

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU**

VLATKO VUJNOVAC

**UTJECAJ NEIONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA
ZDRAVLJE LJUDI**

Diplomski rad

Osijek, 2012

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU**

VLATKO VUJNOVAC

**UTJECAJ NEIONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA
ZDRAVLJE LJUDI**

Diplomski rad

predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja zvanja profesora fizike i informatike

Osijek, 2012

**Ovaj diplomski rad je izrađen u Osijeku
pod vodstvom prof.dr.sc. Branka Vukovića u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija
fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta
Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.**

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod..... | 7 |
| 2. Titranje..... | 8 |
| 2.1. Sila..... | 9 |
| 2.2. Elongacija..... | 9 |
| 2.3. Brzina..... | 10 |
| 2.4. Akceleracija..... | 11 |
| 2.5. Energija oscilatora..... | 11 |
| 2.6. Prigušeno titranje..... | 12 |
| 2.7. Prisilno titranje i rezonancija..... | 12 |
| 3. Valovi..... | 13 |
| 3.1. Karakteristične valne veličine..... | 13 |
| 3.2. Slaganje valova..... | 14 |
| 3.2.1. Pojačanje valova..... | 15 |
| 3.2.2. Poništenje valova..... | 16 |
| 3.2.3. Stojni val..... | 16 |
| 3.2.4. Valni udari..... | 16 |
| 3.3. Vrste valova..... | 17 |
| 3.4. Huyensov princip..... | 22 |
| 3.5. Odbijanje i lom valova..... | 22 |
| 3.6. Zvučni valovi..... | 23 |
| 3.7. Elektromagnetski valovi..... | 23 |
| 3.7.1. Nastajanje elektromagnetskih valova..... | 24 |
| 3.7.2. Spektar elektromagnetskih valova..... | 25 |
| 4. Neionizirajuće zračenje..... | 25 |
| 4.1. Optičko zračenje..... | 26 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.2. | Radiovalno i mikrovalno zračenje | 26 |
| 4.3. | Zračenje ekstremno niskih frekvencija..... | 29 |
| 4.4. | Prirodno zračenje | 31 |
| 5. | Instrumenti za mjerenje zračenja | 32 |
| 6. | Princip predostrožnosti | 34 |
| 7. | Izloženost stanovništva Hrvatske elektromagnetskom zračenju u području frekvencija od MHz do GHz | 35 |
| 7.1. | Mogući učinci elektromagnetskog zračenja visokih frekvencija na biološki materijal.. | 37 |
| 7.2. | Kvalitativna dozimetrija elektromagnetskog visokofrekventnog neionizirajućeg zračenja..... | 38 |
| 8. | Izloženost ljudi neionizirajućim elektromagnetskim poljima od ekstremno niskih do mikrovalnih frekvencija | 41 |
| 9. | Djelovanje neionizirajućeg elektromagnetskog polja na razini stanice | 46 |
| 10. | Mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja | 46 |
| 11. | Zaključak..... | 47 |
| 12. | Literatura | 49 |
| 13. | Životopis..... | 50 |

UTJECAJ NEIONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA NA ZDRAVLJE LJUDI

VLATKO VUJNOVAC

Sažetak

Ovaj diplomski rad govori o utjecaju neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi. Neionizirajuća zračenja su bilo koja vrsta elektromagnetskog polja i elektromagnetskih valova frekvencije niže od 3 000 000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz, a koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione, tj. nemaju dovoljnu energiju da potpuno izbace elektrone iz njihove orbite i tako uvjetuju nastanak iona. U područje neionizirajućeg zračenja ubrajamo optičko zračenje, radiovalno i mikrovalno zračenje, te zračenje ekstremno niskih frekvencija. Osim od strane takvih uređaja, neionizirajuće zračenje može biti izazvano i od strane prirodnih izvora. S obzirom na izvore, neionizirajuće zračenje može biti niskih frekvencija i visokih frekvencija. Područje neionizirajućeg zračenja je mnogo manje istraženo nego područje ionizirajućeg zračenja, međutim postoje neke pretpostavke, ali i dokazi o utjecaju tog oblika zračenja na ljudsko zdravlje o čemu se govori u ovom diplomskom radu.

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: neionizirajuće zračenje / titranje / valovi / zdravlje

Mentor: prof.dr.sc. Branko Vuković

Ocjenjivači: prof.dr.sc. Branko Vuković; prof.dr.sc. Vanja Radolić, docent; mr.sc. Slavko Petrinšak

Rad prihvaćen:

INFLUENCE OF NON-IONIZING RADIATION ON HUMAN HEALTH

VLATKO VUJNOVAC

Abstract

This diploma paper deals with the influence of non-ionizing radiation on human health. Non-ionizing radiation include any kind of electromagnetic fields and electromagnetic waves with a frequency below 3,000,000 GHz or ultrasound with a frequency below 500 MHz, which, when interacting with other substances, do not generate ions, i.e. they do not possess sufficient energy to eject the electrons from their orbit and thus create conditions for generation of ions. The area of non-ionizing radiation encompasses optical radiation, radio wave radiation and microwave radiation as well as radiation with extremely low frequencies. Apart from being stimulated by such devices, non-ionizing radiation can have natural sources. Considering its sources, non-ionizing radiation can be divided into low frequency non-ionizing radiation and high frequency non-ionizing radiation. The area of non-ionizing radiation is less explored than the area of ionizing radiation. However, there are some assumptions and proves that non-ionizing radiation can have effect on human health and these indications are elaborated in this paper.

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: health / non-ionizing radiation / oscillation / waves

Supervisor: prof.dr.sc. Branko Vuković

Reviewers: prof.dr.sc. Branko Vuković; prof.dr.sc. Vanja Radolić; mr.sc. Slavko Petrinšak

Thesis accepted:

1. Uvod

Zdravlje je ono najvrjednije što svaki čovjek ima, jer bez zdravlja sve drugo je manje važno. Postoji izreka: „Dok je čovjek zdrav ima milijun želja, a kada je bolestan ima samo jednu - da ozdravi.“ Upravo iz toga razloga odlučio sam se za ovu temu diplomskog rada. Želim, na neki način, povezati ljudsko zdravlje i fiziku.

Brzi razvoj tehnologija povećao je brigu za ljudsko zdravlje. U današnje vrijeme ljudi sve više koriste mobitele, TV, radio, i ostale tehnologije. Svakodnevno smo okruženi dalekovodima, odašiljačima, raznim tvornicama i sve su to izvori neionizirajućeg zračenja. Većina ljudi nije ni svjesna da je izložena zračenjima, neki se pak s druge strane namjerno izlažu zračenjima u medicini, jer smatraju da im to donosi više koristi nego štete. O ovim problemima govoriti ću u ovom diplomskom radu, međutim da bi došao do toga, krenuo sam od nekih jednostavnijih, elementarnih stvari, koje su dio fizike.

Sve je u pokretu, odnosno u stanju gibanja. Sva gibanja u prirodi mogu se svesti na tri osnovna oblika, a to su translacija, rotacija i titranje. Kod translacijskog gibanja pravac koji povezuje bilo koje dvije točke u krutom tijelu ne mijenja svoju orijentaciju u prostoru, ostaje paralelan samom sebi. Putanje svih čestica su kongruentne, podudaraju se u obliku i veličini, a svaka čestica krutog tijela u svakom trenutku ima istu brzinu i akceleraciju. Rotacijsko gibanje je gibanje u kojemu se kruto tijelo zakreće oko osi koja prolazi točkom u kojoj je tijelo učvršćeno, ako na njega djelujemo momentom sile. Međutim, ja ću se u nastavku pozabaviti s trećim oblikom gibanja, a to je titranje.

2. Titranje



Slika 1. Titranje

Titranje najjednostavnije možemo definirati kao periodično gibanje tijela po putanji koja se ponavlja. Putanja po kojoj se tijelo giba prolazi kroz položaj stabilne ravnoteže tijela. Pri titranju tijelo se giba po putanji naizmjenično na obje strane putanje. Sustav koji titra zovemo oscilator ili titrajni sustav. Veličine koje karakteriziraju titranje su period titranja, frekvencija, elongacija i amplituda. Period titranja T je vremenski interval nakon kojeg se gibanje ponavlja. Ako oscilator napravi n titraja u vremenu t , vrijedi:

$$T = \frac{t}{n}$$

Ovo svojstvo gibanja možemo iskazati i preko još jedne veličine koja karakterizira titranje, a to je frekvencija. Frekvencija ν je fizikalna veličina koja pokazuje koliko puta se gibanje ponovi u jedinici vremena. Za frekvenciju vrijedi:

$$\nu = \frac{n}{t} = \frac{1}{T}$$

Opis gibanja je vezan uz određenje trenutnog položaja tijela u gibanju, pa je potrebno definirati i veličine koje su u funkciji opisa gibanja, a te veličine su elongacija i amplituda. Elongacija je trenutna udaljenost tijela od ravnotežnog položaja, a najveća elongacija je amplituda (A). Oznaku za elongaciju biramo s obzirom na smjer titranja oscilatora, najčešće se koriste oznake x ili y .

Harmonijsko titranje je titranje za koje je odgovorna elastična sila, a ta elastična sila je razmjerna trenutnoj udaljenosti tijela od ravnotežnog položaja, odnosno elongaciji. Matematički zapis takve sile je

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

gdje je k koeficijent elastičnosti, a x elongacija. Minus u ovom matematičkom izrazu znači da je sila povratna, tj. orijentacija vektora sile suprotna je orijentaciji vektora elongacije.

Harmonijsko titranje možemo istražiti ako ga usporedimo s periodičnim titranjem, odnosno jednolikim gibanjem po kružnici. Promotrit ćemo četiri veličine, a to su sila, elongacija, brzina i akceleracija.

2.1. Sila

Jednoliko gibanje po kružnici uvjetovano je centripetalnom silom orijentiranom prema središtu putanje tijela. Tu silu možemo zapisati kao:

$$F_0 = \frac{4\pi^2}{T^2} mR$$

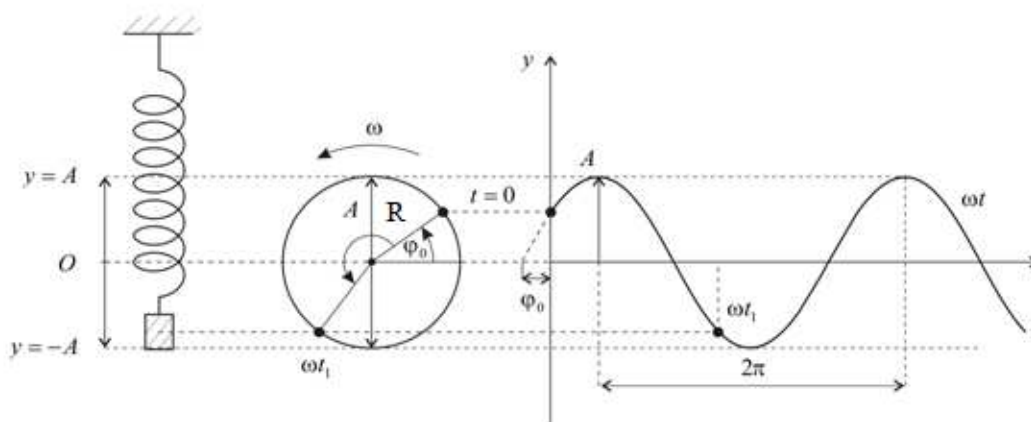
gdje je m masa tijela koje se giba jednoliko po kružnici polumjera R , a T je period kruženja.

Brzina kruženja tijela jednaka je:

$$v_0 = \frac{2\pi}{T} R$$

To gibanje je periodično, jer se ponavlja nakon nekog određenog perioda T , ali nije titranje. Međutim, ako promatramo projekciju tijela koje se giba jednoliko po kružnici, možemo vidjeti da projekcija tijela titra, odnosno giba se po istoj putanji (npr. os y). U tom smjeru postoji komponenta centripetalne sile $F_y = F_0 \sin\varphi$, koja je odgovorna na titranje projekcije, i projekcija vektora brzine $v_y = v_0 \cos\varphi$.

2.2. Elongacija



Slika 2. Elongacija

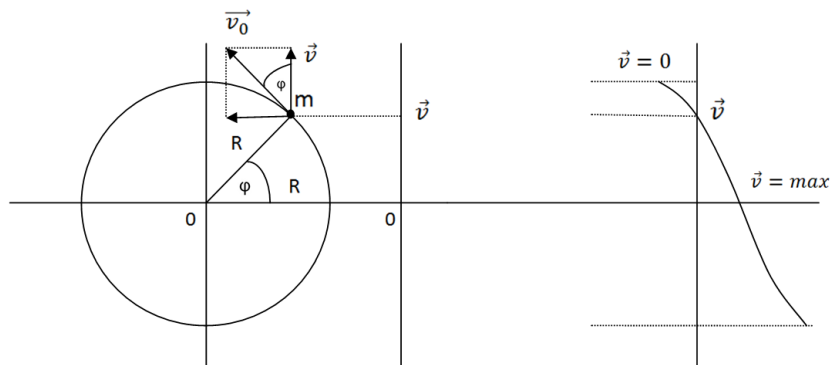
Na slici 2 R označava položaj kružne putanje, ali to je ujedno i najveća udaljenost projekcije od nultog položaja na osi y , dakle to je amplituda, pa možemo pisati da je $R=A$. Trenutačni položaj tijela koje kruži određen je kutom φ , a taj kut nazivamo faza ili fazni kut, te za njega vrijedi $\varphi = \omega t$. Sada možemo utvrditi vezu:

$$y = R \sin \varphi = A \sin \varphi$$

Kut $\varphi = \omega t$ zovemo faza titranja, te nam on pokazuje kolika je udaljenost tijela koje titra od ravnotežnog položaja i na koju stranu se tijelo giba. Drugim riječima, pokazuje orijentaciju vektora elongacije i brzine. Ako pretpostavimo da je tijelo koje kruži na početku gibanja bilo u položaju određenom početnom fazom φ_0 , njegov trenutačni položaj bit će određen fazom $\varphi = \omega t + \varphi_0$, pa slijedi:

$$y = A \sin (\omega t + \varphi_0)$$

2.3. Brzina



Slika 3. Brzina

Na slici 3 vidimo odnos vektora brzine kruženja tijela i vektora brzine projekcije, pa slijedi:

$$v = v_0 \cos \omega t$$

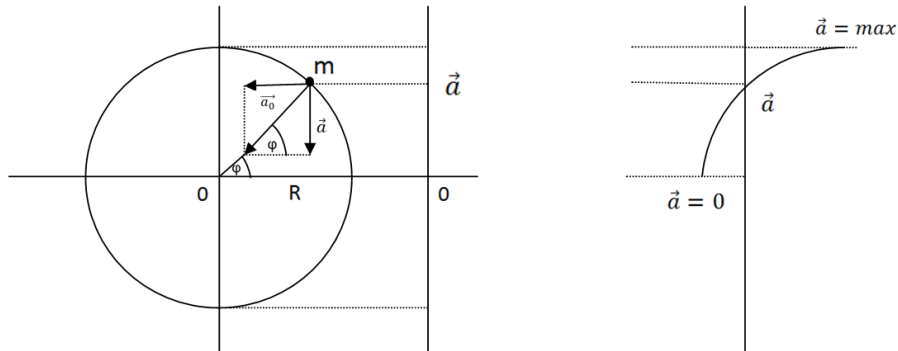
gdje je v_0 iznos obodne brzine kruženja tijela, a za njega vrijedi:

$$v_0 = \frac{2\pi}{T} A = 2A\pi\nu = A\omega$$

U slučaju da je titranje započelo iz položaja određenog početnom fazom φ_0 , brzina točke koja titra jednaka je:

$$v = v_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$$

2.4. Akceleracija



Slika 4. Akceleracija

Na slici 4 vidimo vektore centripetalne sile i akceleracije, te možemo vidjeti odnos vektora ubrzanja projekcije i vektora centripetalnog ubrzanja.

$$a = -a_0 \sin \omega t$$

gdje je iznos centripetalnog ubrzanja:

$$a_0 = \frac{4\pi^2}{T^2} A = 4\pi^2 v^2 A = A\omega^2$$

I u ovom slučaju možemo općenito pisati:

$$a = -a_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Odnosno:

$$a = -\frac{4\pi^2}{T^2} y = -\omega^2 y$$

Prethodnom formulom je prikazna veza između akceleracije i elongacije tijela koje titra.

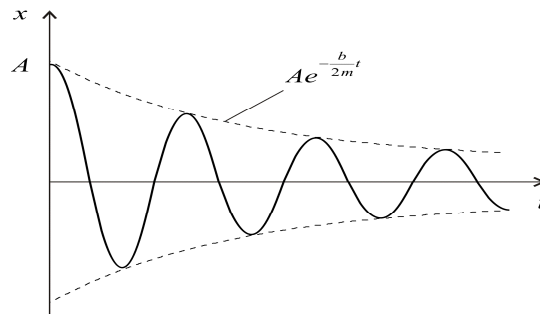
2.5. Energija oscilatora

Energiju oscilatora u proizvoljnom položaju dobivamo zbrajanjem potencijalne i kinetičke energije. Matematički zapisano to izgleda ovako:

$$E = E_p + E_k = E (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t)$$

Realna situacija je da oscilator titranjem gubi energiju. U tom slučaju titranje zovemo prigušenim. Kod neprigušenog titranja oscilator ne gubi energiju.

2.6. Prigušeno titranje



Slika 5. Prigušeno titranje

U prirodi su sva titranja prigušena, a razlog tome je postojanje sile trenja. Već sam napomenuo da u slučaju prigušenog titranja oscilator gubi energiju. Prigušeno titranje karakterizira se Q faktorom, koji se često naziva i faktor dobrote. To je mjera gušenja titranja. Veliki faktor Q znači da je prigušenje titranja slabo. Faktor dobrote definiran je omjerom elastične sile i sile otpora sredstva, odnosno to je veličina koja pokazuje koliko puta je elastična sila veća od sile otpora sredstva. Matematički to možemo zapisati na sljedeći način:

$$Q = \frac{F_e(\max)}{F_{tr}(\max)}$$

Također, za faktor dobrote možemo reći da prikazuje odnos energije oscilatora i gubitka energije u jednom titraju.

$$\text{faktor dobrote} = \frac{\text{energija oscilatora}}{\text{gubitak energije u jednom titraju}}$$

2.7. Prisilno titranje i rezonancija

Dodavanje energije oscilatoru znači utjecanje okoline na sustav. Prirodu tog utjecaja okoline na sustav možemo povezati sa silom kojom okolina djeluje na tijelo.

Pojava naglog povećanja amplitude kod prisilnog titranja zove se rezonancija. Rezonanciju možemo definirati i kao pojavu prijenosa energije titranja s jednog oscilatora na drugi oscilator jednake vlastite frekvencije. Otkrićem elektromagnetskih valova brzi prijenos informacija na daljinu postao je moguć upravo zahvaljujući pojavi rezonancije. Naime, titrajni krug-oscilator odašilje elektromagnetske valove, a drugi oscilator-prijemnik, iste vlastite

frekvencije, hvata valove zahvaljujući rezonanciji. O rezonanciji se naročito vodi briga u građevini, npr. projektiranju i gradnji mostova. Rezonancija može biti vrlo opasna ako je nismo predvidjeli u gradnji nekih sustava. Prijenos energije rezonancijom uzrokuje značajno povećanje amplitude titranja i to može dovesti do razaranja samog sustava ako elastična sila u sustavu ne može podnijeti takvo naprezanje. Jedan dramatičan događaj, a koji je ekstremni primjer rezonancije, zbio se u Tacomi u Americi 1940. godine, kada se srušio viseći most, što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Rezonancija (Tacoma, 1940.)

3. Valovi

Za valno gibanje možemo reći da je to prijenos energije i količine gibanja iz jedne točke u drugu točku u prostoru, ali bez prijenosa tvari. Jednostavnije rečeno, valno gibanje je pojava širenja titranja kroz neko sredstvo. Osnovno svojstvo vala je da se širi u prostoru. Poremećaj koji se nekim sredstvom širi u određenim vremenskim razmacima zovemo val. Poremećaj se može širiti pravilno i nepravilno, tj. ne mora imati pravilan oblik kao npr. valovi na vodi, međutim, neka svojstva vala ostaju uvijek sačuvana bez obzira na oblik vala.

3.1. Karakteristične valne veličine

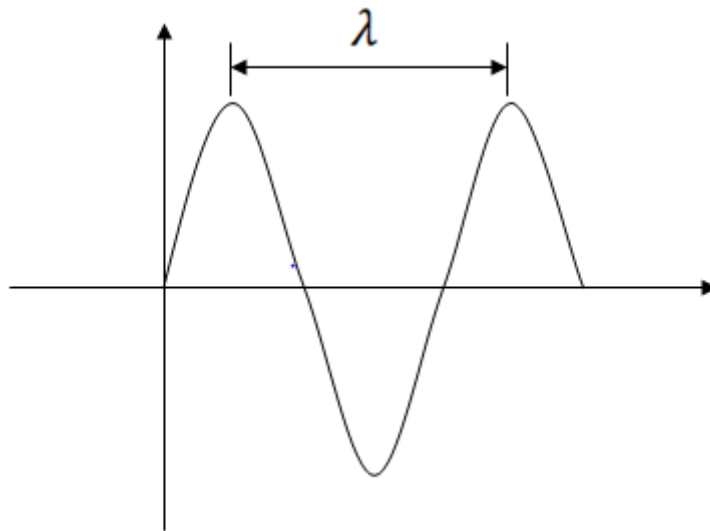
Kao i svako drugo gibanje, tako i valno gibanje karakteriziraju neke veličine. Budući da je valno gibanje pojava širenja titranja kroz neko sredstvo, karakteristične veličine titranja prenose se i na valno gibanje. Radi se o periodu, frekvenciji, elongaciji i amplitudi titranja, koje su prije objašnjene. Sada kad govorimo o valovima, u nazivu se dodaje period vala, frekvencija vala i sl. Čestica koja je prva zatitrala zove se izvor vala. Kada govorimo o valovima potrebno je definirati i brzinu širenja valova kao brzinu kojom se prenosi titranje kroz sredstvo. Pri promatranju valova na vodi možemo uočiti dolove i brjegove. Udaljenost dvaju susjednih

brjegova ili dolova zove se valna duljina, i označava se sa λ . Prema tome, valnu duljinu možemo definirati kao najmanju udaljenost dviju čestica sredstva kroz koje se širi titranje, i koje titraju u fazi. To je ujedno i udaljenost za koju se proširi val za vrijeme jednog perioda titranja, pa kako bi objedinili sve te veličine možemo pisati:

$$\lambda = v T$$

gdje je v brzina širenja titranja kroz sredstvo, odnosno brzina valova, a T je period titranja valova. Gornju formulu možemo također zapisati i u obliku:

$$v = \lambda \nu$$



Slika 7. Valna duljina

3.2. Slaganje valova

Ako bacimo, recimo, dva kamenčića na mirnu površinu vode, dolazi do nastanka valova, te uočavamo dva niza koncentričnih kružnica koje se u jednom trenutku susretnu. Čestice koje se nalaze na mjestu susreta tih dvaju valova dobivaju dvije različite „informacije“ o tome kako će nastaviti titrati. Kakva će biti ukupna elongacija i faza titranja te čestice odlučuje pravilo zbrajanja ili superpozicije tih dvaju valova. Ako promatramo dva vala koji su opisani jednadžbama:

$$y_1 = A_1 \sin(\omega_1 t - k_1 x_1)$$

$$y_2 = A_2 \sin(\omega_2 t - k_2 x_2)$$

pravilom superpozicije dobivamo jednadžbu:

$$y = 2A \cos \frac{k\Delta x}{2} \sin \left(\omega t - k \frac{x_1 + x_2}{2} \right)$$

Postoje četiri specifična slučaja na koje susrećemo pri slaganju valova. To su pojačanje valova, poništenje valova, stojni val i valni udar.

3.2.1. Pojačanje valova

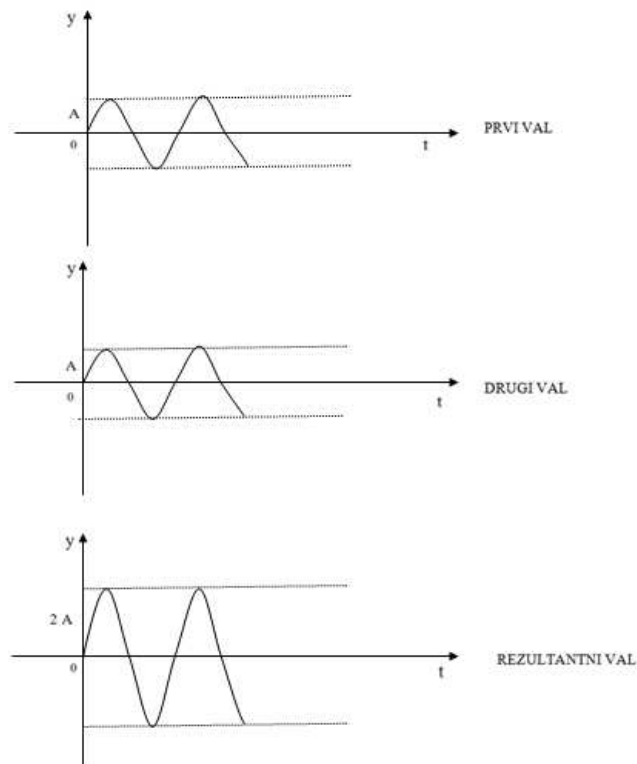
U ovom slučaju razlika u hodu dvaju valova je jednaka cjelobrojnom višekratniku valnih duljina, odnosno:

$$\Delta x = n \lambda, \quad n \in Z$$

U tom slučaju rezultatna amplituda jednaka je:

$$|A_R| = \left| 2A \cos \frac{2\pi n\lambda}{\lambda} \frac{\lambda}{2} \right| = |\pm 2A| = 2A$$

i radi se o „pojačanju“ valova ili konstruktivnoj interferenciji.



Slika 8. Pojačanje valova

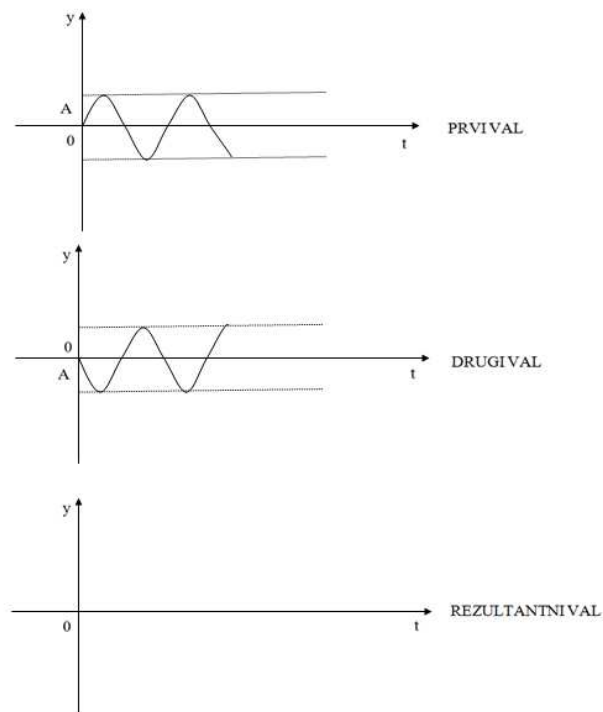
3.2.2. Poništenje valova

U ovom slučaju razlika u hodu valova je jednaka neparnom višekratniku polovica valnih duljina, odnosno:

$$\Delta x = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad n \in Z$$

Rezultantna amplituda jednaka je nuli, tj. dolazi do „poništenja“ valova ili destruktivne interferencije.

$$A_R = 2A \cos \frac{\pi}{2} (2n + 1) \frac{\lambda}{2} = 2A \cos(2n + 1) \frac{\pi}{2} = 0$$



Slika 9. Poništenje valova

3.2.3. Stojni val

Ako se koherentni valovi gibaju jedan u susret drugome, nastaje stojni val. To se najčešće događa kada se susretnu val koji se odbija od neke prepreke i val koji dolazi na tu prepreku. Oba vala su nastala titranjem istog izvora, pa su koherentni.

3.2.4. Valni udari

Valni udari nastaju kada dolazi do slaganja valova čije su kutne frekvencije približno jednake, odnosno kad vrijedi:

$$\omega_1 \approx \omega_2$$

Rezultantna frekvencija titranja čestice bliska je frekvencijama titranja valova od kojih je nastao novi val:

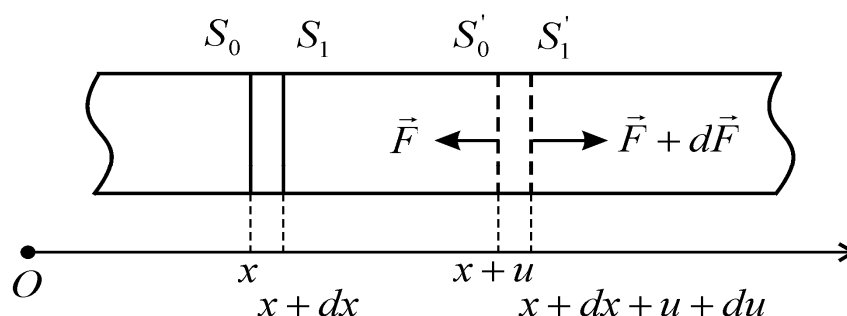
$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

3.3. Vrste valova

Postoji više vrsta valova, pa razlikujemo: mehaničke valove (čestice sredstva), elektromagnetske valove, te valove materije. Valove možemo podijeliti i na longitudinalne i transverzalne valove. Longitudinalni val je onaj val kod kojeg čestice sredstva titraju u smjeru širenja vala. Takav val karakteriziraju zgušnjenja i razrijeđanja sredstva. Transverzalni val je onaj val kod kojeg čestice sredstva titraju okomito na smjer širenja vala. Karakteriziraju ga brjegov i dolovi vala. U čvrstim elastičnim sredstvima mogu nastati i longitudinalni i transverzalni valovi, a u fluidima mogu nastati samo longitudinalni valovi. Razlog tome je što su za pojavu transverzalnog vala potrebne sile koje se protive pomicanju jednog sloja sredstva prema susjednom sloju, a u fluidima su takve sile zanemarive. Nama najpoznatiji valovi, valovi na vodi, su primjer složenog vala koji je za čestice na površini kombinacija longitudinalne i transverzalne komponente.

3.3.1. Longitudinalni val

Slika i izvod jednadžbe longitudinalnog vala su preuzeti iz knjige dr.sc. Josipa Planinića, „Osnove fizike 3“.



Slika 10. Ravni longitudinalni val u cilindričnom štapu

Ravni val se giba kroz cilindrični štap presjeka S , neograničene dužine na oba kraja. Promatramo beskonačno tanki sloj štapa između aksijalnih poprečnih presjeka S_0 , S_1 , koji u položaju ravnoteže imaju pripadne apcise x , $x+dx$. Pod djelovanjem vanjskog impulsa sile, nastupa longitudinalni poremećaj, što dovodi do gibanja sloja S_0 , S_1 koji se u trenutku t nalazi u

položaju S_0' , S_1' , s apcisama $x+u$, $x+dx+u+du$. Ovdje je u pomak danog presjeka. Na presjeke S_0' , S_1' djeluju različite sile suprotnih smjerova. Kad se val počeo širiti unutar sredstva počinje djelovati elastična sila. Na presjek S_0' djeluje sila \vec{F} , a na S_1' sila $\vec{F} + d\vec{F}$, suprotnog smjera. Neuravnotežena sila $d\vec{F}$ daje ubrzanje sloju S_0' , S_1' . Ako je ρ gustoća nenapregnutog sloja sredstva, dx njegova debljina, a S presjek, onda je masa sloja: $dm=\rho dV=\rho Sdx$. Prema 2. Newtonovom zakon, sila $dF=a dm$ daje masi dm ubrzanje $a = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$, pa vrijedi:

$$dF = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \rho S dx \quad (1)$$

Međutim, Hookeov zakon u posebnom obliku daje vezu između specifičnog izduženja sloja $\frac{du}{dx}$, presjeka S i modula elastičnosti E , pa je izraz za elastičnu silu:

$$F = ES \frac{\Delta l}{l}$$

gdje je $\frac{\Delta l}{l}$ relativno izduženje. Sada taj izraz možemo pisati kao:

$$F = ES \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2)$$

gdje ∂x odgovara dužini sloja l , dok ∂u ima smisao promjene te dužine Δl . Diferenciranje navedenog izraza za silu daje:

$$dF = ES \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx$$

Uvrštavajući (1) u (2) dobijemo:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (3)$$

Budući da se dimenzije slažu, možemo uvesti da je $\frac{E}{\rho} = v^2$, pa jednačba (3) poprima oblik:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (4)$$

gdje je $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$.

Pretpostavljamo da je rješenje diferencijalne jednačbe (4) funkcija $u(x,t)$ u obliku:

$$u = f(vt - x) + \varphi(vt + x) \quad (5)$$

Gdje su $f(x,t)$ i $\varphi(x,t)$ neke derivabilne funkcije. Navedenu pretpostavku provjeravamo pomoću derivacija funkcije $u(x,t)$, koje uvrštavamo u jednadžbu (4), pa slijedi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -f'(vt - x) + \varphi'(vt + x)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = f''(vt - x) + \varphi''(vt + x)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = vf'(vt - x) + v\varphi'(vt + x)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 f''(vt - x) + v^2 \varphi''(vt + x)$$

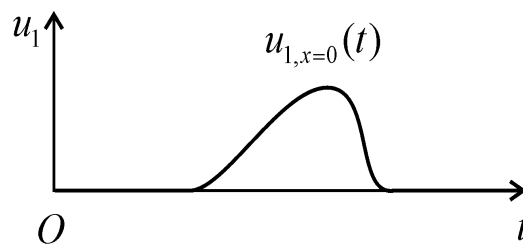
$$v^2 f''(vt - x) + v^2 \varphi''(vt + x) = v^2 f''(vt - x) + v^2 \varphi''(vt + x)$$

što je jednako. Dakle, funkcija (5) je rješenje diferencijalne jednadžbe valnog gibanja, odnosno u je pomak danog presjeka ili čestice štapa u longitudinalnom smjeru. Funkcija $u(x,t)$ je zbroj dviju funkcija od kojih $f(vt - x)$ označuje funkciju valnog gibanja u pozitivnom smjeru osi x , dok je $\varphi(vt + x)$ funkcija valnog gibanja u negativnom smjeru osi x .

Širenje jednog ravnog vala može se opisati samo jednom od funkcija u zbroju (5), npr:

$$u_1 = f(vt - x)$$

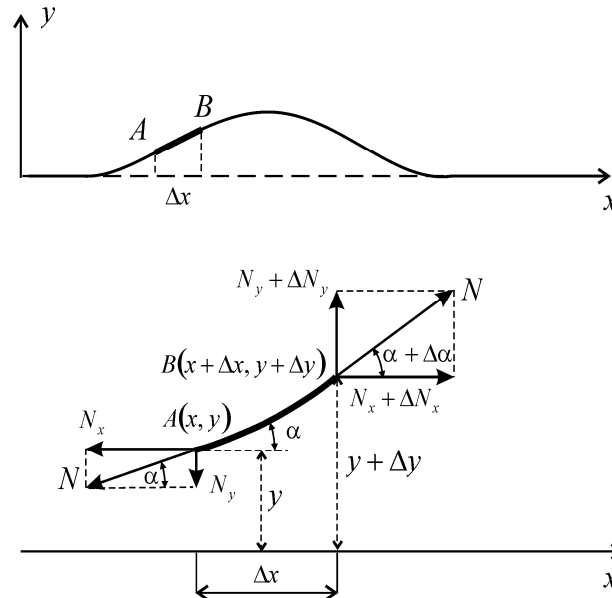
u_1 ovisi o položaju i vremenu, pa se ta funkcija može promatrati u ovisnosti o jednoj varijabli, dok se druga varijabla drži konstantnom. Npr. ako je ravnina presjeka koji promatramo u ishodištu, onda je $x=0$, pa funkcija u_1 postaje $u_{1,x=0} = f(vt)$. Ako poznamo funkciju f , onda možemo u dijagramu (u,t) prikazati vremensku ovisnost $u_{1,x=0}(t)$. Za neki kratkotrajni puls dijagram može izgledati ovako:



Slika 11. Kratkotrajni puls $u_{1,x=0}(t)$

3.3.2. Transverzalni val

Slika i izvod jednadžbe transverznog vala su preuzeti iz knjige dr.sc. Josipa Planinića, „Osnove fizike 3“.



Slika 12. Transverzalni pomak niti. a) promatrani element niti, b) uvećani element niti

Neka je nit, savršeno elastična i zanemarive težine, u stanju ravnoteže pod utjecajem samo napetosti niti N pravocrtna oblika. Pod utjecajem drugih sila nit se može deformirati. Promatramo jedan element niti. Prolaskom transverznog pulsa nastaje transverzalni pomak na niti. Neka je pomak tako mali da se napetost niti ne mijenja i kut niti prema osi x je tada mali. Silu napetosti niti rastavljamo na dvije komponente, longitudinalnu i transverzalnu, pa vrijedi:

$$N_y = N \sin \alpha \qquad N_x = N \cos \alpha \qquad (1)$$

Kako je kut α vrlo mali, vrijedi približno: $\cos \alpha \approx 1, N_x \approx N, \sin \alpha \approx \tan \alpha$. Kako je po definiciji derivacije $\tan \alpha = \frac{dy}{dx}$, s obzirom na gornju približnost zamjenjujemo funkciju sinus s tangens, pa iz prve jednadžbe (1) slijedi:

$$N_y = N \frac{dy}{dx} \qquad (2)$$

Na prvom kraju elementa niti transverzalna sila je N_y (usmjerena prema dolje), a na drugom kraju elementa transverzalna sila je $N_y + \Delta N_y$ (prema gore), stoga je resultantna transverzalna sila ΔN_y (resultantna longitudinalna sila je približno nula).

Nakon diferenciranja izraza (2) slijedi:

$$dN_y = N \frac{d^2y}{dx^2} dx \quad (3)$$

Zatim dinamički promatramo element niti koja ima linearnu gustoću mase $\mu = \frac{dm}{dx}$. Diferencijal transverzalne sile jednak je umnošku diferencijala mase i transverzalnog ubrzanja niti (koje je po definiciji druga derivacija puta po vremenu), pa slijedi: $dN_y = dm a_y$ ili:

$$dN_y = dm \frac{d^2y}{dt^2} \quad (4)$$

Kada izjednačimo desne strane jednadžbi (3) i (4), supstituiramo diferencijal mase $dm = \mu dx$, zatim skratimo izraz s dx i diferencijale pišemo parcijalno, onda dobivamo sljedeću parcijalnu diferencijalnu jednadžbu drugog reda za transverzalno valno gibanje:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{N}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (5)$$

Ako uvedemo oznaku za kvadrat brzine, $v^2 = \frac{N}{\mu}$, što je dimenzionalno opravdano, dobivamo diferencijalnu jednadžbu istog oblika kao i (4). Ovdje je y transverzalni pomak elementa niti ili čestice elastičnog sredstva, no rješenje jednadžbe ima funkciju istog oblika kao i (5):

$$y = f(vt - x) + \varphi(vt + x) \quad (6)$$

Dakle, s oznakama kao u koordinatnom sustavu na slici 12, y označuje transverzalni pomak čestice sredstva, a valni poremećaj se širi brzinom v po osi x . Uzimamo oznake: $y_1 = f(vt - x)$, $y_2 = \varphi(vt + x)$ tj. $y = y_1 + y_2$, gdje je y_1 funkcija vala koji se širi u pozitivnom smjeru, a y_2 u negativnom smjeru osi x .

Na isti način, pod utjecajem harmoničkih transverzalnih poremećaja u elastičnom sredstvu nastaju sinusni odnosno kosinusni transverzalni valovi s funkcijama oblika:

$$y_1 = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$y_2 = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$

3.4. Huygensov princip

U većini slučajeva kada govorimo o valovima, mislimo na njihovo širenje. Problem opisa širenja valova riješio je Christian Huygens, tako da je definirao karakteristične veličine i postavio načelo širenja. Karakteristične veličine za širenje valova Huygens je definirao na sljedeći način. Izvor vala je čestica sredstva koja je prva zatitrala. Valna crta je crta koja povezuje sve čestice sredstva koje titraju u fazi. Valna fronta je ona valna crta koja je najudaljenija od izvora. Zraka vala je polupravac s početkom u izvoru, crta se okomito na valne crte i pokazuje smjer širenja valova. S obzirom na izgled valnih crta razlikujemo ravni, kružni i sferni (kuglasti) val. Valne crte kod ravnog vala su dijelovi pravca, a kružnice kod kružnog vala. Kod sfernog vala sferna površina povezuje sve čestice sredstva koje titraju u fazi. Način širenja valova C. Huygens je objasnio načelom: svaka čestica do koje se proširi titranje postaje samostalni izvor valova i emitira elementarne valove.

3.5. Odbijanje i lom valova

Valovi se na granici sredstava dijelom odbijaju, a dijelom lome. Kao i za sve pojave, tako i za odbijanje i lom valova postoje određene zakonitosti.

a) Odbijanje valova

Ako jedan kraj konopa povežemo za čvrsto uporište, a drugi kraj koji držimo u ruci zatitramo gore-dolje vidimo da se na mjestu odbijanja dogodila promjena u fazi. Val koji je na mjesto učvršćenja došao kao brijeg, vraća se kao dol, to je skok u fazi. Valovi se odbijaju tako da je kut upada zrake vala koji dolazi na prepreku jednak kutu koji zraka vala zatvara s okomicom na prepreku nakon odbijanja vala.

b) Lom valova

Ako dva konopa različitih debljina vežemo jedan za drugi i kraj drugog konopa učvrstimo, a zatim zatitramo gore-dolje slobodni kraj jednog konopa, uočavamo da se pri prijelazu vala na drugi konop promijenila valna duljina vala. Budući da se frekvencija izvora vala ne mijenja jasno je da se promijenila brzina širenja vala duž drugog konopa. Također, lom valova možemo uočiti i ako promatramo valove na vodi, pri prijelazu iz dublje u pliću vodu. Duljina valova u plićoj vodi se smanjila, pa zaključujemo da se smanjila i brzina širenja valova. Osim toga, promijenio se i smjer gibanja valova. Zraka vala u plitkoj vodi otklonila se prema okomici postavljenoj na graničnu crtu između plitke i duboke vode. Došlo je do loma valova. Za lom valova vrijedi:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

gdje je α upadni kut, β kut loma, v_1 i v_2 brzine širenja valova u dubokoj i plitkoj vodi.

Indeks loma je fizikalna veličina koja pokazuje kako se lomi val pri prijelazu iz jednog u drugo sredstvo, a matematički se dobije pomoću izraza:

$$n = \frac{v_1}{v_2}$$

3.6. Zvučni valovi

Zvučni valovi su mehanički valovi na koje reagira ljudsko uho. To su valovi u intervalu frekvencija od 20 Hz do 20 000 Hz. Kada govorimo o mehaničkim valovima, mislimo na valove za čije je širenje potrebno neko sredstvo. Razlikujemo ih od elektromagnetskih valova čije širenje nije uvjetovano postojanjem sredstva kroz koje će se širiti. Mehanički valovi čija je frekvencija manja od 20 Hz zovemo infrazvuk, a mehanički valovi čija je frekvencija veća od 20 000 Hz zovemo ultrazvuk.

3.7. Elektromagnetski valovi

Električne i magnetske pojave uočene su još u antici. Međutim, tek je u 18. st. francuski fizičar Charles Augustin Coulomb postavio temelje za mjerenje električnih i magnetskih veličina otkrivši zakone međudjelovanja naboja i magnetskih polova. Mnogi fizičari su se bavili promatranjem i izučavanjem električnih i magnetskih pojava, pa vrijedi istaknuti neke od njih, kao što su Karl Friedrich Gauss, Hans Christian Oersted, Andre Marie Ampere, Michael Faraday, Joseph Henry i drugi. Najznačajniju ulogu odigrao je škotski fizičar James Clark Maxwell sa svojim jednadžbama, koje omogućuju potpuno razumijevanje odnosa električnog i magnetskog polja. Maxwellove jednadžbe opisuju ovisnost električnog i magnetskog polja o nabojima i strujama, te njihovo međudjelovanje do kojeg dolazi kada se polja mijenjaju u vremenu. Maxwellove jednadžbe su za klasičnu elektrodinamiku ono što su Newtonovi aksiomi za klasičnu mehaniku. Zapisane u jednom od svojih oblika, one glase ovako:

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

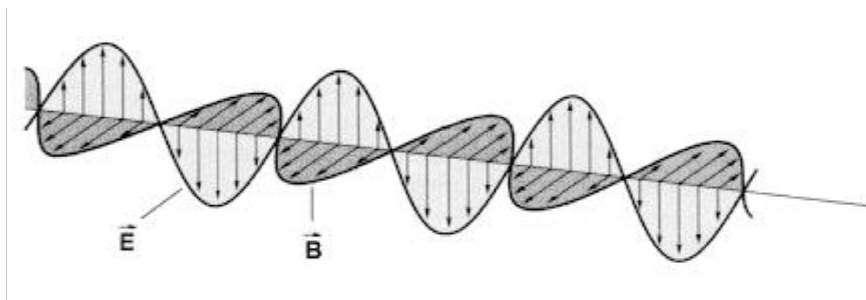
$$c^2 \operatorname{rot} \vec{B} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

gdje je \vec{E} električno polje, ρ gustoća naboja, \vec{B} magnetska indukcija, \vec{j} gustoća struje, ε_0 permitivnost vakuuma.

Maxwellove jednadžbe eksperimentalno je potvrdio njemački fizičar Heinrich Hertz. Maxwellove jednadžbe sadrže Faradayev zakon u kojem stoji da promjenljivo magnetko polje uzrokuje električno, Amperovu vezu jakosti struje i magnetskog polja, ali i činjenicu da mijenjanje električnog polja uzrokuje magnetsko polje. Osim toga, uključuju i Coulombov zakon, odnosno njegovo poopćenje u Gaussovom zakonu.

3.7.1. Nastajanje elektromagnetskih valova

Elektromagnetski val nastaje kad se naboj ubrzava, tj. kad postoji promjena vektora brzine naboja (elektrona). Najjednostavniji izvor elektromagnetskog vala je otvoreni LC titrajni krug. Energija kruga sadržana je u električnom polju. Zbog razlike potencijala između ploča naboj prelazi s jedne na drugu ploču kondenzatora. Dakle, postoji električna struja koja stvara magnetsko polje oko vodiča, tj. u zavojnici. Energija titrajnog kruga mijenja oblik. Budući da se jakost struje u zavojnici mijenja, prema Faradayevu zakonu, zbog „nestajanja“ struje u zavojnici se inducira napon koji zadržava struju, sve dok elektroni ne prijeđu na suprotnu ploču. Taj proces se ponavlja i u suprotnom smjeru. Iz ovoga možemo uočiti odnos električnog i magnetskog polja. Električno polje između ploča kondenzatora nestaje, a pojavljuje se magnetsko polje u zavojnici. Nakon toga dolazi do suprotnog procesa, tj. magnetsko polje u zavojnici nestaje, a pojavljuje se električno polje između ploča kondenzatora. Na početku je ukupna energija titrajnog kruga sadržana u električnom polju, a nestajanjem električnog polja ona mijenja oblik i prelazi u energiju magnetskog polja. Ako se titrajni krug „otvori“ i „izostavi“ zavojnica, fizikalni odnosi električnog titranja se ne mijenjaju. I dalje postoji električno polje, koje nije homogeno, a budući da svaki vodič ima induktivitet postoji mogućnost induciranja napona, koji omogućava prijenos elektrona na drugu stranu „otvorenog“ titrajnog kruga. Na taj način titrajni krug se svodi na dipol antenu. Titranje elektrona u dipolu se može pratiti prikazom odnosa električnog i magnetskog polja, kako je prikazano na slici 13. Promatramo li graf, uočavamo da postoje „vrtlozi“ u međusobno okomitim ravninama koji se udaljavaju od dipola, poput mehaničkih valova od čestice koja titra u nekom sredstvu. Valna priroda te pojave može se potvrditi ispitivanjem valnih svojstava, kao što su lom, refleksija, interferencija, polarizacija i dr. Valovi dobiveni na taj način zovu se elektromagnetski valovi.



Slika 13. Titranje električnog i magnetskog polja u EM valu

3.7.2. Spektar elektromagnetskih valova

Elektromagnetski valovi obuhvaćaju vrlo široko područje valnih duljina, pa možemo govoriti o spektru elektromagnetskih valova. Spektar koji je prikazan u tablici 1 proteže se od radiovalova do gama zraka, koje su visokoenergetski elektromagnetski valovi velike prodornosti. Podaci o frekvencijama su grubi okviri područja.

| Vrste valova | Frekvencija [Hz] |
|--------------------------|--|
| Radiovalovi | $10^4 - 10^8$ |
| Mikrovalovi | $10^8 - 10^{12}$ |
| Infracrveno zračenje | $10^{12} - 3,75 \cdot 10^{14}$ |
| Vidljiva svjetlost | $3,75 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$ |
| Ultraljubičasto zračenje | $7,5 \cdot 10^{14} - 10^{16}$ |
| Rendgensko zračenje | $5 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{19}$ |
| γ zračenje | do 10^{21} |

Tablica 1. Spektar elektromagnetskih valova

4. Neionizirajuće zračenje

Neionizirajuća zračenja su bilo koja vrsta elektromagnetskog polja i elektromagnetskih valova frekvencije niže od 3 000 000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz, a koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione, tj. nemaju dovoljnu energiju da potpuno izbace elektrone iz njihove orbite i tako uvjetuju nastanak iona. Ion je čestica (atom) ili skupina atoma (molekula) koja je električki nabijena zbog razlike u broju protona i elektrona. U područje neionizirajućeg zračenja ubrajamo:

1. Optičko zračenje (ultraljubičasto, infracrveno, vidljivi spektar)

2. Radiovalno i mikrovalno zračenje

3. Zračenje ekstremno niskih frekvencija

Izvor neionizirajućeg zračenja je svaki uređaj koji proizvodi jednu ili više vrsta neionizirajućeg zračenja. Osim od strane takvih uređaja, neionizirajuće zračenje može biti izazvano i od strane prirodnih izvora. Dakle, na nas djeluju i tehnička i prirodna neionizirajuća zračenja. S obzirom na izvore, neionizirajuće zračenje može biti niskih frekvencija (dalekovodi, transformatorske stanice) i visokih frekvencija (mobilni telefoni, radari, TV odašiljači, primjena indukcijskih i dielektričnih grijača u industriji itd.).

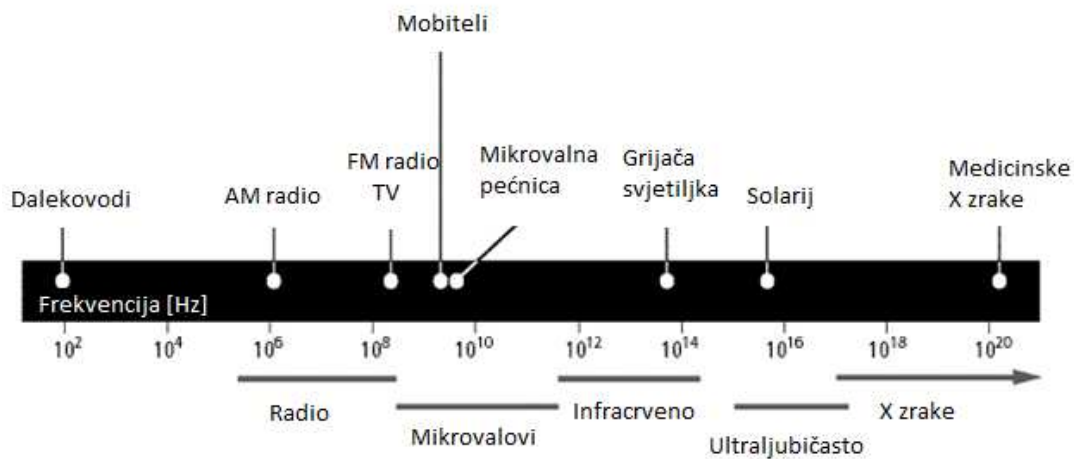
4.1. Optičko zračenje

U optičko zračenje ubrajamo infracrveno zračenje, ultraljubičasto zračenje i vidljivi spektar. Infracrveno zračenje su elektromagnetski valovi valne duljine između 750 nm i 3 mm. Za ljudsko oko infracrveno zračenje je nevidljivo, ali se djelovanje može zamijetiti na koži kao osjećaj topline. Neki od izvora infracrvenog zračenja su varenje, proizvodnja stakla i čelika, infracrveni grijači i svjetiljke itd. Ultraljubičasto zračenje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama manjim od onih koje ima vidljiva svjetlost, a većim od onih koje imaju X-zrake, u rasponu od 10 nm do 400 nm, i energiji fotona od 3 eV do 124 eV. Ultraljubičasto zračenje se emitira kada pobuđeni atomi prelaze iz višeg energetskog stanja u niže, otpuštajući pri tom fotone energija u području ultraljubičastog zračenja. Ultraljubičasto zračenje je štetno za naš organizam jer može uzrokovati crvenilo kože, ubrzava starenje kože, a pri velikim izlaganjima može dovesti i do raka kože, te oštećenja vida. Izvori ultraljubičastog zračenja su Sunce, laseri, uređaji za kvarcanje itd. Ljudsko oko reagira samo na vrlo ograničeni raspon valnih duljina, tj. na vidljivu svjetlost. Međutim, ono odlično raspoznaje i vrlo male razlike unutar tog raspona. Te male razlike nazivamo boje. Boje su male frekvencijske razlike u području vidljive svjetlosti. Najkraću valnu duljinu imaju ljubičasta i plava svjetlost, a najdužu crvena svjetlost. Bijela svjetlost sastavljena je od kontinuiranog niza svih boja vidljivog spektra.

4.2. Radiovalno i mikrovalno zračenje

Mikrovalovi su elektromagnetsko zračenje u spektralnom području između 10^8 Hz i 10^{12} Hz, dok su radiovalovi u području između 10^4 Hz i 10^8 Hz. Za razliku od optičkog zračenja, mikrovalno i radiovalno zračenje prodire dublje i može djelovati na unutarnje organe. Izvori radiovalnog i mikrovalnog zračenja su mobiteli, antene mobilnih telekomunikacija, TV i radio odašiljačke antene, radar, mikrovalna pećnica, te satelitske antene. Što se tiče mobitela, odnosno

bežičnih komunikacijskih sustava, oni rade na nekoliko frekvencija elektromagnetskog spektra. Na slici 14 je prikazan elektromagnetski spektar.



Slika 14. Elektromagnetski spektar

Kada govorimo o mobilnim uređajima možemo napraviti usporedbu između SAD-a i Europe. Mobilni uređaji u SAD-u rade na dvije frekvencije, 850 MHz i 1900 MHz, dok u Europi mobilni telefoni koriste GSM (Global System for Mobile Communications) frekvencije blizu 900 MHz i 1800 MHz. GSM je najrašireniji standard za mobilnu telefoniju na svijetu. Mobilni radiotelekomunikacijski sustavi koriste frekvencije od 800 MHz do 900 MHz u radiovalnom spektru, i odašiljače koji koriste frekvencijsko područje od 1850 MHz do 1990 MHz. Antene mobilnih telekomunikacija se postavljaju na visokim mjestima, kao što su krovovi zgrada, tornjevi i sl. Obično su postavljenje u tri grupe po tri antene, jedna antena u svakoj grupi emitira signale mobilnim jedinicama, a druge dvije antene u grupi primaju signale od mobilnih jedinica. Zračenje ovih antena je veliko samo u njihovoj bližoj okolini, tj. reda veličine 10-ak cm oko njih. Količina zračenja antena se kreće oko $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, a dozvoljena količina zračenja je oko $580 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ za period izlaganja od 30 minuta. Iz toga podatka možemo zaključiti da bi to zračenje za pojedinca bilo opasno jedino ako bi se popeo na visinu na kojoj antena emitira signal na udaljenosti oko pola metra, ali u to područje je ulaz zabranjen, osim za telekomunikacijske radnike. Osim antena mobilnih telekomunikacija, tu su i radio i TV odašiljačke antene, koje su također izvor zračenja. Količina zračenja kojoj čovjek može biti izložen ovisi o frekvenciji zračenja. Ovisno o kanalu, antene odašilju na različitim frekvencijama. Frekvencije se kreću od 550 kHz za radio antene, do 800 MHz za TV antene. Operativna snaga za radio stanice se kreće

oko nekoliko stotina vata, a za televizijske stanice iznosi i do milijun vata, dok intenzitet elektromagnetskog polja ovisi o više faktora, a to su dizajn antene, tip stanice, snaga odašiljanja, visina antene, te udaljenost od antene. Pristup takvim antenama je zabranjen, a mjerenja koja su provedena oko takvih antena pokazala su da je zračenje ispod razine koja se smatra opasnom.

Radari su također izvor zračenja. Danas se radari koriste u razne svrhe i u brojnim područjima ljudskog života. Kada govorim o radarima mislim na radare koji služe za prognozu vremena, vojne radare, radare za nadzor i kontrolu zračnog prometa itd. Kao i kod antena, količina zračenja radara ovisi o više faktora, a to su frekvencija emitiranog zračenja, karakteristike izvora, širina pulsa, stopa ponavljanja, te udaljenost od izvora. Kao i za antene, najveća opasnost postoji za radnike koji rade u blizini radara, posebice za vrijeme emitiranja signala.

Kao izvor mikrovalnog zračenja treba spomenuti mikrovalne pećnice, koje se danas nalaze u većini kućanstava. Mikrovalna pećnica radi tako da kroz hranu šalje neionizirajuće zračenje. Zračenje ima frekvenciju oko 2,45 GHz što je valna duljina od 12,24 cm. Voda i masti primjerice, upijaju energiju iz mikrovalova u procesu dielektričnog zagrijavanja. Dielektrično zagrijavanje je proces u kojem elektromagnetsko zračenje zagrijava dielektričnu tvar, a prouzročeno je rotacijom dipola. Molekule su pozitivno nabijene na jednom dijelu, a negativno nabijene na drugom, pa se iz tog razloga rotiraju u pokušaju da se poravnaju sa izmjenjujućim električnim poljem mikrovalova. Ta rotacija predstavlja toplinu koja se širi dok se dipoli sudaraju sa drugim molekulama. Efikasnost zagrijavanja ovisi o dipolnom momentu pa se tako tekuća voda zagrijava brže od masti ili šećera, jer ima veći dipolni moment. Prema standardu zahtjeva se da pećnice imaju dva unutrašnja sistema za zaključavanje koji sprečavaju da pećnica proizvodi mikrovalove kada se vrata pećnice otvore. Standard dopušta „curenje“ zračenja oko 1 mW/cm², na udaljenosti 5 cm od pećnice, pri proizvodnji i maksimalni nivo od 5 mW/cm². Mjerenja i analize rezultata dobivene mjerenjima su potvrdila da su pećnice sigurne za kućnu i industrijsku upotrebu.

Još jedan izvor zračenja su i point-to-point mikrovalne antene. To su antene koje služe kao odašiljači glasovnih i podatkovnih poruka ili kao veza između kablovskih TV studija i odašiljačkih antena. One odašilju i primaju mikrovalne signale preko relativno malih udaljenosti. Ove antene pri odašiljanju signala koriste vrlo male nivoe energije, otprilike nekoliko vata pa čak i manje, što je mnogo manje nego radiostanica. Prilikom emitiranja mikrovalni signal putuje kao

direktna zraka od odašiljačke antene do primajuće sa minimalnim rasipanjem mikrovalne energije. Ove antene ne predstavljaju opasnost za ljude.

Satelitske antene se sastoje od paraboličnih antena, promjera 10 - 30 cm, a koriste se za odašiljanje i primanje signala u orbiti oko Zemlje. Kod satelitskih antena koje samo primaju signale nema nikakve opasnosti za ljudsko zdravlje, što se tiče zračenja. Međutim, satelitske antene koje odašilju signale koriste vrlo veliku energiju, posebice ako prenose signal do npr. nekog satelita. Zrake su u tom slučaju vrlo uske i visoko usmjerene, pa je to dobra stvar što se tiče zdravlja ljudi, međutim zbog sigurnosnih razloga pristup takvim antenama je također zabranjen.

Bežični prenosivi radio uređaji ili walkie-talkies su uređaji male snage koji se koriste za slanje i primanje poruka preko relativno male udaljenosti. Oni koriste niske energetske nivoe, oko nekoliko vata. Provedena su neka mjerenja s obzirom na štetnost ovih uređaja na ljudsko zdravlje, međutim ta mjerenja nisu potvrdila ni štetnost ni neštetnost za ljudsko zdravlje.

4.3. Zračenje ekstremno niskih frekvencija

Zračenje ekstremno niskih frekvencija je treće područje neionizirajućeg zračenja. Ono uključuje izmjeničnu struju i neionizirajuće zračenje od 1 Hz do 300 Hz. Budući da su to niske frekvencije, valne duljine reda 1000 km, stvaraju se statička elektromagnetska polja. Polja ekstremno niske frekvencije sadrže razdvojeno, neovisno magnetsko i električno polje. Električno polje stvara napon i njegovim povećanjem povećava se snaga električnog polja. Magnetska polja stvara struja koja teče vodičima i njenim povećanjem povećava se snaga magnetskog polja. Drugim riječima, napon proizvodi električno polje odnosno struju, a struja magnetsko polje. Da bi se proizvelo magnetsko polje, električna oprema mora biti uključena, dok električna polja postoje i kada je električna oprema isključena, skroz dok je ta oprema priključena na struju. Utjecaj zračenja ekstremno niskih frekvencija ovisi o jačini izvora magnetskog polja, udaljenosti od izvora i vremena provedenog u magnetskom polju. Naravno, ovom obliku zračenja su najviše izloženi radnici koji rade u blizini takvih sustava. Mjerenjima je utvrđeno da se jaka magnetska polja nalaze u blizini velikih električnih motora, generatora, električnih kablova, ali i u blizini električnih pila i bušilica, fotokopirnih uređaja, sušila za kosu, električnog brijača i sličnih malih uređaja.

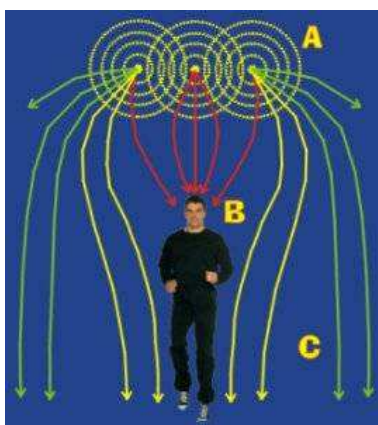
U tablici 2 prikazana je prosječna jakost magnetskog polja na udaljenosti 15 cm od električnog uređaja.

| Električni uređaj | Jakost magnetskog polja [mG] |
|--------------------|------------------------------|
| Sušilica za kosu | 300 |
| Mikrovalna pećnica | 200 |
| Električni brijlač | 100 |
| Mikser | 70 |
| Aparat za kavu | 7 |
| TV | 7 |

Tablica 2. Prosječna jakost magnetskog polja na udaljenosti 15 cm od električnog uređaja

Neka istraživanja koja su provedena pokazala su da se nekim radnicima, koji su na radnom mjestu bili izloženi jakim magnetskim poljima, povećao rizik dobivanja tumora. Međutim, to ne dokazuje da izlaganje tom zračenju uzrokuje tumor. Znanstvenici su proveli brojna istraživanja, ali se još nisu složili djeluju li ili ne ova zračenja na zdravlje ljudi. Međutim, zbog zaštite radnika koliko je to moguće, NIOSH (Nacional Institute for Occupational Safety and Health) je izdala određene mjere prevencije, među kojima su i sljedeće: informiranje radnika i zaposlenih ljudi o mogućim opasnostima magnetskih polja, odrediti gdje su glavni izvori zračenja na radnom prostoru, povećati udaljenost radnika od izvora zračenja, smanjiti vrijeme izlaganja zračenju, koristiti opremu koja je dizajnirana tako da ima nisku emisiju zračenja.

Dalekovodi također pripadaju u ovu skupinu izvora neionizirajućeg zračenja. Dalekovodi prenose struju preko velikih udaljenosti i obično rade na 100 kW i više. Jačina magnetskog polja dalekovoda je određena iznosom struje koja teče, uređenosti i blizinom dalekovoda, visinom iznad zemlje i udaljenosti od drugih dalekovoda. Na slici 15 prikazan je „problem dalekovoda“. Sliku i objašnjenje sam preuzeo sa stranica FER-a.



Slika 15. „Problem dalekovoda“

Na slici 15 su prikazana tri vodiča, te slikoviti prikaz električnog i magnetskog polja. Kružne linije oko vodiča (A) predstavljaju magnetsko polje, dok linije koje se pružaju prema zemlji (B i C) predstavljaju električno polje. U bilo kojoj točki prostora polje može biti određeno superpozicijom polja svakog vodiča. Ako je npr. to trofazna linija onda su naponi i struje svakog vodiča pomaknuti u fazi te se rezultantno polje računa na osnovi vektorskih suma polja svakog od vodiča. U pojedinim točkama polja se zbrajaju što proizvodi relativno veliku jakost polja dok se u drugim točkama mogu međusobno poništavati. Tako polja vodiča mogu imati vrlo složenu prostornu distribuciju. Pored tih normalnih varijacija u jakosti polja električno polje ispod vodiča doživljava promjene ovisno o svojoj okolini. Na slici 15 je prikazan fenomen koncentracije električnog polja iznad glave osobe koja se nalazi ispod vodiča. Zbog toga što električno polje ima tendenciju da završi na, odnosno, da se usmjeri ka, uzemljenom objektu, te zbog toga što je ljudsko tijelo provodljivo i u električnom smislu blizu potencijala Zemlje, okolno električno polje se usmjerava ka ljudskoj glavi (B). Pojavljuju se i područja (C) sa oslabljenom jakošću električnog polja. Isti se fenomen događa sa bilo kojim objektom umetnutim u električno polje vodiča te se može vrlo precizno izmjeriti. Slične promjene se ne javljaju u magnetskom polju jer je naše tijelo nemagnetično. Iz svega navedenog i uzevši u obzir da se u našim stanicama odvijaju elektrokemijske reakcije, utjecaji električnih polja na naš organizam nisu nezanemarivi ako smo im jako dugo i intenzivno izloženi. Zbog velikih jakosti polja ispod dalekovoda pogubni utjecaji na ljude su rano otkriveni i dokazani, te se zna da je jedino rješenje bijeg od dalekovoda.

Naravno, uz dalekovode tu su i električne centrale, koje su također izvor neionizirajućeg zračenja. Električne centrale vrše kontroliranje i prijenos struje na električne sustave. Najjača magnetska polja oko električne centrale dolaze od prijenosnih linija dalekovoda koje ulaze i izlaze iz električnih centrala. Transformatori unutar električnih centrala proizvode jaka magnetska polja koja ostaju lokalizirana oko transformatora. Električne centrale su ograđene, te se ne preporuča ulazak unutar ograđenog područja.

4.4. Prirodno zračenje

Već sam prije napomunio da osim uređaja koji su izvor neionizirajućeg zračenja postoji i zračenje koje nam dolazi iz prirode, pa ga zato i zovemo prirodno zračenje. Pod prirodna zračenja podrazumijevamo neionizirajuća zračenja iz izvora kao što su podzemni vodeni tokovi, geološki lomovi, Hartmannova mreža i Curryeva mreža te kozmička zračenja. Hartmanova mreža sastoji se od magnetskih meridijana koji se protežu u smjeru sjever-jug i magnetskih paralela u smjeru istok-zapad. Meridijani su međusobno udaljeni 2,5 m, a paralele 2 m. Njihova

debljina iznosi od 21 do 25 cm. Oni oblikuju nevidljive zidove koji se uzdižu okomito i prolaze kroz sve fizičke prepreke (zemljišta i zgrade), jer se sastoje od energije, a ne od materije. Curryeva mreža nazvana je prema pronalazaču dr. med. Manfredu Curryju, koji je bio osnivač Bioklimatskog instituta u Bavarskoj. Mreža je dijagonalna, na Hartmannovu mrežu. Razmak mreže linija je oko 3 do 3,5 m i ima pojas širine oko 60 cm. Curryeva mreža pokriva cijelu zemlju, ali u odnosu na Hartmannovu mrežu proteže se pod kutem od 45°. Smatra se da se više biološki štetna nego Hartmannova, posebno dvostruke linije koje se javljaju u otprilike svakih 50 m. Dokazano je da su prirodna zračenja uzrok bolesti biljaka, životinja i ljudi, jer slabe organizam, te ga čine neotpornim na razne bolesti. Ta zračenja su mala, međutim ako smo mi svakodnevno izloženi i tim malim zračenjima ona će imati utjecaja na naše zdravlje. Ljudski organizam je najizloženiji pogubnom djelovanju zračenja u fazi sna, jer je tada najneotporniji, te se na istoj poziciji nalazi prosječno 7 do 8 sati dnevno. Upravo iz ovih razloga važno je, što je više moguće, izbjegavati prirodna zračenja.

5. Instrumenti za mjerenje zračenja

Istraživanje, proučavanje i kontroliranje zračenja, kako ionizirajućeg tako i neionizirajućeg, poraslo je krajem 80-ih godina dvadesetog stoljeća. Razlog tome bila je černobilska nesreća (1986. godine), te brzi razvoj mikroelektronike koji je ubrzao razvoj novih tehnologija koje proizvode elektromagnetsko zračenje, koriste se njime za svoj rad ili su posljedica zračenja. Što se tiče elektromagnetskog zračenja u neionizirajućem području elektromagnetskog spektra te izvora takvog zračenja, pojavilo se novo veliko područje ljudske aktivnosti, a odnosi se na potrebe bežičnog prijenosa telekomunikacijskih signala i podataka. U to vrijeme u Norveškoj je razvijen sustav bežičnog prijenosa telekomunikacijskog signala na frekvencijama oko 450 MHz. S druge strane, u to isto vrijeme kao odgovor na to, započinju civilni projekti zaštite od neionizirajućeg zračenja, te se stvara terminologija i stručne udruge. Naravno, i u Hrvatskoj se počinju događati slični događaji, pa tako Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu nabavlja prvu profesionalnu opremu, terenski uređaj RAHAM, koji služi za mjerenje snage neionizirajućeg zračenja u prostoru. Točnije, RAHAM je terenski uređaj za mjerenje usrednjene izračene snage neionizirajućeg elektromagnetskog

zračenja u mikrovalnom području. Danas postoji više instrumenata koji služe za mjerenje zračenja, pa ću navesti neke od njih, te ukratko reći nešto o njima.

Omega Max je detektor elektromagnetskog zračenja koji služi za utvrđivanje prisutnosti električnog i magnetskog polja. Taj instrument može detektirati električna polja od 0,1 V/m do 20 kV/m, te magnetska polja od 1 nT pa sve do 20 mT u području frekvencija od 10 Hz do 100 kHz. Ako postoji opasnost po ljudsko zdravlje, instrument to signalizira svjetlosnim i zvučnim signalom. Prednost ovog uređaja je digitalni prikaz očitanih vrijednosti.

Lotus je detektor koji služi za mjerenje jakosti električnog i magnetskog polja. Jakosti polja mjeri u koracima i indicira ih uključivanjem odgovarajućeg broja LED dioda. Na raspolaganju je 10 dioda koje predstavljaju vrijednosti od 100, 200, 300, 450, 600, 1000, 1500, 2000, 3000, 4500 nT za magnetska polja i 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 60 i 100 V/m za električna polja. Osim dioda, postoji i zvučni signal kojim uređaj označava pojačanu jakost polja.

Genius je instrument pomoću kojeg utvrđujemo porijeklo nemirnih energetske polja izazvanih podzemnim vodama, geološkim zračenjima, Hartmannovom mrežom i svemirskim zračenjima. Sastoji se od „L“ antene, a signalizira na način da se „L“ antena otkloni, te on da svjetlosni i zvučni signal.

Kada govorimo o Hartmann Scanneru govorimo o paru instrumenata sa kojima je moguće utvrditi nemirna energetska polja, prvenstveno u slučaju geopatogenih zona. Najkvalitetnije i najpreciznije pronalazi Hartmannove linije i Hartmannove čvorove. Jedan instrument je odašiljač, a drugi prijamnik. Kada pronalazimo zone geopatogenih zračenja odašiljač odložimo na neku lokaciju u prostoriji, a sa prijamnikom idemo po prostoriji i tražimo geopatogena zračenja. Ako se ne nalazimo iznad Hartmannovog čvora prijamnik pušta zvuk, čim uđemo u područje čvora prijam signala je poremećen i zvuka nema. Po izlasku iz zone čvora prijamnik se ponovo oglasi svojim karakterističnim zvukom. Zone otkrivene ovim instrumentima su izuzetno opasne za ljudski organizam i dugotrajno boravljenje na čvoru kod svakoga, prije ili poslije, izazove zdravstvene tegobe.

HI-3604 je mjerni sustav namijenjen analizi i mjerenju električnih i magnetskih polja koja su povezana sa 50/60 Hz sustavima prijenosa energija, te distribucijskom mrežom uključujući i uređaje koji koriste takvu energiju. Na njemu je omogućeno direktno digitalno očitavanje jakosti polja. Može se spojiti i na osciloskop, te na taj način možemo vizualno vidjeti

oblik signala koji mjerimo. Ima i memoriju za pohranjivanje rezultata koja pruža jednostavniju analizu rezultata snimljenih na terenu. Instrument se može postaviti na tronožni stalak, te ga se može kontrolirati pomoću daljinskog upravljača.

Scallar je uređaj namijenjen za mjerenje vitalnosti i biopotencijala. Služi za mjerenje energetskog protoka u tijelu. Energiju mjeri preko dlanova i jagodica na prstima. Dlanovi ruku se postavljaju na za to predviđena i označena mjesta, te se biopotencijal očitava na jednoj od 10 žaruljica. Pri tome treba paziti na pravilan pritisak što se vidi na LED diodi koja ga indicira. Vitalnost organizma prikazuje analogni pokazivač indikatora. Uređaj je namijenjen za dokazivanje postojanja biopotencijala.

Detektor tehničkog zračenja je uređaj pomoću kojega se lako mogu otkriti izvori zračenja, te njihova polja, a samim time poduzeti i koraci za njihovo izbjegavanje. Kada se nalazi u štetnom polju uređaj zvučnim signalom to daje do znanja. Poboľjšane verzije ovog uređaja su već prije navedeni Lotus i Omega Max.

6. Princip predostrožnosti

Princip predostrožnosti je mehanizam kojim se u moderno doba štitimo od utjecaja novih tehnologija na našu okolinu, naš život i na nas same, a da o tim tehnologijama nemamo dovoljno saznanja i jasnih predodžbi. Princip predostrožnosti se nalazi i u sporazumu o ustroju Europske unije i jedan je od važnih temelja njezine ekološke politike. Prema tom sporazumu, taj princip trebao bi biti upotrebljavan uvijek kada i gdje postoji razumna sumnja u postojanje zdravstvenog rizika ili rizika za okoliš. Međutim, mjere koje su zasnovane na tom principu ne trebaju biti usmjerene na potpuno sprečavanje rizika, jer je to ipak nerealno. Princip predostrožnosti za frekvencijska područja neionizirajućeg zračenja obrađen je u dokumentu „The Physiological and environmental effects of non-ionizing electromagnetic radiation“. Iako prirodno neionizirajuće zračenje iz svemira ne dolazi u cijelosti do Zemljine površine, postojeće pozadinsko zračenje prekriva zemaljsku kuglu puno kompleksnijom matricom izloženosti nego što je to slučaj s ionizirajućim pozadinskim elektromagnetskim zračenjem, a tu mislim na X i γ zračenje. Toj kompleksnosti također se pribrajaju i doprinosi umjetno stvorenih izvora elektromagnetskog zračenja. Općenito se ionizirajuće zračenje razmatra odvojeno od neionizirajućeg, ali imaju slične utjecaje na ljudsko tijelo. Rendgensko zračenje, koje je ionizirajuće, i neionizirajuće mikrovalno zračenje šire se prostorom i ozračuju prvo površinu ljudskog tijela gdje bivaju djelomično reflektirani (radarske frekvencije), a potom ovisno o frekvenciji, odnosno

prodornosti elektromagnetskog zračenja ulaze u tijelo i bivaju djelomično ili potpuno apsorbirani deponirajući, odnosno pohranjujući, energiju zračenja u tkivu. Deponiranje energije koju vanjsko zračenje donosi u tijelo je najvažniji proces međudjelovanja zračenja i tkiva, odnosno tvari općenito. Kako bi smo izmjerili tu vanjsku energiju, služimo se fizikalnim metodama mjerenja vanjskog polja elektromagnetskog zračenja, odnosno koristimo se dozimetrijskim metodama mjerenja upadnog polja zračenja.

7. Izloženost stanovništva Hrvatske elektromagnetskom zračenju u području frekvencija od MHz do GHz

Za početak, samo informativno, vrijedi spomenuti fizikalnu veličinu kojom opisujemo maksimalno moguću deponiranu energiju rendgenskog zračenja (iako je to ionizirajuće zračenje) u tijelu, a to je apsorbirana doza. Tu veličinu mjerimo sljedećom formulom:

$$D = \frac{E}{m} \quad \left[\frac{J}{kg} = Gy \right]$$

gdje je E energija, a m masa.

Nakon završetka Domovinskog rata došlo je do naglog prodora mobilne telefonije u Republiku Hrvatsku, pa se Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada uključio u neovisna istraživanja na području neionizirajućeg zračenja. Utjecaji nekih vrsta tehnološki proizvedenih zračenja na ljudski organizam su dobro istražena, međutim neki utjecaji i međudjelovanje toga zračenja s ljudskim tijelom su i dalje nedovoljno istraženi. Hazard ili pogibeljnost je skup svekolikih okolnosti u okolišu koje mogu uzrokovati loše posljedice, a rizik ili opasnost je vjerojatnost pojave loših posljedica uzrokovanih hazardom. S druge strane, procjena rizika je mjera kojom pokušavamo ocijeniti potencijalne opasnosti za ljudski organizam. Procjena rizika obuhvaća izradu i evaluaciju nivoa, odnosno razina, mogućeg rizika za ljude i definiciju najniže razine za izračenu gustoću snage (S) elektromagnetskog zračenja iznad koje se ljudsko zdravlje može smatrati ugroženo. Granična vrijednost za prosječnu gustoću snage (S) snopa elektromagnetskog zračenja koji padne na cijelo tijelo je 10 W/m^2 ispod koje nema opasnosti za ljudsko zdravlje. Da bi se osigurala margina sigurnosti granične vrijednosti gustoće snage ona se umanjuje za faktor 10-50, što dovodi do osnovnih restrikcija od $0,72 \text{ W/m}^2$ za izlaganje kontrolne i opće populacije. Granične vrijednosti nazivamo još i maksimalno dopušteno izlaganje (MPE – maximal permissible exposure). U tablici 3 je ukratko opisan jednostavni postupak procjene rizika od izlaganja ljudi elektromagnetskom zračenju iz antena mobilnih komunikacija.

| | |
|---|--|
| Identifikacija hazarda | Antene, stupovi, građevine, telefoni, zbog pojave nove tehnologije bežičnog telefoniranja na daljinu upotrebom elektromagnetskih polja visokih frekvencija koja do sada nisu postojala kao prirodna u tom intenzitetu. |
| Analiza učestalosti događaja koje pratimo | Kontinuirano izlaganje telekomunikacijskom elektromagnetskom zračenju iz antena baznih postaja |
| Analiza posljedica | Potrebno je epidemiološko praćenje kako bi se utvrdile i klasificirale dobre i loše posljedice |
| Proračun rizika | Odluka što zapravo pratimo |
| Procijenjene i propisane vrijednosti (granične) | Npr. $8 \text{ V/m}^{-1} < 16,41 \text{ V/m}^{-1}$ |
| Procjena rizika | Uspoređujemo dobivenu mjeru štetnosti s već postojećim kriterijima, izvodimo normiranje na granice dopuštenog izlaganja i određujemo mjere smanjenja rizika |

Tablica 3. Postupak procjene rizika od izlaganja ljudi elektromagnetskom zračenju iz antena mobilnih komunikacija

Kako bismo za procijenjeni rizik dobili veličinu s pomoću koje će se procijeniti ukupno opterećenje jedinki ili populacije elektromagnetskim zračenjem, unutar promatranog prostora definiramo ukupnu mjeru štetnosti (RR – risk ratio) kao:

$$RR = \frac{(\sum E)^2}{E_{granična}^2}$$

za svaku pojedinu frekvenciju, gdje je $\sum E$ zbroj mjerenih vrijednosti, a

$$E_{granična}^2 = 16,41 \frac{\text{V}}{\text{m}} \text{ do } 17,04 \frac{\text{V}}{\text{m}} \text{ (npr. za neko mjerenje)}$$

je vrijednost u skladu s Pravilnikom, te ovisi i o stvarnim frekvencijama odašiljanja antena bazne postaje od interesa.

U realnoj situaciji, ljudi su uvijek izloženi ozračenju iz više izvora elektromagnetskog zračenja istodobno, te se to mora uzeti u obzir prilikom procjene ozračenosti. Od izloženosti elektromagnetskom zračenju se ima smisla štititi jedino ako su ona posljedica neke tehnologije ili ljudske djelatnosti općenito, a ne prirodna. Najčešći tipovi rizika su:

1. Rizik koji je jasno identificiran i koji jasno vodi do štetnosti koje možemo opisati statistikom (npr. požari, nesreće u tvornicama...)
2. Rizici za koje se vjeruje da postoje posljedice od njih, ali kod kojih kauzalna veza s jedinkom nije pouzdano sigurna (npr. kancerogeneza zbog izlaganja zračenju)
3. Rizik koji opisuje najpouzdanije ekspertne procjene vjerojatnosti za događaj katastrofe za koju se vjeruje da se nikada neće dogoditi

Najčešće si postavljamo pitanje štiti li ta formalna razina zračenja iz antenskih izvora sve ljude, samo neke koji nisu osjetljivi ili sve osim onih koji su izrazito osjetljivi. Da bi se to ispitalo uvodi se koncept dozimetrije. Dozimetrija je mjerenje izlaganja u definiranim uvjetima kako bi se jasno pratili opći trendovi izloženosti elektromagnetskom zračenju. Naravno, za to postoje određeni zakoni. Zakonom propisana dopuštena granica izlaganja je minimalno 8 m od centralne osi antene gdje je $E = 16,41 \text{ V/m}$, a izračena gustoća snage elektromagnetskog vala po svakoj radnoj frekvenciji antene iznosi $S = 0,72 \text{ W/m}^2$.

7.1. Mogući učinci elektromagnetskog zračenja visokih frekvencija na biološki materijal

Potencijalni hazardi prilikom međudjelovanja elektromagnetskog polja su električni, biološki (npr. zagrijavanje tkiva), inducirani i nelinearni posredni efekti. Dozimetrijska veličina kojom se služimo za opis učinka zagrijavanja tkiva zbog međudjelovanja tkiva s elektromagnetskim zračenjem je specifična apsorbirana snaga (*SAR* – specific absorption rate). Elektromagnetsko zračenje prilikom prolaska kroz tkivo stvara kemijski i toplinski učinak koji se može izmjeriti. Međutim, mjerni podatak o količini elektromagnetskog zračenja koje dopire na površinu tijela gdje ga mjerimo nije konačna mjera za biološki učinak tog zračenja. Međudjelovanje je opisano količinom energije koju je elektromagnetsko zračenje donijelo do tijela, koja je ušla u tijelo i koja se deponirala u tijelu. Sve to ovisi o frekvencijama i o vrsti tkiva. Apsorpcijski presjek (*AC*) tijela koje je izloženo elektromagnetskom zračenju je omjer ukupne gustoće snage elektromagnetskog zračenja apsorbirane u ozračenom tijelu i ulazne gustoće snage

(S_{ulaz}) elektromagnetskog zračenja. Apsorpcijski presjek (AC) ima dimenziju površine i računa se kao:

$$AC = \frac{SAR m}{S_{ulaz}} \text{ [m}^2\text{]}$$

gdje je m masa tijela, a AC je funkcija koja ovisi o frekvenciji elektromagnetskog zračenja i o obliku tijela.

Relativni apsorpcijski presjek (RAC) tijela definira se kao omjer apsorpcijskog presjeka i geometrijskog presjeka tijela G_t . G_t je površina presjeka tijela koja je projicirana na ravninu okomitu na smjer prostiranja ulaznog elektromagnetskog zračenja, te iznosi:

$$G_t = \pi r^2$$

gdje je r polumjer kugle. RAC je bez dimenzije i mjeri sposobnost tijela da apsorbira elektromagnetsko zračenje. Za tijelo oblika kao što je ljudsko RAC ovisi o orijentaciji tijela u prostoru s obzirom na polarizaciju elektromagnetskog zračenja, te se to može izraziti kao:

$$RAC = \frac{SAR m}{S_{ulaz} G_t}$$

ili

$$RAC = \frac{P_{raspršeno}}{S_{ulaz} \times G_t}$$

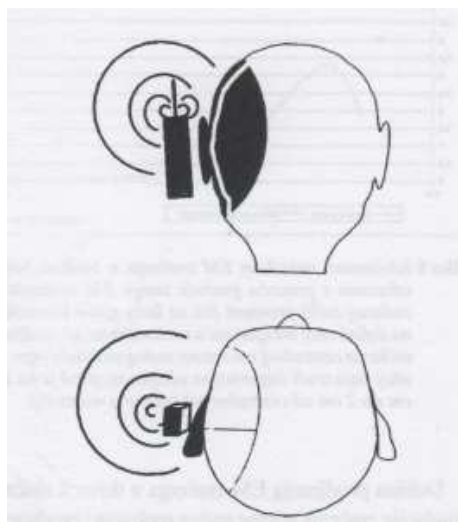
gdje je $P_{raspršeno}$ ukupna snaga raspršena na tijelu. RAC opisuje koliko geometrijska površina koja je prepreka elektromagnetskom zračenju efikasno raspršuje ulazno zračenje. RAC je funkcija koja ovisi o frekvenciji i obliku tijela, isto kao i AC .

7.2. Kvalitativna dozimetrija elektromagnetskog visokofrekventnog neionizirajućeg zračenja

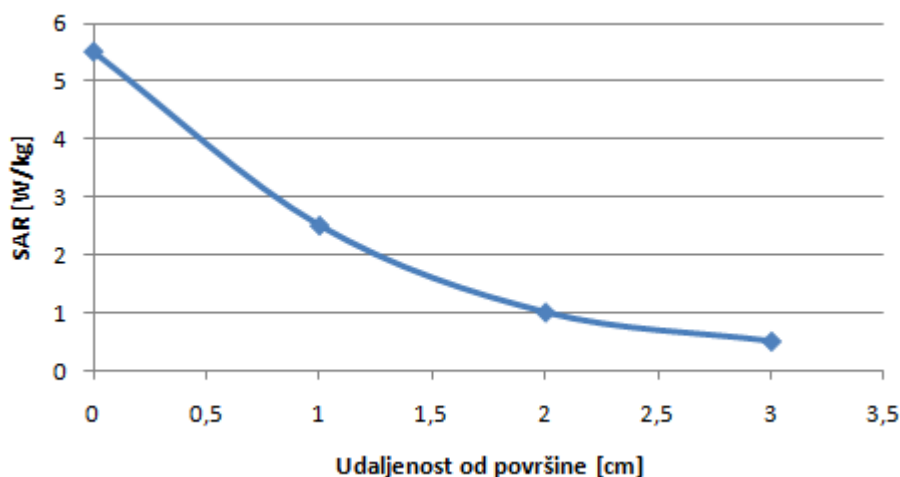
SAR je fizikalna veličina kojom opisujemo energiju elektromagnetskog zračenja koja ostaje deponirana u tkivu koje je bilo izloženo tom zračenju. Nije jednostavno izmjeriti tu veličinu, pa se ona određuje posredno mjerenjem gustoće snage S ulaznog elektromagnetskog polja i numeričkim proračunima. SAR nikad nije tako velik kao što se dobije u mjerenjima gustoće snage. Važna osobina elektromagnetskog zračenja je njegova prodornost pojedine frekvencije u tkivo. Nije točno da će zračenje dublje prodrijeti u tkivo unoseći neprirodnu toplinu od zračenja u njega ako mu je frekvencija viša. To je mnogo kompleksiji mehanizam. Ukupni

SAR ovisi o površini tijela izloženog elektromagnetskom zračenju. Mjereći ulaznu snagu elektromagnetskog zračenja u točki površine tijela i poznavajući biološke podatke koji su potrebni za izračun *SAR*-a, možemo izvršiti konačnu dozimetrijsku obradu potrebnu za procjenu rizika ozračivanja tijela od elektromagnetskog zračenja iz antena baznih postaja. Kako bi se zaštitili od zračenja važno je znati sigurnu udaljenost (granicu tolerancije) gdje ako se čovjek nalazi ne postoji rizik od ozračivanja.

Rizik može biti nametnut ili osobni, tj. nenametnut. Ako koristimo mobilne telefone to je osobni rizik i nije nametnut od drugih ljudi. Međutim, izlaganje zračenju baznih postaja smatra se društveno nametnutim rizikom izlaganja zračenju. Republika Hrvatska je donijela Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja koji svojim pravilnicima propisuje zakonska ograničenja izlaganja zračenju. Javnost pokazuje najveći interes za antenske stupove. Postavljanje, puštanje u rad i uporaba odašiljačkih antena, baznih postaja i ostale opreme pokretne radiotelefonijske podliježe i odredbama Zakona. Izloženost stanovništva elektromagnetskom zračenju iz baznih postaja događa se u dalekom polju, a izloženost pojedinca elektromagnetskom zračenju iz antene mobitela se događa u bliskom polju zračenja, što unosi kvalitativnu razliku prilikom mjerenja i dozimetrije ulaznih telekomunikacijskih elektromagnetskih polja u tkivo. Također, treba napomenuti da se sva profesionalnih izlaganja događaju u bliskom polju zračenja. Bazne postaje, te zračenje njihovih antena pridonose stvaranju tzv. „elektrosmoga“. Antene na baznim postajama zrače konstantni mješoviti telekomunikacijski signal s tornjeva ili krovova. U urbanim sredinama kao što je Zagreb procijenjeni „elektrosmog“ iznosi otprilike $E < 100 \mu\text{W}/\text{m}$ ($40 \text{ dB } \mu\text{V}/\text{m}$). Nivoi bliskog elektromagnetskog polja pokraj uključenog mobitela variraju, ovisno o dizajnu antene u mobitelu i često mogu biti veći od propisanih vrijednosti električnog polja i gustoće snage. Dubina prodiranja elektromagnetskog zračenja u tkivo u slučaju simulacije zračenja antene mobitela i prodiranja zračenja u tkivo glave korisnika prikazana je na slikama 16 i 17.



Slika 16. Simulacija zračenja u bliskom polju mobilnog telefona



Slika 17. SAR – dubina prodiranja EM zračenja u tkivo glave

Dubina od 2,5 cm doseže područje moždanog tkiva, što opravdava intenzivna istraživanja utjecaja ovog oblika elektromagnetskog zračenja na ljudski organizam. Najviša vrijednost električnog polja prirodnog elektromagnetskog zračenja u intervalu frekvencija od 900 MHz do 1800 MHz je od $10 \mu\text{V/m}$ do $30 \mu\text{V/m}$ ($20 \text{ dB } \mu\text{V/m}$ – $30 \text{ dB } \mu\text{V/m}$). Mjerenje je zasnovano na mjerenju gustoće snage po jedinici izračenog vala frekvencije od $20 \text{ W/cm}^2\text{MHz}$ do $200 \text{ W/cm}^2\text{MHz}$. Magnetsko polje H u slobodnom zračnom prostoru je A/m i mora se množiti s faktorom 1,26 da dobijemo magnetski tok u μT . Intenzitet zračenja izražavamo ili pomoću jakosti električnog (magnetskog) polja ili kao gustoću snage ovisno o tome jesu li nastupili uvjeti bliskog ili dalekog polja. Analizirajući sve ovo, slobodno možemo reći da je neionizirajuće zračenje moderni stresor u okolišu.

8. Izloženost ljudi neionizirajućim elektromagnetskim poljima od ekstremno niskih do mikrovalnih frekvencija

Vrlo je bitno istražiti utjecaj umjetno stvorenih elektromagnetskih polja u ljudskom okolišu u neionizirajućem dijelu spektra od ekstremno niskih (reda veličine Hz) do ekstremno visokih frekvencija (do nekoliko stotina GHz). Učinak električnih i magnetskih polja niskih frekvencija su neuromišićne stimulacije, a na visokim frekvencijama presudnu ulogu u biološkim učincima zbog efekta rezonancije imaju toplinski efekti. Na ekstremno niskim frekvencijama zanemaruju se Maxwellove pomične struje pa se električna i magnetska polja razmatraju odvojeno. Čovjek može biti izložen djelovanju niskonaponskih sustava, kod kojih najviše zračenja dolazi od magnetskog polja, i visokonaponskih sustava, kod kojih najviše zračenja dolazi od električnog polja. Ljudi su posebno osjetljivi na elektromagnetska polja visokih frekvencija jer tijelo apsorbira izračenu elektromagnetsku energiju, pa samim time dominantan postaje popratni toplinski učinak. Za razliku od analize na niskim frekvencijama, koja se temelji na proračunu induciranih gustoća struja u tijelu, na visokim frekvencijama je osnovni parametar za kvantificiranje toplinskih efekata zbog apsorbirane energije elektromagnetskog zračenja stupanj specifične apsorpcije ili specifična apsorbirana snaga. Kako bi što bolje istražili taj problem, koristimo elektromagnetsku dozimetriju. S obzirom na karakter analize, dozimetriju možemo podijeliti na teorijsku i eksperimentalnu, a s obzirom na frekventijsko područje na niskofrekventijsku i visokofrekventijsku. Dozimetriju također možemo podijeliti i na dozimetriju vanjskog i dozimetriju unutarnjeg polja. Metoda konačnih diferencija u vremenskom području, metoda konačnih elemenata, te metoda rubnih elemenata su neke od metoda koje se koriste u dozimetriji. Temeljna dozimetrijska veličina na visokim frekvencijama je specifična gustoća apsorbirane snage.

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{d}{dm} \frac{dW}{dt} = C \frac{dT}{dt}$$

gdje je C specifični toplinski kapacitet tkiva, T temperatura, a t vrijeme.

Ako se promatra uzorak porasta temperature u obliku unutarnjeg električnog polja, SAR je jednak:

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{dP}{\rho dV} = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2$$

gdje je E efektivna vrijednost električnog polja, ρ je gustoća tkiva, a σ je vodljivost tkiva.

Kao što možemo vidjeti iz prethodnih formula, *SAR* je proporcionalan unutarnjem polju, pa se onda glavna zadaća dozimetrije na visokim frekvencijama svodi na određivanje raspodjele električnog polja unutar tijela.

Pod biološkim učincima elektromagnetskih polja na ljudski organizam smatraju se bilo kakve detektabilne, reverzibilne ili nereverzibilne, fiziološke promjene u organizmu. Po opasnost za zdravlje dolazi onda kada biološki efekti prelaze normalne granice koje ljudski organizam može kompenzirati svojim regulacijskim mehanizmima. Naravno, štetni učinci ovise i o vremenu, te dozi ozračenosti. Prihvatljive granice izloženosti poljima ekstremno niskih frekvencija izražavaju se preko magnetskog polja. Pri ekstremno niskim frekvencijama biološki materijal smatra se dobro vodljivim, jer u njemu magnetsko polje preko magnetske indukcije stimulira vrtložne struje na membranama stanica i fluidima. Struje teku u zatvorenim petljama koje leže u ravnini okomitoj na smjer magnetskog polja. Na ovim frekvencijama možemo zanemariti zagrijavanje tkiva, jer valna duljina vanjskog polja iznosi više tisuća kilometara. Ako je inducirana struja prevelika, postoji rizik od stimuliranja stanica električki podražljivog tkiva (osjetilnih, živčanih i mišićnih stanica). Kada je polje jače, naravno jači su i pripadni efekti. Ljudsko tijelo može kompenzirati slabe interakcije, međutim jača polja mogu uzrokovati promjene koje su opasne za zdravlje. Do danas nije utvrđeno uzrokuju li polja niskih frekvencija kancerogene bolesti, međutim utvrđeni su neki efekti koje ta polja uzrokuju, što je prikazano u tablici 4.

| Gustoća struje / $\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$ | Efekti |
|--|--|
| > 1000 | Moguće su blage i teže disfunkcije srca |
| 100 - 1000 | Moguće su promjene u iritaciji središnjeg živčanog sustava, tj. iritacija mišićnog tkiva |
| 10 – 100 | Promjene u bjelančevinama i sintezi DNA, promjene u aktivnosti enzima, mogući efekti na živčanom sustavu |
| 1 - 10 | Moguće su promjene u metabolizmu kalcija ili potiskivanju proizvodnje melatonina koji regulira ritam dan/noć |
| < 1 | Nema poznatih efekata |

Tablica 4. Efekti koje uzrokuju EM polja niskih frekvencija

Međudjelovanje elektromagnetskih polja na radiofrekvencijama s ljudskim tijelom i pripadni biološki efekti mogu se razmatrati na raznim nivoima, od molekuskog do čitavog tijela. Osnovni biološki efekt elektromagnetskih polja visokih frekvencija je zagrijavanje tkiva. S obzirom da živi sustavi mijenjaju svoje funkcije promjene temperature, do pojave štetnih efekata dolazi ako je ukupna elektromagnetska energija apsorbirana u ljudskom tijelu dovoljno velika da može izazvati nekontrolirani porast temperature u tijelu obarajući pri tome termoregulacijske mehanizme tijela. Biološki učinci elektromagnetskog zračenja na visokim frekvencijama se mogu klasificirati na sljedeći način.

1. Toplinski učinci – učinci visokog intenziteta nastaju prilikom apsorbiranja elektromagnetske energije u mjeri dovoljnoj da temperatura tkiva poraste za 0,1 °C.
2. A-toplinski učinci – učinci srednjeg intenziteta kod kojih se apsorbira elektromagnetska energija dovoljna za detektabilno povećanje temperature u uzorku tkiva, ali izostaje značajni porast temperature u tkivu.
3. Netoplinski učinci – efekti niskog intenziteta kod kojih apsorbirana količina energije u uzorku tkiva nije usporediva s energijom koja se oslobodi normalnim tjelesnim funkcijama.

Na temelju proračuna SAR-a za određene dijelove tijela, nivoi apsorpcije elektromagnetske energije mogu se kvalitativno podijeliti na niski nivo apsorpcije (+), srednji nivo apsorpcije (++) i visoki nivo apsorpcije (+++), kako je prikazano u tablici 5.

| Dio tijela | Nivo apsorpcije |
|--------------------|-----------------|
| Očne leće | +++ |
| Čašica koljena | +++ |
| Metalni implantati | +++ |
| Mozak | ++ |
| Pluća | + |
| Srce | + |
| Koža | + |
| Unutarnji organi | + |

Tablica 5. Izloženost homogenom električnom polju visokih frekvencija

Porast temperature oko 1 °C smatra se opasnim za ljudsko zdravlje, kada govorimo o visokofrekventnom zračenju u području od 1 MHz do 10 GHz. Za razliku od učinka visokog

intenziteta postoji dosta kontroverzi o biološkim efektima radiofrekventnog zračenja srednjeg i niskog intenziteta. Postavlja se pitanje utječe li takvo zračenje na ljudsko zdravlje. Budući da je snaga radiofrekventnog zračenja nejednoliko raspoređena, prilikom izloženosti zračenju samo određenih dijelova tijela dolazi do nejednolikog zagrijavanja. Takav primjer je uporaba mobilnog telefona. Kod modularnih polja, kao što je GSM zračenje, uz toplinske efekte može nastupiti i iritacija na staničnom nivou. Posebna bojazan za zdravlje postoji zbog prisutnosti antene mobitela u blizini glave. Provedene su brojne studije o utjecaju mobitela na ljudsko zdravlje, ili točnije na uzrokovanje moždanog tumora ili nekih drugih bolesti. Razne studije su pokazale različite rezultate. Neke studije pokazale su rastući rizik od rijetkih nemalighnih tumora među korisnicima mobilnih telefona, ali još uvijek ne postoji korelacija između rastućeg rizika i dužine vremena uporabe mobilnog telefona. Neke studije su pak pokazale da se maksimalni temperaturni porast u glavi čovjeka uspostavlja nakon 30-ak minuta izloženosti zračenju mobilnog telefona, dok 3 minute izloženosti dovode do porasta temperature većeg od 60%. Za vrijeme izloženosti koje iznosi 6-7 minuta temperaturni rast je oko 90%. Naravno, treba uzeti u obzir i dob čovjeka, te građu tkiva pojedinog čovjeka. Roditeljima se savjetuje da djeci mlađoj od 8 godina ne dozvoljavaju uporabu mobitela, jer su oni više izloženi zračenju nego odrasli ljudi. Neki istraživači upozoravaju na utjecaj mobilnog telefona na mentalne procese kao što su pozornost, kratkotrajna memorija, upravljanje informacijama i vrijeme reakcije. Do sada nitko točno ne zna kakvi su dugoročni efekti zbog izloženosti radiofrekventnom zračenju i je li ono kumulativne prirode, budući da je kumulativni efekt vrlo bitan kada se radi o zdravstvenim pitanjima. Dugoročna kumulativna izloženost je produkt vremena i prosjeka ozračenosti. Istraživanja mogućih posljedica dugotrajnog izlaganja zračenju mobilnog telefona provedena su u okviru projekta INTERPHONE koji je vodila Međunarodna agencija za istraživanje raka. Epidemiološke studije u okviru projekta INTERPHONE upućuju na određenu povezanost između zloćudnih bolesti mozga i dugotrajne uporabe mobilnih telefona (više od 10 godina), pri čemu se spominje povećanje rizika od oko 40%. Treba zahtijevati od ljudi minimiziranje izloženosti zračenju mobilnog telefona dok se studije ne provedu do kraja i dok ne daju konačne točne rezultate vezane za taj problem. Sigurno je da radiofrekventni biološki efekti impliciraju značajan rizik po zdravlje isključivo ako je doza primljenog zračenja vrlo visoka. U većini slučajeva nivoi zračenja visokih frekvencija u okolišu, posebno što se tiče baznih stanica su ispod graničnih razina.

Jedini dokazani učinak, ako govorimo o radiofrekventnom zračenju na ljudski organizam je termički učinak, tj. učinak nespecifičnog zagrijavanja tkiva bliže ili dalje od površine kože

ovisno o fizikalnim karakteristikama zračenja. Zagrijavanje tkiva uzrokovano radiofrekventnim zračenjem može dovesti do razvoja zdravstvenih poremećaja na koži, oku i reproduktivnim organima. Termički učinak je ovisan od dozi te se pri vrijednosti SAR-a uprosječenog na cijelo tijelo ispod 4 W/kg negativni učinci za zdravlje ne očekuju.

Većina ljudi u današnje vrijeme u svojim kućanstvima koriste mikrovalne pećnice, te se istovremeno pitaju jesu li mikrovalne pećnice opasne za njihovo zdravlje. Mikrovalne pećnice nisu zasigurno „izvor zdravlja“, ali u samoj kuhinji postoje i mnogo opasnije stvari od zračenja mikrovalne pećnice, a to su npr. otvoreni plamen, prskanje ulja, trovanje plinom, udar struje itd. Danas nitko sa sigurnošću ne može tvrditi da se izloženosti mikrovalnom zračenju može smatrati apsolutno sigurnom, ali pri savjesnom korištenju mikrovalnih pećnica rizici za zdravlje su minimalni, jer su ovi uređaji konstruirani prema određenim sigurnosnim propisima i ukoliko se s njima rukuje na ispravan način, ne predstavljaju opasnost za korisnika. Naravno, pri rukovanju se treba držati uputa, te redovito čistiti pećnicu, te paziti na moguća oštećenja. Ljudi si često postavljaju pitanje „Može li zračenje mikrovalova oštetiti organizam tako da na tijelu ne osjetimo nikakav utjecaj?“. Odgovor na ovo pitanje je – ne. Mikrovalno zračenje je nevidljivo, ono ima toplinski učinak, no naše tijelo osjeti djelovanje mikrovalova puno ispod praga kada bi oni imali dovoljno snage da prouzroče tjelesna oštećenja. Mikrovalovi prolaze kroz plastiku i staklo, a apsorbiraju ih svi objekti koji sadrže vodu. Izloženost vrlo velikim količinama mikrovalnog zračenja može izazvati opekotine i oštećenja očiju. Ako su vrata pećnice oštećena ili se ne mogu propisno zatvoriti, može doći do "istjecanja zračenja". Maksimalno istjecanje mikrovalnog zračenja dopušteno pravilima utvrđenim za uređaje koji emitiraju zračenje iznosi 1 mV/cm², mjereno na udaljenosti 5 cm od bilo koje vanjske površine pećnice. Smatra se da ta razina nije štetna. Tako dugo dok nema oštećenja na pećnici, iz nje ne bi smjela istjecati energija mikrovalnog zračenja. Nakon ovih razmatranja, netko bi mogao postaviti pitanje „Što sprečava mikrovalove da ne izađu kroz otvore za hlađenje mikrovalne pećnice ili kroz mrežu na vratima?“. Međutim, fizika ima objašnjenje i za ovo pitanje. Mikrovalna pećnica u koju se stavlja hrana zapravo je Faradayev kavez, pa se mikrovalovi ne šire izvan pećnice. Premda su vrata obično staklena, na njih je nalijepljena fina mreža od provodljivog materijala koja ne dopušta prolaz mikrovalovima relativno duge valne duljine, a istodobno prolazi svjetlost, tj. elektromagnetsko zračenje puno kraće valne duljine. Dakle, mikrovalovi ne prolaze kroz otvore za hlađenje ili pak kroz mrežu na vratima i to ponajprije zbog svojih osnovnih vlastitih fizikalnih svojstava. Kako bi se ipak izbjegla opasnost od nekontroliranog zračenja, mikrovalna pećnica prekida rad čim se otvore vrata, pa je to također jedna od mjera opreza.

9. Djelovanje neionizirajućeg elektromagnetskog polja na razini stanice

U istraživanju djelovanja neionizirajućeg elektromagnetskog polja na biološke sustave koriste se različiti postupci i metode. In vitro studije na staničnim kulturama daju važan uvid u osnovne mehanizme bioloških učinaka niskih jakosti zračenja. Ponekad je vrlo teško zaključiti kako ljudsko tijelo odgovara na određeni biološki učinak. In vivo studije na životinjama i ljudima osiguravaju uvjerljivije dokaze o mogućim negativnim učincima na zdravlje. Međutim, javlja se problem kod proširivanja i primjene rezultata dobivenih u eksperimentima sa životinjama na ljude. Epidemiološke studije daju najtočnije rezultate o riziku, ali s druge strane teško je pronaći dobre kontrolne skupine, jer se mora paziti na više faktora, kao što su dob, spol, slične životne navike i sl. Neka istraživanja su pokazala da stanice odgovaraju na elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija kao na stres. Drugim riječima, stanica sintetizira proteine stresa. Također, istraživanja su pokazala da su stanice puno osjetljivije na elektromagnetska polja, nego na toplinski šok. Treba napomenuti da se stres javlja kao osnovni biološki obrambeni mehanizam koji stanice rabe u reakciji na različite štetne podražaje iz okoliša. Proteini stresa pomažu drugi proteinima da dođu do svoga odredišta u stanici. Iz ovoga možemo zaključiti da stanica elektromagnetsko polje prepoznaje kao potencijalno štetno, pa iz toga razloga sintetizira proteine stresa. Naravno, proteini stresa imaju zaštitnu ulogu u stanici, pa se magnetska polja mogu koristiti i u svrhu namjernog izazivanja sinteze proteina stresa. Dakle, elektromagnetska polja se koriste u medicinske svrhe, koriste se pri liječenju rana i bržeg zarastanja kostiju.

10. Mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja

Mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja donesene su u članku 7. Zakona o zaštiti od neionizirajućeg zračenja, te su sljedeće:

1. propisivanje graničnih razina i kontrola izloženosti ljudi neionizirajućem zračenju,
2. proračun i procjena razina zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja,
3. mjerenje razine zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja,
4. vremensko ograničavanje izloženosti ljudi neionizirajućem zračenju,
5. označivanje izvora neionizirajućeg zračenja i prostora u kojima su smješteni,
6. uporaba zaštitne opreme pri radu s izvorima neionizirajućeg zračenja ili radu u prostorima s neionizirajućim zračenjem,

7. određivanje uvjeta za smještaj, nabavu i uporabu izvora neionizirajućeg zračenja,
8. obrazovanje i stručno usavršavanje rukovatelja vezano uz zaštitu od neionizirajućeg zračenja,
9. utvrđivanje i praćenje zdravlja osoba koje su na radnim mjestima izložene neionizirajućem zračenju,
10. osobna i uzajamna zaštita ljudi od izlaganja neionizirajućem zračenju,
11. osiguranje stručnih radnika, tehničkih, financijskih i drugih uvjeta za provedbu mjera zaštite od neionizirajućeg zračenja,
12. vođenje evidencije o izvorima neionizirajućeg zračenja i o izloženosti rukovatelja izvorima neionizirajućeg zračenja,
13. nadzor nad izvorima neionizirajućeg zračenja i nad primjenom mjera zaštite.

11. Zaključak

Utjecaj neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi je problem suvremenog društva koji još uvijek, nažalost, nije dovoljno istražen. Prisutnost neionizirajućeg zračenja u našem okolišu i njegova potencijalna šteta za ljudsko zdravlje je znanstveno, tehničko i društveno pitanje. Iako još nemamo dovoljno korisnih saznanja o utjecaju neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi, neka saznanja ipak postoje, te se iznesena u ovom diplomskom radu, a unatoč tome smatram da su ljudi nedovoljno informirani vezano za ovaj problem, te nisu osviješteni da bi se trebali što je više moguće, na danas poznate načine, zaštititi od zračenja. Također, smatram da bi i mediji trebali igrati jednu od uloga u rješavanju ovoga problema, te bi oni trebali biti ti koji će ljudima skrenuti pozornost da čuvaju svoje zdravlje od utjecaja zračenja, jer zdravlje je nešto što se ne može kupiti, te nešto što svakako treba čuvati. Nadam se da će i ovaj diplomski rad biti kap u moru materijala koji će se moći koristiti za daljnja istraživanja ili informiranja o utjecaju neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi.

U vrijeme pisanja ovog diplomskog rada diljem svijeta se provode istraživanja vezana upravo za ovaj problem. Mnogi znanstvenici i instituti zalažu se za rješavanje ovog nedovoljno istraženog problema, međutim treba imati u vidu da je ovo vrlo kompleksno područje, ne samo fizike, nego znanosti i društva općenito, te treba imati puno volje i strpljenja da se dođe do točnih saznanja o stvarnom utjecaju neionizirajućeg zračenja za zdravlje ljudi.

Ljepota fizike upravo leži u tome da istražujemo nešto nepoznato, povezujemo to nepoznato s već prije stečenim znanjima, te tako dolazimo do novih otkrića koja poboljšavaju te unaprjeđuju naše društvo i živote ljudi, pa se iskreno nadam da će znanost predvođena upravo

fizikom doći do točnog i detaljnog rješenja problema utjecaja neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi.

12. Literatura

1. Planinić, J. Osnove fizike 3 : Valovi-akustika-optika-uvod u atomsku fiziku. Osijek : Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2005.
2. Andreis, T. ; Plavčić, M. ; Simić, N. Fizika 3. Zagreb : Profil, 2004.
3. Andreis, T. ; Plavčić, M. ; Simić, N. Fizika 4. Zagreb : Profil, 2004.
4. Prolić, I. ; Surić Mihić M. ; Schmidt S. ; Hajdinjak M. ; Meštrović T. ; Cerovac Z. Putovi izlaganja i izloženost stanovništva u Hrvatskoj izvorima elektromagnetskog zračenja. // Arhiv za higijenu rada i toksikologiju / Kopjar, Nevenka. Zagreb: Institute for Medical Research and Occupational Health, 2010. Str 3-23
5. Poljak, D. Izloženost ljudi neionizirajućim elektromagnetskim poljima od ekstremno niskih do mikrovalnih frekvencija. // Arhiv za higijenu rada i toksikologiju / Kopjar, Nevenka. Zagreb: Institute for Medical Research and Occupational Health, 2010. Str 25-44
6. Macan, J. ; Turk, R. Zdravstveni učinci radiofrekventnog elektromagnetskog zračenja. // Arhiv za higijenu rada i toksikologiju / Kopjar, Nevenka. Zagreb: Institute for Medical Research and Occupational Health, 2010. Str 53-59
7. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Non-ionizing radiation, part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon: World Health Organization, International Agency for research on cancer, 2002.
8. Sušec, A. Utjecaj neionizirajućih elektromagnetskih polja na zdravlje čovjeka. // 17. ljetna škola mladih fizičara / Zagreb : Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, 2001.

Web stranice:

1. <http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/en/keynote3ng.pdf> (3.4.2012.)
2. <http://www.zpr.fer.hr/static/erg/2001/zirdum/index.htm> (4.4.2012.)
3. <http://www.zakon.hr/z/347/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-neioniziraju%C4%87eg-zra%C4%8Denja> (4.4.2012.)
4. http://www.zracenja.ozdravljenje.net/Detekcija/Hartmann/body_hartmann.html (17.5.2012.)
5. <http://www.full-point.hr/fp-1/op-zracenja.htm> (9.7.1012.)
6. <http://www.institutzasigurnost.hr/propisi/P-91.pdf> (10.7.2012.)
7. <http://www.full-point.hr/fp-1/op-instrumenti.htm> (24.7.2012.)

13. Životopis

Vlatko Vujnovac rođen je 29. prosinca 1988. godine u Osijeku. 1995. godine upisuje se u osnovnu školu Bratoljuba Klaića u Samatovcima, te tamo pohađa prva četiri razreda, a od petog do osmog razreda ide u osnovnu školu Bratoljuba Klaića u Bizovcu, te svoje osnovnoškolsko obrazovanje završava 2003. godine, nakon čega se upisuje u I. (opću) Gimnaziju u Osijeku. 2007. godine maturira u I. Gimnaziji, te iste godine upisuje Odjel za fiziku na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. 2010. godine završava Preddiplomski studij fizike, te upisuje Diplomski studij fizike i informatike također na Odjelu za fiziku u Osijeku. Danas je student druge godine Diplomskog studija fizike i informatike. U slobodno vrijeme se aktivno bavi nogometom.