

Uvod

Od nastanka života na Zemlji do dvadesetog vijeka, slaba, prirodna niskofrekventna i visokofrekventna električna i magnetna polja, pored zemljinog statičkog magnetnog polja, su sačinjavala zemaljski elektromagnetni ambijent. Ova prirodna polja potiču iz dva izvora: Sunca i atmosferskih pražnjenja. Međutim, od početka dvadesetog vijeka naša okolina sadrži različite oblike polja, kako prirodno nastalih tako i onih koje je, svojom tehnikom, proizveo čovjek.

Elektromagnetna energija se koristi na različite načine, iako još njena suština nije u potpunosti poznata. Mnogi izumi sa kraja dvadesetog vijeka, od svakodnevnih kućnih i kancelarijskih uređaja do mobilnih telefona, su toliko važni i toliko olakšavaju stil života da se često postavlja pitanje kako je čovjek mogao da živi bez njih. Ovi izumi su postali integralni dio modernog života. Mi samo želimo još da znamo da li njihovo korištenje predstavlja rizik po zdravlje čovjeka.

Posljednjih godina sve više se učvršćuje mišljenje da EM polja proizvedena na različite načine, od energetskih vodova do mobilnih telefona, izazivaju različita oboljenja, uključujući rak. Po tom pitanju, zbog nedovoljnog znanja, još uvijek nema jedinstvenog stava. Bolji uvid u realnu situaciju ukazuje da ne treba ignorisati potencijalne opasnosti, po zdravlje, od EM polja. Primijećeni su uticaji i polja veoma male jačine, što nije lako objasniti. Ovi uticaji se mogu svrstati u različite kategorije, u zavisnosti od osobina i funkcija.

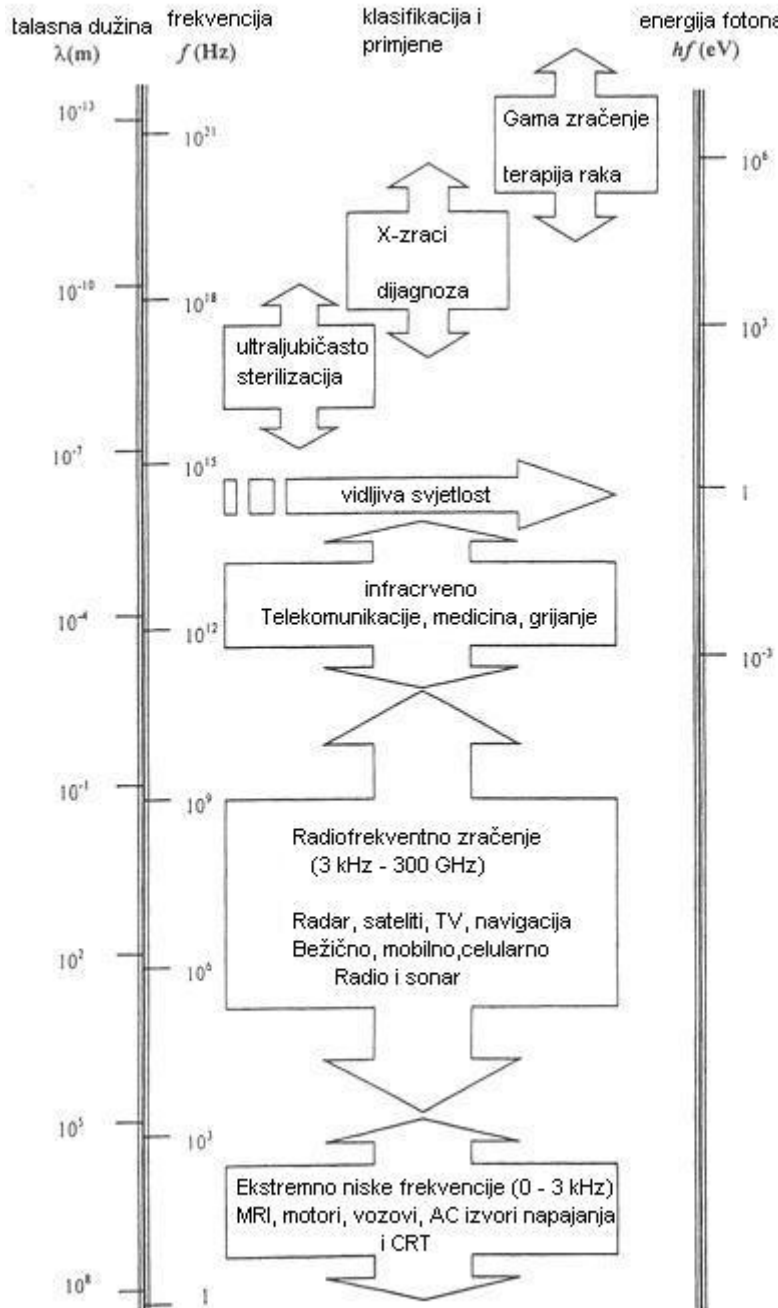
Tokom niza godina, izvedeno je mnogo značajnih istraživanja o ovim efektima. Istraživači sada pokušavaju da identifikuju pomenute uticaje koji mogu ugroziti zdravlje ljudi. Ovi uticaji se moraju pažljivo izučiti i to ima primarni značaj u zaštiti ljudi.

Dok, poodavno, postoje dovoljno ubjedljivi dokazi da visokofrekventna elektromagnetna polja, u određenim uslovima, ispoljavaju negativne posljedice po zdravlje čovjeka, kada se radi o stacionarnim i niskofrekventnim poljima, industrijskih učestanosti (50 odnosno 60 Hz), još uvijek nema jedinstvenog stava.

Da se ne bi dešavalo prema narodnoj izreci :“Tjerali vuka, a lisice pojele kokoške”, ne smije se zapostaviti pitanje štetnih uticaja stacionarnih i niskofrekventnih EM polja na zdravlje čovjeka. To pitanje je veoma akuelizovano posljednjih decenija. Cilj ovog rada je da, koristeći postojeća saznanja i rezultate dosadašnjih istraživanja, ukaže na moguće štetne posljedice ovih polja po zdravlje čovjeka i načine za suzbijanje tih posljedica.

Elektromagnetni frekventni spektar

Elektromagnetni spektar je podjeljen na jonizujući i nejonizujući dio, kao na slici 1. Prema frekvenciji, EM zračenje je podijeljeno na jonizujuće i nejonizujuće.



slika 1

Nejonizujuće zračenje je opšti izraz za dio elektromagnetnog spektra u kome je energija fotona mala tako da ne može razbiti veze između dijelova atoma ozračenog materijala, ali ima jake posljedice kao što je grijanje.

Da bismo ovo razmotrili posmatrajmo energiju kvanta pri učestanosti od 50 Hz, datu umnoškom Plankove konstante sa frekvencijom, koja iznosi $2 \times 10^{-13} \text{ eV}$.

Pošto je energija potrebna za jonizaciju razbijanjem hemijskih veza tipično oko 1 eV , jasno je da niskofrekventna polja ne izazivaju jonizaciju.

Jonizujuća i nejonizujuća zračenja su razdvojena u elektromagnetnom spektru. Opšte prihvaćena granica je prihvaćena na talasnim dužinama oko 1 nm u ultraljubičastom (UV) području. Iznad ove granice je jonizujuće zračenje, u kome fotoni imaju dovoljnu energiju da fizički promijene atom koji pogode, mijenjajući ga u naelektrisanu česticu zvanu jon. Svi tipovi EM zračenja imaju iste fizičke osobine u smislu divergencije, interferencije, spajanja, i polarizacije; razlikuju se po količini energije. Frekventni opseg EM spektra koji se danas tehnički koristi obuhvata red veličina 10^{12} .

Nejonizujuće zračenje

Nejonizujuće zračenje je EM zračenje koje ne posjeduje dovoljnu energiju da izazove jonizaciju u živim organizmima. Prirodni izvori nejonizujućeg zračenja su rijetki i izrazito slabi. Jedini izvori su sunce, udaljeni pulsari, ostali kosmički izvori, te zemaljski izvori kao što je munja, pretežno u tropskim područjima. Razvojem električnih uređaja, gustina EM energije oko nas je mnogo veća od prirodnih nivoa.

Uošteno, EM spektar možemo podijeliti u tri široke oblasti : polja vrlo niskih frekvencija (VNF), radiofrekventno zračenje (RFZ) te nekoherentno optičko zračenje. Veća izdijeljenost EM spektra u ovom dijelu rada zahtijeva novu terminologiju.

VNF električna i magnetna polja

Po definiciji to su polja frekvencije do 3 kHz. Na ovim frekvencijama, talasna dužina je veoma velika (6000 km za 50 Hz i 5000 km za 60 Hz). Električna i magnetna polja, u ovom opsegu, djeluju nezavisno i tako se i mjere. Pošto je $6000/5000$ -kilometarska talasna dužina, $50/60 \text{ Hz}$ -nog zračenja mnogo veća od relevantnih udaljenosti od izvora polja, intenzitet tzv. bliskog polja je znatno veći od tzv. polja zračenja. Praktično, samo 1 mW je izračen sa 10 -kilometarskog prenosnog energetskog voda 60 Hz , 500 MW , što je jako mali dio od energije koja se prenosi.

VNF polja se koriste u energetskim primjenama (prenos, distribucija, i razne aplikacije) i za stratešku komunikaciju podmornica zaronjenih u morima. VNF polja proizvode veoma različiti uređaji i postrojenja kako u kući tako i na radnom mjestu. To su na primjer mašine za fotokopiranje, energetski vodovi, transformatori, kućni uređaji, električni vozovi i računari

Radiofrekventno zračenje (RFZ)

Radiofrekventno zračenje (RFZ) je termin koji se primjenjuje za upotrebu EM talasa za radio i televiziju, radar, i ostale RF/mikrotalasnne komunikacione uređaje. RFZ se sastoji od pokretnih talasa, koji leže u frekventnom opsegu od 3 kHz do 300 GHz .

Niži dio RFZ opsega se zove niskofrekventni (NF) opseg. On se definiše od 30 do 500 kHz . Prvenstveno se koristi za pomorske i vazduhoplovne radio navigacione uređaje.

Srednjefrekventni (SF) opseg obuhvata talase talasne dužine manje od 200 metara i prepušten je eksperimentima i radio amaterima.

Visokofrekventni (VF) opseg se definiše od 3 do 30 MHz. Ovaj opseg se tradicionalno koristi za komunikacije. Satelitske usluge postepeno zamjenjuju VF usluge.

Interesantan opseg sa širokom primjenom i uređajima posebno u bežičnoj, mobilnoj, celularnoj, personalnoj i satelitskoj komunikaciji je vrlo visokofrekventni (VVF, ili poznatiji kao VHF) i ultra visokofrekventni (UVF, ili poznatiji kao UHF) opseg od 30 MHz do 3 GHz. Prostiranje iznad 30 MHz je uglavnom u pravoj liniji sa vjerovatnoćom rasijanja. Frekvencije od posebnog interesa za celularne komunikacije su u opsegu od 800 do 900 MHz, dok je opseg frekvencija personalnih komunikacija od 1700 do 2200 MHz.

Frekvencija od 2.45 GHz je rezervisana za industrijske, naučne i medicinske uređaje, a najviše za mikrotalasne pećnice.

Frekvencije iznad 3 GHz se mogu podijeliti na super visokofrekventni (SVF) opseg (3-30 GHz) i ekstra visokofrekventni (EVF) opseg (30-300 GHz). Ove frekvencije se koriste za radar, mobilni radio i satelitske potrebe.

Nekoherentno optičko zračenje

Jasna razlika između oblasti nekoherentnog optičkog zračenja i RFZ javlja se na talasnoj dužini od približno 1 mm. Podjela optičkog zračenja je sledeća: infracrveno (IC) zračenje je u oblasti talasnih dužina od 1 mm do 750 nm, vidljiva svjetlost je u opsegu od 740 do 400 nm, dok je ultraljubičasto zračenje od 5 do 400 nm.

Polja vrlo niskih frekvencija

Izvori električnih i magnetnih polja

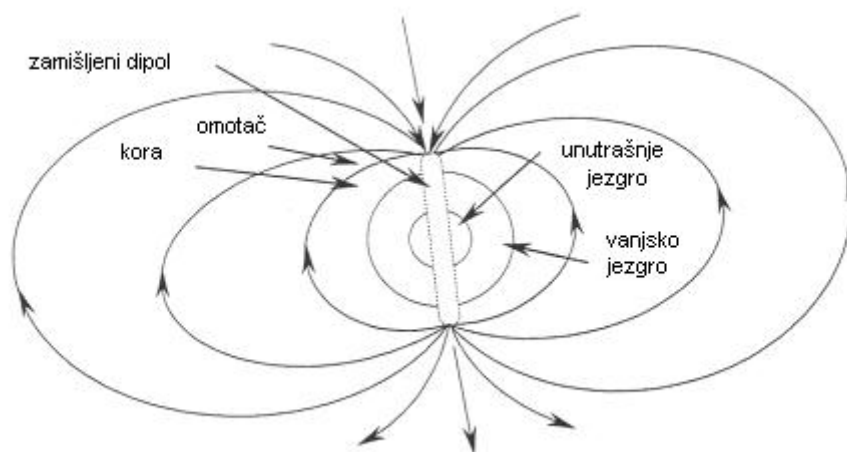
Izloženost ljudi VNF električnim i magnetnim poljima je prvenstveno vezana za proizvodnju, prenos i upotrebu električne energije. Različiti izvori VNF polja se nalaze u našoj okolini, kući i radnom mjestu. Ove izvore možemo podijeliti u dvije grupe: jednosmjerne (DC) i naizmjenične (AC).

DC izvori

Polja jednosmjerne struje su poznatija i kao statička polja, jer se ne mijenjaju tokom vremena. Njihova frekvencija je jednaka nuli pa je talasna dužina beskonačna. U takvom slučaju, kolo prenosi svu energiju i ne zrači nimalo. Prema tome, možemo imati samo polje. Pošto je polje statičko, nema pobuđivanja okolnih molekula pa prema tome ni grijanja. DC polje može izazvati peckanje kada stojimo blizu viskovoltažnog izvora ili nam se kosa uspravi. Daćemo primjer jednog prirodnog i jednog vještačkog DC izvora.

Magnetosfera

Zemlja proizvodi polje, koje je skoro statičko. Zemljino statičko električno polje ima vrijednost oko 120 V/m pri površini, dok je intenzitet Zemljinog magnetnog polja oko $50 \text{ } \mu\text{T}$ skoro svuda širom Zemlje. Zemlju možemo zamisliti kao magnet prikazan na slici 2.



slika 2

Linije magnetnog polja se protežu između sjevernog i južnog pola kao između polova stalnog magneta. Na sjevernom polu Zemlje, linije magnetne indukcije su usmjerene ka Zemlji; na južnom polu Zemlje su usmjerene od Zemlje.

Nelektrisane čestice bivaju zarobljene ovim poljem, formirajući magnetosferu, koja je dio svemira blizu Zemlje, odmah iznad jonosfere. Zemljina magnetosfera je dinamički pojas plutajuće plazme vođene magnetnim poljem, koja ponekad dolazi u

dodir sa sunčevim magnetnim poljem. Magnetosfera se prostire u svemiru od Zemlje otprilike 80 do 60000 km sa strane prema Suncu do 300000 km udaljenosti na strani okrenutoj od Sunca. U magnetosferi se nalazi hladna plazma koja potiče iz jonosfere, vruća plazma koja potiče iz spoljašnje strane sunčeve atmosfere, i još topliju plazmu ubranu do ogromnih brzina, koja se može i usijati na gornjim slojevima zemljine atmosfere stvarajući polarnu svjetlost bilo na južnoj ili sjevernoj hemisferi. Magnetosfera ima nekoliko komponenti, ponekad upijajući sunčeve zrake, a ponekad ih i odbija. Geomagnetski pojačavajući efekt utiče da su oboljenja od raka, nastala od sunčevog zračenja češća u industrijskim nacijama na većim geografskim širinama.

Sila sunčanih vjetrova potiskuje magnetosferu, stiskajući je sa strane prema Suncu i razvlačeći je na noćnoj strani u dugi rep. Ovaj efekt se zove magnetni rep, koji se proteže hiljadama kilometara u svemir. Solarna aktivnost izaziva geomagnetski indukovane struje, koje mogu teći unutar i izvan električne mreže kroz razne tačke uzemljenja. Frekvencija ovih struja je jako mala (ispod 1 Hz), pa je možemo svrstati u skoro jednosmjernu struju. Struje izmjerene u Sjevernoj Americi su 184 A i 200 A u Finskoj.

Magnetna rezonanca

Magnetna rezonanca je postala značajno dijagnostičko sredstvo kojim se dobija kvalitetan uvid u unutrašnjost ljudskog tijela. Stacionarno magnetno polje stvara uređaj koji se zove magnetno rezonansni skener (MRS). MRS može podvrgnuti unutrašnjost tijela intenzitetu i do 2 T u kratkom vremenskom periodu. Vjeruje se da je ta vrijednost bezopasna u tom vremenskom periodu, ali dulje izlaganje ili veća vrijednost magnetne indukcije može poremetiti rad srca.

AC izvori

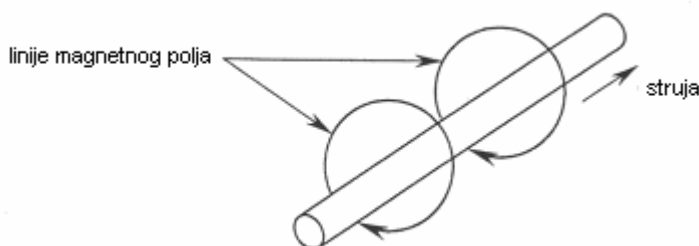
AC polja nastaju u toku prenosa, distribucije i upotrebe električne energije. Frekvencija VNF polja zavisi od izvora polja. Iako su dominantne frekvencije od 50 i 60 Hz, ljudi su uglavnom izloženi mješavini frekvencija, od kojih neke mogu biti i mnogo veće. Na primjer, frekvencije određenih dijelova elektronske opreme televizora ili monitora mogu ići i do 50 kHz. Pored toga prilikom isključenja mogu se javiti nagli pikovi u talasnim oblicima struje i napona, dovodeći do visokofrekventnih prelaznih stanja koja mogu da prouzrokuju i zračenja frekvencije od nekoliko MHz. Takođe nelinearne karakteristike električnih uređaja mogu da dovedu do stvaranja značajnih harmonika na frekvencijama od nekoliko kHz.

Električna i magnetna polja su komponente EM polja. Električna polja se stvaraju u uređajima koji su uključeni u instalacijske mreže, ali ti uređaji ne moraju biti u pogonu. Od njih se lako zaštititi ili ih promijeniti raznim lako dostupnim, jeftinim, materijalima. Stavljanjem u rad uređaja nastaje struja koja proizvodi magnetna polja. Magnetna polja prolaze kroz Zemlju, ljude, i najveći dio materijala. Njih je teško ograničiti.

Jačina VNF magnetnog polja opada sa udaljenošću od izvora. Na primjer, za jedan provodnik jačina magnetnog polja je obrnuto proporcionalna udaljenosti od izvora. Jačina magnetnog polja opada sa kvadratom udaljenosti, od izvora koji se sastoji od više provodnika. Jačina magnetnog polja opada sa kubom udaljenosti, od izvora koji je oblika navojka ili kalema. Ove relacije su značajne kada želimo da smanjimo jačinu magnetnog polja. Malo detaljnije ćemo obraditi 4 tipa AC izvora.

Jedan provodnik

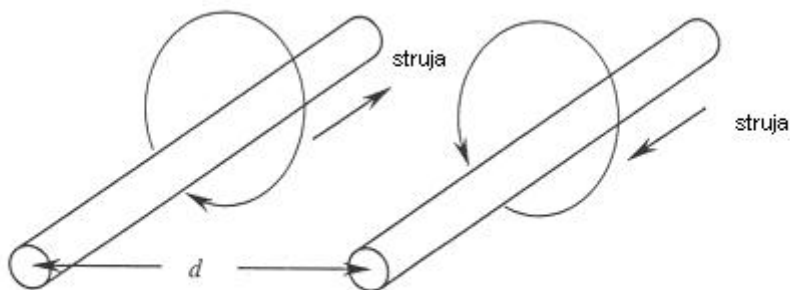
Usamljen prav provodnik se smatra osnovnim izvorom polja. Moguće je odrediti intenzitet magnetne indukcije u svim tačkama u prostoru oko njega. Tipični predstavnici ove grupe izvora su kablovi, dugački provodnici, struje u vodovodnim instalacijama i struje uzemljenja, električno pogonjena podzemna željeznica, željeznica i sistem za trolejbuse. Oblik polja je prikazan ranije na slici 3.



slika 3

Dva provodnika

Magnetno polje para struja suprotnih smjerova u dva paralelna provodnika na nekoj maloj udaljenosti d opada sa kvadratom udaljenost od para provodnika, slika 4.



slika 4

Izraženo formulom: $B = \frac{2Id}{r^2}$. Gajtani električnih uređaja, prenosne i distributivne mreže spadaju u ovu grupu izvora.

Navojak kao izvor

Jedan navojak se može takođe smatrati tipičnim izvorom polja. On postoji u AC motorima, transformatorima, računarima, izvorima električne energije, električnim pećima, i mikrotalasnim pećima.

Trofazni izvori

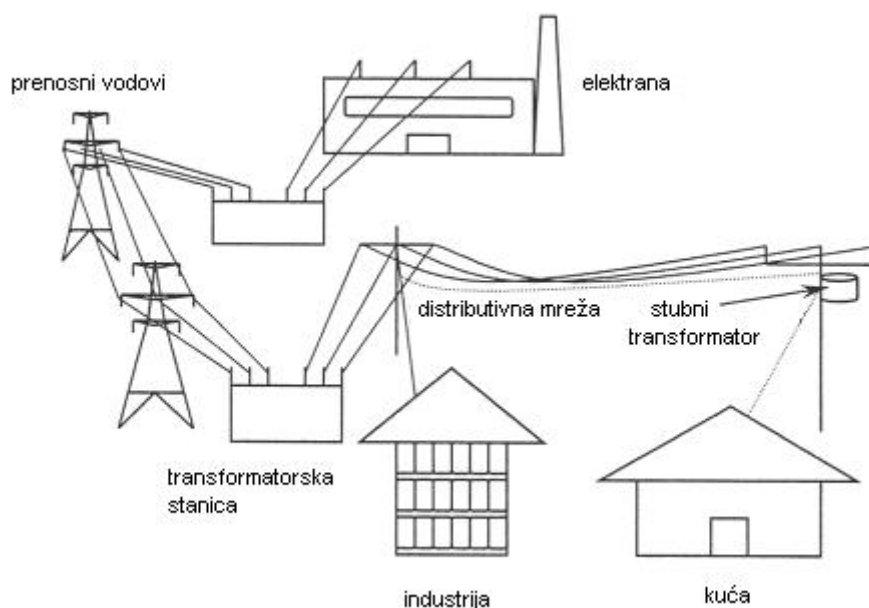
Električna energija se proizvodi i distribuira koristeći trofazni naizmjenični sistem. Svaki od tri fazna napona i struje se predstavlja intenzitetom efektivne vrijednosti i početnom fazom, a međusobno su fazno pomjereni za $2\pi/3$ (120°).

Magnetno polje simetričnog trofaznog voda sastavljenog od tri horizontalna ili vertikalna provodnika na jednakoj udaljenosti d jedan od drugoga opada sa kvadratom rastojanja što možemo opisati formulom: $B = \frac{3.46 \cdot I \cdot d}{r^2}$.

VNF polja u našem okruženju

Mada su gore navedeni izvori sastavni dijelovi uređaja u našoj okolini, pogodnije nam je da polja posmatramo na taj način da posmatramo upravo te uređaje kao izvore polja. U tom smislu mi smo izloženi VNF magnetnim i električnim poljima koja potiču iz mnogo izvora: prenosnih vodova koji povezuju elektrane i domove preko distributivnih vodova i kablova koji razvođe energiju do naših kuća, škola, i radnih mjesta, transformatorskih stanica, transformatora, instalacija u našim kućama i zgradama, prevoza i različitih električnih uređaja.

Elektroenergetski sistem



slika 5

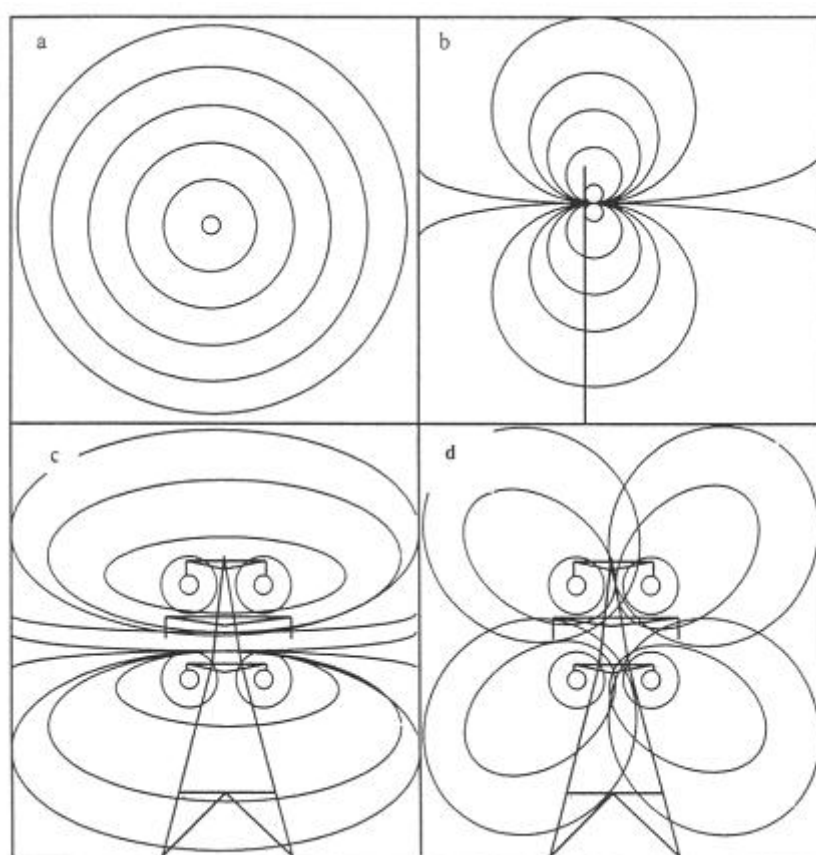
Ako pogledamo sliku tipičnog elektroenergetskog sistema, slika 5, izvlačimo zaključak da je prenosni dio glavni izvor električnog i magnetnog polja, zbog visokog linijskog napona. Međutim, električne instalacije i distributivni dio sistema su poznati kao značajni izvori magnetnih polja u našem okruženju.

Nadzemni energetski vodovi

Prenosne i distributivne vodove možemo nazvati jednim imenom energetski vodovi. Nadzemni energetski vodovi su najjeftiniji način za prenos električne energije. Obično su sastavljeni od paralelnih žica, koje prenose najveći dio energije sa jako malim gubicima, odnosno malom izračenom energijom. Polje između žica je intenzivno, ali obično je zatvoreno između njih. Magnetna polja koja proizilaze iz energetskih vodova su određena intenzitetom struje koja teče kroz vodove, blizinom žica, visinom voda iznad površine tla i udaljenošću jednog energetskog voda od drugog.

Na slici 6 je prikazana moguća raspodjela magnetnog polja u zavisnosti od primjenjene izvedbe voda. Pod a) su prikazane linije magnetnog polja jednog provodnika, pod b) trofaznog niskonaponskog voda, pod c) dva trofazna sistema na jednom stubu, i pod d) dva trofazna sistema na jednom stubu (transponovane faze).

Širom svijeta postoje ogromne energetske mreže. To znači da je skoro kompletna ljudska populacija izložena poljima raznih dijelova energetskog sistema. Razlika je samo u stepenu izloženosti koja varira u danu, danima sedmice, godišnjem dobu i temperaturi okoline. Najjača polja se obično nalaze ispod visokonaponskih prenosnih vodova; međutim, intenzitet polja zavisi od intenziteta struje. Vrijednosti variraju od 40 do 1 μT za linijski napon od 400 kV do 415 V. Zafanela je određivao polja prenosnih vodova i određenih struktura distributivnih vodova. Srednja vrijednost je bila u opsegu od 0.09 do 0.38 μT za prenosne vodove, a za distributivne vodove utvrdio je vrijednosti od 0.01 do 0.02 μT .



slika 6

Podzemni kablovi

Pod kablom podrazumjevamo određenu dužinu izolovanog provodnika ili više njih, od kojih je svaki provodnik posebno izolovan. Postoje različite vrste kablova od onih sa olovnim plaštem do običnih fleksibilnih kablova za uobičajne kućne uređaje. Ovdje posmatramo energetske kablove koji se polažu u zemlju i služe da prenose energiju od jedne do druge tačke sistema. Karakteristični su za gradske sredine. Pojedinačni provodnici kabla su sada bliže nego kod nadzemnih vodova, što dovodi do većeg poništavanja polja a time i do smanjenja intenziteta polja. Međutim, smanjenjem udaljenosti od površine polja tako oslabljena polja mogu da budu jača od polja nadzemnih vodova. Američki naučnik Zafanela je mjerio vrijednosti magnetnog polja od podzemnih distributivnih vodova u domovima i dobio vrijednosti od $0.03 \mu T$ sa oko 5 % rezultata iznad $0.13 \mu T$ (ovo je rezultat za 75 % svih domova).

Transformatorske stanice

Transformatorske stanice su jedne od najvažnijih dijelova u energetskom sistemu, koje služe za promjene naponskih nivoa. Često su locirane blizu škola i kuća, prema tome, moramo ih razmotriti kao izvore električnih i magnetnih polja. Imaju mnoge funkcije u prenosu i kontroli toka električne energije. Postoji nekoliko načina za izgradnju transformatorskih stanica radi postizanja pouzdanog elektroenergetskog sistema. U suštini one su sklop opreme kao što su prekidači, rastavljači, uzemljivači, uz naravno transformatore namijenjene regulisanju i mijenjanju napona. Transformatori su izvori jakih magnetnih polja jer im se princip rada zasniva na vremenski promjenljivim magnetnim poljima. Problem magnetnog polja, kod trafansformatorskih stanica, je složeniji pošto struje koje ulaze ili izlaze iz stanice nisu, u opštem slučaju, simetrične.

Polja koja proizvodi oprema stanice veoma slabe sa udaljenošću i ne šire se van fizičkih granica stanice. Međutim, magnetna polja u blizini stanica su jača nego u ostalim dijelovima zbog fizičkog spuštanja energetskih linija koje ulaze ili izlaze iz stanice. Aproximativne vrijednosti koje možemo naći na udaljenosti ograde transformatorske stanice zavise od nivoa napona: $10 \mu T$ za 275-400 kV stanice i $1.6 \mu T$ za stanice 11 kV.

Transformatori

Transformatori su uređaji koje se obično koriste za prilagođavanje napona i struja električnom kolu tako da bismo najbolje iskoristili energiju prilikom prenosa i distribucije. Kao samostalne uređaje nalazimo ih u seoskim sredinama te u gradskim sredinama, najčešće unutar stambenih zgrada. Takvi transformatori snižavaju napon na 380/220 V, to jest na napon koji se koristi u kućnim instalacijama. VNF polja u blizini transformatora mogu biti velika, ali zbog malih gabarita uređaja jačina polja opada naglo sa udaljenošću od transformatora, kao za navojak kao izvor. Mjerenja na nivou ulice direktno ispod transformatora montiranih na stubu nisu mnogo veća nego ispod nadzemnih energetskih vodova.

Električne instalacije

Prosječna vrijednost magnetnih polja u kućama koje su udaljene od energetskih vodova i transformatorskih stanica je mala. Srednja vrijednost za kuće u većim gradovima je oko $0.1 \mu T$. Vrijednosti u manjim gradovima i selima je pola te vrijednosti. U metropolama, oko 10% kuća ima bar jednu sobu gdje vrijednost polja prelazi $0.2 \mu T$. U susjedstvu energetskih vodova i transformatorskih stanica jačine magnetnih polja su još veće. Utvrđeno je da 0.5% kuća ima vrijednosti magnetnih polja koje prelaze $0.2 \mu T$.

Za komercijalne zgrade, transformatori i razvodni ormani su smješteni u posebnim prostorijama u tim zgradama; sa druge strane, u objektima na periferijama grada transformatori su u posebnim objektima. Vrijednosti polja u područjima oko takvih prostorija, odnosno objekata idu od $1 \mu T$ do 10 mT .

Prevozna sredstva

Električni tramvaji i vozovi su takođe izvori statičkih i VNF polja. Za elektricnu vuču se negdje koristi jednodnosmjerna, a negdje naizmjenična struja. Blizu podova unutar putničkih vagona statička polja mogu dostići 0.2 mT , dok magnetna naizmjenična polja mogu dostići nekoliko stotina μT . Na nivou sjedišta putnika, električna polja mogu doseći i 300 V/m , dok magnetne polja dostižu vrijednosti od nekoliko desetina μT . Vrijednosti nivoa veoma zavise od dizajna električne oprave i lokacije te opreme unutar vozne kompozicije. Vučni motori i oprema su često smješteni ispod podova u putničkim vagonima. Oni stvaraju veoma intenzivna polja u području poda ispod koga se nalaze. Još dodatno, putnici su izloženi magnetnim poljima od izvora koji se nalaze uz tračnice.

Električni uređaji

Svi električni uređaji, tokom rada, proizvode magnetna polja. Takva polja, u opštem slučaju, opadaju obrnuto srazmjerno trećem stepenu udaljenosti, i prema tome značajna su samo na malim udaljenostima od uređaja.

Izvor	Magnetno polje u μT (udaljenost 30 cm)	Magnetno polje u μT (udaljenost 90 cm)
Kancelarijski uređaji		
Monitor	0.02-13.00	0.001-0.9
Kopir mašina	0.005-1.80	0.00-0.2
Fax mašina	0.00-0.016	0.00-0.003
Fluorescentno svjetlo	0.5-2.00	0.02-0.25
Štampač	0.07-4.3	0.02-0.25
Skener	0.2-2.60	0.009-0.3
Radni uređaji		
Električna bušilica	0.02-3.3	0.003-0.8
Stolarska testera	0.05-1.4	0.005-0.075

Kuhinjski uređaji		
Aparat za kafu	0.009-0.7	0.00-0.06
Mašina za suđe	0.5-0.8	0.08-0.16
Električni šporet	0.15-0.5	0.01-0.04
Mikrotalasna peć	0.05-5	0.011-0.45
Mikser	0.05-4	0.009-0.4
Zamrzivač	0.01-0.3	0.001-0.06
Toster	0.03-0.45	0.001-0.05
Uređaji u sobama		
Analogni sat	0.18-4.1	0.003-0.32
Digitalni sat	0.03-0.57	0.00-0.13
Prenosni radio	0.04-0.4	0.003-0.1
Ušisivač	0.7-2.2	0.05-0.13
Uređaji u kupatilu		
Električni brijlač	0.01-10	0.01-0.3
Fen za kosu	0.01-7	0.01-0.03
Uređaji u dnevnoj sobi		
Ventilator	0.04-8.5	0.03-0.3
Televizor u boji	0.02-1.2	0.007-0.11
Neki drugi uređaji		
Pegla za veš	0.15-0.3	0.025-0.035
Mašina za veš	0.15-3	0.01-0.15

tabela 1

U tabeli 1 je data lista tipičnih uređaja i njima pridruženih vrijednosti naizmjeničnih magnetnih polja.

Mnogi radnici su više izloženi poljima na radnim mjestima nego kod kuće, mada tamo provode manje vremena. Polja na radnim mjestima su obično veća, zbog veće koncentracije uređaja. Električni uređaji kao što su mašine za fotokopiranje su izvori jakih izvora i mogu da emituju jaka polja kada su u režimu čekanja i dvostruke vrijednosti kada rade.

Određene industrije imaju opremu koja proizvodi velika magnetna polja. U elektroenergetskim sistemima to su generatorske sabirnice i neki reaktivni elementi u stanicama. U drugim industrijama, određeni zavarivači, grijači i elektrolitički procesi mogu proizvesti velika polja koja mogu pogoditi određene radnike.

Biološki efekti VNF polja

Biološkim efektom se naziva pojava koja se dešava kada izloženost EM poljima prouzrokuje primjetnu fiziološku promjenu u živom sistemu. Takav efekat može nekad, ali ne i uvijek, dovesti do zdravstvenih problema, a to je fiziološka promjena koja prevazilazi normalan opseg u određenom vremenskom periodu. To se dešava kada biološki efekat prevazilazi dozvoljene okvire u kojima ga tijelo može kompenzovati, što dovodi do narušavanja zdravstvenog stanja. Zdravstveni efekti su često posljedica bioloških efekata koji se akumuliraju tokom vremena i zavise od nivoa izloženosti. Prema tome, potrebno je poznavati biološke efekte radi razumijevanja mogućih zdravstvenih problema.

Godinama naučnici pokušavaju da dokažu uticaj VNF elektromagnetnog polja na žive organizme. Iako je energija fotona VNF opsega spektra manja od one koja je potrebna da razbije čak i najslabiju hemijsku vezu, postoje ustanovljeni mehanizmi kojima električna i magnetna polja mogu prouzrokovati biološke efekte bez razaranja hemijskih veza. Električna polja mogu djelovati silom na naelektrisane i nenaelektrisane molekule ili ćelijske strukture unutar živih sistema. Ove sile mogu izazvati kretanje naelektrisanih čestica, orijentisati ili promijeniti ćelijske strukture, orijentisati dipolne molekule, ili indukovati napone duž ćelijske membrane. Magnetna polja takođe mogu djelovati silom na ćelijske strukture, ali pošto su biološki materijali većinom nemagnetni, ove sile su obično vrlo male. Takođe, magnetna polja mogu indukovati električna polja u tijelu.

Iako se električna i magnetna polja često javljaju zajedno, naglasak je na negativnom djelovanju magnetnih polja. Uzrok tome je što je magnetna polja teško zaprečiti, i ona lako prodiru kroz zgrade i ljude, nasuprot električnim poljima koja imaju malu sposobnost prodiranja kroz zgrade ili čak ljudsku kožu.

Interakcijski mehanizmi

Mogući mehanizmi obuhvataju sljedeće: indukovanje električnih struja, direktni utjecaj na magnetni materijal u ćelijama, utjecaj na slobodne radikale, i pobudu ćelijske membrane.

Indukovanje struja

U VNF opsegu biološki materijal je opisan kao provodni materijal. Na mikroskopskom nivou, sva tkiva su sastavljena iz ćelija i izvanćelijskih tekućina. Kao što je opisano ranije, ćelija ima dva jasno izražena dijela: vanjski, izolacionu membranu i unutrašnji, citoplazmu i jedro koji kao i izvanćelijske tekućine imaju veliku provodnost. Zbog membrane, ćelije se ponašaju kao izolatori, i skoro sva indukovana struja u tkivima od strane VNF polja teče oko ćelija. Izolatorska membrana koja okružuje provodno jezgro, modeluje ćeliju kao serijsku vezu membranske kapacitivnosti i citoplazmatične otpornosti. Debljina izolacijskog dijela membrane je manja od 10 nm. Prema tome, membranska kapacitivnost je vrlo velika. Obično, ispod 100 Hz, impedansa biološkog materijala je pretežno otporna. Doprinos kapacitivnosti je oko 10 % ali se povećava sa frekvencijom.

Moguć efekat EM polja na žive sisteme je teoretski obrađen kroz sposobnost, preko magnetne indukcije, da se stimulišu vrtložne struje na membranama i tečnostima tkiva, i koje cirkulišu u zatvorenim konturama koje leže u ravni okomitog

na ravan linija magnetnog polja. Sekundarna magnetna polja koja proizvode ove struje se mogu zanemariti. Tako indukovane struje mogu prozrokovati određeni efekat na biološke sisteme. U VNF opsegu, varijacije na površinskoj gustini opterećenja su veoma spore tako da su struje i polja nastala unutar objekta jako mali.

Pošto su osobine biološkog sistema heterogene i indukuju se u različitim slojevima, predviđene vrijednosti ne odgovaraju izmjerenim.

Xi and Stuckly, u svom članku koji je izašao u Applied Computational Electromagnetic Society Journal 9, su objavili da su proračunom na anatomski i električki usavršenom modelu dobili da maksimalna gustina struje prelazi $2 \frac{mA}{m^2}$ za 100- μT na 60 Hz.

Na frekvencijama iznad 100 kHz, indukovane struje griju izložene biološke sisteme, prouzrokujući termalna oštećenja. U VNF opsegu, grijanje tkiva nije problem, ali ako su indukovane struje prejake, postoji problem stimulacije električki pobudljivih ćelija kao što su neuroni.

Magnetne biosupstance

Svi živi organizmi su napravljeni uglavnom od dijamagnetskih materijala, međutim neke paramagnetske molekule (npr. O_2) i feromagnetne strukture (jezgra hemoglobina, magnetit) su takođe prisutne. Unutarćelijsku strukturu u kojoj se nalaze magnetni materijali zovemo magnetosomi. Ove mikrostrukture se ponašaju kao mali magneti i na njih utiču vanjska polja mijenjajući njihov energetski bilans. Mogu se naći u bakterijama i manjim biološkim sistemima. Vjeruje se da su prisutni i u ljudskom mozgu. Magnetosomi su dakle sastavni dijelovi ćelija. Obrtni moment koji stvara magnetno polje rotira u takvom slučaju ili cijelu ćeliju ili ako magnetosomi nisu čvrsto vezani za ćelijsku strukturu samo njih, ali bilo koji od načina kreira biološki efekat. Efekat se stvara u jakim poljima i proračuni pokazuju da je najmanja jačina polja od 2 do 5 μT .

Slobodni radikali

Slobodni radikali su atomi ili molekule sa najmanje jednim neuravnoteženim elektronom. Ovi neuravnoteženi elektroni prouzrokuju da radikali reaguju sa drugim molekulima i na taj način preuzimaju elektrone od drugih struktura koje onda postaju slobodni radikali. Ovo prouzrokuje lančanu reakciju u kojoj strukture miliona molekula se mogu promijeniti u nanosekundama prouzrokujući propasti DNK, proteina, enzima, i ćelija.

Statička magnetna polja mogu uticati na porast hemijskih reakcija koje uključuju slobodne radikale. Pošto je vrijeme egzistencije radikala jako malo (tipično ispod 1 ns) u poređenju sa frekvencijom VNF polja, postojeća polja se smatraju statičkima tokom vremena reakcija. Biološki efekti polja ispod 50 μT nisu značajni zbog postojanja 30-70 μT geomagnetnog polja.

Brocklehurst i McLauchlan, u članku u International Journal of Radiation Biology 69, su diskutovali utjecaj ovih polja, dok je donja granica polja postavljena na 0.1 mT. Efekat na ovoj vrijednosti je bio veoma mali (1 % porasta u koncentraciji slobodnih radikala). Tijelo posjeduje sofisticiran odbrambeni sistem koji se hvata u koštac sa radikalima u normalnim situacijama.

Ćelijska membrana i hemijska veza

Prema Fosteru, u radu u časopisu IEEE Engineering in Medicine and Biology 15, električna polja male frekvencije mogu pobuditi membrane, prouzrokujući šok i neke druge efekte. Na frekvencijama energetskih vodova, prag gustine struje potrebne za prouzrokovanje šoka je $10 \frac{A}{m^2}$, koji odgovara električnim poljima od $100 \frac{V}{m}$ u tkivima. Međutim, električna polja mogu stvoriti pore u membranama usljed indukovanog napona. Potrebni napon je 0.1-1 V duž membrane, što zahtjeva električna polja u okolinom materijalu od oko $10^5 \frac{V}{m}$.

Mnogi naučnici vjeruju da upravo ćelijska membrana igra osnovnu ulogu u EM interakcijskim mehanizmima sa biološkim sistemima. Indikacije ukazuju da su receptori membrane vjerovatan izvor za inicijalne interakcije tkiva sa EM poljima za mnoge neurotransmitere, procese koji utiču na razvoj enzima, i hemikalije koje uzrokuju rak.

Naučnici koji podržavaju ovaj mehanizam su zaključili da su biološke ćelije bioelektričnohemijske strukture, koje uzajamno djeluju sa okolinom na različite načine, uključujući fizički, hemijski, biohemijski i električni.

Prema doktoru Adliju sa Univerziteta Kalifornija, joni, posebno kalcijumovi joni mogu igrati ulogu hemijske veze između EM polja i procesa u živim sistemima. Električna svojstva i distribucija jona oko ćelija su savršeni za objašnjenje efekata usljed dejstva periodičnih spoljnjih polja. On je predstavio model od tri koraka koji uključuje jone kalcijuma, koji bi mogao da objasni efekte koje uzrokuje EM polje. Ključ ovog modela je aktivacija intraćelijskih prenosnih sistema (adenilat ciklaze i protein kinaze) pomoću kalcijuma u podsticanju pojačanja procesa duž membrane.

Postoji još jednu mogućnost, a to je modifikacija oblika, a time i funkcije, receptorskih molekula u membrani. Richard Luben sa University of California kod Riverside je označio posebni dio receptorskog sistema za paratiroidni hormon kao odgovornog za efekat polja koji je on uočio. Trenutno se trudi da dokaže da mehanizam uključuje promjene oblika receptorske molekule. Promjene u procesiranju signala kod membrane bi takođe mogle da pomognu u kontroli promjena u sintezi proteina i efektima na imuni sistem.

Theodore Litovitz sa Catholic University of America u Vašingtonu, D.C., je predložio da neke vrijednosti amplituda mogu dovesti do interakcije između hemijskih procesa koji traju određeno vrijeme u ćeliji i vremena mjerenja.

VNF polja i rak

Najveća pažnja u literaturi je posvećena vezi između polja i nastanka, odnosno razvoja raka. Pažnja je nastala činjenicom da je rak smrtonosan u velikom postotku slučajeva. Sa druge strane, epidemiološki podaci ukazuju na moguću vezu leukemije i drugih vrsta raka i slabih polja.

Nastanak raka

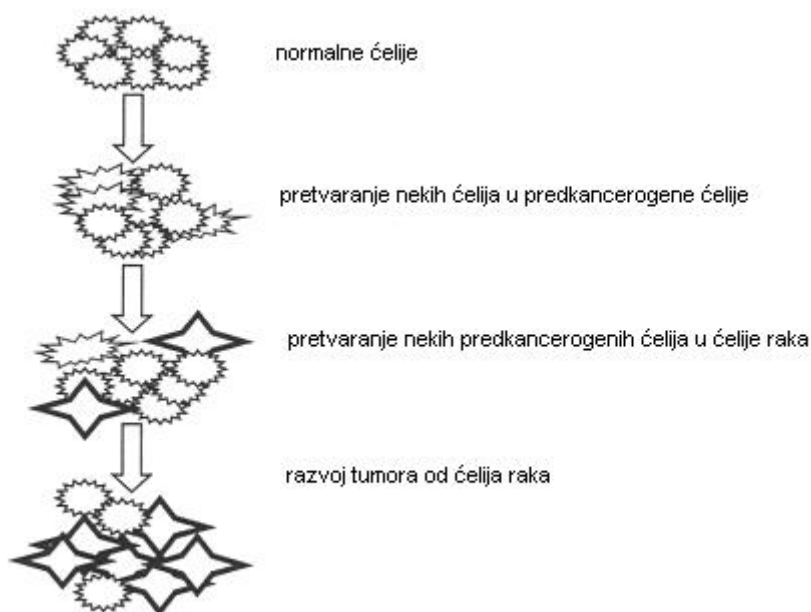
Rak je termin koji se upotrebljava za više od 200 različitih bolesti, a koje sve uključuju nekontrolisani rast ćelija. Rak je slučaj nekontrolisane mitoze u kojoj ćelije se slučajno dijele i rastu, dok normalne ćelije rastu i razvijaju se pod kontrolom našeg

tijela. Rak je u suštini genetski poremećaj na ćelijskom nivou. Uzroci najvećeg broja slučajeva raka su nepoznati, ali faktori koji utiču na povećan rizik od raka su mnogobrojni.

Uopšteno, vrste raka potencijalno vezane za izlaganje EM poljima su leukemija, tumor mozga i rak dojke. Leukemija i limfoma (limfoma je rak koji nastaje u limfnom sistemu) su kompleksi malignih oboljenja.

Kancerogeneza

Transformacija zdrave ćelije u malignu je proces, koji uključuje najmanje tri jasna potprocesa uzrokovan nizom genetskih oštećenja u ćeliji. Ovaj proces se zove višestepena karcinogeneza, kao na slici 7.



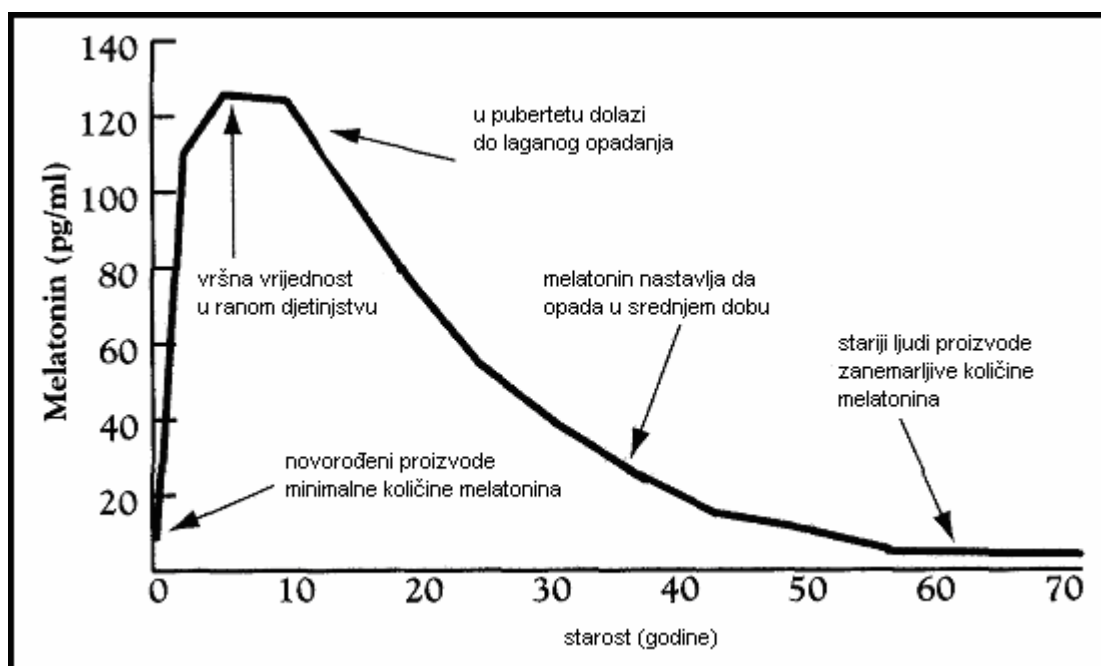
slika 7

Rak kod ljudi je rezultat akumulacije različitih genetskih i epigenetskih promjena u datoj populaciji ćelija. Uzročnik raka je oštećenje DNK. Uzročnik takvog oštećenja se zove genotoksin. Vrlo je malo vjerovatno da samo jedna genetska promjena će rezultovati rakom. Genotoksini mogu pogoditi različite vrste ćelija, i mogu izazvati više vrsta raka. Epigenetski uzročnik je onaj koji povećava mogućnost nastanka raka usljed genotoksina.

Genotoksinski efekat VNF polja su razmatrali McCann i saradnici, objavljeno u Mutation Research 297 i 7481, te Moulder, objavljeno u Critical Reviews in Biomedical Engineering 26. Dosad, nisu pronađeni značajni genotoksinski efekti pri najvećem broju izloženosti VNF poljima. Samo nekoliko studija je pokazalo genotoksičnost prilikom studija na životinjama, ali u uslovima koji ne odgovaraju uslovima u našoj okolini ili neke od studija nisu još ponovljene od strane drugih naučnika. Iz velikog broja studija je izvučen zaključak da polja ispod 0.1 mT ne proizvode efekte koji imaju genotoksičnost ili epigenetske aktivnosti.

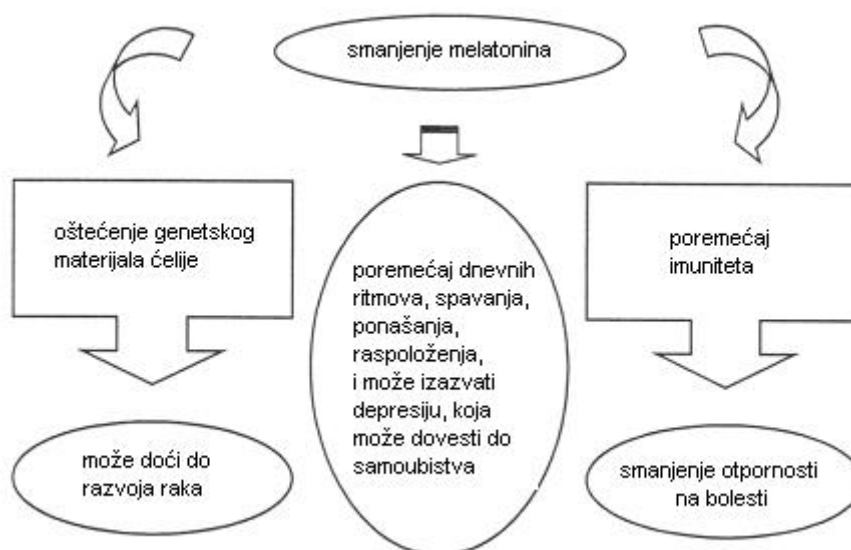
Hipoteza o melatoninu

Jedna od mogućih interakcijskih hipoteza je da izloženost električnim i magnetnim poljima smanjuje proizvodnju melatonina, koji je hormon koji proizvodi epifiza, mala žljezda oblika šišarke locirana oko centra mozga. Melatonin se proizvodi uglavnom noću i ispušta u krvotok, koji ga raznosi kroz cijelo tijelo. On prodire u skoro svaku ćeliju tijela, uništavajući slobodne radikale i pomaže pri tome ćeliji da se podjeli sa neoštećenom DNK. Melatonin pomaže u regulaciji menstruacije i procesima sa dnevnim ciklusom. Izlučivanje melatonina opada vremenom, dostižući vrhunac u djetinjstvu i postepeno opadajući nakon puberteta, slika 8.



slika 8

Takođe, melatonin reguliše spavanje, ponašanje, i rad gena. Smanjuje izlučivanje hormona koji potpomažu razvoj tumora.



slika 9

Njegova proizvodnja je od suštinskog značaja za naš imunitet, koji nas štiti od infekcija i ćelija raka. Smanjene količine melatonina su nađene kod oboljenja kao što su rak dojke, rak prostate, i maligne nakupine na jajnicima. Ukratko slika 9 pokazuje posljedice smanjenja melatonina.

U nekoliko laboratorija je pronađeno smanjenje melatonina u ćelijama, životinjama, i ljudima izloženim VNF poljima. Ovaj efekat varira u zavisnosti od jačine polja i dužine izlaganja. Blask, iz DOE, je 1993. godine prvi došao do zaključka da fiziološki nivo melatonina smanjuje rast ćelija ljudskog raka dojke. Liburdy sa saradnicima, u članku u Journal of Pineal Research, je označio mogućnost da melatonin smanjuje in vitro rast ćelija raka, ali polje jačine $1,2 \mu T$ (60 Hz) može blokirati to svojstvo melatonina. Do takvog zaključka su došli u tri velike laboratorije, na 5 ćelijskih studija.

Selmaoui i Touitou, objavljeno u Life Sciences 57, su proveli istraživanja na miševima koji su izloženi 50 Hz poljima jačine 1,10, i $100 \mu T$ 12 sati, ili 30 dana po 18 sati dnevno. Smanjenje melatonina je uočeno u 30-to dnevnom izlaganju na 10 i $100 \mu T$ (oko 40 %) i 12-to satnom izlaganju na $100 \mu T$ (oko 20%). Nisu uočeni efekti na $1 \mu T$.

Međutim postoje i drugačiji nalazi. Rogers sa saradnicima, objavljeno u Bioelectromagnetics Suppl. 3, je proveo eksperiment gdje je izlagao babune 60 Hz poljima 6 kV/m i $50 \mu T$, te poljima 30 kV/m i $100 \mu T$ (12 sati dnevno u toku 6 nedelja). Nije zapazio nikakve promjene u nivou melatonina.

John sa saradnicima, objavljeno u Bioelectromagnetics 19, je izlagao grupu od 8 odraslih miševa polju frekvencije 60 Hz i jačine 1 mT 20 sati dnevno u toku 10 dana, te intermitentnom polju (1 minut uključeno, 1 minut isključeno) jačine 1 mT 20 sati u toku dva dana. Nije zapazio nikakve promjene u izlučivanju melatonina.

Ćelijske studije

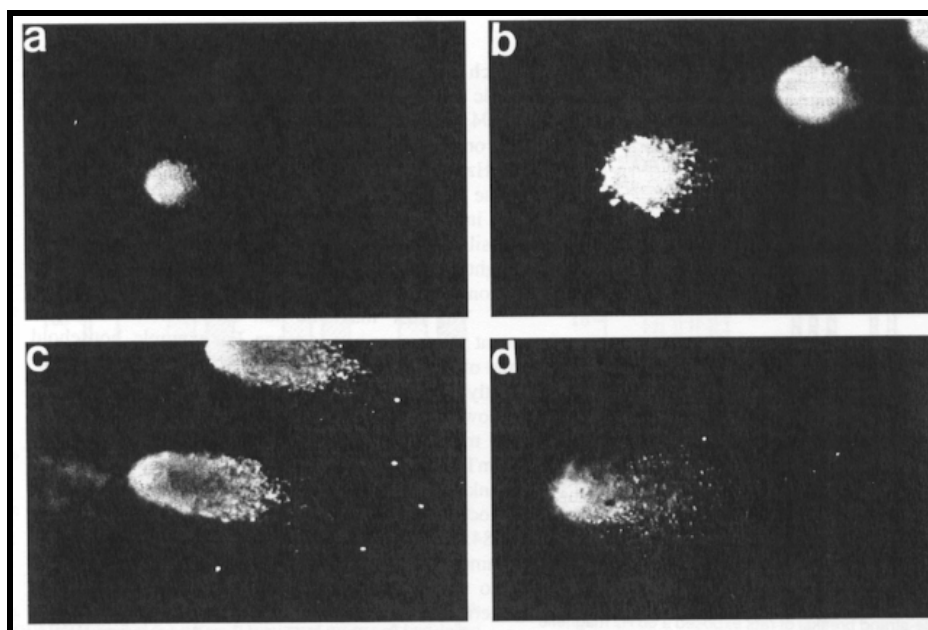
Laboratorijska istraživanja na uzgojenim ćelijama, poznatija kao in vitro su definisana kao eksperimentalne ili teoretske studije o efektima EM polja na pojedinim ćelijama ili nadograđenim tkivima, izloženim i ispitivanim van ljudskog ili životinjskog tijela. Često je korisno ustanoviti reakciju određenog tipa ćelija na neki uzročnik, i odrediti molekularne promjene preko kojih se može procijeniti ta reakcija. To znači da one mogu pomoći u procjeni mogućih bioloških efekata. Takođe mogu pomoći u obrazovanju teorija o interakcijama polje-ćelija i polje-tkivo, koje su predmet eksperimentalne provjere. Glavna prednost in vitro ispitivanja je veličina uzorka i tačnost, pošto su geometrijske i fizičke osobine parametara izlaganja strogo kontrolisane, a to omogućuje upoređivanje rezultata u raznim laboratorijama.

Efekti relevantni za rak

Uopšteno se vjeruje da energija vezan za VNF polja nije dovoljna za direktno oštećenje DNK, međutim indirektni efekti su mogući, vezano za promjenu procesa unutar ćelije pod utjecajem polja što može dovesti do raspada DNK.

Preston-Martin sa saradnicima, objavljeno u Bioelectromagnetics 9, je uočio značajno povećanje u DNK sintezi. Takođe je uočeno ubrzavanje podjela ćelija.

Lai i Singh, sa Univerziteta Vašington iz Sijetla, su 1997. godine opisali nivo oštećenja DNK u ćelijama mozga miševa pod utjecajem 60 Hz magnetnog polja (magnetne indukcije vrijednosti 0.1, 0.25 i 0.5 mT) i to je prikazano na slici 10.



slika 10

Fotografije raspada DNK izložene magnetnom polju. a) ćelija na kojoj je poništeno djelovanje polja, b) djelovanje magnetnog polja od $100 \mu T$, c) djelovanje magnetnim poljem od $250 \mu T$, d) djelovanje magnetnim poljem od $500 \mu T$.

1998. godine Wu i saradnici, objavljeno u *Electro- and Magnetobiology* 17, su informisali o karcinogenim efektima usljed izlaganja 50 Hz i 15.6 kHz poljima.

Takođe su određene grupe istraživača razmatrale mogućnosti da izlaganje VNF poljima može oporaviti pokidane DNK lance usljed zračenja ili hidrogen peroksida, ali nisu primjetili takav efekat niti izlaganjem magnetnim niti električnim poljima.

Khalil sa saradnicima je objavio, u radu u *Mutation Research* 247, da usljed pulsog magnetnog polja dolazi do hromosomskih nepravilnosti, međutim u drugim sudijama korištenjem istih parametara polja nije se otkrila nikakva hromosomska nepravilnost.

Transport kalcijuma

Među provedinim eksperimentima ističe se eksperiment gdje je nekoliko reakcija na nivou ćelije pokazalo efekat "prozora" vezano za frekvenciju ili amplitudu. Taj efekat pokazuje da je reakcija postojala na određenoj frekvenciji ili amplitudi polja te da je nestala na vrijednostima koje su bile neposredno iznad ili ispod te određene vrijednosti.

Kalcijumovi joni su naelektrisane čestice koje imaju vitalnu ulogu u različitim ćelijskim procesima. Kalcijum je jedan od ključnih prenosnih jona, kritična komponenta za međućelijsku komunikaciju u tijelu i regulator rasta ćelije. Važan je za mnoge ćelijske funkcije, posebno za prenos vanćelijskih signala, regulaciju međućelijskog transporta jedinjenja, metabolizam kostiju, kontrakciju mišića, i slično. Održavanje optimalne količine kalcijuma je prema tome veoma značajno.

Fenomen isticanje Ca^{++} (oslobađanja kalcijumovih jona iz uzorka u okolnu sredinu) iz ćelija usljed izlaganja EM poljima je veoma poznato, posebno u mozgu i limfnim ćelijama. Povećane količine kalcijumovih jona su nađene usljed bilo malih ili velikih jačina polja u ćelijskim studijama i istraživanjima na životinjama. Isticanje Ca^{++} takođe može imati podsticajni karakter u kombinaciji sa drugim hemijskim supstancama. Višak Ca^{++} može direktno poremetiti vanjsku hormonsku aktivnost.

Efekat isticanja kalcijuma je zapažen na frekvenciji od 60 Hz ali ne na frekvencijama od 55 ili 65 Hz. Efekat prozora može ukazivati ili na rezonantnu vezu između uzroka i efekta ili na neke mehanizme filtriranja u ćeliji.

Prvi put su ga uradili Ross Adey i Suzanne Bawin iz John L. Pettis Memorial Veterans Hospital 1975. godine, a rad je detaljnije replicirao Carl Blackman iz EPA-e.

Mnogi naučnici potcjenjuju ulogu isticanja Ca^{++} za razvoj raka ili leukemije, iako je poznato da ćelije izlučuju kalcijumove jone i prenose ih u svoju okolinu kao signal da se zaustavi rast ćelije.

Enzimske aktivnosti

Kao i drugi proteini, enzimi se sastoje od dugačkih lanaca amino kiselina koje drže na okupu peptidne veze. Oni su prisutni u svim živim ćelijama, gdje vrše značajnu ulogu kontrole metaboličkih procesa.

ODC (ornitin dekarboksilaza) je važan enzim koji igra ulogu u regulisanju rasta ćelija kroz sintezu poliamina potrebnih za sintezu DNK i proteina. ODC je enzim aktiviran tokom karcinogeneze. Povećana aktivnost ODC-a je znak za rak. Međutim, uzročnici koji povećaju ODC aktivnost ne moraju da promovišu rak.

Eksperimenti Craig Byus i Christopher Cain-a, takođe iz iste bolnice, su ispitivali efekat VNF polja na ODC aktivnost. U jednom, ćelije raka limfe su povećavale aktivnost ODC-a kada su bile izložene 60 Hz poljima u ćelijama jačine 10 i 0.1 mV/cm , ali nisu povećavale aktivnost ODC-a izlaganjem poljima od 1 i 5 mV/cm .

Ovaj efekat je takođe zavisao od dužine izlaganja. Kada je polje uključeno, aktivnost je počela da raste, dostižući maksimum nakon jednog sata, i zatim vraćajući se na normalni nivo nakon dva sata. Izlaganje preko dva sata je smanjilo aktivnost ODC-a ispod normale, i gašenje polja je vratilo vrijednost ODC-a ne normalu. Kvantitet povećanja kao i karakteristične frekvencije, intenziteti, i vremena trajanja efekata su bili različiti kod različitih vrsta ćelija.

Sledeći skup eksperimenata sa ODC-om je pokazao da električna polja od nekoliko mV/cm dva ili tri puta ubrzavaju rast ćelija koje je već ubrzao hemijski promoter.

Ovi eksperimenti ukazuju kako izlaganje poljima može promovisati rak, s tim da su efekti vezani za vrste ćelija. Dok efekat može biti vezan za normalna vremena ćelijskog ciklusa koji su opsega od nekoliko sati do nekoliko dana za različite ljudske ćelije, sa druge strane na efekat može da utiče i neki od povratnih biohemijskih mehanizama.

Ostali mogući efekti

Kao što smo ranije vidjeli da kod melatonina postoji uticaj EM polja, tako postoji opravdana sumnja da može doći do uticaja EM polja na ostale hormone.

Opširna serija eksperimenata na Battelle Pacific Northwest Laboratories i University of Rochester nije pokazala promjene imuniteta sa hemijskog aspekta kod pacova.

Ćelijski eksperimenti, sa druge strane, ukazuju na određene promjene. U radu Daniel Lyle-a sa saradnicima iz Loma Linda, Kalifornija, polja srednje vrijednosti u eksperimentima u opsegu od 0.1 do 10 mV/cm su oslabila T-limfocite miša koji napadaju ćelije raka. Ovaj efekat se povećava sa jačinom polja. U drugom eksperimentu koje su proveli Jan Walleczek i Robert Liburdy sa Lawrence Berkeley Laboratory, Kalifornija, imune ćelije koje nisu radile nisu pogođene izlaganjem polju; ali ako su aktivirane da proizvode antitijela, polje smanjuje njihove imune sposobnosti.

Nekoliko studija na miševima je pokazalo da dolazi do određenih efekata na imuni sistem (mjerenjem određenih parametara) nakon 6-to nedeljnog izlaganja poljima od 200 i 2000 μT , dok su ti efekti beznačajni na 2 i 20 μT .

Studije na životinjama

Studije na životinjama, poznatije i kao in vivo istraživanja, su usmjerene na utvrđivanje bioloških efekata električnih i magnetnih polja na životinjama. Istraživanja na životinjama izloženim potencijalnom toksičnom uzročniku su važna da bi se predvidjela moguća toksičnost na ljudima i da bi se potvrdio efekat zapažen u epidemiološkim studijama. Ona su takođe važna da bi se ustanovio nivo na kome se počinje izražavati toksičnost. Međutim, uvijek treba biti pažljiv prilikom takvih istraživanja jer životinje ne moraju imati isto reagovanje i osjetljivost kao ljudi, tj. razlikuju se parametri izlaganja.

Ne postoje apsolutni dokazi ni u jednoj studiji da VNF polja niskog intenziteta mogu izazvati rak kod životinja. Serija istraživanja je sprovedena na glodarima gdje je zadatak bio da se istraži nastanak i razvoj raka dojki. Studija Beniashvili-ja, Bilanishvili-ja i Menabde, objavljeno u Cancer Letters 65, je pokazala da magnetna polja pospješuju tumore dojki. Kasnija istraživanja su pokazala da polja od 10 do 100 μT pomažu rast i razvoj tumora ali ne utiču na nastanak raka. Postoji još jedno istraživanje koje je pokazalo da postoji pozitivna veza između intenziteta magnetnog polja i nastanka raka, međutim životinjama su davani kancerogene materije prije toga.

Izvedeni su i brojni eksperimenti radi utvrđivanja drugih efekata, pored raka. House i saradnici, objavljeno u Fundamental Applied Toxicology 34, su izveli istraživanja na miševima da izmjere tjelesnu težinu, funkcionalne aktivnosti, otpornost imunog sistema, i neke druge parametre. Miševi su izlagani 2,200, i 1000 μT (60 Hz). Zaključili su da nije došlo do značajnijih promjena u širokom opsegu imunih funkcija, niti ostalih parametara. Takođe, nije uticalo na sposobnost odbrane od bakterijskih infekcija.

Takođe ne postoje značajniji dokazi da izlaganjem EM poljima dolazi do značajnijih poremećaja u ponašanju životinja, mada postoje i takvi dokazi (Sienkiewicz sa saradnicima je objavio, u Bioelectromagnetics 19, da kratkotrajna, ponavljana izlaganja intenzivnim poljima mogu dovesti do promjene u ponašanju miševa).

Studije na ljudima

Uticaj VNF polja se može sigurno i efektivno ispitivati u laboratoriji sa ljudskim dobrovoljcima uprkos ograničenja u dužini izlaganja i tipovima testova koji se provode. Fokus je na kratkoročnim projektima, koji traju minute, dane, ili nekoliko nedelja. Selekcija fizioloških studija je takođe ograničena na one koji se mogu mjeriti neinvazivnim ili minimalno invazivnim metodama.

Kontrolisana laboratorijska testiranja na ljudskim dobrovoljcima može pomoći da se odredi dozimetrija i moguće posljedice, za epidemiološke studije, i mogu ukazati na moguća poboljšanja za studije na životinjama gdje se mogu onda primjeniti više mehanički invazivne studije.

Različiti zdravstveni efekti su prijavljeni zbog izloženosti VNF poljima, uključujući glavobolju, kardiovaskularne promjene, promjene u ponašanju, psihičke promjene kao što su konfuzija i depresija, slabiju koncentraciju, poremećaje u spavanju, slabo varenje, itd. Glavni izvor informacija su pregledi ljudi i radnika koji rade i žive u blizini potencijalnih izvora VNF polja, laboratorijska istraživanja i epidemiološki podaci.

Promjene u ponašanju

Centrani nervni sistem (CNS) je potencijalno mjesto interakcije sa EM poljem zbog električke osjetljivosti tkiva. CNS se sastoji od perifernih živaca, kičmenog stuba i mozga. Ovo je sistem koji kontroliše razmjenu informacija između organizma i okoliša. Takođe kontroliše unutrašnje procese.

U ranijim studijama u slučajevima izlaganja VNF poljima u profesijama koje su proveli Asanova, Rakova i Sazonova, kod radnika zaposlenih na željeznici u bivšem SSSR-u, čije je vrijeme izloženosti i jačina izloženosti varirala, pronašli su izrazito mnogo neurofizioloških poremećaja.

Kardiovaskularni sistem

Srce je bioelektrični organ. EKG je osnovni aparat za monitoring i dijagnozu stanja srčanog mišića. Puls, krvni pritisak i EKG mogu pomoći u procjeni kardiovaskularnih funkcija. Struje gustine od oko 0.1 A/m^2 mogu stimulisati pobudljiva tkiva, dok struje gustine iznad 1 A/m^2 ometaju rad srca prouzrokujući komorsko treperenje, kao i proizvodeći toplotu.

Sezanova je opazila da puls kod radnika sa prosječnom izloženošću poljima od $12\text{-}16 \text{ kV/m}$ više od 5 sati dnevno opada za $2\text{-}5 \text{ otkucaja/min}$ na kraju radnog dana, mada u početku dana je bio isti puls kod svih radnika.

Prema Stuchly-iju, objavljeno u Health Physics 51, izloženost zdravih muških dobrovoljaca $20\text{-}\mu\text{T}$ električnim i magnetnim poljima na 60 Hz je povezana sa statističkim smanjivanjem pulsa i malim promjenama ponašanja.

Korpinen i saradnici, objavljeno u Bioelectromagnetics 14, nisu potvrdili nakon obimnih istraživanja promjenu pulsa za 50 Hz polja energetskih vodova od 110 do 400 kV.

Sindrom hroničnog umora

Ovaj izraz (chronic fatigue syndrome-CFS) je uopšten termin za opisivanje bolesti koju karakterišu umor, neurološki problemi, i različiti simptomi kao recimo kod gripa. Jedna od karakteristika poremećaja je i blokiranje imunog sistema. On pogađa sve tipove ljudi. Unazad nekoliko godina, različite abnormalnosti su pronađene u imunom sistemu CFS pacijenata. Ovo uključuje i promjene u aktivnosti i strukturi membrane ćelije dva važna tipa bijelih krvnih zrnaca: T-limfocita i prirodnih ubica ćelija. Kod nekih pacijenata male promjene su nađene u nivoima neuroendokrinih hormona u mozgu. Dokazi ukazuju da je CFS povezan sa trajnim laganim pogoršanjem imunog sistema. Izloženost VNF poljima bi moglo opteretiti imuni sistem sa potencijalnim poremećajem hormona i promjenama na ćelijskom nivou.

Električna osjetljivost

Električna osjetljivost je poremećaj gdje se neurološki i alergijski simptomi pojavljuju usljed izloženosti EM poljima. Pojedinci sa ovim poremećajem su prvenstveno osjetljivi na određene frekvencije i postoji širok spektar osjetljivosti. Električna osjetljivost uključuje i ponovljene osjećaje stresa ili bolesti kada sjede blizu izvora EM polja. Simptomi električne osjetljivosti uključuju glavobolju, nadražaj oka, vrtoglavicu, gađenje, svrab kože, oticanje lica, slabost, umor, nedostatak koncentracije, bolove u zglobovima i/ili mišićima, zujanje/zvonjavu u ušima, zategnutost kože, trbušni pritisak i bol, teškoće u disanju, nepravilan rad srca, paralizu, poremećaj ravnoteže, konfuziju, depresiju, teškoću u koncentraciji, poremećaj spavanja, i probleme pamćenja. Trenutno se ne liječi niti postoji dugoročno rješenje. Liden je napravio pregled literature, u radu u Allergy 51, i zaključio da je osjetljivost slična psihosomatskim oboljenjima.

Epidemiološke studije

Zabrinutost oko uticaja VNF polja na zdravlje se uveliko zasniva na seriji epidemioloških studija. Takve studije nalaze vezu između oboljenja i određenih karakteristika okoline na osnovu bioloških podataka u određenom vremenskom periodu za veliku populaciju ljudi. Svaki biološki podatak je čisto statistički; međutim, ljudi se obično mogu uklopiti u određene kategorije bazirane na osnovu mjesta života ili zaposlenja. Rezultati mogu ukazati samo na vjerovatan uzročnik (npr. VNF polje) pošto postoji mnogo uzročnika koji se mogu vezati za svaku osobu.

Epidemiološke studije obrađuju opažene efekte mogućeg opasnog izlaganja EM poljima na ljudsko zdravlje, te da li je izlaganje kvantitativno vezano za te efekte. Treba uočiti da epidemiolozi ne stvaraju polja niti mogu da kontrolišu uzrok oboljenja na način kako istraživači u laboratorijama mogu. Nedostatak znanja kako EM polja reaguju sa živim sistemima čini pitanje procjene uticaja polja glavnim uzrokom nesigurnosti.

Epidemiologija

Nauka koristi moćan alat koji se zove epidemiologija da utvrdi da li postoji određeni rizik od nepoznatog uzroka. Epidemiologija uključuje proučavanje nastajanja neke bolesti u određenoj populaciji koja je izložena nekom mogućem uzročniku bolesti. Dva osnovna pristupa se koriste u radu sa poljima.

Prvi, studije slučaj-kontrola, porede postojeću populaciju slučajeva – grupu ljudi koja boluje od određene bolesti – sa kontrolnom grupom u kojoj nema te bolesti, a po svemu ostalom je slična sa grupom oboljelih ljudi. Tada se porede izlaganja datom uzročniku i utvrđuje vjerovatnoća pojavljivanja bolesti.

Drugi pristup proračunava proporcionalni odnos smrtnosti ili pojavljivanja. Porede se smrtnost od bolesti ili pojavljivanje bolesti u nekoj grupi i u opštoj populaciji.

Oba pristupa uključuju probleme i nedoumice koje se moraju razgraničiti prije nego se donese zaključak da postoji veza između rizika po zdravlje i izlaganja.

Prvi pristup i količnik vjerovatnoće

Epidemiološke studije se sastoje po prvom pristupu od proučavanja u dvije grupe ljudi. Prva grupa se zovu slučajevi (cases), i to su ljudi koji imaju određenu bolest koja je predmet izučavanja. Druga grupa se zovu kontrola (controls), i oni su izabrani iz iste populacije kao i slučajevi, slični su sa njima u svakom pogledu izuzev činjenice da oni nisu bolesni. Rezultat proučavanja se predstavlja kao količnik vjerovatnoće ili KV i kao takav se nalazi u literaturi:

KV se definiše kao količnik gdje je u brojiocu vjerovatnoća da je oboljela osoba bila u prisutvu uzročnika (polja), dok je u imeniocu vjerovatnoća da je zdrava osoba bila u prisutvu uzročnika.

Može se definisati i kao mjera veze, koja brojno opisuje vezu između uzroka i zdravstvenog ishoda na osnovu poređenja. Epidemiolozi moraju izračunati, kao dodatak KV-u, i opseg iznad koga su sigurni da je procjena sigurna. Veličina uzorka je takođe važan faktor proračuna. Manji uzorak, manja sigurnost rezultata. Ako je $KV = 1$, nema razlike između izloženosti u grupi sa bolesti i grupi bez bolesti, što povlači negativnu vezu između bolesti i uzroka. Ako je KV veći od 1, postoji veća

vjerovatnoća da su slučajevi bili izloženi nego kontrolna grupa, pa prema tome postoji pozitivna veza između bolesti i uzroka.

Na primjer, da bi proučili vezu između izloženosti VNF poljima i raka, moramo porediti dvije grupe ljudi: prvu grupu čine ljudi koji su u prošlosti bili izloženi VNF poljima a drugu grupu čine oni koji nisu bili izloženi. Prvu grupu obično čine ljudi koji su živjeli pored izvora VNF polja kao što su energetske vodove ili transformatorske stanice, dok je druga grupa živjela dalje od tih izvora. Zaključak se izvodi da li treba da bude veća zabrinutost u grupi koja je bila izložena.

Brojno gledajući, posmatraćemo studiju od 500 slučajeva koji boluju od raka i 500 kontrolnih primjeraka. Ako je 200 slučajeva bilo izloženo VNF poljima i 300 nije bilo izloženo, vjerovatnoća izloženosti u slučajevima je $200/300=0.66$. Ako je kontrolnoj grupi 130 bilo izloženo, vjerovatnoća izloženosti u kontroli je $130/370=0.35$. Tada je $KV=0.66/0.35=1.88$ što daje pozitivnu vezu između VNF polja i raka.

Jedan od najvrednijih alata u otkrivanju rizika po ljudsko zdravlje vezano za izlaganje EM poljima su studije na grupi ljudi koja je već bila izložena EM poljima. Ovo može uvelike biti postignuto kroz epidemiološke studije, koje su obično posmatračke prirode. Epidemiolozi posmatraju i poredi ljude koji su imali bolest utvrđujući da li su bili prije toga izloženi, a da bi na osnovu toga došli do zaključka da li postoji moguća veza.

Epidemiološke studije o raku

Tokom prethodnih decenija, mnoge epidemiološke studije su pokazale pozitivnu vezu između izlaganja VNF poljima i različitih tipova raka, posebno leukemije kod djece, leukemije kod odraslih, raka mozga, raka dojke, raka pluća, i drugih vrsta raka, bez obzira da li se radilo o radnoj ili životnoj okolini. Sa druge strane, nekoliko studija je pokazalo da je ta veza negativna.

Becker je proveo prvu epidemiološku studiju koja je uzela u obzir utjecaj polja energetskih vodova na zdravlje ranih 70-tih godina prošlog vijeka. Našao je vezu između polja i raka. U sledećim godinama, više epidemioloških studija je provedeno o raku, uglavnom u SAD-u, Evropi i Australiji.

Najveći dio istraživanja u SAD-u tokom devedesetih je izvršeno kao dio programa za istraživanje i širenje informacija u javnosti (RAPID program). Pod pokroviteljstvom Kongresa, ovaj multiagencijski je zamišljen kao dio napora da se utvrdi da li je izloženost EM poljima male frekvencije i malog intenziteta štetno za zdravlje, i ako je tako, da se izvrši procjena rizika. National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) i Department of Energy (DOE) su predvodili ovaj program. Program je bio predviđen da traje 5 godina. 1998. godine je na osnovu kriterija koje je postavila Međunarodna agencija za istraživanja o raku izvršena procjena naučnih dokaza. Nijedna od radnih grupa nije smatrala dokaze dovoljnim da označi VNF polja kao kancerogene ili vjerovatno kancerogene. Međutim, većina od članova ovih radnih grupa je označila energetske vodove kao izvore VNF polja nazivajući takva polja mogućim kancerogenima. Ova odluka je bazirana uveliko na dokazima o povećanom riziku od dječije leukemije u stambenom okruženju i povećanju CLL (chronic lymphocytic leukemia) vezanom za radno okruženje. Za druge vrste raka i nekancerogene pojave, radne grupe su odredile eksperimentalne podatke kao mnogo slabije dokaze.

NIEHS je izdao 15. juna 1999. godine izvještaj u kome je zaključeno da VNF polja mogu prouzrokovati rak, bazirano na epidemiološkim studijama koje ukazuju na

vezu između nekih vrsta leukemije i izloženosti magnetnim poljima. Ali se u izvještaju kaže da nema dosljednog objašnjenja o ovoj vezi, iako su svi drugi mogući uzroci isključeni.

2001. godine dr. Neil Cherry, naučnik sa Novog Zelanda, je sabrao dokaze da su VNF polja opasna po ljudsko zdravlje, posebno za mlade. Iznio je zaključak da je veza između EM polja i leukemije podržana mnogim epidemiološkim studijama.

Leukemija kod djece

Riječ leukemija, koja doslovno znači bijela krv, opisuje različite vrste raka koje nastaju u koštanoj srži gdje se razvijaju krvna zrnca. Poznato je da se tada stvaraju abnormalna bijela krvna zrnca zvana leukociti, koja se bore protiv zdravih bijelih krvnih zrnaca koja su potrebna da se bore protiv bakterijskih, virusnih, i drugih infekcija. Kao dodatak, su pogođena i crvena krvna zrnca i trombociti.

Leukemija predstavlja manje od 4% svih vrsta raka kod ostalih. Međutim, ona je najrašireniji oblik raka kod djece, posebno ALL (acute lymphocytic leukemia). Postoji samo nekoliko poznatih uzroka ALL-a, kao što su genetski poremećaji.

Mehanizmi i posljedice izloženosti EM poljima su su izvedeni iz jedne od prvih epidemioloških studija iz 1979. godine ukazujući na zdravstvene rizike sa $KV \geq 2.35$. Dok je na terenu skupljala podatke o oboljelima od leukemije, Wertheimer-ova je primjetila da djeca u kućama blizu transformatorskih stanica za distribuciju i transformatora imaju veću vjerovatnoću da su oboljela od leukemije. Dalja istraživanja su dovela do objavljivanja rada 1979. godine "Konfiguracija električnih instalacija i rak kod djece" u saradnji sa Edward Leeper-om u American Journal of Epidemiology. U ovom radu, autori su ispitivali raspored instalacija i transformatora u blizini kuća u kojima su umrla djeca od leukemije između 1950. i 1973. godine kao i raspored istih u kontrolnoj grupi djece koja nisu oboljela od leukemije. Došli su do zaključka da konfiguracija instalacija i transformatora blizu kuća oboljelih češće odgovara kategoriji koju su označili kao "konfiguracija velikih struja" ("high current configuration"), nego u kontrolnoj grupi djece.

U studiji izvedenoj na Roud Ajlendu, utvrđen je $KV = 1.09$, te prema tome zaključeno da nema veze između VNF polja i dječije leukemije.

Nekoliko studija je izvedeno 80-tih godina. Ali studije koje je objavio Savitz sa saradnicima su potvrdili studije sa Univerziteta Kolorado. Studija koju je proveo Savitz sa saradnicima u okviru projekta "Njujorški energetske vodovi" je jedna od najbolje provedenih studija. U preko 500 kuća su mjerene vrijednosti polja. U 200 kuća je pravljeno poređenje sa procjenom polja oko instalacija. Ovo je potvrdilo da su konfiguracije koje su koristili Wartheimer i Leeper kao zamjenu za mjerenje polja su se dobro slagale sa izmjerenim vrijednostima. Pronašli su povećanje slučajeva raka i leukemije kod djece vezana za izlaganje poljima iznad $0.25 \mu T$. U studiju su uključeni i drugi značajni faktori. Pored kuće u kojoj su djeca boravila kada im je dijagnozirana bolest, na primjer, takođe su kategorisane kuće u kojima su djeca živjela unazad pet godina. Studija Savitz-a je takođe pokušala da kontroliše nekoliko glavnih potencijalnih uzroka nesporazuma. Uprkos velikoj pažnji, Savitz je istakao da je svaki put kada su polja bila velika, još jedan uzročnik je bio prisutan, te tako pozitivna veza između izlaganja polju i raka može ustvari biti veza između izlaganja nekom drugom uzročniku raka. Jedan od posebno istaknutih mogućih uzroka je gustina saobraćaja blizu kuća.

Sve ovo je potvrđeno i 1991. godine u studiji koju je proveo London sa saradnicima. Ova studija se smatra jednom od najvećih vezanom za dječiju leukemiju. Provedena je u Los Angelesu, Kalifornija, sa $KV = 2.15$.

U Finskoj su provedena istraživanja gdje su procjenjivani rizici od raka kod djece koja žive u blizini nadzemnih vodova koji proizvode polja intenziteta većeg od $0.01 \mu T$. Studija je obuhvatila 68300 dječaka i 66500 djevojčica u dobi od novorođenčeta do 19 godina koji su živjeli u periodu od 1970. do 1989. godine na daljinama do 500 metara od nadzemnih 100 do 400 kV prenosnih vodova. Nije pronađen statistički porast oboljelih od bilo kakvog oblika raka, leukemije ili limfoma kod djece na bilo kom intenzitetu polja. Statistički je primjećen porast tumora nervnog sistema u dječaka koji su bili izloženi magnetnim poljima većim od $0.2 \mu T$. Studija je zaključila da magnetna polja u stambenom okruženju ne predstavljaju zdravstveni rizik od raka kod djece.

Leukemija kod odraslih

Veliki broj studija sa različitim rezultatima povezujući VNF polja sa leukemijom kod odraslih su izvedena širom svijeta.

Studija provedena u Southern California Edison Company među 36221 radnikom u električnim postrojenjima je jedna od njaobuhvatnijih studija do danas. Nije uočen porast rizika od raka.

Kanadski i francuski istraživači, predvođeni dr. Gilles Theriault-om sa McGill Univerziteta u Montrealu su proveli studiju na 223292 radnika u dve velike kompanije u Kanadi i nacionalnoj kompaniji u Francuskoj. Rezulati su pokazali da radnici sa AML (acute myeloid leukemia) su tri puta češći u grupi sa većom kumulativnom izloženošću magnetnim poljima. Međutim, ukupan zaključak nije povezao izloženost VNF poljima i raka.

Značajna studija koja je povezala rak i izloženost magnetnim poljima u širokom opsegu industrija je studija koju je proveo Floderus sa saradnicima sa Swedish National Institute of Working Life. Studija je uključila procjenu izloženosti električnim i magnetnim poljima na 1015 različitih radnih mjesta u Švedskoj i uključila je 1600 ljudi u 169 različitih zanimanja. Istraživači su izvjestili o vezi između izloženosti poljima i povećanog rizika od CLL (chronic lymphocytic leukemia). Takođe je primjećen povećan rizik od tumora mozga na muškarcima mlađim od 40 godina koji su radili u poljima prosječnog intenziteta od $0.2 \mu T$.

Rak mozga

On nije čest. Uzroci su uglavnom nepoznati, iako su neki razlozi vezani za druge vrste raka, kao što su izlaganje hemijskoj i jonizujućoj radijaciji, pušenje, ishrana, i preterano konzumiranje alkohola vezani za rak mozga.

Istraživanja koja su proveli Floderus sa saradnicima, objavljeno u Cancer Causes and Control 5; Sahl sa saradnicima, objavljeno u Epidemiology 4; i Theriault sa saradnicima, objavljeno u American Journal of Epidemiology 139; nisu uočila povećani rizik od raka mozga.

Ako uzmemo u obzir studiju koju je izveo Savitz sa saradnicima 1995. godine, objavljenu u American Journal of Epidemiology 141, smrtnost od raka mozga je povećana u vezi sa dužinom rada na mjestima koja su izložena poljima, ali je još više vezana za intenzitetom magnetnih polja. Primjećeno je da je rizik od raka mozga

povećan ako je intenzitet magnetne indukcije polja bio oko $1.94 \mu T$ godišnje u prethodnih 2 do 10 godina, sa stopom smrtnosti od 2.6 u najizloženijoj grupi. Studija nije pokazala vezu između magnetnih polja na radnim mjestima i leukemije, ali je ukazala na vezu sa rakom mozga.

1999. godine Kheifets sa saradnicima je objavio, u *Occup. Environ. Med.* 56, kombinovanu ponovnu analizu prethodno objavljenih studija o radnicima u elektroenergetskim preduzećima koje su ispitivale potencijalnu vezu između izloženosti magnetnim poljima od energetske instalacije na radnim mjestima te leukemije i raka mozga. Analiza je ukazala na slabu vezu, čak i najizloženijim grupama ta veza nije bila jaka ili statistički značajna.

Rak dojke

Rak dojke označava ubrzan rast i razmnožavanje ćelija u grudnom tkivu. Obično označava maligni tumor koji se razvio iz ćelija u grudima. To je najprisutniji rak među odraslima, naročito ženama. Zbog ranijih istraživanja koja su pronašla da VNF polja utiču na melatonin, razvijena je hipoteza da izlaganje VNF poljima može biti faktor rizika za rak dojke. Ova hipoteza je bazirana na pokazanoj sposobnosti polja da smanje proizvodnju melatonina, i na zapažanjima da melatonin štiti od određenih tipova raka.

Norveški istraživači su objavili da se rak dojke pojavljuje češće kod radnika vezanih za radna mjesta koja uključuju električnu energiju. Broj slučajeva je bio mali, ali veći nego da je to slučajna pojava. Isto je objavio i Demers sa saradnicima, u *American Journal of Epidemiology* 134.

Floderus sa saradnicima je analizirao rizik od raka dojke među svim radnicima u Švedskoj koji su bili zaposleni kao radnici u željeznici. Slučajevi raka dojke su dobijeni iz Nacionalnog registra za rak za period od 1960. do 1979. godine. Izloženost je procjenjivana na osnovu radnih mjesta na kojima je uočeno pojačanje intenziteta polja na osnovu ranijih mjerenja. Značajno povećanje relativnog rizika je uočeno za ljude koji su radili na najizloženijim mjestima: vozači, kondukteri, i radnici na tračnicama u prvoj dekadi, bazirano na dva, tri i četiri slučaja, respektivno. U drugoj dekadi, samo četiri slučaja su nađena, ali niti jedan slučaj u gore navedenim zaposlenjima.

Dr. Patricia Coogan sa saradnicima iz Škole za javno zdravstvo, Univerzitet Boston, je pronašla 43% povećanje od raka dojke u velikoj studiji među ženama koje su radile na radnim mjestima na kojima je veći intenzitet magnetnih polja, naročito onima koje su radile na velikim (mainframe) računarima. Preko 6800 slučajeva raka dojke je dijagnosticirano između 1988. i 1991. godine među ženama u dobi od 74. godine i mlađima u registrovanim slučajevima u Meinu, Viskonsinu i Masečusetsu. Zaposlenja su grupisana u tri kategorije (malo, srednje i veliko) u odnosu na potencijalnu izloženost 60 Hz magnetnim poljima koja su veća od određenog intenziteta magnetne indukcije koje ćemo zvati pozadinsko ili normalno, a sva zaposlenja gdje je intenzitet manji ili jednak od pozadinskog su grupisana u pozadinsku kategoriju. KV po kategorijama je bio 1.0 za malu izloženost, 1.1 za srednju izloženost i 1.4 za veliku izloženost.

Gammon sa saradnicima, objavljeno u *American Journal of Epidemiology* 148, je izveo studiju o električnim ćebadima i riziku od raka dojke kod žena. 2199 slučajeva dijagnostirano je u periodu između 1990. i 1992. godine među ženama mlađim od 55 godina. Primjećeno je da nema ili je rizik jako mali bez obzira na dužinu upotrebe ćebadi, $KV = 1.01$.

Petralia sa saradnicima je ispitivao vezu između izloženosti VNF poljima i raka dojke u Šangaju. Izloženost je bazirana na radnoj istoriji. KV za one koji su bili stalno izloženi VNF poljima je 0.9-1.0 što znači da nema rizika.

Rak pluća

Armstrong sa saradnicima je istraživao vezu između izloženosti VNF polja i raka pluća te je rezultate objavio u American Journal of Epidemiology 140. Analiza se bazirala na mjerenju izloženosti visokofrekventnim EM prelaznim stanjima na 508 slučajeva i 508 kontrolnih uzoraka. Značajna veza je uočena između rizika od raka pluća i kumulativnog izlaganja VNF poljima ($KV = 3.1$).

Istraživači iz Istraživačkog centra za medicinsku fiziku, Univerziteta Bristol u Ujedinjenom Kraljevstvu, su dokazali sposobnost električnog polja na nižim frekvencijama da privuče i koncentriše radon proizveden u njegovoj blizini. Ovako koncentrisani atomi radona brzo privlače molekule vode formirajući ultrafine aerosolne čestice oko 10 nm u prečniku. Postoji mogućnost da ove čestice su onda izazivači raka.

Savitz sa saradnicima je pregledao ponovo studiju sa 5 postrojenja i objavio u Occup. Environ. Med. 54. rezultat u kome je zaključio da nema povećanog rizika.

Rak kože

Rak kože predstavlja polovinu novih prijavljenih slučajeva u Europi i SAD-u. Brojne studije su pronašle indikacije o povećanom riziku od raka kože. Dr. Alan Preece i njegova grupa sa Univerziteta Bristol je ispitivala pojavljivanje raka ispod energetskih linija u Devonu i Kornvolu. Pronašli su značajno povećanje raka kože kod ljudi koji su živjeli na 20 metara od energetskih linija. Kada je populacija podjeljena u područja sa visokom i niskom razinom radona u kućama, utvrđeno je daljnje povećanje rizika u grupi sa povećanom koncentracijom radona u kućama.

Druge epidemiološke studije

Alchajmerova bolest i Demencija

Alchajmerova bolest je najčešći neurodegenerativni poremećaj, koji se uglavnom veže za godine starosti. Svake godine pogodi oko 20 miliona ljudi širom svijeta. To je progresivna, nereverzibilna degenerativna bolest, koja pogađa određene oblasti mozga kod ljudi iznad 65 godina. Dijagnoza uključuje simptome kao što je demencija (gubitak pamćenja i mentalnih funkcija).

Na osnovu uzroka Alchajmerove bolesti, postoji više mogućnosti uključujući indirektnu genetsku promjenu inicirane izloženošću EM poljima. Značajna povećanja oboljelih od ove bolesti je podržano relevantnim epidemiološkim studijama, koje su izvedene u ovom pravcu.

Sobel sa saradnicima je objavio vezu između zaposlenja na kojima je izloženost EM poljima i bolesti u periodu 1994-1995 koristeći tri različite kliničke studije, dvije iz Finske (Univerziteta Helsinki) i jedne iz SAD-a (univerziteta Južne Kalifornije) uključujući 386 oboljelih i 475 kontrolnih slučajeva. Utvrđene vrijednosti KV-a za muškarce i žene daju 2.9, 3.1 i 3.0. Kombinujući podatke došlo se do KV-a od 3.0.

Također su istraživači proučavali slučajeve od 326 pacijenata oboljelih od Alchajmerove bolesti iznad 65 godina starosti koji su smješteni u Centru za dijagnostiku i tretiranje Alchajmerove bolesti, Rancho Los Amigos medicinski centar u Kaliforniji, i poredili ih sa 152 pacijenta koji nisu oboljeli. Pronašli su da muškarci imaju 4.9 puta veću mogućnost da obole ako su radili na mjestima koja su visoko izložena poljima, dok je to kod žena 3.4 puta. Generalno gledano, ovi rezultati ukazuju da ljudi koji su bili izloženi visokim intenzitetima polja na poslu (na primjer, radnici za mašinama za šivenje) imaju tri do 5 puta veću mogućnost da obole od opasnih bolesti vezanih za starija životna doba. Ovaj rizik je veći i za drvodelje, električare, električne i elektronske montere, odnosno za sve koji su držali mašine sa električnim pogonom blizu tijela.

Graves sa saradnicima je objavio studiju, u Alzheimer Disorder Association 13, u kojoj je došao do zaključka da nema veze između zaposlenja sa povećanim intenzitetom EM polja i Alchajmerove bolesti. Procjenjeni KV za grupu pacijenata koja su stalno bila izložena EM poljima je 0.74.

Druge vrste oboljenja

Istraživanja su ukazala na moguće veze sa ALS (amyotrophic lateral sceleris), zatim depresijom, te samoubistvima.

Studije vezane za monitore

Tokom godina istraživačke institucije kao i industrije su provele brojne studije da utvrde zdravstvene rizike, koji mogu nastati usljed dužeg izlaganja monitorima. Studije uvijek dolaze do zaključka da ako se monitori proizvode prema postojećim preporukama i standardima ne postoje značajni zdravstveni rizici za korisnika. Međutim, širok spektar mišljenja postoji o ovoj temi.

Nekoliko fizičkih i biofizičkih mehanizama je uključeno kada se ljudi nalaze u okolini ekrana. Naprezanje očiju, glavobolja, i zamućen vid su tri glavne vizualne zamjerke vezane za upotrebu monitora. Kada osoba dugo gleda uz ekran, očni mišići se zamore. Zamoreni očni mišići vode ka simptomima kao što su suhost, pečenje, iritacija, glavobolja, zamućen vid, vrtoglavica pa čak i blaga mučnina. Kao indirektna posljedica, radnik radi sporijim ritmom i pravi više pogreški. Pored toga javlja se bol u vratu, leđima, zglobovima, ruci i ramenu; a također je povećan i psihološki stres.

Najinteresantnija tema vezana za upotrebu monitora je ona vezana za pobačaje. Interes je povećan kada je objavljen izvještaj da su žene koje su provele više vremena za monitorom imale povećan broj pobačaja. U tom smislu, žene koje su primale trudničku pomoć u okviru jedne velike zdravstvene grupe u Kaliforniji su ispitivane da daju podatke o vremenu provedenom ispred monitora i pojavu pobačaja. Na osnovu njihove procjene o vremenu provedenom ispred monitora došlo se do KV-a od 1.8. Pošto nije uspostavljena veza između određenih zaposlenja i pobačaja, vrijednost ovog izvještaja je kontroverzna.

Finska studija koju je izveo Lindbolm sa saradnicima je ispitivala vezu između radnih mjesta sa monitorima i spontanijih pobačaja u tri kompanije među ženama koje su zaposlene kao službenici. U izvještaju je navedeno da u jednoj od tri kompanije žene koje su imale pobačaj su koristile modele monitora koji su mogli proizvesti magnetna polja iznad $0.3 \mu T$. Međutim, ukupni zaključak je bio da ne postoji veza između pobačaja i upotrebe monitora.

Regulatorne (nadzorne) aktivnosti i sigurnosni trendovi

Da li električna i magnetna polja koja stvaraju uređaji koji koriste, prenose ili proizvode električnu energiju mogu uzrokovati zdravstvene rizike? To je kontroverzno pitanje u naučnoj zajednici današnjice. Ono je izazvalo veliku zabrinutost javnosti, koja najviše datira od 1979. godine kada su epidemiolozi Leeper i Wertheimer objavili vezu između leukemije kod djece i udaljenosti određenih tipova konfiguracija energetskih vodova u blizini mjesta stanovanja. U sledećim godinama, studije su donijele kontradiktorne zaključke.

Zato je možda razumljivo zašto je nacionalnim i međunarodnim regulatornim agencijama teško da odrede preporuke za maksimalnu ljudsku izloženost VNF poljima. U skladu sa tim, takođe se ne može dati odgovor da li je izloženost VNF poljima sigurna. Iako vjerovatnoća rizika postoji, ne mora se uzeti u obzir kao ustanovljena pošto još nije biološki potkrepljena. Danas se svi slažu da je potrebno daljnje istraživanje na ovoj temi.

Standardi sigurnosti

Koncept sigurnosti ili standarda sigurnosti zahtjeva bolje objašnjenje. Izraz "standardi sigurnosti" znači prihvaćeni nivo određenog uzročnika u našoj okolini koji nije opasan za naše zdravlje. Razvoj standarda sigurnosti podrazumjeva sledeće:

1. identifikaciju opasnosti,
2. odabiranje nivoa koji daje okolinu, u gore navedenom smislu, oslobođenu opasnosti.

Praktično, ako bolje razumijemo ili istražimo opasnosti, prije ćemo odrediti standard sigurnosti. Sigurnosni limit, odnosno ograničenje ukazuje da je ispod tog praga EM polje, odnosno njegovi parametri, sigurno u odnosu na dosadašnja naučna saznanja. Sigurnosni limit nije tačna granica između sigurnosti i opasnosti, već ukazuje na činjenicu da se rizik po ljudsko zdravlje povećava ako se izloženost poveća.

Početni svjetski standardi za VNF polja

SSSR je davne 1975. godine postavio prve standarde za VNF dio elektromagnetnog spektra. Međutim, standard koji je najrelevantniji za upotrebu je sastavljen u IEEE-u (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 1991. godine. ANSI (American National Standards Institute) ga je odobrio 1992. godine pod nazivom ANSI C95.1-1992. Ovaj standard preporučuje da izloženost čija srednja vrijednost u bilo kom periodu od šest minuta i u bilo kom presjeku ljudskog tijela ne smije preći $0.614 \frac{kV}{m}$ za električna polja i $163 \frac{A}{m}$ ($205 \mu T$) za magnetna polja. Standard je dizajniran da zadrži indukovane struje u tijelu najmanje za jedan red veličina ispod najmanjeg prijavljenog praga stimulacije električki pobudljivih ćelija.

Pored ovog standarda, u tabeli 2 su prikazani standardi i direktive za izloženost magnetnim poljima.

Institucija/država	Nivo (μT)	
	Radno okruženje	Životno okruženje
ANSI/IEEE (1991)	205	205
Australija (1989)	500	100
Kanada (1989)	5.01	2.26
Masečusets (1986)	1.99	-
SR Njemačka	314	314
NATO (1976)	3.27	-
Vazduhoplovstvo SAD-a (1987)	1.99	1.99
SSSR (1985)	1760	-

tabela 2

VNF standardi u Evropi-Švedska

Švedska je lider u razvoju standarda za vizuelnu ergonomiju (izobličenje karaktera, jasnoća, treperenje) i elektromagnetne emisije monitora. Švedski standardi se u osnovi razlikuju od onih opisanih u prethodnom odjeljku. Dvije istaknute direktive za mjerenje i emisije monitora su se pojavile prethodnih godina. Prva, zvana MPR 2, propisuje limite za emisije električnih i magnetnih polja u VNF i VF opsegu, kao i za elektrostatička polja. Noviji i strožiji standard, iza koga stoji velika švedska unija radnika, propisuje emisije monitora, a od 1995. godine je proširen na cijeli računar.

Nacionalni odbor za zaštitu i zdravlje na radnom mjestu i Švedski institut za zaštitu od zračenja, MPR, su jula 1991. godine su odobrili nove metode za procjenu EM polja koje su nazvane MPR 2. Oni propisuju efektivnu vrijednost (RMS) manju od $0.25 \mu T$ magnetnih emisija u opsegu od 5 Hz do 2 kHz (opseg 1), te efektivnu vrijednost (RMS) manju od $0.025 \mu T$ magnetnih emisija u opsegu od 2 kHz do 400 kHz (opseg 2). Broj mjerenja je 48 za svaki opseg na udaljenostima od 50 cm počevši od tačke ispred monitora, i onda kružno oko monitora na svakih 22,5 ugaonih stepeni što daje 16 tačaka. Ova mjerenja se vrše u tri horizontalne ravni koje su razdvojene 25 cm.

Frekventni opseg	MPR 2	TCO
Električna polja		
Statička polja	+/- 500 V	+/- 500 V
Opseg 1	≤ 25 V/m	≤ 10 V/m
Opseg 2	≤ 2.5 V/m	≤ 1 V/m
Iznad 400 kHz	-	-
Magnetna polja		
Opseg 1	$\leq 0.25 \mu T$	$\leq 0.2 \mu T$
Opseg 2	$\leq 0.025 \mu T$	$\leq 0.025 \mu T$
Iznad 400 kHz	-	-

tabela 3

Mnogi svjetski proizvođači monitora su prihvatili švedske standarde. Međutim, Švedska konfederacija profesionalnih radnika, TCO, koja predstavlja više

od milion radnika, je zatražila strožije limite i testove koji idu ispod $0.2 \mu T$ za VNF magnetna polja na 30 cm od ekrana i 50 cm oko monitora.

U tabeli 3 su dati limiti za MPR 2 i TCO.

Određeni broj eksperata je doveo u pitanje ispravnost $0.025 \mu T$ za opseg 2, ukazujući da polja u ovom opsegu nose više energije nego u opsegu 1. ovi stručnjaci kažu ako niveoe intenziteta magnetne indukcije koristimo da izmjerimo količinu energije u zračenju, onda $0.25 \mu T$ u opsegu 1 odgovara $0.001 \mu T$ u opsegu 2. Odgovor na njihovo pitanje je nepostojanje utvrđenih bioloških razloga na ovom nivou.

VNF standardi u Evropi-Ujedinjeno Kraljevstvo

U UK-u National Radiological Protection Board (NRPB) je donio direktive o ograničenju izloženosti ljudi EM poljima. Ovaj odbor obezbjeđuje informacije i savjetuje ličnosti (uključujući vladine odjele) u vezi obaveza u pogledu zaštite od opasnosti od zračenja bilo zajednice u cjelini ili pojedinih dijelova zajednice.

NRPB je postavio svoje direktive za 50/60 Hz polja na istim osnovama kao i IRPA. Direktive su iste za javnost, kao i za zaposlene. Nivoi polja su $1600 \mu T$ za 50 Hz i $1330 \mu T$ za 60 Hz. Oni su povezani sa indukcijom struja u tijelu i ne obziru se na zabrinutost javnosti vezanu za rak i ostale moguće zdravstvene efekte.

VNF standardi u Evropi-Njemačka

Vrijednosti limita su zakonska obaveza u Njemačkoj, i stupile su na snagu 1. januara 1997. godine. Limiti za električna i magnetna polja za transformaciju i prenos na naponima od i većim od 1000 V su $5 \frac{kV}{m}$ i $100 \mu T$ za 50 Hz, te $10 \frac{kV}{m}$ i $300 \mu T$ za $16\frac{2}{3}$ Hz, respektivno. Pod određenim okolnostima, limit za intenzitet magnetne indukcije se može prekoračiti 100% u kratkom vremenskom periodu, i jačina električnog polja za isti postotak u okviru malog područja.

Direktive u SAD-u vezane za VNF polja

Trenutno ne postoji nijedan opšti standard za izloženost 60 Hz električnim i magnetnim poljima u SAD-u. Međutim, nekoliko država je postavilo zaštitne mjere za električna polja blizu ROW (rights-of-way, zemljište oko energetskih vodova). Samo dvije države, Nju Jork i Florida, su odredile limite za magnetna polja, koji su u opsegu od $15 \mu T$ do $25 \mu T$ na rubovima ROW-a postrojenja. Ove direktive su određene sa ciljem da buduće energetske linije ne pređu sadašnje niveoe VNF polja. One nisu predviđene da budu standardi sa obzirom na zdravlje. Tabela 4 daje prikaz direktiva u nekim državama vezano za VNF električna polja energetskih vodova.

Država	Električna polja	
	ROW	Rub ROW-a
Florida	8 kV/m^1	2 kV/m
	10 kV/m^2	-
Minesota	8 kV/m	-

Montana	7 kV/m ³	1 kV/m
Nju Džersi	-	3 kV/m
	11.8 kV/m	1.6 kV/m
Nju Jork	11 kV/m ⁴	-
	7 kV/m ³	-
Oregon	9 kV/m	-

¹ za dva trofazna sistema na stubu (69-230 kV)

² za jedan trofazni sistem na stubu (500 kV)

³ maksimum za ukrštanje sa autoputem

⁴ za 500 kV vodove na određenim postojećim ROW

tabela 4

Tabela 5 prikazuje direktive za magnetna polja energetskih vodova u Nju Jorku i Floridi.

Država	Magnetna polja na rubu ROW-a
	15 mT ¹
Florida	20 mT ²
	25 mT ³
Nju Jork	20 mT ⁴

¹ za dva trofazna sistema na stubu (69-230 kV)

² za jedan trofazni sistem na stubu (500 kV)

³ maksimum za ukrštanje sa autoputem

⁴ za 500 kV vodove na određenim postojećim ROW

tabela 5

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) je nezavisna organizacija koja je dala svoje vrijednosti limita kojima mogu biti izloženi ljudi na radnim mjestima. Ti limiti su $614 \frac{V}{m}$ za jačinu električnog polja u opsegu frekvencija od 30 do 3000 kHz i $205 \mu T$ za intenzitet magnetnog polja u frekventnom opsegu od 30 do 100 kHz. Za 60 Hz VNF polja te vrijednosti su $25 \frac{kV}{m}$ te 1 mT.

ICNIRP standard za VNF polja

1989. godine IRPA (International Radiation Protection Association) je odobrila direktive o izloženosti VNF poljima koje je pripremila njena komisija ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), a date su u tabeli 6.

Ove direktive su rezultat saradnje sa WHO (Svjetskom Zdravstvenom Organizacijom) i UNEP-om (United Nations Environment Program). Direktive su imale namjeru da spriječe efekte kao što je indukovanje struja u ćelijama ili stimulacija nerava.

Važno je napomenuti da su ove direktive razvijene da se izbjegne trenutna opasnost od polja visokog intenziteta, i nije uzeto u obzir duže dejstvo polja niskog intenziteta. IRPA je u kratkim crtama obrazložila svoje standarde istraživanjima do danas. Ograničenja polja odgovaraju intenzitetima gustine struje koji bi se indukovali

u ljudskom tijelu od $10 \frac{mA}{m^2}$. IRPA dokument navodi da su manje biološke reakcije prijavili istraživači ispod ove gustine struje, ali da su efekti-na vid i nervni sistem, na primjer- iznad tog nivoa čvrsto ustanovljeni. Za kontinualno izlaganje javnosti, IRPA je postavila $100 \mu T$ za maksimum izlaganja magnetnim poljima. Za izlaganja na radnom mjestu, magnetno polje od $500 \mu T$ je dozvoljeno tokom cijelog radnog dana. Mike Repacholi, predsjedavajući komiteta IRPA-e o nejonizujućem zračenjem, je izjavio da limiti se mogu mjenjati kako se budu saznawali novi podaci.

Limiti IRPA-e za magnetna polja su još uvijek veći i to za oko 5 puta od vrijedosti polja koja postoje unutar mnogih ROW-a prenosnih vodova. 1979. godine epidemiološka studija Wertheimer-Leeper i studija David Savitz-a 1986. godine ukazuju da izlaganje magnetnim poljima manjim od $0.25 \mu T$ utiče na porast pojavljivanja raka.

Prema Frank Barnes-u, predsjedavajućem odjela za elektrotehničko inženjerstvo u University of Colorado u Boulder-u, koji je pomagao oko mjerenja magnetnih polja i klasifikacije instalacija za studiju Savitz-a, javnosti bi trebala biti svjesna da gustine struja na kojima su vidljivi efekti u laboratorijama su 10 do 100 puta veće nego one koje se pokazuju u epidemiološkim studijama, ukazujući da možda je još neki drugi faktor uključen u epidemiološke veze.

	Električno polje - kV/m (efektivna vrijednost)	Magnetno polje - mT (efektivna vrijednost)
Radno okruženje		
Cijeli dan	10	0.5
Kratak period (2 sata/danu)	30	5
Za udove	-	25
Životno okruženje		
Cijeli dan	5	0.1
Nekoliko sati u danu	10	1

tabela 6

Upravljanje poljem

Krajnji zahtjev korisnika je da se postigne upravljanje poljem, koje uključuje smanjenje, izbjegavanje, ili eliminaciju određenih polja ili karakteristika polja. Proces upravljanja poljem zavisi od nivoa polja, a ono zavisi od jačine polja, frekvencije, usmjerenja, i tipa izvora polja.

Tehnike redukcije polja za energetske vodove

Redukcija magnetnih polja koje generišu energetske vodove može da se uradi na nekoliko načina, a to su zamjena nadzemnih vodova podzemnim kablovima, određivanje većih ROW-a i korištenje tehnika poništavanja.

Ukopavanje nadzemnih vodova može značajno smanjiti njihova VNF polja, posebno električna polja. Redukcija magnetnih polja se ne dešava zbog stavljanja vodova pod zemlju, već se to dešava zahvaljujući činjenici da podzemni vodovi koriste plastiku ili ulje kao izolator. Ovo omogućava provodnicima da budu stavljeni

bliže i prema tome to omogućuje bolje fazno poništavanje. Kada stavimo visokovoltazne kablove pod zemlju oni moraju biti na rastojanju od najmanje 15 do 30 cm da bi se ograničilo međusobno grijanje i moraju biti ukopani dovoljno duboko da bi se dobilo odobrenje za aktivnosti iznad zemlje. Za kablove koji rade na i iznad 33 kV, rovovi širi od jednog metra moraju biti iskopani dok širina prostora za više kablova, da bi bili optimalno smješteni, može ići i do 30 metara. Kao posljedica, visokovoltazni podzemni kablovi predviđeni za veće udaljenosti su skuplji i uključuju obiman rad prilikom postavljanja i održavanja. Na primjer, cijena postavljanja, u odnosu na nadzemne vodove, je veća i ide od 2:1 na 11 kV do 20:1 za 400 kV vodove. Takođe treba primjetiti da jačina polja podzemnih kablova na nivou zemlje opada mnogo brže sa udaljavanjem nego za nadzemne vodove, ali na manjim udaljenostima može biti mnogo veća. Prema Swanson-u i Renew-u, objavljenom u Engineering Science and Education Journal, magnetna polja ispod nadzemnih vodova su oko $24 \mu T$, dok vrijednosti polja podzemnih kablova direktno ispod su izmjerena i oko $100 \mu T$. Na udaljenostima od 30 metara, vrijednosti polja nadzemnih vodova su bila oko $4 \mu T$, a za podzemne kablove ispod $1 \mu T$.

Termin ROW pokriva sve akcije na zemljištu, dozvoljavajući upotrebu i mjenjanje tog prostora kroz izgradnju nadzemnih vodova i komunikacijskih vodova, ili zgrada (elektrana, stanica, radio tornjeva, itd.). Takva odobrenja se daju na veći period, 10 godina i više. Važno je znati da najveća jačina magnetnog polja čiji je izvor visokonaponski energetski vod u ROW-u tokom vršne potrošnje može biti manje od srednje vrijednosti mjerenja magnetnih polja mnogih uređaja. Međutim, trajanje polja a time i izloženosti je obično mnogo duže. U ovoj činjenici leži pravo javnosti za zabrinutost. Zbog trajanja izloženosti, postoje zahtjevi da se proširi prostor ROW-a, iako takva akcija podrazumjeva povećane finansijske zahtjeve. Takođe postoji ideja o izgradnji viših stubova, a time se vodovi udaljavaju od nivoa zemlje.

Prespajanje faza na vodovima tako da se magnetna polja djelimično ponište je jednostavan metod koji se može primjeniti bilo na novim ili starim prenosnim vodovima sa dva trofazna sistema na jednom stubu. Prvi put je primjenjen sredinom sedamdesetih da bi se smanjila električna polja, ali nije u širokoj primjeni zato što pojačava koronu koja uzrokuje pucketanje i zujanje kao i interferenciju kod radija.

Kod ovih vodova, dva trofazna sistema su stavljena na suprotne strane prenosnog stuba. Da bi dobili poništavanje polja od 50% ili više vezanim na zajedničke sabirnice na oba kraja, red faza (A-B-C) se mjenja kod jednog trofaznog sistema (C-B-A) respektivno u odnosu na drugi. Početkom 1989, Bonneville Power Administration je usvojila direktive za implementiranje ove niskoreaktivne šeme za smanjenje magnetnih polja na novim i postojećim rješenjima sa dva trofazna sistema na jednom stubu u prenosu.

Za vodove sa jednim trofaznim sistemom na stubu, koje možemo pronaći na nekim prenosnim stubovima i mnogim distributivnim stubovima, značajno poništavanje se može postići promjenom u delta kofiguraciju faza umjesto standardne konfiguracije sve faze sa jedne strane vertikalno jedna ispod druge. Takođe pomaže primicanje faznih provodnika, ali to smanjuje sigurnost radnika u održavanju na vodovima i smanjuje sposobnosti voda prilikom atmosferskih pražnjenja.

Struje uzemljenja mogu biti veliki izvor izlaganja magnetnim poljima u kući, ali je javnost nesvjesna te mogućnosti. U SAD-u i drugim zemljama, dodatne podzemne komunalne usluge, uključujući gas, kablovsku TV, telefon, i vodovod, su često spojeni na električno uzemljenje radi sigurnosti. Posljedično, nulte povratne struje mogu teći kroz sve ove sisteme kao i kroz nule električne mreže, smanjujući

povratnu struju i time smanjujući efekat poništavanja polja. Ova nesimetričnost se može javiti i kod nadzemnih distributivnih vodova.

Iako podaci za poređenja nisu još dostupni, izloženost magnetnim poljima u Zapadnoj Njemačkoj bi mogla biti manja nego u SAD-u pošto nule nisu povezane sa ostalim uslužnim sistemima. Sistem u Japanu je hibrid između SAD-a i Njemačke. Zemlje sa 220 V sistemima imaju manje nivoe polja nego one zemlje sa sistemom od 110 V pošto je struja upola manja za isti nivo snage.

Promjena tehnika uzemljavanja u novim domovima zahtjeva prevazilaženje ugrađene inercije i kooperaciju svih koji postavljaju električne, vodovodne, i ostale instalacije u zgradama, rekao je Rauch, projekt menadžer u odjeljenju EPRI-a za električne sisteme. "Dio naše strategije u upravljanju magnetnim poljima je izgradnja saveza sa ostalim organizacijama koje su uključene u promjenu prakse postavljanja instalacija".

Nakon prenosnih vodova, velika pažnja je posvećena stubnim transformatorima u blizini kuća. Međutim njihova vanjska polja su konstruktivno mala radi efikasnijeg rada, i opadaju vrlo brzo tako da predstavljaju mali izvor izlaganja magnetnim poljima.

Smanjivanje izloženosti VNF poljima

Postoje određeni uopšteni postupci i sugestije za smanjivanje nivoa električnih i magnetnih polja na radnom mjestu i u kući. Nabrojaćemo ove postupke, koje se koriste inače prije upotrebe tehnika ograničavanja polja koje ćemo obraditi malo kasnije:

1. odrediti izvore VNF polja
2. koristiti svežnjeve kablova i uvrnute kablove za smanjenje stvaranja polja
3. pozicionirati razvodne ormane i razvodne table daleko od više korištenih prostorija
4. postaviti pravilno uzemljenje.
5. postaviti visoko opterećene instalacije dalje od više korištenog prostora
6. izbjegavati razdvajanja faze i nultog provodnika
7. postavljati uređaje koji puno troše električnu energiju kao što je bojler dalje od spavaćih soba, kuhinje, i slično
8. izbjegavati upotrebu uređaja kao što je električni sat blizu kreveta
9. kao zadnje rješenje koristiti tehnike ograničavanja za smanjenje nivoa polja.

Tehnika ograničavanja podrazumjeva mjere da se polje oko područja koje se smatra osjetljivim preusmjeri ili da se polje zadrži u okvirima izvora koji ga proizvodi.

Slabljenje električnih polja

Zbog velike razlike u provodnosti, stavljanjem bilo koje uzemljene metalne površine između korisnika i izvora električnog polja ćemo poništiti utjecaj električnog polja. Metalna površina može biti na primjer bilo kakva metalna pletena ograda.

Slabljenje magnetnih polja

U opštem slučaju postoje dva metoda za slabljenje magnetnih polja: tehnika aktivnog oklapanja i tehnika pasivnog oklapanja.

Tehnika pasivnog oklapanja polja

Tehnika pasivnog oklapanja polja je podjeljena na dva osnovna tipa u zavisnosti od odabira materijala: feromagnetna i provodna. Oklop od feromagnetnog materijala je napravljen od visoko permeabilnih materijala, posebno legure mumetal (sastav je 80% nikl, 15% željezo, sa dodacima bakra, molibdena ili hroma). Relativna permeabilnost iznosi od 350000 do 500000, u zavisnosti od sastava i procesa kaljenja. Materijal ili odvaja ili okružuje štitičnika od izvora magnetnog polja. Svi materijali za oklapanje rade tako da usmjere polja ka sebi. Zatvoreni oblici su najefektivniji za oklapanje.

Ograničavanja provodnim materijalima zavisi od gubitaka usljed vrtložnih struja koje se indukuju unutar provodnih materijala. Kada provodni materijal izložimo VNF polju, u njemu se indukuju električne struje, koje teku u zatvorenim kružnim konturama okomitim na smjer prostiranja polja. Prema Lencovom zakonu, ove indukovane struje se protive promjenama u polju koje ih indukuje, pa prema tome magnetna polja koje proizvode vrtložne struje teže da ponište vanjska polja blizu provodne površine, i time stvaraju efekat oklapanja. Često je efektivno mada skupo oklapati polja višestrukim slojevima sastavljenim od visoko provodnih aluminijum/bakar listovima, te visoko permeabilnim mumetal limovima.

Praktično, efekat oklapanja zavisi od sledećih uslova:

1. najgoreg predviđenog slučaja intenziteta magnetne indukcije i Zemljinog geomagnetnog polja na toj lokaciji
2. tipa materijala i osobina kao što su provodnost, permeabilnost, indukcija, i zasićenje, koje su osobine debljine materijala
3. broja zaštitnih slojeva i razmaka između limova materijala i slojeva

Nažalost, oklapanje je više stvar prakse nego nauke, posebno kada štitimo veoma velika područja i prostorijske od većeg broja visoko intenzivnih izvora magnetnog polja.

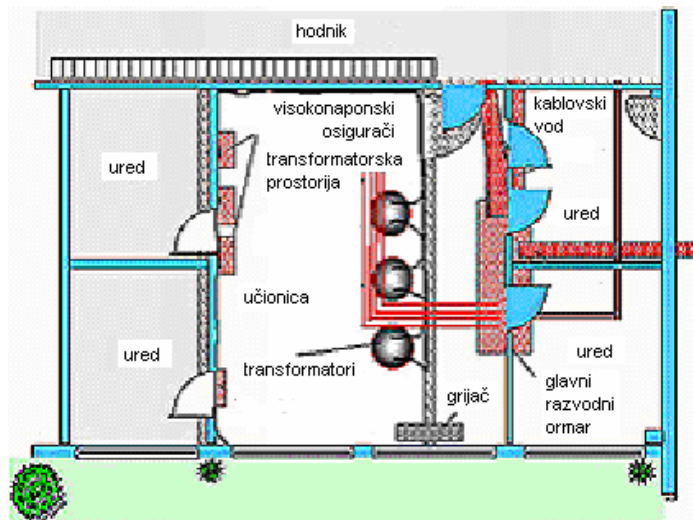
Primjer pasivnog oklapanja polja

Nivoi magnetnog polja dovoljni da izazovu pojačane poremećaje na monitorima i zabrinutost usljed neizvjesnih zdravstvenih efekata su naterali upravu jedne škole u SAD-u da napuste korištenje velike učionice i ureda uz učionicu koji su locirani direktno iznad prostorije u podrumu u kojoj se nalaze transformator i glavne razvodne table.



Na sledećoj slici vidimo zajednički pogled na sprat sa učionicom i podrumске električne instalacije koji pokazuje da je transformator i razvodne table direktno ispod

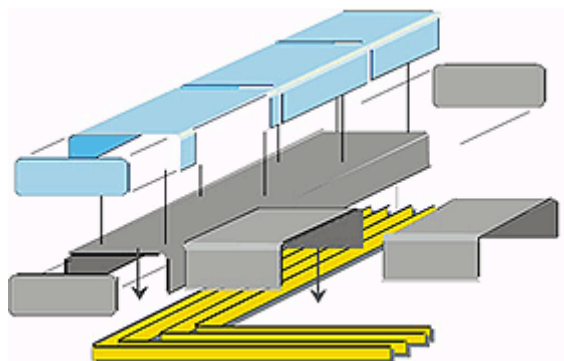
učionice. Vršna vrijednost intenziteta magnetne indukcije je $11.2 \mu T$, dok je srednja vrijednost za cijelu prostoriju $2.6 \mu T$.



Otvorene bakrene sabirnice su montirane na plafon transformatorske prostorije (odmah ispod poda učionice) i one su najveći izvor magnetnih polja.



Kao prvu mjeru slabljenja polja, dizajniran je standardni višeslojni magnetni oklop za sabirnice i instalacije oko njih.



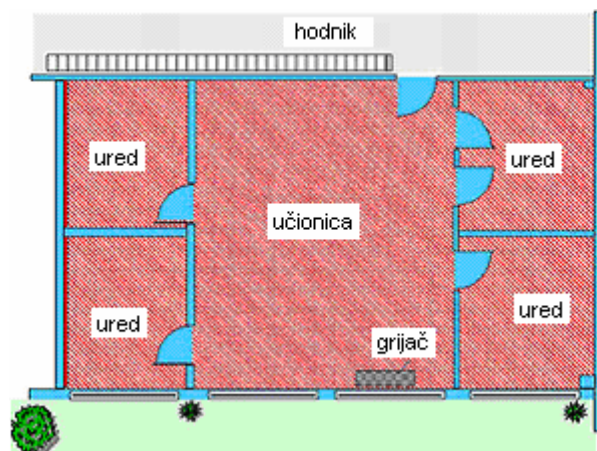
Ovo je pogled na taj oklop, prije nego je poslan u školu.



Ovo je fotografija montiranog oklopa oko sabirnica.



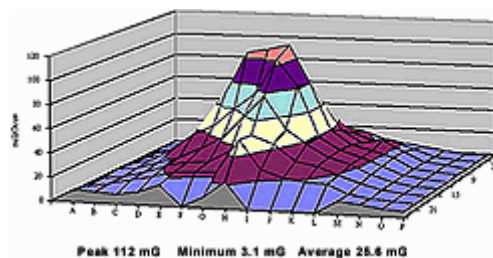
Kao druga mjera u slabljenju polja u području učionice i okolnih ureda, montirana je ravna ploha od materijala za oklapanje na pod učionice i ureda.



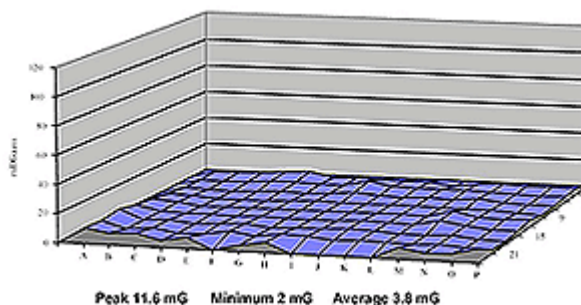
Naredna fotografija pokazuje montiranu plohu na pod učionice i okolnih ureda.



Naredna trodimenzionalna slika prikazuje magnetno polje na jedan metar od poda, u području učionice prije instalisanja zaštite. Kao što vidimo vršna vrijednost je 112 mG ($11.2 \mu T$), a srednja 26 ($2.6 \mu T$) za područje cijele učionice i okolnih ureda.



Ova trodimenzionalna slika pokazuje magnetno polje na jedan metar od poda, i kao što se vidi iz prikazanog ostvarena je vršna vrijednost od 11.6 mG ($1.16 \mu T$) te srednja vrijednost od 3.8 mG ($0.38 \mu T$).



Tehnika aktivnog oklapanja polja

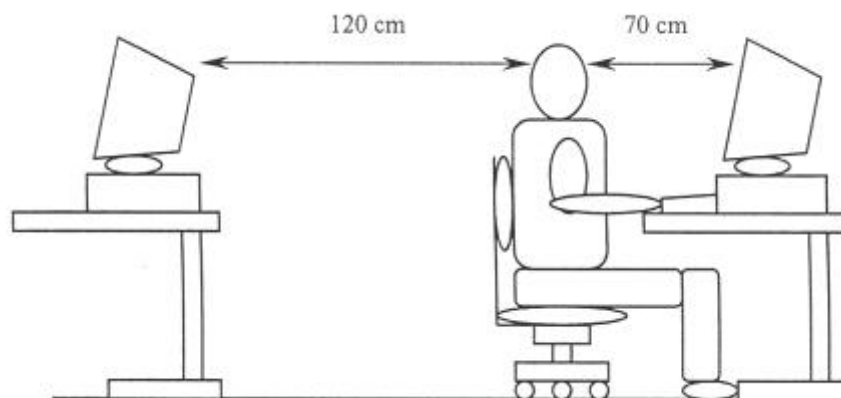
Upotreba ove tehnike uključuje sistem koji senzorskim putem prvo upozorava na pojavu magnetnih polja u šticejnoj zoni, i putem povratne veze, generiše struju u dodatnim provodnicima tako da se smanje magnetna polja u šticejnoj zoni. Ova tehnika je najbolja u smislu šticejenja kompletne prostorije i instrumenata, nakon što su jaki lokalni izvori polja premješteni ili pasivno zaštićeni.

Zaštita od monitora

Nabrajaćemo nekoliko jednostavnih postupaka u cilju smanjenja izloženosti:

1. koristiti monitore sa malom emisijom,

2. smanjiti upotrebu računara kao najbolji korak. Takođe je preporučljivo da operateri za monitorom u cilju smanjenja naprezanja očiju uzimaju odmor, na primjer, nakon sata rada za monitorom,
3. većina polja dolazi od induktivnih komponenata koje se nalaze sa strane ili na pozadini opreme. U skladu sa tim, izbjegavati sjediti ili raditi na mjestima koji su udaljeni ispod 1.2 m (slika 11),



slika 11

4. sjediti na udaljenosti od najmanje 70 cm od ekrana pošto magnetna polja opadaju naglo udaljavanjem od monitora (slika 11),
5. korisnici monitora treba da su svjesni ergonomskih problema, koji se mogu popraviti upotrebom odgovarajućih naočara (izbjegavati nošenje metalnih objekata),
6. ne stavljati krevet sa strane zida gdje se nalazi računar, pošto građevinski materijali ne štite od magnetnih polja,
7. prije nego počnete koristiti nov računar, trebalo bi ga držati upaljenog par dana u prozračenoj praznoj sobi da se oslobodi viška gasova
8. ugaziti računar kada se ne upotrebljava,
9. laptop sa LCD ekranom, koji zahtjeva manje napajanje i uži opseg frekvencija, bi mogao zamijeniti ston konfiguracije. Međutim treba paziti na polja koja dolaze od područja ispod tastature.

Zaključak

Kao što smo vidjeli biološki efekat EM polja je svaka fiziološka promjena na živom organizmu, nastala dejstvom tih polja. Produženo dejstvo bioloških efekata može da dovede do trajnih oštećenja zdravlja čovjeka. Prema podacima koji su mi bili dostupni, biološki efekti, koji su povezani sa negativnim posljedicama po zdravlje, ispitivani u laboratorijskim studijama, se dešavaju pri jačinama polja koje su znatno veće od onih jačina polja sa kojima se susrećemo u normalnom okruženju. Međutim, ono što upozorava na uticaj EM polja jesu epidemiološka istraživanja koja ukazuju da EM polja imaju uticaj na žive organizme i pri vrijednostima koje se susreću u svakodnevnom (normalnom) okruženju. Ovo je glavna kontroverza ovog pitanja, a samim time i mjera koje bi trebalo poduzimati.

Epidemiološka ispitivanja su ustanovila samo vezu između VNF polja i štetnih bioloških efekata. Nedovoljno ustanovljeni mehanizmi koji dovode do tih efekata, te obim uticaja daju za pravo i onima koji tvrde da ne treba činiti nikakvu akciju dok se ne postignu zadovoljavajući naučni rezultati. Nekoliko razloga koji doprinose razmišljanju zašto se ništa štetno ne bi trebalo desiti nakon izloženosti niskofrekventnim električnim i magnetnim poljima su:

- Džulova toplota proizvedena u tkivu tijela usljed struja indukovanih u tijelu niskofrekventnim poljima, je manja od 0.0001 dijela sopstvene toplote tijela;
- Niskofrekventna polja nose premalo energije u kvantima za razbijanje hemijske veze i molekula i time ne čine oštećenja biološkog tkiva kao jonizujuće zračenje, na primjer X-zraci;
- Električna polja proizvedena u tijelu vanjskim izvorima su obično mnogo manja od polja koja se javljaju prirodno unutar tijela, posebno onih kao posljedica potencijalne razlike koju proizvode "jonske pumpe" koje pomjeraju jone u i izvan ćelije;
- Struje indukovane u tijelu često nisu veće od onih koje se indukuju kretanjem u magnetnom polju Zemlje.

Na osnovu naprijed izloženog takođe treba reći da je eksplicitno i rigorozno prezentovanje rezultata istraživanja po razmatranoj problematici delikatno sa dva aspekta:

1. ne reći punu istinu o mogućim, iako malim, štetnim uticajima pojedinih vidova polja i u pojedinim situacijama bi išlo na štetu naučne istine i bilo bi u neku ruku obmanjivanje javnosti,
2. rigorozno prezentovanje rezultata istraživanja imalo bi za posledicu ekonomske efekte na račun vlasnika sistema, sredstava i uređaja na koja se odnose prethodno pomenuta istraživanja.

Konkretnije, ukoliko bi se donijele zakonske odredbe da se svi sumnjivi slučajevi rekonstruišu ili im se nametnu dodatni vidovi zaštite to bi zahtjevalo velika finansijska ulaganja. Kako stvari izgledaju, između ova dva granična slučaja još uvijek će da budu na snazi kompromisni stavovi, što uključuje:

1. precautionary principle - obazriv pristup,
2. prudent avoidance - obazrivo izbjegavanje,
3. ALARA pristup (as low as reasonably acceptable)-toliko malo koliko je razumno prihvatljivo.

1. Obazriv pristup reflektuje potrebu da se preduzme nekakva akcija po razumnoj cijeni i bez dokaza o ozbiljnim posljedicama ne čekajući rezultate naučnih istraživanja.

2. Obazrivo izbjegavanje se definiše kao preduzimanje koraka da se ljudi sklone sa puteva polja preusmjeravajući dijelove EES-a i redizajnirajući uređaje te instalacije. Ova politika usmjerava na preduzimanje određenih koraka za smanjenje izloženosti koji se mogu uraditi uz minimalne troškove, dok se ne utvrdi više. Ova politika takođe ohrabruje usvajanje pojedinačnih i društvenih navika da se izbjegava nepotrebno izlaganje EM poljima. Neki koraci obazrivog izbjegavanja koji neće značajnije izmjeniti konstrukciju novih postrojenja uključuju:

- Usvajanje pravila da se energetske vodove udalje od mjesta stanovanja (Kolorado to radi).
- Modifikovanje pravila ROW-a tako da se ograniče ili zabrane stvari kao što su mjesta za parkiranje ili zasadi drveća (Southern California Edison ima već dugo ovu politiku prema sekundarnoj upotrebi ROW-a koja nije inicirana izbjegavanjem polja)
- Proširivanje pravila ROW-a
- Ograničavanje na postavljanje samo prenosnih i/ili distributivnih vodova koji proizvode mala ili nikakva polja u gusto naseljenim područjima (mnoge kompanije to rade iz nekih drugih razloga).

Mnogi pojedinci su već počeli sa praksom obazrivog izbjegavanja. Prestali su koristiti električnu ćebad ili ostale oblike električnog grijanja kreveta; preraspoređivanje u domovima, uredima ili školima vrše tako da se izvori jakih polja kao što su mali električni satovi pomjere na nekoliko decimetara od mjesta gdje se provodi veliki dio vremena; pomjerati krevete ili stolove na onu stranu prostorije koja je najudaljenija od unutrašnjih i spoljnih instalacija; te pomjeranje kompjutera dalje na stolu.

Polja ne moraju predstavljati rizik, pa takve akcije mogu biti beskorisne. One mogu biti beskorisne čak i ako polja predstavljaju rizik. Ali, koštaju malo, ne mogu biti štetni, a mogu pomoći.

Način na koji društvo reaguje na opasnosti je postavljanje standarda, ali današnje naučno razumjevanje ne može stati iz standarda. Ako neka država želi da objavi standarde o izloženosti, onda se suočava sa tri izbora: pretvarati se da će nauka podržati standarde sigurnosti; koristiti standard radi implementacije strategije obazrivog izbjegavanja; ili postaviti standarde na bazi pravednosti ili "sličnosti", odnosno, učiniti polja sa kojima se susreću ljudi u okolini energetskih vodova sličnim onima koja se mogu susresti u normalnom okruženju. Nekoliko država-Kolorado i Florida, na primjer- su bazirali svoje standarde na kombinaciji obazrivog izbjegavanja i pravednosti.

3. ALARA je politika koja koristi minimiziranje poznatih rizika, ostvarujući izlaganje niskim koliko je to moguće, uzimajući u obzir troškove, tehnološke povlastice, sigurnost te ostale socijalne i ekonomske pokazatelje.

Korištena literatura

1. Riadh W.Y. Habash, Electromagnetic Fields and Radiation, Marcel Dekker Inc, New York-Basel,
2. IEEE Spectrum, Special Report - Electromagnetic fields: the jury's still out, Fitzgerald, Morgan, and Nair, august 1990
3. Branko D. Popović, Elektromagnetika, Nauka, Beograd, 1997. godina
4. Lakić Dragoljub, Influence of electric i magnetic fields on human health, seminarski rad radjen u toku boravka na Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Institut für Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik, 2003. godina

Sadržaj

Uvod.....	1
Elektromagnetni frekventni spektar.....	2
Nejonizujuće zračenje.....	3
VNF električna i magnetna polja.....	3
Radiofrekventno zračenje (RFZ).....	3
Nekoherentno optičko zračenje.....	4
Polja vrlo niskih frekvencija.....	5
Izvori električnih i magnetnih polja.....	5
DC izvori.....	5
Magnetosfera.....	5
Magnetna rezonanca.....	6
AC izvori.....	6
Jedan provodnik.....	7
Dva provodnika.....	7
Navojak kao izvor.....	7
Trofazni izvori.....	8
VNF polja u našem okruženju.....	8
Elektroenergetski sistem.....	8
Nadzemni energetske vodovi.....	9
Podzemni kablovi.....	10
Transformatorske stanice.....	10
Transformatori.....	10
Električne instalacije.....	11
Prevozna sredstva.....	11
Električni uređaji.....	11
Biološki efekti VNF polja.....	13
Interakcijski mehanizmi.....	13
Indukovanje struja.....	13
Magnetne biosupstance.....	14
Slobodni radikali.....	14
Ćelijska membrana i hemijska veza.....	15
VNF polja i rak.....	15
Nastanak raka.....	15
Kancerogeneza.....	16
Hipoteza o melatoninu.....	16
Ćelijske studije.....	18
Efekti relevantni za rak.....	18
Transport kalcijuma.....	19
Enzimske aktivnosti.....	20
Ostali mogući efekti.....	20
Studije na životinjama.....	21
Studije na ljudima.....	22
Promjene u ponašanju.....	22
Kardiovaskularni sistem.....	22
Sindrom hroničnog umora.....	23
Električna osjetljivost.....	23

Epidemiološke studije.....	24
Epidemiologija.....	24
Prvi pristup i količnik vjerovatnoće.....	24
Epidemiološke studije o raku.....	25
Leukemija kod djece.....	26
Leukemija kod odraslih.....	27
Rak mozga.....	27
Rak dojke.....	28
Rak pluća.....	29
Rak kože.....	29
Druge epidemiološke studije.....	29
Alchajmerova bolest i Demencija.....	29
Druge vrste oboljenja.....	30
Studije vezane za monitore.....	30
Regulatorne (nadzorne) aktivnosti i sigurnosni trendovi.....	31
Standardi sigurnosti.....	31
Početni svjetski standardi za VNF polja.....	31
VNF standardi u Evropi-Švedska.....	32
VNF standardi u Evropi-Ujedinjeno Kraljevstvo.....	33
VNF standardi u Evropi-Njemačka.....	33
Direktive u SAD-u vezane za VNF polja.....	33
ICNIRP standard za VNF polja.....	34
Upravljanje poljem.....	35
Tehnike redukcije polja za energetske vodove.....	35
Smanjivanje izloženosti VNF poljima.....	37
Slabljenje električnih polja.....	37
Slabljenje magnetnih polja.....	37
Tehnika pasivnog oklapanja polja.....	38
Primjer pasivnog oklapanja polja.....	38
Tehnika aktivnog oklapanja polja.....	41
Zaštita od monitora.....	41
Zaključak.....	43
Korištena literatura.....	45
Sadržaj.....	46