

Učinak radiofrekvencijskog zračenja na ljude i životinje, s posebnim osvrtom na zajednice medonosne pčele (*Apis mellifera*)

I. Žura Žaja, M. Vilić, I. Tomulić, A. Shek Vugrovečki, K. Malarić, P. Tucak i I. Tlak Gajger*



Sažetak

Bežični prijenos informacija, koristeći radiofrekvencijsko elektromagnetsko zračenje (RF-EMZ), danas ima nesagledive mogućnosti. S druge strane, osim mnogobrojnih korisnih primjena, bežična tehnologija pobuđuje zabrinutost šire javnosti o štetnim učincima na zdravlje ljudi i životinja. Unatoč mnogobrojnim provedenim znanstvenim istraživanjima, do danas nije postignut jedinstven stav u pogledu štetnosti RF-EMZ-a na živa bića. Štoviše, veliki broj objavljenih rezultata istraživanja čak je i kontroverzan. Kada govorimo o biološkim učincima RF-EMZ-a na životinje, moramo istaknuti da

su istraživanja provedena na velikom broju životinjskih vrsta od beskralježnjaka do sisavaca. Nakon postavljene sumnje da RF-EMZ može biti jedan od mogućih uzroka poremećaja gubitka pčelinjih zajednica, provedena su brojna istraživanja na medonosnoj pčeli (*Apis mellifera*). U ovome su radu sažeto objašnjeni osnovni pojmovi iz područja RF-EMZ te učinci toga zračenja na ljude i životinje, a s posebnim osvrtom na zajednice medonosne pčele.

Ključne riječi: radiofrekvencijsko zračenje, elektromagnetsko zračenje, biološki učinci, medonosna pčela (*Apis mellifera*)

Uvod

Sva su živa bića na Zemlji izložena prirodnim statičkim magnetskim (geomagnetskim) poljima te elektromagnetskim poljima nižih frekvencija podrije-

flom sa Sunca, grmljavinskih aktivnosti i struje koja kruži unutar zemljine jezgre. Međutim, unatrag stotinu godina čovjek je dodatno izložio sva živa bića umjetno

Dr. sc. Ivona ŽURA ŽAJA, dr. med. vet., docentica, dr. sc. Marinko VILIĆ, dr. med. vet., izvanredni profesor, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska; Iva TOMULIĆ, dr. med. vet., Hrvatska; dr. sc. Ana SHEK VUGROVEČKI, dr. med. vet., docentica, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska; dr. sc. Krešimir MALARIĆ, redoviti profesor, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska; dr. sc. Perica TUCAK, dr. med. vet., Državni inspektorat Republike Hrvatske, Hrvatska; dr. sc. Ivana TLAK GAJGER*, (dopisni autor, e-mail: itlak@vef.hr), dr. med. vet., redovita profesorica, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska

stvorenom elektromagnetskom zračenju. Uporaba bežične tehnologije predstavlja danas nedvojbeno najveći i najbrže rastući izvor onečišćenja okoliša elektromagnetskim zračenjem antropogenog podrijetla. Tako se, primjerice, uporabom uređaja koji koriste bežičnu tehnologiju (npr. mobilni ili bežični telefoni, uređaji s podrškom za WiFi ili *Bluetooth*) te razvojem potrebne infrastrukture, vrijednost radiofrekvencijskoga elektromagnetskog zračenja (RF-EMZ) u frekvencijskom pojasu oko 1 GHz povećala gotovo 10^{18} puta (1.000.000.000.000.000.000) u odnosu na vrlo nisku vrijednost prirodnog zračenja (Bandara i Carpenter, 2018.). Međutim, znatni porast razvoja i primjene bežične tehnologije posljednjih 30 godina i definiranje RF-EMZ kao mogućeg kancerogenog čimbenika za ljude (IARC, 2013.) doveli su do zabrinutosti i uznemirenosti šire javnosti o štetnim posljedicama na zdravlje ljudi, životinja pa i biljaka. Navedena se strepnja danas očituje tim više radi izostanka poznavanja štetnih učinaka prije negoli se odobri i primjeni nova tehnologija, primjerice, javno negodovanje i neodobravanje uvođenje 5G tehnologije. No, unatoč ogromnom porastu elektrosмога čini se da opća populacija pa čak i nemali broj znanstvenika, nije u potpunosti svjestan promjene vrijednosti prirodnog elektromagnetskog okruženja. Razlog tomu moglo bi biti slabo poznavanje djelovanja RF-EMZ-a antropogenog podrijetla na zdravlje ljudi i životinja te nerazumijevanje njegova djelovanja na druge prirodne i umjetne atmosferske komponente te na ionosferu. No, na temelju rezultata brojnih istraživanja poznato je da RF-EMZ uz toplinski prouzroči i netoplinski učinak koji se može očitovati promjenama na razini molekule (DNK - karcinom) i na razini organskih sustava (živčani i imunološki). Kada govorimo o biološkim učincima RF-EMZ-a na životinje, moramo istaknuti da su istraživanja provedena na širokom rasponu životinjskih vrsta od beskralježnjaka do sisavaca

(Cucurachi i sur., 2013.). Brojnija promatranja i istraživanja na kukcima provedena su na medonosnoj pčeli (*Apis mellifera*) kao biopokazatelji u biomonitoringu onečišćenja okoliša (Zavrtnik i sur., 2020.), a osobito nakon sumnje da RF-EMZ može prouzročiti poremećaj propadanja pčelinjih zajednica (engl. *Colony Collapse Disorder*, CCD). No, prije negoli se osvrnemo na već poznate moguće biološke učinke RF-EMZ na pčele, osvrnut ćemo se na neke temeljne pojmove vezane za RF-EMZ, a koje bi svaki veterinar trebao znati.

Prvo, što je to elektromagnetsko zračenje? Elektromagnetsko zračenje može se definirati kao prijenos energije u obliku elektromagnetskih valova. Prema relaciji $E = f \cdot h$ vidljivo je da energija koju nosi elektromagnetski val definira frekvencija dok je h -planckova konstanta ($6,62607015 \cdot 10^{-34}$ Js). Frekvencija elektromagnetskog vala broj je titraja u jedinici vremena i izražava se hercima (Hz). Elektromagnetski se valovi šire slobodnim prostorom brzinom svjetlosti te je iz relacije $c = f \cdot \lambda$ lako izračunati valnu duljinu elektromagnetskog vala ($c \approx 3 \times 10^8$ m/s). Njihov međusobni odnos prema brzini svjetlosti je sljedeći: što je kraća valna duljina, viša je frekvencija i obrnuto. Elektromagnetska zračenja vrlo visokih frekvencija (iznad 30 PHz) nose veliku energiju te mogu ionizirati atome i molekule pri prolasku kroz tvari. Takvu vrstu elektromagnetskih zračenja nazivamo ionizirajućim zračenjem, a čine ga x-zračenje i gama-zračenje. S druge strane, elektromagnetsko zračenje nižih frekvencija od 30 PHz nema dovoljnu energiju za ionizaciju atoma te se naziva još i neionizirajuće elektromagnetsko zračenje. Prema tome, elektromagnetsko se zračenje na temelju energije dijeli na ionizirajuće i neionizirajuće. Neionizirajući se dio elektromagnetskog zračenja sastoji od radiofrekvencijskog (RF) i optičkog dijela. Radiofrekvencijski dio zauzima područje frekvencije od 9 kHz do 300 GHz te je

prema Međunarodnoj telekomunikacijskoj uniji (engl. *International Telecommunication Union - ITU*) podijeljen na područja ekstremno dugog vala do područja ekstremno kratkog vala. Optički dio spektra zauzima područje frekvencije od 300 GHz do $22,5 \times 10^6$ GHz (Malarić i sur., 2016.), a podijeljen je na: infracrveno, vidljivo i ultraljubičasto zračenje. Elektromagnetsko se zračenje prema podrijetlu dijeli na prirodna te umjetna elektromagnetska zračenja. U prirodna elektromagnetska zračenja ubrajamo: elektromagnetsko polje Zemlje, elektrostatičko polje atmosfere, sunčevu svjetlost, pražnjenja gromova i munja te elektromagnetsko ionizirajuće zračenje podrijetlom iz svemira ili prirodnih izvora radioaktivnosti. Umjetna elektromagnetska zračenja podrijetlom su iz antropogenih izvora kao što su: radio-komunikacijski sustavi, mobilni telefoni, mikrovalne pećnice i drugi izvori iz područja bežičnog komunikacijskog sustava (WLAN – engl. *Wireless local area network, bluetooth, WiFi*) (Poplašen i sur., 2015.). Osim u bežičnoj komunikaciji, RF-EMZ koriste i radarski sustavi, sigurnosni skeneri (detektorski i nadzorni sustavi), pametni brojači te medicinska oprema (MRI, dijatermija i radiofrekvencijska ablacija). Ovdje treba naglasiti da bežični komunikacijski sustav koristi neionizirajući dio elektromagnetskog spektra u rasponu frekvencije do 300 GHz. WLAN radi na frekvenciji od 2,4 GHz ili 5,2 GHz do 5,7 GHz, dok *Bluetooth* koristi 79 različitih frekvencijskih kanala pri frekvenciji oko 2,4 GHz (SAEFL, 2005.). Radiokomunikacijski sustav koristi frekvencije mobilnih telefona: 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2500 MHz, 3700 MHz, itd. Broj aktivnih mobilnih uređaja premašio je broj svjetske populacije, a prema procjenama sektora razvoja telekomunikacija (engl. *The Telecommunication Development Sector, ITU-D*, u 2019. godini internet je koristilo 53,6 %, odnosno 4,1 milijarda ljudi (ITU, 2019.))

Fizikalne veličine

Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (engl. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP*) donosi preporuke o temeljnim ograničenjima i referentnim graničnim vrijednostima elektromagnetskog zračenja izraženima različitim fizikalnim veličinama i pripadajućim mjernim jedinicama. Institucije u Republici Hrvatskoj (RH) relevantne za nacionalne propise u području telekomunikacija i radijskih komunikacija su Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije (HAKOM), Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture (MMPI) te Hrvatski zavod za norme (HZN) (Malarić i sur., 2016.). Na nacionalnoj razini u RH najznačajniji propisi u području zaštite od elektromagnetskog polja su: Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN 91/10), Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/2014) te Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 31/2019). U zadnje navedenom propisu su napisane granične razine elektromagnetskih polja, izvori elektromagnetskih polja, uvjeti koje pravne ili fizičke osobe moraju zadovoljavati kako bi se služile izvorom elektromagnetskih polja, uvjeti za ishođenje ovlaštenja za obavljanje stručnih poslova zaštite od neionizirajućih zračenja te način vođenja evidencija ovlaštenih pravnih osoba. Prema spomenutom Pravilniku, fizikalne veličine i pripadajuće mjerne jedinice koje se koriste u svrhu zaštite od izlaganja neionizirajućem elektromagnetskom zračenju su: a) temeljne fizikalne veličine i b) referentne veličine. Temeljne fizikalne veličine su one veličine koje su izravno povezane s zdravstvenim učincima elektromagnetskog polja, a koji su dosad potvrđeni učinci, ujedno se te temeljne

Tabela 1. Granične razine referentnih veličina za javna područja¹ (NN 31/2019).

Frekvencijski opseg	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage ekvivalentnog ravnog vala (Wm ²)
1-8 Hz	10 ⁴	$3,2 \times \frac{10^4}{f^2}$	$4 \times \frac{10^4}{f^2}$	-
8-25 Hz	10 ⁴	$4 \times \frac{10^3}{f}$	$5 \times \frac{10^3}{f}$	-
25-800 Hz	$2,5 \times \frac{10^5}{f}$	$4 \times \frac{10^3}{f}$	$5 \times \frac{10^3}{f}$	-
0,8-3 kHz	$\frac{250}{f}$	5	6,25	-
3-100 kHz	83	5	6,25	-
100-150 kHz	83	5	6,25	-
0,15-1 MHz	83	$\frac{0,73}{f}$	$\frac{0,92}{f}$	-
1-10 MHz	$\frac{83}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,73}{f}$	$\frac{0,92}{f}$	-
10- 400 MHz	26	$6,9 \times 10^{-2}$	$8,7 \times 10^{-2}$	1,8
400-2000 MHz	$1,3 \times \sqrt{f}$	$3,45 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$4,3 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$4,5 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$
2-10 GHz	58	0,15	0,19	8,9
10-300 GHz	58	0,15	0,19	8,9

veličine moraju po potrebi ograničiti na način da je osigurana zaštita od štetnih elektromagnetskih učinaka, a izražene kao *unutarnje (inducirano) električno polje* [V/m], *gustoća magnetskog toka* [T], *gustoća struje* [A/m²], *specifična gustoća apsorbirane snage* (engl. *specific absorption rate - SAR*) [W/kg] i *gustoća snage* [W/m²]. U praksi se od temeljnih veličina najčešće koristi specifična gustoća apsorbirane snage (SAR), a označava brzinu apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva. Referentne veličine - su mjerljive veličine čijim nadzorom se posredno osigurava zadovoljenje temeljnih ograničenja. One su izražene kao *jakost električnog polja* (E) – koja se u određenoj točki prostora definira silom na jedinični električni naboj u toj točki,

a izražava se u voltima po metru [V/m], *gustoća magnetskog toka* [T], *dotirna struja* [mA], *gustoća snage* (S) - koja predstavlja omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala, a izražava se u vatima po metru kvadratnom [W/m²]. Ovdje valja naglasiti da su granične vrijednosti referentnih veličina smanjene u odnosu na pripadna temeljna ograničenja kako bi se spriječile moguće pojave još dosad nepotvrđenih štetnih učinaka elektromagnetskog zračenja na zdravlje ljudi. Sve norme propisane na razini međunarodnih

¹ Javna područja jesu sva mjesta u urbanim i ruralnim sredinama na koja nije ograničen slobodan pristup općoj populaciji, a nisu u području povećane osjetljivosti odnosno profesionalne izloženosti (NN 31/2019)

Tabela 2. Granične razine referentnih veličina za područja povećane osjetljivosti (NN 31/2019).

Frekvencijski opseg	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage ekvivalentnog ravnog vala (Wm ²)
1-8 Hz	4×10^3	$1,28 \times \frac{10^4}{f^2}$	$1,6 \times \frac{10^4}{f^2}$	-
8-25 Hz	4×10^3	$1,6 \times \frac{10^3}{f}$	$2 \times \frac{10^3}{f}$	-
25-800 Hz	$\frac{10^5}{f}$	$1,6 \times \frac{10^3}{f}$	$2 \times \frac{10^3}{f}$	-
0,8-3 kHz	$\frac{100}{f}$	2	2,5	-
3-100 kHz	34,8	2	2,5	-
100-150 kHz	34,8	$\frac{175}{f}$	$\frac{220}{f}$	-
0,15-1 MHz	34,8	$\frac{0,292}{f}$	$\frac{0,368}{f}$	-
1-10 MHz	$\frac{34,8}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,292}{f}$	$\frac{0,368}{f}$	-
10- 400 MHz	11,2	0,0292	0,0368	0,326
400-2000 MHz	$0,55 \times \sqrt{f}$	$1,48 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$1,84 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$\frac{f}{1250}$
2-10 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6
10-300 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6

Tabela 3. Granične razine električnog i magnetskog polja i gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za javna područja (NN 31/2019).

Frekvencija f	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)
10-400 MHz	450	1,2	1,5
400-2000 MHz	$22,5 \times \sqrt{f}$	$0,06 \times \sqrt{f}$	$0,075 \times \sqrt{f}$
2-300 GHz	975	2,58	3,24

organizacija ili na nacionalnoj razini ljudsku populaciju dijele na dvije skupine: opću i profesionalnu. Za opću populaciju granične su vrijednosti umanjene za sigurnosni faktor 5 u odnosu na vrijednosti za profesionalce

(Poljak, 2006.). Prema Pravilniku o izmjenama i dopunama Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 31/2019) temeljna ograničenja i granične razine referentnih veličina prikazani su u tabeli 1, 2, 3. i 4.

Tabela 4. Granične razine električnog i magnetskog polja i gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za područja povećane osjetljivosti (NN 31/2019).

Frekvencija f	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μ T)
10-400 MHz	180	0,48	0,6
400-2000 MHz	$9 \times \sqrt{f}$	$0,024 \times \sqrt{f}$	$0,03 \times \sqrt{f}$
2-300 GHz	390	1,03	1,29

Biološki učinci radiofrekvencijskog zračenja

Biološki učinci RF-EMZ-a mogu biti toplinski i netoplinski, a temelje se na nizu istraživanja *in vivo* na pokusnim životinjama, *in vitro* na staničnim kulturama te na rezultatima analiza epidemioloških podataka. Dok je toplinski učinak, tj. zagrijavanje tkiva nakon izlaganja RF-EMZ-u vrlo dobro poznat, netoplinski učinci prouzroče danas poprilične kontroverze, osobito u dokazivanju mogućeg uzroka karcinoma te učinka na: imunološki, reproduktivni i živčani sustav. No, mehanizam njihovog nastanka nije potpuno razjašnjen. Tako su, primjerice, simptomi netoplinskog učinka u ljudi: promjena moždane aktivnosti, poremećaj spavanja, poremećaj pamćenja, depresija, razdražljivost, vrtoglavica, glavobolja, gubitak koncentracije, zujanje u ušima, nepravilnosti rada srca te elektroosjetljivost (SAEFL, 2005., Mileusnić, 2006., Rösli, 2008.). Uzrok netoplinskog učinka je povećani oksidacijski stres te s tim u vezi i oštećenje molekule DNK-a. Netoplinski učinci RF-EMZ-a zabilježeni su na brojnim vrstama slobodno živućih životinja, uključujući ptice (Mcree i Hamrick, 1977., Bastide i sur., 2001., Balmori, 2005.), vodozemce (Balmori, 2010.), kukce (Cammaerts i sur., 2012., Evans i sur., 2017.), ribe (Ibraheim i Khater, 2013.), sisavce (Mailankot i sur., 2009.) pa i biljke (Balodis i sur., 1996.). Kad je riječ o učincima RF-EMZ-a na

medonosnu pčelu (*A. mellifera*) treba naglasiti da su većinom promatrani netoplinski učinci na ponašanje i sposobnost orijentacije pčela, plodnost i sposobnost razmnožavanja matice i trutova, genotoksičnost, oksidativni stres te proizvodnost (prinos meda).

Toplinski učinak RF-EMZ-a

Izlaganje stanica i tkiva visokim gustoćama snage RF-EMZ od 100 mW/cm² (1000 W/m²) ili više, može nedvojbeno prouzročiti njihovo zagrijavanje, tj. prouzroči tzv. toplinski učinak. Međutim, treba naglasiti kako stupanj zagrijavanja ovisi o nekoliko čimbenika: frekvenciji zračenja, veličini, obliku i površini izloženog tkiva, trajanju izloženosti tkiva te o mogućnostima i učinkovitosti odvođenja topline iz tkiva. Stoga su organi kao što su oči i testisi, zbog slabe prokrvljenosti, odnosno slabije sposobnosti odvođenja topline, posebno osjetljivi na izlaganja RF-EMZ-a, a to se očituje nastankom katarakte i privremenom neplodnošću. Na temelju povećanja temperature tkiva postavljene su i granične vrijednosti izloženosti čovjeka RF-EMZ-u primjenjujući sigurnosne faktore. Tako je, primjerice, za profesionalno izlaganje uzet sigurnosni faktor 10, a za opću populaciju ljudi faktor 50. Drugim riječima, granična vrijednost izlaganja RF-EMZ-u je deset, odnosno pedeset puta manja od vrijednosti koja prouzroči toplinski učinak (Malarić i sur., 2016.). Do porasta temperature u

tijelu dolazi zbog apsorpcije energije RF-EMZ-a. Mjera za apsorbiranu energiju u tijelu izloženom RF-EMZ-u jest specifična gustoća apsorbirane snage (SAR, engl. *Specific Absorption Rate*), a određena je kao snaga apsorbirana po jedinici mase (W/kg). Važno je pritom naglasiti da propisana ograničenja ne isključuju netoplinski biološki učinak koji se može očitovati kada energija RF-EMZ-a ne povećava temperaturu stanice, tkiva ili organizma, ali prouzroči fizikalne i biokemijske promjene.

Netoplinski učinak RF-EMZ-a

Iako RF-EMZ nema dovoljnu energiju za kidanje kovalentnih veza, poznato je da u živih bića frekvencija iz frekvencijskog pojasa bežičnog prijenosa informacija štetno djeluje na imunološki, reproduktivni i živčani sustav ljudi i životinja te prouzroči promjene na molekuli DNK-a (Sivani i Sudarsanam, 2012., Žura Žaja i sur., 2019.). Iako mehanizam nastanka oštećenja navedenih sustava nije poznat, većina istraživanja usmjerena je na istraživanje oksidacijskog stresa, genotoksičnosti i kancerogeneze *in vivo* i *in vitro*. Do danas je predloženo nekoliko mogućih mehanizama nastanka netoplinskih učinaka RF-EMZ-a poput nastanka slobodnih radikala, promjene propusnosti stanične membrane, rezonantne interakcije bioloških molekula s radiofrekvencijskim zračenjem i smanjenje razine melatonina ili nastanak karcinoma. Životinje koje se orijentiraju pomoću zemljinog magnetskog polja osjetljive su na umjetno stvoreno elektromagnetsko polje što prouzroči njihovu dezorijentaciju. Stoga su mnogobrojna istraživanja učinka RF-EMZ-a provedena na pticama selicama i medonosnoj pčeli. Medonosna je pčela, kao i sve vrste roda *Apis*, socijalni kukac, a jedinke mogu preživjeti isključivo kao dio skupine koju zovemo pčelinja zajednica. Pčelinja se zajednica sastoji od matice

(spolno zrela ženka), trutova (mužjaci) i radilica (spolno nerazvijene ženke). Matica je majka svih pčela u zajednici i njezina su najvažnije funkcije polaganje jaja i feromonska koordinacija ostalih članova zajednice. Radilice obavljaju niz kućnih poslova u košnici, poput gradnje saća i prehrane legla te kasnije u svojstvu skupljačica skupljanja, transportiranja i pohrane zaliha prirodne hrane. Trutovi imaju samo funkciju osjemeniti maticu tijekom parenja. Medonosne pčele pripadaju razredu *Insecta* (kukci), redu *Hymenoptera* (opnokrilci), porodici *Apidae* (prave pčele), rodu *Apis* (pčele), a najvažniji kukac oprašivač - europska medonosna pčela pripada vrsti *A. mellifera*. U Europi su poznate sljedeće pasmine medonosne pčele: sjevernoeuropska (*A. m. mellifera*), talijanska (*A. m. ligustica*), kranjska (*A. m. carnica*) te kavkaska pasmina (*A. m. caucasica*). Da bi se pčela razvila u odraslu jedinku mora proći kroz nekoliko životnih stadija jaje - savijena - ličinka - ispružena ličinka - kukuljica - odrasla pčela.

Biološki učinci RF-EMZ-a na medonosne pčele

Na temelju dosadašnjih rezultata istraživanja utjecaja elektromagnetskih polja na medonosnu pčelu (*A. mellifera*) ustvrđeni su: dezorijentacija, poremećaji ponašanja u košnici i komunikacije, smanjena plodnost i nosivost matice, proizvodni i poremećaji u razmnožavanju, oksidacijski stres i genotoksičnost. Biološki učinak elektromagnetskog zračenja na ponašanje pčela promatrali su Kimmel i sur. (2007.). Oni su, naime, kao izvor EMZ-a koristili baznu stanicu bežičnog telefona, tzv. DECT telefona (engl. *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*) koji odašilje kontinuirano zračenje na frekvenciji od 1900 MHz, a pri razgovoru signal je moduliran frekvencijom od 100 Hz. Vršna

snaga uređaja iznosila je 250 mW, dok je prosječna snaga bila na vrijednosti od 10 mW. Istraživanje je provedeno na ukupno šesnaest pčelinjih zajednica i to na način da su osam pčelinjih zajednica autori izložili zračenju (pet zajednica zračenju punog intenziteta i tri zajednice s 50 % smanjenog intenziteta zračenja) te osam zajednica nije bilo izloženo i poslužile su kao kontrolna skupina. Rezultati su pokazali značajno veću sposobnost povratka u košnice pčela radilica iz kontrolne skupine (63 %), a u odnosu na pčele izložene EMZ-u (49,2 %). Nešto veći broj povratka pčela autori su zabilježili u radilica izloženih polovičnoj vrijednosti intenziteta zračenja (54,1 %) u odnosu na pčele izložene punom intenzitetu zračenja (56,4 %). Sahib, (2011.) je, zbog ubrzanog razvoja bežične komunikacije u Indiji, istraživao utjecaj RF-EMZ-a mobilnih telefona od 900 MHz na ponašanje pčela i plodnost matice. Autor je, naime, pokazao da svakodnevno desetminutno izlaganje pčelinjih zajednica tijekom deset dana prouzroči nestanak pčela skupljačica iz zajednice, odnosno njihov otežani i dugotrajniji povratak u košnicu kao posljedica dezorijentacije. Nadalje, isti je autor ustvrdio da su zajednice kontrolne skupine znatno jače u odnosu na izložene zajednice u kojima je tijekom kliničkog pregleda ustvrđena prisutnost matice i različitih razvojnih stadija legla. Na osnovi sumnji da je elektrosmog mogući uzrok nestanka odraslih pčela iz košnica Sharma i Kumar, (2010.) analizirali su učinak frekvencije mobilnih telefona na biološke čimbenike i ponašanje pčelinje zajednice. Oni su pčele izlagali elektromagnetskom zračenju frekvencije od 900 MHz dva puta dnevno u trajanju od petnaest minuta tijekom dva tjedna te ustvrdili manju nesivost matice i manju površinu legla u ozračenih zajednica. Osim učinka zračenja na maticu, autori su u izloženih pčelinjih zajednica također ustvrdili znatno manji broj izlazaka i ulazaka radilica u košnicu

te s tim u vezi i manju proizvodnost (manju količinu oprašivanja biljaka i smanjena proizvodnja meda i drugih pčelinjih proizvoda). Na kraju pokusa autori su zabilježili značajno slabljenje zajednica i konačno potpuni nestanak odraslih pčela iz košnica izloženih EMZ-u. Kako bi ustvrdio moguće učinke elektromagnetskih valova na ponašanje pčela (*A. m. carnica*) Favre, (2011.) je analizom zvuka koji proizvode matica i radilice tijekom izlaganja zračenju mobilnih telefona na frekvenciji od 900 MHz ustvrdio da EMZ prouzroči pojavu tzv. „zviždanja/pištanja radilica“. Ukratko, autor je snimao zvukove koje pčele odašilju tijekom svojih normalnih aktivnosti uz prisustvo ugašenih mobilnih telefona te u aktivnom stanju. Izlaganjem pčelinje zajednice mobilnom telefonu tijekom razgovora, autor je zabilježio povećanje frekvencije slanja zvukova pčela 25 do 40 minuta nakon uspostave poziva s ukupnim trajanjem čak do dvanaest sati nakon prekida razgovora. Detaljnijom analizom autor je ustvrdio nekoliko različitih frekvencija koje su izložene pčele koristile i to: 150–250 Hz (tijekom cijelog pokusa); 400–500 Hz (u kraćim vremenskim intervalima); 500 ± 50 Hz i 2250 ± 250 Hz (rjeđe korištene frekvencije u odnosu na prethodne dvije). Treba naglasiti da je sve navedene frekvencije autor ustvrdio isključivo u košnicama, tj. pčelinjim zajednicama, izloženima elektromagnetskom zračenju uključenih mobilnih telefona s time da je njihovo očitovanje moguće zamijetiti istovremeno u izloženoj košnici ili za svaku jedinku zasebno. S druge strane, postoje rezultati istraživanja utjecaja EMZ-a na pčele koji ne pokazuju nikakve značajne učinke. Primjerice, Darney i sur. (2016.) pokazali su da uređaji koji koriste visokofrekventne radiovalove frekvencije 13,56 MHz, a služe za individualno praćenje kretanja pčele (engl. *radio frequency identification* – RFID), ne prouzroči nikakve štetne posljedice.

Nadalje, Mixon i sur. (2009.) ustvrdili su da i ozračivanje pčela RF-EMZ-om s frekvencijom od 900 MHz i 1800 MHz nema učinka na agresivnost i orijentaciju pčela, kao ni na njihovu međusobnu komunikaciju. Uz navedene zaključke autori napominju da se pojava naglog nestanka radilica iz košnice ne može povezati s učincima radiofrekvencijskog zračenja. Učinak RF-EMF-a na aktivnost katalaze, superoksid dismutaze, glutation-S-transferaze, koncentraciju lipidne peroksidacije i oštećenje molekule DNK-a na ličinkama medonosne pčele u laboratorijskim uvjetima na frekvenciji od 900 MHz, različitih jakosti polja i modulacije, istraživali su Vilić i sur. (2017.). Autori su pokazali da učinci u ličnaka ovise o fizikalnim uvjetima RF-EMZ-a, kao što su jakost polja i modulacija. Tlak Gajger i sur. (2019.) istraživali su utjecaj elektromagnetskog zračenja odašiljača mobilnih telefona na pčelinju zajednicu smještenu na tri lokacije u prirodnom uvjetima tijekom godinu dana. Na području najveće jakosti polja (1 V/m) autori su tijekom prva dva mjeseca ustvrdili povećanu agresivnost, smanjenu jačinu pčelinjih zajednica i smanjenu površinu zanesenog pčelinjeg legla. U svih pčelinjih zajednica autori su uočili smanjenu količinu peludi i meda. Lopatina i sur. (2019.) pokazali su da elektromagnetsko zračenje Wi-Fi usmjerivača pri frekvenciji od 2,4 GHz inhibira kratkoročno pamćenje, odnosno povećava dugoročno pamćenje. Autori su primijetili i da je u RF-EMF-u izloženih odraslih pčela smanjen podražaj za hranjenjem što posljedično može dovesti do smanjenje učinkovitosti oprašivanja i proizvodnosti zajednice.

Umjesto zaključka

Bežična je tehnologija danas nezaobilazna sastavnica suvremenog načina života. Nakon izlaganja stanica, organizama ili životinja nižim

intenzitetima RF-EMZ-a zračenja, u kojih je porast temperature manji od 0,1 °C, mogu se očitovati netoplinski učinci (Alekseev i Ziskin, 2019.). Za cjelovito razumijevanje netoplinskih bioloških učinaka RE-EMZ-a na živa bića, unatoč ubrzanom porastu broja uređaja i korisnika bežične tehnologije, svakako su potrebna dugotrajnija istraživanja koja uključuju istraživanja različitih ekoloških sustava (Cucurachi, 2013.). No, unatoč rezultatima brojnih istraživanja na pčelinjim zajednicama, još do danas nisu potpuno jasni učinci RF-EMZ-a. Štoviše, nije poznat ni mehanizam djelovanja. Mogući razlog je što su ranija istraživanja utjecaja RF-EMZ-a na pčelinje zajednice provedena ponajprije na odraslim pčelama i kroz kraće vrijeme izlaganja, a uz izostanak istovremenog promatranja utjecaja na različite razvojne stadije ili pojedina tkiva, a nisu detaljno provedena ni istraživanja svih fizikalnih svojstava zračenja, primjerice, frekvencije, modulacije, polarizacije, intenziteta, gustoće snage, jakosti električnog polja i drugo. I na kraju, valja spomenuti da dosadašnji nejasni rezultati učinka RF-EMZ-a na pčelinje zajednice ne isključuju ni mogućnost prilagodbe pčela tijekom kraćeg ili dužeg izlaganja, a ovisno o promijenjenim okolišnim uvjetima.

Literatura

1. ALEKSEEV, S. I. and M. C. ZISKIN (2019): Biological Effects of Millimeter and Submillimeter Waves. In: Ben Greenebaum, B., F. Barnes: Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, London, New York (179-241).
2. Anon. (2010): Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (Narodne novine 91/2010).
3. Anon. (2014): Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (Narodne novine 146/2014).
4. Anon. (2019): Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (Narodne novine 31/2019).
5. BALMORI, A. (2010): Mobile phone masts effects on common frog (*Rana temporaria*) tadpoles: the city turned into a laboratory. Electromagn. Biol. Med. 29, 31-35.

6. BALMORI, A. (2005): Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of White stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagn. Biol. Med.* 24, 109-119.
7. BALODIS, V. G., K. BRUMELIS, O. KALVISKIS, D. NIKODEMUS and V. Z. TJARVE (1996): Does the Skrudra radio location station diminish the radial growth of pine trees? *Sci. Total Environ.* 180, 57-64.
8. BANDARA, P. and D. O. CARPENTER (2018): Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. *Lancet Planet Health.* 2, e513-e514.
9. BASTIDE, M., B. J. YOUNG, J. C. LEBECQ and J. GIAIMIS (2001): Toxicological study of electromagnetic radiation emitted by television and video display screens and cellular telephones on chickens and mice. *Indoor Built Environ.* 10, 291-298.
10. CAMMAERTS, M. C., P. DE DONCKER, X. PATRIS, F. BELLENS, Z. RACHIDI and D. CAMMAERTS (2012): GSM 900 MHz radiation inhibits ants' association between food sites and encountered cues. *Electromagn. Biol. Med.* 31, 151-165.
11. CUCURACHI, S., W. L. M. TAMIS, M. G. VIJVER, W. J. G. M. PEIJNENBURG, J. F. B. BOLTE and G. R. DE SNOO (2013): A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). *Environ. Int.* 51, 116-140.
12. DARNEY, K., A. GIRAUDIN, R. JOSEPH, P. ABADIE, P. AUPINEL, A. DECOURTYE, E. LE BOURG and M. GAUTHIER (2016): Effect of high-frequency radiations on survival of the honeybee (*Apis mellifera*). *Apidologie* 47, 703-710.
13. EVANS, D. A., P. R. SYALIMA and R. RASEEK (2017): Mobile phone radiation induces sedation in *Periplaneta americana*. *Curr. Sci.* 113, 2275-2281.
14. FAVRE, D. (2011): Mobile phone-induced honeybee worker piping. *Apidologie* 42, 270-279.
15. IARC (International Agency for Research on Cancer) (2013): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields, 102, WHO, Lyon, France.
16. IBRAHEIM, M. H. and Z. K. KHATER (2013): The Effect of Electromagnetic Field on Water and Fish *Clarias Garpienus*, Zagazig, Egypt. *Life Sci. J.* 10, 3310-3324.
17. ITU (The International Telecommunication Union) (2019): Statistics. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> Pristupljeno: 28.2.2020.
18. KIMMEL, S., J. KUHN, W. HARST and H. STEVER (2007): Electromagnetic Radiation: Influences on Honeybees (*Apis mellifera*). https://www.researchgate.net/publication/292405747_Electromagnetic_radiation_Influences_on_honeybees_Apis_mellifera_IIAS-InterSymp_Conference Pristupljeno: 22.10.2020.
19. LOPATINA, N. G., T. G. ZACHEPILO, N. G. KAMISHEV, N. A. DYUZHKOVA and I. N. SEROV (2019): Effect of non-ionizing electromagnetic radiation on behavior of the honeybee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae). *Entomol. Rev.* 99, 24-29.
20. MAILANKOT, M., A. P. KUNNATH, H. JAYALEKSHMI, B. KODURU and R. VALSALAN (2009): Radio frequency electromagnetic radiation (RF-EMR) from GSM (0.9/1.8GHz) mobile phones induces oxidative stress and reduces sperm motility in rats. *Clinics.* 64, 561-565.
21. MALARIĆ, K., D. ŠIMUNIĆ i R. ZENTNER (2016): Ekonomija i ekologija radiokomunikacijskih sustava. Merkur A.B.D., Zagreb.
22. MCREE, D. I. and P. E. HAMRICK (1977): Exposure of Japanese quail embryos to 2.45 GHz microwave radiation during development. *Radiat. Res.* 71, 355-366.
23. MILEUSNIĆ, E. (2006): Izloženost ljudi elektromagnetskim poljima. *Energija* 55, 550-577.
24. MIXON, T. A., C. I. ABRAMSON, S. L. NOLF, G. A. JOHNSON, E. SERRANO and H. WELLS (2009): Effect of GSM Cellular Phone Radiation on the Behavior of Honey Bees (*Apis mellifera*). *Sci. Bee Culture* 137, 22-27.
25. POLJAK, D. (2006): Izloženost ljudi neionizacijskom zračenju. Kigen, Zagreb.
26. POPLAŠEN, D., V. BRUMEN i D. BUČAN (2015): Djelovanje elektromagnetskog zračenja na ljudski organizam. *Sigurnost* 57, 371-374.
27. RÖÖSLI, M. (2008): Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: A systematic review. *Environ. Res.* 107, 277-287.
28. SAEFL (2005): Electromog in the enviroment. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Bern.
29. SAHIB, S. S. (2011): Electromagnetic Radiation (EMR) Clashes with Honey Bees. *Int. J. Environ. Sci.* 1, 897-900.
30. SHARMA, V. P. and N. R. KUMAR (2010): Changes in honeybee behaviour and biology under the influence of cell phone radiations. *Curr. Sci.* 98, 1376-1378.
31. SIVANI, S. and D. SUDARSANAM (2012): Impacts of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) from cell phone towers and wireless devices on biosystem and ecosystem – a review. *Biol. Med.* 4, 202-216.
32. TLAK GAJGER, I., M. VILIĆ, P. TUCAK and K. MALARIĆ (2019): Effect of electromagnetic field on some behaviour modality of honeybee colonies (*Apis mellifera*) in field Conditions. *J. Anim. Vet. Adv.* 18, 61-64.
33. VILIĆ, M., I. TLAK GAJGER, P. TUCAK, A. ŠTAMBUK, M. ŠRUT, G. KLOBUČAR, K. MALARIĆ, I. ŽURA ŽAJA, A. PAVELIĆ, M. MANGER and M. TKALEC (2017): Effects of short-term exposure to mobile phone radiofrequency (900 MHz) on the oxidative response and genotoxicity in honey bee larvae. *J. Apic. Res.* 56, 430-438.
34. ZAVRTNIK, S., J. LOBOREC, I. GRČIĆ and D. ŽUBČIĆ (2020): Honey bee (*Apis mellifera*) in

- biomonitoring of environmental pollution. Vet. stn. 51, 441-453. (In Croatian).
35. ŽURA ŽAJA, I., A. SLUGANOVIĆ, M. SAMARDŽIJA, S. MILINKOVIĆ-TUR, T. DOBRANIĆ, S. STRELEC, D. ĐURIČIĆ, H.

VALPOTIĆ and S. VINCE (2019): The effects of oxidative stress on the male reproductive system and mechanisms of antioxidant protection. Vet. stn. 50, 43-54. (In Croatian).

The effects of radiofrequency radiation on humans and animals, with special reference to honey bees (*Apis mellifera*)

Ivona ŽURA ŽAJA, DVM, PhD, Assistant Professor, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb, Croatia; Marinko VILIĆ, PhD, DVM, Associate Professor, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb, Croatia; Iva TOMULIĆ, DVM, Croatia; Ana SHEK VUGROVEČKI, DVM, PhD, Assistant Professor, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb, Croatia; Krešimir MALARIĆ, PhD, Full Professor, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, Zagreb, Croatia; Perica TUCAK, PhD, DVM, State inspectorate of Republic of Croatia, Zagreb, Croatia; Ivana TLAK GAJGER, PhD, DVM, Full Professor, Faculty of Veterinary Medicine University of Zagreb, Zagreb, Croatia

Wireless technology, based on radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMR), now has unimaginable possibilities. However, the use of wireless technology raises concerns about its possible harmful effects on human and animal health. The general population, and even a considerable number of scientists, seem to be unaware of the changing nature of the natural electromagnetic environment, despite huge increases in electrosmog. This may be due to poor knowledge of the effects of RF-EMR of anthropogenic origin on human and animal health, and a lack of understanding of its effects on other natural and artificial atmospheric components and the ionosphere. Moreover, the large number of published research results is even controversial. When referring to the biological effects of RF-EMR on animals, it must be stated that research has been performed on numerous animal species, from invertebrates to mammals. This paper briefly explains the basic concepts of RF-EMR and the effects of this radiation on living beings, with special reference to honey bees. A comprehensive understanding of the non-thermal biological effects of RE-EMZ on living beings, despite the rapid increase in

the number of devices and users of wireless technology, certainly requires long-term research on different ecosystems. Despite numerous studies on bee communities, the effects of RF-EMR are still not completely understood and the mechanism of action remains unknown, and no consensus has been reached regarding the harmfulness of RF-EMR to living beings. A possible reason is that earlier studies of the impacts of RF-EMR on bee communities were conducted primarily on adult bees and through shorter exposure times, and in the absence of simultaneous observation of impacts on different developmental stages or individual tissues. There has also been a lack of research on all the physical properties of radiation, such as frequency, modulation, polarization, intensity, power density, electric field strength and others. Finally, the currently unclear results of the effect of RF-EMR on bee communities should not exclude the possibility of bee adaptations during short- or long-term exposure, depending on changing environmental conditions.

Key words: *electrosmog; electromagnetic radiation; biological effects; honey bee (Apis mellifera)*