

UTJECAJ NEONIKOTINOIDA NA PCELE

Palijan, Irena

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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:178:240031>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
VETERINARSKI FAKULTET

IRENA PALIJAN

UTJECAJ NEONIKOTINOIDA NA PČELE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu

Veterinarski fakultet

Zavod za biologiju i patologiju riba i pčela

PREDSTOJNICA:

Doc. dr. sc. Ivana Tlak Gajger

MENTORICA:

Doc. dr. sc. Ivana Tlak Gajger

Članovi povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. Prof. dr. sc. Srebrenka Nejedli
2. Izv. prof. dr. sc. Dragan Bubalo
3. Doc. dr. sc. Ivana Tlak Gajger

Rad je izrađen na Zavodu za biologiju i patologiju riba i pčela Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

ZAHVALE

Zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Ivani Tlak Gajger na pomoći pri izradi rada, kao i djelatnicima Zavoda za biologiju i patologiju riba i pčela na tehničkoj pomoći.

Posebno zahvaljujem svojim roditeljima , Ivanki i Stjepanu, na velikoj emocionalnoj i materijalnoj pomoći bez koje ne bih ostvarila svoj cilj. Isto tako zahvaljujem svom suprugu Goranu i djeci Gabrielu, Patricku i Rafaelu na podršci i ljubavi.

POPIS SLIKA

Slika 1. Popis neonikotinoida zabranjenih za uporabu u poljoprivrednoj proizvodnji (ANON, 2013.).

Slika 2. Sjetva neonikotinoidima tretiranog sjemena (ANON, 2013.).

Slika 3. Medonosna pčela na cvijetu suncokreta (foto: TLAK GAJGER, 2012.).

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PESTICIDI	3
2.1. Pesticidi	3
2.2. Podjela pesticida	4
2.3. Utjecaj pesticida na pčelinje zajednice	4
2.4. Otrovnost pesticida na pčele	5
3. NEONIKOTINOIDI	7
3.1. Neonikotinoidi	7
3.2. Mehanizam djelovanja neonikotinoida	7
3.3. Akutna letalna otrovnost	9
3.4. Kronična letalna otrovnost	10
3.5. Miješana otrovnost	10
4. PUTEVI IZLOŽENOSTI NEONIKOTIDIMA	11
4.1. Neonikotinoidima onečišćeni pelud i nektar	11
4.2. Izravno prskanje poljoprivrednih usjeva	11
4.3. Kontakt s ostacima	12
4.4. Sjetva neonikotinoidima tretiranog sjemena	12
4.5. Neonikotinoidima onečišćena područja za gniježđenje slobodno živućih pčela	12
4.6. Neonikotidima onečišćena voda	13
4.7. Gutacija	14
4.8. Izvan cvjetne nektarije	14
5. NEONIKOTINOIDI I MEDONOSNE PČELE	15
5.1. Otrovnost neonikotinoida za medonosne pčele	15
5.2. Znakovi otrovanja	16
5.3. Utjecaj neonikotinoida na razmnožavanje i prezimljavanje	17
5.4. Utjecaj neonikotinoida na pojavnost CCD-a	17
5.5. Utjecaj neonikotinoida na ponašanje pčela	18

6. NEONIKOTINOIDI I BUMBARI	19
6.1. Bumbari	19
6.2. Utjecaj neonikotinoida na bumbare	20
7. NEONIKOTINOIDI I SOLITARNE PČELE	22
7.1. Učinak neonikotinoida na solitarne pčele	22
8. REZIDUE	23
8.1. Rezidue u pčelinjim proizvodima	23
8.2. Rezidue u poljoprivrednim kulturama i ukrasnom bilju	23
9. PREPORUKE ZA ZAŠTITU PČELA OD OTROVANJA	24
10. ZAKLJUČAK	26
11. LITERATURA	27
12. SAŽETAK	31
13. SUMMARY	32
14. ŽIVOTOPIS	33

1. UVOD

Da li neonikotinoidi predstavljaju prijetnju pčelinjim zajednicama?

To je pitanje koje je već godinama aktualna tema u raspravama između velikih farmaceutskih korporacija i pčelara. Mišljenju pčelara podršku pružaju znanstvenici, doktori veterinarske medicine, agronomi i stručnjaci s područja zaštite okoliša. Rezultati brojnih istraživanja provedenih posljednjih petnaestak godina polučili su jasan odgovor na to pitanje. Neonikotinoidi predstavljaju ozbiljnu prijetnju očuvanju pčelinjih zajednica i to uzrokujući značajne štete u pčelarstvu. Pri tome izravne štete uzrokuju ugibanjem akutno otrovanih pčelinjih zajednica, a neizravne štete nastaju posljedično subletalnim otrovanjima očitujući se u konačnici smanjenjem proizvodnje pčelinjih proizvoda i smanjenjem obima oprašivanja.

Medonosne pčele su važni oprašivači biljaka i uzgajanih poljoprivrednih usjeva čime je njihova uloga u održavanju biološke ravnoteže u pojedinim biocenozama neprocjenjiva. Smatra se da pčele oprašuju jednu trećinu svih poljoprivrednih kultura diljem svijeta čime značajno doprinose ukupnom gospodarstvu. U skupinu oprašivača uz medonosne pčele ubrajamo i slobodno živuće bumbare i solitarne pčele. Zajedno čine ekonomski najvažniju skupinu oprašivača i o njima izravno ovisi 35% poljoprivredne proizvodnje u svijetu (KLEIN i sur., 2007.; VELTHUIS i VAN DOORN, 2006.). Primjerice, u Europi čak 84% poljoprivredne proizvodnje ovisi o oprašivanju kukcima (WILLIAMS, 1994.). Međutim, uz oprašivanje medonosne pčele čine ključnu kariku hranidbenih lanaca biljka – životinja – čovjek, te proizvode brojne pčelinje proizvode.

Neonikotinoidni insekticidi se primjenjuju u učinkovitoj kontroli nametnika i štetnika na raznim poljoprivrednim kulturama diljem svijeta, no isto tako imaju nepovoljni učinak na „ne ciljane“ organizme poput prirodnih oprašivača. To je skupina sistemskih insekticida - neurotoksina koji ciljano djeluju kao antagonisti nikotin-acetilkolinskih receptora.

Zbog spomenutog nepovoljnog utjecaja na prirodne oprašivače pčelari su zatražili zabranu primjene neonikotinoida, te je u tu svrhu prikupljeno više od tri milijuna potpisa.

Pojedine države poput Njemačke, Italije i Francuske još su ranije uvele ograničenja pri uporabi neonikotinoida, dok su u Velikoj Britaniji pojedini dobavljači i prodavači svojevoljno proveli akciju i uklonili neonikotinoide s polica u trgovinama.

CENTER FOR FOOD SAFETY APRIL 2013

HELP THE HONEY BEES!

LOOKING TO HELP honey bees and other important pollinators? One of the best ways to support healthy bees and pollinator protection is to provide ample foraging. Keeping a garden that provides not just nectar, pollen, and habitats, but also refrains from using toxic pesticides will go a long way towards helping bees and other pollinators. The most widely used garden insecticides are a class of chemicals called neonicotinoids. Below is a list of common home and garden products containing neonicotinoids. To keep your lawn and garden happy, healthy, and teeming with life for pollinators, you should avoid the following products:

PRODUCT	MANUFACTURER	ACTIVE INGREDIENT (AI)	% AI
12 Month Tree & Shrub Insect Control Landscape Formula	Bayer Advanced	Imidacloprid	2.940
12 Month Tree & Shrub Protect & Feed (Concentrate)	Bayer Advanced	Imidacloprid	1.470
12 Month Tree & Shrub Protect & Feed (Granules)	Bayer Advanced	Imidacloprid	1.100
12 Month Tree & Shrub Protect & Feed II (Granules)	Bayer Advanced	Imidacloprid Clothianidin	0.550 0.275
12 Month Tree & Shrub Protect & Feed II (Granules)	Bayer Advanced	Imidacloprid Clothianidin	0.740 0.370
2-In-1 Insect Control Plus Fertilizer Plant Spikes	Bayer Advanced	Imidacloprid	2.500
2-In-1 Systemic Rose & Flower Care	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.220
3-In-1 Insect, Disease & Mite Control (Ready-to-Spray)	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.012
3-In-1 Insect, Disease & Mite Control (Ready-to-Use and Concentrate)	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.470
All-In-One Rose & Flower Care	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.150
All-In-One Rose & Flower Care Granules	Bayer Advanced	Clothianidin Imidacloprid	0.060 0.110
ALOFF® Gc Sc Insecticide	Arysta LifeScience	Clothianidin	24.700
ALOFF® Lc Sc Insecticide	Arysta LifeScience	Clothianidin	0.250
ALOFF® Lc Sc Insecticide	Arysta LifeScience	Clothianidin	24.700
ARENA® 25 G Insecticide	Valent U.S.A. Corporation	Clothianidin	25.000
ARENA® 50 WDG Insecticide	Valent U.S.A. Corporation	Imidacloprid	50.000
Complete Brand Insect Killer For Soil & Turf (Granules)	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.150
Complete Brand Insect Killer For Soil & Turf (Ready-to-Spray and Concentrate)	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.720
Criteria® 0.5 G	Bayer Environmental Science	Imidacloprid	0.500
Criteria® 2F Insecticide	Bayer Environmental Science	Imidacloprid	2.100
Criteria® 75 WSP Systemic Insecticide	Bayer Environmental Science	Imidacloprid	75.000
DIY Tree Care Products Multi-Insect Killer	ArborSystems	Imidacloprid	5.000
Dual Action Rose & Flower Insect Killer	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.012
Ferti Sone® 2 N-1 Systemic	Voluntary Purchasing Groups, Inc.	Imidacloprid	0.150
Flagship™ 0.22 G	Syngenta Crop Protection, LLC	Thiamethoxam	0.220
Flagship™ 25 WG	Syngenta Crop Protection, LLC	Thiamethoxam	25.000
Flagship™ 25 WG	Syngenta Crop Protection, LLC	Imidacloprid	0.225
Fruit, Citrus & Vegetable Insect Control	Bayer Advanced	Imidacloprid	0.250
Green Light® Grub Control with Arena® Insecticide	The Scotts Company	Clothianidin	2.000
Green Light® Tree & Shrub Insect Control with Safari® 2 G Insecticide	The Scotts Company	Dinotefuran	2.000

Slika 1. Popis neonikotinoida zabranjenih za uporabu u poljoprivrednoj proizvodnji (ANON, 2013).

U Europskoj uniji (EU) je bilo provedeno glasovanje o zabrani uporabe neonikotinoida, no isto je završilo „neriješeno“, pa je Europska komisija podnijela žalbu. Na osnovu rezultata provedenog ponovljenog glasovanja 29. travnja 2013. godine i rezultata znanstvenih istraživanja Europske agencije za sigurnost hrane (EFSA) Europska komisija donijela je dvogodišnju zabranu primjene tri vrste neonikotinoida: klotianidina, imidakloprida i tiametoksama. Zabrana uporabe istih je stupila na snagu u prosincu 2013. godine.

Cilj ovog rada je prikazati najnovije spoznaje o štetama koje neonikotinoidi mogu prouzročiti na pojedinim pčelama i/ili pčelinjoj zajednici, toleranciji pčela te načinima i preventivnim mjerama sprečavanja otrovanja.

2. PESTICIDI

2.1. Pesticidi

Pesticidi (*lat. pestis* - kuga, pošast, štetnik; *caedere* - ubiti) su tvari namijenjene suzbijanju štetnih organizama. Dije se u skupinu prirodnih ili sintetskih sredstava. Intenzivna poljoprivredna proizvodnja i primjena pesticida je „*condicio sine qua non*“ (lat. uvjet bez kojeg se ne može nešto učiniti) današnjice. Istodobno, cijena koju čovjek plaća u borbi sa štetnicima vrlo je visoka: pesticidi onečišćuju okoliš, prije svega površinske i podzemne vodene tokove te imaju vrlo štetan utjecaj na biljni i životinjski svijet. Pesticidi se nalaze u hranidbenom lancu mnogih divljih, ali i domaćih životinja te čovjeka. Naime, pesticide se može utvrditi i u mikroorganizmima koji su na dnu prehrambenih lanaca. Njima se hrane organizmi koji se nalaze na višem stupnju razvoja i taj se ciklus ponavlja. Stoga se i najveća koncentracija pesticida može naći upravo u organizmima na vrhu prehrambenog lanca, gdje se nalazi i čovjek.



Slika 2. Sjetva neonikotinoidima tretiranog sjemena (ANON, 2013.).

U upotrebi se danas nalaze tzv. selektivni i neselektivni pesticidi. Selektivni pesticidi djeluju na točno određenu skupinu štetnika i nisu štetni za drugi biljni i životinjski svijet. Mnogo opasniji su neselektivni pesticidi čija upotreba može negativno utjecati na biljke i životinje, te posljedično na ljudsko zdravlje. Svi pesticidi, osobito neselektivni, djeluju vrlo

štetno na ekosustave, mnogi ubijaju korisne kukce, ribe, ptice, te tako uzrokuju više štete, nego koristi.

2.2. Podjela pesticida

Sredstva za zaštitu poljoprivrednih kultura (pesticidi) se mogu razvrstati prema namjeni, prema podrijetlu i prema načinu djelovanja.

Prema namjeni dijelimo ih na: akaricide – sredstva za suzbijanje štetnih grinja; fungicide – sredstva za suzbijanje gljivica; herbicide – sredstva za suzbijanje korova; insekticide – sredstva za suzbijanje štetnih kukaca; limacide – sredstva za suzbijanje puževa; nematocide – sredstva za suzbijanje štetnih nematoda i rodenticide – sredstva za suzbijanje štetnih glodavaca.

Herbicidi su sredstva namijenjena za suzbijanje zeljastih i drvenastih korova, algi, mahovina, lišajeva i parazitarne cvjetnice. Mogu biti sistemski, lokalno sistemski, te nesesistemični, ovisno o sposobnosti preparata da se translocira u biljci. Možemo ih podijeliti i po spektru djelovanja na korove: selektivna ili neselektivna (širokog spektra) sredstva. Pri uporabi je važno pravilno procijeniti stanje usjeva i korova koji ugrožavaju uzgojenu kulturu te se pridržavati preporuka stručnjaka.

Insekticidi su sredstva namijenjena za suzbijanje štetnih kukaca. Prilikom primjene insekticidi mogu biti u čvrstom, tekućem i plinovitom stanju, a prema toksičnom djelovanju kontaktni, inhalacijski te sistemski. Navedena podjela nije apsolutna jer neki insekticidi djeluju istodobno sistemski, kontaktno i inhalacijski. Zbog velike otrovnosti važno je pravilno rabiti insekticide i pridržavati se svih uputa za uporabu. U protivnom može doći do onečišćenja okoliša, podzemnih voda te pogubnog djelovanja na životinjski svijet i ljude.

Fungicidi su sredstva namijenjena za suzbijanje gljivica, a prema načinu djelovanja može ih se podijeliti na sistemske i preventivne.

2.3. Utjecaj pesticida na pčelinje zajednice

Prema podacima Europske agencije za zaštitu poljoprivrednih usjeva (ECPA) između 15 do 20% od ukupno 210 najučestalije rabljenih tvari prisutnih na tržištu u EU su otrovi za pčele. Prema najnovijim rezultatima istraživanja od 286 različitih pesticida njih 14% je jako otrovno za pčele (40 različitih tvari). Od organskih insekticida rabe se uglavnom organofosfati, organokarbamati, organokloidi i piretroidi. Posljedice otrovanja se očituju kao gastrointestinalni i neurološki poremećaji. Iako je tretiranje insekticidima osnovno zaštitno sredstvo u poljoprivrednom gospodarstvu, može izazvati smanjenje populacije korisnih kukaca u prirodnim biosustavima, smanjiti prinose u pčelarstvu, izazvati pojavu rezidua u hrani te posljedično svemu navedenom smanjene prihode pčelarima.

Stalno su prisutne rasprave o ulozi pesticida kao uzroka ili pogodnog čimbenika za povećane gubitke u pčelarstvu općenito i specifično, kao i utjecaja na nedavno definiranu pojavu „naglog nestanka“ pčela iz košnica (eng. *Colony Collapse Disorder; CCD*). Analizama uzoraka pčela i pčelinjih proizvoda iz 887 zajednica u kojima su primijećeni simptomi CCD-a, utvrđen je 121 različiti pesticid ili njihovi razgradni proizvodi (TLAK GAJGER i PALIJAN BOSEK, 2014.).

2.4. Otrovnost pesticida na pčele

Otrovanja pčela najčešće uzrokuju pesticidi (insekticidi, herbicidi, fungicidi) primijenjeni u poljoprivredi, šumarstvu, skladištima i komunalnoj higijeni za suzbijanje odnosno za zaštitu od štetnika.

Prema otrovnosti za pčele, kemijska sredstva za zaštitu biljaka, može se podijeliti na više skupina:

1. skupina koja ima vrlo visoku otrovnost, ne smije se rabiti u vrijeme cvatnje biljaka, nepovoljno djeluje i do desetak sati nakon primjene;
2. skupina visoke otrovnosti, opasna je prvih osam sati nakon primjene;

3. skupina niske otrovnosti tijekom prva tri sata nakon primjene i

4. skupina koja ima nisku otrovnost i nije opasna za pčele ni pri izravnom kontaktu.

Također, višekratna i nepravilna uporaba različitih veterinarsko medicinskih proizvoda ili „kemikalija“ u svrhu kontroliranja nametnika i štetnika u pčelinjoj zajednici predstavlja moguću opasnost od otrovanja.

Pri tome, nepovoljni učinak otrova na pčele se pojavljuje nakon izravnog kontakta s vodom, nektarom ili peludom koji su onečišćeni pesticidima. Za pčele su najopasniji insekticidi u obliku praška koji su duže toksični od tekućina te emulzijskih i topivih koncentrata. Prašina i mikro čestice koje dugo lebde u zraku smatraju se najopasnijima za pčele skupljačice, jer su veličinom slične peludnim zrnima i imaju tendenciju lijepljenja na dlake te tako budu unesene u košnicu gdje mogu dugotrajno štetno djelovati na leglo i/ili pčelinju maticu. Granulirani preparati primijenjeni u tlo su najmanje opasni, jer ih pčele zbog veličine ne mogu ponijeti u košnice (TLAK GAJGER i PALIJAN BOSEK, 2014.).



Slika 3. Medonosna pčela na cvijetu suncokreta (foto: TLAK GAJGER, 2012.).

3. NEONIKOTINOIDI

3.1. Neonikotinoidi

Neonikotinoidi su skupina neuro-aktivnih insekticida novije generacije, a kemijski su srodni nikotinu. Razvoj ove skupine insekticida započeo je 1980. godine u tvrtki Shell, a 1990-ih nastavljen je u tvrtki Bayer. Neonikotinoidi su „razvijani“ primarno zbog znatno manje otrovnosti u usporedbi s ranije rabljenim insekticidima iz skupina organofosfata i karbamata. Većina istraživanih neonikotinoida pokazala je znatno manju otrovnost za sisavce, nego za kukce, iako su neki metaboliti neonikotinoida vrlo toksični. Neonikotinoidi predstavljaju prvu skupinu insekticida koja je uvrštena u primjenu posljednjih 50 godina, a neonikotinoid imidakloprid trenutačno ima najrašireniju primjenu u svijetu. Primjena pojedinih insekticida iz skupine neonikotinoida ograničena je u pojedinim državama jer su rezultati istraživanja pokazali povezanost propadanja pčelinjih zajednica sa štetnim učinkom istih. Imidakloprid, klotianidin, tiametoksam, dinotefuran, acetamiprid i tiakloprid rabe se u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Od tih šest prvi se na svjetskom tržištu pojavio imidakloprid (ELBERT i sur., 2008.), a trenutačno je prisutan u preko 400 proizvoda na tržištu. 2006. godine procijenjeno je da neonikotinoidi čine oko 17% globalnog tržišta insekticida (JESHKE i NAUEN, 2008.). Većina neonikotinoida topiva je u vodi, a u okolišu se sporo razgrađuje, pa tako omogućava biljkama tokom njihovog rasta dobru zaštitu od štetnih kukaca. Početkom 2000-tih uvedena su u primjenu dva nova neonikotinoida – klotianidin i tiametoksam.

3.2. Mehanizam djelovanja neonikotinoida

Neonikotinoidi paraliziraju kukca blokiranjem određenog kemijskog puta koji odašilje živčane impulse u središnji živčani sustav istog (TOMIZAWA i CASIDA, 2003.). Oni su kao i nikotin, antagonisti nikotin acetilkolinskih receptora, uzrokuju blokadu nikotinergijskih živčanih puteva. Blokada uzrokuje nakupljanje acetilkolina koji je važan neurotransmiter (prijenosnik živčanih impulsa), a to rezultira paralizom kukca i najčešće uginućem. Kod sisavaca, ovi receptori nalaze se i u središnjem i u perifernom živčanom sustavu. Međutim,

kod kukaca receptori su ograničeni samo na područje središnjeg živčanog sustava. Niska do umjerena aktivacija ovih receptora uzrokuje živčanu stimulaciju, ali visoke razine uzrokuju prekomjernu stimulaciju i blokiraju receptore što uzrokuje paralizu i smrt, tj. uginuće. Prirodno je da acetilkolin bude razgrađen pomoću acetilkolinesteraze. Međutim, acetilkolinesteraza ne može razgraditi neonikotinoide, a veza je ireverzibilna. Budući se većina neonikotinoida veže mnogo snažnije za receptore živaca kod kukaca, nego kod sisavaca, ova skupina insekticida selektivno je mnogo otrovnija za kukce, nego za sisavce. Ti su insekticidi sistemski, što znači da primijenjene „kemikalije“ mogu biti apsorbirane i prenošene kroz biljku, osiguravajući zaštitu protiv kukaca koji se hrane biljkama. Biljke apsorbiraju primijenjenu tvar kroz njihovo korijenje ili lišće, a vaskularna tkiva prenose ju u stabljiku, lišće, cvijeće i plodove. Neonikotinoidi se mogu primijeniti tretiranjem sjemena, natapanjem tla ili u granulama, folijarnim sprejevima ili kemigacijom (dodavanjem insekticida u vodu za navodnjavanje). Ta raznovrsnost metoda primjene, uz svoja sistemski svojstva i nisku otrovnost za kralježnjake, jedan je od primarnih razloga zašto se sve više koriste za zaštitu usjeva (ELBERT i sur., 2008.).

Prednost neonikotinoida za kontroliranje broja štetnika je način primjene (osim prskanja) koji smanjuje izravan kontakt s ne ciljanim kukcima tijekom tretmana. Međutim, budući da su te kemikalije sistemske i apsorbiraju se u biljku, kukci koji ovise o nektaru, peludu i drugim cvjetnim resursima imaju povećanu oralnu izloženost ostacima neonikotinoida ili njihovim metabolitima. Ostaci štetnih tvari (rezidua) su utvrđeni u peludu (LAURENT i RATHAHAO, 2003.), nektaru (KRISCHIK i sur., 2007.) i, u manjoj mjeri, drugim biljnim izlučevinama (GIROLAMI i sur., 2009.). Ostaci su utvrđeni i u onečišćenoj prašini ispuštenoj iz opreme za sjetvu (TAPPARO i sur., 2012.) i korovu koji raste unutar ili blizu tretiranih polja (KRUPKE i sur., 2012.). Drugi problem koji proizlazi iz sistemskog učinka neonikotinoida jest taj da oni ostaju otrovni unutar biljke ili u tlu mjesecima. Netretirane biljke mogu „upiti“ ostatke neonikotinoida prisutne u tlu od ranijih tretiranja. Neonikotinoidne tvari i njihovi razgradni proizvodi su neurotoksični za kukce uključujući i pčele već kod vrlo niskih koncentracija (1 ppb) koje ne uzrokuju ugibanje pčela i drugih kukaca, ali uzrokuju poremećaje u ponašanju i orijentaciji što može biti pogubno za pčelinje zajednice. Nadalje, rezultati istraživanja su pokazali da je neurotoksičan učinak neonikotinoida i njihovih metabolita mnogo jači kod pčela radi njihove genomske osjetljivosti. Naime, mapiranjem cjelokupnog genoma pčela otkriveno je da receptori nikotin acetilkolina imaju 11 podjedinica u njihovom živčanom sustavu (JONES i sur., 2006.).

Naime, pčele posjeduju mnogo više receptora nikotin acetilkolina nego komarac ili vinska mušica.

Nadalje, dodatni problem uzrokuju neonikotinoidi i njihovi metaboliti koji dugotrajno perzistiraju u okolišu. Navedene tvari i njihovi metaboliti mogu djelovati sinergistički zajedno s fungicidima, što povećava otrovnost za 1000 puta.

3.3. Akutna letalna otrovnost

Procjena rizika pri primjeni insekticida je određena smjericama EU Direktive 91/414, a u SAD-u normativnom aktom pod nazivom „Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act“. Mjerenja letalne otrovnosti se provode na osnovu utvrđenog broja uginulih pčela nakon 24 do 48 sati po primjeni pojedinog neonikotinoida, a nakon čega se određuje srednja letalna doza/koncentracija (LD_{50} i/ili LC_{50}) istog. Otrovnost neonikotinoida ovisi o načinu izlaganja ciljanom organizmu. Međutim, oralna LD_{50} se u različitim istraživanjima značajno razlikovala (LAURINO i sur., 2011.). Pri tome, proces međusobnog hranjenja i hranjenja ličnaka procesom „s rilca na rilce“ je mogao utjecati na razliku u unosu i akumulaciji insekticida u pčela radilica, a visoke doze imidakloprida mogle su izazvati smanjenu konzumaciju šećernog sirupa. Nakon ciljano provedenog tretmana neonikotinoidima koji sadrže nitro skupinu (imidaklopid, klotianidin, tiametoksam, nitenpiram i dinotefuran) utvrđena je jača otrovnost od tretmana neonikotinoidima s cijano skupinom (acetamiprid i tiaclopid) (LAURINO i sur., 2011.). Jaka otrovnost imidakloprida i tiametoksama je utvrđena u bumbara i drugih slobodno živućih oprašivača (MOMMAERTS i sur., 2010.). Manja otrovnost cijano skupine neonikotinoida može se pripisati njihovoj brznoj bio-transformaciji (JONES i sur., 2006.). Jačina otrovnosti neonikotinoida (LD_{50}) utvrđena nakon 24-satnog izlaganja kontaktom za nitro skupinu ide redoslijedom: imidaklopid, klotianidin, tiametoksam, dinotefuran, nitenpiran; i za cijano skupinu: acetamiprid, tiaclopid (IWASA i sur., 2004.).

Razgradni proizvodi neonikotinoida pridonose otrovnosti za kukce, osim metabolita acetamiprida (IWASA i sur., 2004.). Dosad su većinom istraživani metaboliti imidakloprida s nitroguanidinskom skupinom koji su otrovniji od metabolita ureje i 6-kloro-nikotinske kiseline. Otrovnost imidakloprida se razlikovala ovisno o dobi pčela i jačini pčelinje zajednice zdravstvenom stanju pčela. Utvrđeno je da su pčele invadirane mikrosporidijom *Nosema ceranae* značajno osjetljivije (ALAUX i sur., 2010.; VIDAU i sur., 2011.). SCOTT-DUPREE i suradnici (2009.) su utvrdili da su bumbari otporniji na klotianidin i imidaklopid od solitarnih pčela iz roda *Osmia*.

3.4. Kronična letalna otrovnost

Kronična izloženost pčela oralnim putem ili kontaktom tijekom deset do jedanaest dana acetamipridu i tiametoksamu nije prouzročila značajno uginanje radilica (ALIOUANE i sur., 2009.). Nakon uzimanja peluda i šećernog sirupa onečišćenog imidaklopidom ($40 \mu\text{g kg}^{-1}$) u laboratorijskim uvjetima, medonosne pčele su uginule (SUCHAIL i sur., 2001.). Međutim u poljskim uvjetima SCHMUCK i suradnici (2001.) te CRESSWELL (2011.) nisu utvrdili povećano uginanje radilica nakon izlaganja pčelinjih zajednica tijekom 39 dana nektaru suncokreta onečišćenim imidaklopidom u koncentracijama 2 do $20 \mu\text{g kg}^{-1}$. Moguće objašnjenje za različite rezultate dobivene u laboratorijskim i okolišnim uvjetima je razlika u eksperimentalnoj metodologiji. Otrovnost za pojedinačnu pčelu može ovisiti o njenom prvobitnom fiziološkom stanju, dugovječnosti ostalih jedinki u zajednici i socijalnom međudjelovanju.

3. 5. Miješana otrovnost

IWASA i suradnici (2004.) su utvrdili da dodatak piperonil butoksida i fungicida triflumizola ili propikonazola povećava akutnu otrovnost acetamiprida i tiakloprida na medonosne pčele, ali je utjecaj na otrovnost imidakloprida nizak.

4. PUTEVI IZLOŽENOSTI NEONIKOTINOIDIMA

Pčele mogu biti izložene neonikotinoidima na mnogo načina, uključujući izravan kontakt s ostacima istih na biljkama ili uzimanjem onečišćenih peluda i/ili nektara te vode. Međutim, prisutnost sistemskih insekticida u biljkama stvara osobiti rizik za pčele jer se one hrane nektarom kao odrasle jedinke te sakupljaju nektar i pelud kako bi njima prehranile svoje leglo. Takav se opseg izloženosti trenutno ne uzima u obzir tijekom regulacije ili registracije insekticida pri Environmental Protection Agency (EPA), koja registrira i kontrolira pesticide u SAD-u. Čimbenik koji utječe na mogućnost otrovanja pčele na sve načine izloženosti jest poveznica između udaljenosti traganja za hranom i veličine i vrste jedinke (GREENLEAF i sur., 2007.). Mala udaljenost do izvora hranom može rezultirati ne proporcionalnim rizikom za male vrste pčela koje se gnijezde blizu tretiranih usjeva i zato jer njihov ograničen teritorij rezultira trajnom izloženošću neonikotinoidima. Za usporedbu, medonosne pčele i bumbari mogu prorijediti uzimanje onečišćenog nektara i peluda skupljajući ih na mnogo većem prostoru. Kontakt s neonikotinoidima može rezultirati letalnim ili subletalnim učincima ili biti bez učinka.

4.1. Neonikotinoidima onečišćeni pelud i nektar

Pelud i nektar mogu biti onečišćeni neonikotinoidima bez obzira na koji su način isti primijenjeni. Neki sistemski insekticidi mogu biti vrlo postojani, te se zadrže u tkivu biljaka mnogo mjeseci ili čak godina, a mogu se kumulirati nakon ponavljanih primjena. Ličinke medonosne pčele hrane se primarno matičnom mliječi, no kasnije uzimaju i razrijeđeni med i pelud. Tijekom razvoja ličinke se izravno hrane peludom koji sadržava samo 5% ukupno konzumiranih bjelančevina. Neonikotinoidi su utvrđeni u zrcima peluda (CHAUZAT i sur., 2006.), u fermentiranom peludu pohranjenom u saću (KRUPKE i sur., 2012.) i u zreloom medu (CHAUZAT i sur., 2009.).

4.2. Izravno prskanje poljoprivrednih usjeva

Izravan kontakt pčela s folijarnim neonikotinoidima na paši ili dok se gnijezde u tlu može biti najočitiiji način izloženosti. Mnoge solitarne pčele su izrazito sitne i stoga one dobivaju relativno veće doze otrova jer posjete veći broj cvjetova. Istraživanjem stupnja otrovnosti pesticida za radilice bumbara utvrđeno je da je otrovnost u korelaciji s veličinom tijela, odnosno, manji bumbari imaju manju LD₅₀, a veće jedinke veću LD₅₀ (MALONE i sur., 2000.).

4.3. Kontakt s ostacima

Izloženost neonikotinoidnim štetnim ostacima događa se kada pčele posjećuju cvijeće ili hodaju po lišću koje je bilo tretirano folijarnim sprejem. To je osobito problematično kada neonikotinoid dugo ostaje u polju. Primjerice, ostaci klotianidina primjenjeni izravno na lišće ostat će otrovni za medonosne pčele pet do 21 dan.

4.4. Sjetva neonikotinoidima tretiranog sjemena

Tijekom sjetve širi se prašina primijenjenog pesticida koja prelazi na cvijeće u blizini polja, a posljedično može izazvati otrovanja i / ili ugibanja pčela (TAPPARO i sur., 2012.). Pčelari njemačke pokrajine Baden-Württemberg doživjeli su gubitke pčelinjih zajednica u proljeće nakon što prije sjetve nije bilo nanoseno sredstvo za lijepljenje klotianidina na sjeme uljane repice i kukuruza, a pesticidna „prašina“ je raznesena na okolnu vegetaciju u cvatu (PISTORIUS i sur., 2009.). Puni opseg izloženosti pesticidima na opisani način je nepoznat, ali milijuni jutara poljoprivrednih površina se svake godine zasijavaju tretiranim sjemenom (KRUPKE i sur., 2012.). Kako bi se smanjila moguća izloženosti pesticidima tijekom sjetve, trebalo bi se koristiti visokokvalitetno obrađeno sjeme. U SAD-u, gdje se koristi tretman sjemena neonikotinoidom za mnoge jednogodišnje usjeve, često se u kutije za sjeme dodaje

talk za lakši protok ljepljivog tretiranog sjemena tijekom sisanja (KRUPKE i sur., 2012.). Višak talka se tijekom sisanja rasprši ili na tlo ili u zrak iza sijačice. Razina klotianidina i tiametoksama koje nadaleko nadilaze letalne razine za medonosne pčele su utvrđene u talku potrošenog kod sisanja tretiranog sjemena kukuruza. Pčele skupljačice mogu doći u kontakt s lebdećim insekticidnim prašcima i abraziranim sjemenim premazima.

4.5. Neonikotinoidima onečišćena područja za gniježđenje slobodno živućih pčela

Kada se neonikotinoidi primjenjuju na području golog tla, mogu onečistiti područja za moguće gniježđenje pčela u tlu. Gotovo 70% slobodno živućih pčela se gnijezdi u tlu, čak unutar voćnjaka i polja zasijanih poljoprivrednim kulturama. Pčele tada mogu doći u kontakt s ostacima neonikotinoida iz natopljenog tla, kemigacije ili tretiranog sjemena. Na isti način, primijenjeni na ukrasne grmove ili po šipražju uz polja mogu onečistiti područja pogodna za gniježđenje solitarnih pčela u tunelima, ili po rubnim područjima šuma gdje može onečistiti moguća područja za gniježđenje oplodjenih ženki bumbara.

Mnoge vrste solitarnih pčela mogu biti izložene neonikotinoidima kada su onečišćeni materijali koje koriste za gradnju gnijezda. Oko 30% autohtonih pčela koriste se postojećim šupljinama u stablima drveća ili rade koriste šupljine barske trstike. Mnoge od tih pčela skupljaju onečišćeno blato ili sadne materijale kako bi izgradile gnijezda. Na primjer, pčele iz roda *Megachile* koriste se dijelovima lišća kako bi izgradila gnijezdo za svoje leglo, a pčele iz roda *Osmia* odvajaju pojedinačne stanice unutar gnijezda pregradama od blata. I dijelovi lišća i blato mogu biti onečišćeni neonikotinoidima. Premda medonosne pčele ne skupljaju vanjske resurse kako bi sagradile saće, neonikotinoidi su učestalo utvrđivani u vosku (WU i sur., 2011.). Jaja medonosnih pčela, kao i ličinke dugotrajno su izložene štetnim ostacima u saću te mogu pretrpjeti nepovoljne učinke koji utječu na zdravstveno stanje zajednica. Izloženost subletalnim koncentracijama mnogobrojnih pesticida u saću rezultira zakašnjelim razvojem legla medonosne pčele i smanjenom sposobnošću preživljavanja odraslih jedinki (WU i sur., 2011.).

4.6. Neonikotinoidima onečišćena voda

Medonosne pčele mogu biti izložene neonikotinoidima kada skupljaju vodu za hlađenje pčelinje zajednice unutar košnice za toplih dana ili kako bi razrijedile svoj med pri hranjenju legla. Druge vrste pčela mogu također biti izložene neonikotinoidima onečišćenoj

vodi prilikom gradnje ili da bi navlažile tvrdo tlo prije iskapanja gnijezda. Izvori vode mogu biti onečišćeni kemigacijskim istjecanjima, prskanjem, prelaskom vode s tretiranog polja na sljedeće polje.

4.7. Gutacija

Gutacija je tekućina koju biljke ispuštaju ujutro kao kapljice na vrhu biljke ili oko rubova lista. Medonosne pčele i drugi prirodni oprašivači mogu skupljati te kapljice s biljaka tretiranih sistemskim insekticidima. GIROLAMI i suradnici (2009.) utvrdili su da gutacijske kapi na listu kukuruza izraslog iz tretiranog sjemena mogu sadržavati visoke koncentracije imidakloprida, klotianidina i tiametoksama te da su iste izrazito otrovne za kukce. Iako je učestalost posjeta medonosnih pčela na biljke s namjerom uzimanja gutacijske tekućine nepoznata u poljskim uvjetima, rizik se smatra malim, jer one uobičajeno skupljaju vodu kada trebaju ohladiti svoje košnice u vrijeme velikih vrućina, a gutacijske kapi sakupljat će samo ako su najbliži izvor tekućine.

4.8. Izvancvjetne nektarije

Izvancvjetne nektarije su žlijezde koje proizvode nektar, a nalaze se izvan cvijeta, često na lišću ili stabljikama biljaka. Izvancvjetne nektarije nisu izravno uključene u oprašivanje, iako privlače pčele i druge kukce. Uobičajene biljke s izvancvjetnim nektarijima obuhvaćaju poljoprivredne kulture poput pamuka, suncokreta i bundeve, kao i vrbe i bagrema. S obzirom na to da se neonikotinoide mogu naći u cvjetnom nektaru, postoji velika vjerojatnost utvrđivanja malih koncentracija neonikotinoide u izvancvjetnim nektarijima.

5. NEONIKOTINOIDI I MEDONOSNE PČELE

5.1. Otrovnost neonikotinoida za medonosne pčele

Imidakloprid, klotianidin, dinotefuran i tiametoksam su iznimno otrovni za medonosne pčele, dok su tiakloprid i acetamiprid uvjetno otrovni. Nakon što biljke apsorbiraju neonikotinoide, one polako metaboliziraju sastojke istih. Neki od proizvoda koji proizlaze iz razgradnje su podjednako otrovni ili čak otrovniji nego izvorne tvari. Kod pčela izloženih subletalnim koncentracijama neonikotinoida mogu se uočiti poremećaji u letenju i orijentaciji, smanjena osjetljivost okusa i sporije učenje pri obavljanju novih zadataka, a svi navedeni parametri utječu na sposobnost pronalaženja hrane. Za razliku od mnogih drugih pesticida, neonikotinoidi su otrovniji nakon unošenja u organizam oralnim putem nego kontaktom. Starije pčele radilice su osjetljivije na prisutnost kemikalija i mogu utjecati na stopu ugibanja. Čak i unutar iste vrste, reakcije na pesticide se razlikuju. Sposobnost tolerancije i razgradnje insekticida može varirati između pojedinih pčelinjih zajednica, a može biti i odraz zdravlja, odnosno fizioloških osobitosti. Osjetljivost na imidakloprid se razlikuje između pčelinjih zajednica, kao i između rasa medonosne pčele (SUCHAIL i sur., 2000.). Laboratorijskim pokusima je utvrđeno da pojedinačne akutne kontaktne ili oralne subletalne doze neonikotinoida imidakloprida utječu na mogućnost učenja, motoričke aktivnosti i pamćenje, dok klotianidin utječe na ponašanje na paši (SCHNEIDER i sur., 2012.), a acetamiprid dovodi do poremećaja aktivnosti, pamćenja i osjetljivosti na saharozu. Laboratorijskim eksperimentima u kojima su medonosnim pčelama dane kronične subletalne doze neonikotinoida utvrđeno je da imidakloprid dovodi do poremećaja učenja i sposobnost potrage za hranom, a tiametoksam smanjuje osjetljivost na saharozu i remeti pamćenje.

Otrovi u organizam pčela ulaze izravnim dodiranjem, sitnim kapljicama iz zraka preko dišnog sustava ili s površine poprskanih biljaka hranom i vodom. Odnosno istodobno je prisutno kontaktno, želučano i inhalacijsko otrovanje. Nedavno je prikazano da pčele mogu biti izložene nenikotinoidima i preko lisnih kapljica u koje je insekticid došao iz tretiranog sjemena biljke. Nakon hranjenja medonosnih pčela na rosi nije utvrđeno ugibanje istih, ali kada su se hranile na lisnim kapljicama s izravno tretiranih biljaka, utvrđen je značajan pomor.

GIROLAMI i suradnici (2009.) su izlagali pčele prašini razasutoj prilikom sjetve sjemena kukuruza tretiranog klotianidinom i imidaklopridom. Rezultati njihovog istraživanja su pokazali da se ugibanja izloženih pčela pojavljuju samo pri izrazito velikoj vlažnosti zraka. Pesticidima se unutrašnjost košnice najčešće onečisti kad skupljačice unose pelud. Ponavljana kratka izlaganja mogu rezultirati subkliničkim otrovanjima ili čak kliničkim intoksikacijama i imuno toksičnim učincima na pčele. Očito je da su otrovanja puno vrijedan čimbenik koji pčele čini podložnima za bakterijske i virusne infekcije, te nametničke invazije. Izravnim ili neizravnim djelovanjem na imuni sustav pčelinjeg organizma pesticidi smanjuju učinkovitost anatomskih zaštitnih zapreka pčelinjeg organizma i umanjuju aktivnost stanične imunosti. Uginuće otrovanih pčela može biti trenutačno ako je u organizam pčele odjednom unesena letalna doza otrova. Ako je unesena toksična doza dolazi do otrovanja, ali ne i trenutačnog uginuća. Otrovi mogu uzrokovati subletalni učinak na pojedine odrasle pčele, na leglo i na cijelu pčelinju zajednicu. Otrovanje malim količinama pesticida dovodi do biokemijskih i strukturnih oštećenja koje makroskopski ne primjećujemo, ali nepovoljno djeluje na razmnožavanje, mijenja genetske čimbenike, dovodi do poremećaja u polaganju jaja i funkcioniranju pčelinje zajednice općenito. Rezultat toga je pothlađivanje, gladovanje i na kraju ugibanje pčelinjeg legla te posljedično slabljenja čitave pčelinje zajednice.

5.2. Znakovi otrovanja

Od otrovanja najčešće stradavaju pčele skupljačice, a ovisno o vrsti otrova ugibaju u prirodi, na putu prema košnici, pred košnicom ili u samoj košnici. Znakovi otrovanja pčela su dosta prepoznatljivi. Uključuju velik broj uginulih pčela, pčele koje puze ispred košnica s raširenim i paraliziranim krilima, drhte, teturaju sa znakovima grčenja i okrenute na leđa nemoćno mlataraju nogama. Može se pojaviti i povraćanje pri čemu su pčele mokre i ljepljive

te hodaju ispruženog jezika. Kod kućnih pčela primjećuju se poremećaji u komunikaciji, opća usporenost i zanemarivanje obavljanja kućnih zadataka.

5.3. Utjecaj neonikotinoida na razmnožavanje i prezimljavanje pčela

Za pčelinju zajednicu je povoljnije da otrovane pčele uginu na mjestu otrovanja jer ukoliko unesu štetne tvari u košnicu postoji opasnost od otrovanja kućnih pčela, matice i legla što često može dovesti do propadanja čitave zajednice. Povratak jedne pčele skupljačice u košnicu s teretom onečišćenog peluda ili nektara može uzrokovati uginuće ili uznemirenost većeg broja pčela. Nekoliko desetaka takvih otrovanih pčela skupljačica dovodi do znatnih šteta unutar iste zajednice. Pri otrovanjima pčelinje zajednice naglo slabe, a zbog velikog gubitka pčela skupljačica javlja se i nestašica vode. Posljedično mlade pčele ne mogu pravilno njegovati leglo te dolazi do uginuća ličinki i mladih tek izašlih pčela. Također, matica mijenja ponašanje tako što nepravilno polaže jaja, a razvoj legla je oslabljen. U intenzivnim uzgojima pčelinjih matice pojavljuju se „bezomatičene“ zajednice te je primijećen slab razvoj uglavnom nekvalitetnih matice sa slabom sposobnošću razmnožavanja i davanja potomstva. Oslabljene ili zajednice bez matice često nisu u mogućnosti preživjeti nadolazeću zimu.

5.4. Utjecaj neonikotinoida na pojavnost CCD-a

Poremećaj propadanja pčelinjih zajednica (CCD) je pojava naglog i neobjašnjivog nestanka odraslih pčela i košnica, a prvi put je primijećena tijekom zime 2006. na 2007. godinu. Pčelari su bili zbunjeni kada su otkrili da je većina radilica napustila košnice i da se nije vratila, a unatoč prisutnosti matice, nepromijenjenog otvorenog i poklopljenog legla i primjerenih zaliha hrane. Dosada je uzrok CCD-a neobjašnjen, iako se čini da za isti odgovorno istodobno nepovoljno i sinergističko djelovanje više čimbenika. Rezultati dosadašnjih istraživanja su pokazali da je CCD sindrom koji uzrokuje više čimbenika, a koji uvijek obuhvaćaju prisutnost različitih patogenih mikroorganizama i nametnika. Izloženost insekticidima može, u međudjelovanju s drugim čimbenicima poput prisutnosti patogenih

virusa ili hemofagnih nametnika, značajno oslabiti pčelinju zajednicu, narušiti zdravstveno stanje te povećati osjetljivost i mogućnost pojave CCD-a.

Zanimljivi su rezultati istraživanja zajedničkog učinka invazija izazvanih mikrosporidijama *Nosema apis* i *N. ceranae* i subletalnih koncentracija neonikotinoida. PETTIS i suradnici (2012.) otkrili su da je izloženost hrane za pčelinje leglo subletalnim koncentracijama imidakloprida dovela do povećanog broja utvrđenih spora *Nosema* sp. u odraslih pčela. ALAUX i suradnici (2010.) otkrili su da u zajedničkom međudjelovanju, imidakloprid i nametničke gljivice *N. apis* i *N. ceranae*, značajno povećali postotak ugibanja, a u odnosu na pojedinačno djelovanje jednog ili drugog čimbenika.

Smanjena sposobnost sterilizacije pohranjene hrane može pčelinje zajednice učiniti osjetljivijima na prisutnost različitih patogenih mikroorganizama. Infekcija sporama *Nosema* sp. može pojačati nepovoljni učinak izloženosti pčela imidaklopridu, a uzrokujući energetske stres koji dovodi do pojave da pčele konzumiraju pokvareni nektar (ALAUX i sur., 2010.). Također, VIDAU i suradnici (2011.) otkrili su sinergijsko međudjelovanje između invazije sporama *N. ceranae* i izloženosti subletalnim koncentracijama tiakloprida koji su povećali postotak ugibanja medonosnih pčela, a unatoč činjenici da je tiakloprid manje otrovan nego imidakloprid. Neonikotinoidi i drugi pesticidi nisu izravni uzrok pojavi CCD-a, no njihov utjecaj svakako povećava stres i oslabljuje pčelinje zajednice koje tada postaju puno podložnije utjecaju vanjskih okolišnih čimbenika i uvjetovanim bolestima.

5.5. Utjecaj neonikotinoida na ponašanje pčela

Pri razmatranju utjecaja neonikotinoida na ponašanje pčela u obzir se moraju uzeti subletalni učinci na skupljanje hrane i oprašivanje te na socijalni život zajednice. Posljednjih godina su razvijeni laboratorijski i poljski testovi da bi se istražio učinak insekticida na motoričke i osjetne funkcije povezane sa sposobnošću potrage za hranom. Neonikotinoidni insekticidi se ponašaju kao neurotoksični spojevi i utječu na kretanje pčela izazivajući simptome kao što su nemogućnost letenja, drhtanje, nekoordinirane kretnje, hiperaktivnost i tremor. Ovi simptomi su lako uočljivi pri izloženosti visokim dozama insekticida, dok su simptomi teže uočljivi pri malim dozama. Utvrđen je i negativan učinak neonikotinoida (acetamiprid i tiametoksam) usmjeren na refleks istezanja rilca. Demonstracijom je prikazano da je učinak ovisan o smjeru, trajanju i dozi izloženosti. Mogućnost učenja kod pčela je značajno oslabljena nakon kroničnog izlaganja imidaklopridu tijekom 11 dana.

Neonikotinoidi na proces pamćenja u pčela utječu na način da oralni unos acetamiprida uzrokuje slabljenje dugoročnog pamćenja, dok se kod kroničnog kontakta sa tiametoksamom nakon 48 sati vraća povratak funkcije pamćenja.

Neurotoksični spojevi utječu na sposobnost orijentacije u pčela. Istraživanjem utjecaja tiametoksama na asocijativno učenje putem cilja i nagrade (šećerni sirup) u kompleksu labirinta utvrđeno je da se svega 38% pčela iz pokusne skupine našlo izvor hrane.

6. NEONIKOTINOIDI I BUMBARI

6.1. Bumbari

Bumbari su vrlo važni prirodni oprašivači. Međutim, gotovo četvrtina vrsta europskih bumbara su u opasnosti od izumiranja zbog negativnih utjecaja klimatskih promjena i intenzivne poljoprivrede. Analiziranjem 68 vrsta bumbara utvrđeno je njih 24% u opasnosti od potpunog nestajanja, dok se općenito kod 46% vrsta broj značajno smanjuje. Kao i kod pčela, uzroci nestajanja bumbara su klimatske promjene, uvođenje intenzivne poljoprivrede i urbanizacija. Slično kao medonosne pčele, bumbari su nezaobilazna karika u proizvodnji hrane. Od pet najučinkovitijih vrsta oprašivača u Europi, tri su „bumbarskog“ roda. Održavaju proizvodnju rajčica i paprike u staklenicima, te su vrlo učinkoviti i u oprašivanju brusnica, borovnica, crvene djeteline, boba, kivija, lubenica, graha, graška i drugih leguminoza. Bumbari također proizvode med, no u vrlo malim količinama samo za potrebe njihovih malih zajednica.

Gnijezda bumbara najčešće su podzemne nastambe, a u koje se oplodene matice useljavaju netom nakon izlaska iz zimske hibernacije. U proljeće iz legla izlaze radilice koje donose nektar i pelud, a u ljeti izlaze i trutovi te nove matice. Trutovi, nakon što oplode mladu maticu odlaze iz gnijezda. Stare matice i radilice početkom zime ugibaju, a nove oplodene matice započinju svoj hibernacijski ciklus. U svijetu je pobrojano tristotinjak vrsta bumbara, kukaca puno većih od ostalih prirodnih oprašivača. Zahvaljujući svojoj veličini oni u jednom letu posjete dvadeset do trideset biljaka u minuti. Zahvaljujući sposobnosti reguliranja vlastite tjelesne temperature, prilagođeni su životu u podnebljima s nižim temperaturama u kojima su onda i najvažniji oprašivači. Za razliku od pčela koje su aktivni oprašivači na najmanje 13 °C, bumbari rade već na pet stupnjeva, pri čemu im ne smetaju ni kiša ili vjetar, čak niti manjak svjetlosti. Budući da prirodno oprašivanje pomoću bumbara omogućava veće ukupne prinose

u poljoprivrednoj proizvodnji, danas se oni koriste za oprašivanje u zatvorenim prostorima (plastenici, staklenici) i na poljima. Biološko oprašivanje danas je sastavni dio moderne, organske hortikulture i poljoprivrede.

U Hrvatskoj živi više vrsta bumbara, sve popularnijih u stakleničkom uzgoju rajčica i paprike. Zahvaljujući svom „buzz“ učinku bumbari snažnom vibracijom tijela prikupljaju veliku količinu peludi te je oprašivanje u većini slučajeva uspješno već u prvom pokušaju. Bumbari, osim toga, nisu agresivni pa time niti opasni za radnike u staklenicima. Napadaju samo u rijetkim situacijama, ako se osjete ugroženima. Žalac imaju matice i radilice koje, za razliku od medonosnih pčela, nakon uboda žalac mogu ponovno upotrijebiti.

6.2. Utjecaj neonikotinoida na bumbare

Najveći problem opstanku bumbara čine neonikotinoidi. Jedinke bumbara izložene ovim pesticidima prikupljaju do 30% manje peludi po satu od onih koje s istima nisu bili u doticaju. Budući je i pesticidima onečišćena pelud i dalje glavna hrana bumbarima, u zajednicama bumbara na svijet dolazi i manje novih oprašivača. Istraživanjem učinaka upotrebe pesticida u poljoprivredi s istodobnim utjecajem brojnih nametnika utvrđena je značajno smanjena sposobnost preživljavanja matice, a time i čitave zajednice bumbara. S obzirom da je navedeno istraživanje provedeno u laboratorijskim uvjetima, znanstvenici pretpostavljaju da su u prirodnom okruženju koje podrazumijeva prisutnost većeg broja nametnika te izloženost brojnim drugim stresnim čimbenicima, posljedice još opsežnije (WHITEHORN i sur., 2012.).

Laboratorijska istraživanja akutne otrovnosti pokazuju da su imidakloprid i klotianidin jako otrovni za bumbare. Od tri testirana neonikotinoida (imidakloprida, tiakloprida i tiametoksama) tiametoksam je prouzrokovao najviše ugibanja izloženih bumbara, a tiakloprid najmanje. U nekoliko je laboratorijskih istraživanja utvrđeno da su bumbari zahvaćeni subletalnim učincima imidakloprida nakon kronične oralne izloženosti. Premda nisu uočeni nikakvi vidljivi negativni učinci na zdravlje zajednica bumbara ili njihovu sposobnost

pronalaženja hrane nakon uzimanja peluda onečišćenog niskim dozama imidakloprida, kod većih koncentracija je primijećena smanjena sposobnost orijentacije i treperenje tijela. Nadalje, smanjena proizvodnja trutova i duže vrijeme potrage za hranom uočeni su u bumbara koji su hranjeni niskim dozama imidakloprida (MOMMAERTS i sur., 2010.). Bumbari koji su prihranjivani peludom i nektarom onečišćenim imidaklopridom imali su nižu stopu preživljavanja radilica i smanjenu veličinu legla (TASEI i sur., 2000.). Istraživanja provedena u poljskim uvjetima gdje su zajednice bumbara izlagane nektaru ili lišću onečišćenom imidaklopridom unutar staklenika, pokazala su rezultate slične onima provedenim u laboratorijskim uvjetima. Nadalje, u zajednicama bumbara koje su izložene na polju na kojem je neonikotinoidima prethodno bilo tretirano tlo, utvrđeno je značajno smanjeno uzimanje hrane i manje je odraslih jedinki preživjelo pokus. Stupanj uporabe neonikotinoida na biljke (natapanjem tla, injekcijama u deblo ili folijarnim prskanjima) je često veći nego stupanj uporabe istih tretiranjem sjemena, a rizik za bumbare također raste primjereno tome.

7. NEONIKOTINOIDI I SOLITARNE PČELE

Solitarne pčele nemaju maticu, ne roje se i žive same. Same grade gnijezda i polažu jaja. U tijeku svog životnog ciklusa solitarne pčele mogu položiti 20 do 30 jaja ovisno o vrsti pčele i slobodnom mjestu za polaganje jaja. Solitarne pčele iz roda *Osmia* najprije očiste i pripreme mjesto za polaganje jaja, a zatim izrade pregradu od blata, unesu pelud i nektar, polažu jaja i zatvore stjenkom od blata. Ovisno o dubini šupljine može se razviti šest do osam mladih pčela. Nakon što su pripremile sve za razvoj potomstva solitarne pčele ugibaju. Većinu životnog vijeka solitarne pčele skupljaju materijal za izradu gnijezda i osiguravanje hrane za normalan razvoj potomaka. Za razliku od drugih kukaca koji u toku svog života polože stotine jajašca, solitarne pčele se sa svojih maksimalno 30 jaja godišnje jako teško oporavljaju od neželjenih posljedica izloženosti pesticidima primijenjenim u poljoprivredi. U toku istog proljeća iz jaja se izlegne ličinka koja s vremenom prelazi u svilenkastu kukuljicu. Tijekom ljeta ovisno o temperaturama nastaje mlada odrasla pčela koja izlijeće tek u proljeće sljedeće godine. Doprinos jedne solitarne pčele može se usporediti s 120 medonosnih pčela u oprašivanju voćaka. Solitarne pčele izlijeću na temperaturama od 5 °C naviše, kad medonosne pčele još ne lete.

7.1. Učinak neonikotinoida na solitarne pčele

Većina solitarnih pčela gnijezdi se u tlu, kopajući podzemne tunele. Druge rade tunele u stablima drveća ili se gnijezde u postojećim šupljinama koristeći blato, smolu, lišće, latice ili biljna vlakna u gradnji gnijezda. Njihov široki raspon različitih načina života zaslužuje više pažnje pri istraživanju utjecaja neonikotinoida budući da mogu doći u neposredni kontakt s ostacima istih u tlu ili lišću. One se također gnijezde pri tlu uz stabljike biljaka koje posjećuju

i mogu doći u kontakt sa sistemskim insekticidima primijenjenim na tlo. Iako vrijednosti LD₅₀ nisu utvrđene, rezultati istraživanja u laboratorijskim uvjetima pokazali su da je kontakt s imidaklopridom izrazito otrovan za vrste *Megachile rotundata* i vrstu *Osmia lignaria* (SCOTT-DUPREE i sur., 2009.). Učinci akutnog oralnog, kroničnog oralnog i kontaktnog izlaganja imidaklopridu ili klotianidinu solitarnih pčela su nepoznati, a učinci drugih neonikotinoida su malo proučavani. Toksičnost neonikotinoida se razlikuje između pojedinih vrsta pčela. SCOTT-DUPREE i suradnici (2009.) pokazali su da je imidakloprid otrovniji za vrstu *Osmia lignaria* nego klotianidin, ali klotianidin je otrovniji za vrstu *Megachile rotundata* nego imidakloprid. Subletalni učinci neonikotinoida na solitarne pčele nisu poznati.

8. REZIDUE

8.1. Rezidue u pčelinjim proizvodima

Rezidue neonikotinoida u biljkama i dijelovima biljaka postaju značajne za pčele tek kada im budu izložene. Najbitnije su mjere izloženosti i koncentracija rezidua u biljnom materijalu koji pčele skupljaju kao što je pelud, te pčelinjim proizvodima kao što je pčelinji kruh (fermentirana pelud), med, pčelinji vosak i u samom organizmu pčele. Onečišćenje pčelinjih proizvoda pesticidima i njihovim razgradnim proizvodima možemo očekivati nakon što pčelinja zajednica uginje posljedično izlaganju štetnom djelovanju pesticida, odnosno nakon otrovanja. Uginuće pčelinje zajednice uobičajeno je popraćeno ostacima štetnih tvari (rezidua) u vosku, peludu, medu te uzorcima uginulih pčela. Isto tako nešto manje koncentracije istih tvari mogu se utvrditi u košnicama u koje pčele skupljačice donose onečišćenu hranu. Rezidue porijeklom od pesticida rabljenih u poljoprivrednoj proizvodnji, a unesenih u košnice na ili u tijelu pčela skupljačica i pčelinjim proizvodima su ekvivalentne ili više u unesenom peludu, nešto niže u uzorcima odraslih pčela, povremeno se mogu utvrditi u medu i vrlo rijetko u vosku.

8.2. Rezidue u poljoprivrednim kulturama i ukrasnom bilju

Rezultati dosadašnjih istraživanja upućuju na zaključak da štetni ostaci neonikotinoida u poljoprivrednim kulturama i ukrasnom bilju mogu biti riskantni za zdravlje pčele. Ostaci pravilno primijenjenih pesticida u peludu i nektaru najčešće neće dosegnuti letalne koncentracije u poljoprivrednom okruženju, ali kronično dugotrajno izlaganje pesticidima

može biti opasno za pčele te one mogu pretrpjeti štetne subletalne učinke pri poljskim koncentracijama. Za usporedbu, koncentracije ostataka pesticida u nekih ukrasnih biljaka nadaleko nadilaze procijenjenu razinu letalne koncentracije (LC₅₀) za medonosne pčele.

Navedeno upućuje na zaključak da kozmetičko korištenje neonikotinoidea predstavlja velike rizike za zdravlje pčela i drugih prirodnih oprašivača. Usporedbom pesticida odobrenih za korištenje u vrtu i onih odobrenih za uporabu u poljoprivrednoj proizvodnji može se utvrditi 12 do 16 puta veće koncentracije imidakloprida u proizvodima za tretiranje drveća i ukrasnog bilja.

9. PREPORUKE ZA ZAŠTITU PČELA OD OTROVANJA

Budući da mnogi insekticidi predstavljaju opasnost od otrovanja pčela, postoje specifični zahtjevi i preporuke kojima se ograničava njihova uporaba na poljoprivrednim kulturama tijekom cvatnje. Sa svega nekoliko iznimaka, uz pridržavanje uputa za uporabu, većina pesticida je relativno sigurna. Ipak, smatra se da kombinacije nekih fungicida mogu dovesti do povećanih gubitaka pčelinjih ličinki i kukuljica, te posljedično slabljenju ili nestanku legla kad bi trebalo biti na vrhuncu razvoja. Ukoliko se pčele i uspiju razviti, izlaze izobličene mlade pčele nepravilne morfološke građe. Suradnja poljoprivrednika i pčelara je najučinkovitiji način sprečavanja otrovanja pčelinjih zajednica pesticidima. Najčešći uzrok otrovanja je nedostatak „svijesti“ o mogućim nepoželjnim posljedicama, a rjeđe su u pitanju namjerna trovanja. Program zaštite od nametnika i štetnika biljaka u većini slučajeva može biti izmijenjen na način da se spriječi moguće otrovanje pčelinjih zajednica, ali i postigne učinkovita zaštita tretiranih poljoprivrednih kultura.

Prihodi i dobrobiti pčelara od uspostave i održavanja dobrih odnosa s poljoprivrednicima na čijoj zemlji drže pčelinje zajednice su višestruke, a istodobno imaju uvid u programe i termine tretiranja usjeva pesticidima. Prilikom iznajmljivanja zemljišta pčelaru za držanje pčelinjih zajednica zbog iskorištavanja medonosne paše, najpraktičnije je sklopiti ugovor koji će sadržavati detaljno razrađen plan suradnje. Odnosno, pčelar se obvezuje dopremiti zdrave i jake pčelinje zajednice koje će učinkovito oprašivati poljoprivredne kulture na tom području dok će se poljoprivrednik obvezati na osiguravanje

„boravka pčelama“ bez mogućnosti otrovanja primijenjenim pesticidima. Na taj način uspjeh proizvodnje za oba proizvođača ovisi o međusobnoj suradnji i povjerenju.

Prilikom uporabe pesticida nužno je pridržavati se uputa proizvođača, a koja mogu sadržavati posebna ograničenja u svrhu zaštite pčela od otrovanja. Treba izbjegavati primjenu pesticida koji predstavljaju dugotrajnu opasnost od otrovanja, a posebice u vrijeme cvatnje biljaka. Također, preporuča se rabiti za pčele manje opasne insekticide s kratkim rezidualnim potencijalom, povoljnog oblika i veličine čestica. Ne preporuča se rabiti insekticide kada je vremenskom prognozom najavljena niska temperatura u nekom području ili po noći kad se stvara rosa. Pod takvim uvjetima ostaci štetnih tvari primijenjenih otrova ostaju toksični dva puta duže. Primjena insekticida u tlo je općenito manje opasna od primjene iz zraka, jer se raznosi jednokratno i na ograničeno područje. Tijekom prskanja iz zraka često se pesticidi rasprše po okolnim poljima i kulturama, ali i korovu u cvatu. Većina insekticida je opasna za pčele četiri do osam sati nakon primijene, a najpovoljniji termin za primjenu istih je, prema tome, kasnije navečer kad se pčele skupljačice vrate u košnicu. Prije primijene dugotrajnije opasnih preparata nužno je zamoliti pčelare da odsele pčelinje zajednice s dotičnog područja tijekom razdoblja djelovanja insekticida. Naravno da se zajednice ne mogu i ne moraju seliti na „naredbu“ poljoprivrednika, ali ju je potrebno prilagoditi razini aktivnosti pčelinjih zajednica. Poljoprivrednici mogu djelomično kontrolirati početak cvatnje određenih poljoprivrednih kultura, te prema tome izmijeniti program zaštite od štetnika. Dobro isplanirana integrirana zaštita od štetnika uključuje i ekološke pristupe koji su uglavnom bezopasni za kukce prirodne oprašivače, a učinkovito mogu zamijeniti nagle odluke o prskanju ili zaprašivanju u slučaju jakih invazija nametnicima.

Na doseljenom pčelinjaku na novo područje nužno je postaviti dosta veliku pločicu s natpisom čitljivim sa sigurne udaljenosti o podacima pčelara. Zajednice se ne smiju postavljati u blizini polja u kojima je neposredno prije primijenjen potencijalno opasan insekticid. Mora proći najmanje 48 do 72 sata. 50 do 90% masovnih uginuća pčela se pojavljuje tijekom prvih 24 sata po primijeni pesticida. Međutim, nužno je poznavati i vrijeme razgradnje primijenjenog insekticida, jer postoje i dugotrajnije opasni preparati. Ako je moguće, preporuča se izdvojiti pčelinjake na područje manje intenzivne poljoprivredne proizvodnje, te na taj način zaštititi pčele od kemijskog onečišćenja raznošenjem insekticidnih sredstava. Također, bolje je pčelinjak smjestiti na obronke brda nego u podnožje kanjona i klanjaca gdje se talože primijenjeni insekticidi i njihove pare, a jutarnja rosa i vjetrovi služe kao pogodni medij za njihovo raznošenje. Pčelinje zajednice se može privremeno zaštititi

pokrivanjem mokrim grubim platnom noć prije tretiranja usjeva, te iste održavati vlažnima tijekom dva do tri dana.

10. ZAKLJUČAK

Neonikotinoidi se svrstavaju u relativno noviju skupinu sistemskih insekticida, a karakterizira ih dobra učinkovitost pri zaštiti poljoprivrednih kultura od štetnika. Međutim, neonikotinoidi su jaki otrovi za kukce oprašivače, posebice medonosnu pčelu. Uz letalni utjecaj, očituju se i subletalni učinci neonikotinoida na pčele koji uzrokuju poremećaje ponašanja i komunikacije, poteškoće s letenjem i orijentacijom, te obavljanjem uobičajenih socijalnih aktivnosti. Pčele pod istodobnim utjecajem subletalnih koncentracija neonikotinoida, infekcija različitim uzročnicima bolesti i nepovoljnom djelovanju okolišnih čimbenika su u stanju imunodeficijencije. Budući su pčele važan ekološki i ekonomski kukac, procjena rizika i planiranje zaštite pčela od nepovoljnog utjecaja neonikotinoida, trebali bi se odvijati u suradnji poljoprivrednika i pčelara.

11. LITERATURA

ANON (2013): EU Regulation No. 485/2013, Official Journal of the EU, 25.5.2013.

ALAUX, C., J.-L. BRUNET, C. DUSSAUBAT, F. MONDET, S. TCHAMITCHAN, M. BRILLARD, A. BALDY, L. P. BELZUNCES, Y. LeCONTE (2010): Interactions between *Nosema* microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). Environ. Microbiol. 12, 774-782.

ALIOUANE, Y., A. K. EL HASSANI, V. GARY, C. ARMENGAUD, M. LAMBIN, M. GAUTHIER (2009): Subchronic exposure of honeybees to sublethal doses of pesticides: Effects on behavior. Environ. Toxicol. Chem. 28, 113-122.

CHAUZAT, M.-P., J.-P. FAUCON, A.-C. MARTEL, J. LACHAIZE, N. COUGOULE, M. AUBERT (2006): A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France. J. Econom. Entomol. 99, 253-262.

CHAUZAT, M.-P., P. CARPENTIER, A.-C. MARTEL, S. BOUGEARD, N. COUGOULE, P. PORTA, J. LACHAIZE, F. MADEC, M. AUBERT, J.-P. FAUCON (2009): Influence of pesticide residues on honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony health in France. Environ. Entomol. 38, 514-523.

CRESSWELL, J. E. (2011): A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. Ekotoxicol. 20, 149-57.

ELBERT, A., M. HAAS, B. SPRINGER, W. THIELERT, R. NAUEN (2008): Applied aspects of neonicotinoid use in crop protection. Pest Management Sci. 64, 1099-1105.

GIROLAMI, V., L. MAZZON, A. SQUANTINI, N. MORI, M. MARZARO, A. DIBERNARDO, M. GREATTI, C. GIORIO, A. TAPPARO (2009): Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seeding guttation drops: a novel way of intoxication for bees. J. Econom. Entomol. 102, 1808-1815.

- GREENLEAF, S., N. M. WILLIAMS, R. WINFREE, C. KREMEN (2007): Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* 153, 589-596.
- IWASA, T., N. MOTOYAMY, J. T. AMBROSE, M. R. ROE (2004): Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Prot.* 23, 371-378.
- JESHKE, P., R. NAUEN (2008): Neonicotinoids-from zero to hero in insecticide chemistry. *Pest Management Sci.* 64, 1084-1098.
- JONES, A. K., V. RAYMOND-DELPECH, S. H. THANY, M. GAUTHIER, D. B. SATTELLE (2006): The nicotinic acetylcholine receptor gene family of the honey bee, *Apis mellifera*. *Gen. Res.* 16, 1422-1430.
- KLEIN, A. M., B. E. VAISSIERE, J. H. CANE, I. STEFFAN-DEWENTER, S. A. CUNNINGHAM, C. KREMEN, T. TSCHARNTKE (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B* 274, 303-313.
- KRISCHIK, V. A., A. L. LANDMARK, G. E. HEIMPEL (2007): Soil applied imidacloprid is translocated to nectar and kills nectar-feeding *Anagyrus pseudococi*. *Environ. Entomol.* 36, 1238-1245.
- KRUPKE, C. H., G. J. HUNT, B. D. EITZER, G. ANDINO, K. GIVEN (2012): Multiple routes of pesticide exposure for honeybees living near agricultural fields. *PLoS ONE* 7, 1, e29268.doi,10.1371/journal.pone.0029268.
- LAURENT, F. M., E. RATHAHO (2003): Distribution of imidacloprid in sun flowers (*Helianthus annuus* L.) following seed treatment. *Agricul. Food Chem.* 51, 8005-8010.
- LAURINO, D., M. PORPORATO, A. PATETTA, A. MANINO (2011): Toxicity of neonicotinoid insecticides to honey bees laboratory tests. *Bull. Insectol.* 64, 107-113.
- MALONE, L., E. BURGESS, D. STEFANOVIC, H. GATEHOUSE (2000): Effects of four protease inhibitors on the survival of worker bumblebees, *Bombus terrestris* L. *Apidologie* 31, 25-38.

- MOMMAERTS, V., S. REYNDERS, J. BOULET, L. BESARD, G. STERK, G. SMAGGE (2010): Risk assessment for side-effects of neonicotinoids against bumblebees with and without impairing behavior. *Ekotoxikol.* 19, 207-215.
- PETTIS, J. S., D. VANENGELSDORP, J. JOHNSON, G. DIVELY (2012): Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen *Nosema*. *Naturwissenschaften* 99, 153-158.
- PISTORIUS, J., G. BISCHOFF, U. HEIMBACH, M. STÄHLER (2009): Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008. caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. In Hazards of Pesticides to bees. 10th International Symposium of the ICP-BR Bee Protection Group, Ur.: P. A. Ooman and H. M. Thompson, 118-126.
- SCHMUCK, R., R. SCHÖNING, A. STORK, O. SCHRAMMEL (2001): Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L, Hymenoptera) by an imidacloprid seed dressing of sunflowers. *Pest Management Sci.* 57, 225-238.
- SCHNEIDER, C. W., J. TAUTZ, B. GRÜNEWALD, S. FUCHS (2012): RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on the foraging behavior of *Apis mellifera*. *PLoS ONE* 7, 1, e30023.doi:10.1371/journal.pone.0030023.
- SCOTT-DUPREE, C. D., L. CONROY C. R. HARRIS (2009): Impact of currently used or potentially useful insecticides for canola agroecosystems on *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae), *Megachile rontudata* (Hymenoptera: Megachilidae), and *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae). *J. Econom. Entomol.* 102, 177-182.
- SUCHAIL, S., D. GUEZ, L. P. BELZUNCES (2000): Characteristics of imidacloprid toxicity in two *Apis mellifera* subspecies. *Environ. Toxicol. Chem.* 19, 1901-1905.
- SUCHAIL, S., D. GUEZ, L. P. BELZUNCES (2001): Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 2482-2486.
- TAPPARO, A., D. MARTON, C. GIORIO, A. ZANELLA, L. SOLDÁ, M. MARZARO, L. VIVAN, V. GIROLAMI (2012): Assessment of the environmental exposure of honeybees to

particulate matter containing neonicotinoid insecticides coming from corn coated seeds. Environ. Sci. Technol. 46, 2592-2599.

TASEI, J. N., J. LERIN, G. RIPAULT (2000): Sublethal effects of imidacloprid on bumble bees, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae), during laboratory feeding test. Pest Management Sci. 56, 784-788.

TLAK GAJGER, I., I. PALIJAN BOSEK (2014): Otrovanja kao značajan čimbenik slabljenja pčelinjih zajednica. Zbornik radova, 11. Pčelarski dani, Vinkovci, 5-15.

TOMIZAWA, M., J. E. CASIDA (2003): Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. Ann. Rev. Entomol. 48, 339-364.

VELTHUIS, H. H. W., A. VAN DOORN (2006): A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. Apidologie 37, 421-451.

VIDAU, C., M. DIOGON, J. AUFAUVRE, R. FONTBONNE, B. VIGUÈS, J-L. BRUNET, C. TEXIER, D. G. BIRON, N. BLOT, H. EL ALAQUI, L. P. BELZUNCES, F. DELBAC (2011): Exposure to sublethal doses of fipronil and thiacloprid highly increases mortality of honeybees previously infected by *Nosema caranae*. PLoS ONE 6, 6, e21550. doi:10.1371/journal.pone.0021550.

WHITEHORN, P., R. O'CONNOR, F. L. WACKERS, D. GOULSON (2012): Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. Science 336, 351-352.

WILLIAMS, I. H. (1994): The dependence of crop production within the European Union on pollination by honey bees. Agr. Zool. Rev. 6, 229-257.

WU, J. Y., C. M. ANELLI, W. S. SHEPPARD (2011): Sub-lethal effects of pesticide residues in brood comb on worker honey bee (*Apis mellifera*) development and longevity. PLoS ONE 6, 2, 4720. doi:10.1371/journal.pone.0014720.

12. SAŽETAK

Suvremena poljoprivredna proizvodnja osniva se na primjeni mineralnih gnojiva i pesticida, navodnjavanju, te korištenju kukaca za oprašivanje. Međutim, insekticidi iz skupine neonikotinoida primijenjeni u svrhu zaštite poljoprivrednih kultura mogu uzrokovati otrovanja prirodnih oprašivača, posebice medonosnih pčela, bumbara i solitarnih pčela. Najčešće upotrebljavani neonikotinoidni insekticidi su imidaklopid, acetamiprid, klotianidin, tiametoksam, tiaklopid, dinotefuran i nitenpiran. Primjenjuju se za kontroliranje broja štetnika na poljoprivrednim kulturama tretiranjem sjemenja i tla ili izravno prskanjem po biljkama. Navedeni sistemski insekticidi mogu se utvrditi u malim koncentracijama u peludu i nektaru tretiranih biljaka, međutim nepovoljno djeluju na ne ciljane organizme kao što su prirodni oprašivači. Diljem Europe i SAD-a poveznica s ugibanjem medonosnih pčela učinila je neonikotinoide kontroverznima. Zato su provedena znanstvena istraživanja o utjecaju primijenjenih neonikotinoida na poljoprivrednim kulturama, te je na osnovu rezultata istih, pritiska znanstvene zajednice i pčelara, Europska agencija za sigurnost hrane pri EU 2013. godine donijela odluku o dvogodišnjoj zabrani uporabe i monitoringu primjene klotianidina, imidakloprida i tiametoksama.

Cilj ovog rada je prikazati najnovije spoznaje o štetama koje neonikotinoidi mogu prouzročiti na pojedinim pčelama i/ili pčelinjoj zajednici, toleranciji pčela te načinima i preventivnim mjerama sprečavanja otrovanja.

Ključne riječi: medonosne pčele, bumbari, solitarne pčele, neonikotinoidi

13. SUMMARY

THE IMPACT OF NEONICOTINOIDS ON BEES

Modern agricultural production is based on use of mineral fertilizers and pesticide, irrigation and pollinators. However, insecticides from neonicotinoid group applied for pest control on agricultural crops can lead to poisoning natural pollinators, especially honey bees, bumble bees and solitary bees. Most often used neonicotinoids are imidacloprid, acetamiprid, clothianidin, thiamethoxam, thiacloprid, dinotefuran and nitenpyran. They are used for pest control on agricultural crops by treating the seeds and soil or by being directly sprayed on plants. These systemic insecticides can be detected in small concentration in pollen and nectar of treated plants, however they have adverse effect on non-target organisms such as natural pollinators. Across Europe and USA, connection to honey bee death, made neonicotinoids controversial. Therefore, several scientific studies about effects of applied neonicotinoids on crops were performed. Based on the results obtained, pressure of the scientific community and beekeepers, European Food Safety Authority (EFSA) by European Union in 2013 makes decision to ban the use of clothianidin, imidacloprid and thiamethoxam for two year period and ordered monitoring through that time.

The aim of this paper is to present the latest findings about damage that neonicotinoids can cause on bees and/or bee colony, bee tolerance and on prevention methods against poisoning.

Key words: honey bees, bumble bees, solitary bees, neonicotinoids

14. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 28.02.1974. godine u Zagrebu. Živim u Križevcima gdje sam završila osnovnu školu Ljudevita Modeca, te Srednju veterinarsku školu pri tadašnjem Poljoprivrednom Institutu. Nakon srednje škole, 1992. godine upisala sam Veterinarski fakultet u Zagrebu. Posljednjih deset godina radim u Hrvatskoj Poljoprivrednoj Agenciji kao tehnički suradnik-kontrolor te kontrolor finalnih podataka ARKOD sustava. Udata sam i imam troje malodobne djece.