Odgovor organizama na izloženost elektromagnetskim poljima

Pamučar, Biljana

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:787243

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

ODGOVOR ORGANIZAMA NA IZLOŽENOST ELEKTROMAGNETSKIM POLJIMA

RESPONSE OF ORGANISMS TO ELECTROMAGNETIC FIELDS EXPOSURE

SEMINARSKI RAD

Biljana Pamučar

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate study of Biology)

Mentor: doc.dr.sc. Marko Miliša

Zagreb, 2015.

SADRŽAJ:

1. UVOD.....2

2. ELEKTROMAGNETIZAM.....3

2.1. PRIRODA ELEKTROMAGNETSKIH VALOVA.....3

2.2. ELEKTROMAGNETSKA POLJA.....5

2.3. PRIMJENA.....7

3. UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKIH POLJA NA BIOLOŠKE SUSTAVE.....8

3.1. PROKARIOTSKI ORGANIZMI.....8

3.2. JEDNOSTANIČNI EUKARIOTI - PROTISTA.....10

3.3. KRALJEŠNJACI.....12

4. ZAKLJUČAK.....14

5. LITERATURA.....15

6. SAŽETAK.....17

7. SUMMARY.....17

1. UVOD

U drugoj polovici dvadesetog stoljeća elektromagnetska polja su postala bitna tema mnogih znanstvenih radova iz biomedicinskog područja. Naime, s razvojem tehnologije i globalnom primjenom svih električnih kućanskih uređaja, kao i informatičke opreme, počeo se istraživati utjecaj elektromagnetskih polja na biološke sustave, odnosno organizme. Polazeći od utjecaja na čovjeka, što je potaknulo zanimanje za ovu temu, znanstvenici su krenuli istraživati druge skupine uz odlične modelne organizme - bakterije, jednostanične eukariote, beskralješnjake i kralješnjake. Moj interes za ovo područje polazi, također, od čovjeka, odnosno kakve moguće posljedice može ostaviti izloženost elektromagnetskim poljima, ali neizmjerno je važno sagledati čitavu sliku i započeti s jednostavnim biološkim sustavima i njihovim odgovorom na izloženost.

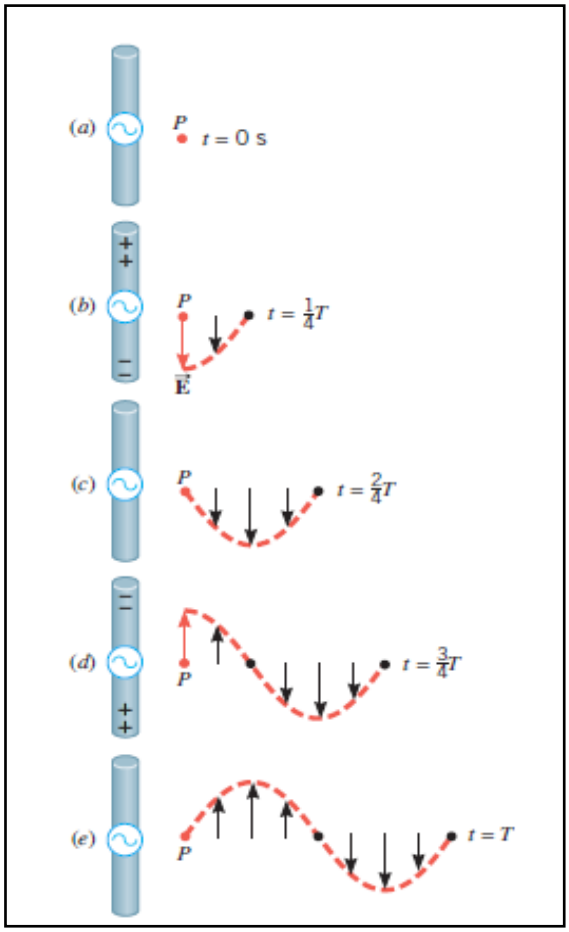
U ovom radu koristit ću kraticu engleskog naziva ELF-EMF, *extremely low frequency electromagnetic fields*. Neka istraživanja su pokazala da su pojedini biološki sustavi pogođeni slabim elektromagnetskim poljima jako niske frekvencije (ELF-EMF). Jako je malo dokaza negativnih učinaka takvih elektromagnetskih polja na protiste u literaturi. Protisti, zbog posebnosti jednostaničnih eukariotskih organizama, odgovaraju neposredno na podražaje iz okoliša, i zato su vrlo pogodni eksperimentalni sustavi (Amaroli *i sur.*, 2006).

Broj istraživanja utjecaja magnetskih polja na prokariotske organizme značajno se povećao u posljednjim godinama. Ona uključuju učinke statičnih magnetskih polja, elektromagnetskih polja niskih frekvencija i pulsnih elektromagnetskih polja na fiziologiju prokariota. Odgovor prokariota na ELF-EMF je doprinio rezultate koji se čine obećavajući u pogledu zdravstva ili industrijske primjene (Inhan-Garip *i sur.*, 2011).

2. ELEKTROMAGNETIZAM

2.1. PRIRODA ELEKTROMAGNETSKIH VALOVA

Škotski fizičar James Clerk Maxwell (1831.-1879.) prvi je dokazao da električno i magnetsko polje, koje zajedno fluktuiraju, mogu stvoriti šireći elektromagnetski val. Da bismo razumjeli ovaj važni tip vala, moramo spojiti znanja o električnim i magnetskim poljima. Sustav koji stvara EMP se sastoji od dvije ravne metalne žice koje su povezane na kleme generatora izmjenične struje, i služe kao antena (Sl. 1.). Razlika potencijala između klema mijenja se sinusoidalno u vremenu t i ima period T. Dio (a) pokazuje vrijednost t=0 s, kada nema naboja na krajevima nijedne žice. S obzirom da nema naboja, nema ni električnog polja na na točki P desno od antene. Kako vrijeme prolazi, gornja žica postaje pozitivno nabijena, a donja žica negativno nabijena. Četvrtinu ciklusa kasnije (t= 1/4 T), naboji dostižu svoje maksimalne vrijednosti, što pokazuje dio (b). Odgovarajuće električno polje E u točki P je prikazano crvenom strelicom i povećalo se do maksimalne jakosti u smjeru prema dolje. Dio (b) također pokazuje da električno polje stvoreno ranije nije nestalo, nego se pomaknulo udesno. Na udaljenim točkama, električno polje naboja se ne osjeća odmah. Naprotiv, polje se stvori najprije blizu žica i onda se kreće prema van kao val u svim smjerovima. Dijelovi (c)-(e) prikazuju stvaranje električnog polja u točki P (crvena strelica) kasnije tijekom ciklusa generatora. U svakom dijelu, polja stvorena ranije u nizu (crne strelice) nastavljaju širenje udesno. Dio (d) prikazuje naboj žica kada je polarnost generatora obrnuta, pa je gornja žica negativna a donja pozitivna. Kao rezultat, električno polje E u točki P obrnutog je smjera i ide prema gore (Cutnell *i* Johnson, 2012).

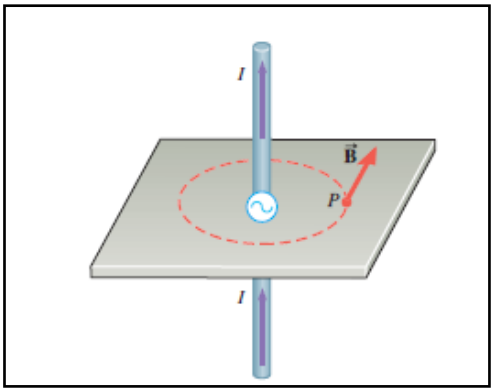


Slika 1. Stvaranje elektromagnetskog vala. Preuzeto iz Cutnell i Johnson, 2012.

Zajedno s električnim poljem, strujanjem naboja, stvara se i magnetsko polje B (Sl. 2.). Uz pomoć pravila desne ruke definira se smjer polja: palac desne ruke pokazuje u smjeru struje, a prsti savijeni u smjeru magnetskog polja B. Kako se mijenja oscilacijska struja, tako se mijenja i magnetsko polje. Primjećujemo da je na slici 2. magnetsko polje okomito na stranicu, a električno polje na slici 1**.** leži u ravnini stranice. Dakle, ova dva polja su međusobno okomita smjeru putovanja. Ova okomita električna i magnetska polja, koja se kreću zajedno, čine elektromagnetski val (Cutnell i Johnson, 2012).

Električno i magnetsko polje naglo se smanjuju s porastom udaljenosti od antene. Tako, ona postoje uglavnom oko antene i zajedno se zovu bliska polja. Ipak, električna i magnetska polja čine val na velikim udaljenostima od antene. Ova polja dolaze od efekta koji je različit od onog koji stvara bliska polja, i zovu se radijacijska polja. Radijacijsko polje nastaje jer promjenjivo magnetsko polje stvara električno polje, koje fluktuira u vremenu, i promjenjivo električno polje stvara magnetsko polje. Elektromagnetski val je transverzni val jer su i

električno i magnetsko polje okomiti na smjer putovanja vala. Također, elektromagnetski val ne zahtijeva medij u kojem će se širiti.



Slika 2. Smjer magnetskog polja B (crvena strelica), uz smjer toka struje I označenog ljubičastim strelicama u anteni. Preuzeto iz Cutnell i Johnson, 2012.

Elektromagnetski valovi mogu putovati u vakuumu ili tvari. Ovi valovi mogu nastati i u situacijama koje ne uključuju žičanu antenu. Općenito, svaki električni naboj koji ubrzava emitira elektromagnetski val, bez obzira je li naboj unutar žice ili ne. U izmjeničnoj struji, elektron titra jednostavnim harmoničnim pokretima duž žice te je primjer naboja koji ubrzava. Svi elektromagnetski valovi se kreću kroz vakuum jednakom brzinom, a simbol *c* se koristi za označavanje ove vrijednosti. Ova brzina se zove brzina svjelosti u vakuumu i iznosi $c \approx 3 \times 10^8$ m s^{-1}. U zraku, elektromagnetski valovi putuju približno istom brzinom kao i u vakuumu, ali inače, kroz tvar kao što je staklo se kreću brzinom manjom od *c*. Frekvencija elektromagnetskog vala je određena oscilacijskom frekvencijom električnih naboja na izvoru vala. Na prethodnim slikama, frekvencija vala bi iznosila kao frekvencija generatora izmjenične struje (Cutnell *i* Johnson, 2012).

2.2. ELEKTROMAGNETSKA POLJA

Jedna od glavnih karakteristika koja opisuje elektromagnetsko polje je njegova frekvencija, odnosno odgovarajuća valna duljina. Možemo zamisliti elektromagnetske valove kao niz vrlo pravilnih valova koji putuju brzinom svjetlosti. Frekvencija (ν) opisuje broj oscilacija ili ciklusa po sekundi, a izraz valna duljina (λ) se odnosi na udaljenost između dva

uzastopna vala. Frekvencija i valna duljina su povezane brzinom svjetlosti, te što je viša frekvencija, to je manja valna duljina:

$$v = c / \lambda .$$

Ove dvije vrijednosti određuju još jedno važno obilježje elektromagnetskih valova – njihovu energiju. Valovi više frekvencije (manje valne duljine) nose više energije nego valovi niže frekvencije (veće valne duljine). Neki elektromagnetski valovi nose toliko energije po kvantu da imaju sposobnost kidanja veza među molekulama. Takva su ionizirajuća zračenja. Ona zračenja čija je energija nedovoljna za kidanje veza među molekulama, zovu se neionizirajuća.

Električna polja postoje kad god je prisutan električni naboj, te će svaka nabijena električna žica stvarati električno polje, čak i kada kroz nju ne teče struja. Magnetska polja nastaju kretanjem električnih naboja. Jačina magnetskog polja se izražava u amperima po metru (A m^{-1}), ali se u istraživanjima elektromagnetskih polja češće koristi gustoća toka u mikroteslama (μT) ili militeslama (mT). U usporedbi s električnim poljem, magnetsko polje nastaje samo kada je neki uređaj uključen i kroz njega teče struja. Što je struja jača, jače je i magnetsko polje. Neke tvari, kao što su građevinski materijali ili stabla, mogu zaustaviti električno polje, npr. kada su vodovi zakopani ispod zemlje, električna polja na površini se jedva bilježe. Naprotiv, magnetska polja ne mogu biti zaustavljena uobičajenim tvarima kao što su zidovi zgrada i slično. Također, postoje statična polja i polja koja variraju u vremenu. Statična polja ne variraju u vremenu. Na primjer, magnetsko polje oko štapićastog magneta ili Zemljino magnetsko polje su statična polja. No, polja koja variraju u vremenu, nastaju od izmjeničnih struja. Izmjenične struje mijenjaju smjer u pravilnim intervalima. U većini europskih zemalja električna struja mijenja smjer frekvencijom od 50 ciklusa u sekundi, odnosno 50 Hz. Isto tako, pripadajuće elektromagnetsko polje promijeni svoju orijentaciju 50 puta svake sekunde.

Prema frekvenciji, elektromagnetska polja možemo podijeliti na polja jako niske, srednje i visoke frekvencije. Polja koja variraju u vremenu, nastala od električnih uređaja, primjer su elektromagnetskih polja jako niske frekvencije (ELF, *extremely low frequency*). Ona imaju frekvenciju do 300 Hz. Sljedeća su elektromagnetska polja srednje frekvencije (IF, *intermediate frequency*), od 300 Hz do 10 MHz. Polja velike frekvencije, ili radiofrekventna polja (RF, *radiofrequency field*), proizvode mobilni telefoni, radio i televizijski prijenosnici. Ova polja imaju frekvencije od 10 MHz do 300 GHz.

2.3. PRIMJENA

Elektromagnetizam igra važnu ulogu u dizajniranju i funkcioniranju svakog zamislivog električnog uređaja. Sva moderna dostignuća vezana za elektromagnetizam je teško nabrojati (Ulaby, Michielssen *i* Ravaioli, 2010).

U svakodnevnom životu gotovo nikada ne razmišljamo o čudesima koja nam omogućuju da pomoću mobitela koji imamo u džepu razgovaramo s bilo kime. Pomoću istoga mobitela možemo sugovorniku poslati neku sliku, film ili pjesmu, pročitati elektroničku poštu ili pomoću satelitske navigacije pronaći neku ulicu u gradu u kojem smo prvi put. Radio, televizija, radari, sve vrste bežičnih komunikacija i internet također počivaju na elektromagnetskim valovima.

Razine pozadinskih elektromagnetskih polja u kućanstvima su uglavnom prouzročena električnim uređajima. Oni se veoma razlikuju u jakosti polja koja stvaraju. S obzirom da i električna i magnetska polja opadaju s udaljenošću od izvora (električnog uređaja), polja koja okružuju električne uređaje su obično u okviru procijenjenih zdravstvenih ograničenja jakosti polja.

3. UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKIH POLJA NA BIOLOŠKE SUSTAVE

3.1. PROKARIOTSKI ORGANIZMI

Elektromagnetska polja se šire kroz čitavu biosferu stvarajući interferencije u biološkim sustavima, a istraživanja o njihovim učincima na zdravlje pokazuju kontroverzne rezultate. Dok neka istraživanja izvještavaju da izloženost elektromagnetskim poljima jako niske frekvencije može promijeniti transkripciju i translaciju gena, utjecati na stopu proliferacije stanica, djelovati na enzimsku aktivnost te povećati rizik za određene oblike raka u odraslih i djece, druga ne uspijevaju naći poveznicu. Nekoliko istraživanja vezanih uz učinke stresa nastale od elektromagnetskih polja jako niske frekvencije je provedeno na prokariotskim stanicama na kojima mogu lako biti procijenjeni kronični učinci, zbog kratkog životnog ciklusa. Dobro je poznato da bakterije, kada su izložene uvjetima stresa, prelaze na nove biokemijske puteve usmjerene na njihovo održavanje. Osobito, transpozicija, koja predstavlja važni izvor genetske varijabilnosti, može biti inducirana kada su bakterije izložene okolišnom stresu. Na taj način, bakterije se pokušavaju prilagoditi putem varijabilnosti unutar soja. Zapravo, heterogenost unutar stanične populacije povećava postojanost bakterija, podupirući odabir bolje prilagođenih varijanti. Štoviše, veliki broj bakterija, kao odgovor na različite okolišne čimbenike (npr. nedozvoljene temperature, pH) mogu ući u stanje dormancije poznato kao "Vijabilno ali ne kulturabilno stanje" (VBNC, *viable but non culturable state*), kao i početi stvarati biofilm nastao od sesilnih nakupina stanica utisnutih u matriks u kojem se stanice organiziraju u mikrobne skupine, stvarajući oblik "slobodne višestaničnosti" (Cellini *i sur.*, 2008).

Cilj ovog istraživanja bio je istražiti jesu li i kako prokariotski organizmi sposobni aktivirati strategije za prilagodbu na stres izazvan izlaganjem elektromagnetskom polju frekvencije 50 Hz i jakosti odnosno gustoće magnetnog toka 0.1 do 1.0 mT. Ovakva polja se javljaju svugdje u okolišu. Posebno, izložene kulture su uspoređivane s odgovarajućim lažno izloženim kontrolama za: (i) broj bakterija i stanje vijabilnosti; (ii) osjetljivost na antibakterijske tvari; (iii) morfološke aspekte; (iv) analizu DNA i RNA otiska. Da bi provjerili mogući učinak elektromagnetskog polja od 50 Hz, *E. coli* ATCC 700926 izložena je elektromagnetskim poljima od 0.1, 0.5 i 1.0 mT u trajanju od 20 minuta (s) i 120 minuta (s1) na 37°C te poslije reinkubirani izvan elektromagneta 24 sata. Može se pretpostaviti da elekromagnetsko polje od 50 Hz interferira sa staničnim ciklusom bakterije potičući ulazak u

VNBC stanje koje za bakterije predstavlja zaštićeno i prilagođeno stanje. Nadalje, primjećena je promijena u morfotipu *E. coli* koja je počela stvarati veliki broj kokoidnih stanica. Kokoidni morfotip predstavlja uobičajenu morfologiju bakterija koje se prilagođavaju na izvor stresa. Ipak, nakon izlaganja 20 i 120 min te reinkubacije 24 h izvan elekromagneta, bakterije vraćaju tipični bacilarni morfotip koji pokazuje određen broj atipičnih izduženih bakterija. Ove atipične, izdužene bakterije ukazuju na promjenu tijekom stanične diobe. Kada su izložene kulture reinkubirane izvan elektromagneta, bile su sposobne stvarati nakupine, a određeni broj je vratio morfologiju bacila. Promjena u smislu agregacije stanica ukazuje da 50 Hz elektromagnetsko polje ima utjecaja na bakterije. Osobito, tendencija stvaranja nakupina predstavlja strategiju preživljavanja usmjerenu na zaštitu bakterijskih stanica. Izloženim kulturama i odgovarajućim kontrolama proučavan je i DNA otisak (*fingerprint*) AFLP analizom da bi se utvrdila prisutnost mikro- ili makroevolucija prouzročenim izloženosti ELF-EMF u vremenu. DNA otisci nisu pokazali značajne razlike između uzoraka DNA za svako proučavano stanje. Naprotiv, analiza RNA otisaka, proučavana samo da bi se detektirala prisutnost transkripcijskih modifikacija povezanih s morfološkim promjenama, pokazala je nekoliko razlika koje su bile uočljive u svakom od intenziteta 50 Hz elektromagnetskog polja. Pri intenzitetu od 1.0 mT amplifikacijski produkt je bio jači i veći u s i s1 uzorcima (izloženi) nego u c uzorcima (kontrola). Svi ovi rezultati ukazuju na to da elektromagnetsko polje frekvencije 50 Hz djeluje kao faktor stresa na bakterije, potičući fenotipske i transkripcijske promjene (Cellini *i sur.*, 2008).

U drugom istraživanju, praćen je utjecaj ELF-EMF na rast i morfologiju bakterijskih stanica, ali na tri gram-pozitivna i tri gram-negativna soja bakterija. Oni su izlagani ELF-EMF frekvencije 50 Hz i intenziteta 0.5 mT 6 sati te je optička gustoća mjerena svaki sat. Za sve sojeve, izložene i kontrolne, rast je bio značajan. Uočeno je da je ELF-EMF prouzročio statistički značajno smanjenje u stopi rasta, za sve sojeve što je potrajalo dok nije postignuta stacionarna faza. Da bi istražili jesu li promjene prouzročene ELF-EMF prisutne i poslije izlaganja, bakterije su izlagane polju, skupljene u mid-log fazi te inkubirane 4 sata, uz mjerenje optičke gustoće svaki sat. Rezultati upućuju da je ELF-EMF, uz izuzetak bakterije *Klebsiella pneumoniae*, odgovoran za smanjenje stope rasta i nakon završetka izlaganja (Inhan-Garip *i sur.*, 2011).

3.2. JEDNOSTANIČNI EUKARIOTI - PROTISTA

U nekoliko desetljeća, razvoj tehnologije koja stvara okolišna elektromagnetska polja je naveo javnost i znanstvenike na raspravu o postojanju mogućih učinaka prouzročenih elektromagnetskim poljima koje je stvorio čovjek, na ljudsku populaciju te kopnene ekosustave. Poznato je, da je biosfera pogođena elektromagnetskim poljima iz raznih izvora. Između ostalog, geomagnetsko polje je dobro proučeno, i iako je jasno da su organizmi koji žive na našem planetu prilagođeni na njega, goruće pitanje je: može li doprinos antropogenih elektromagnetskih polja stvoriti zdravstvene probleme?

Izvori EMP mogu biti vanjski, vodovi i transformerske stanice, i unutarnji, kao što je električni sustav kuće, uređaji i električna oprema priključena na električnu mrežu. Ova polja mogu dostići visoke intenzitete u blizini, posebno ako je izvor polja u kontaktu s tijelom (brijači, sušila za kosu..). Neki od ovih uređaja mogu stvarati magnetska polja intenziteta 1000-2000 μT, i iako su unutar granica dozvoljenih intenziteta, dugoročno izlaganje ovim poljima može imati učinka. Uzimajući ovo kao polaznu točku, ispitivan je utjecaj ELF-EMF na praživotinju *Dictyostelium discoideum* (Amaroli *i sur.*, 2013).

Praživotinje, jednostanični eukariotski organizmi, su poznati kao odlični sustavi za biotestove u bioelektromagnetskim istraživanjima zbog njihovih osobina koje kombiniraju pouzdanost *in vivo* rezultata s praktičnošću onih *in vitro*. Zbog ovoga, proučavani su mogući učinci stresa pri izlaganju 50 Hz, 300 μT, elektromagnetskom polju jako niske frekvencije (ELF-EMF), na praživotinju *Dictyostelium discoideum,* koja je korištena jer je uvrštena u osam biotestnih alternativa kralješnjacima za istraživanja ljudskih bolesti od *U.S. National Institute of Health*. Ispitivani uzorci imali su značajno manju neto stopu diobe stanice nego 24-satna kontrola, a ona je imala sličnu neto stopu rasta kao 48-satna kontrola. Elektroforetska analiza pseudokolinesteraze otkrila je prisutnost aktivnosti jednog enzima sposobnog za cijepanje PrTChl supstrata. Ova aktivnost je bila viša u uzorku izloženom 24 sata nego u 24-satnoj kontroli. U imunoblotu, uzorci izloženi 24 sata imali su izraženiju prugu za Hsp70 nego 24-satna kontrola (Amaroli *i sur.*, 2013). Nisu primjećene promjene u aktivnostima katalaze i glutation peroksidaze.

Inhibicija neto stope rasta, primjećena na uzorcima izloženim 24 sata, upućuje na učinak ELF-EMF. Autori su pokazali kako oksidativni stres može inhibirati reproduktivnu fazu u stanicama *Dictyostelium* izloženim vodikovom peroksidu (Taminato *i sur.*, 2002). Međutim, u ovom istraživanju, katalaza i glutation peroksidaza nisu promijenjene pri 24-

satnom izlaganju ELF-EMF. Ovi podaci ukazuju da oksidativni stres nije uključen u zakašnjeli rast ili da su ove enzimske aktivnosti promijenjene nakon kraćeg izlaganja. Naime, u prethodnom radu, pokazano je da izlaganje ELF-EMF mijenja enzimsku aktivnost kolinesteraze prolazno, ovisno o vremenu izlaganja (Amaroli *i sur*., 2005). Aktivnost proteina Hsp70 povećana je u uzorku izloženom elektromagnetskom polju jako niske frekvencije. Ovaj rezultat naglašava stresni učinak na izložene stanice. S obzirom na njihove karakteristike, ova polja ne mogu stvarati termalne faktore, pa temperaturne promjene nisu odgovorne za učinak (Fedorowski *i* Steciwko, 1998). U usporedbi s drugim organizmima, Miyakoshi *i sur*. (2000) su pokazali da 50 mT, 60 Hz ELF-EMF ne inducira povećanje proizvodnje Hsp70 proteina u HL60RG stanici. Ovi kontradiktorni rezultati pokazuju da su istraživanja interakcija između elektromagnetskih polja i bioloških sustava vrlo složena i puno varijabli ima utjecaj na njih. Ipak,čini se da su učinci stresa prolazni i svi izmijenjeni parametri se vraćaju na kontrolne vrijednosti nakon stavljanja u uvjete lažnog izlaganja bez elektromagnetskog polja (Amaroli *i sur*., 2013).

Sljedeće istraživanje bavi se promjenama u praživotinji *Paramecium caudatum* blizu uključenog mobilnog telefona. Praživotinja *P. caudatum* je pregledana u normalnim uvjetima te kada je pored uključenog mobilnog telefona (900 MHz; 2 W). Izložene jedinke su se kretale sporije i valovitije nego obično. Postojao je utjecaj na njihovu fiziologiju: bile su šire, njihov citofarinks se doimao širim, njihovi stežljivi mjehurići nisu mogli dobro izbaciti sadržaj izvan stanice, trepetljike su se micale manje efikasno i trihociste su postale uočljivije. Moguće je da su svi ovi učinci izazvani oštećenom staničnom membranom,ili njenim lošim radom (Cammaerts *i sur.*, 2011).

U normalnim uvjetima, *P. caudatum* kretala se brzo i nasumice. Nakon postavljanja mobilnog telefona, ona je često mijenjala smjer kretanja te je imala poteškoće u kretanju. Također, u normalnim uvjetima, *P.caudatum* je imala usko tijelo, te uski citofarinks. Dva ili tri stežljiva mjehurića su se asinkrono stezala svake četiri sekunde, u preciznom ritmu. Nakon izlaganja mobilnom telefonu dvije minute, stanice su postale šire, stežljivi mjehurići su se povećali, ali je njihova kontrakcija kasnila, svakih 12-16 sekundi. Trepetljike su također zahvaćene, nisu više potpuno udarale te im se promijenio ritam. S druge strane, trihociste koje čine obrambeni sustav stanice, su postale uočljivije. U normalnim uvjetima, ovi organeli su jedva vidljivi, jer odgovaraju na kemijski ili mehanički stres. Nakon perioda oporavka u trajanju od pet minuta, u kojem je većina izloženih jedinki bila nepokretna na dnu posude, izložene protozoe su se oporavile i opet gibale normalno (Cammaerts *i sur.*, 2011).

3.3. KRALJEŠNJACI

Utjecaj elektromagnetskim polja istraživan je i na raznim kralješnjacima, a istraživanja se pokušavaju što više približiti mogućem utjecaju na ljudsku vrstu. U tim nastojanjima, proučavan je i utjecaj na embriološki razvoj pojedinih vrsta. Ukupno 295 embrija pilića je unutar prvih 48 sati razvoja izloženo pulsirajućem elektromagnetskom polju frekvencije 100 Hz i intenziteta 0.4 do 104 μT. Analizirana je opća morfologija, potkrijepljena proučavanjem na svjetlosnom mikroskopu i uspoređena s 264 kontrolna embrija. Čini se da je oblik vala važan faktor u određivanju biološkog odgovora. Kada su embriji izloženi sinusoidalnim električnim poljima, cerebralno tkivo pilića otpušta promjenjivu količinu prije ugrađenog $^{45}Ca^{2+}$ prema frekvenciji i intenzitetu primijenjenih polja. Proučavajući učinke elektromagnetskih polja na razvoj vodozemaca, Iwasaki *i sur.* (1978) su izvijestili da izloženost oplođenih ili rano brazdanih jaja žabe *Xenopus laevis* uniformnom elektromagnetskom polju od 5000 G, tijekom 72 sata, nije utjecala na razvoj ili sposobnost izlijeganja. Viši intenziteti polja inducirali su patološke poremećaje u žabljim embrijima. Veneziano (1965) je pokazao osjetljivost pilećih embrija na uniformna elektromagnetska polja od 1.1 do 31 G. Izlaganje najjačem polju inducira defekte u središnjem živčanom sustavu u 9% embrija, uključujući stvaranje dodatne neuralne cijevi (Ubeda *i sur.*, 1983).

Izlaganje elektromagnetskim poljima s vremenom porasta pulsa od 100 μs, stvara teratogene promjene kada su korišteni intenziteti od 1.0 i 13.9 μT, ali ne i s nižim ili višim intenzitetima. Izlaganje intenzitetu od 1.0 μT specifično mijenja organogenezu živčanog sustava i drastično smanjuje komponente bojila "Alcian blue", dok s intenzitetom 13.9 μT postoje abnormalnosti u krvožilnom sustavu, mijenjajući dodir stanice sa stanicom u zidovima žila u razvoju. Kada su embriji izloženi intenzitetima 0.4 i 1.0 μT s vremenom porasta pulsa 2.0 i 42 μs, teratogeni učinci su još veći, kao i promjene u svim sustavima u razvoju. Najjači učinci su pri 1.0 μT i 42 μs. Ova otkrića potvrđuju osjetljivost embrija pilića na elektromagnetska polja jako niske frekvencije, i upućuju da bi pulsni oblik mogao biti odlučujući parametar za jake, slabe, ili nikakve modifikacije u embrionalnom razvoju pilića (Ubeda *i sur.*, 1983).

Ptice su posebno osjetljive na magnetska polja. Bijela roda obično gradi svoja gnijezda na vrlo visokiim mjestima koja su jako elektromagnetski zagađena. Također, one često žive u urbanom okolišu, gdje je elektromagnetska zagađenost veća, i ostaju u gnijezdu dugo vremena, te bi zbog toga smanjenje u potomstvu moglo biti biološki indikator za otkrivanje

učinaka ovih zračenja. Populacije bijele rode u Valladolidu (Španjolska) blizu baznih stanica za mobilne telefone imala je produktivnost 0.86 ± 0.14 mladih, u gnijezdima smještenim u krugu od 200 m od antene. Za gnijezda smještena dalje od 300 m, rezultat se udvostručio, s prosječnom vrijednošću 1.6 ± 0.14 mladih. Obje grupe su pokazivale vrlo značajne razlike u reproduktivnom uspjehu. Dvanaest gnijezda (40%) smještenih unutar 200 m od antene nisu uopće imala mlade, dok samo jedno gnijezdo (3.3%) smješteno dalje od 300 m od antene nije imalo mlade. Intenzitet električnog polja je bio veći na gnijezdima unutar 200 m (2.36 ± 0.82 V m^{-1}) nego na gnijezdima daljim od 300 m od antene (0.53 ± 0.82 V m^{-1}). Rezultati i zanimljiva bihevioralna opažanja o gniježđenju bijelih roda unutar 100 m od jedne ili više antene uključuju i mlade koji su uginuli iz nepoznatih razloga. Također, unutar ove udaljenosti, parovi se često bore za grančice kojima grade gnijezdo i ne uspijevaju unaprijediti gnijezdo (grančice padaju na tlo dok par pokušava izgraditi gnijezdo). Neka gnijezda nisu nikad dovršena i rode ostaju pasivno ispred antena (Balmori, 2005).

4. ZAKLJUČAK

U nekoliko desetljeća, razvoj tehnologije koja stvara okolišna elektromagnetska polja je naveo javnost i znanstvenike na raspravu o postojanju mogućih učinaka prouzročenih elektromagnetskim poljima koje je stvorio čovjek, na organizme i ekosustave. Ovi učinci su brojni i mogu se proučavati na različitim modelnim organizmima. Najjednostavniji, prokariotski organizmi i jednostanični eukariotski organizmi, pokazali su se kao dobri modeli za ovu vrstu istraživanja. Nekoliko istraživanja vezanih uz učinke stresa nastale od elektromagnetskih polja jako niske frekvencije je provođeno na prokariotskim stanicama na kojima mogu, zbog kratkog životnog ciklusa, lako biti procijenjeni kronični učinci. Također, jednostanični eukariotski organizmi su poznati kao odlični sustavi za biotestove u bioelektromagnetskim istraživanjima zbog njihovih osobina koje kombiniraju pouzdanost *in vivo* rezultata s praktičnošću onih *in vitro*. Bakterije suočene s okolišnim stresom u obliku elektromagnetskih polja ekstremno niske frekvencije, mijenjaju svoju morfologiju i grupiraju se u nakupine stanica, te ulaze u stanje dormancije tzv. VBNC (vijabilno, ali ne i kulturabilno). Nasuprot, jednostanični eukariotski organizmi, nemaju tu sposobnost te su kod njih primjećene promjene u razinama enzima pseudokolinesteraze te Hsp70 (*heat shock protein 70*), koje upućuju na stresni učinak, ali su prolaznog karaktera. Brojna istraživanja su obavljena i na modelima kralješnjaka, kako bi se što više približili mogućem utjecaju elektromagnetskih polja na čovjekovo zdravlje. Ona su pokazala da i kralješnjaci imaju poteškoća u stvaranju i održavanju potomstva, te mijenjaju ponašanje uslijed izlaganja elektromagetskim poljima.

Uz sve više dostupnih istraživanja, postalo je jasno da izloženost antropogenim elektromagnetskim poljima može predstavljati prijetnju razvoju organizma. Ipak, budući da su pokusna elektromagnetska polja uglavnom jačih intenziteta od onih koje susrećemo u prirodi, vjerojatno za ljude nema ozbiljne zdravstvene prijetnje. Budući da, postoje još neke nesigurnosti, daljnja istraživanja mogu donijeti važne spoznaje u ovom području.

5. LITERATURA

Amaroli A., Chessa M.G., Bavestrello G., Bianco B. (2013). Effects of an extremely low-frequency electromagnetic field on stress factors: A study in Dictyostelium discoideum cells. *Eur. J. Protistol.* **49**: 400–405.

Amaroli A., Trielli F., Bianco B., Giordano S., Moggia E.,Delmonte Corrado M.U. (2006). Effects of a 50 Hz magnetic field on Dictyostelium discoideum (Protista). *Bioelectromagnetics* **27**: 528–534.

Amaroli A., Trielli F., Bianco B., Giordano S., Moggia E., Delmonte Corrado M.U. (2005). Effects of time-variant extremely-low-frequency (ELF) electromagnetic fields (EMF) on cholinesterase activity in *Dictyostelium discoideum* (Protista). *Chem. Biol. Interact*. **157/158**, 355-356

Balmori A. (2005). Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (Ciconia ciconia). *Electromagn. Biol. Med.* at <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15368370500205472>.

Cammaerts M.-C., Debeir O., Cammaerts R. (2011). Changes in Paramecium caudatum (protozoa) near a switched-on GSM telephone. *Electromagn. Biol. Med.* **30**: 57–66.

Cellini L., Grande R., Campli E. Di, Bartolomeo S. Di, Giulio M. Di, Robuffo I., *i sur* (2008). Bacterial response to the exposure of 50 Hz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* **29**: 302–311.

Cutnell J.D., Johnson K.W. (2012). *Physics*(9th Edition).John Wiley and Sons.Hoboken, New York.

Fedorowski A., Steciwko A. (1998). Biological effects of non-ionizing electromagnetic radiation. *Med. Pr.* **49**, 93-105.

Inhan-Garip A., Aksu B., Akan Z., Akakin D., Ozaydin a. N., San T. (2011). Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on growth rate and morphology of bacteria. *Int. J. Radiat. Biol.* **87**: 1155–1161.

Iwasaki T., Ohara H., Matsumoto S., Matsudaira H. (1978). Test of magnetic sensitivity in three different biological systems. *Journal of Radiation Research **19**, 287-294.*

Miyakoshi J., Mori Y., Yaguchi H., Ding G., Fujimori A. (2000). Supression of heat-induced HSP-70 by simultaneous exposure to 50 mT magnetic field. *Life Sci.* **66**, 1187-1196.

Taminato A., Bagattini R., Gorjão R., Chen G., Kuspa A. Souza G.M. (2002). Role for YakA, cAMP, and protein kinase A in regulation of stress responses of *Dictyostelium discoideum* cells. *Mol. Biol. Cell* **13**, 2266-2275.

Ubeda a., Leal J., Trillo M. a, Jimenez M. a, Delgado J.M. (1983). Pulse shape of magnetic fields influences chick embryogenesis. *J. Anat.* **137 (Pt 3)**: 513–536.

Ulabi T.F., Michielssen E., Ravaioli U. (2010). Fundamentals of Applied Electromagnetics (6th Edition).Prentice Hall.Upper Saddle River, New York.

http://www.festivalznanosti.hr/2013/2013-04-06-23-03-39/petak/10-rijeka/sazetak-i-biografija

http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/

6.SAŽETAK

U drugoj polovici dvadesetog stoljeća elektromagnetska polja su postala bitna tema mnogih znanstvenih radova iz biomedicinskog područja. Naime, s razvojem tehnologije i globalnom primjenom svih električnih kućanskih uređaja, kao i informatičke opreme, počeo se istraživati utjecaj elektromagnetskih polja na biološke sustave, odnosno organizme. Jedna od glavnih karakteristika koja opisuje elektromagnetsko polje je njegova frekvencija, odnosno odgovarajuća valna duljina. Prema frekvenciji, elektromagnetska polja možemo podijeliti na polja jako niske, srednje i visoke frekvencije.

U ovom radu izložen je pregled dosadašnjih istraživanja odgovora organizama na izloženost elektromagnetskim poljima, počevši od prokariotskih organizama. Svi proučavani modeli se razlikuju u odgovoru zbog različite fiziologije, ali su vidljivi utjecaji stresa u svim modelnim organizmima. Premda je utvrđen štetan utjecaj na mnoge organizme, prijetnja vjerojatno ipak nije značajna. Pogotovo za više organizme koji lakše mijenjaju svoj položaj, te nisu trajno izloženi jakim elektromagnetskim poljima.

7.SUMMARY

In the second half of 20th century, electromagnetic fields have become the important subject of many research papers in biomedicine. In fact, with technological development and global use of all electrical appliances, as well as informatic equipment,started also research of the electromagnetic fields effects on biological systems. One of the main characteristics which defines electromagnetic field is its frequency or adequate wavelength. We can divide them by their frequency, to extremely low electomagnetic fields (ELF-EMF), intermediate fields (IF) and high or radiofrequency fields (RF).

In this seminar paper, a short review of studies of response of organisms on electromagnetic fields exposure, beginning with prokaryotic organisms, has been presented. All research models have different responses because of difference in their physiology, but we can notice stress effects in all model organisms. Although detrimental effects on many organisms were found, an environmental threat is probably not significant. Especially for the higher organisms which can easily change their position and are not permanently exposed to strong electromagnetic fields.