

# Učinak mikrovalnog zračenja (elektrosmoga) na pčele (Apis Mellifera)

---

Tomulić, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Veterinary Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:178:982589>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Veterinary Medicine -  
Repository of PHD, master's thesis](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
VETERINARSKI FAKULTET

Iva Tomulić

**UČINAK MIKROVALNOG ZRAČENJA (ELEKTROSMOGA) NA  
PČELE (*Apis mellifera*)**

Diplomski rad

Zagreb, 2020.

**ZAVOD ZA FIZIOLOGIJU I RADIOBIOLOGIJU**  
**ZAVOD ZA BIOLOGIJU I PATOLOGIJU RIBA I PČELA**

**Predstojnici:** prof. dr. sc. Suzana Milinković Tur  
izv. prof. dr. sc. Emil Gjurčević

**Mentori:** izv. prof. dr. sc. Marinko Vilić  
prof. dr. sc. Ivana Tlak Gajger

**Članovi Povjerenstva za obranu diplomskog rada:**

1. Doc. dr. sc. Ivona Žura Žaja
2. Izv. prof. dr. sc. Marinko Vilić
3. Prof. dr. sc. Ivana Tlak Gajger
4. Doc. dr. sc. Ana Shek-Vugrovečki (zamjena)

### III

*Prije svega, želim zahvaliti svojim mentorima izv. prof. dr. sc. Marinku Viliću i prof. dr. sc. Ivani Tlak Gajger na profesionalnoj i stručnoj pomoći i uputama pri izradi ovoga diplomskog rada. Posebno zahvaljujem i cijenim vrijeme koje ste izdvojili kako biste me usmjeravali u pisanju ovoga diplomskog rada.*

*Želim zahvaliti svojim prijateljima i kolegama koji su mi bili oslonac tijekom studija, posebice kolegama iz studentske Udruge Equus.*

*Na kraju, posebno zahvaljujem svojim roditeljima na potpori i ljubavi koje su mi pružili tijekom svih godina studiranja, što su imali razumijevanja za mene i što sam im uvijek bila prioritet.*

**Popis priloga**

Tablica 1. Pregled radiofrekvencijskog pojasa prema ITU.....	3
Tablica 2. Temeljna ograničenja za inducirano električno polje za opću populaciju.....	7
Tablica 3. Granične razine referentnih veličina za javna područja.....	8
Tablica 4. Granične razine referentnih veličina za područja povećane osjetljivosti.....	9
Tablica 5. Granične razine električnog i magnetskog polja i gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za javna područja.....	10
Tablica 6. Granične razine električnog i magnetskog polja i gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za područja povećane osjetljivosti.....	10
Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja.....	4

**SADRŽAJ**

1. UVOD .....	1
2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....	2
2.1. Elektromagnetsko zračenje.....	2
2.2. Izvori elektromagnetskog zračenja.....	4
2.3. Fizikalne veličine i mjerne jedinice u području radiofrekvencijskog zračenja.....	5
3. BIOLOŠKI UČINCI RADIOFREKVENCIJSKOG ZRAČENJA.....	11
3.1. Biološki učinci radiofrekvencijskog zračenja .....	11
3.1.1. Toplinski učinak RF-EMZ.....	12
3.1.2. Netoplinski učinak RF-EMZ.....	12
4. BIOLOGIJA PČELA.....	13
4.1. Općenito o pčelama.....	13
4.2. Anatomija medonosne pčele .....	14
4.3. Razvoj pčele.....	19
4.4. Biološki učinci RF-EMZ zračenja na pčele.....	20
4.5. Elektromagnetizam i orijentacija pčele.....	21
5. RASPRAVA.....	24
6. ZAKLJUČCI.....	25
7. LITERATURA.....	26
8. SAŽETAK.....	30
9. <i>SUMMARY</i> .....	31
10. ŽIVOTOPIS .....	32

## 1. UVOD

Sva su živa bića na Zemlji izložena prirodnim statičkim magnetskim (geomagnetskim) poljima te elektromagnetskim poljima nižih frekvencija podrijetlom od sunca, grmljavinskih aktivnosti i struje koja kruži unutar zemljine jezgre. Međutim, unatrag stotinu godina čovjek je dodatno izložio sva živa bića umjetno stvorenom elektromagnetskom zračenju. Upotreba bežične tehnologije predstavlja danas nedvojbeno najveći i najbrže rastući izvor onečišćenja okoliša elektromagnetskim zračenjem antropogenog podrijetla. Tako se, primjerice, upotrebom 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 prirodnu vrijednost (BANDARA i CARPENTER, 2018.).

Prisutnost različitih frekvencija iz područja neionizirajućeg zračenja antropogenog podrijetla u okolišu, odnosno svih umjetno stvorenih elektromagnetskih polja poznat je pod pojmom elektromagnetski smog ili elektrosmog (SAEFL, 2005.; POLJAK, 2006.). No, unatoč ogromnom porastu elektrosmoga, 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 i na druge prirodne i umjetne atmosferske komponente te na ionosferu. No, na temelju rezultata brojnih istraživanja poznato je da RF-EMZ uz toplinski učinak uzrokuje 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 načinjena na širokom rasponu životinjskih vrsta od beskralježnjaka do sisavaca (CUCURACHI i sur., 2013.). Brojnija promatranja i istraživanja na kukcima načinjena su na medonosnoj pčeli (*Apis mellifera*) osobito nakon sumnje da RF-EMZ može uzrokovati poremećaj propadanja pčelinje zajednice (engl. *Colony Colaps Disorder*, CCD). U ovom diplomskom radu opisani su izvori RF-EMZ-a antropogenog podrijetla i biološki učinci takvog zračenja sa značajnijim osvrtom na biološke učinke na medonosnu pčelu.

## 2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

### 2.1. 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 ( $6,62607015 \cdot 10^{-34}$  J·s). Frekvencija elektromagnetskog vala broj je titraja u jedinici vremena i izražava se hercima (Hz). Elektromagnetski se valovi šire zrakopraznim 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). Prema tome, za opis elektromagnetskog vala koristimo frekvenciju i valnu duljinu. 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 pak strane, elektromagnetsko zračenje nižih frekvencija od 30 PHz nema dovoljnu energiju (manju od 1 eV)<sup>1</sup> za ionizaciju atoma te se još naziva neionizirajuće elektromagnetsko zračenje. Prema tome, elektromagnetsko se zračenje na temelju energije dijeli na ionizirajuće i neionizirajuće.

Neionizirajući dio elektromagnetskog zračenja sastoji se od radiofrekvencijskog (RF) i optičkog dijela. Radiofrekvencijski dio zauzima područje frekvencije od 0 do 300 GHz, te je prema Međunarodnoj telekomunikacijskoj uniji (*engl. International Telecommunication Union* - ITU) podijeljen na područja ekstremno dugog vala i područja ekstremno kratkog vala (Tablica 1).

---

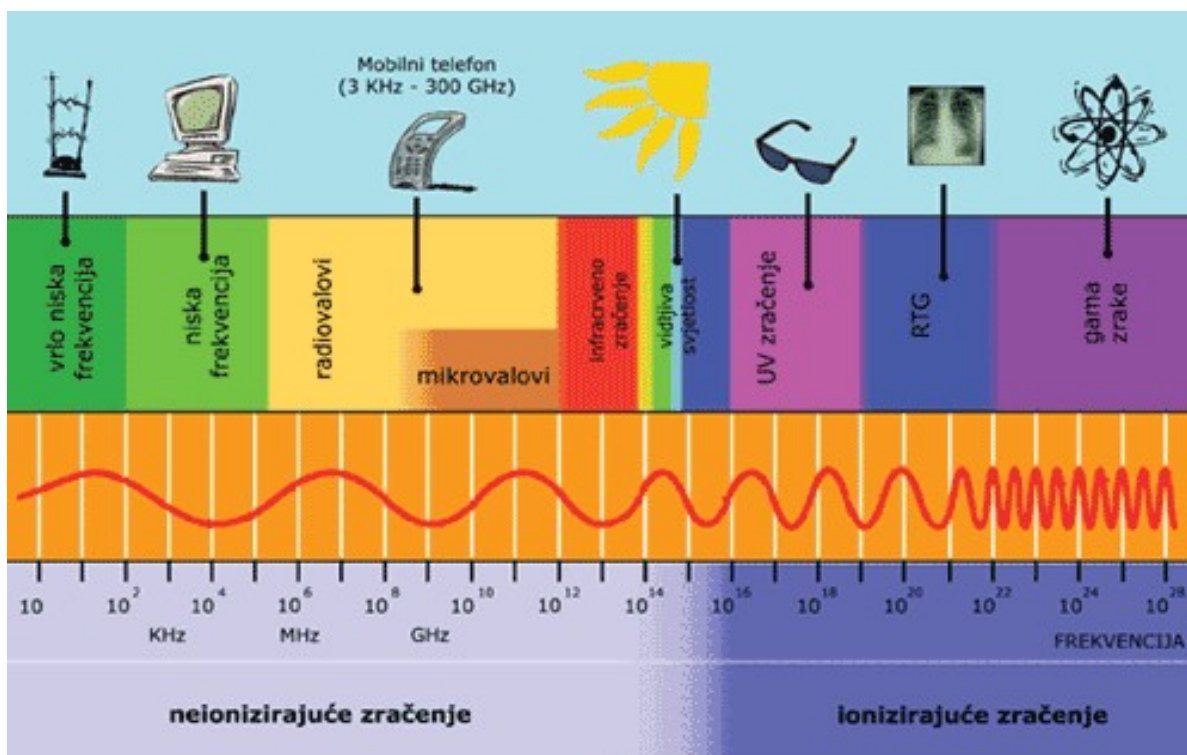
<sup>1</sup> eV- iznimno dopuštena mjerna jedinica za energiju izvan sustava SI, vrijednosti eV  $\approx 1,602\ 177\ 33 \times 10^{-19}$  J.



Tablica 1. Pregled radiofrekvencijskog pojasa prema Međunarodnoj telekomunikacijskoj uniji (ITU).

Naziv	Frekvencijski opseg (f)	Valna duljina ( $\lambda$ )
Ekstremno dugi val (engl. <i>Extremely Low Frequencies</i> , ELF)	300 – 3000 Hz	100 – 1000 km
Vrlo dugi val (engl. <i>Very Low Frequencies</i> , VLF)	3 – 30 kHz	10 – 100 km
Dugi val (engl. <i>Low Frequencies</i> , LF)	30 – 300 kHz	1 – 10 km
Srednji val (engl. <i>Medium Frequencies</i> , MF)	300 – 3000 kHz	100 – 1000 m
Kratki val (engl. <i>High Frequencies</i> , HF)	3 – 30 MHz	10 – 100 m
Vrlo kratki val (engl. <i>Very High Frequencies</i> , VHF)	30 - 300 MHz	1 – 10 m
Ultra kratki val (engl. <i>Ultra High Frequencies</i> , UHF)	300 – 3000 MHz	10 – 100 cm
Super kratki val (engl. <i>Super High Frequencies</i> , SHF)	3 – 30 GHz	1 – 10 cm
Ekstremno kratki val (engl. <i>Extra High Frequencies</i> , EHF)	30 – 300 GHz	1 – 10 mm

Optički dio spektra podijeljen je pak na infracrveno, vidljivo i ultraljubičasto zračenje, te započinje frekvencijom od 300 GHz, a završava frekvencijom  $22,5 \times 10^6$  GHz (MALARIĆ i sur., 2016.). Optički dio spektra elektromagnetskog zračenja čini: ultraljubičasto zračenje (UV; valna duljina u rasponu od 100 do 400 nm, a frekvencija u rasponu od  $10^{15}$  do  $10^{17}$  Hz); vidljiva svjetlost (valna duljina 400 – 760 nm, frekvencije  $10^{15}$  Hz) i infracrveno zračenje (valna duljina 760 nm – 1 mm, frekvencije  $10^{12}$  i  $10^{14}$  Hz) (POPLAŠEN i sur., 2015.). Spektar elektromagnetskog zračenja prikazan je na slici 1.



Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja.

(<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/cavar/EMzracenje.html> )

## 2.2. Izvori elektromagnetskog zračenja

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 umjetnih (antropogenih)

izvora kao što su: radiokomunikacijski 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 područje ultra kratkog vala (UHF), frekvencije od 300 do 3000 MHz. 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 % svjetske populacije, odnosno 4,1 milijarda ljudi (ITU, 2019.).

### **2.3. Fizikalne veličine i mjerne jedinice u području radifrekvencijskog zračenja**

Međunarodna komisija o zaštiti 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 je razini, u RH, najznačajniji propis u području zaštite od elektromagnetskog polja Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN 91/10), a osim Zakona, Sabor je usvojio i 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 kojem su propisane granične razine elektromagnetskih polja, izvori elektromagnetskih polja, uvjeti koje pravne ili fizičke osobe moraju zadovoljiti 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:

- **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 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/m<sup>2</sup>], *specifična gustoća apsorbirane snage (engl. specific absorption rate - SAR)* [W/kg], i *gustoća snage* [W/m<sup>2</sup>].

Kao temeljna izračunata veličina u praksi se najčešće koristi specifična gustoća apsorbirane snage (SAR), odnosno mjera brzine apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva, a izražava se u vatima po kilogramu (W/kg).

- **Referentne veličine** - su pak mjerljive veličine čijim nadzorom se posredno osigurava zadovoljenje temeljnih ograničenja a izražene kao *jakost električnog polja* (E) - u određenoj točki prostora definira se silom na jedinični električni naboj u toj točki a izražava se u voltima po metru [V/m], *gustoća magnetskog toka* [T], *dodirna struja* [mA], *gustoća snage* (S) - omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala, a izražava se u vatima po metru kvadratnom [W/m<sup>2</sup>].

Ovdje treba naglasiti da su granične vrijednosti referentnih veličina smanjene u odnosu na pripadna temeljna ograničenja kako bi se spriječile moguće pojave još dosad nepotvrđenih štetnih zdravstvenih učinaka elektromagnetskog zračenja (NN 146/2014).

Sve norme propisane od strane međunarodnih organizacija ili na nacionalnoj razini populaciju dijele na dvije skupine: opću i profesionalnu. Za opću populaciju granične su vrijednosti umanjene za sigurnosni faktor 5 u odnosu na vrijednosti za profesionalnu populaciju (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 tablici 2, 3, 4, 5 i 6.

Tablica 2. Temeljna ograničenja za inducirano električno polje za opću populaciju.

Temeljna ograničenja 100 kHz-300 GHz (NN 31/2019).

Frekvencijski opseg	SAR (W/kg)			Gustoća snage S (W/m <sup>2</sup> )
	Cijelo tijelo	Glava i trup	Udovi	
<b>100 kHz - 10MHz</b>	0,08	2	4	-
<b>10 MHz - GHz</b>	0,08	2	4	-
<b>10 GHz – 300 GHz</b>	-	-	-	10

Tablica 3. Granične razine referentnih veličina za javna područja<sup>2</sup> (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 Sekv (Wm <sup>2</sup> )
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	$1,3 \times \sqrt{f}$	$3,45 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$4,3 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$4,5 \times 10^{-3} \times f$
2-10 GHz	58	0.15	0.19	8.9
10-300 GHz	58	0.15	0.19	8.9

<sup>2</sup> 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)

Tablica 4. 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 Sekv (Wm <sup>2</sup> )
1-8 Hz	$4 \times 10^3$	$1,28 \times \frac{10^4}{f^2}$	$1,6 \times \frac{10^4}{f^2}$	-
8-25 Hz	$4 \times 10^3$	$1,6 \times \frac{10^3}{f}$	$2 \times \frac{10^3}{f}$	-
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

Tablica 5. 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 ( $\mu$ T)
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

Tablica 6. 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 ( $\mu$ 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



### 3. BIOLOŠKI UČINCI RADIOFREKVENCIJSKOG ZRAČENJA

#### 3.1. Biološki učinci radiofrekvencijskog zračenja

Biološki učinci RF-EMZ-a mogu biti: toplinski i netoplinski, a dobiveni su na temelju istraživanja:

- *in vivo* na pokusnim životinjama
- *in vitro* na staničnim kulturama
- obrade epidemioloških podataka.

Dok je toplinski učinak, tj. zagrijavanje tkiva nakon izlaganja RF-EMZ-u, vrlo dobro poznat, netoplinski učinci uzrokuju danas poprilične kontroverze, osobito u dokazima mogućeg uzroka karcinoma te učinka na imunološki, reproduktivni i živčani sustav. No, mehanizam njihovog nastanka nije do danas razjašnjen. Tako, primjerice, simptomi netoplinskog učinka koji se najčešće očituju su sljedeći: 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.; RÖÖSLI, 2008.) Uzrok netoplinskog učinka jest, ili bi mogao biti, povećani oksidacijski stres te s tim u vezi i oštećenje molekule DNK-a.

Netoplinski učinci RF-EMZ-a zabilježeni su na brojnim vrstama životinja u prirodi, uključujući ptice (BALMORI, 2005.; MCREE i HAMRICK, 1977.; BASTIDE i sur., 2001.), 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, primjerice ponašanje i sposobnost orijentacije pčela, plodnost i sposobnost razmnožavanja matice, genotoksičnost, oksidativni stres te proizvodnost (prinos meda) uz sporadično promatranje toplinskog učinka.

### 3.1.1. Toplinski učinak RF-EMZ-a

Izlaganje stanica i tkiva jako visokim gustoćama snage RF-EMZ pri redu veličine od 100 mW/cm<sup>2</sup> (1000 W/m<sup>2</sup>) ili više, može nedvojbeno uzrokovati njihovo zagrijavanje tj. uzrokuje povećanje temperature (toplinski učinak). Međutim, treba naglasiti kako stupanj zagrijavanja ovisi o nekoliko čimbenika: frekvenciji zračenja, veličini, obliku i površini izloženog tkiva, trajanju izloženosti tkiva RF-EMZ-u 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 neplodnosti.

Upravo na temelju toplinskog učinka, tj. na temelju povećanja temperature tkiva postavljene su i granične vrijednosti izloženosti čovjeka RF-EMZ-u primjenjujući sigurnosne faktore ovisno o izloženoj populaciji. Tako je, primjerice, za profesionalno izlaganje uzet sigurnosni faktor 10, a za opću populaciju 50. Drugim riječima, granična vrijednost izlaganja RF-EMZ-u je deset, odnosno pedeset puta manja od vrijednosti koja uzrokuje toplinski učinak (MALARIĆ, 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 značajno temperaturu stanice, tkiva ili organizma, ali uzrokuje fizikalne i biokemijske promjene.

### 3.1.2. 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 čovjeka i životinja te uzrokuje promjene na molekuli DNK (SIVANI i SUDARSANAM, 2012.). 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 i to:

- Nastanak slobodnih radikala
- Promjena propusnosti stanične membrane
- Rezonantne interakcije bioloških molekula s radiofrekvencijskim zračenjem
- Smanjenje razine melatonina te nastanak karcinoma

Životinje koje se orijentiraju pomoću magnetskog polja Zemlje osjetljive su na umjetno stvoreno elektromagnetsko polje što uzrokuje njihovu dezorijentaciju. Stoga su mnogobrojna istraživanja učinka RF-EMZ-a načinjena upravo na pticama selicama i medonosnoj pčeli.

## 4. BIOLOGIJA PČELA

### 4.1. Općenito o medonosnoj pčeli (*A. mellifera*)

Medonosna je pčela, kao i sve vrste roda *Apis*, socijalno biće koje može preživjeti isključivo kao dio skupine koju zovemo pčelinja zajednica. Pčelinja zajednica sastoji se od matice (spolno zrela ženka), trutova (mužjaci) i radilica (spolno nerazvijene ženke), te svaka od njih ima svoju funkciju unutar zajednice. Matica je majka svih pčela u zajednici i njezina je funkcija reproduktivna. Radilice obavljaju sve poslove u zajednici, poput gradnje saća, prehrane legla i skupljanja hrane. Trutovi imaju samo jednu glavnu funkciju, a ta je oploditi maticu. 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: sjeverno-europska (*A. m. mellifera*), talijanska (*A. m. ligustica*), kranjska (*A. m. carnica*), te kavkaska pasmina (*A. m. caucasica*).

## 4.2. Anatomija medonosne pčele

Tijelo medonosne pčele bilateralno je simetrično i dubokim je usjecima podijeljeno na tri dijela, glavu (*caput*), prsa (*thorax*) i zadak (*abdomen*). Vanjski egzoskelet pčele, sastoji se od ukupno 13 hitinskih kolutića (segmenta). Kolutićavost je izražena na zatku i prsištu pčele. Kolutići su međusobno povezani tankom hitinskom intersegmentalnom membranom. Svaki se kolutić sastoji od dva dijela, leđne ljuskice (*tergit*) i trbušne ljuskice (*sternit*), međusobno povezanih lateralnom membranom. Segmenti su poredani tako da prednji kolutić prelazi preko stražnjeg kolutića, a gornji dio kolutića preko donjeg.

Koža u pčela predstavlja oklop ili kožni skelet. Vanjski, mrtvi sloj kože izgrađen je od hitina, ispod čega se nalazi jednostanični sloj (*hypodermis*), a ispod kojeg se nalazi bazalna membrana. Ispod kože smješten je mišićni sloj za pomicanje pojedinih dijelova tijela. Pčele nemaju koštani sustav čiju je ulogu preuzeo egzoskelet.

Na glavi kolutićavost se potpuno izgubila specijalizacijom pojedinih dijelova glave. Prvi kolutić predstavlja bazu glave, dok su ticala smještena na drugom i trećem kolutiću. Preostala tri kolutića preoblikovana su u usni aparat koji se sastoji od gornjeg dijela (gornja usna i mandibule) i rilca. Na glavi su smještena tri jednostavna ili točkasta i dva složena oka, ticala te usni aparat za uzimanje krute i tekuće hrane. Složene oči smještene su na postranim dijelovima glave, dok su jednostavne oči smještene na prednjoj strani dorzalnog dijela glave. Jednostavne oči građene su slično kao i oči ljudi, te se slika koja nastaje u sva tri oka slijeva u jednu sliku. Složene su oči oblikom duguljaste i nepomične, a izgrađene su od nekoliko tisuća minijaturnih djelića od kojih svaki za sebe predstavlja posebno oko. Složene oči nazivaju se još facetnim očima jer se rožnica složenog oka sastoji od šesterokutnih hitinskih pločica (*faceta*). Ispod nje nalaze se očne jedinice (*ommatidium*) u obliku cijevi, obložene pigmentnim slojem. Na taj način kad zraka svjetla uđe u jednu očnu jedinicu, ne može reflektirati u sljedeću očnu jedinicu. Ispod leće nalazi se vidni štapić (*rhabdom*) povezan s vidnim živcem. Pčele ne vide crvenu boju, već im se ona prikazuje kao crna boja, a dobro razlikuju žutu, zelenu, plavu i ultraljubičastu boju. Ticala (*antennae*) nalaze se u centralnom dijelu čeonog štita. Na stražnjoj strani glave nalazi se zatiljni otvor (*foramen magnum*) kroz koji prolaze jednjak, dušnici, aorta, živci i odvodni kanal žlijezde slinovnice. Ventralno od zatiljnog otvora nalazi se udubljenje (*fossa proboscis*) u kojem je smješteno rilce kada nije u funkciji.

Medijalni dio pčelinjeg tijela čine prsa na kojima se s dorzalne strane nalaze krila, dok su noge s ventralne strane. Prva tri kolutića predstavljaju kranijalna prsa (*prothorax*), medijalna prsa (*mezothorax*) i kaudalna prsa (*metathorax*). Za razliku od drugih kukaca, kod pčela je prvi

kolutić zatka (*propodeum*) vezan za prsište. Na krajnjem dijelu kranijalnih prsa sješten je prvi par nogu. Srednja su prsa najveći dio prsišta i na njega su vezana prednja krila i drugi par nogu. Drugi par krila i treći par nogu vezani su za stražnji dio prsa. Četvrti prsni kolutić predstavlja veliku zadnju ploču koja se kod pčela broji kao prvi kolutić zatka. Zadak je sastavljen od devet kolutića, no kod matice i radilice vidljivo je samo šest kolutića sedmi i osmi kolutić tvore dijelove žalačnog aparata, a deveti je kolutić uvučen i tvori analni prsten. Kod truta vidljivo je sedam kolutića, dok osmi kolutić čini dio spolnog organa (*clasper*), a deveti kolutić čini analni prsten. Zadak se prema kraju sužava što pčeli omogućuje brže letenje. Prednji rub svakog kolutića zadebljan je za prihvat snažnih mišića koji pokreću zadak prilikom disanja. Zadak može povećati svoj volumen što je bitno prilikom disanja, skupljanja nektara i nakupljanja izmeta tijekom zime.

Pčela ima tri para nogu koje su na ventralnom dijelu prsišta usađene na stražnjem rubu prvog, drugog i trećeg kolutića. Pomoću prvog članka – kuka (*coxa*) – svaka noga pričvršćena je za prsište. Na njega se nastavlja bedreni valjak (*trochanter*), a iza njih nastavlja se bedro (*femur*) i goljenica (*tibia*). Zatim slijedi pet članaka stopala (*tarsus*), od kojih je prvi najveći. Stopalo završava čaporastim člankom, na kojem se nalaze dva zavinuta šiljasta čaporca između kojih se nalazi jastučić za prianjanje (*pulvillus*). Pokretljivost nogu u pojedinim je zglobovima mala i moguća je samo u jednom pravcu, osim između bedrenog valjka i bedra koji omogućuju veću pokretljivost nogu. Pčelama noge služe za hodanje, čišćenje tijela te za skupljanje i prenošenje peludi i propolisa. Ravnotežu pri hodanju pčela održava istovremeno opterećujući prvu i zadnju nogu s jedne strane i srednju nogu s druge strane. Jastučići služe za kretanje po glatkoj površini, dok šiljasti čaporci služe za hodanje po hrapavoj površini. Noge su dobro obrasle dlačicama. Prednje su noge najmanje i smještene su odmah iza glave. Dlačice na unutarnjoj strani prvog članka stopala služe kao četka za čišćenje prašine, peluda i drugih stranih tvari s glave, složenih očiju i usnog ustroja. Na prednjim nogama razvijen je organ za čišćenje ticala, točnije na gornjem dijelu prvog članka stopala prvog para nogu nalazi se polukružni izrez koji je kao češalj obrubljen hitinskim dlačicama, a s vanjske ga strane zatvara produžetak goljenice. Udubljenje za čišćenje ticala otvoreno je kada su prednje noge ispružene, a savijanjem zgloba zatvara se krug kroz koji pčela provlači ticalo prilikom čišćenja. Ovaj aparat posjeduju radilica, matica i trut. Tarzalni članak srednjih nogu na unutrašnjoj strani nogu posjeduju dlačice a služe kao četke za čišćenje tijela i skupljanje peluda. Prednjim i srednjim parom nogu pčela čisti glavu i prsa pokretima od natrag prema naprijed, dok zadnjim parom nogu čisti zadak pokretima od naprijed prema natrag. Kod radilica, stražnje noge prilagođene su za skupljanje peludi i propolisa. Na goljenici stražnjeg para nogu s lateralne strane nalazi se

košarica (*corbicula*) oko koje su dlačice, a pri dnu se nalazi peludni češalj sastavljen također od dlačica koje služe za sakupljanje peludi. Ostrugom pčela potiskuje pelud u košaricu, a smještena je na stražnjoj strani prvog članka stopala.

Dva para tankih prozirnih hitinskih krila pčeli služe za letenje, a usađena su sa strane prsiju u kožicu koja spaja leđnu i trbušnu ljuskicu drugog i trećeg kolutića. Krila su potpuno spljoštene kožne vreće. Prednji je kraj krila veći i pokriva stražnji manji par krila. Na krilima se nalaze crtasta odebljanja (žile) pružajući čvrstoću krilima kojima također prolaze dušnici, krv i živci. Prilikom leta pčelinja krila gibaju se u okomitom smjeru te pritom čine i lagane kružne kretnje, tako da vršak krila tijekom leta opisuje osmicu. Krila pokreću mišići smješteni s unutrašnje strane na leđnom i trbušnom dijelu prsnog oklopa, pri čemu jedan par mišića leži u uzdužnom smjeru, dok drugi par leži u okomitom smjeru.

Probavni sustav pčela sastoji se od usnog aparata kojeg čine: prednja usna, prednje čeljusti i rilce, zatim žlijezde (prednječeljusna, podždrijelna, žlijezda slinovnica, prsne i tjemene žlijezde) koje su vezane s prednjim crijevom i probavne cijevi. Prednja usna (*labrum*) hitinska je neparna pločica, osnova usnog aparata te se nastavlja na čeonu štit. Prednjim čeljustima pčele uzimaju krutu hranu (pelud), skidaju poklopce sa stanica saća i grade saće. Stražnji (donji) dio usnog aparata formiran je u složeni aparat: rilce (*proboscis*) sastavljeno od dijelova stražnje (donje) usne i stražnje (donje) čeljusti, te služi za uzimanje tekućina. Stražnja usna (*labium*) sastoji se od sljedećih glavnih dijelova: trokutasti podbradak (*submentum*), duguljasta bradica (*mentum*), jezik (*glossa*) i dva usna pipala (*palpi labiales*). Na dnu usne šupljine smješten je izlazni kanal mliječne ili podždrijelne žlijezde (*glandula hypopharingealis*). Prednjočeljusna žlijezda (*glandula mandibularis*) razvijena je kod matice, dok je kod starijih radilica zakržljala, a smještena je na bazi prednjih čeljusti. Izlučuje sekret kojim otapa vosak, propolis, kožicu peludnih zrnaca i kokon te kod matice stvara matični feromon. Mliječna ili podždrijelna žlijezda (*glandula hypopharingealis*) razvijena je kod radilica starih 8 do 12 dana, izlučuje sekret matične mliječi te je parna žlijezda (VIDAL-NAQUET, 2015.). Matičnom mliječi pčele radilice hrane maticu i trutove te sve ličinke tijekom prva tri dana starosti, dok ličinke matice hrane cijelo vrijeme trajanja hranidbe. Matična je mliječ bogata bjelančevinama, šećerima, mastima, vitaminom B1 (tiamin), pantotenskom kiselinom te vitaminom E. Žlijezdu slinovnicu (*glandula labialis*) čine prsna žlijezda (*glandula thoracalis*) i tjemene žlijezde (*glandula occipitalis*). Odvodni kanali prsne žlijezde izljevaju se u kanal tjemene žlijezde koja potom luči sekret za podmazivanje usnog aparata kod pčela skupljačica. Tjemenu žlijezdu imaju već ličinke, te ona luči predivo za kukuljicu. Prednje crijevo (*stomodeum*), srednje crijevo (*mesenteron, ventriculus*) i stražnje crijevo (*proctodeum*) čine zajedno probavnu cijev koja

započinje usnim ustrojem, a završava analnim otvorom. Prednje crijevo čine zajedno ždrijelo (*pharinx*), jednjak (*oesophagus*) i medni mjehur (*ingluvies*). Vrećasto proširenje jednjaka predstavlja medni mjehur (*ingluvies*), smješten u zatku, a lateralno od njega nalaze se zračne vreće. Medni mjehur posjeduju radilice, matica i trutovi, no najrazvijeniji je kod radilica. Ima zapremninu do  $70 \text{ mm}^3$  te ulogu spremišta nektara kojeg antiperistaltičkim gibanjem jednjaka i mednog mjehura izbacuju na rilce, potom u stanice saća te nastaje nezreli med koji uz pomoć enzima uzastopnim prebacivanjem u stanice postaje zreli med. Medni mjehur spojen je srednjim crijevom pomoću međucrijeva (*proventriculus*) koji na unutarnjoj strani zalistaka ima dlačice za filtraciju nektara, odvajajući tako peludna zrnca dok se nektar vraća u medni mjehur. Stražnje crijevo (*proctodeum*) čine tanko crijevo (*ileum*), Malpighijeve cjevčice i rektum (*rectum*), a ima ekskretivnu funkciju (TOMAŠEC, 1949.).

Krvožilni je sustav pčela jednostavan i otvoren te se sastoji od leđne žile čiji prednji dio predstavlja aortu, a stražnji dio čini srce. Cirkuliranje krvi u ostale organe je otvoreno, krv izlazi iz aorte, teče slobodno po tijelu oplahujući sve organe. Srce ima oblik cijevi sastavljene od pet komorica te završava slijepo. Krv je pčele (hemolimfa) bistra, bezbojna ili slabo žućkasta tekućina u kojoj se nalaze krvne stanice (hemociti) raznolikog oblika, bezbojne i slične veličine kao ljudski leukociti.

Dišni sustav pčela sastoji se od sustava dušnika (traheja) raširenih po čitavom tijelu i njihova proširenja dišne vreće. Pomoću deset pari dišnih otvora odušaka dušnici su povezani sa zrakom izvana, a nastavljaju se u dušničke kapilare (*tracheolae*) kojima ulaze u strukturu organa gdje završavaju slijepo. Tri para dušnika nalaze se na prsištu, dok ih je na zatku sedam.

Međusobno vezani živčani čvorovi (*ganglioni*), čine simpatički živčani sustav. Dva ganglionna nalaze se u glavi, dva u prsima i pet u zatku. Gornji ganglij glave predstavlja pčelinji mozak, a smješten je između složenih očiju i lateralno se nastavlja na očne režnjeve. Gljivasta tijela (*corpora pedunculata*) nalaze se dorzalno medijalno na mozgu i imaju funkciju pravog mozga. Mirisni režnjevi (*lobi olfactorici*) nalaze se na prednjoj strani središnjeg dijela mozga iz kojih potom izlaze živci ticala. Osjetilo njuha u pčela predstavljaju ticala (*antene*). To su hitinske cjevčice smještene na glavi iznad štita. Matica i radilice imaju dvanaest, a trut trinaest ticala. Ticala sadrže tisuće rupica prekrivenih prozirkom membranom ispod koje se nalazi šesnaest osjetnih stanica za njih povezanih s olfaktornim živcem. Pčele bez ticala gube sposobnost njuha. Na ticalima su smješteni receptori za miris i okus, organi koji detektiraju vibracije nastale tijekom pčelinjeg plesa i taktilni receptori koji služe pri gradnji saća.

Radilice posjeduju četiri para voštanih žlijezda smještenih od četvrtog do sedmog kolutića zatka, a matica i trut ih nemaju. Hitinski sloj žlijezde sadrži rupice, takozvano voštano zrcalo.

Voštane žlijezde radilica razvijaju se treći dan starosti i potpuno su razvijene od dvanaestog dana. Nakon što žlijezde zakržljaju, pčele više nemaju sposobnost gradnje saća. Voštana žlijezda izgrađena je od jednog reda cilindričnih stanica u kojima se nagomilava vosak u tekućem stanju, a izlučuje se kroz rupice voštanog zrcala i u dodiru sa zrakom mijenja konzistenciju te postaje čvršći (WINSTON, 1991.).

Mirisna ili Nasanovljeva žlijezda nalazi se na dorzalnoj strani zatka između šestog i sedmog kolutića, a svrha joj je izlučivanje feromona kod radilica. Sastoji se od nakupine žljezdanih stanica. U normalnom položaju zatka ta žlijezda nije vidljiva, već je pokrivena leđnom ljuskicom. Feromon ima više funkcija poput privlačenja pčela na pojedina mjesta, stoga ga pčele primjerice koriste pri rojenju. Složenog je sastava od kojeg su najznačajniji geraniol, geranijska kiselina, nerol, (E) - citral, (Z) - citral, farnesol i nerolova kiselina. Feromoni pčelama služe za kemijsko komuniciranje te imaju bioaktivno djelovanje na ponašanje i razvoj pojedinih organa. Na kraju zatka, u zadnjem kolutiću, smješten je žalac (*aculeus*) koji je tijekom mirovanja pokriven desetom leđnom i trbušnom ljuskicom zatka. Žalac posjeduju samo matica i radilica. Sastavljen je od žalčanog žlijeba i dviju žalčanih iglica. Žalčane iglice na svom kraju imaju zupce, kod radilica ih je deset, a kod matice su tri.

Otrovna žlijezda smještena je u stražnjem dijelu zatka s ventralne strane. Sastoji se od jedne dugačke, tanke i savinute cijevi koja se na proksimalnom dijelu račva na dvije kratke cijevi, a na stražnjem kraju se nadovezuje na mjehur u kojem se skuplja izlučeni otrov. Pokraj žalčanog aparata smještena je Duforova žlijezda kojoj je uloga lučenje sekreta za podmazivanje žalčanog aparata. Pčelinji otrov sakuplja se u mjehuru do dvadesetog dana života, a nakon toga žlijezda degenerira a otrov ostaje sačuvan u mjehuru. Matice posjeduju tri puta veću zapremninu mjehura u odnosu na radilicu, a i žalac je kod matice duži nego kod radilice. Na bazi žalčanog aparata nalaze se Koschevnikove žlijezde koje tijekom uboda izlučuju feromon koji upozorava na opasnost kako bi privukao druge pčele te one napadaju mjesto primarnog uboda.

Spolne organe matice čine jajnici (*ovaries*), jajovod (*oviduct*), vagina, spolni otvor, sjemenski mjehurić (*receptaculum seminis*) s pripadajućim žlijezdama (*glandulae appendiculares*) i odvodni kanal. Jajnik je građen od paralelno poredanih jajnih cjevčica (*ovariolae*). Iznad maternice nalazi se sjemeni mjehurić, a služi prikupljanju spermija. S njegove lateralne strane nalaze se žlijezde (*glandulae appendiculares*) koje služe ishrani spermija, a njihov se sekret ulijeva u odvodni kanal sjemenog mjehurića. Spolni organi u radilice su prisutni, no zakržljali. Spolne organe truta čine: parni sjemenici (*testes*), sjemenovodi (*vas deferens*), proširenje sjemenovoda (*vesiculae seminales*), sluzne žlijezde (*glandula mucosa*), neparni sjemenovodi (*ductus ejaculatorius*) i kopulacijska cijev (*penis*).



Sjemenici (*testes*) su parni organi smješteni u kranijalnom dijelu zatka, građeni su od sjemenskih cjevčica (*testiolae*) te su razvijeni već u stadiju kukuljice kada se već formiraju prvi spermiji. Nakon valenja veličina sjemenika se smanji, dok se količina spermija smjesti u proširenju sjemenovoda (*vesiculae seminales*) gdje dozrijevaju tijekom narednih desetak dana. Iz sjemenika izlazi sjemenovod (*vas deferens*) koji prelazi u proširenje sjemenovoda (*vesiculae seminalis*) i naposljetku ulazi u odvodni dio sluznih žlijezda (*glandula mucosa*), a potom se nastavlja u neparni sjemenovod (*ductus ejaculatorius*). Nakon zavijanja prelazi u koplacijsku cijev (*penis*) koja je završni dio spolnog organa truta.

### 4.3. Razvoj pčele

Da bi se pčela razvila u odraslu jedinku mora proći kroz nekoliko životnih stadija. Razvoj pčele započinje jajem valjkastog oblika i bijele boje u kojem je smještena zametna stanica i rezervna hrana potrebna za razvoj. Nakon polaganja jaja, četvrtog dana ono se raspušta u ličinku. Ličinka je sedefastog sjaja i bijele boje, izražene kolutićavosti i napetosti. Prvih tri dana radilice hrane ličinku matičnom mliječi, nakon čega se osim matičnom mliječi hrani mješavinom peluda, meda i vode. Petog dana ličinka zaprima potpunu površinu dna stanice, potom se ispruži i prelazi u nimfu kada počinje izlučivati feromon koji obavještava radilice da poklope stanicu saća. Radilice će tada pokriti stanicu voštanim prozračnim poklopcem kada ličinka prestane uzimati hranu. Pčele potom grade poklopce iz voska okolnog saća te novoizlučenog voska. Poklopci su malo izbočeni ako se radi o radiličkom leglu, a jako izbočeni ako se radi o trutovskom leglu. Ličinka matice ispruži se u dobi od pet dana, ličinka radilice u dobi od pet i pol dana, dok ličinka truta u dobi od sedam dana. Potom ličinka prelazi u stadij kukuljice, a žlijezda slinovnica izlučuje žućkastu tekućinu kojom zapuni stijenku stanice i čini kokon. Ličinke radilica i truta izgrade kokon unutar cijele stanice, a matica samo u području glave (polukokon). Kokon ostaje u stanici nakon što pčele izađu iz stanice koja postaje tamnija i manje veličine. U poklopljenoj stanici ličinke radilice i truta ispruže se u potpunosti polegnute na leđima, dok su ličinke matice smještene okomito glavom prema gore. Nakon što je stanica poklopljena, u jednom danu završi gradnja kokona. U stadiju kukuljice, tijelo sadrži glavu, prsa i zadak, a organi poprimaju prvotni oblik te dolazi do petog presvlačenja (tri dana nakon poklapanja). Šestim presvlačenjem slijedi preobrazba u zrelu kukuljicu koja ima oblik mlade pčele, u početku je bijele boje, a kasnije poprima tamniju boju i tada dolazi do razvoja krila. Nakon šestog presvlačenja mlada pčela probuši poklopac stanice kako bi izašla iz stanice saća. Kod radilice i truta razvoj kukuljice traje deset dana, a kod matice šest dana (TAUTZ, 2008.).

#### 4.4. Biološki učinci RF-EMZ-a na pčele

Na temelju dosadašnjih rezultata istraživanja elektromagnetskih polja na medonosnu pčelu (*A. mellifera*) mogu se razlučiti sljedeći učinci:

- Dezorijentacija
- Poremećaj ponašanja
- Poremećaj komunikacije
- Smanjena plodnost matice
- Proizvodni i reproduktivni poremećaji
- Oksidacijski stres
- 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 (*A. m. carnica*) 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 neizloženih EMZ-u (63%) u odnosu na pčele izložene EMZ-u (49,2%). Nešto veći broj povratka pčela autori su zabilježili kod pčela 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, također istraživao utjecaj RF-EMZ-a mobilnih telefona od 900 MHz na ponašanje pčela i plodnost matica. Autor je, naime, pokazao da svakodnevno desetominutno izlaganje pčelinjih zajednica tijekom deset dana uzrokuje nestanak pčela skupljačica iz zajednice, odnosno njihovu dezorijentaciju. Nadalje, isti je autor utvrdio značajno snažniju zajednicu pčela neizloženih RF-EMZ-u u odnosu na izložene zajednice u kojima je našao samo matice, jaja i nezrele pčele radilice.

Na temelju sumnji da je elektrosmog mogući uzrok nestanka pčela SHARMA i KUMAR (2010.) analizirali su učinak frekvencije mobilnih telefona na biološke čimbenike i ponašanje pčelinje zajednice. Oni su pak pčele izlagali elektromagnetskom zračenju frekvencije od 900 MHz dva puta dnevno u trajanju od petnaest minuta tijekom dva tjedna te utvrdili manju nesivost matice i manju površinu legla kod ozračenih zajednica. Osim učinka zračenja na maticu, autori su kod izloženih pčelinjih zajednica također utvrdili značajno manji broj izlazaka i ulazaka pčela u košnicu te s tim u vezi i manju proizvodnost (skupljanje peluda i proizvodnju meda). Na kraju pokusa autori su zabilježili potpuni nestanak pčela iz košnica izloženih EMZ-u.

Kako bi utvrdio moguće učinke elektromagnetskih valova na ponašanje pčela (*A. m. carnica*) FAVRE (2011.) je analizom zvuka koji proizvode pčele tijekom izlaganja zračenju mobilnih telefona na frekvenciji od 900 MHz utvrdio da EMZ uzrokuje pojavu tzv. „zviždanja/pištanja radilica“. Ukratko, autor je snimao zvukove koje pčele proizvode u svojim normalnim aktivnostima uz prisustvo ugašenih mobilnih telefona te u aktivnom stanju. Izlaganjem pčelinje zajednice mobilnom telefonu tijekom razgovora, autor je zabilježio povećanje frekvencije zvuka pčela 25 do 40 minuta nakon uspostave poziva s ukupnim trajanjem čak do dvanaest sati nakon prekida razgovora. Detaljnijom analizom autor je utvrdio nekoliko različitih frekvencija koje su izložene pčele koristile i to: 150–250 Hz (tijekom cijelog pokusa); 400–500 Hz (u kraćim vremenskim intervalima);  $500 \pm 50$  Hz i  $2.250 \pm 250$  Hz. Treba naglasiti da je sve navedene frekvencije autor utvrdio isključivo u košnicama, tj. pčelinjim zajednicama, izloženima elektromagnetskom zračenju za vrijeme aktivnog stanja mobilnih telefona s time da je njihovo očitovanje moguće zamijetiti istovremeno u izloženoj košnici ili pak za svaku pčelu zasebno.

S druge pak strane, postoje također 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 uzrokuje nikakve štetne posljedice. Nadalje, MIXON i sur. (2009.) također su utvrdili da ozračivanje pčela RF-EMZ-om s frekvencijom od 900 MHz i 1800 MHz nema učinka na agresivnost i orijentaciju pčela i na njihovu međusobnu komunikaciju. Uz navedene zaključke autori napominju da se pojava “nestanak pčelinje zajednice“ ne može povezati s radiofrekvencijskim zračenjem.

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 naime pokazali da učinci kod ličinaka ovise o fizikalnim uvjetima RF-EMZ-a, kao što su jakost polja i modulacija.

Nadalje TLAK GAJGER i sur. (2019.) istraživali su utjecaj elektromagnetskog zračenja odašiljača mobilnih telefona na pčelinju zajednicu smještenu na tri lokacije u prirodnim uvjetima tijekom godinu dana. Na području najveće jakosti polja (1 V/m) autori su tijekom prva dva mjeseca utvrdili povećanu agresivnost, smanjenu jačinu pčelinje zajednice i smanjenu količinu pčelinjeg legla. Kod 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. Nadalje, autori su također kod izloženih odraslih pčela utvrdili smanjeni podražaj za hranjenjem što je uvjetovalo i smanjenje učinkovitosti oprašivanja.

#### **4.5. Elektromagnetizam i orijentacija pčele**

Životinje imaju sposobnost korištenja geomagnetskog polja koje im služi za prostorno orijentiranje. Magnetorecepcija kod životinja je osjetilna sposobnost detektiranja magnetskih valova (WILTSCHKO i WILTSCHKO, 2005.). Osnovu magnetorecepcije kod pčela uzrokuje biomineralizacija željeza iz stanica trofocita tvrde HSU i sur. (2007.). Tijekom svog leta pčele mogu detektirati promjene statičkoga intenziteta u odnosu na snagu magnetskoga polja Zemlje, te reagirati promjenom ponašanja. U granulama željeza smještenim u stanicama trofocita nalaze se superparamagnetski magnetiti sa svojstvima magnetoreceptora.

Magnetiti ( $\text{Fe}_3\text{O}_2$ ), promatrani pod elektronskim mikroskopom, smješteni su unutar citoplazme trofocita u obliku su crnih granula promjera 0,5-0,1  $\mu\text{m}$ , prisutni su u živim i mrtvim stanicama trofocitima, a anatomski su smješteni na dorzalnom i ventralnom dijelu zatka pčele. Sastavljeni su uglavnom od željeza (Fe), fosfora (P) i kalcija (Ca), dok se u manjoj mjeri pojavljuju bakar (Cu), olovo (Pb) i uranij (U). Njihovo izlaganje magnetskom polju pri jakosti od 1G tijekom dvije minute dovodi do promjene veličine magnetita. Također, istodobna primjena dodatnih magnetskih polja dovodi do oslobađanja kalcijevih iona ( $\text{Ca}^{2+}$ ) iz trofocita. Osim iz stanica trofocita, kalcijevi ioni izlaze i iz masnih stanica, no ono može biti posredovano promjenom strukture lipidne membrane, strukture proteina i raspodjelom proteina unutar stanične membrane.

HSU i sur. (2007.) su na temelju svojih rezultata prikazali hipotezu nastanka mehanizma pčelinje orijentacije. Ustanovili su da dodatno magnetsko polje inducira promjenu veličine

magnetita u stanicama trofocita, odnosno da se njihova veličina smanjuje pri paralelnom letu s vanjskim magnetskim poljem, dok se u suprotnom njihova veličina povećava. Promjenom njihove veličine stimulira se citoskelet na povećanje kalcijevih iona te započinje transdukcija signala za magnetorecepciju. Ovim mehanizmom pčele uspostavljaju magnetsku mapu od 360° u svojoj memoriji, tijekom orijentacijskih letova.

Primjenom dodatnih elektromagnetskih polja tijekom pčelinjeg leta može doći do promjene smjera leta, što može rezultirati zalijetanjem pčela u tuđe košnice. Posljedično tome, može doći do širenja uzročnika bolesti pčela unutar pčelinjaka kao i na okolne pčelinjake. Pčele prenose zarazne bolesti iz jedne košnice u drugu zalijetanjem i grabežom, dok pčelari sekundarno mogu prenijeti bolesti premještanjem saća i drugim apitehničkim radnjama. Najvažnije zarazne bolesti pčela koje se šire zalijetanjem pčela su: virusne bolesti, američka gnjiloća, vapnenasto leglo, nozemoza, i dr. Varooza je najznačajnija nametnička zarazna bolest prouzročena grinjom *Varroa destructor*, koja se najčešće širi zalijetanjem invadiranih pčela u tuđe košnice.

## 5. RASPRAVA

Bežična je tehnologija danas nezaobilazna sastavnica suvremenog načina života. Zbog rapidnog povećanja broja uređaja koji koriste bežičnu tehnologiju porasla je i zabrinutost javnosti o mogućim štetnim učincima na zdravlje ljudi i životinja i to prvenstveno zabrinutost u vezi s netoplinskim učincima.

Netoplinski učinci RF-EMZ-a očituju se nakon izlaganja stanica ili živih bića nižim intenzitetima zračenja pri čemu je porast temperature zanemariv (manji od 0,1 °C), odnosno bilo kojem učinku elektromagnetskog zračenja nepovezanom s nastankom topline, tj. mjerljivim porastom temperature (ALEKSEEV i ZISKIN, 2019.). Za cjelovito razumijevanje netoplinskih bioloških učinaka RE-EMZ-a na živa bića, unatoč rapidnom porastu broja uređaja i korisnika bežične tehnologije, potrebna su svakako dugotrajnija istraživanja koja uključuju različite ekološke sustave (CUCRACHI, 2013.). Jedna od najčešćih promatranih skupina životinja svakako su kukci. Pčele su jedna od najvažnijih vrsta iz razreda kukaca za proučavanje netoplinskog učinka RF-EMZ-a (VILIĆ i sur., 2017.; TLAK GAJGER i sur., 2019.; FAVRE, 2011.) i to zbog svoje gospodarske važnosti (oprašivanje poljoprivrednih kultura i važnost pčelinjih proizvoda u prehrani ljudi, medicini i farmaceutskoj industriji) i moguće povezanosti zračenja s pojavom nestanka pčelinje zajednice. No, unatoč rezultatima brojnih istraživanja na pčelinjim zajednicama, još do danas nisu potpuno jasni učinci RF-EMZ-a. Štoviše, nije poznat ni mehanizam djelovanja. Moguće je da je to zato što su ranija istraživanja RF-EMZ-a na pčelinjim zajednicama načinjena prvenstveno na odraslim pčelama kroz kraće vrijeme izlaganja uz izostanak većeg broja istovremenog promatranja različitih bioloških stadija ili tkiva (uzoraka) kao i fizikalnih svojstva zračenja, npr. frekvencije, modulacije, polarizacije, inteziteta, gustoće snage i dr. Tako su, primjerice, LAZARO i sur. (2016.) utvrdili različitu osjetljivost između podzemnih i nadzemnih kukaca na RF-EMZ. Autori ističu da je to vjerojatno zbog izloženosti ličinki nadzemnih vrsta kukaca većoj jakosti magnetskog polja u odnosu na ličinke podzemnih vrsta. Što se pak promjena ponašanja i orijentacije pčela tiče, ona bi mogla biti uzrokovana promjenom frekvencije glasanja pčela (FAVRE, 2011.; HALABI i sur., 2013.).

I na kraju, treba reći da bi dosadašnji nejasni, štoviše, čak i kontroverzni rezultati učinka RF-EMZ-a na pčelinje zajednice mogli biti rezultat prilagodbe organizma tijekom bilo kraćeg ili dužeg izlaganja izmijenjenim životnim okolnostima (LEVITT i LAI, 2010.).

## 6. ZAKLJUČCI

1. Učinci RF-EMZ-a kod pčelinjih zajednica nedovoljno su poznati, osobito je nejasan učinak kod pojave tzv. nestanka pčelinjih zajednica.
2. Potrebno je obuhvatiti cjelovit način istraživanja RF-EMZ-a na pčelinje zajednice. Pri tome bi svakako trebalo uzeti u obzir duže vrijeme istraživanja, veći broj fizikalnih pokazatelja, npr. frekvenciju, modulaciju, polarizaciju, intenzitet i dr., te pokazatelje koji sudjeluju u međustaničnoj komunikaciji radi utvrđivanja mehanizma djelovanja.

## 7. LITERATURA

1. ALEKSEEV, S. I., M. C. ZISKIN (2019.): Biological Effects of Millimeter and Submillimeter Waves. In: Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. (Ben Greenebaum, B., F. Barnes, Eds.), CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, London, New York. pp. 179-241.
2. ANONYMUS (2010.): Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (Narodne novine 91/2010).
3. ANONYMUS (2014.): Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (Narodne novine 146/2014).
4. ANONYMUS (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.  
DOI: 10.3109/15368371003685363
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.  
DOI: 10.1080/15368370500205472
7. BALODIS, V. G., K. BRUMELIS, O. KALVISKIS, D. NIKODEMUS, V. Z. TJARVE (1996.): Does the Skrundra radio location station diminish the radial growth of pine trees?. Sci. Total Environ. 180, 57-64.  
DOI: 10.1016/0048-9697(95)04920-7
8. BANDARA, P., D. O. CARPENTER (2018.): Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. Lancet Planet. Health. 2, e513-e514.  
DOI: 10.1016/S2542-5196(18)30221-3
9. BASTIDE, M., B. J. YOUBICIER-SIMO, J. C. LEBECQ, 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.  
DOI: 10.1159/000057542
10. CAMMAERTS, M. C., P. DE DONCKER, X. PATRIS, F. BELLENS, Z. RACHIDI, D. CAMMAERTS (2012.): GSM 900 MHz radiation inhibits ants' association between food sites and encountered cues. Electromagn. Biol. Med. 31, 151-165.  
DOI: 10.3109/15368378.2011.624661



11. CUCURACHI, S., W. L. M. TAMIS, M. G. VIJVER, W. J. G. M. PEIJNENBURG, J. F. B. BOLTE, G. R. DE SNOO (2013.): A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). *Environ. Int.* 51, 116-140.  
DOI: 10.1016/j.envint.2012.10.009
12. DARNEY, K., A. GIRAUDIN, R. JOSEPH, P. ABADIE, P. AUPINEL, A. DECOURTYE, E. LE BOURG, M. GAUTHIER (2016.): Effect of high-frequency radiations on survival of the honeybee (*Apis mellifera*). *Apidologie* 47, 703-710.  
DOI: 10.1007/s13592-015-0421-7
13. EVANS, D. A., P. R. SYALIMA, R. RASEEK (2017.): Mobile phone radiation induces sedation in *Periplaneta americana*. *Current science.* 113, 2275-2281.  
DOI: 10.18520/cs/v113/i12/2275-2281
14. FAVRE, D. (2011.): Mobile phone-induced honeybee worker piping. *Apidologie* 42, 270-279.  
DOI: 10.1007/s13592-011-0016-x
15. HALABI, N. E., R. ACHKAR, G. A. HAIDAR (2013.): The Effect of Cell Phone Radiations on the Life Cycle of Honeybees. 17th IEEE, Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), 13-16 April 2014., Beirut, Lebanon, 408-414.
16. HSU, C.Y., F.Y. KO, C.W. LI, K. FANN, J.T. LUE (2007.): Magnetoreception System in Honeybees (*Apis mellifera*). *PLOS ONE.* 2(4), e395.  
DOI: 10.1371/journal.pone.0000395
17. IBRAHEIM, M. H., Z. K. KHATER (2013.) : The Effect of Electromagnetic Field on Water and Fish *Clarias Garpienus*, Zagazig, Egypt. *Life Sci. J.* 10, 3310-3324.
18. ITU (The International Telecommunication Union) (2019.): Statistics.  
Dostupno na: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> ,  
[pristupljeno: 28.2.2020.]
19. KIMMEL, S., J. KUHN, W. HARST, H. STEVER (2007.): Electromagnetic Radiation: Influences on Honeybees (*Apis mellifera*).  
Dostupno na:  
[https://www.researchgate.net/publication/292405747\\_Electromagnetic\\_radiation\\_Influences\\_on\\_honeybees\\_Apis\\_mellifera\\_IAS-InterSymp\\_Conference](https://www.researchgate.net/publication/292405747_Electromagnetic_radiation_Influences_on_honeybees_Apis_mellifera_IAS-InterSymp_Conference), [pristupljeno: 1.12.2019.]
20. LAZARO, A., A. CHRONI, T. TSCHEULIN (2016.): Electromagnetic radiation of mobile telecommunication antennas affects the abundance and composition of wild pollinators. *J. Insect Conserv.* 20, 1-10.

DOI: 10.1007/s10841-016-9868-8

21. LEVITT, B., H. LAI (2010.): Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays. *Environ. Rev.* 18, 369-395.  
DOI: 10.1139/a10-903
22. LOPATINA, N. G., T. G. ZACHEPILO, N. G. KAMISHEV, N. A. DYUZHKOVA, I. N. SEROV (2019.): Effect of non-ionizing electromagnetic radiation on behavior of the honeybee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae). *Entmol. Rev.* 99, 24-29.  
DOI: 10.1134/S0013873819010032
23. MAILANKOT, M., A. P. KUNNATH, H. JAYALEKSHMI, B. KODURU, 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.  
DOI: 10.1590/s1807-59322009000600011
24. MALARIĆ, K., D. ŠIMUNIĆ, R. ZENTNER (2016.): Ekonomija i ekologija radiokomunikacijskih sustava. Merkur A.B.D., Zagreb.
25. MCREE, D. I., P. E. HAMRICK (1977.): Exposure of Japanese quail embryos to 2.45 GHz microwave radiation during development. *Radiat. Res.* 71, 355-366.  
DOI: 10.1080/00222739.1975.11688956
26. MILEUSNIĆ, E. (2006.): Izloženost ljudi elektromagnetskim poljima. *Energija.* 55, 550-577.
27. MIXON, T. A., C. I. ABRAMSON, S. L. NOLF, G. A. JOHNSON, E. SERRANO, H. WELLS (2009.): Effect of GSM Cellular Phone Radiation on the Behavior of Honey Bees (*Apis mellifera*). *Sci. Bee Culture.* 137, 22-27.
28. POLJAK, D. (2006.): Izloženost ljudi neionizacijskom zračenju. Kigen, Zagreb.
29. POPLAŠEN, D., V. BRUMEN, D. BUĆAN (2015.): Djelovanje elektromagnetskog zračenja na ljudski organizam. *Sigurnost* 57, 371-374.
30. RÖÖSLI, M. (2008.): Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: A systematic review. *Environ. Res.* 107, 277-287.
31. SAEFL (2005.): *Electrosmog in the environment.* Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Bern.
32. SAHIB, S. S. (2011.): Electromagnetic Radiation (EMR) Clashes with Honey Bees. *Int. J. Environ. Sci.* 1, 897-900.  
DOI: 10.5897/JEN11.014

33. SHARMA, V. P., N. R. KUMAR (2010.): Changes in honeybee behaviour and biology under the influence of cell phone radiations. *Curr. Sci.* 98, 1376-1378.
34. SIVANI, S., 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.
35. TAUTZ, J. (2008.): *The Buzz about Bees – Biology of a Superorganism*. Prijevod na engleski jezik D. D., Sandemann. Springer Verlag, Berlin.
36. TLAK GAJGER, I., M. VILIĆ, P. TUCAK, 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.  
DOI: 10.3923/javaa.2019.61.64
37. TOMAŠEC, I. (1949.): *Biologija pčela*. Nakladni zavod Hrvatske. Zagreb.
38. VIDAL-NAQUET, N. (2015.): *Honeybee Veterinary Medicine: Apis mellifera L.* 5m Publishing Benchmark House, Sheffield, UK.
39. VILIĆ, M., I. TLAK GAJGER, P. TUCAK, A. ŠTAMBUK, M. ŠRUT, G. KLOBUČAR, K. MALARIĆ, I. ŽURA ŽAJA, A. PAVELIĆ, M. MANGER, 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.  
DOI: 10.1080/00218839.2017.1329798
40. WILTSCHKO, W., R. J. WILTSCHKO (2005.): Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *J. Comput. Physiol. A* 191, 675-693.  
DOI: 10.1007/s00359-005-0627-7
41. WINSTON, M. L. (1991.): *The Biology of the Honey Bee*. Harvard University Press, Cambridge.

## 8. SAŽETAK

Izloženost ljudi i drugih živih bića radiofrekvencijskom elektromagnetskom zračenju (RF-EMZ) posljednjih je nekoliko godina značajno porasla što je uzrokovalo zabrinutost opće javnosti o mogućim štetnim posljedicama na zdravlje ljudi i životinja. No, unatoč mnogobrojnim rezultatima znanstvenih istraživanja, do danas nije postignut jedinstven stav u pogledu štetnosti RF-EMZ-a na živa bića. Štoviše, poznat je veliki broj objavljenih rezultata istraživanja čak i kontroverzan. Kada govorimo o biološkim učincima RF-EMZ-a na životinje, moramo istaknuti da su istraživanja načinjena na većem broju životinjskih vrsta od beskralježnjaka do sisavaca. Nakon potencijalne sumnje da RF-EMZ može biti potencijalni uzrok poremećaja gubitka pčelinje zajednice, načinjena su brojnija istraživanja na europskoj medonosnoj pčeli (*Apis mellifera*). U ovome je radu prikazan pregled elektromagnetskog spektra zračenja, objašnjen je pojam elektrosмога, navedeni su najčešći izvori i biološki učinci RF-EMZ-a sa značajnijim osvrtom na biološke učinke na medonosnu pčelu.

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

## 9. SUMMARY

### Effect of microwave radiation (electrosmog) on honeybees (*Apis mellifera*)

The exposure of humans and other living organisms to radio frequency electromagnetic radiation (RF-EMZ) has increased significantly over the last few years, raising concerns among the general public about the potential adverse effects on human and animal health. However, despite the many scientific findings, there has been no unique position to date regarding the harmful effects of RF-EMZ on living beings. Moreover, it is known that a considerable number of research findings are even controversial. Speaking about the biological effects of RF-EMZ on animals, we must point out that research has been done on a large number of animal species from invertebrates to mammals. Following the potential suspicion that RF-EMZ may be a potential cause of Colony Collaps Disorder, numerous studies have been conducted on the european honey bee (*Apis mellifera*). In this paper, an overview of the electromagnetic spectrum of radiation is presented, the concept of electrosmog is explained, the most common sources and biological effects of RF-EMZ were given, with a significant reference to the biological effects on honey bees.

**Keywords:** electrosmog, electromagnetic radiation, biological effects, honey bee (*Apis mellifera*)

## 10. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 25. lipnja 1990. godine u Rijeci. U Rabu, 1997. godine upisala sam Osnovnu školu Ivana Rabljanina. Tijekom pohađanja osnovne škole aktivno sam se bavila sportom u karate klubu Enpi Rab, s kojim sam osvojila više desetaka medalja i prvo mjesto na međunarodnom "SUPER CHAMPION" kupu u Udinama.

U Rabu, 2005./2006. školske godine upisala sam Srednju školu Markantuna de Dominisa Rab, smjer opća gimnazija. Drugi razred gimnazije nastavila sam u Zagrebačkoj umjetničkoj gimnaziji s pravom javnosti u Zagrebu, smjer opća gimnazija, koju sam završila 2009. godine.

Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisala sam 2009. godine. Na prijedlog predsjednika Udruge studenata veterinarske medicine "Equus", 2013. godine imenovana sam tajnicom Udruge koja je iste godine organizirala prvu edukativnu izložbu egzotičnih životinja "Reptilomanija+" na Veterinarskom fakultetu. Dobitnica sam Posebne Rektorove nagrade Sveučilišta u Zagrebu akademske godine 2014./2015. godine na temelju ostvarenih rezultata edukativne izložbe egzotičnih životinja "Reptilomanija +".