

**Milorad VOJVODIĆ¹, Helena VIRIĆ GAŠPARIĆ², Maja ČAČIJA², Darija LEMIĆ²,
Renata BAŽOK²**

¹ Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju
(student)

²Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju
milorad.vojvodic@inovine.hr

ZABRANA NEONIKOTINOIDA U RATARSKIM KULTURAMA, UZROCI I POSLJEDICE

SAŽETAK

Neonikotinoidi su se počeli primjenjivati u zaštiti od štetnika 90-ih godina prošlog stoljeća. Zbog negativnih učinaka na pčele Europska je komisija 2018. godine u svim zemljama članicama Europske unije zabranila uporabu tri djelatne tvari neonikotinoida: imidakloprida, tiametoksama i klotianidina, za sve vrste korištenja, osim u trajnim staklenicima i za biljke koje će cijeli životni vijek provesti u zatvorenu prostoru. Ovim radom analizirat će se razlozi zabrane neonikotinoida te na temelju dosadašnjih iskustava iz brojnih zemalja i posljedice zabrane na ratarsku proizvodnju. Rezultati mnogobrojnih studija pokazali su da se osim akutne i kronične toksičnosti negativan utjecaj neonikotinoida ogleda u učinku subletalnih doza kojima su izložene populacije oprašivača. Zabrana korištenja djelatnih tvari imidakloprida, tiametoksama, klotianidina, a na kraju i tiakloprida u zemljama Europske unije, očekivano je dovela do velikih promjena u ratarskoj proizvodnji. Došlo je do povećanja pojave štetnika, kao i do pojave rezistentnosti štetnika na starije, prije korištene insekticide, do smanjenja prinosa i kvalitete uroda, a značajno se povećala i folijarna primjena insekticida, osobito onih iz skupine piretroida. Pozitivne su strane zabrane s agronomskog gledišta uvođenje i implementacija alternativnih metoda suzbijanja štetnika i znanstveni dokazi koji pokazuju da je usprkos smanjenoj mogućnosti odabira i primjene insekticida moguće održavanje stabilnih prihoda uz smanjenu uporabu insekticida.

Ključne riječi: alternativne metode, Europska unija, neonikotinoidi, ratarske kulture, zabrana

UVOD

Tijekom 1990-ih godina na tržištu insekticida najviše su bili zastupljeni organofosforni insekticidi (43 %), piretroidi (18 %) i karbamati (16 %) (Jeschke i sur., 2011.). Otkrićem i uvođenjem na tržište neonikotinoida, skupine u koju pripada sedam djelatnih tvari insekticida: imidaklopid, tiametoksam, klotianidin, tiaklopid, acetamiprid, nitenpiram i dinotefuran, zastupljenost

maloprije spomenutih skupina insekticida smanjuje se te su neonikotinoidi danas najčešće korišteni insekticidi na svijetu.

Raširenost primjene insekticida iz skupine neonikotinoida ogleda se u činjenici da su dopušteni za uporabu u više od 120 zemalja, s globalnom tržišnom vrijednosti od dvije do šest milijarda dolara, od čega najveći dio, 41 %, otpada na tržišni udio imidakloprida (Jeschke i sur., 2011.).

Uz imidaklopid i tiaklopid (Bayer CropScience), na tržištu su još prisutni klotianidin (Bayer CropScience i Sumitomo), tiametoksam (Syngenta), acetamiprid (Nippon Soda) i dinotefuran (Mitsui Chemicals) (Simon-Delso, 2014.). Novi spoj, sulfoksaflo (Dow Agro Sciences), prisutan je na tržištu u Kini (Shao et al. 2013., cit. Simon-Delso i sur., 2014.) i Sjedinjenim Američkim Državama (USEPA, 2013., cit. Simon-Delso i sur., 2014.), a od 2019. godine registriran je i u Republici Hrvatskoj (FIS portal, 2021.).

Imidaklopid je 1991. godine registriran prvi, a potom su slijedile registracije nitenpirama i acetamipirida 1995. godine, tiametoksama 1998. godine, tiakloprida i klotianidina 2001. te dinotefurana 2002. godine (Bass i sur., 2015., Hladik i sur., 2018.).

Usprkos činjenici da su od sredine 1990-ih do danas neonikotinoidi doživjeli veliku ekspanziju, situacija s uporabom neonikotinoida u nekim se dijelovima svijeta (poglavito u Europskoj uniji) drastično mijenja od 2013. godine do danas. Zbog sumnje na negativan utjecaj insekticida iz skupine neonikotinoida na pčelinje zajednice, Europska je komisija u 2013. godini privremeno zabranila (Službeni list Europske unije, 2013.) uporabu tri djelatne tvari insekticida iz te skupine insekticida (imidaklopid, tiametoksam i klotianidin) i utvrdila dvogodišnji moratorij za tretiranje sjemena i tla za kulture koje privlače pčele i za jare žitarice. Dozvola je ostala važeća za tretiranje sjemena ozimih žitarica i šećerne repe te za primjenu u zaštićenim prostorima, kao i za folijarno tretiranje svih kultura na kojima su insekticidi imali dozvolu, ali samo nakon cvatnje. Zabrana je usvojena na razdoblje od dvije godine, s obrazloženjem da je za donošenje konačne odluke potrebno provesti dodatna znanstvena istraživanja. Europska agencija za sigurnost hrane, EFSA (European Food Safety Authority), pozvala je sve znanstvene institucije da se uključe u daljnje istraživanje utjecaja neonikotinoida na pčele. Zabrana je potom produžena na još dvije godine (do 2017.). Iako je 2017. godine trebala isteći, njezino ukidanje EFSA je odgodila do daljnjega, a konačna odluka donesena je 27. travnja 2018. (Bažok i Lemić, 2018.). Odluka se temeljila na tri studije koje su pripremili eksperti na temelju detaljnog razmatranja svih relevantnih istraživanja spomenutih insekticida diljem svijeta (EFSA, 2018a.; EFSA, 2018b.; i EFSA, 2018c.). U studijama se analiziraju dostupni znanstveni radovi i procjenjuju potencijalni rizici kod uporabe imidakloprida, tiametoksama i klotianidina na svim kulturama na kojima su dotada dopušteni. Pritom su za folijarnu uporabu analizirani sljedeći rizici: (i) rizik od rezidua u polenu i nektaru; (ii) zanošenje na

netretirane biljke; (iii) rezidue u izvorima voda. Za primjenu tretiranjem sjemena istodobno su analizirani rizici koji se odnose na: (i) rizik od sistemične translokacije tretiranom biljkom te mogući ostatci u nektaru i polenu (odnosi se na tretiranu biljku i biljke koje slijede u plodoredu); (ii) rizik od kontaminacije zanošenjem prašine (rizik za rubove polja i susjedne usjeve) i (iii) rizik od korištenja vode s mogućim ostacima insekticida. Utvrđeni su rizici za tri vrste organizama, medonosnu i solitarnu pčelu i bumbare. Prema preporukama EFSA-e, Europska je komisija donijela odluku o potpunoj zabrani uporabe imidakloprida, tiametoksama i klotianidina, osim u trajnim staklenicima, a usjev tako dobiven ostaje u trajnom stakleniku tijekom cijelog svog životnog vijeka (Službeni list Europske unije, 2018.; 2018.a; 2018.b).

Odluka se počela primjenjivati od 2019. godine u većini članica EU-a. Već u procesu donošenja ove odluke brojni su akteri izrazili svoju zabrinutost o mogućim posljedicama koje će zabrana tih djelatnih tvari imati na poljoprivrednu proizvodnju. Već su tada postojala istraživanja (utemeljena na privremenoj zabrani neonikotinoida) koja su pokazala da je nakon zabrane neonikotinoida, npr. u uzgoju uljane repice, primijećen značajan porast brojnosti štetnih kukaca (Kathage i sur., 2017.). Uklanjanjem neonikotinoida iz primjene povećala se primjena drugih insekticida (najčešće piretroida, i to dva do tri puta), a rezultat je značajno smanjenje prinosa (čak do 15 %) (Kathage i sur., 2017.).

Stoga će se u ovom radu analizirati razlozi zabrane neonikotinoida te na temelju dosadašnjih iskustava iz brojnih zemalja i to koje su moguće posljedice zabrane na ratarsku proizvodnju.

NEONIKOTINOIDI

Mehanizam djelovanja

Neonikotinoidi djeluju agonistički na nikotinske acetilkolinске receptore u središnjem živčanom sustavu kukaca i sisavaca (Tan i sur., 2007.). Oni imitiraju acetilkolin koji prenosi živčane impulse. Enzim acetilkolinesteraza razgrađuje acetilkolin i tako dovodi do prestanka prijenosa impulsa. S obzirom na to da acetilkolinesteraza ne može razgraditi neonikotinoide, prijenos impulsa u stanici ne prestaje, što dovodi do podražaja i paralize te uginuća kukaca (Janjić, 2005.). Simptomi trovanja su hiperaktivnost, nekoordinirano trbušno drhtanje, savijanje krila, tremor i jaka treskavica cijelog tijela, što rezultira klonulošću i smrću kukca (Laurino i sur., 2011.).

Kao sistemični insekticidi, neonikotinoidi se nanese na površinu biljke translociraju ksilemom u sve njezine dijelove, dugoročno je štiteći od štetnih kukaca (Magalhaes i sur. 2009., cit. Mirjanić i Mitrić, 2012.). Sistemični insekticidi prije svega djeluju na kukce koji sišu, a slabije na kukce koji grizu (Maceljski i sur., 2004.).

Primjena

Neonikotinoidi su visokotoksični za većinu člankonožaca, a uvelike se primjenjuju u suzbijanju štetnika u ratarstvu i hortikulturi (Goulson, 2013.). Značenje primjene neonikotinoida u poljoprivredi ogleda se u suzbijanju kukaca iz reda Hemiptera, podreda Heteroptera, reda Coleoptera i reda Lepidoptera (Iwasa i sur., 2004.).

Primjena neonikotinoida obavlja se folijarno, tretiranjem sjemena i aplikacijom po tlu (u obliku granula). Za tretiranje sjemena i u obliku granula upotrebljava se oko 60 % proizvedenih neonikotinoida (Jeschke i sur., 2011.), s tim da je mogućnost primjene neonikotinoida tretiranjem sjemena dovela do vrlo velikih promjena i porasta učestalosti tretiranja sjemena kao metode zaštite od štetnika. Primjerice, u Sjedinjenim je Američkim Državama prije početka primjene neonikotinoida za tretiranje sjemena samo 30 % sjemena kukuruza bilo tretirano insekticidima, a danas se od 71 % do gotovo 100 % sjemena kukuruza tretira neonikotinoidima, a takvo je sjeme zasijano na površinama od oko 90 milijuna hektara (Douglas and Tooker, 2015., cit. Gurian-Sherman, 2017.). Uz tretiranje sjemena kukuruza, neonikotinoidi se koriste i za tretiranje sjemena uljane repice i suncokreta. Također, neonikotinoidi široko se primjenjuju i za folijarno tretiranje voćnih kultura (Valavanidis, 2018.).

Ostatci neonikotinoida i toksičnost na necilijane organizme

S porastom uporabe neonikotinoida za tretiranje sjemena uočen je značajan porast pojave ostataka neonikotinoida u okolišu (polenu, vodi, tlu, pčelama i drugim korisnim organizmima). Istodobno nema jasnih dokaza o smanjenju pojave štetnika i povećanju prinosa, odnosno ekonomskoj koristi kod kultura čije je sjeme preventivno tretirano neonikotinoidima (Bredeson i Lundgren, 2015.; Hladik i sur., 2018.). Budući da se neonikotinoidi koriste diljem svijeta, njihovi ostatci mogu se naći u prehrambenim proizvodima, uključujući voće, povrće, meso, mliječne proizvode, žito, med i hranu za bebe, a zadržavaju se i u okolišu. Analize uzoraka pokazuje da su u voću i povrću koji se često konzumiraju u SAD-u prisutne niske razine neonikotinoida (Craddock i sur., 2019.). Utvrđeno je da su koncentracije neonikotinoida u pčelinjim proizvodima ispod maksimalne dopuštene razine ostataka (Mitchell i sur., 2017.).

Neonikotinoidi imaju nisku akutnu toksičnost za sisavce, ptice i ribe, (Tomizawa i Casida, 2005.). Djelatne tvari imidakloprid, klotianidin, dinotefuran i tiametoksam vrlo su toksične za pčele, tiakloprid i acetamiprid srednje su toksični za pčele, a pčele izložene subletalnim dozama neonikotinoida mogu doživjeti probleme s letenjem i navigacijom, gubitkom osjećaja okusa te problema kod učenja novih zadataka, što može utjecati na njihovu sposobnost hranjenja (Hopwood i sur., 2012.). Također, pčelama izloženima subletalnim dozama neonikotinoida smanjuje se mogućnost prezimljenja (Lu i sur., 2014.).

Stoga se uz pozitivne učinke insekticida iz skupine neonikotinoida u suzbijanju štetnika, za njihovu primjenu vežu negativne pojave, prije svega pojačan pomor pčela.

Kao i kod utvrđivanja štetnosti insekticida iz skupine neonikotinoida za pčele i ostale oprašivače, tako i kod utvrđivanja posljedica njihove zabrane, rezultati provedenih znanstvenih istraživanja i mišljenja znanstvenika značajno odstupaju. Povećanje poljoprivredne proizvodnje i potreba očuvanja pčelinjih zajednica smatraju se proturječjima i stoga je potrebno provesti širu raspravu kako bi se postigli komplementarni ciljevi očuvanja pčela i ostalih oprašivača i održivog razvoja poljoprivredne proizvodnje (Walters, 2016.).

UZROCI ZABRANE

Veliki ekonomski značaj i iznimna uloga pčela u oprašivanju kultiviranog i samoniklog bilja (Iwasa i sur., 2004.) problemu pomora pčelinjih zajednica daje posebno značenje. Od 1981. do 2005. godine u Sjedinjenim Američkim Državama smanjen je broj pčelinjih zajednica s 4,2 na 2,4 milijuna (Johnson i sur. 2010., cit. Mirjanić i Mitrić, 2012.), a u južnoj Europi došlo je do gubitka od oko 40 % zajednica (Tapparo i sur., 2012.).

Među uzrocima koji su doveli do velikih gubitaka u pčelarstvu u mnogim zemljama ističu se sve veći broj patogena, invazivne vrste, izloženosti pesticidima, smanjenja genske raznolikosti te lošeg pčelarenja (Cepero i sur., 2014.).

Fenomen naglog gubitka pčelinjih zajednica naziva se Colony collapse disorder (CCD) (Girolami i sur., 2009.). Identificirano je više uzročnika ove pojave među kojima je i negativno djelovanje drugih štetnih organizama na pčele kao što su *Varroa destructor* (Anderson i Trueman), pojava gljivičnih bolesti i virusa, kao i smanjenje ispaše te problemi s maticom (Fairbrother i sur., 2014.). Ipak se kao jedan od najvažnijih čimbenika navodi primjena pesticida, poglavito neonikotinoida za tretiranje sjemena te korištenje pneumatskih sijačica za sjetvu (Elbert i sur., 2008., cit. Tapparo i sur., 2012.). Nakon sjetve tretirana sjemena neonikotinoidi se distribuiraju po biljci te dospijevaju u sve biljne dijelove, uključujući polen, nektar i gutacijsku tekućinu, čime se povećava izloženost oprašivača insekticidima. Zbog opravdanih sumnja koje su upućivale da je primjena neonikotinoida jedan od najvažnijih uzroka pojave poznate kao CCD, Europska je komisija 2013. godine, na preporuku Europske agencije za sigurnost hrane, donijela odluku o dvogodišnjem moratoriju (Provedbena uredba (EU) br. 483/2013.) na uporabu tri djelatne tvari insekticida iz skupine neonikotinoida (imidaklopid, tiametoksam i klotianidin) za tretiranje sjemena biljaka atraktivnih pčelama (uključujući kukuruz, šećernu repu i suncokret), s iznimkama za korištenje u zaštićenim prostorima, folijarno tretiranje nekih kultura nakon cvatnje te ozimih žitarica.

Kod folijarne primjene insekticidi mogu prouzročiti neželjene štete uništavajući korisne kukce (oprašivače i prirodne neprijatelje štetnika) na tretiranim površinama te izvan tretiranih površina, pa se tretiranje sjemena smatralo ekološki prihvatljivom alternativom kod koje je izloženost pčela značajno manja nego prilikom folijarne primjene (Cresswell, 2011.). U skladu s tim, nakon uvođenja neonikotinoida u nekim se zemljama znatno povećala sjetva tretirana sjemena. Zbog izrazite sistemčnosti i distribucije neonikotinoida primijenjenih tretiranjem sjemena u nadzemne biljne dijelove, utvrđeno je da se tretiranjem sjemena neonikotinoidima ne smanjuje izloženost pčela djelatnim tvarima (Cresswell, 2011.). Tako se u Sjedinjenim Američkim Državama, na primjeru savezne države Indiane, ističe da je čak 94 % pčela tijekom sjetve tretirana sjemena kukuruza izloženo različitim količinama neonikotinoida (Krupke i sur., 2017.).

Do trovanja pčela može doći izravno nakon folijarne primjene neonikotinoida u neposrednu kontaktu pčela s insekticidom na cvijetu, ili neizravno prilikom preleta pčela iznad prethodno tretirane površine (Mirjanić i Mitrić, 2012.). Nektar i polen mogu biti kontaminirani nakon folijarne primjene ili kao posljedica distribucije neonikotinoida primijenjenih tretiranim sjemenom, pri čemu koncentracija neonikotinoida može biti subletalna za pčele (Wood i sur., 2017.). Pčele skupljaju polen i nektar i odnose ih u košnicu gdje se njima hrane ličinke. Na sličan način pčele mogu biti izložene kontaminaciji i insekticidnom prašinom koja nastaje tijekom aplikacije granula u tlo i tijekom sjetve tretirana sjemena (Greatti i sur., 2006.), pri čemu pčele odnose insekticidnu prašinu zajedno sa zrcima polena u košnicu. Neke biljke izlučuju gutacijsku tekućinu u kojoj se nalazi insekticid, a u nedostatku vlage, osobito u sušnim proljećima, pčele gutacijsku tekućinu koriste kao izvor vode. Koncentracija neonikotinoida u gutacijskoj tekućini ovisi o ekološkim čimbenicima kao što su količina evaporirane vode, vrijeme skupljanja u danu i protok vremena od nicanja (Girolami i sur., 2009.). Gutacijska tekućina (koja može sadržavati visoku razinu neonikotinoida) redovita je pojava u kukuruзу, rjeđe u krumpiru, a vrlo rijetko u šećernoj repi. Procijenjeno je da bi pčela trebala konzumirati 0.006 μ l gutacijske tekućine da bi se dostigla akutna oralna doza (0.0037 μ g/pčeli) (EFSA, 2013.). Usprkos ovim zabrinjavajućim podacima dobivenima iz laboratorijskih pokusa, u terenskim uvjetima, na polju kukuruza, štetni učinci gutacijske tekućine na vitalnost i razvoj kolonije nisu primijećeni (Pistorius i sur., 2011.).

Toksičnost pesticida za pčele istražuje se testom oralne i kontaktne akutne toksičnosti uz izlaganje od 24 sata ili 48 sati, a iskazuje se kao srednja letalna doza (LD_{50}) u μ g aktivne tvari po pčeli. Podatci o akutnoj toksičnosti često ne daju realnu sliku jer se pčele najčešće tijekom nekoliko tjedana kontinuirano hrane kontaminiranim nektarom. Stoga se učinak neonikotinoida na pčele puno bolje kvantificira izlaganjem cijeloga pčelinjeg društva kroz test kronične

toksičnosti (Kindenba, 2009.). Pri akutnoj toksičnosti (jednokratnoj izloženosti) imidaklopridu, LD₅₀ iznosi 0,0037 µg/pčeli, kod tiametoksama LD₅₀ iznosi 0,005 µg/pčeli, a kod klotianidina LD₅₀ iznosi 0,00379 µg/pčeli (EFSA, 2015.).

Izloženost pčela subletalnim dozama ne dovodi do njihova uginuća, već do narušavanja kognitivnih sposobnosti pčela i promjene u njihovu ponašanje. Ta je pojava vitalno značajna jer se izložene pčele radilice ne vraćaju u košnice i zbog toga ugibaju (Rortais i sur., 2005., cit. Mirjanić i Mitrić, 2012.).

Uz djelatne tvari neonikotinoide, štetni su za pčele i ostale oprašivače i njihovi metaboliti. Najčešći metaboliti imidakloprida su 5-hidroksi imidakloprid, 4-hidroksi imidakloprid, dihidroksi metabolit, olefin, gvanidin i 6-kloronikotinska kiselina (FAO, 2002., cit. Broznić, 2007.). Dva metabolita imidakloprida, 5-hidroksi imidakloprid i olefin, imaju sličnu toksičnost kao i imidakloprid jer su slične kemijske strukture (Suchail i sur., 2001.).

Od 2015. godine provedeno je više od 200 većinom laboratorijskih i manjim dijelom terenskih istraživanja u vezi s utjecajem neonikotinoide (ponajprije imidakloprida) na oprašivače. Studije su uglavnom bazirane na uzgoju kukuruza, uljane repice i suncokreta iz tretirana sjemena, a manji broj obuhvatio je povrtne i voćne kulture atraktivne oprašivačima. Iako dobiveni rezultati nedvosmisleno potvrđuju negativan učinak neonikotinoide na pčele, i dalje ostaje razjasniti kako neonikotinoide utječu na zdravlje oprašivača i kakva je njihova interakcija s ostalim stresorima iz okoliša (Valavanidis, 2018.). U tom se smislu smatra da izloženost neonikotinoidima slabi pčelama zdravlje, što dovodi do povećanja fiziološkog stresa i izloženosti patogenima (Alburaki i sur., 2015.), a zajedničko djelovanje neonikotinoide i drugih pesticida može povećati štetnost za pčele (Mitchell i sur., 2017.). Također, i kod kronične i kod subletalne izloženosti, značajna je genska osnova osjetljivosti pčela na neonikotinoide, a može značajno varirati (Sandrock i sur., 2014.).

Štetnici koji se javljaju na početku rasta biljaka, zbog kojih se sjeme kukuruza tretira neonikotinoidima, sporadično se pojavljuju i rijetko smanjuju produktivnost kukuruza, tako da načini uzgoja koji nisu u velikoj mjeri ovisni o pesticidima, mogu rezultirati visokom produktivnošću. Sjeme tretirano neonikotinoidima može umanjiti prinose ili smanjiti profit zbog smanjenja populacije organizama koji pak pomažu u smanjenju populacije štetnika (Gurian-Sherman, 2017.; Krupke i sur., 2017.). Gurian-Sherman (2017.) također navode kako istraživanja provedena u petnaestogodišnjem razdoblju nisu pokazala da su štetnici ranog porasta postali veći problem u proizvodnji.

Henry i sur. (2015.) u poljskim su uvjetima promatrali utjecaj ispaše pčela na uljanoj repici zasijanoj iz sjemena tretirana tiametoksamom te utvrdili da su i u poljskim uvjetima (kao i u laboratorijskim) vidljivi gubitci pčelinjih zajednica. Za razliku od laboratorijskih uvjeta, pčelinje zajednice u poljskim uvjetima sposobne su nadoknaditi gubitke i sačuvati nepromijenjene performanse u pogledu veličine zajednice i proizvodnje meda. To potvrđuje i istraživanje koje

su proveli Sandrock i sur. (2014.), koji su također zaključili da pčelinje zajednice prilikom kronične izloženosti tiametoksamu i klotianidinu pokazuju kratkoročno smanjenje broja pčela radilica za 28 %, legla za 13 %, proizvodnju meda za 29 % i smanjenje količine prikupljena polena za 19 %, ali su se pčelinje zajednice ipak uspjele oporaviti i uspješno su prezimile.

S druge strane, Blacquièrè i Steen (2017.) navode da je povećanje gubitaka pčelinjih zajednica više povezano sa štetnicima i parazitima na pčelama, odnosno s načinom pčelarenja, nego s korištenjem neonikotinoïda. Do sličnog zaključaka dolazi i istraživanje o gubitcima pčelinjih zajednica, provedeno u Sjedinjenim Američkim Državama u razdoblju od jeseni 2009. do zime 2010. godine, koje pesticide rangira na osmo mjesto potencijalnih uzročnika gubitka pčelinjih zajednica (van Engelsdorp, 2015.). Povećani gubici pčela uglavnom se pojavljuju u kasnu jesen i tijekom zime, odnosno mjesecima nakon primjene neonkotinoïda, kada su u leglu pčele koje, zbog kratka životna vijeka, nisu bile izložene primijenjenim insekticidima (Fairbrother i sur., 2014.).

Velik broj provedenih laboratorijskih i terenskih istraživanja pokazuje međusobne značajne razlike u ocjenama štetnosti neonikotinoïda za pčele i ostale oprašivače. Carreck i Ratnieks (2014.) smatraju da su tri osnovna čimbenika značajna za terenska istraživanja: koncentracija insekticida, trajanje izloženosti i dostupnost pčelama; iako značajna za utvrđivanje štetnosti, ipak precijenjena u mnogim laboratorijskim studijama.

Na temelju znanstvene i stručne analize mnogobrojnih provedenih istraživanja prikupljenih u okviru otvorena poziva na podnošenje podataka, Europska agencija za sigurnost hrane provela je ažurnu procjenu rizika za djelatne tvari imidakloprid, tiametoksam i klotianidin te donijela zaključke o štetnosti tih insekticida na pčele i ostale oprašivače. Pritom je procijenjena vjerojatnost kod svih načina folijarne primjene, te za tretiranje sjemena ili primjenu granula. Zaključci stručnih pregleda dani su u tablicama 1 i 2.

Tablica 1. Zaključci procjene rizika za pčele za sve načine primjene, osim tretiranja sjemena i primjene granula, za tri djelatne tvari neonikotinoïda (EFSA, 2015a.; EFSA, 2015b.; EFSA, 2015c.)

Djelatna tvar	Sve primjene osim tretiranja sjemena i granulama
Imidakloprid	Za sve odobrene uporabe identificirani su visoki rizici ili se visoki rizici nisu mogli isključiti, odnosno procjena rizika nije se mogla dovršiti. Za odobrene uporabe u trajnim staklenicima zaključen je nizak rizik za pčele, bumbare i pčele samice, za sve načine izloženosti, osim procjene rizika za pčele od ostataka u površinskim vodama, koja se nije mogla provesti prema dostupnim informacijama. Za dvije folijarne uporabe na otvorenom (rajčica i jabuka) zaključen je nizak rizik za pčele.
Klotianidin	Za sva odobrena korištenja utvrđeni su visoki rizici ili ih se nije moglo isključiti, odnosno procjena rizika nije se mogla dovršiti.

Tiametoksam	Za sve odobrene uporabe identificirani su ili nisu mogli biti isključeni visoki rizici, odnosno procjena rizika nije se mogla dovršiti. Za odobrene uporabe u trajnim staklenicima, za sve izloženosti zaključen je nizak rizik za pčele, bumbare i pčele samice, osim procjene rizika za pčele od ostataka u površinskim vodama, koja nije mogla biti dovršena.
-------------	--

Tablica 2. Zaključci procjene rizika za pčele za tretiranje sjemena i primjenu granula za tri djelatne tvari neonikotinoidea (EFSA, 2018a.; EFSA, 2018b.; EFSA, 2018c.)

Djelatna tvar	Primjena tretiranjem sjemena i granulama
Imidakloprid	Nizak rizik utvrđen je za izloženost pčela ostacima u polenu i nektaru u nekim usjevima. Kada se uzmu u obzir sve vrste oprašivača (pčele, bumbari i pčele samice), zaključen je visok rizik ili je zaključeno da nizak rizik nije pokazan za sve ocijenjene uporabe. Za izloženost ostacima insekticidne prašine utvrđen je nizak rizik kod nekih usjeva za pčele. Kada se uzmu u obzir sve skupine oprašivača (pčele, bumbari i pčele samice), zaključen je visok rizik ili je zaključeno da nizak rizik od insekticidne prašine nije dokazan za sve procijenjene uporabe. Za izloženost konzumiranjem vode, za sve namjene zaključen je nizak rizik za pčele (preko ostataka u lokvama ili preko površinskih voda). Za rezidue u gutacijskoj tekućini, za uporabu u ozimim žitaricama, šećernoj repi i krumpiru zaključen je nizak rizik za pčele. Za sve druge kulture zaključen je visok rizik.
Klotianidin	Nizak rizik zaključen je za izloženost ostacima u polenu i nektaru za neke skupine oprašivača, u raznim kombinacijama i scenarijima, a visok rizik zaključen je u drugim slučajevima. Za izloženost ostacima insekticidne prašine tijekom sjetve tretirana sjemena šećerne i stočne repe zaključen je nizak rizik za pčele, a za bumbare i pčele samice nizak rizik nije procjenom dokazan. Za sve ostale namjene na otvorenom, zaključen je visok rizik za pčele i bumbare, a za pčele samice nizak rizik nije dokazan. Za izlaganje konzumiranjem vode preko ostataka u lokvama, za sve namjene zaključen je nizak rizik za pčele. Za rezidue u gutacijskoj tekućini na ozimim žitaricama, šećernoj repi i krumpiru zaključen je nizak rizik za pčele. Za sve druge svrhe zaključen je visok rizik. Procjena rizika za pčele od izlaganja površinskim vodama nije se mogla provesti. Za kukuruz i slatki kukuruz koji se siju i uzgajaju u trajnim staklenicima, zaključen je nizak rizik za pčele, bumbare i pčele samice. Procjena rizika za uporabu granula u rasadniku šumarstva ne može se provesti s dostupnim informacijama.

Tiametoksam	Za izloženost ostacima u polenu i nektaru zaključen je nizak rizik za neke skupine oprašivača, a visok je rizik zaključen u drugim slučajevima. Za izloženost ostacima od insekticidne prašine, zaključen je nizak rizik za one namjene koje predviđaju sadnju u trajne staklenike. Za sve ostale uporabe zaključen je ili visok rizik ili procjena nije mogla biti dovršena. Za izlaganje konzumiranjem vode, putem ostataka u lokvama, za sve namjene zaključen je nizak rizik za pčele. Za ostatke u gutacijskoj tekućini kod šećerne repe, zaključen je nizak rizik za pčele. Za sve druge svrhe zaključen je visok rizik. Procjena rizika za pčele od izlaganja površinskim vodama nije se mogla provesti.
-------------	---

Nakon provedenih dodatnih istraživanja, a zbog utvrđenih štetnosti neonikotinoida za pčele, Europska komisija donijela je odluku o zabrani uporabe imidakloprida, klotianidina i tiametoksama (Službeni list Europske unije 2018.; 2018.a; 2018.b).

Također, Europska je komisija u siječnju 2020., na preporuku EFSA-e (2019.), donijela odluku o privremenu produženju licencije za korištenje tiakloprida do 30. travnja 2020. godine, s tim da su države članice trebale donijeti odluku o ukidanju odobrenja za taiklopid najkasnije do 3. kolovoza 2020. godine. Sve eventualne odgode moraju isteći najkasnije do 3. veljače 2021. godine (Službeni list Europske unije, 2020.). Ova je odluka donesena zbog bojazni od negativnog utjecaja djelatne tvari tiaklopid i njegovih metabolita na okoliš, a posebno na podzemne vode, kao i na zdravlje ljudi zbog reproduktivne toksičnosti. Na ovaj je način u EU-u zabranjen i četvrti neonikotinoid, tiaklopid.

POSLEDICE ZABRANE

Prema procjenama (FAO, 2009.), u razdoblju od 2005./2007. godine do 2050. godine, zbog povećanja svjetske populacije, bit će potrebno povećati proizvodnju hrane za 70 %, što nije lako postići s obzirom na ograničenu dostupnost zemljišta za poljoprivrednu proizvodnju te povećano korištenje zemljišta za uzgoj energetskih kultura. Dodatan je problem u osiguranju stabilnih prinosa pojava rezistentnosti štetnika koju se sve teže može odgađati zbog sve manjeg broja dopuštenih djelatnih tvari insekticida. Pojava rezistentnosti jedan je od glavnih nedostataka primjene klasičnih kemijskih insekticida u suzbijanju štetnika. Među ostalim sprječava se i pravilnom izmjenom insekticida različitih mehanizama djelovanja (Bažok i Lemić, 2017.).

Prije i odmah nakon privremenih zabrana mnogi su autori predviđali potencijalne agronomske i ekonomske posljedice potpunog ili djelomičnog ograničenja, kao i posljedice koje će imati za okoliš (Walters, 2013.; Ionel, 2014.; Furlan i Kreutzweiser, 2015.; Matyjaszczyk i sur., 2015.; Simon-Delso i sur., 2015.; Hauer i sur., 2017.). Ta su se predviđanja temeljila na pregledu literature, podacima prikupljenima od poljoprivrednika, industrije ili

.....

stručnjaka. Opći zaključak bio je da će ograničenja uporabe neonikotinoida tretiranjem sjemena rezultirati povećanjem folijarne primjena insekticida i/ili promjenama u metodama suzbijanja štetnika. Bažok i Lemić (2018.) navode da su se u Hrvatskoj, kao i u većini zemalja EU-a, neonikotinoide upotrebljavali na gotovo 30 % proizvodnih površina. S obzirom na zabranu proizvođači će se trebati preusmjeriti na korištenje alternativnih insekticida koji trenutačno imaju dozvolu za uporabu. I ti insekticidi imaju svoje nedostatke (slabiji učinak, veća cijena, složenija primjena, jedinstven mehanizam djelovanja i dr.). Stoga se predviđa da će zabrana neonikotinoida rezultirati povećanim problemima u vezi s pojavom štetnika u poljoprivrednim usjevima, lošijim ekonomskim učincima te u konačnici odustajanjem od proizvodnje nekih kultura. Potrebno je analizirati sve kritične proizvodnje i namjene i da se derogacijama pokuša prevenirati probleme barem za neko vrijeme, do pronalaska alternativnih rješenja.

Upravo zbog zabrane neonikotinoida u Europskoj uniji, došlo je do smanjenja mogućnosti izmjene insekticida različitih mehanizama djelovanja te do povećanje folijarne primjene insekticida iz skupine piretroida, što je u konačnici i dovelo do pojave rezistentnosti štetnika na tu skupinu insekticida u uljanoj repici (Dewar, 2017.). Kao što je i predviđeno, zbog širokog spektra djelovanja i učestale uporabe, kao i zbog nedostatka adekvatne zamjene za zabranjene neonikotinoide, poljoprivrednim proizvođačima u Europskoj uniji pojavili su se mnogi problemi. Ponajprije pojava rezistentnosti štetnika na starije, prije korištene insekticide, pa i smanjenje prinosa i kvalitete uroda. Također, povećala se folijarna primjena insekticida.

Primjena neonikotinoida za tretiranje sjemena šećerne repe nije bila predmet prve preliminarne zabrane zato što se insekticidi na sjeme šećerne repe nanose piliranjem, čime se sprječava otpuštanje insekticidne prašine, a sjetva se provodi ranije u proljeće kada su pčele manje aktivne. Također, šećerna repa ne proizvodi gutacijsku tekućinu, a s obzirom na to da je dvogodišnja biljka, ne cvate u prvoj godini kada se dobiva korijen koji je primaran cilj uzgoja. Stoga se šećerna repa ne smatra biljkom koja je atraktivna za pčele. Hauer i sur. (2017.) analizirali su pojavu štetnika na šećernoj repi i zaključili da, u proizvodnim uvjetima sjeverne i srednje Europe, insekticidi za tretiranje sjemena pružaju adekvatnu zaštitu od lisnih uši, prijenosnika virusa šećerne repe. Istodobno zaključuju da se uši ne javljaju redovito te predlažu da se razviju sustavi i modeli praćenja kako bi se identificirale regije (i godine) s visokim rizikom od pojave štetnika i omogućila uporaba tretmana sjemena neonikotinoidima samo kada je vjerojatan visok pritisak štetnika. U svojoj analizi bavili su se proizvodnjom šećerne repe u zemljama sjeverozapadne Europe, a nisu uzimali u obzir različite klimatske uvjete i pojavu štetnika u istočnoj i jugoistočnoj Europi, gdje probleme u proizvodnji uglavnom uzrokuju repin buhač i repina pipa. Pritom je repin buhač redovit štetnik koji se iznimno uspješno suzbija

.....

tretiranjem sjemena. U studijama koje je provela EFSA (EFSA 2018.a.; 2018.b.; 2018.c.) utvrđena je niska razina rizika prilikom izloženosti pčela izravnom kontaktu s biljkom, kontaktu s korovima u tretiranu usjevu, kontaktu s biljkama na rubu polja i susjednim biljkama, gutacijskoj tekućini i putem ocjeditih voda. Istraživanje kojim se utvrđuje razina rizika prilikom izloženosti pčela površinskim vodama nije dovršeno, a jedini visok rizik utvrđen je za kulture koje slijede u plodoredu. Pritom su žitarice koje često slijede šećernu repu u plodoredu tretirane kao biljke atraktivne za pčele. Istraživanje provedeno u Hrvatskoj (Virić Gašparić i sur., 2020.) pokazalo je da tretiranje sjemena šećerne repe neonikotinoidima ostavlja minimalan trag u biljkama jer dolazi do njihove potpune razgradnje. Na dva polja uočeno je različito ponašanje u pogledu ostataka u tlu. Suhi uvjeti, nesposobnost ispiranja ili neredovito ispiranje mogu rezultirati većim koncentracijama ostataka neonikotinoide u tlu, što može biti potencijalan rizik za sljedeće usjeve.

Situacija koja je eskalirala u Francuskoj 2020. godine potvrđuje da bi se zabrana za tretiranje sjemena šećerne repe trebala dodatno razmotriti. Naime, poljoprivrednici u Francuskoj ukazali su da je zbog velikog pritiska lisnih uši i pojave virusa na šećernoj repi došlo do značajnog pada prinosa, na nekim poljima čak do 50 %. Pad prinosa dodatno, uz prije zabilježen pad cijena šećera koji je već doveo do zatvaranja nekih tvornica šećera, ugrožava opstanak proizvodnje šećerne repe. Na temelju ovih argumenata francuska je vlada odlučila derogacijom dopustiti uporabu neonikotinoide za tretiranje sjemena šećerne repe sljedeće tri godine (Reuters, 2021.).

U Velikoj se Britaniji 10 do 11 % od ukupno obradivih površina koristi za sjetvu uljane repice. Dewar (2017.) je, pregledom provedenih istraživanja, utvrdio da su u sezoni 2014./2015. gubitci prinosa uljane repice, kao posljedice zabrane tretiranja sjemena, na nacionalnoj razini iznosili između 2,7 % i 14 %. U 2015. godini gubitci na nacionalnoj razini iznosili su 1 %. U toj su sezoni, zbog jake pojave repičina crvenoglava buhača (*Psylliodes chrysocephalus* Lin.), dobili odobrenje Europske unije da u četiri regije (na oko 30 000 ha) za suzbijanje štetnika koriste zabranjene neonikotinoide. Uz gubitke prinosa, evidentno je i smanjenje površina zasijanih uljanom repicom od 10 do 11 %. Smanjenje proizvodnje uljane repice s druge se strane negativno odražava na raspoloživost ispaše za pčele, s obzirom na to da je na područjima na kojima se uzgaja uljana repica u vrijeme cvatnje uglavnom jedino dostupna pčelinja ispaša. Također je zabilježena povećana folijarna primjena insekticida iz skupine piretroide na koje je 95 % populacije zelene breskvine uši (*Myzus persicae* Sulz.) razvilo rezistentnost.

Jactel i sur. (2019.) proveli su dvogodišnji (2016. – 2017.) sveobuhvatni pregled i procjenu svih mogućih alternativa za pet neonikotinoide u Francuskoj, koji imaju odobrenje za suzbijanje kukaca u Europskoj uniji. Razmatrano je korištenje sintetskih i prirodnih kemijskih insekticida, biološko suzbijanje s

makroorganizmima, uključujući predatore i parazitoide, biološko suzbijanje s mikroorganizmima, uključujući patogene gljivice, viruse i bakterije, korištenje agrotehničkih mjera, repelenata, mehaničke metode suzbijanja te genetički unaprijeđene vrste otporne na štetnike. Bile su razmatrane 152 specifične namjene neonikotinoidea, na 120 biljaka i 279 štetnika, ukupno 2968 studija. U 71 % slučajeva identificirane su kemijske i nekemijske alternative za neonikotinoide, u 18 % slučajeva jedino su insekticidi bili alternativa za neonikotinoide, u 7 % slučajeva neonikotinoidi su zamjenjivi samo s nekemijskim rješenjima, a u 4 % slučajeva nije nađena zamjena za neonikotinoide. Također je zaključeno da se kukci koji se hrane na listu i cvijetu, za razliku od onih koji se hrane na stabljici ili korijenu, lakše suzbijaju nekemijskim mjerama. Značajno je da alternativne metode nisu nužno morale biti sigurne za okoliš, jer se u obzir nije uzimala štetnost alternativnih insekticida, niti su sagledani ekonomski učinci predloženih mjera.

U osam europskih regija, u Italiji, Francuskoj, Španjolskoj, Njemačkoj, Češkoj Republici, Engleskoj i Mađarskoj, u prvoj godini nakon zabrane uporabe neonikotinoidea provedeno je istraživanje na kukuruзу, uljanoj repici i suncokretu da bi se utvrdili alternativni načini suzbijanja štetnika (Kathage i sur., 2017.). U provedbi četiriju studija poljoprivrednici su sijali netretirano sjeme, u trima su sijali sjeme tretirano s djelatnim tvarima neonikotinoidea koje nisu obuhvaćene restrikcijama ili sjeme tretirano piretroidima, a u pet su povećali uporabu granuliranih pripravaka insekticida za primjenu u tlu, odnosno insekticide su koristili folijarno. Ostale promjene u pristupu suzbijanju štetnika kretale su se u rasponu od povećanje gustoće sjetve do češćeg monitoringa štetnika. Mnogi su poljoprivrednici potvrdili da su se vrijeme, troškovi i količina insekticida potrebnih za zaštitu usjeva povećali, zajedno s pritiskom štetnika, a sjeme tretirano alternativnim insekticidima percipirano je kao manje učinkovit način zaštite nego sjetva sjemena tretiranih zabranjenim neonikotinooidima.

Studija koju su proveli Veres i sur. (2020.) temeljena na izvješćima eksperata i pregledu znanstvene literature pokazala je da: (a) u većini proizvodnih sustava populacije štetnika rijetko prelaze ekonomski prag i ponovna široka (često profilaktička) uporaba insekticida često je neopravdana; (b) dostupne su učinkovite mjere i alati za integriranu zaštitu koje mogu trenutačno smanjiti primjenu neonikotinoidea ili je učiniti nepotrebnom; i (c) da postupno ukidanje insekticida može pomoći u poboljšanju ili održavanju prihoda na razini farme.

U poljskom pokusu provedenu u Hrvatskoj (Jukić i sur., 2015.) utvrđeno je da se tretiranjem sjemena kukuruza insekticidima mogu postići viši prinosi nego kod sjetve sjemena tretirana samo fungicidom, a u poljskom pokusu provedenu u Srbiji (Gvozdenac i sur., 2019.) utvrđeno da insekticidi Sonido (djelatna tvar tiakloprid iz skupine neonikotinoidea) i Semafor (djelatna tvar teflutrin iz skupine piretroida) mogu biti alternativa zabranjenim insekticidima iz skupine

neonikotinoida u tretiranju sjemena suncokreta. No činjenica da se od 2020. godine, u svim zemljama članicama Europske unije, nije produžila dozvola za uporabu djelatne tvari tiakloprid iz skupine neonikotinoida, dodatno se sužava izbor insekticida na tržištu koji mogu pružiti adekvatnu zaštitu ratarskim kulturama.

ZAKLJUČAK

Neonikotinodi su najčešće korišteni insekticidi u svijetu. Imaju jako insekticidno djelovanje. Primjenjuju se tretiranjem sjemena, u obliku granula i folijarno. Pčele i ostali oprašivači mogu biti izloženi kontaminaciji neonikotinoidima preko insekticidne prašine nastale za vrijeme aplikacije granula i sjetve tretirana sjemena, te zbog sistemičnog djelovanja i nakon folijarne primjene putem konzumacije nektara i polena te konzumacijom gutacijske tekućine.

Zbog sumnje na negativan utjecaj neonikotinoida na pčele i ostale oprašivače, Europska je komisija u 2013. godini privremeno, a nakon dodatnih istraživanja koja su potvrdila visoku opasnost za oprašivače, 2018. trajno zabranila uporabu djelatnih tvari imidakloprid, tiametoksam i klotianidin za sva korištenja, osim u trajnim staklenicima. U siječnju 2020. Europska je komisija zbog bojazni od negativnog utjecaja djelatne tvari tiakloprida i njegovih metabolita na okoliš, a posebno na podzemne vode, kao i na zdravlje ljudi zbog reproduktivne toksičnosti, naložila zemljama članicama da oduzmu odobrenja za tu djelatnu tvar, najkasnije do 3. kolovoza 2020. godine, a sve odgode koje članice donesu moraju isteći najkasnije do 3. veljače 2021. godine.

Rezultati brojnih studija pokazali su da se osim akutne i kronične toksičnosti negativan utjecaj neonikotinoida ogleda u učinku subletalnih doza kojima su izložene populacije oprašivača.

Zabrana korištenja djelatnih tvari imidakloprida, tiametoksama, klotianidina, a na kraju i tiakloprida u zemljama Europske unije očekivano je dovela do velikih promjena u ratarskoj proizvodnji. S jedne strane došlo je do povećanja pojave štetnika, kao i do pojave rezistentnosti štetnika na starije, prije korištene insekticide, do smanjenja prinosa i kvalitete uroda, a značajno se povećala i folijarna primjena insekticida. Tretiranjem sjemena alternativnim insekticidima, koji imaju odobrenja za uporabu, mogu se postići očekivani prinosi i zaštita od štetnika. Pozitivne strane zabrane koje ne uključuju analizu stanja pčelinjih zajednica, svakako su uvođenje i implementacija alternativnih metoda suzbijanja štetnika i znanstveni dokazi koji pokazuju da je usprkos smanjenoj mogućnosti odabira i primjene insekticida moguće održavanje stabilnih prihoda proizvođača uz smanjenu uporabu insekticida.

BAN OF NEONICOTINOIDS IN ARABLE CROPS,

CAUSES AND CONSEQUENCES

ABSTRACT

The use of neonicotinoids in pest control began in the 1990s. In 2018, due to the negative effects on bees, the European Commission banned the use of three active ingredients of neonicotinoids in all EU member states: imidacloprid, thiamethoxam and clothianidin, for all types of use except in permanent greenhouses and for plants that will spend their entire life indoors. The aim of this paper is to analyze the reasons for the ban on neonicotinoids and, based on previous experience from many countries, to examine the consequences of the ban on crop production. The results of numerous studies have shown that the negative effects of neonicotinoids are reflected in the effects of sublethal doses to which pollinator populations are exposed, in addition to acute and chronic toxicity. The ban on the use of the active ingredients imidacloprid, thiamethoxam, clothianidin and finally thiacloprid in the countries of European Union is likely to have led to major changes in crop production. On the one hand, there was an increase in pest incidence as well as the emergence of pest resistance to older, previously used insecticides, a decline in yield and crop quality, and a significant increase in foliar application of insecticides, particularly from the pyrethroid group. The positive aspects of the ban from an agronomic point of view are the introduction and implementation of alternative pest control methods as well as scientific findings showing that it is possible to maintain stable agricultural incomes with a reduced use of insecticides despite the limited options for insecticide selection and application.

Key words: alternative methods, European Union, neonicotinoids, field crops, ban

LITERATURA

Alburaki, M., Boutin, S., Mercier, P. L., Loublier, Y., Chagnon, M., Derome, N. (2015.). Neonicotinoid-Coated Zea mays Seeds Indirectly Affect Honeybee Performance and Pathogen Susceptibility in Field Trials. *PLoS ONE*, 10(5).

Bažok, R., Lemić, D. (2017.). Rezistentnost štetnika na insekticide. *Glasilo biljne zaštite*, 17(5), 429-438.

Bažok, R., Lemić, D. (2018.). Posljedice zabrane neonikotinoida za poljoprivrednu proizvodnju Republike Hrvatske. *Glasilo biljne zaštite*, 18(4), 407-412.

Blacquièrè, T., Van der Steen, J. (2017.). Three years of banning neonicotinoid insecticides based on sub-lethal effects: can we expect to see effects on bees? *Pest Management Science*, 73, 1299-1304.

Bredeson, M., Lundgren, J. (2015.). Thiamethoxam Seed Treatments Have No Impact on Pest Numbers or Yield in Cultivated Sunflowers. *Journal of Economic Entomology*, 108(6), 2665-2671.

.....

Broznić, D. (2007.). Studija razgradnje imidakloprida u tlu, maslinama i maslinovom ulju. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb.

Carreck, N. L., Ratnieks, F. L. W. (2014.). The dose makes the poison: have “field realistic” rates of exposure of bees to neonicotinoid insecticides been overestimated in laboratory studies? *Journal of Apicultural Research*, 53(5), 607-614.

Cepero, A., Ravoet, J., Gómez-Moracho, T., Bernal, J. L., Del Nozal, M. J., Bartolomé, C., Maside, X., Meana, A., González-Porto, A., de Graaf, D. C., Martín-Hernández, R., Higes, M. (2014.). Holistic screening of collapsing honey bee colonies in Spain: a case study. *BMC Research Notes*, 7, 649.

Craddock, A. H., Huang, D., Turner, C. P., Quirós-Alcalá, L., Payne-Sturges, C. D. (2017.). Trends in neonicotinoid pesticide residues in food and water in the United States, 1999–2015. *Environmental Health*, 18 (7).

Cresswell, J. E. (2011.). A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. *Ecotoxicology*, 20(1), 149-157.

Dewar, M. A. (2017.). The adverse impact of the neonicotinoid seed treatment ban on crop protection in oilseed rape in the United Kingdom. *Pest Management Science*, 73, 1305–1309.

EFSA (2013.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance imidacloprid. *EFSA Journal*, 11(1), 3068.

EFSA (2015.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance imidacloprid considering all uses other than seed treatments and granules. *EFSA Journal*, 13(8), 4211.

EFSA (2015.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance thiamethoxam considering all uses other than seed treatments and granules. *EFSA Journal*, 13 (8), 4212.

EFSA (2015.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance clothianidin considering all uses other than seed treatments and granules. *EFSA Journal*, 13 (8), 4210.

EFSA (2018.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance clothianidin considering the uses as seed treatments and granules. *EFSA Journal*, 16(2), 5177.

EFSA (2018.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance imidacloprid considering the uses as seed treatments and granules. *EFSA Journal*, 16(2), 5178.

EFSA (2018.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance thiamethoxam. *EFSA Journal*, 16(2), 5179.

EFSA, Abdourahime, H., Anastasiadou, M., Arena, M., Auteri, D., Barmaz, S., Brancato, A., Brocca, D., Bura, L., Carrasco Cabrera, L., Chiusolo, A., Civitella, C., Court Marques, D., Crivellente, F., Ctverackova, L., De Lentdecker, C., Egsmose, M., Fait, G., Ferreira, L., Gatto, V., Greco, L., Ippolito, A., Istace, F., Jarrah, S., Kardassi, D., Leuschner, R., Lostia, A., Lythgo, C., Magrans, J. O., Medina, P., Messinetti, S., Mineo, D., Miron, I., Nave, S., Molnar, T., Padovani, L., Parra Morte, J. M., Pedersen, R., Raczky, M., Reich, H., Ruocco, S., Saari, K. E., Sacchi, A., Santos, M., Serafimova, R., Sharp, R., Stanek, A., Streissl, F., Sturma, J., Szentes, C., Tarazona, J., Terron, A., Theobald, A., Vagenende, B., Vainovska, P., Van Dijk, J., Verani, A., Villamar-Bouza, L. (2019.). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active

substance thiacloprid. EFSA Journal, 17(2), 5595.

Fairbrother, A., Purdy, J., Anderson, A., Fellk, R. (2014.). Risks of Neonicotinoid Insecticides to Honeybees. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(4), 719-731.

FAO (2009.). *Global agriculture towards 2050.*, dostupno na: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/lon/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf (pristupljeno: 15. 2. 2021.)

FIS portal (2021.). Popis registriranih sredstava za zaštitu bilja, dostupno na: <https://fis.mps.hr/trazilicaszb/>, (pristupljeno: 20. 2. 2021.)

Furlan, L., Kreuzweiser, D. (2015.) Alternatives to neonicotinoid insecticides for pest control: case studies in agriculture and forestry. *Environmental Science Pollution Research*, 22(1), 135–147.

Girolami, V., Mazzon, L., Squartini, A., Mori, N., Marzaro, M., Di Bernardo, A., Greatti, M., Giorio, C., Tapparo, A. (2009.). Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seedling guttation drops: a novel way of intoxication for bees. *Journal of economic entomology*, 102(5), 1808-1815.

Goulson, D. (2013.). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50, 977–987.

Greatti, M., Barbattini, R., Stravis, A., Sabatini, A. G., Rossi, S. (2006.). Presence of the a.i. imidacloprid on vegetation near corn fields sown with Gaucho® dressed seeds. *Bulletin of Insectology*, 59 (2), 99-103.

Gvozdenac, S., Ovuka, J., Miklič, V., Cvejić, S., Tanasković, S., Bursić, V., Sedlar, A. (2019.). The effect of seed treatments on wireworm (Elateridae) performance, damages and yield traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 20(4), 1188-1200.

Gurian-Sherman, D. (2017.). Alternatives to neonicotinoid insecticide-coated corn seed: agroecological methods are better for farmers and the environment. Center for Food Safety, dostupno na: www.centerforfoodsafety.org/reports (pristupljeno 20. 4. 2020.)

Hauer, M., Hansen, A. L., Manderyck, B., Olsson, Å., Raaijmakers, E., Hanse, B., Stockfisch, N., Märlander, B. (2017.). Neonicotinoids in sugar beet cultivation in Central and Northern Europe: Efficacy and environmental impact of neonicotinoid seed treatments and alternative measures. *Crop Prot.* 93(1), 132–42.

Henry, M., Cerrutti, N., Aupinel, P., Decourtye, A., Gayrard, M., Odoux, J. F., Pissard, A., Ruger, C., Bretagnolle, V. (2015.). Reconciling laboratory and field assessments of neonicotinoid toxicity to honeybees. *Proc. R. Soc. B*, 282, 20152110.

Hladik, L. M., Main, R. A., Goulson, D. (2018.). Environmental Risks and Challenges Associated with Neonicotinoid Insecticides. *Environmental Science & Technology*, 52(6), 3329-3335.

Hopwood, J., Vaughan, M., Shepherd, M., Biddinger, D., Mader, E., Hoffman Black, S., Mazzacano, C. (2012.). Are neonicotinoids killing bees? A Review of Research into the Effects of Neonicotinoid Insecticides on Bees, with Recommendations for Action. The Xerces Society for Invertebrate Conservation, Portland, dostupno na: http://cues.cfans.umn.edu/old/pollinators/pdf-pesticides/Are-Neonicotinoids-Killing-Bees_Xerces-Society.pdf (pristupljeno: 14. 3. 2020.)

Ionel, I. (2014.). Regulation implications on banning the treatment of seeds with neonicotinoid insecticides on the seed market in Romania. *Lucrari Stiintifice*,

Universitatea de Stiinte Agricole Si Medicina Veterinara a Banatului, Timisoara, Seria I, Management Agricol, 16(2), 223-228.

Iwasa, T., Motoyama, N., Ambrose, T. J., Roe, M. R. (2004.). Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Protection*, 23(5), 371-378.

Jactel, H., Verheggen, F., Thiéry, D., Escobar-Gutiérrez, A. J., Gachet, E., Desneux, N. (2019.). Alternatives to neonicotinoids. *Environment International*, 129, 423–429.

Janjić, V. (2005). *Fitofarmacija*. Beograd, Društvo za zaštitu bilja Srbije.

Jeschke, P., Nauen, R., Schindler, M., Elbert, A. (2011.). Overview of the status and global strategy for neonicotinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 2897-2908.

Jukić, G., Šunjić, K., Varnica, I., Mijić, Z., Beraković, I. (2015.). Utjecaj tretiranja sjemena insekticidima na prinos zrna kukuruza. *Proceedings of 50th Croatian and 10th International Symposium on Agriculture Pospišpil, M. (ur.)*. Opatija, Croatia, 235–238.

Kathage, J., Castañera, P., Alonso-Prados, J. L., Gómez-Barberoa, M., Rodríguez-Cerezo, M. (2017.). The impact of restrictions on neonicotinoid and fipronil insecticides on pest management in maize, oilseed rape and sunflower in eight European Union regions. *Pest Management Science*, 74(1), 88–99.

Kindenba, V. (2009.). The impact of neonicotinoid insecticides on bumblebees, Honey bees and other non-target invertebrates. *Edinburgh entomological Club*, dostupno na: <http://cues.cfans.umn.edu/old/pollinators/pdf-EU/2009bugliferevised.pdf> (pristupljeno: 20. 03. 2020.)

Krupke, C. H., Holland, J. D., Long, E. Y., Eitzer, B. D. (2017.). Planting of neonicotinoid-treated maize poses risks for honey bees and other non-target organisms over a wide area without consistent crop yield benefit. *Journal of Applied Ecology*, 54. 1449–1458.

Laurino, D., Porporato, M., Patetta, A., Manino, A. (2011.). Toxicity of neonicotinoid insecticides to honey bees: laboratory test. *Bulletion of Insectology*, 64(1),107-113.

Lu, C., Warchol, M. K., Callahan, A. R. (2014.). Sub-lethal exposure to neonicotinoids impaired honey bees winterization before proceeding to colony collapse disorder. *Bulletin of Insectology*, 67(1), 125-130.

Maceljki, M., Cvjetković, B., Ostojić, Z., Igrc Barčić, J., Pagliarini, N., Oštrec, Lj., Barić, K., Čizmić, I. (2004.). Štetočinke povrća. Čakovec, Zrinski d.d.

Matyjaszczyk, E., Sobczak, J., Szulc, M. (2015.). Is the possibility of replacing seed dressings containing neonicotinoids with other means of protection viable in major Polish agricultural crops? *Journal of Plant Protection Research*, 55 (4), 329-335.

Mirjanić, G., Mitrić, S. (2012.). Uticaj pesticida na medonosnu pčelu. *Proceedings of 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia*, 605–609, dostupno na: http://sa.agr.hr/pdf/2012/sa2012_p0608.pdf (pristupljeno: 15. 12. 2012.)

Mitchell, E., Mulhauser, B., Mulot, M., Mutabazi, A., Glauser, G., Aebi, A. (2017.). A worldwide survey of neonicotinoids in honey. *Science*, 358 (6359), 109-111.

Pistorius, J., Brobyn, T., Campbell, P., Forster, R., Lortsch, J., Marolleau, F., Maus, C., Lückmann, J., Suzuki, H., Wallner, K., Beckee, R. (2011.). Assessment of risks to honey bees posed by guttation. 11th International Symposium of the ICP-BR Bee Protection Group, Wageningen (The Netherlands), November 2-4.

Reuters (2021.) France to ease pesticide ban for sugar beet to curb crop losses. Dostupno na: <https://www.reuters.com/article/us-france-sugar-pesticides-idUSKCN25210F>, (pristupljeno: 11. 2. 2021.)

Sandrock, C., Tanadini, M., Tanadini L. G., Fauser-Misslin, A., Potts, S. G., Neumann, P. (2014.). Impact of Chronic Neonicotinoid Exposure on Honeybee Colony, Performance and Queen Supersedure. *PLoS ONE*, 9(8).

Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bonmatin, J. M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D. V., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreutzweiser, D. P., Krupke, C.H., Liess, M., Long, E., McField, M. Mineau, P., Mitchell, E. A. D., Morrissey, C. A., Noome, D. A., Pisa, L., Settele, J., Stark, J. D., Tapparo, A., Van Dyck, H., Van Praagh, J., Van der Sluijs, J. P., Whitehorn, P. R., Wiemers, M. (2015.). Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science Pollution Research*, 22, 5–34.

Službeni list Europske unije (2013.). Provedbena uredba Komisije (EU) br. 485/2013 od 24. svibnja 2013. dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0485&qid=1613758917383&from=HR>, (pristupljeno: 19. 2. 2021.)

Službeni list Europske unije (2018.) Provedbena uredba Komisije (EU) 2018/783 od 29. svibnja 2018. dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0783&qid=1613759219801&from=HR>, (pristupljeno: 19. 02. 2021.)

Službeni list Europske unije (2018.a) Provedbena uredba Komisije (EU) 2018/784 od 29. svibnja 2018. dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0784&qid=1613760743727&from=HR>, (pristupljeno: 19. 02. 2021.)

Službeni list Europske unije (2018.b) Provedbena uredba Komisije (EU) 2018/785 od 29. svibnja 2018. dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0785&qid=1613760877413&from=HR>, (pristupljeno: 19. 02. 2021.)

Službeni list Europske Unije (2020.) Provedbena uredba Komisije (EU) 2020/23 od 13. siječnja 2020. dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0023&qid=1613761027091&from=HR>, (pristupljeno: 19. 02. 2021.)

Suchail, S., Guez, D., Belzunces, P. L. (2001.). Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(11), 2482-2486.

Tan, J., Galligan, J.J., Hollingworth, R.M. (2007.). Agonist actions of neonicotinoids on nicotinic acetylcholine receptors expressed by cockroach neurons. *NeuroToxicology*, 28, 829-842.

Tapparo, A., Marton, D., Giorio, C., Zanella, A., Soldà, L., Marzaro, M., Vivan, L. Girolami, V. (2012.). Assessment of the environmental exposure of honeybees to particulate matter containing neonicotinoid insecticides coming from corn coated seeds. *Environmental Science & Technology*, 46(5), 2592-2599.

Tomizawa, M., Casida, E. J. (2005.). Neonicotinoid insecticide toxicology: Mechanisms of Selective Action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 45, 247–268.

-
- Valavanidis, A.** (2018.). Neonicotinoid insecticides. Banned by the European Union in 2018 after scientific studies concluded that harm honey bees, dostupno na : https://www.researchgate.net/publication/325988661_Neonicotinoid_Insecticides_Banned_by_the_European_Union_in_2018_after_Scientific_Studies_Concluded_their_Use_Harm_Honey_Bees (pristupljeno: 23. 03. 2020.)
- van Engelsdrop, D., Hayes, J, Jr., Underwood, R. M., Caron, D., Pettis, J.** (2011.). A survey of managed honey bee colony losses in the USA, fall 2009 to winter 2010. *Journal of Apicultural Research*, 50(1), 1-10
- Veres, A., Wyckhuys, K.A.G., Kiss, J., Toth, F., Burgio, G., Pons, X., Avilla, C., Vidal, S., Razinger, J., Bažok, R., Matyjaszczyk, E., Milosavljević, I., Vi Le, J., Zhou, W., Zhu, Z.R., Tarno, H., Hadi, B., Lundgren, J., Bonmatin, J.M., van Lexmond, M.B., Aebi, A., Rauf, A., Furlan, L.** (2020.). An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic pesticides. Part 4: Alternatives in major cropping systems. *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09279-x>
- Virić Gašparić, H., Grubelić, M., Dragović Uzelac, V., Bažok, R., Čačija, M., Drmić, Z., Lemić, D.** (2020.): Neonicotinoid Residues in Sugar Beet Plants and Soil under Different Agro-Climatic Conditions. *Agriculture* 10, 484.
- Walters, K.** (2013.). Data, data everywhere but we don't know what to think? Neonicotinoid insecticides and pollinators. *Outlooks on Pest Management*, 24 (4), 151-155. https://DOI: 10.1564/v24_aug_02
- Walters, K. F. A.** (2016.). Neonicotinoids, bees and opportunity costs for conservation. *Insect Conservation and Diversity*, 9, 375–383.
- Wood, T.J., Goulson, D.** (2017.). The environmental risks of neonicotinoid pesticides: a review of the evidence post 2013. *Environmental Science Pollution Research*, 24, 17285–17325.

Pregledni rad