamezna tkiva (Adey 1980).

Že na podlagi splošnih epidemioloških izkušenj je večina toksikologov sprejela domnevo, da so močna EMP nevarnejša od šibkih EMP. Zaradi tega večina ljudi samodejno sklepa, da višja povprečna izpostavljenost pomeni tudi večje zdravstveno tveganje. Tudi takšna domneva ima nasprotnike, in ti predlagajo drugačno vedenje pri presojanju vpliva EMP na biološke sisteme. Stališča temeljijo na jasno dokazljivih okenskih učinkih (Adey 1980). Okenske učinke lahko primerjamo z občutljivostjo mrežnice za zelo ozki frekvenčni spekter vidne svetlobe, zunaj katerega celice ne prenašajo živčnih signalov (Sagan 1996).

Druga ponazoritev fizioloških oken je lahko tudi endokrini sistem, ki vzdržuje homeostazo z nivoji stresnih hormonov v krvi v zelo ozkih mejah. Te so življenjsko pomembne pri uravnavanju odziva na zunanje dražljaje (Lymangrover idr. 1983, Kandel idr. 1991).

Občasna izpostavljenost močnejšim, nehomogenim EMP je dodatni problem, ker v realnih življenjskih razmerah skorajda ni mogoče pričakovati homogenega vpliva na dinamične biološke sisteme, ki jih testiramo v laboratorijskih razmerah (Sagan 1996).

### **1.5.3 Nepoklicna izpostavljenost**

Ko so epidemiologi začeli preučevati enaka obolenja pri otrocih, so raziskave sprožile veliko polemik, čeprav je bila večina izsledkov na meji statistične značilnosti in so vrednosti NIS, izmerjene v gospodinjstvih, šolah, vrtcih ali drugih objektih, kjer se otroci zadržujejo dalj časa, izrazito nihale. Raziskave so bile narejene ob nepretrganem štiriindvajseturnem merjenju v vseh bivalnih prostorih z upoštevanjem vseh mogočih virov NIS (luči, gospodinjski aparati, sistemi za ogrevanje vode, kurilne naprave, prezračevalni sistemi ipd.). Nobeden od omenjenih virov se po zdajšnjih predpisih ni pokazal zdravstveno tvegan, razen če je vir NIS v neposredni bližini preiskovanca (Kune idr. 1994).

če združimo več dejavnikov tveganja, je ni mogoče zanesljivo sklepati o škodljivosti NIS le na podlagi enega ob navzočnosti drugih, glede zdravstvene tveganosti preverjenih ali nepreverjenih dejavnikov (Blackman 1990).

#### **1.5.3.1 Povprečje izpostavljenosti v času**

Povprečje izpostavljenosti v času je trenutno prevladujoč raziskovalni vzorec, ki ga upošteva večina vodilnih epidemiologov na področju raziskav toksičnih učinkov neionizirnih sevanj na ljudi (Aldrich 1992).

Jakosti magnetnega polja v delovnem in bivalnem okolju se spreminjajo čez dan, v sezoni in med letom (Reitan idr. 1996).

Padeč temperature lahko poveča obremenitev omrežja zaradi vklopa večjega števila grelnih teles, povišanje temperature spet lahko poveča obremenitev omrežja ob nepretrganem delovanju klimatskih naprav (Sagan 1996).

Pri epidemioloških raziskavah je pomembnejše spremljati izpostavljenost pred začetkom bolezni kakor takrat, ko so bolezenske spremembe jasno zaznavne. Nepoklicno izpostavljenost je bistveno težje zaznamovati in verodostojno spremljati (Sagan 1996).

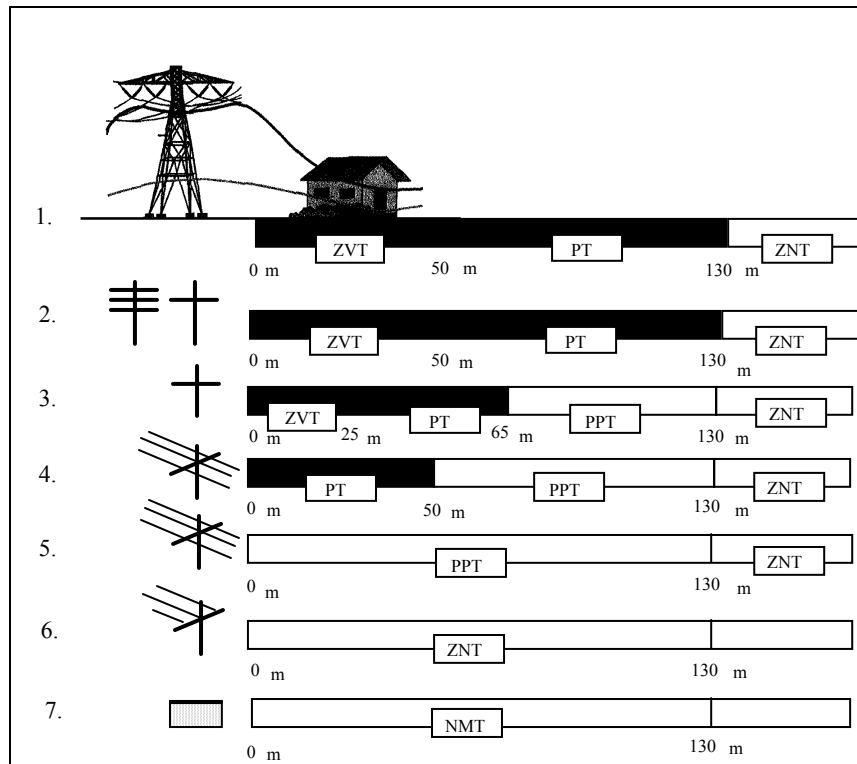
### **1.5.3.2 Točkovne meritve**

Pri teh meritvah je pozornost usmerjena na vrednosti EMP v ozadju, to je na "varni" oddaljenosti od večjih električnih porabnikov, čeprav se veliko ljudi večidel dneva zadržuje v bližini različnih porabnikov električnega toka v gospodinjstvih in drugje.

še večja nevarnost pri takšnem ocenjevanju lahko temelji na enkratnih meritvah, ki zdaleč ne pomenijo dejanskega povprečja vrednosti EMP v prostoru. Nekoliko več zvemo iz točkovnih meritev na krajih, kje se preiskovanci zadržujejo dalj časa (delovna miza, postelja, prostor za počitek, mesto pri štedilniku ipd.) (Sagan 1996).

### **1.5.3.3 Razdalje med stanovanjskimi objekti in električnim omrežjem v naselju in način postavitve omrežja**

Že ob prvi odmevni epidemiološki raziskavi, ko sta znana epidemiologa Wertheimerjeva in Leeper, leta 1979 v Denverju, poudarila pomembnost prenosnih električnih omrežij in načina njihove postavitve (Wiring code). Po njunih ugotovitvah so, glede na razdaljo od razdelilnih transformatorskih postaj (RTP) in nadzemno oziroma podzemno postavljenega omrežja, nekateri objekti zelo nevarni (ZVT), drugi povprečno nevarni (PT), tretji podpovprečno nevarni (PPT), četrti minimalno nevarni (ZNT) in peti, s podzemno postavljenimi kabli, najmanj nevarni (NMT) (Wertheimer 1980). Takšno ocenjevanje načina postavitve omrežja je prikazano na sliki št. 3.



**Slika 3**

**Pojasnila k sliki:** ZVT- zelo visoko tveganje zaradi načina nastavitve omrežja

PT- povprečno tveganje zaradi načina nastavitve omrežja

PPT- podpovprečno tveganje zaradi načina nastavitve omrežja

ZNT- zelo nizko tveganje zaradi načina nastavitve omrežja

**NMT-**

najmanjše tveganje ob podzemno postavljenem omrežju

1. visokonapetostni daljnovodi
2. primarna distribucija
3. primarna distribucija
4. sekundarna distribucija
5. sekundarna distribucija
6. sekundarna distribucija
7. podzemno napeljana omrežje

Le štiri epidemiološke raziskave so upoštevale razporeditev prenosnih omrežij in na temelju računalniških modelov pokazale od dva- do trikrat večje relativno tveganje, ta pri epidemiološkem opazovanju pomeni zaskrbljivo raven tveganja.

Točkovne meritve na domovih niso potrdile računalniškega predvidevanja o pomenu razpostavitve prenosnih omrežij (Sagan 1996).

Nasprotno ugotovitve lahko pojasnimo s štirimi, najverjetnejšimi vzroki (Ahlbom 1993):

- **neustrezne meritve magnetnih polj,**
- **sočasna delovanje drugih obremenilnih dejavnikov,**
- **napake pri načrtovanju raziskav,**
- **naključna variabilnost ob majhnem številu preiskovancev.**

#### **1.5.4 Poklicna izpostavljenost**

Problem je pri **poklicno** izpostavljenih nekoliko manjši. število ur na delovnem mestu in vrednosti opazovanih EMP so nekoliko zanesljivejše, predvsem za preiskovance, ki opravljajo delo sede. Za poklicno izpostavljene, ki se pri delu nenehno gibljejo, je problem dejanske ocene izpostavljenosti EMP podoben problemu ocenjevanja izpostavljenosti pri nepoklicno izpostavljenih.

Tudi pri poklicno izpostavljenih moramo upoštevati življenjske navade in razvade. To v retrogradnih epidemioloških raziskavah ni mogoče.

#### **1.5.5 Pomanjkljivosti epidemioloških raziskav**

Novejši, tehnično in metodološko bolj utemeljeni izsledki opozarjajo, da je izpostavljanje elektromagnetnim poljem tvegano. Kažejo, da klasifikacija elektromagnetnih polj glede na njihovo raznolikost še zdaleč ni ustrezna (Tynes idr. 1992, Milham 1982, Savicz 1987, Easterly 1981, 1993).

Nekatere raziskave NIS potekajo na področju medsebojnega delovanja statičnega magnetnega polja Zemlje in najbolj razširjenega električnega omrežja pri 50 Hz (frekvenca hišne napeljave v Evropi in večjem delu sveta, razen na Japonskem in v Združenih državah Amerike, kjer imajo električno napeljavo na 60 Hz) (Bowman idr. 1995).

Pomanjkanje primerne razvrstitve elektromagnetnih polj je povzročilo dvomljivo vrednotenje izsledkov epidemioloških raziskav. še bolj moteči pa so drugi, zelo razširjeni dejavniki zdravstvenega tveganja: *čezmerna ali premajhna telesna teža, kajenje, alkoholizem, poklicna izpostavljenost škodljivim kemičnim spojinam, hrupu, mehanskim vibracijam, psihofizična preobremenjenost-stres ipd* (Aldrich 1992).

Da bi se zanesljivost raziskovalnih izsledkov izboljšala, sta zelo pomembni pravilna izbira statistične metode za obdelavo zbranih podatkov in homogenost izbrane populacije (Easterly 1981, Aldrich 1992).

Znano je, da morajo biti za to, da dobimo objektivne podatke o preiskanem populacijskem vzorcu, izpolnjeni tile nujni pogoji:

**- velikost vzorca**

(čim večji je vzorec, tem zanesljivejši so izsledki),

**- kakovost anketnega vprašalnika**

(zagotovitev najmanjše stopnje pristranskosti),

**- neoporečnost opravljenih meritev**

(čas, prostor, mikrolokacijske meritve, ustrezna tehnična oprema za merjenje in zapisovanje izmerjenih vrednosti).

še zmeraj ni jasno, kateri način merjenja je ustrežnejši: točkovno merjenje (ob določenem času ali nepretrgano v daljših, npr. štiriindvajseturnih presledkih), merjenje časovno-povprečne izpostavljenosti, višjih harmonskih komponent ali merjenje temenskih vrednosti. Pri tem tvegamo, da niti ne opazujemo pravega parametra, temveč samo tistega, ki smo ga izbrali. Morda je za biološke učinke pomembnejša katera druga komponenta polja, za katero je magnetno polje lahko le nadomestek (Gajšek 1997).

**Večina omenjenih epidemioloških raziskav NIS je imela tele pomanjkljivosti (Aldrich 1992):**

- Spremljanje zdravstvenega stanja je bilo ustavljeno potem, ko preiskovanci niso bili več izpostavljeni sevanju, ali pa je bil čas opazovanja prekratek.
- Viri podatkov za ocenjevanje kronične izpostavljenosti in kumulativnih učinkov specifične absorpcije so večkrat nezanesljivi.
- Meritve okolja je težko poenotiti z mikrolokacijskimi meritvami v delovnem ali bivalnem okolju.
- Povprečna stopnja specifične absorpcije je zaradi dinamike bioloških sistemov težko določljiva.
- Rekonstrukcija podatkov o povprečni izpostavljenosti na podlagi kontinuiranih zapisov je otežena ali neizvedljiva, predvsem takrat, ko opazovanih več oseb, in bi to zahtevalo veliko več denarja.

## **2 Namen in cilji naloge**

### **2.1 Namen magistrske naloge:**

Ugotoviti, podrobno opisati in analizirati pomanjkljivosti epidemioloških raziskav, ki so imele nasprotujoče si izide in na temelju ugotovitev zgraditi primerno strategijo za nove epidemiološke študije ter ponovno retrospektivno analizo že obstoječih podatkov.

### **2.2 Cilj dela:**

Z izpopolnjenjem metodologije povečati stopnjo ponovljivosti izidov in s tem omogočiti bolj utemeljen objektivni pristop pri določanju standardov mejne izpostavljenosti NIS.

Z meritvami statičnega magnetnega polja zemlje preveriti domneve nekaterih vodilnih epidemiologov in raziskovalcev s področja bioelektromagnetike, ki zagovarjajo pomembnost statičnega magnetnega polja pri ocenjevanju izpostavljenosti EMP.

## **3 Material in metode**

### **3.1 Merilni instrumenti**

Za merjenje EMP smo uporabili instrumente laboratorija za procesno in merilno tehniko s Fakultete za elektrotehniko in računalništvo.

Petdeseterčno EMP smo merili z instrumentom znamke Holaday HI-3604, ELF Survey Meter.

Občutljivost instrumenta je za E (električno) komponento EMP od 1 V/m do 199 kV/m v frekvenčnem območju od 40 Hz do 1,1 kHz pri -1dB.

Občutljivost instrumenta za B (magnetno) komponento EMP je od 10 nT do 2 mT v frekvenčnem območju od 30 Hz do 1 kHz pri -1dB.

Senzor za E-polje sta dve okrogli plošči premera 16,5 cm. Za B polje je senzor električno oklopljena tuljava s 400 ovoji žice.

Statično magnetno polje zemlje smo merili s protonskim magnetometrom znamke GSM, izdelovalca GEM Systems iz Kanade.

Tehnični podatki o instrumentu so:

Merilno območje od 18.000 do 150.000 nT.

Natančnost: 0,2 nT prek celotnega merilnega območja.

Razločljivost: 0,01 nT magnetnega polja in gradientov.

Perioda vzorčenja: najmanj 3 sekunde.

### **3.2 Metode merjenja**

EMP smo merili v stanovanjskem bloku na Tbilisijski 40 v Ljubljani, nekdanji občini Vič-Rudnik. Posebnost, ki nas je zanimala, je bil vpliv razdelilne transformatorske postaje (RTP) na jakost polja v stanovanjih nad RTP in stanovanjih na nasprotni strani stopnišča. Položaj RTP opisuje slika št. 2.

Zaradi različne obremenitve omrežja smo izbrali več časovnih intervalov. S tem smo želeli pridobiti čim bolj objektivno sliko o spreminjanju vrednosti polj v stanovanjskem objektu in bližnji okolici RTP. Sočasno smo merili statično magnetno polje zunaj stavbe in v stanovanjih.

Poleg tega smo se v stanovanjih 1, 2 in 3 odločili za meritve frekvenčnega spektra gostote magnetnega toka, ki je narisano na slikah št. 6, 7 in 8.

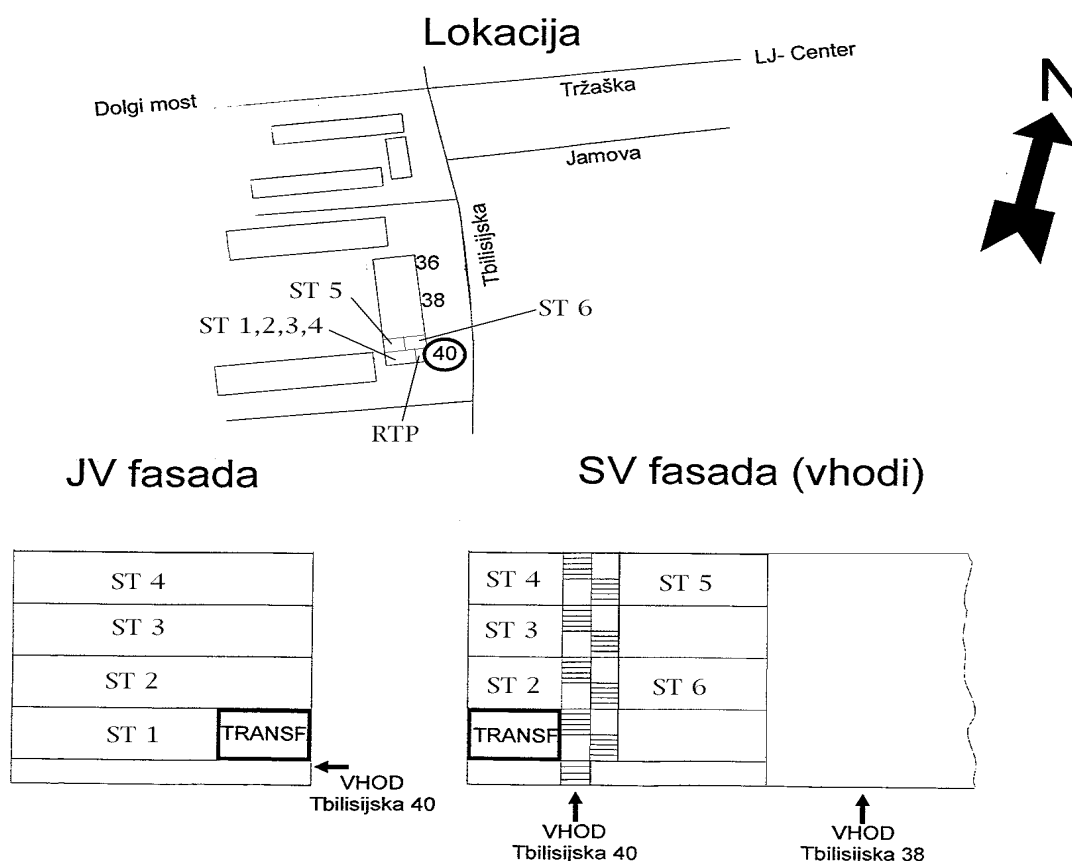
Merjenje statičnega magnetnega polja v stanovanjskih hišah je izredno zahtevno in zaradi visokih gradientov včasih nekoliko nenatančno. Da bi se izognili vplivu številnih motečih dejavnikov, smo vsakič merili v isti točki in na enaki višini v stavbi in zunaj nje.

Z meritvami zunaj stavbe smo želeli pridobiti ozadje, to je temeljno zemeljsko magnetno polje, in ga primerjati z izmerjenimi vrednostmi v stanovanjih.

Petdesetherčno EMP smo merili ob delavnikih, in to: zjutraj, med 9. in 10. uro, opoldan, med 13. in 14. uro, zvečer, med 20. in 21. uro ter v nedeljo, med 9.30 in 10.30. Vse meritve smo opravili v prostorih nad RTP, oziroma v identičnih prostorih v stanovanjih na drugi strani stopnišča.

Poleg tega, da smo merili EMP zunaj stavbe in v njej, smo opravili meritve še v središču mesta in v predmestju ter jih primerjali z vrednostmi v okolici RTP.

Nekoliko več pozornosti smo namenili gradientom EMP, ki so bili na nekaterih krajih izredno visoki. Za primerjavo gradientov smo izmerili vrednosti polj na več točkah v hiši v predmestju (slika 5).



**Slika 4: Razporeditev stanovanj glede na RTP**

#### **4 Rezultati dela**

Izidi meritev so pokazali predvidene spremembe EMP in nekaj nepričakovanih vrednosti. Meritve E-komponente petdesetherčnega EMP so na večini izmerjenih točk pokazale nizke vrednosti. Nekaj izmerjenih nihanj je predvsem posledica bližine svetlobnih teles, ki jih tedaj, ko smo merili, nismo mogli izklopiti. Magnetna komponenta (B) EMP petdesetherčnega omrežja je bila v stanovanjih in zunaj njih zelo različna. Največjo vrednost smo izmerili v drugem stanovanju, ki je nad RTP. Vrednost B-komponente EMP je bila v nedeljo dopoldan več kot podvojena v primerjavi z vrednostmi ob delavnikih; to je najbrž posledica tokovne obremenitve omrežja. V drugih stanovanjih so bile izmerjene vrednosti znotraj vrednosti izmerjenih ozadij zunaj stavbe in v središču mesta ter v predmestju.

Magistrska naloga je opravljena v Ljubljani v sodelovanju z Oddelkom za procesno in merilno tehniko Fakultete za elektrotehniko in računalništvo.



Mentor: prof. dr. Dražigost Pokorn

Komentor: prof. dr. Anton Jeglič

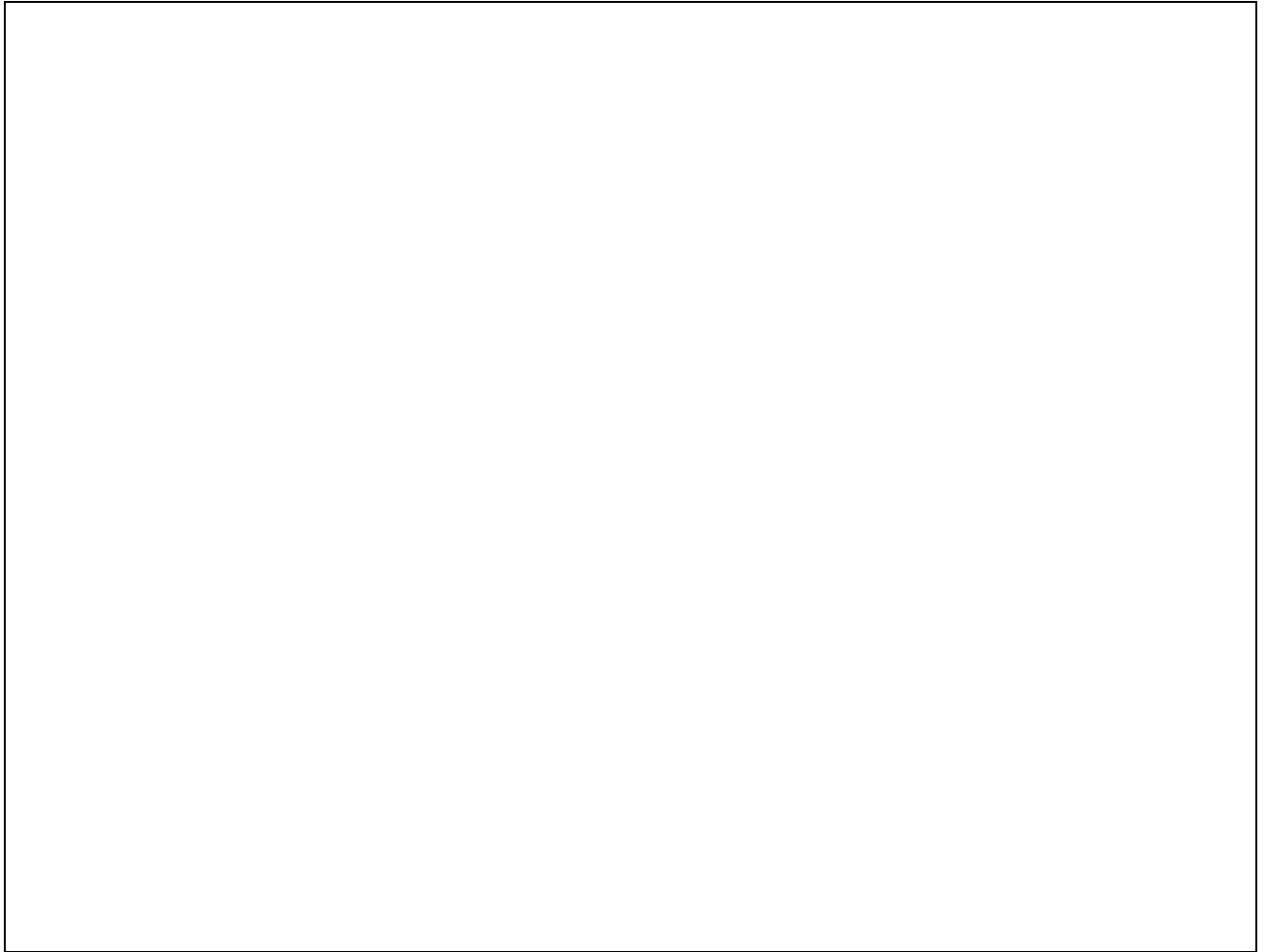
člani komisije za zagovor:

Predsednik: akad. prof. dr. Boštjan Žekš

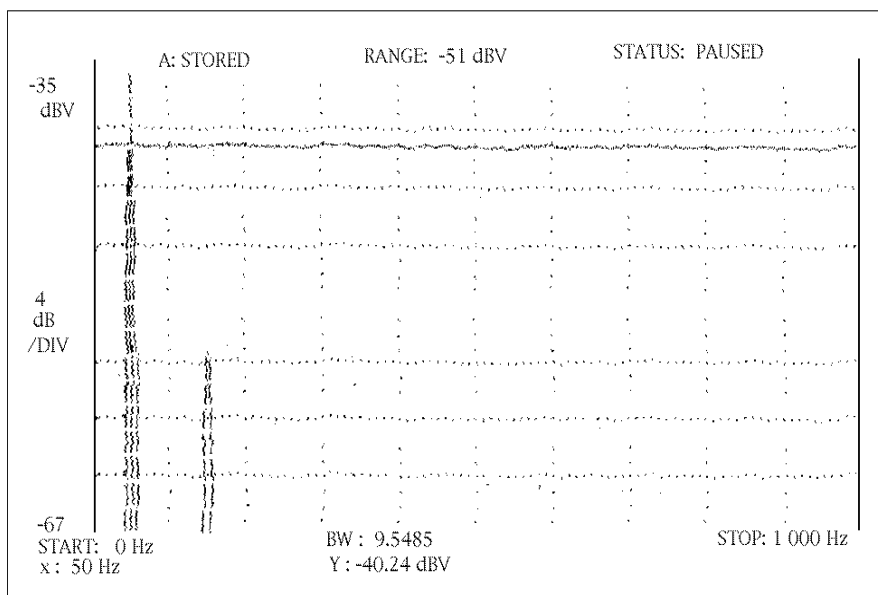
član: prof. dr. Martin Janko

član: prof. dr. Dražigost Pokorn

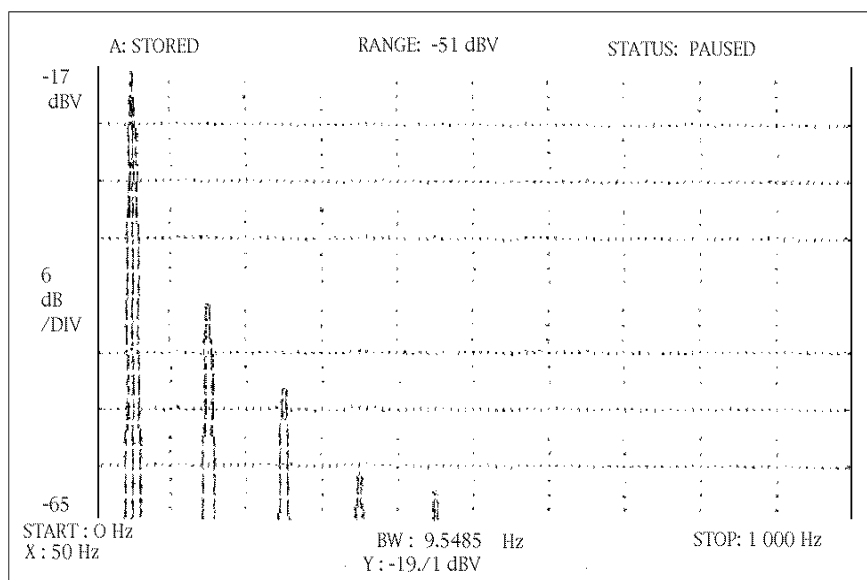
Datum zagovora:



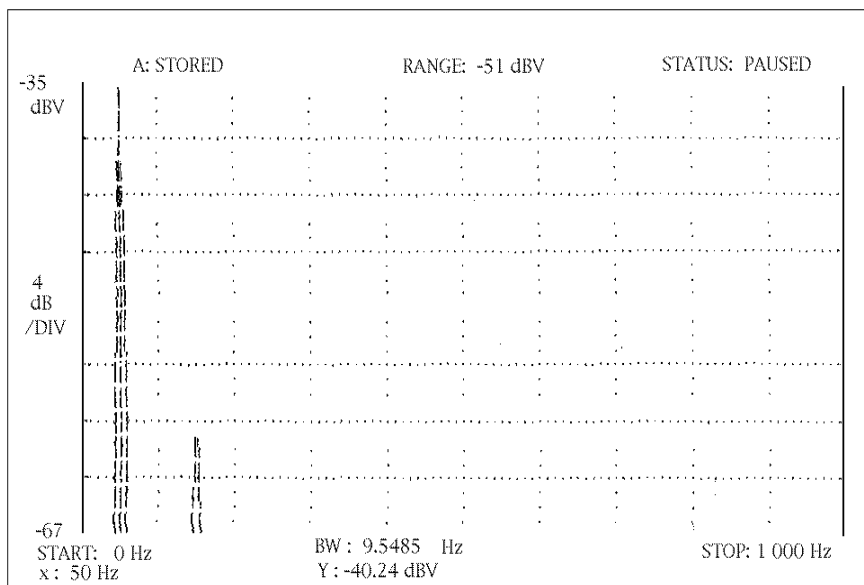
**Slika 5: Meritve statičnega ( $\mu\text{T}$ ) in petdeseterčnega magnetnega polja (nT) v hiši v predmestju Ljubljane, v nedeljo, ob 18. uri**



**Slika 6: Frekvenčni spekter gostote magnetnega polja v stanovanju št. 1**



**Slika 7: Frekvenčni spekter gostote magnetnega polja v stanovanju št. 2**



**Slika 8: Frekvenčni spekter gostote magnetnega polja v stanovanju št. 3**

## **5 Diskusija**

Vsako razpravljanje o EMP in njihovem morebitnem tveganju za zdravje mora upoštevati varnostne ukrepe za poklicno in nepoklicno izpostavljenosti. Uradi za določanje mejne in tvegane izpostavljenosti priporočajo kompromisne vrednosti, ki včasih sežejo v prag zaznave občutljivejših oseb. Takšni primeri zahtevajo posebno zdravstveno obravnavo in opazovanje. Subjektivno slabo počutje je po eni strani nezadosten parameter za uveljavljanje novih omejitev izpostavljenosti, po drugi pa izziv stroki, da poišče nove metode ocenjevanja učinkov neionizirnega sevanja na ljudi. Pri tem so vsekakor bolj uporabni testi za preverjanje funkcionalne zmogljivosti izpostavljenih oseb kot pa iskanje morfoloških posledic izpostavljenosti EMP.

V opravljeni raziskavi je bila E-komponenta EMP zanemarljivo nizka, vsa nihanja so bila znotraj pričakovanih vrednosti. Spreminjanje B-komponente EMP je nastajalo zaradi tokovne obremenitve; ta je v stanovanju št. 2 značilno presegala povprečje izmerjenih vrednosti v drugih stanovanjih. Pri tem je potrebno poudariti desetkratni gradient B-polja na višinski razdalji od približno enega metra. Če predvidevamo, da telo zaznava EMP kot stresni dražljaj, ta najbrž zahteva nekoliko več prilagoditvenih zmogljivosti vegetativnega živčnega sistema. Torej, lahko govorimo o nespecifični obremenitvi homeostaze, ki ima individualni prag - toleranco za časovno določen dražljaj. Kronična izpostavljenost stresnemu vplivu lahko poruši ali destabilizira homeostazo in sproži bolezenske spremembe na predisponiranih ali s kakšno drugo boleznijo oslabljenih delov telesa.

Z meritvami statičnega magnetnega polja zemlje smo želeli preveriti domneve nekaterih vodilnih epidemiologov in raziskovalcev s področja bioelektromagnetike, ki zagovarjajo pomembnost statičnega magnetnega polja pri ocenjevanju izpostavljenosti EMP.

Največjo razliko gostote zemeljskega magnetnega polja v stanovanjih 1 in 2 smo opazili v nedeljo, ko so bile tudi vrednosti B-komponente petdeseterčnega EMP v stanovanju 2 visoke v primerjavi z vrednostmi, izmerjenimi ob delavnikih. Sicer so bile vrednosti zemeljskega polja v teh dveh stanovanjih nekoliko drugačne v primerjavi z ozadjem, ki smo ga merili zunaj stavbe, v središču mesta in v predmestju. Najverjetneje gre za spremembo gostote zemeljskega polja pod vplivom feromagnetnega jedra transformatorja. Pojavljali so se visoki gradienti.

Nekonsistentnost posameznih raziskav je nastala zaradi variabilnosti hipotetičnih ravni kritične ali tvegane mejne izpostavljenosti (Aldrich 1992). Večina predpisov in dogovorov o dovoljeni izpostavljenosti EMP radijskih frekvenc temelji na povprečni izpostavljenosti vsega telesa, to je stopnje specifične absorpcije (SAR - Specific Absorption Rate), električni tokovni gostoti v telesu (J) in vrednosti električnega toka (I) v telesu (Jeglič 1994). Nekateri znanstveniki trdijo, da so predpisane dovoljene vrednosti previsoke. To so ugotovili s poskusi na živalih pri standardnih ali celo nižjih stopnjah specifične absorpcije (Guy 1992).

Vedeti moramo, da je stopnja specifične absorpcije povprečna vrednost, ki ne pove specifično absorpcijo v vseh nehomogenih in dielektrično različnih strukturah izpostavljenega organizma ali dela telesa; ti se lahko po specifični absorpciji in načinu odzivanja na delovanje NIS zelo razlikujejo ali pa imajo popolnoma različna fiziološka okna.

Za zdaj je neutemeljeno trditi, kateri parameter NIS lahko odločilno vpliva na zdravje. Prav tako je ni mogoče govoriti o natančnem odmerku sevanja, ker je ob izpostavljenosti NIS razvidno, da jasne povezave med količino sevalne obremenitve in škodljivostjo ni (Sagan 1996). Na temelju eksperimentalnih izsledkov bioloških raziskav NIS ni mogoče primerjati katero od sevanj je bolj in katero manj škodljivo, ker nekatere raziskave kažejo ravno nasprotno (Gajšek 1997).

Tudi čas izpostavljenosti nam pove premalo, ker so pri nekaterih raziskavah opazovali biološke učinke že po nekajtedenski izpostavljenosti NIS (Wilson 1983, 1985). Raziskave prehodnih odzivov endokrinega sistema so pokazale biološke učinke že kmalu po izpostavljenosti (Kos 1994).

Večstranska analiza metodologij nam pove, da ni mogoče delati preprostih sklepov o povezavi odmerka sevanja s poljskimi jakostmi ali časom izpostavljenosti (Gajšek 1997). Vpliv takih raziskav na strategijo varstva pred NIS bo zanemarljiv, vse dokler raziskovalci ne bodo zadostili štirim poglavitnim merilom prilagajanja standardov izpostavljenosti (Guy 1992):

- **Eksperimentalni dokazi morajo biti potrjeni v neodvisnih raziskavah različnih laboratorijev, ki bodo z neoporečno zanesljivostjo zbudili zaupanje v izide poskusov.**
- **Opazovani učinki morajo biti predstavljeni na različnih vrstah poskusnih živali - predvsem na primatih - in ne le na organizmih, ki imajo le malo človeku podobnih lastnosti.**
- **Učinki NIS, ki jih raziskujemo, morajo biti očitno zdravstveno tvegani.**
- **Pogoji preučevanega elektromagnetnega polja morajo biti jasno definirani in ponovljivi.**

če sta prva dva pogoja izpolnjena in je tveganost za zdravstveno stanje potrjena, bi morale nadaljnje raziskave zanesljivo dokazati stopnjo tveganja pri jasno definiranih vrednostih elektromagnetnega polja.

Najbolj idealno bi bilo odkriti mehanizme delovanja in razmerje med odmerkom in učinkom, saj bi to bistveno zmanjšalo zmedo v uradih za predpisovanje standardov (Guy 1992).

Ob upoštevanju znanstvenih izsledkov je potrebno prilagajati delovno okolje, redno nadzorovati in preverjati stopnjo izpostavljenosti v prostorih obremenjenih z NIS.

## **6 Sklepi**

Dokler ni dokončnega dogovora o škodljivosti EMP, je v vsakdanji praksi potrebno zmanjševati izpostavljenost EMP v razumskih mejah. To pomeni uporabiti vso medicinsko in tehnično znanje za racionalno zniževanje vrednosti EMP.

Prav tako je treba zmanjševati čas izpostavljenosti in preprečevati kumulativne učinke NIS, izklapljati naprave, ki ne obratujejo, pravilno načrtovati razpostavitve električne napeljave in poskrbeti za kakovostno ozemljitev vseh električnih porabnikov, postaviti vse večje vire NIS na varno razdaljo od delovnih, bivalnih in spalnih prostorov.

Bolj izpostavljene ljudi je treba zdravstveno izobraževati, jim svetovati redno rekreacijo in jih pogosteje sistematično pregledovati.

Na zelo obremenjenih delovnih mestih naj bi občasno zamenjevali delavce in jim odsvetovali podaljševanje delovnika.

Posebno skrb namenimo nosečnicam in osebam, ki načrtujejo zanositev, ker so nekatere raziskave pokazale največjo občutljivost za NIS pri spolnih celicah (Kartashev 1992) in statistično mejno značilno povezavo spontanih splavov in izpostavljenosti šibkim EMP (Larsen 1991, Lindbohm, 1992).

Namen raziskav o bioloških učinkih NIS je znižanje nepotrebne izpostavljenosti NIS v naših razmerah. Pri tem ni pomembno, ali so viri sevanja naravni (npr. sončno UV sevanje) ali umetni. Pomembno pa je, ali je izpostavljenost sevanjem mogoče znižati ali ne.

Raziskave, ki bodo upoštevale druge potencialne karcinogene in druge dejavnike tveganja za zdravje sočasno s parametri EMP so zaželeno, ker bodo pripomogle k verodostojnem postopku pri ocenjevanju in določanju mej tvegane izpostavljenosti.

Ravnanje po načelu **ALARA** (**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable) - najmanj, kar se razumno da doseči ali razumska preventiva - ne glede na to, za kakšne jakosti EMP gre, je trenutno edina pot, ki bo poleg prizadevanj znanstvenikov pomagala odgovoriti na postavljena vprašanja ter sčasoma zagotoviti varnost v delovnem in bivalnem okolju z najmanjšim tveganjem za zdravje ljudi.

#### *Literatura :*

- Adey WR: Frequency and Power Windowing in Tissue Interactions with Weak Electromagnetic Fields, Proceedings of IEEE, vol. 68, No. 1 (Jan. 1980).
- Adey WR: Tissue Interactions With Nonionizing Electromagnetic Fields; Physiological Reviews, 61: pp 435-514 (1981).
- Adey WR: Biological Effects of Electromagnetic Fields; J Cell Biochem 51: pp 410-6 (1993).
- Aldrich ET, Laborde, D, Griffith, J, and Easterly, C: A Meta- Analysis of The Epidemiological Evidence Regarding Human Health Risk Associated With Exposure to Electromagnetic Fields, Electro-and Magnetobiology, 11(2), pp 127-143 (1992).
- Ahlbom A, Feychting M: Studies Of Electromagnetic Fields And Cancer: How Inconsistent? Environmental Science And Technology, 27: pp 1018-1020 (1993).
- Anderson LE: Exposure Levels, Bioeffects and Epidemiology, Health Physics, Vol. 61 No 1 (1991).
- Andersson M, Westlund L, Eriksson LA: Hypersensitivity to electricity - a connection to exposure to low level high frequency electromagnetic fields. Case histories, Proc. Electromagnetic Hypersensitivity, 2nd Copenhagen Conference: pp 1-5 (1995).
- Arnetz BB, Berg M, Liden S: Job Stress and Hypersensitivity To Electricity; Abstract Book of The First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Lake Buena Vista, Florida, Jun 14-19, p 77 (1992).
- Arnetz BB: Environmental Stress. The Role of Prolactin As A Mediator of Environmentally Related Neurodermal Symptoms; Proc. Electromagnetic Hypersensitivity, 2nd Copenhagen Conference: pp 7-10 (1995).
- Artzruni GG, Zilfyan AV, Azgaldyan NR, Dovlatyan RA: Effect of An External Electrostatic Field On Catecholamine Scretion ByRat Adrenls; Space Biol Aviacosmic Med 21 (6): pp 67-70 (1987).
- Asanova T, Rakov A: The State of Health of Persons Working in The Electric Field of Outdoor 400 kV and 500 kV switchyards. Gig Prof Zabol; 10: pp 50-53 (1966).

- Aschoff D, Mersmann L, Muller HR: Checking of Dowsing Results by Physical Methods; *Erfahrungs - heilkunde* (Dec. 1985).
- Bates MN: Extremely Low frequency Electromagnetic Fields and Cancer: The Epidemiological Evidence; *Environmental Health Perspectives* Vol 95, pp 147-56 (1991).
- Bell Gb, Marino AA, Chesson AL, Struve FA: Human Sensitivity to Weak Magnetic Fields; *Lancet* 338: pp 1521-2 (1991).
- Bellossi A, Berget R: Can Pulsed Magnetic Fields Be a Help For Patients With Multiple Sclerosis; *Transactions of the 2<sup>nd</sup> European Bioelectromagnetic Association Congress*, Bled, Slovenia, Dec 9- 11 (1993).
- Bergquist U, Wahlberg JE: Skin Symptoms and Disease During Work With Visual Display Terminals. Contact Dermatitis; *COST 244 Conference on Electromagnetic Hypersensitivity*, Graz, Sept. (1994).
- Berg M, Arnetz B, Liden S, Eneroth P: Technostress: A Psychophysiological Study of Employes With VDU Associated Skin Complaints; *J Occup Med* 34: pp 698.701 (1992).
- Blackman CF, and Most B: A Scheme for Incorporating DC Magnetic Fields Into Epidemiological Studies of EMF Exposure, *Bioelectromagnetics* 14: 413-431 (1993).
- Blackman CF: ELF Effects on Calcium Homeostasis. In, Wilson B, Stevens R idr.: *Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The Question of Cancer*. Batelle, Richland, pp 187-210 (1990).
- Bogolyubov VH, Pershin SB, Frenkel ID, Sidorov VD, Galenchik AI, idr.: Immunobiological Effect Of Bitemporal Exposure To Microwave In Rabbits; *Byull EkspBiol Med* 102: pp 217-9 (1986).
- Bowman JD, Thomas DC, London SJ, and Peters JM: Hypothesis: The Risk of Childhood Leukemia Is related to Combinations of Power-Frequency and Static Magnetic Fields; *Bioelectromagnetics* 16:48-59 (1995).
- Bracken TD, Kheifets LI, and Susman SS: Exposure Assesment For Power Frequency Electric and Magnetic Fields and Its Application to Epidemiologic Studies; *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*: pp 1-22 (1993).
- Bratanič J: Merjenje bioloških vplivov neionizirnih sevanj; *Magistrska naloga* (1994).
- Brighton CT: Advanced Clinical Applications of Electromagnetic Field Effects: Bone and Cartilage; *Electromagnetics in Biology and Medicine*, (eds.) Brighton CT in Pollack SR, San Francisco Press, USA, pp 293-308 (1991).



- Brown-Woodman PDC, Hadley JA, Richardson L, Bright D, Porter D: Evaluation of Reproductive Function of Female Rats Exposed To Radiofrequency Fields (27,12 MHz) Near a Shortwave Diathermy Device; Health Phys 56(4) p 5215 (1989).
- Cestnik B: Električna in magnetna polja frekvence 50 Hz v okolici elektroenergetskih naprav; Peti mednarodni simpozij "Höflerjevi dnevi", Portorož (1996).
- Coghill R, Phillips A: Measured ELF Electric Fields In Bedplaces of Children With Leukemia; Seventeenth Annual Meeting of Bioelectromagnetic Society, Boston, Massachusetts, USA, June 18-22, p 218 (1995).
- Cook MR, Graham C, Cohen HD and Gerkovich M: A Replication Study of Human Exposure to 60 Hz Fields: Effects on Neurobehavioral Measures, Bioelectromagnetics 13: 261-285 (1992).
- deJager L, de Bruyn, deWet JI: Can a Low Level Electric Field Induce Chronic Stress in Mice; Abstract Book of The First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Lake Buena Vista, Florida, Jun 14-19, p 116 (1992).
- Dowson D, Lewith GT, Campbell M, Mullee MA, Brewster LA: Overhead High Voltage Cables and Recurrent Headache and Depressions; Practitioner 22: pp 435-6 (1988).
- Easley SP, Coelho AM Jr, Rogers WR: Effects of Exposure to 60 kV/m, 60 Hz Electric Field on the Social Behavior of Baboons; Bioelectromagnetics 12: pp 361-75 (1991).
- Easterly CE: Cancer link to magnetic field exposure: A hypothesis. Am J Epidemiol; 114: pp 169-74 (1981).
- Easterly CE: An Assessment of The Literature Regarding Health Risk From Exposure To Power Frequency Electromagnetic Fields; Transactions of the 2<sup>nd</sup> European Bioelectromagnetic Association Congress, Bled, Slovenia, Dec 9-11 (1993).
- Edison Electric Institut: Evaluating EMF. Quarterly Public Opinion Review. First Quarter, Washington DC (1994).
- Epidemiol. Rev. 15: pp 110-132 (1993).
- Fizika; leksikon Cankarjeve založbe, pp 60-61 (1980).
- Feychting M, Ahlbom A.: Magnetic Fields And Cancer In Children Residing Near Swedish High Voltage Power-Lines; Am J Epidemiol 138: pp 467-81 (1993).
- Frey AM: Auditory System Response To Microwave Energy; Aerospace Med 32: pp 1140-2 (1961).

- Froelich H: Coherence in Biology; Froelich, H and Kremer, F (eds.): Coherent Excitations in Biological Systems, Springer Verlag, Berlin, pp 1-5 (1983).
- Froelich H: Theoretical Physics in Biology: Biological Coherence and Response to External Stimuli, Springer Verlag, Berlin, pp 1-24 (1988).
- Gajšek P: Posnetek obremenjenosti okolja z elektromagnetnimi sevanji v Sloveniji in ocena zdravstvenega tveganja; Magistrska naloga (1997).
- Gamberale F: Physiological and Psychological Effects of Exposure To Extremely-Low- Frequency Electric and Magnetic Fields On Humans; Scand J Work Envir Health 16 Suppl: pp 51-4 (1990).
- Garaj-Vrhovac V, Fučić A, and Horvat –: A Mutagenic Study Among Radar Station Personnel. First Congress of E.B.E.A., Brussels, January 23-25 (1992).
- Garaj-Vrhovac V: Izloženost niskim elektromagnetskim poljima I proces karcinogeneze; Arh hig rada toksikol 47: pp 323-36 (1996).
- Gillis C, Persinger MA: Shifts In The Plutchik Emotion Profile Indices Following Three Weekly Treatments With Pulsed vs Continuous Cerebral Magnetic Fields; Percept Mot Skills, 76: pp 168-70 (1993).
- Goldoni J, Djurek M: Health Status of Personnel Occupationally Exposed to Microwaves and Radiofrequencies. First Congress of E.B.E.A., Brussels, January 23-25 (1992).
- Gorczynska E, Wegrzynowich R: Glucose Homeostasis in Rats Exposed To Magnetic Fields; Invest Radiol 26: pp 1095-100 (1991).
- Graham RB: Medical Results of Human Exposure to RF Radiation; AGARD - lecture series 138, 6.1 - 6.8 (1985).
- Graham C, Cook MR, Cohen HD, Gerkovich M: Dose Response Study of Human Exposure to 60 Hz Electric and Magnetic Fields, Bioelectromagnetics 15:447-463 (1994).
- Graham C, Cook MR, Cohen HD: "Final Report: Immunological and Biochemical Effects of 60 Hz Electric and Magnetic fields in Humans," Report No. DE90006671. Springfield, VA: NTIS (1990).
- Graham C, Cohen HD, Cook MR, Phelps J, Gerkovich M: A double blind evaluation of 60-Hz field effects on human performance, physiology, and subjective state. In Anderson LE, et al (eds): "Interaction of Biological Systems With Static and ELF Electric and Magnetic Fields," CONF-841041. Springfield, VA: NTIS, pp 471-486 (1987).
- Graham C, Cook MR, Cohen HD, Riffle DW: Nocturnal Melatonin Levels In Men Exposed TO Magnetic Fields: A Replication Study; The Annual Review of Research On Biological Effects Of Electric and Magnetic

Fields From The Generation, Delivery & Use Of Electricity, Albuquerque, New Mexico, USA, Nov. 6-10 (1994).

- Granger MM, Nair I, Zhang J: A method for assessing alternative effects functions that uses simulation with EMDEX data, *Bioelectromagnetics* 16: 172-77 (1995).
- Guy AW: Electromagnetic fields and health: Some Thoughts About the Past and Future, *Bioelectromagnetics*, Vol 13: pp 601 -6071 (1992).
- Guy AW, Chou CK, Kunz L: Microwave Induced Effects In Mammalian Auditory System And Physical Materials; *Ann NY Acad Sci* 247: pp 194-218 (1975).
- Hagino N, Bowie N and Winters WD: Health Hazardous Effect Of Low Frequency Magnetic Field Exposure On Memory Related Behavior In Mice; Seventeenth Annual Meeting of Bioelectromagnetic Society, Boston, Massachusetts, USA, June 18-22: p 83 (1995).
- Hamilton CA, Hewit JP, McLaughland KA, Steiner UE: High Resolution Studies of The effect of Magnetic Fields On Chemical Reactions; *Molecular Physics* 65: pp 423-438 (1988).
- Hughes MM: Computer Related Electromagnetic Sensitivity: A New Occupational Hazard; *Proceedings of Electromagnetic Hypersensitivity*, 2nd Copenhagen Conference: pp 33-50 (1995).
- IRPA, Interim Guidelines of Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields; *Health Physics* Vol 58 No. 1: pp 113-122.
- Jeglič A: Neionizirna sevanja in organizmi, Strokovni seminar o neionizirnih sevanjih, Ljubljana, skripta, B-1-25, 12. maj (1994).
- Jeglič A: Neionizirna sevanja, Neionizirna in ionizirna sevanja - Radon v delovnem in bivalnem okolju, Zbornik referatov, Bled, 19. in 20. april (1994).
- Jeglič A: Neionizirna sevanja; Strokovni seminar 18. april 1995, Univerzitetni klinični center, Zbornik referatov (1995).
- Jerman I: Biološke osnove za učinke šibkih neionizirnih sevanj na organizme; Strokovni seminar o neionizirnih sevanjih, Ljubljana (1993).
- Kolmodin-Hedman B, Hansson Mild K, Hagberg M idr.: Health Problems Among Operators of Plastic Welding Machines and Exposure of Radiofrequency Electromagnetic Fields; *Int Arch Occup Environ Health* 60(4): pp 243-7 (1988).

- Kalyada TV, Nikitina VN: Biomedical Aspects of Modulated High Frequency Emissions; Gig Sanit; 10: pp 39-41 (1989).
- Kandel E, idr.: Principles of Neural Science, third edition, Part VIII, Hypothalamus, Limbic System, and Cerebral Cortex, pp 768-772 (1991).
- Kartashev AG: Stress development in postnatal ontogeny in animals during chronic effect of alternating electric field, First Congr. of E.B.E.A., Brussels, January 23-25 (1992).
- Knave B: Hypersensitivity To Electricity, An Overview; Dpt of Neuromedicine, National Institute of Occupational Health, Soln, Sweden; Proceedings of Electromagnetic Hypersensitivity, 2nd Copenhagen Conference: pp 51-6 (1995).
- Kolmodin-Hedman B, Nansson Mild K, Hagberg M, Jonsson E, Anderson MC, Eriksson A: Health Problems Among Operators of Plastic Welding Machines And Exposure of Radiofrequency Electromagnetic Fields; Int Arch Occup Environ Health 60(4): pp 243-7 (1988).
- Korpinen L, Partanen J, Uusitalo A: Influence of 50 Hz Electric and Magnetic Fields On The Human Heart; Bioelectromagnetics 14: pp 329-40 (1993).
- Kos V: Dugogodišnje stanovanje pod utjecajem različitih elektromagnetskih polja niskih frekvencija kao faktor rizika za šećernu bolest i bolesti štitnjače, Magistarski rad (1994).
- Kozhevnikova LA, Mukhina LV, Kosenko AF, Korolkov AA, Shalest LN: Morphofunctional Status of Hypothalamo-pituitary Neurosecretory System and Energy Process In Stomach Tissues After Electromagnetic Irradiation Within The Millimeter Wave Range; Radiobiologiya 29: pp 672-5 (1989).
- Kune WT, Darby SD, Gardner SN, Hrubec Z, Iriye RN and Linet MS: Development of a Protocol for Assessing Time-Weighted-Average Exposures of Young Children to Power-Frequency Magnetic Fields, Bioelectromagnetics 15:33-51 (1994).
- Lai H, Horita A and Guy AW: Effects Of Acute Exposure To 60 Hz Magnetic Fields On Spatial Learning In The Radial-Arm Maze -Involvement Of Cholinergic Systems; Seventeenth Annual Meeting of Bioelectromagnetic Society, Boston, Massachusetts, USA, June 18-22, p 83 (1995).
- Larsen AL: Congenital Malformation and Exposure to High Frequency Electromagnetic Radiation Among Danish Physiotherapists; Scand J Work Environ Health 17: pp 318-23 (1991).
- Lebovitz RM, Johnson L: Testicular Function of Rats Following Exposure To Microwave Radiation, Bioelectromagnetics 4: p 107 (1983).

- Lebovitz RM, Johnson L: Acute, Whole Body Microwave Exposure And Testicular Function of Rats, *Bioelectromagnetics* 8: p 37-43 (1987).
- Lednev VV: Possible Mechanism For Influence of Weak Magnetic Fields on Biosystems; *Bioelectromagnetics* 12: pp 71-75 (1991).
- Lannoye P, Pimenta C, Santos MA, Vernier J: Resolucija evropskega parlamenta o "Preprečevanju škodljivih učinkov neionizirnega sevanja" A3-0238/94: Uradni časopis Evropske skupnosti v Luxemburgu (prevedel: Jeglič A) (1994).
- Liboff AR: Cyclotron Resonance In Membrane Transport; Interactions Between Electromagnetic Fields and Cell, New York, London: Plenum (1985).
- Lin RS, Dischinger PC, Conde J, idr.: Occupational exposure to electromagnetic fields and the occurrence of brain tumors: An analysis of possible associations. *J. Occup. Med.*; 27: pp 413-9 (1985).
- Lindbohm MI, Hietanen M, Kyronen P, Saltmen M, von Nandelstadth P, Taskinen H, Pekkarinen M, Ylikoski M, Heminky K: Magnetic Fields of Video Display Terminals and Spontaneous Abortion; *Am J Epidemiol*; 138: pp 1041-51 (1992).
- London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Peters JM Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol* 134:923-937 (1991).
- Loomis DP, Savitz DA: Mortality from brain cancer and leukemia among electrical workers. *Br J Ind Med* 47: pp 633-8 (1990).
- Lymanrover JR, Keku E, Seto YJ: 60-Hz electric field alters the steroidogenic response of rat adrenal tissue in vitro. *Life Sci* 32: pp 691-696 (1983).
- Lyskov E, Juutilainen J, Jousmaki V, Hanninen O, Medvedev S, Paritonen J: Extremely Low Frequency Magnetic Fields Effects On Bioelectrical Process of The Brain and Performance; Transactions of The First Congress of the European Bioelectromagnetics Association; pp 23-25, Jan (1992).
- Matonoski MG, Breyse NP, Elliot AE: Electromagnetic field exposure and male breast cancer, *The Lancet*, vol 337: March 23 (1991).
- Maraccini P, Giorgi I, Valoti E, Bressan M, Fantinato D, Tettamanti F, Vittadini G: Evaluation of Neurophysiological Parameters In a Group of Metal Mechanics Occupationally Exposed To Radio Frequencies; *Med Lav*, 81 (5): pp 414-21 (1990).
- McDowall ME: Mortality of Persons Resident In The Vicinity of Electricity Transmission Facilities; *Brit J Cancer*, 53: pp 271-9 (1986).

- McLaughlin JK, Malmer HSR, Blot WJ, idr.: Occupational Risk For Intracranial Gliomas In Sweden; J Natl Cancer Inst; 78: pp 253-7 (1987).
- McLeod K, Rubin C: The Role of Polarization Forces In Mediating The Interaction of Low Frequency Electric Fields With Living Tissue; Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, San Francisco Press (1992).
- McLeod BR, Liboff AR, Smith SD: Biological Systems in Transition: Sensitivity To Extremely Low Frequency Fields; Electro- and Magnetobiology, 11(1), pp 29-42 (1992).
- Milham S: Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields (Letter); N. Engl J Med ; pp 307-349 (1982).
- Navakatikyan MA: Behavioral and Endocrine Effects of Microwaves; Transactions of The First Congress of The European Bioelectromagnetics Association; Bruxelles, Jan. 23-25 (1992).
- NCRP: Biological effects and exposure criteria for Radiofrequency electromagnetic fields, (National Council on Radiation Protection and Measurements); Report No 86, April 2 (1986).
- NRPB: Health Effects Related To The Use of The VDT; Report of Advisory Group; Document NRPB, 5, No. 2, 1-75 (1994).
- Occupational Epidemiological Studies (1979-1996); Sage Associates Environmental Consultants (1996).
- Perry FS, Reichmanis M, Marino AA, Becker RO: Environmental Power Frequency Magnetic Fields and Suicide; Health Phys: pp 267-77 (1981).
- Phillips JB, and Deutchlander ME: Magnetoreception in Terrestrial Vertebrates; (eds.) Wilson, BW, Stevens, RG, Anderson, LE: The Melatonin Hypothesis, Breast Cancer and Use of Electric Power, Battelle Press, 1997, ISBN 1-57477-020-9: pp 112-172 (1997).
- Polka NS: Physiological Criteria For Developmental Health Risk Assessment of 2750 MHz Electromagnetic Field; Gig Sanit 10: pp 36-9 (1989).
- Preston-Marti S, Peters JM, Mimi CY, Garabrant DH, Bowman JD: Myelogenous Leukemia and Electric Blanket Use; Bioelectromagnetics (9): pp 207-213 (1988).
- Rajeswari KR, Satyananda M, Sanker Narayan PV, Subrahmanyam S: Effect of Extremely Low frequency Magnetic Field On Serum Cholinesterase In Humans and Animals; Indian J Exp Biol, 23 (4): pp 194-7 (1985).
- Rea WR, Pan Y, Fenyves Ej, Sujisawa I, Suyama H, Samadi N, idr.: Electromagnetic Field Sensitivity; J Bioelectricity 10: pp 241-56 (1991).

- Reissenweber J, David E, Pfothenbauer M: Psychological Aspects of Perception of Magnetophosphenes and Electrophosphenes; Biomed Tech 37(3) (1992).
- Reitan JB, idr.: Norwegian Radiation Protection Authority: High-Voltage Overhead Power Lines in Epidemiology, Bioelectromagnetics 17:209-217 (1996).
- Reichmanis M, Perry FS, Marino AA, Becker RO: Relation Between Suicide and The Electromagnetic Field of Overhead Power Lines; Physiol Chem Phys, 11: pp 395-404 (1979).
- Residential Epidemiological Studies (1979.1996); Sage Associates Environmental Consultants (1996).
- Ružič R: Vpliv sinusnega magnetnega polja na rast kalic smreke in micelija češke gomoljke. Doktorska disertacija, Biotehniška fakulteta, Ljubljana (1996).
- Sagan LA: Electric and Magnetic Fields: Invisible Risks?; Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, California, USA. Publisher: Gordon and Breach Science Publishers SA, ISBN 2-88449-217-8 (1996).
- Sandström, M, Hansson MK, Lönnberg, G, Stenberg, B, Wall, S: The Office Illness Project In Northern Sweden; Electric and Magnetic fields: A Case Referent Study Among VDT Workers; Undersökningsrapport 12, National Institute of Occupational Health, Umeå, Sweden (1991).
- Sandyk R: Improvement of Right Hemispheric Functions In a Child With Gilles de la Tourette's Syndrome By Weak Electromagnetic Fields; International Journal of Neuroscience, 81(34): pp 199-213 (Apr. 1995).
- Savicz DA, Calle EE: Leukemia And Occupational Exposure to Electromagnetic Fields; Review of Epidemiological Surveys. J Occup Med; 29: pp 47-51 (1987).
- Schreinecke G, Hinz A, Kratzsch J, Huber B, Voigt G: Stress Related Changes of Saliva Cortisol In VDU Operators; Int Arch Occup Environ Health 62: pp 319-21 (1990).
- Schulte PA, Burnet CA, Boeniger CA, Johnson J: Neurodegenerative Diseases: Occupational Occurrence And Potential Risk Factors, 1982 through 1991; American Journal of Public Health, 86(9): pp 1281-8 (Sep. 1996).
- Seem P: Neurobiological Investigations On The Magnetic Sensitivity of The Pineal Gland In Rodents and Pigeons; J Comp Biochem Physiol 76: pp 683-89 (1983).
- Seem P, Schneider T, idr.: Effects of An Earth Strength Magnetic Field On Electrical Activity of Pineal Cells; Nature 288: 607-608 (1980).
- Sienkiewicz ZJ, idr.: Biological Effects of Exposure To Nonionizing Electric And Magnetic Fields And Radiation: II Extremely Low Frequency Electric And Magnetic Fields; Nat Rad Prot Board, HMSO, London (1991).

- Smith CW, Best S: Electromagnetic Man; London, J. M. Dent and Sons, ISBN 0 460 86044 5 (1989).
- Smolya A: On the Tests For EMF Standard-Setting; Transactions of the 2<sup>nd</sup> European Bioelectromagnetic Association Congress, Bled, Slovenia, p. 141, (Dec. 9- 11 1993).
- Sobel E, Davanipour Z, Sulkava R, Bowman JD, Wikstrom T, idr.: Occupational Exposure to Electromagnetic Fields As a Risk For Alzheimer Disease; The Annual Review of Research On Biological Effects Of Electric and Magnetic Fields From The Generation, Delivery & Use Of Electricity, Albuquerque, New Mexico, USA (Nov. 6-10 1994).
- Sobel E, Davanipour Z, Sulkava R, Bowman JD, Wikstrom T, Henderson VW, Buckwalter G, Bowmn JD, Lee PJ: Occupations With Exposure to Electromagnetic Fields: A Possible Risk Factor For Alzheimer Disease; Am J Epid, 142(5): pp 515-24 (Sep. 1995).
- Sobel E, Davanipour Z: Electromagnetic Fields May Cause Increased Production Of Amyloid Beta And Eventually Lead To Alzheimer Disease; Neurology, 47(6): pp 1594-1600 (Dec. 1996).
- Steiner FR, Marshall L, Needleman D: The Properties of Calmodulin At Physiological Temperature; Biopolymers 25: pp 351371 (1986).
- Stevens RG, Wilson BW, Anderson LE: The Melatonin Hypothesis, Breast Cancer and Use of Electric Power, Battelle Press, ISBN 1-57477-020-9, pp 25-26 (1997).
- Swanson J: Measurements of Static Magnetic Fields in Homes in the UK and their implication for epidemiological studies of exposure to alternating magnetic field; J Radiol Protection 14: pp 67-75 (1994).
- Tabrah FL: Epidemiological and Risk Aspects of Electromagnetic Fields; Electromagnetics in Biology and Medicine, (eds.) Brighton CT and Pollack SR, San Francisco Press, USA: pp 351-3 (1991).
- Tenforde TS, Kaune W: Interaction of Extremely Low Frequency Electric And Magnetic Fields With Humans; Health Phys 53: pp 595-606 (1987).
- Theriault M, Goldberg AB, idr.: Cancer Risks Associated with Occupational Exposure to Magnetic Fields among Electric Utility Workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989; Am J Epidemiol; 139: pp 550-72 (1994).
- Thomas TL, Stolley PD, Stemhagen A, idr.: Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: a case-control study. J Natl Cancer Inst; 79: pp 233-8 (1987).
- Temuriant NA, Grabovskaya EI: Reaction of Rats With Various Constitutional Features To The Effect of Weak Variable Magnetic Fields of Extremely Low Frequency; Biofizika 37(4):pp 817-20 (1992).



- Tomenius L: 50-Hz Electromagnetic Environment and The Incidence of Childhood Tumors in Stockholm County; *Bioelectromagnetics*, 7: pp 191-207 (1986).
- Tynes T, Andersen A, and Langmark: Incidence of Cancer in Norwegian Workers Potentially Exposed to Electromagnetic Fields, *American Journal of Epidemiology*, No1,; 136; 81-88 (1992).
- Wartenberg D, Savitz DA: Evaluating exposure cutpoint bias in epidemiologic studies of electric and magnetic fields, *Bioelectromagnetics* 14: pp 237-245 (1993).
- Zecca L idr.: Neurotransmitters In Brain Cortex Of Rats Exposed To 50 Hz Electromagnetic Fields; Seventeenth Annual Meeting of Bioelectromagnetic Society, Boston, Massachusetts, USA, June 18-22, p 83 (1995).
- Wartenberg D: EMFs: Cutting Through The Controversy; *Public Health Reports*, 111(39): pp 204-7, May-Jun (1996).
- Wertheimer N: Electrical Wiring Configurations And Childhood Leukemia In Rhode Island; *Am J Epidemiol*, 111(4):461-2 (1980).
- Wertheimer N, Savitz DA, Leeper E: Childhood cancer in relation to indicators of magnetic fields from ground current sources, *Bioelectromagnetics* 16: 86:96 (1995).
- WHO: Environmental Health Criteria 16: Radiofrequency and Microwaves, Geneva, World Health Organization (1981).
- WHO: Environmental Health Criteria 35: Extremely Low Frequency (ELF) Fields, Geneva, World Health Organization (1984).
- WHO: Environmental Health Criteria 69: Magnetic Fields, Geneva, World Health Organization (1987).
- WHO: Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 Hz - 300 GHz), Geneva, World Health Organization (1993).
- Wilson BW: Chronic Exposure to ELF Fields May Induce Depression; *Bioelectromagnetics*: pp 195-205 (1988).
- Wilson BW, Stevens RG, Anderson LE: Mini Review: Neuroendocrine Mediated Effects of Electromagnetic Fields Exposure: Possible Role of Pineal Gland; *Life Sci* 45: pp 1319-1332 (1989).
- Wilson BW, Stevens RG, Anderson LE: *The Melatonin Hypothesis, Breast Cancer and Use of Electric Power*, Battelle Press, ISBN 1-57477-020-9 (1997).
- Wilson BW, Stevens RG, Anderson LE: *Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The Question of Cancer*, pp. 195-201, Battelle Press, ISBN 0-935470-48-4 (1990).