Uloga solitarnih pčela u ekosustavu

Igaly, Ema

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:896570

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

ULOGA SOLITARNIH PČELA U EKOSUSTAVU

DIPLOMSKI RAD

Ema Igaly

Zagreb, rujan, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Ekološka poljoprivreda i agroturizam

ULOGA SOLITARNIH PČELA U EKOSUSTAVU

DIPLOMSKI RAD

Ema Igaly

Mentor:

prof. dr. sc. Dragan Bubalo

Zagreb, rujan, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Ema Igaly**, JMBAG 0178106969, rođena 04.10.1996. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

ULOGA SOLITARNIH PČELA U EKOSUSTAVU

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Ema Igaly**, JMBAG 0178106969, naslova

ULOGA SOLITARNIH PČELA U EKOSUSTAVU

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:			potpisi:
1.	prof. dr. sc. Dragan Bubalo	mentor	_____
2.	doc. dr. sc. Lidija Svečnjak	član	_____
3.	prof. dr. sc. Renata Bažok	član	_____

Zahvala

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Draganu Bubalu. Hvala roditeljima i sestrama što su me poticali tijekom cijelog studija, ali i života, i što su uvijek vjerovali u mene. Uz njih je odrastanje bilo ispunjeno ljubavlju i lijepim trenucima.

Sadržaj

Sažetak 1

Summary 2

1. Uvod 1

1.1. Cilj rada 1

2. Pregled literature 2

2.1. Važnost solitarnih pčela 2

2.2. Vrste solitarnih pčela 5

2.2.1. Pčele zidarice 5
2.2.2. Pčele listosjekačice 9
2.2.3. Pčele drvarice 16
2.2.4. Alkalne pčele 22

2.3. Gubitak staništa 30

2.4. Klimatske promjene 33

2.5. Utjecaj pesticida 39

2.6. Bolesti i štetnici 41

3. Zaključak 46

4. Popis literature 47

Životopis 54

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Ema Igaly**, naslova

ULOGA SOLITARNIH PČELA U EKOSUSTAVU

Solitarne pčele čine oko 85% svih vrsta pčela, a kao najznačajniji oprašivači entomofilnih biljaka imaju nezamjenjivu ulogu u održavanju ekosustava. Iako su vrlo brojni i iznimno kvalitetni oprašivači, tek se mali broj vrsta koristi u komercijalne svrhe za oprašivanje nasada. Rasprostranjene su diljem svijeta te za razliku od medonosne pčele ne žive u zajednicama, već svaka jedinka gradi zasebno gnijezdo. Rodovi i vrste međusobno se razlikuju po veličini, izgledu, vrsti peludi koju preferiraju te životnom ciklusu. Cilj je rada bio obraditi najvažnije vrste solitarnih pčela, njihovu važnost za ekosustav i poljoprivredu te utjecaj okolišnih čimbenika na njihov život. U posljednje je vrijeme smanjena brojnost solitarnih pčela jer se antropogenim utjecajem narušavaju njihova prirodna staništa, klimatske promjene uzrokuju nepodudaranje razdoblja cvatnje i pojave solitarnih pčela te je povećano ugibanje jedinki zbog učestalog korištenja insekticida širokog spektra djelovanja. Potencijalnu opasnost za solitarne pčele predstavljaju i bolesti i štetnici.

Ključne riječi: solitarne pčele, oprašivanje, gubitak staništa, klimatske promjene, pesticidi

Summary

Of the master's thesis – student **EMA IGALY,** entitled

THE ROLE OF SOLITARY BEES IN THE ECOSYSTEM

Solitary bees count for about 85% of all bee species, and as the most important pollinators of entomophilous plants, they play an irreplaceable role in maintaining the ecosystem. Although they are numerous pollinators of exceptional quality, only a small number of species are used for commercial purposes of pollinating plantations. Solitary bees are distributed all over the world and, unlike honey bees, they do not live in colonies, but each individual solitary bee builds a separate nest. Genera and species differ from each other in size, appearance, pollen preferences and life cycle. The aim of this study was to provide an overview on the most important species of solitary bees, their importance for the ecosystem and agriculture, as well as the impact of environmental factors on their life. Recently, the number of solitary bees is decreasing as a result of their natural habitats being destroyed by anthropogenic influences, the discrepancy between the flowering period and the emergence of bees caused by climate change, and the increasing mortality of individuals due to frequent use of broad-spectrum pesticides. Diseases and pests also pose a potential threat for solitary bees.

Keywords: solitary bees, pollination, habitat loss, climate change, pesticides

1. Uvod

Oprašivanje i oplodnja neophodni su za stvaranje sjemena i plodova kod biljaka koje se razmnožavaju generativno. Otprilike 20 % svih biljaka koje cvatu oprašuju vjetar ili voda, a ostalih 80 % oprašuju životinje. Medonosna pčela i solitarne pčele uz bumbare su najbrojniji i najvažniji prirodni oprašivači.

Uočeno je da je u posljednje vrijeme smanjen broj prirodnih oprašivača, što predstavlja izravnu prijetnju poljoprivrednoj proizvodnji, ali i biološkoj raznolikosti. Solitarne pčele izrazito su kvalitetni oprašivači jer dnevno posjete velik broj cvjetova. Osim posjećenosti, važna je i uspješnost oprašivanja jer je jedino tada omogućena oplodnja, a pokazalo se da solitarne pčele pojedine kulture oprašuju s većom uspješnošću od medonosnih pčela. Također, solitarne pčele čine skupinu najrazličitijih i najbrojnijih prirodnih oprašivača.

Gubitak staništa je najviše povezan s povećanjem broja stanovništva zbog čega je potrebno više obradivih površina za proizvodnju hrane, odvija se širenje gradova, uzgojem monokultura smanjena je raznolikost bilja čija je pelud nužna pčelama za preživljavanje te brojni drugi razlozi zbog kojih je sve više prisutan manjak pogodnih staništa za solitarne pčele.

Na razvoj solitarnih pčela utječe i temperatura, posebice u vrijeme razdoblja dijapauze. Povećanje prosječne godišnje temperature, kao posljedica klimatskih promjena, uzrokuje ranije pojavljivanje solitarnih pčela nakon zime.

Intenzifikaciju poljoprivredne proizvodnje pratio je nagli razvoj pesticida. Iako je njihovom upotrebom omogućeno višestruko povećanje prinosa, negativne posljedice na korisne organizme sve su izraženije, a insekticidi koji se koriste za vrijeme cvatnje najviše smanjuju brojnost solitarnih pčela.

Bez uspješnog oprašivanja i oplodnje, kod uzgoja usjeva za čiji razvoj plodova su oni potrebni, izostat će razvoj plodova te proizvodnja neće biti uspješna. Iz tog razloga, ali i zbog očuvanja oprašivača na nepoljoprivrednim površinama, važno je sačuvati ili povećati njihov broj smanjivanjem utjecaja koji negativno utječu na njihov život.

1.1. Cilj rada

Cilj je ovog rada bio obraditi najvažnije vrste solitarnih pčela, njihov životni ciklus te mogućnosti njihovog korištenja u agroekosustavu. Također je cilj bio i obraditi utjecaj gubitka staništa, klimatskih promjena i pesticida te najvažnije bolesti i nametnike solitarnih pčela.

2. Pregled literature

2.1. Važnost solitarnih pčela

Poljoprivrednici diljem svijeta sve više uviđaju važnost prirodnih oprašivača te na različite načine nadoknađuju njihovu premalu brojnost. U hobističkim i ekstenzivnim nasadima sve je popularnije postavljanje nastambi u kojima prirodni oprašivači, posebice solitarne pčele, mogu osnovati potomstvo.

Kod intenzivne proizvodnje takav način očuvanja prisutnih oprašivača ne bi osigurao njihovu dovoljnu brojnost pa se sve više proizvođača odlučuje na njihov najam ili kupovinu. Prednost najma u odnosu na kupovinu je taj što u slučaju najma proizvođači nemaju dodatnu brigu oko oprašivača.

Najčešće se za najam koriste zajednice medonosne pčele (*Apis mellifera* L.), ali sve su popularnije solitarne pčele. U zemljama u kojima najam ili kupovina nisu dostupni, a broj je oprašivača nedovoljan, smanjena je kvaliteta, kvantiteta i raznolikost usjeva.

U Kini je prekomjerna upotreba insekticida dovela do tolikog pomanjkanja oprašivača da ljudi ručno skupljaju pelud te oprašuju biljke (Slika 2.1.1.). Takav je način oprašivanja neučinkovit jer životinje posjete puno veći broj cvjetova dnevno od ljudi, ali i veća je vjerojatnost oplodnje i izmjene genetskog materijala kod oprašivanja putem kukaca i ptica (Partap i Ya 2012.).

Zato je važno sačuvati oprašivače jer ljudi ne mogu zamijeniti njihovu ulogu, a kao što je već spomenuto, bez oprašivanja i oplodnje nema niti proizvodnje hrane, koja je svima nužna za život.



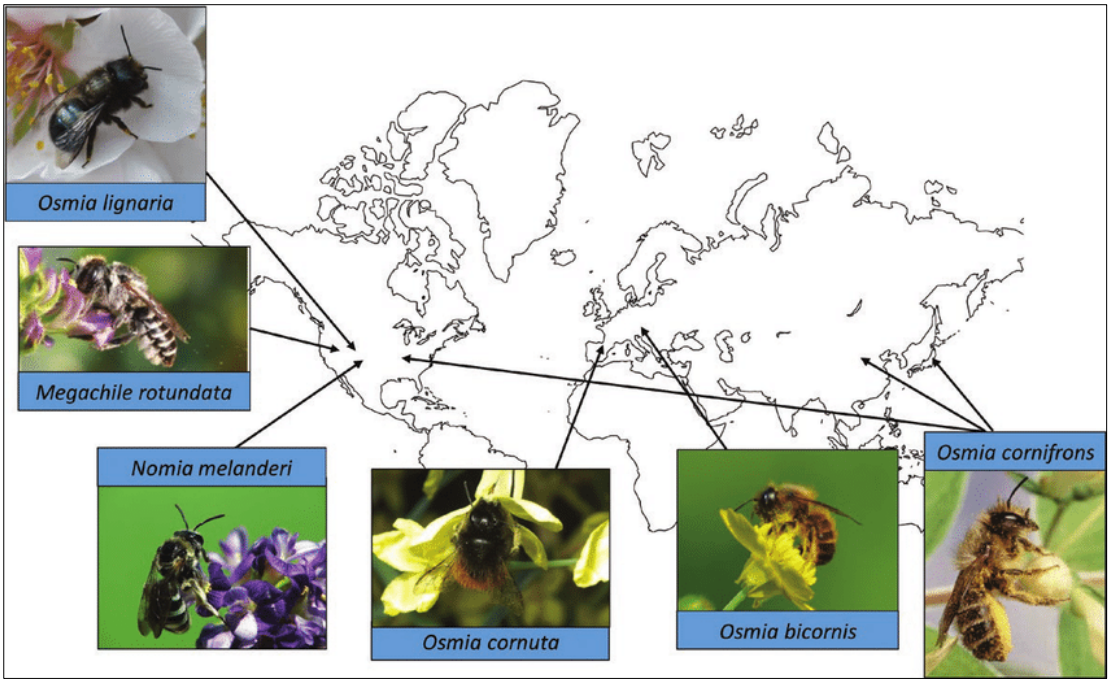
Slika 2.1.1. Ručno oprašivanje je dugotrajan i skup proces

Izvor:

https://extension.missouri.edu/media/wysiwyg/Extensiondata/Pub/images/m00405_fig07.jpg

Postoje brojne vrste solitarnih pčela (Slika 2.1.2.) koje se međusobno razlikuju, ali su po osnovnim obilježjima uglavnom slične. Ukupan broj pčela procjenjuje se na 25 000 do 30 000, a više od 85% čine solitarne pčele (Schenk i sur. 2017., Freitas i sur. 2017). One ne žive u zajednici, nemaju maticu niti raspodjelu poslova. Ne proizvode med nego skupljaju pelud i nektar koji im služe kao hrana njima samima, ali i njihovom potomstvu (ličinkama). Lete na relativno malim udaljenostima od mjesta gdje polažu jaja, u radijusu oko 200 do 250 metara te je zbog toga važno pravilno rasporediti njihove nastambe u slučaju da se koriste kao oprašivači u nasadu. Medonosne pčele prelaze znatno veće udaljenosti, ali lete na višim temperaturama. Solitarne pčele će letjeti i oprašivati već na temperaturama između 8 i 10 °C, što je osobito važno za vrste koje cvatu u rano proljeće, kada temperature zraka nisu povoljne za let medonosne pčele (Ševar 2006., Maccagnani i sur. 2007., O'Toole 2011.).

Velika prednost solitarnih pčela je što ne biraju vrstu koju će oprašivati. Naime, zajednice medonosne pčele sklone su izbjegavati biljne vrste koje izlučuju mirise koji ih odbijaju pa ih se, u slučaju da se koriste za oprašivanje baš takve vrste, mora podvrgnuti dresuri. Solitarne pčele nemaju preferencije što se tiče biljnih vrsta već posjećuju sve biljne vrste u blizini, neovisno o njihovom mirisu ili količini nektara. Posebice su dobre u oprašivanju krušaka ili drugih biljaka koje imaju nizak sadržaj šećera u nektaru. Također, i do 80 puta su učinkovitiji oprašivači u odnosu na medonosne pčele, jer prilikom prikupljanja hrane slijeću izravno na cvijet i otpuštaju dio peludi koja se nalazi na dlačicama na zatku, a istovremeno prikupljaju novu pelud te ju prenose do drugih cvjetova (Biddinger i sur. 2010.) Iz tog je razloga potreban znatno manji broj solitarnih pčela za oprašivanje nasada po hektaru u odnosu na medonosnu pčelu. Solitarne su pčele vrlo miroljubive i vrlo rijetko će ubosti. Ukoliko i ubodu, imaju glatki žalac te osobe alergične na medonosnu pčelu neće razviti alergijsku reakciju. Zbog toga ih je moguće držati u neposrednoj blizini ljudi bez straha od uboda (Ševar 2006.).



Slika 2.1.2. Najčešće uzgajane solitarne pčele u svijetu

Izvor: https://www.researchgate.net/profile/Silvia-Hinarejos-2/publication/329450406/figure/fig1/AS:702212674179073@1544431956467/Solitary-bee-species-commercially-available-in-different-parts-of-the-world-Photo.ppm

Kao što je već spomenuto, solitarne su pčele iznimni oprašivači. Tome doprinosi i način na koji skupljaju pelud te ju prenose do druge biljke, odnosno njuške tučka. Za uspješnu je oplodnju vrlo važno da je klijavost prenesene peludi maksimalno sačuvana. Medonosna pčela skupljenu pelud prenosi u peludnim košaricama koje su smještene na stražnjim nogama. Prilikom premještanja peludi s dlačica tijela u peludne košarice, smanjuje se klijavost. Solitarne pčele prenose pelud na dlačicama tijela s trbušne strane zatka (*scopa*) (Slika 2.1.3.) i na taj način klijavost ostaje sačuvana dok obilazi cvjetove, a smanjena je tek kada prikupljenu pelud odlaže na mjesto koje priprema za odlaganje jaja (Felicioli i sur. 2004.).



Slika 2.1.3. Solitarne pčele prenose pelud na dlačicama tijela s trbušne strane zatka (*scopa*)

Izvor: http://4.bp.blogspot.com/-AHaqyqH2WeE/VBwF0EUPB9I/AAAAAAAAAYs/qK8VVpvpe6M/s1600/leafcutter%2Bscopa.JPG

2.2. Vrste solitarnih pčela

2.2.1. Pčele zidarice

Iako pčele zidarice obuhvaćaju na stotine različitih vrsta, u Hrvatskoj su najčešće *Osmia cornuta* Latreille i *Osmia bicornis* L. (Slika 2.2.1.1.). Rod *Osmia* ujedno ima i najveći potencijal za korištenje u poljoprivredi u svrhu oprašivanja (O'Toole 2011.), posebice biljnih vrsta koje cvatu u proljeće (Biddinger i sur. 2010.). Po klasifikaciji sve pčele zidarice pripadaju redu *Hymenoptera* (opnokrilci) i porodici *Megachilidae*.

Raw (2007.) navodi da se navedeni rod sastoji od vrsta listosjekačica (*Megachile*) i zidarica (*Chalicodoma*), ali s obzirom na to da i neke listosjekačice koriste blato za izgradnju gnijezda, teško je napraviti točnu podjelu. Sve one zajedno čine rod kojem pripada oko 1 515 različitih vrsta listosjekačica i zidarica.



Slika 2.2.1.1. Vrsta *O. cornuta* (lijevo) pojavljuje se u proljeće prije vrste *O. bicornis* (desno)
Izvor: https://live.staticflickr.com/1705/26582246125_8d510fa6de_b.jpg

Pčele zidarice dobile su naziv po načinu izgradnje gnijezda, jer stanice u kojima polaže jaja pregrađuje blatom (O'Toole 2011.). One traže šupljine promjera od 6 do 10 mm (optimalno 8 mm) i dužine od 10 do 15 cm (Bosch 1994.). To mogu biti drveni blokovi ili cigle u kojima su izbušene rupe navedenih dimenzija, ali najčešće se koriste cjevčice barske trske (*Phragmites australis* Trin. ex. Steud.) (Slika 2.2.1.2.).

Trska je posebno pogodan materijal za izgradnju gnijezda jer je kod snopova trske omogućen prolazak zraka između cjevčica te ne dolazi do pojave bolesti vapnenastog legla, što se može dogoditi kod materijala od plastike ili drugih manje prozračnih materijala (Ševar 2006., Krunić i sur. 1995.).



Slika 2.2.1.2. Cjevčice barske trske, popunjene su cjevčice zatvorene blatom
Izvor: https://gfletcher.ca/wp-content/uploads/2014/02/mason-bee3tubes.jpg

Pčele zidarice izlaze iz kokona i izlijeću iz svojih nastambi u proljeće, uglavnom u ožujku, ali zbog klimatskih promjena njihova pojava može se pomaknuti i na kraj veljače (Bosch i Kemp 2002.). Prvo izlijeću mužjaci pa nekoliko dana nakon njih ženke (Monzón i sur. 2004.). Tijelo je ženki dugo od 8 do 16 mm pa ih se lagano raspoznaje od mužjaka koji su znatno manji, dužine od 7 do 10 mm.

Mužjaci na izlazu ostavljaju feromone kako bi privukli ženke na sparivanje, koje se odvija ubrzo nakon izlijetanja. Sparivanje traje pola sata i, za razliku od medonosne pčele, odvija se na tlu.

Nekoliko dana nakon parenja ženke počinju polagati jaja (Bosch i Kemp 2002.). Prije polaganja jaja, ženka pripremi mjesto za svoje potomstvo tako što očisti novu cjevčicu trske ili izbušenu rupu i ukloni sve oštre dijelove. Pelud skuplja na dlačicama koje se nalaze na cijelom tijelu pčele, a najviše na donjoj strani zatka. Prikupljenu pelud odlaže na mjesto gdje će položiti jaje te ju, prilikom odlaganja, oblikuje u kuglicu uz dodatak malo nektara. Prilikom odlaganja peludi ulazi u cjevčicu tako da prvo uđe glavom (Slika 2.2.1.3.) pa zatim ostatkom tijela, a kada polaže jaje najprije uđe zatkom.



Slika 2.2.1.3. Pčela zidarica unosi pelud u cjevčice barske trske

Izvor: https://www.urbanfarm.org/wp-content/uploads/2019/06/Mason-bee-and-her-nest-1.jpeg

Nakon polaganja jaja pčela zidarica prikuplja blato kojim će pregraditi stanicu pa ponovno počinje s prikupljanjem peludi i nektara. Taj će proces ponavljati sve dok ne položi u prosjeku od 6 do 8 jaja u cjevčici ili izbušenoj rupi. Nakon posljednjeg jaja izgrađuje pregradu od blata, ostavlja praznu stanicu dužine od 10 do 15 mm te na samom kraju izgrađuje još jednu, najdeblju, pregradu (2.2.1.4.) (Ševar 2006.).

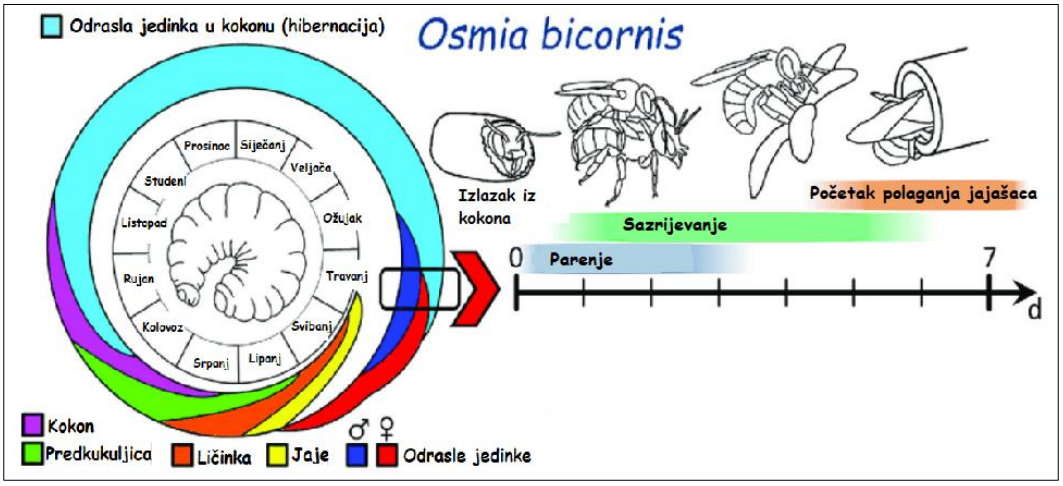


Slika 2.2.1.4. Presjek trske u kojoj se nalaze jaja položena na pelud i nektar, jedna prazna stanica i krajnja pregrada od blata

Izvor: https://crownbees.com/pub/media/Cornell_edu/7_nesting/NMB_Fig1.jpg

Ženke u prosjeku žive od 10 do 12 tjedana te u svom životu polože od 5 do 35 jaja, a u povoljnim uvjetima taj broj može biti i veći. Mužjaci žive znatno kraće, u prosjeku od 2 do 4 tjedna. Iz oplođenih jaja će se razviti ženke, a iz neoplođenih mužjaci (Mader i sur. 2010.). Raspored mužjaka i ženki može biti točno određen tako da se izmjenjuju dva mužjaka pa četiri ženke te ponovno dva mužjaka, ali to nije nužno pravilo pa je tako Raw (1972.) u svojem istraživanju uočio da se u nekim cjevčicama nalaze pčele samo jednog spola.

Nakon što je ženka položila jaje i zatvorila stanicu, započinje razvoj nove jedinke. Stadij jajeta traje u prosjeku 7 dana, nakon čega se razvije ličinka. Ona se hrani prikupljenom peludi i nektarom te nakon otprilike 5 tjedana prelazi u stadij predkukuljice. Tada započinje s formiranjem svilenog kokona kojeg završava za 3 do 4 dana. U formiranom kokonu se nakon 52 do 54 dana predkukuljica preobrazi u odraslu pčelu (Giejdasz i Wilkaniec 2002.). Odrasla jedinka ostat će u kokonu tijekom cijele zime, a iz njega izlijeće tek iduće proljeće (Bosch i Kemp, 2002.). Životni ciklus pčele *O. bicornis* prikazn je na slici 2.2.1.5.



Slika 2.2.1.5. Razvoj solitarne pčele (*O bicornis*)

Izvor: https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Rolke/publication/332881830/figure/fig6/AS:755727182352386@1557190809467/Life-cycle-of-mason-bees-using-the-example-of-O-bicornis-Freshly-emerged-females.png (modificirano)

2.2.2. Pčele listosjekačice

Pčele listosjekačice, kao i pčele zidarice, pripadaju redu *Hymenoptera* (opnokrilci), porodici *Megachilidae* i rodu *Megachile*. Različite vrste ovih pčela se međusobno razlikuju po brojnim obilježjima, ali svima je zajedničko da ženke koriste dijelove biljaka za izgradnju gnijezda (Rowe i sur. 2019.).

Postoje brojne vrste pčela listosjekačica od kojih neke svoja gnijezda grade u šupljinama iznad, a neke ispod zemlje. Sheffield (2017.) navodi i da rupe u kamenu, drvetu ili drugim materijalima također mogu poslužiti kao prostor za oblikovanje čahurica i polaganje jaja. Ženka polaže jaja u cjevčicama, bušotinama ili drugim već postojećim šupljinama (Kambli i sur. 2017.), koje najprije obloži izrezanim dijelovima bilja. Koristeći se prednjom čeljusti, izreže mali dio lista ili latice (Sheffield 2017.), najčešće veličine od 0,5 do 2 cm, koji zatim nosi do gnijezda. Izrezani dijelovi listova su okrugli (Slika 2.2.2.1.) ili izduženi te mogu imati gladak ili nazubljen rub, ovisno o tome o kojoj vrsti pčela je riječ.

Nakon što je izrezala dio lista, ženka ga nosi na mjesto polaganja jaja. Tamo će žvakati rubove novog komadića lista kako bi se formirala ljepljiva masa uz pomoć koje će pričvrstiti novi komadić uz već postojeće. Čahurica napravljena od lišća služi kao fizička barijera za zaštitu od štetnika, ali i bolesti (Rowe i sur. 2019., Ascher i sur. 2019., Pitts-Singer i Cane 2011.).



Slika 2.2.2.1. List na kojem je listosjekačica izrezala krugove za izgradnju gnijezda

Izvor: https://www.wildwanderer.com/wp-content/uploads/2018/09/MG_1737a.jpg

Maclvor (2016.) navodi da listosjekačice često prikupljaju dijelove listova od biljaka koje imaju protumikrobna svojstva da bi osigurale što veću zaštitu potomstvu. Također navodi da vrste koje grade gnijezda ispod površine zemlje koriste sekret

Dufour-ove žlijezde u svrhu postizanja vodootpornosti napravljenih čahurica te kao zaštitni sloj od razvoja bolesti. Međutim, ta ista žlijezda je značajno smanjena kod vrsta koje jaja polažu iznad zemlje.

Vrste listosjekačica razlikuju se po veličini, izgledu, vremenu pojavljivanja nakon zime, udaljenosti koju prelaze u potrazi za peludi, već spomenutom mjestu izgradnje gnijezda i izgledu izrezanih komadića listova te drugim obilježjima. Međutim, svim vrstama zajednički je spolni dimorfizam – ženke su veće od mužjaka. U svijetu se najviše uzgaja lucernina listosjekačica (*Megachile rotundata* F.) u svrhu oprašivanja lucerne (*Medicago sativa* L.) jer su prinosi sjemena višestruko veći u odnosu na korištenje medonosnih pčela (Richards 1995., Sgolastra i sur. 2018., Cane i sur. 2011.). Od ostalih vrsta listosjekačica, Ševar (2006.) kao važne još navodi *Megachile centuncularis* L., *Megachile willughbiella* Kirby i *Megachile versicolor* Smith.

2.2.2.1. Lucernina listosjekačica

Kako je već rečeno, solitarne pčele ne proizvode med te ih ljudi uzgajaju u svrhu oprašivanja. Iako su medonosne pčele iznimno dobri oprašivači, prije nekoliko desetljeća je primijećeno da jedna vrsta listosjekačica, *M. rotundata,* oprašuje lucernu toliko uspješno da su prinosi sjemena povećani i do tri puta. Pitts-Singer i Cane (2011.) navode kako su prinosi sjemena iznosili približno 450 kg ha^{-1} kada su se koristile pčelinje zajednice medonosne pčele, a ta se brojka povećala i na 1 300 kg ha^{-1}, kada su se na polje lucerne postavile nastambe s pčelama listosjekačicama. To je potaknulo svojevrsnu revoluciju u uzgoju lucerne, koja se koristi diljem svijeta za proizvodnju stočne hrane, te su se lucernina listosjekačica počele masovno uzgajati (Slika 2.2.2.1.1.).



Slika 2.2.2.1.1. Ženka lucernine listosjekačice (*M. rotundata*)
Izvor: https://live.staticflickr.com/65535/49945029947_343d779948_b.jpg

Solitarne pčele koje se planiraju masovno uzgajati moraju zadovoljavati određene uvjete. Bitno je da uzgajana vrsta dobro prihvaća lagano dostupne i relativno jeftine, prirodne ili umjetne, materijale za izgradnju gnijezda i polaganje jaja (Sheffield 2017., Peterson i Artz 2013.). Također, poznato je da solitarne pčele ne žive u zajednicama i svaka jedinka funkcionira odvojeno, ali je važno da ženke prihvaćaju nastambe u kojima se gnijezde grupno.

Svaka ženka će svojim feromonom označiti ulaz u cjevčicu ili tunel ali odabiru se one vrste koje će prihvatiti nastambe s velikim brojem cjevčica te se tako osigurava dobivanje velikog broja jaja i novih jedinki na malom prostoru. Osim brojnosti pčela u nasadu, od iznimne je važnosti njihova sinkronizirana pojava s cvatnjom (Pitts-Singer i Cane 2011.). Oprašivanje i oplodnja neće biti uspješni ukoliko oprašivači nisu aktivni u vrijeme kada biljke cvatu. Za uzgoj lucerne se pokazalo da listosjekačice *M. rotundata* zadovoljavaju sve uvjete – grupno se gnijezde u postavljenim nastambama i aktivne su u doba cvatnje. Kada se koriste jedinke koje se tijekom zime čuvaju na niskim temperaturama, potrebno je umjetno uskladiti njihov izlazak iz čahurica tako što će se pravovremeno povećati temperatura prostora kako bi jedinke u kokonima završile s razvojem točno u doba kada lucerna cvate (Kemp 2009., Tepedino i Parker 1988.). Uz sve navedeno, pčele moraju i kvalitetno oprašivati uzgajanu kulturu. S obzirom na to da je već navedeno kako je prinos sjemena višestruko povećan kada se koriste ove listosjekačice u odnosu na medonosnu pčelu, jasno je da su one odličan izbor za oprašivanje lucerne.

Lucernina listosjekačica relativno je mala (Peterson i Artz 2013.). Ženke su duge od 8 do 9 mm, a mužjaci od 6 do 8 mm. Oba spola su crne boje. Odrasle jedinke izlaze iz čahurica za vrijeme vrućih ljetnih dana, tijekom lipnja i srpnja (Sgolastra i sur. 2018.), u doba cvatnje lucerne. Prvo se pojavljuju mužjaci, a za dva do tri dana i ženke.

Parenje se odvija nekoliko dana nakon pojave, a ženke nakon približno tjedan dana započinju s polaganjem jaja. Kod uzgoja ovih pčela najčešće se koriste drvene ili papirnate cjevčice ili polistiren u kojem su izbušene rupe promjera od 4 do 7 mm, s time da je uočeno da pčele prvo popunjavaju cjevčice manjeg promjera. Dubina uglavnom varira između 10 i 15 cm (James i Pitts-Singer 2013.). Kada ženka polaže jaja, prvo će stanicu obložiti prikupljenim lišćem. Za jednu stanicu potrebno je oko 15 izrezanih krugova, a lišće koristi za oblaganje zidova i kao pregrade između stanica, tako da se na kraju svako jaje nalazi u zasebnoj čahurici (Slika 2.2.2.1.2.).



Slika 2.2.2.1.2. U svakoj čahurici napravljenoj od lišća nalazi se jedno jaje
Izvor:
https://bugguide.net/images/raw/0RC/ZMR/0RCZMRYZXRDZQRTZ0RHHIZVL8RRHSR6LXROZ0R3ZZZPLQZCL7ZRH0Z6LFLNLFL6LSZ1LPRCLSZ0HXRNL.jpg

Kada lucernina listosjekačica završi s prikupljanjem lišća, započinje skupljati pelud i nektar. Prvo će prikupljati većinom pelud, a samo malo nektara. Svakim letom će se omjer peludi i nektara mijenjati, tako da će na zadnjem letu, prije polaganja jaja, ženka u gnijezdo donijeti samo nektar. Za prikupljanje peludi i nektara za jedno jaje, ženka će raditi približno 5 sati. Kada položi jaje, zatvorit će čahuricu lišćem i započeti cijeli ciklus ispočetka (Peterson i Artz 2013.).

Iz neoplođenih će se jaja razviti mužjaci, a iz oplođenih ženke. Prilikom polaganja jaja, ženka dublje u gnijezdu polaže oplođena jaja, a bliže izlazu neoplođena. Iz navedenog razloga, ali i zato što mužjaci brže završe razvoj nakon razdoblja dijapauze od ženki, mužjaci izlijeću iz gnijezda prije ženki (Sheffield 2017.).

Ove pčele najčešće lete u krugu 100 metara od gnijezda, povremeno i do 200 metara, ali pelud i nektar sakupljaju u krugu 4 metra od mjesta gdje se nalaze. Ženke u razdoblju života od 7 do 8 tjedana mogu položiti i do 57 jaja. Ta brojka odnosi se na savršene uvjete, međutim u uvjetima ograničene paše, broj jaja je značajno smanjen (Pitts-Singer i Cane 2011.).

Razvoj nove jedinke lucernine listosjekačice započinje stadijem jajeta. Taj stadij traje dva do tri dana nakon čega jedinka prelazi u stadij ličinke. Razvoj se nastavlja kroz pet faza ličinke u sveukupnom trajanju od dva do tri tjedna (Sgolastra i sur. 2018.). U tom razdoblju ličinka pojede gotovo svu hranu nakon čega zapreda kokon. Prezimi unutar kokona u stadiju predkukuljice (James i Pitts-Singer 2013.). Kada nakon zime zatopli, predkukuljica nastavlja razvoj unutar kokona sve do stadija odrasle jedinke koja izlijeće kada budu povoljne temperature.

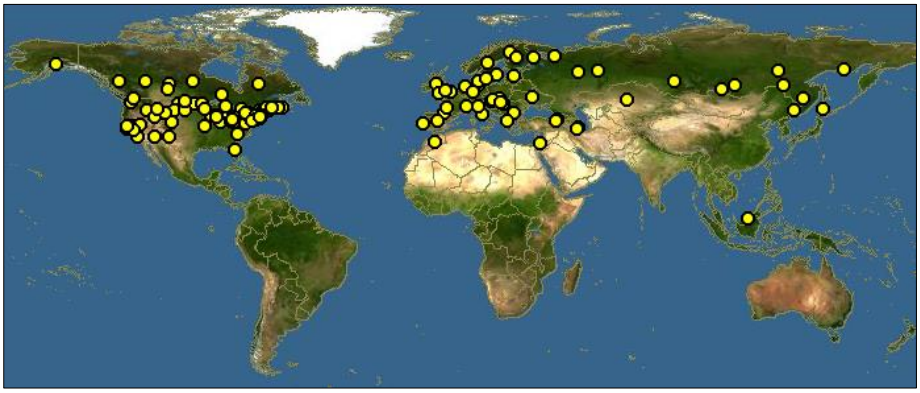
Ukoliko se uzgajaju za oprašivanje, čahurice s kokonima lucernine listosjekačice se čuvaju na temperaturi od 4°C u razdoblju od minimalno 6 mjeseci, a

prije ispuštanja na polje ih se tri tjedna izlaže temperaturama između 28 i 30°C (James i Pitts-Singer 2013.).

U pravilu imaju jednu generaciju godišnje, ali često se dio jaja razvije već iste godine i tako tvore drugu generaciju. U toplijim krajevima moguć je razvoj i treće pa čak i četvrte generacije (Sgolastra i sur. 2018.). Nove jedinke razvit će se iz jaja koja su prva položena. Ne zna se što točno utječe na razvoj druge generacije, ali se pretpostavlja da su uzrok visoke temperature, loša prehrana jaja i ličinki ili da je nasljedno (Pitts-Singer i Cane 2011., Peterson i Artz 2013.).

2.2.2.2. Megachile centuncularis L.

M. centuncularis je vrsta pčela listosjekačica koja je široko rasprostranjena diljem svijeta (Slika 2.2.2.2.1.).



Slika 2.2.2.2.1. Rasprostranjenost vrste *M. centuncularis*
Izvor: https://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Megachile+centuncularis

Ženke su dugačke od 11 do 12 mm te su veće od mužjaka koji su veličine od 9 do 11 mm. Tamno smeđe su boje (Slika 2.2.2.2.2.), a na donjoj strani zatka nalaze se upečatljive narančaste dlačice (Slika 2.2.2.2.3.).



Slika 2.2.2.2.2. *M. centuncularis*
Izvor: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR-r8KnU_apVY_y3kIsptvdGX1gsWEE_6yOLg&usqp=CAU



Slika 2.2.2.2.3. Specifične narančaste dlačice na zatku

Izvor: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRXhKLeCsqG_XMXTCsIqdrJRwnWeqat9s-mMA&usqp=CAU

Godišnje imaju jednu generaciju. Razdoblje aktivnosti ovisi o uvjetima u okolini, ali uglavnom se pojavljuju između sredine lipnja i početka srpnja. Mužjaci izlijeću oko 4 dana prije ženki te žive do 3 tjedna, a većinu života provedu obilazeći cvijeće u potrazi za ženkama. Ženke žive do 7 tjedana.

Gnijezda grade u već postojećim šupljinama, kao što su trska od bambusa te rupe u trulom drveću, zidovima, grančicama pa čak i u zemlji. Promjer šupljina u kojima grade gnijezda je uglavnom između 7 i 11 mm. Kao i sve listosjekačice, izrađuju čahuricu od dijelova listova u koju kasnije odlaže pelud, nektar i na kraju jaje. Ženka prosječno utroši devet i pol sati za izgradnju jedne čahurice te u tom razdoblju približno 21 put izađe iz gnijezda, kako bi izrezala i prikupila pogodne komadiće listova i 18 puta odleti u potrazi za peludi i nektarom kojima će osigurati hranu za razvoj potomstva. Pelud prikupljaju s velikog broja različitih biljnih vrsta, ali za izgradnju čahurice su često izrezivale dijelove listova od ruža (Weissmann i sur. 2017., Raw 1988.).

2.2.2.3. Megachile willughbiella Kirby

M. willughbiella po dimenzijama tijela spada u relativno veliku vrstu listosjekačica, dužine od 12 do 18 mm. Gnijezda gradi u šupljinama ispod ili iznad zemlje, ali ima prilagođenu prednju čeljust koja joj omogućava da kopa tunele i gradi gnijezdo i u trulom drvetu. Pelud prikuplja s različitih biljnih vrsta, ali preferira biljne vrste iz porodica Fabaceae i Campanulaceae te roda *Epilobium.* Ženke je veoma teško determinirati, ali mužjaci imaju karakteristična bijela plosnata stopala na prednjim nogama te guste bijele dlačice (Slika 2.2.2.3.1.). Aktivne su od lipnja do kolovoza te prihvaćaju ponuđene nastambe za solitarne pčele u kojima polažu jaja. Rasprostranjene su u Europi, Aziji i sjevernoj Africi (Praz 2017., Fateryga i sur. 2018.).



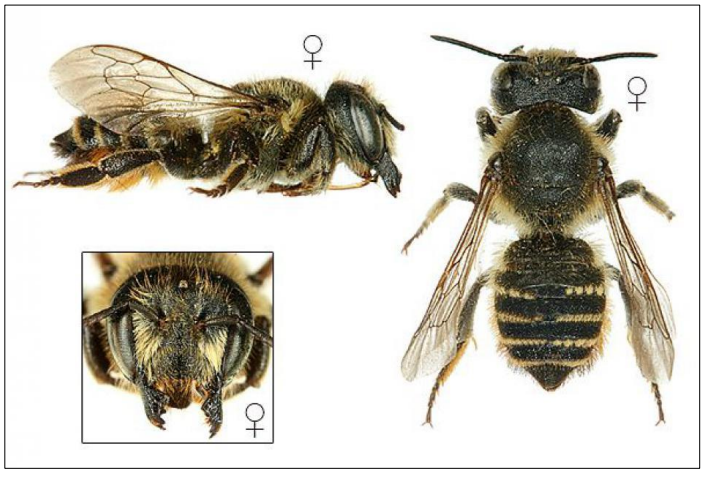
Slika 2.2.2.3.1. Mužjak *M. willughbiella* na prednjem paru nogu ima raspoznatljive bijele dlačice

Izvor: https://live.staticflickr.com/4223/34943811296_d38c70d4a8_b.jpg

2.2.2.4. Megachile versicolor Smith

Vrsta *M. versicolor* dugačka je prosječno od 10 do 12 mm. Nastanjuje raznolika staništa, a gnijezda gradi unutar stabala, osušenih stabljika biljaka te u drvenim dijelovima kuća. Aktivne su od svibnja ili lipnja pa sve do rujna.

Ženke imaju sive dlake na prsištu i gornjoj strani zatka, a guste crvenkaste dlake na donjoj strani zatka (Slika 2.2.2.4.1.) te ih je teško razlikovati od *M. centuncularis.* Mužjaci su manji od ženki i nemaju crvenkaste dlake na prsištu (Hofmann i Carson 2021.).



Slika 2.16. Ženka *M. versicolor*

Izvor:
https://www.bwars.com/sites/www.bwars.com/files/styles/largest__950x750_/public/species_images/megachile-versicolor_11jd.jpg?itok=MT1r0hDW

2.2.3. Pčele drvarice

Solitarnim pčelama pripadaju i pčele drvarice koje su specifične po socijalnom udruživanju prilikom brige za gnijezdo i potomstvo (Freitas i sur. 2017.). Ove pčele pripadaju redu *Hymenoptera* (opnokrilci), porodici *Apidae* i rodu *Xylocopa*.

U svijetu je zabilježeno oko 400 (Aluri i Rao 2006.) do 470 (Lucia i sur. 2014.) različitih vrsta drvarica koje uglavnom nastanjuju tropska i suptropska područja (Lucia i sur. 2014.), ali moguće ih je uočiti i u krajevima umjereno tople klime (Keasar 2010.).

Pčele drvarice svoja gnijezda rade u drvetu. To mogu biti tuneli napravljeni unutar živih stabala, trulih i raspadajućih drvenih blokova, drvenih stupova ili greda i šupljih stabljika (Aluri i Rao 2006., Lucia i sur. 2014). Iznimka su jedino vrste koje pripadaju podrodu *Proxylocopa*, jer se one gnijezde u tlu (Lucia i sur. 2014.). Ženka polaže jaja unutar tunela u drvetu koji su napravile prijašnje generacije drvarica bez dodatnog produbljivanja, produbi već postojeći tunel i tako poveća prostor za polaganje jaja, napravi vlastiti novi tunel, ali sa zajedničkim ulazom s drugim pčelama ili potpuno sama radi svoj vlastiti tunel (Keasar 2010., Ozbek 2013.).

Ženke kopaju tunele u drvetu uz pomoć prednje čeljusti (Aluri i Rao 2006., Anzenberger 2010.). Gnijezda se razlikuju i po razgranatosti. Nerazgranati tip gnijezda (Slika 2.2.3.1.) specifičan je za šupljikave materijale, kao na primjer trska. Tuneli se u takvom tipu gnijezda protežu na jednu ili obje strane od ulaza.



Slika 2.2.3.1. Presjek nerazgranatog tipa gnijezda

Izvor: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSA2mu0IiQw9HqPmnWCD0riOejq4Kvcc0BkAw&usqp=CAU

Razgranati tip gnijezda (Slika 2.2.3.2.) sadrži više od dva tunela koji imaju isti ulaz, a najčešće se takva gnijezda nalaze unutar greda ili stabala (Steen i Schwarz 2000.).



Slika 2.2.3.2. Presjek drveta u kojem je drvarica izbušila tunele za izgradnju gnijezda - razgranati tip gnijezda

Izvor: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1132/2638/files/carpenter-bee-damage.jpg?16332259819172036807

Ulaz u gnijezdo čini gotovo savršen krug čiji promjer ovisi o vrsti, ali iznosi približno 13 mm. Princip polaganja jaja je isti, neovisno o tome hoće li ženka raditi vlastiti tunel ili će polagati jaja u već postojećim tunelima. Prvo prikuplja pelud i nektar koje odnosi na mjesto gdje će položiti jaje. Kada je prikupila dovoljno hrane, polaže jaje i gradi pregradu od sažvakanog drva (Anton i sur. 2021.). Zatim započinje cijeli proces ispočetka, a broj položenih jaja u tunelu ovisi o njegovoj dužini. Razvoj nove jedinke traje od jednog do tri mjeseca, a trajanje ovisi o vrsti pčela, temperaturi, lokaciji gnijezda i vremenskim uvjetima. Stadiji razvoja uključuju jaje, ličinku, kukuljicu te nakon toga izlazak odrasle jedinke iz stanice. Nemaju stadij predkukuljice, ne zapredaju kokon i iz jajeta se razvije odrasla jedinka u istoj sezoni u kojoj je jaje položeno. Nakon završenog razvoja, odrasla jedinka izlazi van iz svoje stanice. Najčešće se prva razvije jedinka koja je najstarija i nalazi se na samom kraju tunela. Kako bi izašla van, mora proći ostale jedinke koje su još u fazama razvoja. Putem pregrize drvene pregrade ostalih stanica te se provuče pored manje razvijenih jedinki sve do izlaza iz gnijezda. (Anzenberger 2010., Troxclair i Merchant 2001.).

Anzenberger (2010.) je tijekom istraživanja primijetio da je pregrada od sažvakanog drveta između dvije stanice s jedne strane glatka, a s druge hrapava. Mlade pčele znaju da moraju pregristi pregradu koja je hrapava ukoliko žele pronaći put do izlaza.

Kako ih opisuju Troxclair i Merchant (2001.), ove pčele nalikuju bumbarima. Iako je izgled svake vrste specifičan, pčele roda *Xylocopa* su uglavnom tamne, crno-plave, sjajne ili metalik boje sa zelenkastim ili ljubičastim odsjajem. Po tijelu imaju žute, crne ili narančaste dlačice, ali nemaju dlake na gornjoj strani zatka te ih se po

tome najlakše raspoznaje od bumbara (Slika 2.2.3.3.), kod kojih je gornja strana zatka prekrivena gustim dlačicama (Anton i sur. 2021.). U odnosu na druge skupine pčela prilično su velike (Freitas i sur. 2017.). Dugačke su najčešće između 19 i 25 cm.



Slika 2.2.3.3. Usporedba drvarice (lijevo) i bumbara (desno)
Izvor:
https://www.rescue.com/core/files/rescue/news/a48baab2138c7b489e613de951597d55.png

Freitas i sur. (2017.) navode kako se kod nekih vrsta pčela drvarica mužjaci i ženke razlikuju po boji. Jedan od primjera je i vrsta *Xylocopa frontalis* Olivier. Mužjaci ove vrste imaju narančasto smeđe dlake, a ženke su crne (Slika 2.2.3.4.).



Slika 2.2.3.4. Ženka (lijevo) i mužjak (desno) vrste *X. frontalis*
Izvor: Freitas i sur. 2017.

Pčele drvarice su aktivne između 8 i 12 mjeseci godišnje, ovisno o vrsti i području gdje se nalaze. Ženke *Xylocopa pubescens* Spinola reproduktivno su aktivne i do 4 mjeseca, što je relativno dugo u odnosu na ostale solitarne pčele (Ozbek 2013.). Vrste koje žive u područjima s hladnim zimama, prezimljavaju kao hibernirajuće odrasle jedinke u tunelima (Anton i sur. 2021.), ali tijekom toplih zimskih

dana izlijeću iz svojih gnijezda u potrazi za hranom. Godišnje imaju najčešće više generacija (Freitas i sur. 2017., Ozbek 2013.).

Parenje se odvija unutar par tjedana od pojave nakon zime. Kod nekih podrodova, mužjaci će tražiti ženke kod gnijezda ili cvijeća te ne pokazuju znakove teritorijalnosti. Mužjaci teritorijalnih vrsta zauzet će određene resurse, gnijezdo ili cvijeće, te će tjerati druge mužjake koji dođu unutar njihovog područja. Također postoje mužjaci koji će zauzeti teritorij bez gnijezda ili cvijeća, takozvani teritorij bez resursa. Svoj teritorij obilježavaju feromonom kojeg izlučuje prednjočeljusna žlijezda i prate ženke koje se pojave unutar njega. Sparivanje nije detaljno istraženo te se zna samo da se neke vrste sparuju na teritoriju bez resursa, a neke u zraku, u letu (Keasar 2010.).

Kod nekih pčela drvarica je zabilježena podjela poslova, što nije uobičajeno svojstvo solitarnih pčela (Aluri i Rao 2006., Prager 2014.). Keasar (2010.) navodi kako se kod pojedinih vrsta majka brine o svojem potomstvu tako što ga čuva i hrani trofalaksom. Trofalaksa u ovom slučaju označava prijenos hrane s pčele majke na njezino potomstvo, dok se općenito odnosi na specifičan način izmjene hrane između dvije jedinke kod medonosnih pčela ili drugih socijalnih kukaca. Također, opisane su i vrste kod kojih je jedna ženka dominantna, ona sakuplja hranu, gradi gnijezdo i polaže jaja, a druga ženka je čuvarica i ne polaže jaja (Hogendoorn i Leys 1993.). Čuvarica može biti mlada ženka koja još nije reproduktivno aktivna ili odrasla ženka koja je polagala jaja, ali je druga dominantna ženka zauzela njezino gnijezdo. Socijalno ponašanje je detaljnije opisano za 10 vrsta drvarica, od kojih će njih nekoliko biti spomenuto.

Mlade ženke vrste *Xylocopa combusta* Smith (Slika 2.2.3.5.) koje se prve razviju, izađu iz svojih stanica i ostaju čuvati gnijezdo u kojem se nalaze ostale nerazvijene jedinke, a pčela majka odlazi graditi novo gnijezdo.



Slika 2.2.3.5.. *Xylocopa combusta*, ženka (lijevo) i mužjak (desno)
Izvor: Pauly i sur. (2018)

Slično je i s vrstama *X. pubescens* (slika 2.2.3.6.), ali kod njih majka čuva preostale nerazvijene jedinke u leglu, a kćeri odlaze graditi nova gnijezda ili obratno.



Slika 2.2.3.6. *Xylocopa pubescens*, ženka
Izvor: Pauly i sur. (2018)

Gnijezdo vrste *Xylocopa virginica* L. sastoji se od pčele majke i pčela kćeri. Prve godine pčela majka sakuplja hranu, polaže jaja i brine o gnijezdu, a kćeri su čuvarice i reproduktivno neaktivne. Iduće godine i pčele kćeri grade svoja gnijezda i polažu jaja. *Xylocopa sulcatipes* Maa je vrsta kod koje na početku nema jasne raspodjele poslova. Gnijezdo čine pčela majka i prateće pčele kćeri ili je zajednica sastavljena od međusobno nepovezanih ženki. Prilikom uspostave gnijezda još nije određeno koja ženka će polagati jaja, a koja će biti čuvarica pa je na početku prisutna i oofagija. Nakon kratkog razdoblja natjecanja, jedna ženka će preuzeti dominantnu ulogu prikupljanja hrane i polaganja jaja, a jedna ženka će postati čuvarica. Kod ostalih vrsta kod kojih je uočeno socijalno ponašanje princip podjele rada je sličan. Temelji se na jednoj glavnoj ženki i na jednoj ili više pčela čuvarica koje mogu biti sestre ili nasumične jedinke (Keasar 2010., Prager 2014.).

Zabilježeno je nekoliko potencijalnih razloga zašto su drvarice sklone socijalnom udruživanju. Smatra se da kod nekih vrsta struktura gnijezda ima utjecaj na raspodjelu poslova. Ukoliko je gnijezdo razgranato, više ženki će polagati jaja u različitim tunelima unutar istog gnijezda te će takav način života rezultirati socijalnom organizacijom. Kod drugih vrsta se socijalnost pojavljuje tek nakon razvijene prve generacije (Steen i Schwarz 2000.). Pčela majka nastavlja polagati jaja, a pčele kćeri koje su se razvile iz prve generacije pomažu raditi nove tunele ili sakupljati hranu. Udruživanje je uočeno i kod vrsta koje su jedno razdoblje reproduktivno neaktivne (*X. frontalis, Xylocopa grisescens* Lepeletier). Mlade ženke ostaju u gnijezdu približno mjesec dana, a hranom ih opskrbljuje majka ili starije sestre. Čuvarice u gnijezdima sa socijalnom organizacijom smanjuju rizik od krađe gnijezda, ali nije zabilježeno da smanjuju parazitizam ili napade predatora (osa, muha, mrava ili ptica). Prager (2014.), kao jedan od mogućih razloga udruživanja navodi i povećanu kondiciju pčela koje su bile čuvarice ili samo prateće jedinke u gnijezdu.

S obzirom na to da dobro podnose visoke temperature, i do 40°C, posebno su pogodne za oprašivanje u plastenicima (Ozbek 2013.). Većina vrsta nije aktivna na

temperaturama nižim od 18 do 20°C. Pojedine vrste drvarica su aktivne u sumrak ili noću. Najčešće se koriste za oprašivanje biljaka iz roda *Passiflora* i pamuka. Također su korisne za oprašivanje rajčice (*Solanum lycopersicum* L.), zbog stvaranja mehaničkih vibracija pomoću mišića prsišta, koje su potrebne za uspješno oprašivanje. Keasar (2010.) navodi kako je zabilježeno povećanje mase plodova rajčice od čak 10% u staklenicima u Austriji, kada su se koristile drvarice.

Problem korištenja drvarica kao oprašivača je nedostatak njihovog ekonomičnog i učinkovitog načina masovnog uzgoja. Osim toga, Pauly i sur. (2018.) navode da, ukoliko bi se prikupljale velike količine dijelova drveća unutar kojih se nalaze gnijezda drvarica, bi moglo uzrokovati smanjenje njihova broja u prirodnim staništima.

Keasar (2010.) spominje kako nema objavljenih rezultata istraživanja, ali da nisu zabilježeni uspjesi prilikom uzgoja ovih solitarnih pčela u zatočeništvu. Dosadašnji pokušaji uzgoja su uključivali izgradnju kutija koje bi služile kao gnijezda te njihovo postavljanje u prirodna staništa s ciljem da drvarice u njima polažu jaja. Kod vrste *Xylocopa caffra* L. proba je uključivala postavljanje ženki u gnijezda s bambusovim cjevčicama i zabilježeno je da je većina ženki ostala naseljavati ponuđeno gnijezdo.

Keasar (2010.) navodi da je za vrste *X. frontalis* napravljena modificirana Langstrothova košnica, prilagođena drvaricama. Ista autorica smatra da bi detaljnije proučavanje reprodukcije ovih pčela moglo biti od pomoći za njihov uzgoj.

Velik broj vrsta pčela, koje sudjeluju kao oprašivači poljoprivrednih usjeva, ne uzgaja se masovno već lokalno prisutne populacije odrađuju oprašivanje prilikom prikupljanja hrane za svoje potomstvu. Iz tog razloga, Pauly i sur. (2018.) predlažu, u slučaju da su drvarice već prisutne na određenom području, postavljanje trulih ili mekanijih komada drveta u blizini poljoprivrednog nasada kako bi im se osigurao prostor za izgradnju gnijezda i time povećala njihova brojnost.

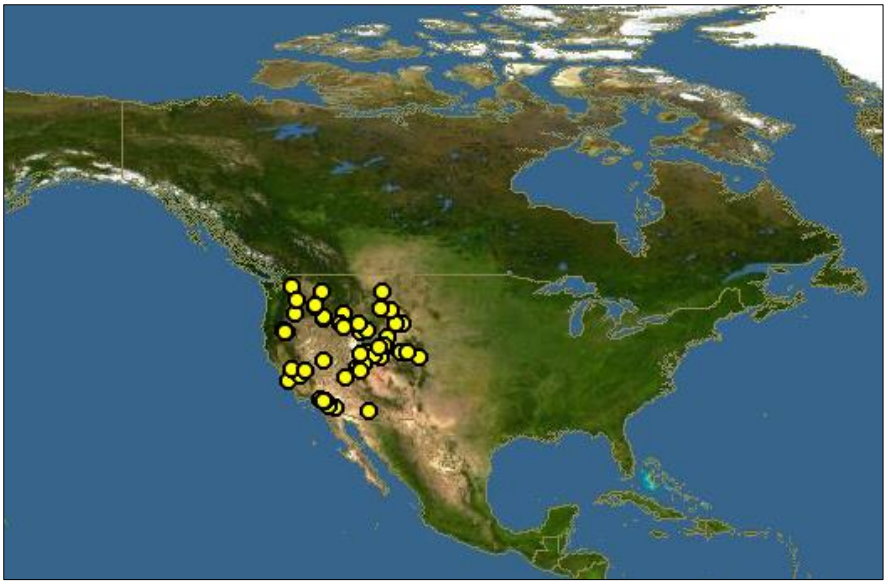
Prednosti ovih pčela kao oprašivača su njihova duga sezona aktivnosti, zbog proizvodnje mehaničkih vibracija su odlični oprašivači rajčice, pogodne su za oprašivanje vrsta koje cvatu noću i dobri su oprašivači mahunarki, jer zbog velike mase uspješno oslobađaju tučak i prašnike smještene između dviju latica i na taj način omogućavaju oprašivanje i oplodnju (Pauly i sur. 2018.).

Glavni su nedostaci problem uzgoja i moguće štete koje rade prilikom bušenja drveta. Troxclair i Merchant (2001.) spominju neke od mogućih ekonomskih šteta, kao i njihovu prevenciju. Izbušeni tuneli u stablima oslabljuju njihovu strukturu što može dovesti do djelomičnog ili potpunog odumiranja stabala. Rupe koje su ulaz u gnijezdo narušavaju estetiku drvenih objekata ili ukrasnih biljaka. Gnijezda napravljena u drvenim razvodnim stupovima, ogradama ili drvenim dijelovima pruge mogu uzrokovati ozbiljne probleme jer tijekom godina i dodatnog produbljivanja tuneli mogu doseći dužinu i preko 250 cm. Za sprječavanje navedenih šteta, ovi autori preporučuju premazivanje drveta bojama na bazi ulja ili poliuretana.

2.2.4. Alkalne pčele

Najveći broj vrsta solitarnih pčela gradi svoja gnijezda ispod površine zemlje, ali samo se alkalne pčele (*Nomia melanderi* Cockerell) uzgajaju za komercijalnu upotrebu (Kapheim i sur. 2021., Cane 2008.). One pripadaju redu Hymenoptera, porodici Halictidae i rodu *Nomia* (Cane 2003.).

N. melanderi autohtona je vrsta sušnih područja zapadnog dijela Sjeverne Amerike (Slika 2.2.4.1.) (Vinchesi i sur. 2012.).



Slika 2.2.4.1. Područje rasprostranjenosti alkalnih pčela
Izvor: https://www.discoverlife.org/mp/20m?r=0.2&la=48&lo=-108&kind=Nomia+melanderi

Gnijezda grade u alkalnim tlima, po čemu su i dobile naziv. Zbog uspješnog oprašivanja lucerne, koristile su se u nasadima sjemenske proizvodnje još prije listosjekačica. Međutim, zbog jednostavnijeg masovnog uzgoja i transporta listosjekačica, smanjila se potražnja za alkalnim pčelama (Vinchesi i sur. 2018.). U posljednje su se vrijeme ponovno počele koristiti kao oprašivači metvice, luka, celera, ali i drugih kultura (Batra i Bohart 1969., Peterson i Artz 2013., Mader i sur. 2010.).

Alkalne pčele dugačke su prosječno 11 mm, tamne su boje sa zlatno-crnim prugama na zatku (Slika 2.2.4.2.). Mužjaci i ženke ne razlikuju se veličinom, ali mužjaci u odnosu na ženke imaju duža ticala (Johansen i sur. 1976., Mader i sur. 2010.) i nemaju žalac.



Slika 2.2.4.2. Alkalna pčela *Nomia melanderi*
Izvor: https://alchetron.com/cdn/alkali-bee-b1200a23-64fe-4ff3-ada9-3bdcdf4d581-resize-750.jpg

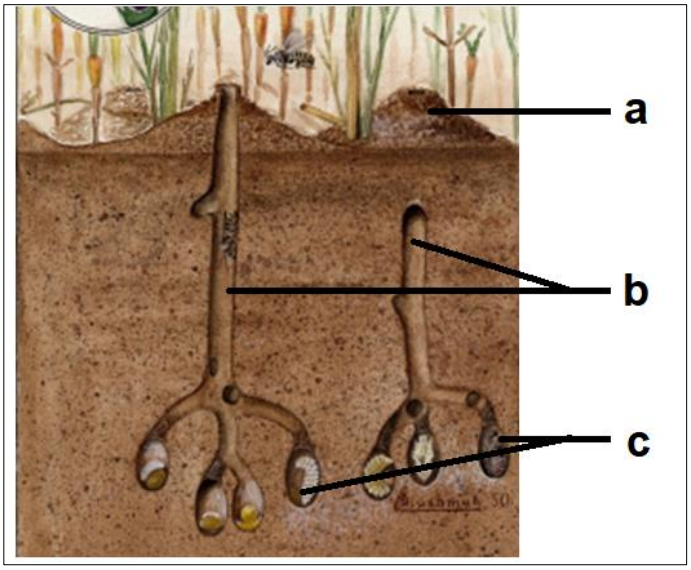
Gnijezde se u skupinama na način da se veliki broj ženki okuplja i gnijezdi na istom području, ali svaka gradi zasebni tunel (Slika 2.2.4.3.).



Slika 2.2.4.3. Alkalne pčele gnijezde grade u skupinama
Izvor: https://www.fs.fed.us/wildflowers/pollinators/pollinator-of-the-month/images/alkalibee/AlkaliBeesImage005_lg.jpg

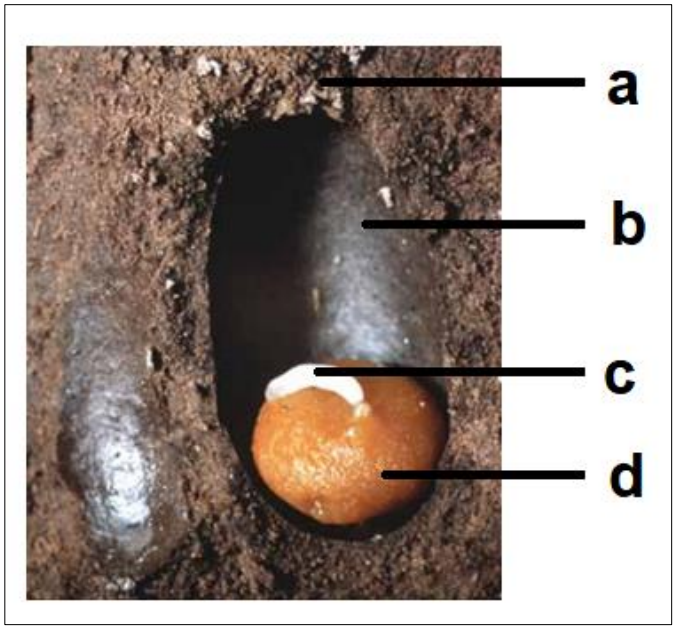
Cane (2008.) navodi kako je dosad najbrojnija grupacija solitarnih pčela sadržavala više od 5 milijuna ženki koje su radile gnijezda na površini 1,5 hektara

Gnijezdo se sastoji od jednog glavnog, okomitog tunela koji se grana u manje odvojke gdje se nalaze stanice u kojima ženka polaže jaja (Slika 2.2.4.4.). Promjer glavnog tunela je oko 12,5 mm, a dubina varira od 5 cm pa sve do preko 30 cm (Johansen i sur. 1976.). Stanice su blago ovalne, postavljene okomito, a jedno gnijezdo sadrži najčešće oko 15 stanica. Unutar svake stanice ženka odlaže mješavinu peludi i nektara te na njih polaže jaje.



Slika 2.2.4.4. Presjek gnijezda alkalne pčele
a) humak zemlje oko ulaza u gnijezdo; b) glavni tuneli; c) stanice u kojima se razvijaju jedinke
Izvor: https://www.honeybeesuite.com/wp-content/uploads/2012/12/nesting-tunnel-diagram.jpg (modificirano)

Prilikom prikupljanja hrane, alkalne pčele prelaze udaljenosti i do 8 km. Kako navode Peterson i Artz (2013.), ženka pelud prenosi na dlačicama stražnjih nogu. Na početku svakog dana prvo položi jaje u stanicu koju je dan ranije napunila dovoljnom količinom peludi i nektara koja je potrebna novoj jedinki za razvoj. Zatim kopa novu stanicu te ju tijekom dana opskrbljuje hranom za polaganje novog jaja. Prilikom kopanja tunela i izgradnje gnijezda, ženka zidove obloži izlučevinom s usnog ustroja, točnije s jezika koji tvori tvrdi i vodootporni sloj. Na vrhu svake stanice nalazi se i zemljani čep kao dodatna zaštita (Slika 2.2.4.5.), a u svakoj se stanici nalazi samo jedno jaje (Mader i sur. 2010.).



Slika 2.2.4.5. Izgled stanice alkalne pčele
a) zemljani čep; b) prostor stanice; c) jaje alkalne pčele; d) pomiješani pelud i nektar
Izvor: (Mader i sur. 2010.,modificirano)

Iz oplođenih se jaja razviju ženke, a iz neoplođenih mužjaci. Omjer mužjaka i ženki je približno podjednak, s malom razlikom u korist mužjaka (Peterson i Artz 2013., Johansen i sur. 1976.).

U proljeće ili rano ljeto odrasle jedinke napuštaju gnijezdo. U slučaju niskih temperatura ili kada je tlo vlažno, izlazak iz gnijezda je odgođen (Johansen i sur. 1976.). Mužjaci izlijeću dan ili dva prije ženki, lete na području iznad gnijezda te čekaju izlazak ženki. Sparivanje se događa odmah nakon pojave ženki te one ubrzo započinju s izgradnjom gnijezda. Tijekom života od 4 do 6 tjedana (Rust 2007.), ženka položi od 9 do 16 jaja, a u savršenim uvjetima i do 20 (Kapheim i sur. 2021., Mader i sur. 2010.).

Razvoj nove jedinke započinje stadijem jajeta koji traje 3 dana. Zatim se iz jajeta izlegne ličinka koja tijekom idućih 8 do 10 dana naraste do pune veličine (Johansen i sur. 1976.). Slijedi razdoblje dijapauze u kojem predkukuljica miruje i ostaje dormantna tijekom cijele zime, što može trajati i do 10 mjeseci (Rust 2007.). Iduće proljeće, ličinka prolazi fazu kukuljice te se razvija u odraslu jedinku. Prilikom izlaska iz stanica, mlade pčele izbacuju zemlju koja tvori prepoznatljivu hrpicu na ulazu u gnijezdo, kako je vidljivo na slici 2.2.4.4. (Mader i sur. 2010.).

Također, na slici 2.2.4.4. je uočljiva bijela površina koja se nalazi oko hrpica zemlje. Bijeli sloj na površini je posljedica taloženja soli i minerala, ali je istaloženi sloj većinom prekriven izbačenom zemljom. Iako tipično imaju jednu generaciju godišnje, u Kaliforniji se tijekom godine razvije više generacija (Peterson i Artz 2013.).

Batra i Bohart (1969.) zabilježili su nespecifično ponašanje alkalnih pčela povezano s brigom o potomstvu. Medonosne pčele žive u zajednici te se, između ostalog, brinu o leglu, a dio brige uključuje i uklanjanje bolesnih jedinki legla. Kod solitarnih pčela nije zabilježeno uklanjanje bolesnih ili uginulih jedinki, osim kod alkalnih pčela. Navedeni su autori ispitivali kako ženke *N. melanderi* reagiraju na prisutnost kontaminacije vrstama *Aspergillus flavus* Link, *Aspergillus tamarii* Kita, *Fusarium solani* Sacc., *Rhizopus* sp. i *Mucor* sp. unutar gnijezda i pojedinih stanica. Solitarne pčele nakon polaganja jaja i zatvaranja stanice, istu više ne otvaraju. Međutim, Batra i Bohart (1965) su uočili da ženke alkalnih pčela otvaraju stanice u kojima su jedinke zaražene nekom od navedenih gljiva te tu stanicu popune zemljom kako bi spriječile širenje zaraze. Navode kako su ženke zatrpale zemljom samo manji dio stanica sa zaraženim jedinkama te da nisu popunjavale zemljom one u kojima su se nalazile jedinke zaražene bakterijama, kvascima ili različitim vrstama gljiva od gore navedenih. Smatra se da je takav oblik brige o potomstvu bio početak razvoja socijalnog ponašanja.

Alkalne pčele naseljavaju tla različite strukture, ali vrlo su osjetljive po pitanju vlage. Najčešći limitirajući faktor za izgradnju gnijezda je nedostatak ili prevelika količina vlage u tlu. U vrijeme polaganja jaja, pojedina tla mogu zadovoljavati uvjete za izgradnju gnijezda, ali u narednom razdoblju suša ili prekomjerne padaline mogu uništiti jedinke koje se razvijaju ili uzrokovati odlazak odraslih ženki na drugo, pogodnije područje. Zato im je potrebno osigurati tlo koje je drenirano, kako bi se izbjeglo poplavljivanje gnijezda, ali ujedno i dobro opskrbljeno vlagom.

Do sada nisu osmišljena gotova gnijezda u kojima bi ženke polagale jaja, ali je Stephen (1965.) opisao izradu „umjetnih kreveta“ kojima se osiguravaju navedeni optimalni uvjeti u zemlji za izgradnju gnijezda.

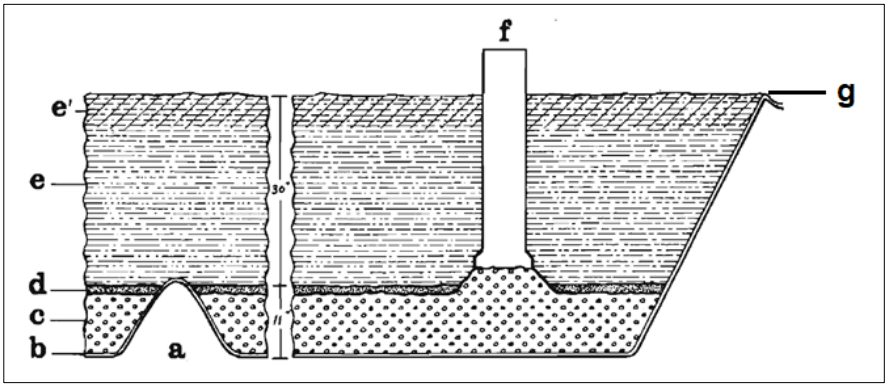
Peterson i Artz (2013.) navode kako je u takvim uvjetima zabilježeno i do 278 gnijezda po m^2. Prema Stephenu (1965.), njihovo korištenje je korisno na područjima koja su pogodna za uzgoj bilja koje oprašuju alkalne pčele, posebice lucerne, ali je izražen manjak povoljnog tla za izgradnju gnijezda.

„Umjetni kreveti“ se sastoje od polietilenske folije na dnu, zatim sloja šljunka koji služi kao rezervoar vode, grubog pijeska, zemlje određene strukture i na vrhu sloj zemlje pomiješan sa soli (NaCl). Važno je postaviti i cijev kroz koju će se ulijevati voda. Kako je već navedeno, alkalne pčele prihvaćaju širok raspon različitih tekstura zemlje u kojima grade gnijezda, ali prevelika količina gline ili pijeska uvjetovat će manji broj položenih jaja ili čak njihovo ugibanje u toku razvoja. Zato je svrha izgradnje „umjetnih kreveta“ da se osigura kvalitetan materijal za polaganje jaja i omogući odvodnja suvišne vode nakon obilnih oborina. Ali najvažnije je osigurati uvjete konstantne vlage u tlu, tako što se na dno ulije veća količina vode, koja isparavanjem i kapilarnim usponom vlaži zemlju u kojoj su gnijezda.

Dimenzije „umjetnih kreveta“ mogu varirati od 120 cm dužine i širine pa sve do 120 m dužine i 60 m širine. Dubina koju pčele prihvaćaju je u rasponu od 45 do 120

cm. Međutim, kod manjih dubina, od 45 do 60 cm, potrebno je češće dodavati vodu jer tlo prebrzo gubi vlagu. Posljedica toga su i velike oscilacije vlage u tlu zbog kojih je tlo često previše ili premalo vlažno što negativno utječe na razvoj novih jedinki. Optimalno je postaviti 90 cm zemlje iznad sloja šljunka jer se na taj način osigurava konstantna vlažnost tla, a vodu je potrebno dodavati samo jednom godišnje.

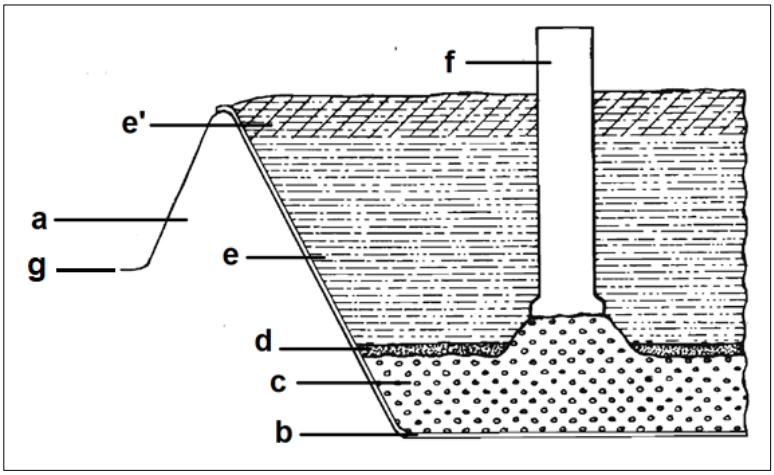
„Umjetni kreveti“ mogu biti napravljeni na način da su u razini okolne površine, odnosno da su cijeli ukopani u zemlju (Slika 2.2.4.6.).



Slika 2.2.4.6. Shematski prikaz „umjetnog kreveta“ u razini okolne površine a) humak zemlje ispod polietilenske folije; b)polietilenska folija; c) šljunak; d) grubi pijesak; e) zemlja optimalne teksture; e') sloj zemlje pomiješan sa soli; f) cijev za ulijevanje vode; g) razina zemlje

Izvor: Stephen, 1965.

Druga mogućnost je da su do pola ukopani u zemlju, a druga polovica se nalazi iznad razine tla u obliku humka (Slika 2.2.4.7.).



Slika 2.2.4.7. Shematski prikaz „umjetnog kreveta“ iznad razine tla a) humak zemlje ispod polietilenske folije, smanjuje otjecanje vode; b) polietilenska folija; c) šljunak; d) grubi pijesak; e) zemlja optimalne teksture; e') sloj zemlje pomiješan sa soli; f) cijev za ulijevanje vode; g) razina zemlje

Izvor: Stephen, 1965.

Prednost humka je u brzom otjecanju oborinske vode i smanjenju opasnosti od poplavljenog gnijezda, ali nedostatak je brzi gubitak vode cijeđenjem na rubnim dijelovima gdje je relativno mali sloj zemlje iznad šljunka. Prilikom izgradnje, dno se pokrije polietilenskom folijom debljine od 6 do 8 mm, a na rubovima se postavi folija 45 cm u visinu kako bi se formirala udubina u koju će se postaviti šljunak. Svakih približno 7,5 m se ispod folije napravi humak od zemlje visine 12 cm koji odvaja udubine sa šljunkom u posebne dijelove. Ukoliko polietilenska folija pukne ili se šljunak onečisti zemljom i izgubi funkciju vodoravnog transporta vode, samo na odvojenom dijelu će biti smanjena kvaliteta za izgradnju gnijezda. Šljunak koji se koristi ne smije biti premalen ili pomiješan s pijeskom jer je u tom slučaju onemogućena vodoravna raspodjela vode. Preporučeno je koristiti šljunak veličine 2,5 cm, bez oštrih rubova koji bi mogli prerezati polietilensku foliju. Debljina šljunčanog sloja je između 20 i 30 cm.

Prema Mader i sur. (2010.), u sredinu šljunčanog sloja postavljaju se vodoravne perforirane cijevi za bolju raspodjelu vode. Na šljunak se postavi 2,5 do 5 cm grubog pijeska koji služi kao barijera između šljunka i zemlje. Zemlja koju se koristi trebala bi imati manje od 10% gline i manje od 40% pijeska. Takva tekstura osigurava optimalne uvjete za izgradnju gnijezda i za raspodjelu vlage. Na površinu je poželjno staviti sloj soli koji se ručno ili strojno pomiješa s gornjih 10 do 15 cm zemlje. Dodavanje soli nije nužno i ne utječe izravno na privlačenje pčela, ali je korisno ukoliko tlo ne sadrži dovoljne količine minerala. Naime, sol i drugi minerali se kapilarnim usponom transportiraju na površinu tla gdje se talože nakon isparavanja vode. Istaloženi minerali na površini tvore sloj koji smanjuje naknadnu evaporaciju vode, što omogućuje održavanje povoljne vlage tla, iako se ono nalazi u sušnom području.

Na svakih 35 do 55 m^2 je potrebno postaviti po jednu cijev, promjera oko 25 cm, kroz koju će se ulijevati voda. Cijev je najbolje postaviti na humak napravljen od šljunka kako bi se voda brzo i jednoliko rasporedila. Količinu vode koju je potrebno dodati kroz cijevi je moguće računski približno odrediti, ali jednostavnije je pratiti površinski sloj. Ukoliko je nekoliko dana nakon dodavanja vode površinski sloj vlažan, znači da zemlja u kojem će pčele graditi gnijezda sadrži optimalnu količinu vlage. U slučaju da je gornji sloj suh, potrebno je dodati još vode. Prije samog naseljavanja pčela, na površini se napravi zbijeni sloj tako što se prijeđe ručnim valjkom.

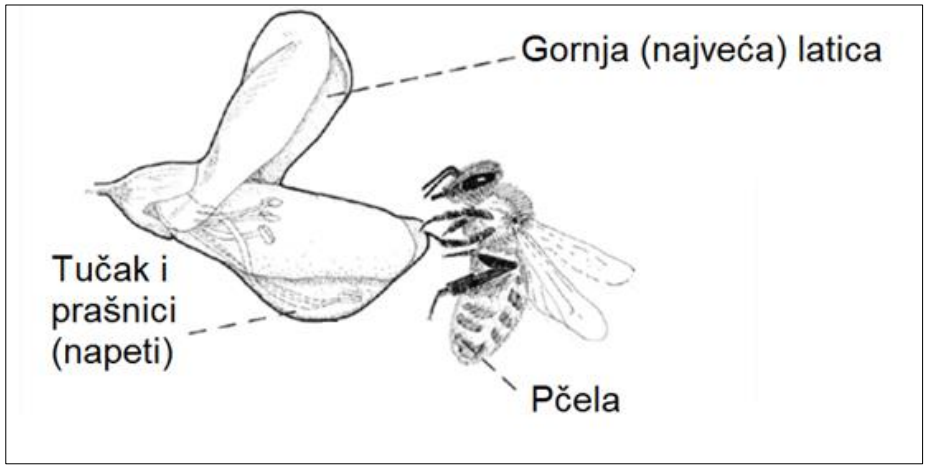
Pčele se mogu naseliti tako što se prenose dijelovi zemlje u kojima se nalaze predkukuljice u fazi mirovanja te se oni ukopaju na određeno mjesto. Ovisno o teksturi tla, to mogu biti zemljani blokovi u slučaju kada je tlo kompaktno. Gornja površina blokova je kvadratnog oblika, dimenzija 25 do 30 cm, a visina je blokova prilagođena dubini gnijezda. Ako je tlo rastresito zbog većeg sadržaja pijeska ili organske tvari, koriste se čelični cilindri za prijenos gnijezda.

Potrebno je obratiti pažnju na bakterije, gljive i nametnike koji se nalaze u tlu u kojem su i jedinke alkalnih pčela. Ukoliko se pčele naseljavaju na područje na kojem su prisutni isti organizmi kao i na izvornom području pčelinjih gnijezda, prihvatljivo je transportirati cijele blokove zemlje. Na području gdje se prenose pčele se iskopaju rupe u ranije pripremljenim „umjetnim krevetima“ te se blokovi zemlje s predkukuljicama postave u rupe. Dubina na koju se postavljaju blokovi ovisi o stadiju u kojem se jedinke nalaze kao i o temperaturnim uvjetima novog područja. Bitno je blokove zatrpati zemljom koju se mehanički pritisne da bi se osigurao kontakt između nove i postojeće zemlje jer bez kvalitetnog kontakta nije omogućen kapilarni prijenos vode te dolazi do isušivanja zemlje.

Kada se alkalne pčele naseljavaju na područje u kojem su prisutne drugačije bakterije, gljive i nametnici u tlu u odnosu na izvorno stanište pčela, transportiraju se predkukuljice izolirane iz tla. Predkukuljice trebaju proći fazu inkubacije bakterija i gljiva kako bi se izdvojile jedinke koje nisu potpuno zdrave. Kao dodatna mjera opreza, preporuča se pričekati do razvitka odraslih jedinki prije njihovog puštanja na željeno područje, jer se tek kod odraslih pčela mogu odvojiti jedinke zaražene nametnicima.

Ovakav način transporta pčela nije uobičajen jer zahtjeva puno rada te se koristi samo u situacijama kada postoji opasnost od prijenosa bolesti ili nametnika s jednog područja na drugo . Iako je Stephen (1965.) ovakav model uzgoja alkalnih pčela opisao još prije više od pola stoljeća, do danas je, uz minimalne promjene, takav postupak ostao prihvaćen kao efikasan način uzgoja alkalnih pčela.

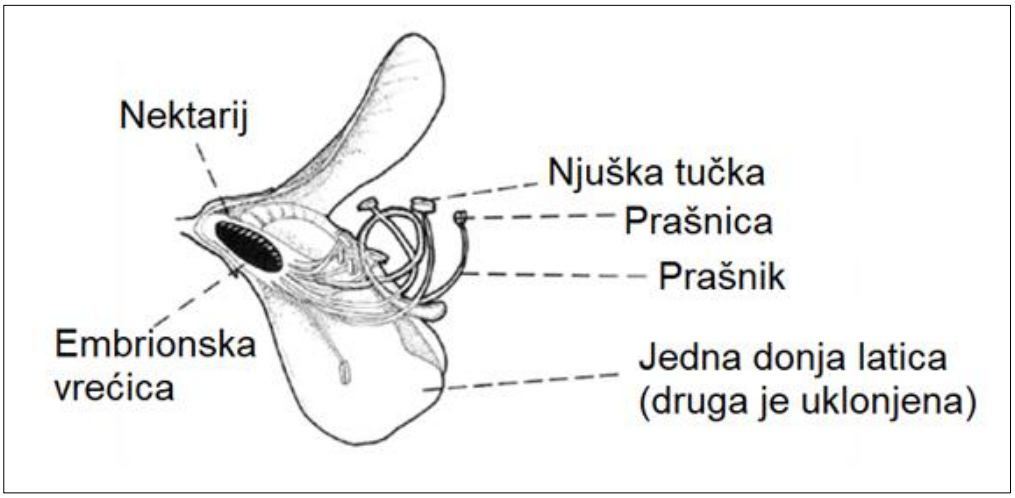
Cvijet lucerne (*Medicago sativa*) zbog specifične morfologije i načina oprašivanja često ostane neoplođen nakon što ga posjeti medonosna pčela. Sastoji se od pet latica, od kojih su donje dvije latice djelomično srasle. Unutar njih se nalaze tučak i prašnici, koji su pod stalnom napetošću, a zadržavaju ih srasle latice (Slika 2.2.4.8.).



Slika 2.2.4.8. Pčela slijeće na donje srasle latice unutar kojih se nalaze napeti tučak i prašnici

Izvor: (Mader i sur. 2010., modificirano)

Za uspješno oprašivanje i oplodnju, potrebno je osloboditi tučak i prašnike koji se tada naglo otpuste te udare u gornju, najveću laticu, što uzrokuje oslobađanje peludi (slika 2.2.4.9.). Naglo oslobađanje tučka i prašnica ujedno udari i kukca koji se nalazi na cvijetu (Vinchesi i sur. 2018.)



Slika 2.2.4.9. Oslobođeni tučak i prašnici – preduvjet za uspješnu oplodnju
Izvor: (Mader i sur. 2010., modificirano)

Medonosne pčele su, s ciljem izbjegavanja udarca, razvile princip sakupljanja nektara bez da uzrokuju otvaranje sraslih latica. Lucerninoj listosjekačici (*M. rotundata*) i alkalnoj pčeli (*N. melanderi*) ne smeta udarac te one prilikom prikupljanja nektara svojim dolaskom na cvijet oslobode tučak i prašnike. Na taj način je ostvarena višestruka korist – navedene pčele na dlačicama tijela zadrže raspršenu pelud, osiguran je uvjet nužan za oprašivanje lucerne, a kod proizvodnje sjemena prinosi su znatno veći nego kod oprašivanja medonosnom pčelom (Mader i sur. 2010., Vinchesi i sur. 2018.).

2.3. Gubitak staništa

Solitarne pčele, osim što su veoma važne za oprašivanje poljoprivrednih kultura, neizostavni su oprašivači biljaka u prirodnim ekosustavima. Unutar njih, pčelama su dostupne raznolike biljke, a samim time omogućeno im je i prikupljanje peludi s različitih cvjetova i različitog sastava.

Vrste solitarnih pčela moguće je podijeliti u skupinu generalista i specijalista. Pčele koje su generalisti prikupljaju pelud s različitih dostupnih biljaka, dok specijalisti preferiraju određene biljne vrste ili rodove. Uočeno je da se najviše smanjuje broj pčela koje su specijalisti te uz to prelaze male udaljenosti od gnijezda u potrazi za hranom (Kline i Joshi 2020.).

S obzirom na veliku brojnost vrsta solitarnih pčela i njihove različite zahtjeve za staništima, prirodni ekosustavi osiguravaju potrebna staništa za sve prisutne vrste,

bilo da se one gnijezde u tlu, postojećim šupljinama ili kopaju vlastita gnijezda u drveću. Osim pogodnog prostora za izgradnju gnijezda, pčelama su potrebni i ranije navedeni materijali poput zemlje i lišća koji služe za zaštitu potomstva u stanicama i čahuricama. Prirodna staništa obiluju raznim materijalima kojima se koriste solitarne pčele, a gubitak staništa i prateće smanjenje bioraznolikosti imaju negativan utjecaj na njihovu brojnost, raznolikost i rasprostranjenost.

Intenzifikacija poljoprivrede i urbanizacija dva su glavna uzroka gubitka prirodnih staništa solitarnih pčela, a gubitak staništa jedan je od glavnih razloga smanjenja ukupnog broja solitarnih pčela. Osim smanjenog ukupnog broja, uočeno je smanjenje raznolikosti. U prirodnim uvjetima poželjna je što veća raznolikost koja uključuje veliki broj različitih vrsta, dok se agrosustav najčešće sastoji od malo različitih vrsta, ali su njihove populacije relativno velike. Problem smanjene raznolikosti je brže širenje bolesti i štetnika te manje šanse za preživljavanje pojedine vrste jer promjene okolišnih uvjeta direktno utječu na jednu veliku populaciju vrlo sličnih jedinki, a ne na puno manjih populacija koje imaju različite karakteristike i životne cikluse (Olynk 2017; Kline i Joshi 2020.).

Na poljoprivrednim površinama uglavnom se uzgajaju monokulture ili nekoliko glavnih usjeva, ali u oba slučaja minimalna je raznolikost biljnih vrsta. Također, koristi se brojna mehanizacija za obradu tla ili održavanje nasada koja uništava gnijezda solitarnih pčela koja se nalaze u tlu (Olynk 2017.). Takvi uvjeti ne osiguravaju pogodna staništa za preživljavanje i izgradnju gnijezda solitarnih pčela, a uzgoj monokultura posebno je nepogodan za vrste koje prelaze puno manje udaljenosti prilikom prikupljanja peludi i nektara u odnosu na medonosne pčele. Kline i Joshi (2020.) navode kako je istraživanjem utvrđeno da tri promatrane vrste solitarnih pčela prelaze i do 1400 m. Drugo istraživanje je uključivalo 16 vrsta, koje su se kretale na udaljenostima od 150 do 600 m u potrazi za hranom. Međutim, većina vrsta ipak prelazi relativno male udaljenosti te se uglavnom zadržavaju unutar 300 m od gnijezda. Iz tog razloga, važno je da se izvor hrane nalazi u blizini područja pogodnog za izgradnju gnijezda jer nedostatak jedne od dvije navedene potrebe onemogućuje uobičajen život i razmnožavanje solitarnih pčela.

Problem udaljenih staništa od izvora hrane je duže razdoblje koji ženke provode izvan gnijezda, a tijekom kojeg su jaja i ličinke u gnijezdu izložene napadu štetnika. Zbog uništavana prirodnih staništa i područja pogodnih za izgradnju gnijezda, solitarne pčele hranu traže na udaljenim područjima što se može negativno odraziti na njihovo opće stanje jer je za prelazak većih udaljenosti i potrošnja energije veća. Također, brojnost jedinki na poljoprivrednom području može se smanjiti jer će pčele posjećivati cvjetove koji su najbliži gnijezdu, a područje intenzivne poljoprivrede najčešće ne osigurava potrebne uvjete za izgradnju gnijezda, osim u slučaju kada su postavljene nastambe za gnijezda solitarnih pčela.

Povećanje površina pod pašnjacima još je jedan od razloga gubitka staništa solitarnih pčela. Površine koje su ranije bile prekrivene šumama, travnjacima i

drugom vegetacijom, nakon prenamjene u pašnjake i nekontroliranog korištenja, često nakon nekoliko godina ostanu opustošene, sa smanjenom biološkom raznolikošću te nalik na pustinju.

U Sjevernoj Americi se posljednjeg stoljeća smanjila rasprostranjenost solitarnih pčela jer su područja prerija, koja su bila njihova prirodna staništa, većinom uništena kako bi se povećala površina za poljoprivrednu proizvodnju (Kline i Joshi 2020.).

Gubitak staništa uzrokovan širenjem poljoprivrede izravno je povezan sa smanjenjem raznolikosti dostupne peludi i nektara. Područje koje je sadržavalo brojne biljne vrste, a koje su osiguravale obilnu i raznoliku opskrbu peludi, zamijenile su poljoprivredne površine na kojima se uzgaja svega nekoliko različitih kultura, a ponekad i samo jedna. Uzgoj monokultura ne zadovoljava potrebe pčela za različitim vrstama peludi. Solitarne pčele koje su specijalisti suočavaju se s nedostatkom hrane u periodu kada uzgajana monokultura ne cvate, dok su generalistima potrebni raznoliki izvori peludi za život, ali i potomstvu u fazi razvoja. Osim toga, broj potomstva i tjelesna masa smanjeni su kada pčele nemaju pristup dovoljnoj količini peludi ili kada ona potječe od samo jedne biljne vrste te ne osigurava potrebnu količinu različitih hranjivih tvari, kao što su proteini. Konzumacija takve peludi može uzrokovati i povećanu osjetljivost na bolesti i štetnike. Elementi ekološke infrastrukture uključuju cvjetne trake, livade s cvijećem, zatravljenu površinu (najčešće u voćnjaku), živice i rubne dijelove s raznolikim biljem. Sjetvom ili sadnjom jednog ili više navedenih elemenata, osigurava se raznolikost peludi, a razdoblje dostupnih cvatućih biljaka je produžen zbog većeg broja vrsta koje imaju različite fenofaze. Postavljanje nastambi za solitarne pčele iznad ili u zemlji, uz elemente ekološke infrastrukture, povećava brojnost pčela na određenom području jer im je dostupno sve potrebno za preživljavanje (Kline i Joshi 2020.).

S obzirom na to da se broj pčela smanjuje, sve više ljudi postavlja nastambe za solitarne pčele u vrtovima ili voćnjacima kako bi im se osiguralo pogodno mjesto za izradu gnijezda. Maclvor i Packer (2015.) istraživali su kako postavljanje nastambi izvan intenzivnih poljoprivrednih nasada te sadnja cvijeća kao izvora dodatne hrane utječe na autohtone i unesene vrste. Pratili su koja od navedene dvije skupine solitarnih pčela je sklonija graditi gnijezda u ponuđenim nastambama, je li broj parazita povećan u nastambama zbog velike gustoće jedinki te hoće li tijekom godina unesene vrste ostavljati sve više potomstva u nastambama. Iako najveći broj vrsta solitarnih pčela gradi gnijezda u zemlji, navedeni autori su promatrali samo vrste koje koriste šupljine iznad površine zemlje za polaganje jaja jer je postavljanje nastambi za takve vrste puno jednostavnije od pripremanja tla za pčele koje se gnijezde u zemlji. Ukupno su promatrali 600 nastambi tijekom tri godine. Na kraju istraživanja su zaključili da je ukupan broj potomstva autohtonih i unesenih vrsta bio približno jednak, ali da se razlikovao broj vrsta koje su polagale jaja. Veći broj različitih autohtonih vrsta je polagao manji broj jaja, dok je različitih unesenih vrsta bilo manje, ali su ostavljale veći broj potomstva. Parazitizam je bio povećan u nastambama u

odnosu na prirodne uvjete jer su se u njima nalazile brojne gusto naseljene vrste. Također, zbog velikog broja različitih vrsta na malom području, parazitske vrste su lagano pronalazile ciljanog domaćina. Posljednje, tijekom tri godine nije uočeno značajno povećanje broja potomstva unesenih vrsta u odnosu na autohtone. Nastambe za solitarne pčele prihvatljiva su alternativa prirodnim staništima kada se radi o masovnom uzgoju pojedinih vrsta u svrhu njihovog korištenja kao oprašivača ili za očuvanje malih lokalnih populacija u hobističkim vrtovima ili voćnjacima. Međutim, za očuvanje autohtonih vrsta, posebice onih koje ne prihvaćaju takav oblik grupnih gnijezda, potrebno je očuvati njihova prirodna staništa jer im u suprotnom prijeti izumiranje (Maclvor i Packer 2015.).

Vrste solitarnih pčela kojima su potrebna vrlo specifična mjesta za izgradnju gnijezda te točno određene biljne vrste za preživljavanje i opskrbljivanje hrane za potomstvo ili materijal za gradnju gnijezda, neće preživjeti ukoliko im je nedostupno nešto od navedenog. Razvoj poljoprivredne ili industrijske proizvodnje, širenje gradova, izgradnja cesta, krčenje šuma, obrada zemljišta i uzgoj monokultura glavni su uzroci gubitka staništa solitarnih pčela (Belsky 2018.). Iako se mali broj vrsta uzgaja u komercijalne svrhe, važno je sačuvati prirodna staništa jer ona osiguravaju raznolikost, a za oprašivanje je optimalna prisutnost što raznolikijih oprašivača jer se na taj način pokriva širok spektar potreba biljaka za oprašivanjem.

2.4. Klimatske promjene

Klimatski uvjeti na zemlji mijenjaju se oduvijek, ali ljudski utjecaj uzrokovao je njihovu znatno bržu promjenu. Povišene temperature, promjene u obrascima oborina, promijenjena učestalost suša, oluja, poplava i toplinskih valova i porast razine mora, najizraženije su posljedice klimatskih promjena (Jackson 2019.).

Iako se često koriste kao sinonimi, klimatske promjene i globalno zatopljenje dva su povezana, ali različita pojma. Globalno zatopljenje posljedica je klimatskih promjena, a povišenje prosječne svjetske temperature je uzrokovano globalnim zatopljenjem. Globalno zatopljenje, zbog povećanja prosječne temperature, ujedno je i uzrok drugih navedenih klimatskih promjena. Topliji zrak ima veću mogućnost zadržavanja vlage, što uzrokuje produžena razdoblja bez oborina, nakon kojih slijede obilne količine oborina, koje najčešće rezultiraju poplavama. Povećanje prosječnih temperatura također utječe na vegetacijska razdoblja biljaka, ali i na životinje te se svi organizmi nastoje što bolje prilagoditi novim uvjetima (Riedy 2016.).

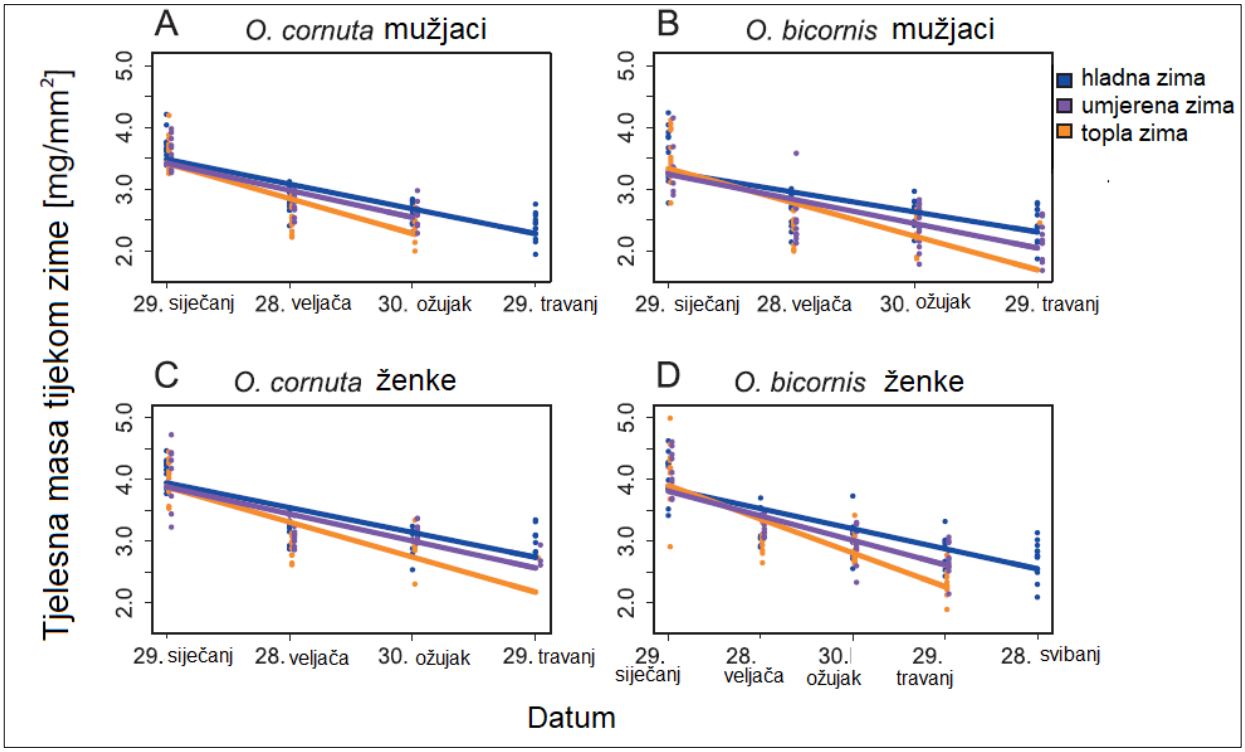
Sve životinje, posebice one čiji je životni vijek relativno kratak dok ostatak godine hiberniraju, moraju svoj životni ciklus uskladiti s uvjetima u okolini. Većina solitarnih pčela živi samo nekoliko tjedana unutar kojih moraju ostaviti potomstvo kako bi osigurale opstanak vlastite vrste. Zbog navedenog razloga, iznimno je važno da im se životni ciklus podudara s uvjetima koji su optimalni za njihovo preživljavanje,

ali i da je dostupna dovoljna brojnost cvatućih biljaka potrebnih za skupljanje peludi i nektara za opskrbljivanje potomstva.

Schenk i sur. (2018.) proučavali su kako temperature za vrijeme zime utječu na pojavu novih jedinki. Njihovo je istraživanje uključivalo dvije vrste pčela zidarica, *O. cornuta* i *O. bicornis*, kod kojih se jedinke nove generacije pojavljuju u proljeće. Navedeni su autori pratili povezanost zimskih temperatura, datuma pojavljivanja i tjelesnu masu u trenutku izlaženja iz kokona. Uočili su da je tjelesna masa u proljeće te njezino povećanje ili smanjenje izravno povezana s temperaturama tijekom zime.

Za potrebe istraživanja, Schenk i sur. (2018.) simulirali su prirodne uvjete u tri različite komore unutar kojih su se nalazile pčele zidarice obje vrste te u kojima su temperature bile za 3°C više ili niže od prosjeka, a u jednoj prosječne. Pčele koje su bile izložene višim temperaturama pojavile su se ranije u odnosu na one koji su se nalazili u hladnijim komorama.

Osim zimskih temperatura, na vrijeme pojave utječe i masa pčela. *O. cornuta* i *O. bicornis* potroše svu dostupnu pelud i nektar prije kukuljenja te po zimi više ne konzumiraju hranu. To znači da moraju preživjeti samo od zaliha masti nakupljenih prije zime. Početna tjelesna masa svake pčele, a samim time i količina masti, ovisi o količini hrane koju je svaka jedinka imala dostupnu u stanici. Za vrijeme trajanja zime i niskih temperatura, pčele postepeno troše uskladištene zalihe masti. U toplijim uvjetima, metabolički procesi su brži pa je ukupna potrošnja energije veća u odnosu na potrošnju energije na nižim temperaturama. Iz tog razloga, tjelesna masa i zalihe masti se brže smanjuju kada su pčele izložene višim zimskim temperaturama (Grafikon 2.3.1.) (Schenk i sur. 2018.).



Grafikon 2.3.1. Potrošnja energije između mužjaka i ženki kod *O. cornuta* i *O. bicornis*

Izvor: (Schenk i sur. 2018., modificirano)

Uzimajući sve navedeno u obzir te promatrajući sva tri uzorka u različitim komorama, Schenk i sur. (2018.) su utvrdili da se nakon zimskog razdoblja prvo pojavljuju pčele koje su bile izložene temperaturama višim od prosjeka. Međutim, kada su uspoređivali različite jedinke unutar istog uzorka, primijetili su da se prvo pojavljuju pčele veće tjelesne mase. Uzrok tome je procjena svake zasebne pčele u kojem trenutku su najpovoljniji uvjeti za izlazak iz kokona. Pčele koje se pojavljuju u rano proljeće, kao što je vrsta *O. cornuta,* suočavaju se s većim vremenskim promjenama kao i s povećanom mogućnošću nedostatka cvatućih biljaka koje su izvor hrane. Jedinke veće mase imaju i više zaliha masti koje im omogućavaju preživljavanje navedenih nepovoljnih uvjeta te se iz tog razloga veće pčele pojavljuju prije manjih kada se radi o uzorku koji je bio izložen istim uvjetima.

Međutim, čekanje najpovoljnijih uvjeta za izlazak iz čahurica ima i svojih nedostataka. Odmicanjem sezone, prisutno je sve više pčela te je povećana kompeticija prilikom pronalaženja partnera za sparivanje i mjesta za polaganje jaja. Schenk i sur. (2018.) pretpostavljaju da zimske temperature utječu na opće stanje (kondiciju) pčela. Opće stanje ovisi o masi, a s obzirom na to da je tjelesna masa najviše smanjena kod pčela koje su bile izložene iznadprosječnim zimskim temperaturama, isti autori zaključuju da je opće stanje tih pčela smanjeno.

Isti autori navode nekoliko mogućih ishoda uzrokovanih klimatskim promjenama i povećanjem prosječne temperature. Prva mogućnost je da pojava pčela prethodi cvatnji te da su pčele izložene periodu bez hrane, druga da cvatnja i

pojava pčela usklađeno urane, a treća da cvatnja započne prije pojave pčela te su one u tom slučaju suočene sa smanjenim resursima hrane nakon prezimljavanja.

Istraživanja koja se odnose na djelovanje klimatskih promjena, odnosno povećanja temperatura, na život solitarnih pčela uglavnom se fokusiraju na proučavanje utjecaja samo jedne varijable, npr. zimske temperature, produženog trajanja proljeća ili jeseni, temperature u proljeće ili druge. Jackson (2019.) navodi kako je dio podataka o utjecaju klimatskih promjena već istražen, ali da se većina istraživanja temelji na predviđanjima ili izradi modela. S obzirom na to da brojni vanjski uvjeti utječu na životni ciklus solitarnih pčela, gotovo je nemoguće utvrditi posljedice koje ima samo jedna izolirana varijabla, u ovom slučaju temperatura. Jedan od primjera je podizanje razine mora koje je posljedica otapanja ledenjaka zbog povišenih prosječnih temperatura. Vrstama koje grade gnijezda u tlima u blizini obala prijeti opasnost od podizanja razine mora te poplavljivanja gnijezda.

Drugi problem za donošenje općenitog zaključka o utjecaju globalnog zatopljenja na solitarne pčele je nedostatak istraživanja o vrstama koje se ne uzgajaju. Za tu su namjenu Slominski i Burkle (2019.) proučavali osam vrsta solitarnih pčela koje se gnijezde u šupljinama te prezimljavaju kao odrasle jedinke (*Osmia californica* Cresson, *Osmia coloradensis* Cresson, *Osmia lignaria* Say, *Osmia montana* Cresson, *Osmia tersula* Cockerell i *Osmia vallicola* Cockerell) ili u stadiju predkukuljice (*Megchile lapponica* Thomson i *Megachile relativa* Cresson). Navedeni su autori koristili kombinaciju uvjeta u polju i laboratoriju kako bi proučavali utjecaj temperature, dužine i početka godišnjih doba na smrtnost unutar kokona, potrošnju skladištene energije i gubitak mase, broj dana potrebnih za pojavu nakon prezimljavanja i dužinu života nakon pojave, ali bez dostupne hrane. Isti autori su koristili 8 različitih tretmana, a regulirali su temperaturu u jesen i proljeće, trajanje jeseni i vrijeme početka proljeća. Primijetili su da vrste iz roda *Osmia* uglavnom reagiraju na vrijeme početka proljeća, a vrste iz roda *Megachile* na temperature tijekom proljeća. Za *Osmia* spp., uranjeni početak proljeća povećao je smrtnost jedinki u stanicama i gubitak mase prije pojave u proljeće, smanjio trajanje životnog vijeka te uzrokovao različite pomake u vremenu pojavljivanja mužjaka i ženki.

Više proljetne temperature pogodovale su vrstama iz roda *Megachile* te je smanjen gubitak mase i produžen je životni vijek promatranih jedinki. Slominski i Burkle (2019.) navode kako takvi rezultati ukazuju da su *Osmia* spp. osjetljivije na klimatske promjene u odnosu na *Megachile* spp.

Sliminski i Burkle (2019.) zabilježili su negativne izravne i neizravne utjecaje uranjenog početka proljeća, povećanih temperatura i dugog razdoblja jeseni na *Osmia* spp, ali ne i na *Megachile* spp. Posljedice svega navedenog su bile povećana smrtnost i gubitak mase unutar kokona te kraći životni vijek pčela zidarica. S obzirom na to da su se rezultati razlikovali ovisno o tome u kojem stadiju vrsta prezimljava, zaključeno je da klimatske promjene štetnije djeluju na vrste koje prezimljavaju kao

odrasle jedinke, odnosno da se vrste koje prezimljavaju u stadiju predkukuljice bolje prilagođavaju promjenjivim uvjetima.

Iako većina istraživanja ukazuje na uranjenu pojavu pčela nakon razdoblja toplijih zima, reakcija pčela na takve uvjete može biti potpuno suprotna, U laboratorijskim uvjetima, kojima je bila izložena vrsta *O. lignaria*, kraće razdoblje izloženosti niskim temperaturama može uzrokovati odgođen završetak dijapauze, a posljedično tome kasnija je i pojava odraslih jedinki u proljeće. Sva istraživanja na *Osmia* spp. ukazuju na to da odgođena pojava u proljeće, uzrokovana nedovoljno hladnim zimama, značajno povećava metaboličku potrošnju uskladištene masti, a posljedično tome je u vrijeme pojave smanjena kondicija i povećana je smrtnost jedinki u kokonima.

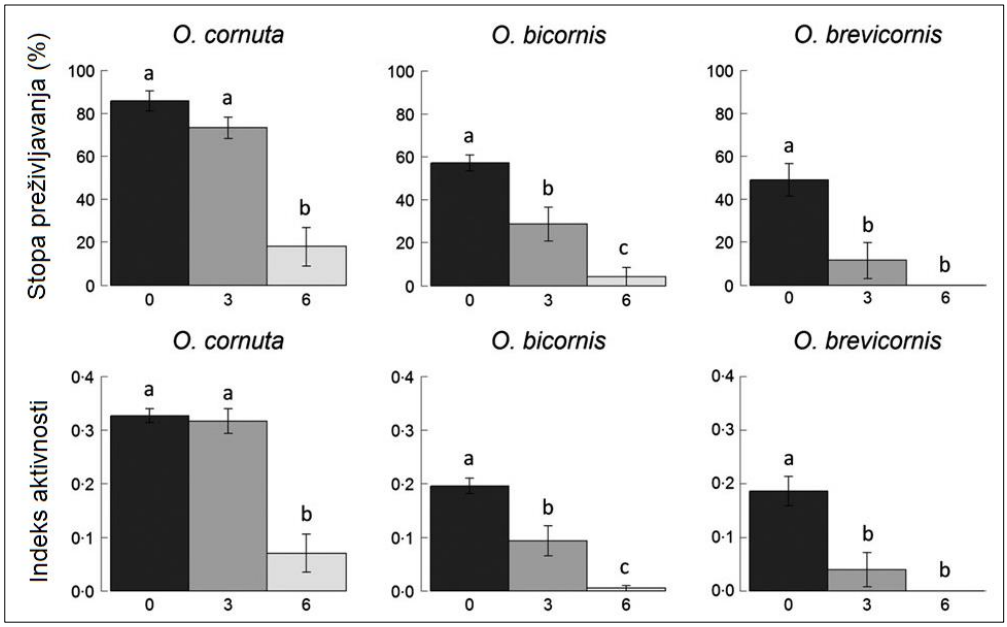
Kao što je već navedeno, promjena temperatura može uzrokovati razliku u vremenu pojavljivanja pčela nakon zime, ali i pomak u početku vegetacije jer brojne vrste koriste temperature kao mjerilo za završetak zimskog mirovanja. Schenk i sur. (2017.) istraživali su kako razmak od nekoliko dana između pojave pčela i početka vegetacije, odnosno cvatnje, utječe na život pčela.

Pčelama su za preživljavanje potrebne cvatuće biljke s kojih skupljaju pelud i nektar te je za pčele optimalna situacija kada je vremenski usklađena njihova pojava i cvatnja. Međutim, promjene temperatura zbog klimatskih promjena uzrokuju odstupanja u uobičajenim procesima. U prirodnim uvjetima minimalna odstupanja su uobičajena, ali posljedice globalnog zatopljenja sve su izraženije te se one očituju i u biljnom i u životinjskom svijetu. Solitarne pčele ovisne su o biljkama te ukoliko dođe do prevelike vremenske neusklađenosti između pojave pčela i cvatnje, preživljavanje pčela i njihovo razmnožavanje je smanjeno. Jedinke koje izađu iz gnijezda u doba kada još nema dostupnih cvjetova moraju preživjeti koristeći se zalihama masti iz organizma što negativno utječe na kondiciju pčela.

Vrste solitarnih pčela koje se pojavljuju u rano proljeće ili kasnu jesen izloženije su riziku od nedostatka hrane u odnosu na pčele čiji životni ciklus započinje u ljeto te su zbog toga Schenk i sur. (2017.) za promatranje odabrali tri vrste pčela zidarica koje se pojavljuju u razdoblju od početka do kraja proljeća. Jedinke vrste *O. cornuta* aktivne su od ožujka do svibnja i posjećuju razne cvjetove bez znakova preferencija. *O. bicornis* je vrsta aktivna u razdoblju od ranog travnja do lipnja te također ne bira biljnu vrstu s koje će skupljati hranu. Najkasnije se pojavljuje vrsta *Osmia brevicornis* F., od kasnog travnja do lipnja, a pčele ove vrste preferiraju posjećivati biljke iz porodice kupusnjača (*Brassicaceae*).

Schenk i sur. (2017.) promatrali su reakciju pčela kada u trenutku njihove pojave nema dostupnih cvatućih biljaka koje bi koristile kao izvor hrane. Podijelili su pčele u tri skupine te se svaka skupina nalazila u velikom kavezu unutar kojeg su autori određivali dostupnost cvjetova, odnosno hrane. U prvom kavezu simulirali su uvjete u kojima je pojava pčela bila usklađena s početkom cvatnje, u drugom kavezu pčelama je hrana bila nedostupna prva tri dana, a u trećem kavezu šest dana

odnosno simulirali su uvjete kada cvatnja kasni tri ili šest dana u odnosu na dan pojave pčela. Zatim su mjerili stopu preživljavanja, aktivnost tijekom života (Grafikon 2.3.2.) te broj i spol potomstva.



Grafikon 2.3.2. Stopa preživljavanja i indeks aktivnosti između *O. cornuta*, *O. bicornis* i *O. brevicornis*

Izvor: (Schenk i sur. 2017., modificirano)

Kada je razmak između pojave pčela i cvatnje bio 6 dana, kondicija svih triju vrsta je bila izrazito loša. Niti jedna jedinka vrste *O. brevicornis* nije preživjela takve uvjete, samo je malen broj jedinki *O. cornuta* i *O. bicornis* preživio, a ženke su polagale manji broj jaja. Razlika od 3 dana drugačije je djelovala na različite vrste. Također su uočili da proljetne temperature zraka, veće od uobičajenih, dodatno negativno utječu na kondiciju pčela, koja je već ionako smanjena zbog nedostatka cvatućih biljaka. Ujedno navode kako su vrste koje se pojavljuju ranije u proljeće izložene većoj mogućnosti gladovanja zbog nedostatka hrane te moraju preživjeti od zaliha masti. *O. cornuta,* koja se pojavljuje najranije od triju promatranih vrsta, najbolje je kompenzirala nedostatak hrane, dok je *O. brevicornis* najlošije reagirala na nedostatak hrane.

Bosch i Blas (1994.) istraživali su utjecaj temperatura tijekom zime na vrstu *O. cornuta*. Utvrdili su da moraju biti izložene određenom razdoblju niskih temperatura tijekom zime, jer u suprotnom ne izađu iz gnijezda iduće godine. Također, prilikom povećanih zimskih temperatura zabilježena je i veća smrtnost te smanjena reproduktivna aktivnost.

Kao što je već navedeno, klimatske promjene mogu uzrokovati nedostatak dostupne hrane jer povišene zimske i proljetne temperature utječu na promjenu početka vegetacije i pojave pčela. Osim što su izložene riziku gladovanja zbog neusklađenosti s cvatnjom, pčele se moraju prilagoditi i povišenim proljetnim

temperaturama koje loše djeluju na njihovu kondiciju i na brojnost potomstva. Iako pčele posjeduju mehanizme za preživljavanje nepovoljnih uvjeta, klimatske promjene uzrokovane antropogenom aktivnošću se odvijaju brže nego što se pčele uspjevaju prilagoditi novim uvjetima.

2.5. Utjecaj pesticida

Konvencionalna poljoprivredna proizvodnja uključuje korištenje brojnih pesticida širokog spektra djelovanja te njihovog čestog, kao i preventivnog, korištenja. S obzirom na to da je nemoguće potpuno prestati koristiti pesticide, važno je koristiti ih pravilno i racionalno kako bi se njihov negativan utjecaj na pčele, ali i ostale korisne kukce, sveo na minimum. Intenzivno i pogrešno korištenje pesticida, posebice insekticida, uzrokuje značajne gubitke populacija pčela (Mokkapati i sur. 2021.).

Pčele koje se nalaze u blizini ili unutar nasada izložene su mješavini različitih pesticida (Young i sur. 2016.) koja mogu imati pojačan negativan učinak ukoliko se koriste u kombinaciji. Tako sredstva koja su malo ili nimalo toksična kada se koriste pojedinačno, mogu pojačati toksičnost drugih sredstava zbog međusobnog djelovanja.

Goulson i sur. (2015.) kao primjer navode korištenje fungicida koji mogu povećati toksičnost insekticida. Herbicidi uništavaju biljni pokrov koji se smatra korovom, ali pčelama može biti važan izvor hrane. Konzumacijom raznolike peludi, pčele bolje podnose izloženost toksinima i štetnicima. Insekticidi iz skupine neonikotinoida koji sadrže neurotoksine iznimno su opasni za pčele jer djeluju na središnji živčani sustav te uzrokuju smrt. Koriste se za tretiranje sjemena, ali se prenose putem biljnih tkiva sve do peludi i nektara (Goulson i sur. 2015., Klaus i sur. 2021., Young i sur. 2016.).

Zbog drugačijeg načina života, pesticidi različito utječu na medonosne i solitarne pčele. Relativno je malo istraživanja provedeno za solitarne pčela, a zbog različitih korištenih metoda i rezultati se razlikuju. Mokkapati i sur. (2021.) proveli su istraživanje kojem je cilj bio utvrditi kako koncentracije djelatnih tvari u insekticidima utječu na razvoj ličinki *O. bicornis*. Promatrali su tri formulacije uobičajenih insekticida, a koncentracije djelatnih tvari bile su prilagođene količinama izmjerenim u peludi na polju. Koristili su insekticide koji sadrže djelatne tvari iz skupine organofosfata, piretroida i neonikotinoida, a od kojih su sve tri skupine vrlo otrovne za pčele. Čak i mala doza uzrokovala je povećanu smrtnost ličinki i jedinki tijekom zime, smanjenu tjelesnu masu i produženo vrijeme za izlazak iz gnijezda. Dio jedinki uginuo je već u fazi ličinke, a dio nije mogao formirati kokon što je dovelo do uginuća. Manje od 20% ličinki tretiranih insekticidima nije doživjelo odraslu fazu, do je oko 43% kontrolnih jedinki preživjelo do odraslog stadija.

Prema Lehmann i Camp (2021.), solitarne pčele su izložene djelovanju pesticida oralnim ili kontaktnim putem. Oralno unose pesticide u organizam prilikom konzumacije peludi ili nektara koji su kontaminirani, a kontaktnom djelovanju su izložene ukoliko se nalaze na biljkama ili u polju prilikom aplikacije pesticida. Ličinke dolaze u kontakt s pesticidima prilikom konzumiranja hrane tijekom razvoja, ali i preko materijala koji sadrže toksične tvari, kao na primjer dijelovi lišća koje listosjekačice koriste za izgradnju čahurica, zemlja kojom zidarice pregrađuju stanice, a vrste koje grade gnijezda u tlu su izravno izložene djelovanju herbicida. Isti autori istaknuli su kako vrijeme proteklo od prikupljanja peludi i nektara do trenutka njihove konzumacije utječe na toksičnost. Medonosne pčele se tijekom razvoja hrane pčelinjim kruhom i medom koji su bili izloženi enzimatskim procesima, a ujedno su i odstajali određeno razdoblje unutar košnice te je sadržaj pesticida smanjen. Međutim, jaja i ličinke solitarnih pčela konzumiraju pelud i nektar vrlo brzo nakon što ju ženke pripreme u gnijezdu te je koncentracija pesticida u odnosu na početnu gotovo nepromijenjena.

Vrste pčela se razlikuju i po osjetljivosti na određene insekticide, odnosno njihove djelatne tvari. Hayward i sur. (2019.) navode kako je utvrđeno da određene vrste pčela posjeduju enzime za razgradnju pojedinih toksičnih spojeva. Suprotno tome, postoje i vrste koje nemaju takve enzime te su višestruko osjetljive na određene djelatne tvari. Naime, Hayward i sur. (2019.) su proučavali djelovanje tiakloprida i flupiradifurona iz grupe neonikotinoida na lucerninu listosjekačicu.Obje navedene tvari gotovo uopće nisu bile toksične za jedinke *A.* mellifera i *O. bicornis,* ali *M. rotundata* je bila iznimno osjetljiva na njihovo korištenje. Iz navedenog razloga, ukoliko se lucernina listosjekačica koristi kao oprašivač, potrebno je izostaviti korištenje insekticida s navedenim spojevima, barem u razdoblju njezine aktivnosti.

Young i sur. (2016.) navode kako sredstva koja sadrže bakteriju *Bacillus thuringiensis* djeluju specifično na gusjenice te ne utječu na odrasle pčele niti na ličinke. Međutim, neka od sredstava koja su odobrena i u ekološkoj poljoprivredi, a sadrže piretrin, rotenon ili spinosad, toksična su za pčele. Osim toga, vrste koje imaju nekoliko generacija godišnje ili duži životni vijek više su izložene pesticidima jer je duže razdoblje tijekom kojeg mogu doći u kontakt s korištenim sredstvima.

Scott-Dupree i sur. (2009.) ispitivali su kako pet različitih insekticida djeluje na vrste *M. rotundata* i *O. lignaria.* Koristili su dva sistemična neonikotinoida (imidakloprid i klotianidin), naturalit spinosad, sintetski piretroid deltametrin i posljednje novaluron. Sistemični se insekticidi primjenjuju folijarno ili tretiranjem tla te ga biljke putem sokova translociraju do svih dijelova. Na taj se način suzbijaju kukci koji sišu biljne sokove ili grizu dijelove biljke. Listosjekačice prilikom prikupljanja materijala za gnijezdo izrezuju dijelove listova te mogu doći u doticaj s toksinima koji se nalaze u biljci. Utvrdili su da na lucerninu listosjekačicu najveću toksičnost ima klotianidin, zatim podjednaku deltametrin i imidakloprid, najmanje spinosad, a novaluron nije značajno povećavao smrtnost. *O. lignaria* najosjetljivija je na

imidakloprid, zatim klotianidin pa spinosad i najmanje deltametrin. *O. lignaria* nije bila testirana na utjecaj novaluroma.

Utjecaj pesticida na solitarne i medonosne pčele značajno se razlikuje zbog čega se ranije spoznaje o medonosnim pčelama ne mogu primijeniti na solitarne. Osim toga, zbog velikog broja različitih pesticida, djelatnih tvari te vrsta solitarnih pčela gotovo je nemoguće utvrditi utjecaj svakog pojedinog proizvoda na vrstu pčela, kao i međusobno djelovanje različitih proizvoda. Iz navedenog razloga, Goulson i sur. (2015.), ali i brojni drugi autori, preporučuju korištenje metoda integrirane zaštite bilja u svrhu kontrole korova te bolesti i štetnika uzgajane kulture. Integrirana zaštita bilja značajno smanjuje izloženost solitarnih pčela, ali i drugih oprašivača, negativnim utjecajima prečestog korištenja pesticida. Metode praćenja populacija bolesti i štetnika omogućuju pravovremeno korištenje selektivnih sredstava te je izbjegnuto preventivno korištenje pesticida širokog spektra djelovanja. Cane (2008.) navodi da su poljoprivrednici, koji koriste alkalne pčele za oprašivanje lucerne, prihvatili takav sustav proizvodnje te koriste pesticide prije ili nakon cvatnje, a samo u slučajevima raširene zaraze ili prenamnoženih štetnika koriste selektivne pesticide, koji nisu toksični za pčele.

2.6. Bolesti i štetnici

Bolesti i štetnici solitarnih pčela mogu biti uobičajeni za pojedino područje ili naknadno uneseni. Unesene bolesti i štetnici najčešće su posljedica premještanja solitarnih pčela iz različitih područja bez potrebnih mjera zaštite kako bi se osiguralo da se prenose samo zdrave jedinke.

Bolest vapnenasto legla uzrokuju gljive iz roda *Ascosphaera*. Navedeni rod sastoji se od 28 različitih vrsta gljiva, a svaka vrsta je specijalizirana za medonosnu pčelu ili različite vrste solitarnih pčela. Nastanjuju samo jedinke koje su u stadiju ličinke. Razvoj spora praćen je naglim rastom hifa te gljiva uništi unutrašnjost zaražene ličinke (Wynns i sur. 2013.). Vapnenasto leglo zidarica *O. lignaria* uzrokuje *Ascosphaera torchioi* Youssef & McManus, a lucernine listosjekačice uglavnom *Ascosphaera aggregata* Skou, ali mogu ga uzrokovati i *Ascosphaera proliperda* Skou, *Ascosphaera larvis* Bissett, *Ascosphaera acerosa* Bisset, G. Duke & Goettel i *Ascosphaera asterophora* Skou (Klinger 2015.).

Spore *A. aggregata* nalaze se u onečišćenoj peludi unutar čahurice lucernine listosjekačice. Ličinke, prilikom konzumiranja peludi, unose i spore ovih gljiva koje nastavljaju s razvojem u srednjem crijevu pčela te one ubrzo ugibaju (Goettel i sur. 1991.). Zaražene ličinke u početku su sivo-žute boje, a kasnije otvrdnu te postanu tamnosive do crne. Glavni izvor spora su gnijezda unutar kojih se nalaze zaražene ličinke. Nakon prezimljavanja, odrasle jedinke izlaze iz gnijezda koje se najčešće sastoji od više jedinki poredanih uzastopno. Prilikom izlaska, pčele koje se nalaze dublje u gnijezdu nailaze na uginulu jedinku te pregrizu prepreku na koju su naišle kako bi mogle izaći iz gnijezda. Sve pčele koje prolaze pored uginule jedinke postaju

nositelji spora na tijelu, a ženke ih unose u nova gnijezda (James i Pitts-Singer 2005., James 2011.).

James (2011.) je proveo istraživanje o tome kako dezinfekcija čahurica utječe na smanjenje vapnenastog legla. Primijetio je da tretiranje čahurica koje su izvađene iz gnijezda značajno smanjuje broj zaraženih jedinki prve godine, ali već iduće je zaraza gotovo jednaka kao prije tretiranja. Zaključio je kako postoji još barem jedan način širenja gljive *A. aggregata* te je potrebno otkriti sve izvore zaraze kako bi se ova bolest mogla adekvatno držati pod kontrolom.

Cacoxenus indagator Loew (Slika 2.6.1.) je kleptoparazitska vrsta muhe dugačka 5 mm koja polaže jajašca u stanice u kojima se nalazi potomstvo zidarica. Kako je već navedeno, za normalan razvoj zdrave jedinke pčela, potrebno je da jedinke u razvojnim stadijima imaju dovoljnu količinu hrane. Iako ova parazitska vrsta muhe ne uništava direktno pčele u razvoju, njezina jaja i ličinke se hrane peludi i nektarom koje se nalaze u stanicama gnijezda. Ukoliko se unutar jedne stanice nalazi više jedinki *C. indagator*, pčele zidarice nemaju dovoljno hrane za razvoj te ugibaju (Zajdel i sur. 2016.).



Slika 2.6.1. *Cacoxenus indagator*

Izvor: http://www.natureconservationimaging.com/images/Cacoxenus-indagator.jpg

Chaetodactylus osmiae Dufour je kleptoparazitska grinja koja za razvoj također koristi pelud i nektar, unutar stanica zidarica. Osim toga, ukoliko se unutar stanice ili kasnije kokona nalazi prevelik broj grinja, dolazi do kompeticije za prostorom te je pčelama onemogućen neometan rast i razvoj. Grinje mogu ometati pčele u prikupljanju peludi za gnijezda jer se tijekom jedne od razvojnih faza prihvate na pčele s ciljem da ih koriste za prenošenje na druge lokacije. Iako niti tada ne parazitiraju pčele direktno, smatraju se prazitima jer zbog svih navedenih razloga ometaju njihov razvoj ili čak uzrokuju uginuće (Rožej-Pabijan i Witaliński 2018.).

Krunić i sur. (1995.) navode da se oba navedena nametnika, ali i drugi manje rasprostranjeni, uspješno drže pod kontrolom ako se trske ili materijal za izradu gnijezda mijenjaju barem svake dvije godine ili redovito čisti. Trska je posebno pogodan materijal jer osigurava prolazak zraka u šupljinama između cjevčica. Drveni

blokovi s izbušenim tunelima ili umjetni materijali koji ne omogućavaju ventiliranje zraka mogu uzrokovati razvoj plijesni unutar gnijezda.

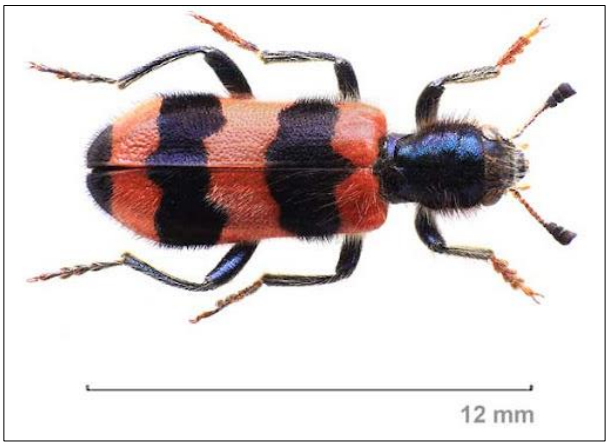
Monodontomerus obscurus Westwood pripada skupini parazitskih osica, a parazitira različite vrste pčela (Macivor i Salehi 2014.). Ženke su dugačke između 3,8 i 4,9 mm, a mužjaci od 2,4 do 3 mm. Zelene, plave ili crne su boje s metalik odsjajem te karakterističnim crvenim očima. Ženka polaže jaja unutar stanica koje imaju pukotine ili nisu zatvorene, ali ponekad leglicom probuše i tanki sloj blata ili listova. Leglica je dugačak i tanak dio tijela koji se nalazi na zatku (Slika 2.6.2.), a pomoću kojeg ženka paralizira ličinke pčela te polaže od 10 do 50 jaja unutar stanice. Nakon što se izlegnu, ličinke osica pojedu paraliziranu ličinku pčele te se narednih mjesec dana razvijaju. Omjer ženki i mužjaka je 3:1, zbog čega je umnažanje ovih štetnika izrazito brzo (Krunić i sur. 2005., Mader i sur. 2010.)



Slika 2.6.2. *Monodontomerus obscurus*

Izvor:
https://lh3.googleusercontent.com/proxy/7PYv04CHPt1WLQikJ14Iada6sJxB0Vc1C1orGmw1l6en5CHrDEGXYVjtJNFMNuYBeBtrhb0KMNpqan08

Trichodes apiarius L. (Slika 2.6.3.) je štetnik koji uništava gnijezdo pčela zidarica. Ženke mogu biti dugačke i do 17 mm, a mužjaci od 6,5 do 13 mm. Ženke polažu jaja u pukotinama u nastambama solitarnih pčela. Ličinke se izlegnu iz jajeta u lipnju ili početkom srpnja te ulaze u gnijezdo pčela. Nakon što pojedu jaje ili ličinku solitarne pčele koja se nalazi unutar jedne stanice, prelaze na drugu. Ličinke ostaju unutar gnijezda sve do zime kada su dugačke od 16 do 20 mm i ružičaste su boje (Slika 2.6.4.). U proljeće zapredaju kokon, a nakon otprilike mjesec dana izlaze odrasle jedinke. Čest je slučaj da, ukoliko se ne suzbija, jedna ličinka uništi cijelo gnijezdo (Krunić i sur. 2005.).



Slika 2.6.3. *Trichodes apiarius*

Izvor: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/G5g9qcUYLZ308PfKrmvdVCdlZ8T_2a4EbGG-RLKRScIPuHH8SZSMBq3-EyNUCpmFwNWDqgkNnGFc6IR0hYbsKab6tR-YFJA7FDKyI9DYryB_AH-Mx1I



Slika 2.6.4. Ličinka *Trichodes apiarius*

Izvor:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c4/Trichodes_apiarius_larva_bl2.jpg/800px-Trichodes_apiarius_larva_bl2.jpg

Alkalne pčele napadaju brojni nametnici i bolesti, ali većinom nisu detaljno istraženi. Najčešće uočeni nametnici su vrste *Heterostylum robustum* Osten Sacken i *Meloe nigra* Kirby.

H. robustum (Slika 2.6.5.) se može primijetiti kako leti iznad gnijezda, jer polaže jaja na ulazu u tunel. Nakon što se iz jajeta izlegne ličinka ove nametničke vrste, ona se ukopa u stanicu u kojoj se nalazi ličinka alkalne pčele i zatim ju pojede.



Slika 2.6.5. *Heterostylum robustum*

Izvor:
https://bugguide.net/images/cache/7ZD/LQZ/7ZDLQZTLJLQH0RDZKRZH2RKHMRELFLTZ0RULSRTZHZDLHZELKZ1LYL3ZQRDZKRJZKR9LSRUL7ZAL3LDZQR6LJLCZRZ.jpg

M. nigra jaja polaže izravno u stanice u kojima se nalaze nerazvijene pčele. Njezine ličinke se hrane ličinkama alkalnih pčela, ali konzumiraju i pelud pomiješan s nektarom, koji je ženka pripremila za svoje potomstvo (Mader i sur. 2010.)

3. Zaključak

Solitarne pčele, zbog iznimne kvalitete oprašivanja, sve se više koriste u raznim dijelovima svijeta u intenzivnim nasadima, ali i u hobističke svrhe. Ljudi postaju sve više svjesni uloge oprašivača te koliko je važno njihovo očuvanje. Pčele i ostali oprašivači čine nezamjenjivu kariku u održavanju ekosustava, ali i agroekosustava.

Ljudskim djelovanjem narušili su se brojni prirodni procesi. Globalno zatopljenje, kao posljedica klimatskih promjena, utječe na fenofaze biljaka te razvojne cikluse solitarnih pčela. Biljke i pčele su međusobno ovisne jer pčele bez biljaka ne mogu preživjeti i osigurati hranu za potomstvo, a entomofilnim su biljkama potrebni oprašivači kako bi se omogućila oplodnja te stvaranje sjemena. Zato je iznimno važno da su cvatnja i život pčela vremenski usklađeni. Međutim, konstantno povećanje temperatura sve više utječe na biljke, ali i životinje. Većina istraživanja ukazuje na uranjenu cvatnju i pojavu pčela, ali pojedina istraživanja navode kako je pojava pčela odgođena zbog neadekvatnih zimskih temperatura te nemogućnosti da pčele završe razvoj unutar kokona. S obzirom na to da su se ubrzane klimatske promjene počele odvijati u relativno nedavnoj prošlosti, nemoguće je točno predvidjeti kakav će dugoročni utjecaj imati na cjelokupni biljni i životinjski svijet.

Gubitak prirodnih staništa solitarnih pčela nemoguće je potpuno izbjeći, jer porast stanovništva zahtijeva i povećanje poljoprivrednih i urbanih površina. Postavljanje nastamba za vrste koje se gnijezde u šupljinama iznad zemlje, izbjegavanje korištenja mehanizacije i obrade tla na područjima gdje se nalaze gnijezda u zemlji te održavanje elemenata ekološke infrastrukture u poljima ili manjim vrtovima neki su od načina osiguranja opstanka solitarnih pčela na područjima gdje bi u suprotnom, prenamjenom prirodnih staništa, njihove populacije bile djelomično ili potpuno uništene.

Konvencionalna poljoprivreda uključuje često i kombinirano korištenje različitih pesticida. Brojni insekticidi izravno uzrokuju uginuće pčela, ali i fungicidi i herbicidi neizravno negativno utječu na život ovih korisnih oprašivača. Neracionalno bi bilo očekivati da se pesticidi u potpunosti prestanu koristiti, ali praćenjem razvoja bolesti i štetnika, korištenjem selektivnih sredstava netoksičnih za pčele ili tretiranjem bilja u vrijeme mirovanja pčela moguće je smrtnost uzrokovanu pesticidima smanjiti na minimum.

Bolesti i štetnici određena su prijetnja populacijama pčela koje se komercijalno uzgajaju. Zbog velikog broja jedinki na malom prostoru ubrzano je njihovo širenje. Osim toga, pčele koje se nalaze na područjima gdje se uzgajaju monokulture nemaju pristup raznolikoj peludi, zbog čega imaju smanjenu otpornost.

Potrebno je očuvati populacije solitarnih pčela jer je bez oprašivača život na Zemlji neodrživ. Osim toga, one su uglavnom miroljubivi kukci koji se savršeno uklapaju u svaki vrt i voćnjak te, iako ne proizvode med, vrlo vrijedno oprašuju sve biljke.

4. Popis literature

1. Aluri J. S. R., Rao S. (2006). Nesting habits, floral resources and foraging ecology of large carpenter bees (Xylocopa latipes and Xylocopa pubescens) in India. Current science. 90 (9): 1210-1217

2. Anton K., Grozinger C., Boyle N. (2021). The Eastern Carpenter Bee: Beneficial Pollinator or Unwelcome Houseguest?. file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/the-eastern-carpenter-bee-beneficial-pollinator-or-unwelcome-houseguest.pdf - pristup: 22.9.2021.

3. Anzenberger G. (2010). Ethological Study of African Carpenter Bees of the Genus Xylocopa (Hymenoptera, Anthophoridae). Ethology. 44 (4): 337–374.

4. Ascher J., Soh E., Soh, Z., Tan H. (2019). Diversity of plants with leaves cut by bees of the genus Megachile in Singapore. Nature in Singapore. 12: 63–74.

5. Batra S. W. T., Bohart G. E. (1969). Alkali Bees: Response of Adults to Pathogenic Fungi in Brood Cells. Science. 8, 165(3893): 607.

6. Belsky J. E. (2018). Toxicity of Formulated Insecticide Mixtures to Apis and Non-Apis Bees. Theses and Dissertations, University of Arkansas, Fayetteville

7. Biddinger D., Frazier J., Frazier M., Rajotte E. G., Leslie, T., Ngugi, H., Donovall L. (2010). Development of the Mason Bee, Osmia cornifrons, as an Alternative Pollinator to Honey Bees and as a Targeted Delivery System for Biocontrol Agents in the Management of Fire Blight. Pennsylvania Fruit News. 90: 35-44.

8. Bosch J. (1994). The nesting behaviour of the mason bee Osmia cornuta (Latr) with special reference to its pollinating potential (Hymenoptera, Megachilidae). Apidologie. 25 (1): 84-93.

9. Bosch J., Blas M. (1994). Effect of over-wintering and incubation temperatures on adult emergence in Osmia cornuta Latr (Hymenoptera, Megachilidae). Apidologie. 25(3): 265-277.

10. Bosch J., Kemp W. (2002). Developing and establishing bee, species as crop pollinators: The example of Osmia spp. (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees. Bulletin of entomological research. 92(1): 3-16

11. Cane J. H. (2003). Annual Displacement of Soil in Nest Tumuli of Alkali Bees (Nomia melanderi) (Hymenoptera: Apiformes: Halictidae) across an Agricultural Landscape. Journal of the Kansas Entomological Society. 76 (2): 172–-176.

12. Cane J. H. (2008). A native ground-nesting bee (Nomia melanderi) sustainably managed to pollinate alfalfa across an intensively agricultural landscape. Apidologie 39(3): 315–323.

13. Cane J., Gardner D., Harrison P. (2011) Nectar and pollen sugars constituting larval provisions of the alfalfa leaf-cutting bee (Megachile rotundata) (Hymenoptera: Apiformes: Megachilidae). Apidologie. 42(3): 401-408.

14. FAO (2004). Conservation and Management of Pollinators for Sustainable Agriculture - The International Response. U: Solitary Bees: conservation, rearing and management for pollination (Ur. Freitas B., Pereira J.). Imprensa Universitária. Fortaleza, Brazil. str. 19–24.

15. Fateryga A., Ivanov S., Filatov M. (2018). Megachilid-bees (Hymenoptera: Megachilidae) of the Crimean Peninsula. Entomofauna. 39 (1): 235–283.

16. Felicioli A., Krunic M., Pinzauti M. (2004). Rearing and Using Osmia Bees for Crop Pollination: A Help from a Molecular Approach. U: Solitary Bees: conservation, rearing and management for pollination (Ur. Freitas B., Pereira J.). Imprensa Universitária. Fortaleza, Brazil. str. 161–170.

17. Freitas B. M., da Silva C. I., Bezerra A. D. (2017). The Illustrated Natural History of a Pollinator: The Carpenter Bee Xylocopa frontalis. A.B.E.L.H.A.. Sao Paulo

18. Giejdasz K., Wilkaniec Z. (2002). Individual development of the red mason bee (Osmia rufa L., Megachilidae) under natural and laboratory conditions. Journal of Apicultural Science. 46 (1): 51–57.

19. Goettel M. S., Richards K. W., Schaalje, G. B. (1991). Bioassay of selected fungicides for control of chalkbrood in alfalfa leafcutter bees, Megachile rotundata. Apidologie. 22 (5): 509-522

20. Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. Science. 347 (6229): 1255957

21. Hayward A., Beadle K., Singh K. S., Exeler N., Zaworra M., Almanza M. T., Nikolakis A., Garside C., Glaubitz J., Bass C., Nauen R. (2019). The leafcutter bee, Megachile rotundata, is more sensitive to N-cyanoamidine neonicotinoid and butenolide insecticides than other managed bees. Nature Ecology & Evolution. 3 (11):1521-1524.

22. Hofmann M., Carson R. (2021). Bees of the Munich Botanical Garden. https://www.botmuc.de/en/bees/ - pristup: 10.9.2021.

23. Hogendoorn K., Leys R. (1993) The superseded female's dilemma: ultimate and proximate factors that influence guarding behaviour of the carpenter bee Xylocopa pubescens . Behavioral Ecology and Sociobiology. 33 (6): 371-381.

24. Jackson L. (2019) East of England Bee Report: A report on the status of threatened bees in the region with recommendations for conservation action. Buglife - The Invertebrate Conservation Trust, Peterborough. https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/2019-05/EofE%20bee%20report%202019%20FINAL_17MAY2019.pdf – pristup: 22.9.2021.

25. James R. R. (2011). Chalkbrood Transmission in the Alfalfa Leafcutting Bee: the Impact of Disinfecting Bee Cocoons in Loose Cell Management Systems. Environmental Entomology. 40(4): 782-787

26. James R. R., Pitts-Singer T. L. (2005). Ascosphaera aggregata contamination on alfalfa leafcutting bees in a loose cell incubation system. Journal of Invertebrate Pathology. 89 (2):176-178

27. James R., Pitts-Singer T. (2013). Health Status of Alfalfa Leafcutting Bee Larvae (Hymenoptera: Megachilidae) in United States Alfalfa Seed Fields. Environmental entomology. 42(6): 1166-1173

28. Johansen C. A., Mayer D. F., Homan H., Capizz J. (1976). Alkali bees: their biology and management for alfalfa seed production in the Pacific Northwest. Publication, Pacific Northwest Cooperative Extension Service. 1-24

29. Kambli S., Aiswarya M., Kandoth M., Varma S., Asha G., Tp R., Sinu P. (2017). Leaf foraging sources of leafcutter bees in a tropical environment: implications for conservation. Apidologie. 48(4)

30. Kapheim K. M., Johnson M. M., Jolley M. (2021). Composition and acquisition of the microbiome in solitary, ground-nesting alkali bees. Scientific Reports. 11 (1): 1–8.

31. Keasar T. (2010). Large Carpenter Bees as Agricultural Pollinators. Psyche : A Journal of Entomology. 1-2: 1–7.

32. Kemp W. (2009). Development and Emergence of the Alfalfa Pollinator Megachile rotundata (Hymenoptera: Megachilidae). Annals of the Entomological Society of America. 93: 904-911.

33. Klaus F., Tscharntke T., Bischoff G., Grass I. (2021). Floral resource diversification promotes solitary bee reproduction and may offset insecticide effects - evidence from a semi-field experiment. Ecology Letters. 24 (4): 668-675.

34. Kline O., Joshi N. K. (2020). Mitigating the Effects of Habitat Loss on Solitary Bees in Agricultural Ecosystems. Agriculture. 10(4): 1-14

35. Klinger E. G.(2015) Virulence Evolution of Fungal Pathogens in Social and Solitary Bees with an Emphasis on Multiple Infections. All Graduate Theses and Dissertations. Utah State University. https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5485&context=etd – pristup 23.9.2021.

36. Krunić M., Stanisavljević L., Pinzauti M., Felicioli A. (2005). The accompanying fauna of *Osmia cornuta* and *Osmia rufa* and effective measures of protection. Bulletin of Insectology 58 (2):141-152

37. Krunić M., Pinzauti M., Felicioli A., Stanisavljević Lj. (1995). Further observations on Osmia cornuta Latr. and O. rufa L. as alternative fruit pollinators, domestication and utilization. Archives of Biological Sciences. 47(1-2): 59-66

38. Lehmann D., Camp A. (2021). A systematic scoping review of the methodological approaches and effects of pesticide exposure on solitary bees. PLOS ONE. 16 (5): e0251197.

39. Lucia M., Alvarez L. J., Abrahamovich A. H. (2014). Large carpenter bees in Argentina: Systematics and notes on the biology of Xylocopa subgenus Neoxylocopa (Hymenoptera: Apidae). Zootaxa. 3754 (3): 201–238.

40. MacIvor J. S. (2016). DNA barcoding to identify leaf preference of leafcutting bees. Royal Society Open Science. 3 (3): 150623

41. MacIvor J. S., Packer L. (2015). 'Bee Hotels' as Tools for Native Pollinator Conservation: A Premature Verdict?. PLoS ONE. 10 (3): e0122126 (1-13)

42. Macivor J. S., Salehi B. (2014). Bee Species-Specific Nesting Material Attracts a Generalist Parasitoid: Implications for Co-occurring Bees in Nest Box Enhancements Environmental Entomology. 43 (4): 1027-1033.

43. Mader E., Spivak M., Evans E. (2010). Managing Alternative Pollinators: A Handbook for Beekeepers, Growers, and Conservationists. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service. Ithaca, New York. https://www.sare.org/wp-content/uploads/Managing-Alternative-Pollinators.pdf – pristup: 28. 8. 2021.

44. Mokkapati J. S., Bednarska A., Laskowski R. (2021). The development of the solitary bee Osmia bicornis is affected by some insecticide agrochemicals at environmentally relevant concentrations. Science of The Total Environment. 775 (3): 145588.

45. Monzón V. H., Bosch J., Retana J. (2004). Foraging behaviour and pollinating effectiveness of Osmia cornuta (Hymenoptera: Megachilidae) and Apis mellifera (Hymenoptera: Apidae) on "Comice" pear. Apidologie. 35: 575-585.

46. NatureSpot. Dostupno na: https://www.naturespot.org.uk/species/leafcutter-bee – pristup: 10. 9.2021.

47. Olynyk M. (2017). Effects of habitat loss, fragmentation, and alteration on wild bees and pollination services in fragmented Manitoba grasslands. https://www.umanitoba.ca/institutes/natural_resources/Left-Hand%20Column/theses/Masters%20Thesis%20Olynyk%202018.pdf – pristup: 23.9.2021.

48. O'Toole C. (2011). Mason Bees As Managed Pollinators Of Orchard Crops. Bee World, 88 (1): 5-8.

49. Ozbek H. (2013). New Data on Large Carpenter-bees of Turkey with Considerations About Their Importance as Pollinators. Journal of the Entomological Research Society. 15 (19): 79-89.

50. Partap U., Ya T. (2012). BioOne The Human Pollinators of Fruit Crops in Maoxian County, Sichuan, China The Human Pollinators of Fruit Crops in Maoxian County, Sichuan, China A Case Study of the Failure of Pollination Services and Farmers' Adaptation Strategies. Mountain Research and Development. 32 (2): 176–-186.

51. Pauly A., Hora Z. A., Wayessa D. N., Amberbir K. (2018). The Xylocopa Latreille, 1802, of Ethiopia (Hymenoptera: Apidae). Belgian Journal of Entomology. 62: 1-30.

52. Peterson S., Artz D. (2013). Production of Solitary Bees for Pollination in the United States. U: Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates and Entomopathogens (Ur. Morales-Ramos J. A., Rojas M. G., Shapiro-Ilan D. I.). Academic Press. SAD- str. 653–681.

53. Pitts-Singer T. L., Cane J. H. (2011). The Alfalfa Leafcutting Bee, Megachile rotundata: The World's Most Intensively Managed Solitary Bee. Annual review of entomology. 56 (1): 221–-237.

54. Prager S. (2014). Comparison of social and solitary nesting carpenter bees in sympatry reveals no advantage to social nesting. Biological Journal of the Linnean Society. 113 (4): 998-1010.

55. Praz C. (2017). Subgeneric classification and biology of the leafcutter and dauber bees (genus Megachile Latreille) of the western Palearctic (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae). Journal of Hymenoptera Research. 55 (4): 1–54.

56. Raw A. (1972). Biology of solitary bee Osmia rufa (L) (Megachilidae). Transactions of the Royal Entomological Society of London. 124 (3): 213–229.

57. Raw A. (1988). Nesting biology of the leaf-cutter bee Megachile centuncularis (L.) (Hymenoptera, Megachilidae) in Britain. The Entomologist. 107 (1): 52–56.

58. Raw A. (2007). An annotated catalog of the leafcutter and mason bees (Megachile) of the Neotropics. Zootaxa. 1601: 1–127.

59. Richards K. W. (1995). The alfalfa leafcutter bee,Megachile rotundata: a potential pollinator for some annual forage clovers. Journal of Apicultural Research. 34 (3): 115–121.

60. Riedy C. (2016). Climate Change. U: The Blackwell Encyclopedia of Sociology (Ur. George Ritzer). Blackwell Ltd. Oxford

61. Rowe L., Killewald M., Isaacs R., Graham K., Wood T. (2019). Use of Nest and Pollen Resources by Leafcutter Bees, Genus Megachile (Hymenoptera: Megachilidae) in Central Michigan. Great Lakes Entomologist. 52 (1-2): 34–44.

62. Rożej-Pabijan E., Witaliński W. (2018). Gonads and gametogenesis in Chaetodactylus osmiae (Acariformes: Astigmata: Chaetodactylidae) a parasite of solitary bees. Acarologia. 58: 801–824

63. Rust R. (2007). Emergence patterns in the alkali bee, Nomia melanderi Cockerell 1906 (Hymenoptera: Halictidae): laboratory versus field. The Pan-Pacific Entomologist. 83 (2). 136–142.

64. Schenk M., Krauss J., Holzschuh A. (2017). Desynchronizations in bee-plant interactions cause severe fitness losses in solitary bees. The Journal of animal ecology. 87(1): 1–11.

65. Schenk M., Mitesser O., Hovestadt T., Holzschuh A. (2018). Overwintering temperature and body condition shift emergence dates of spring-emerging solitary bees. Peer J. 6: 1–13.

66. Scott-Dupree C. D., Conroy L., Harris C. R. (2009). Impact of currently used or potentially useful insecticides for canola agroecosystems on Bombus impatiens (Hymenoptera: Apidae), Megachile rotundata (Hymentoptera: Megachilidae), and Osmia lignaria (Hymenoptera: Megachilidae). Journal of economic entomology. 102 (1):177–-82.

67. Sgolastra F., Hinarejos S.,Pitts-Singer T., Boyle N., Joseph T., Lückmann J., Raine N., Singh R., Williams N., Bosch J. (2018). Pesticide Exposure Assessment Paradigm for Solitary Bees. Environmental entomology. 48(1): 1–14.

68. Sheffield C. (2017). Unusual nesting behavior in Megachile (Eutricharaea) rotundata (Hymenoptera: Megachilidae). Journal of Melittology. 69: 1–6.

69. Slominski A. H., Burkle L. A. (2019). Solitary Bee Life History Traits and Sex Mediate Responses to Manipulated Seasonal Temperatures and Season Length. Frontiers in Ecology and Evolution. 7: 1–13.

70. Steen Z., Schwarz M. P. (2000). Nesting and life cycle of the Australian green carpenter bees Xylocopa (Lestis) aeratus Smith and Xylocopa (Lestis) bombylans (Fabricius) (Hymenoptera: Apidae: Xylocopinae). Australian Journal of Entomology, 39 (4): 291–300.

71. Stephen W. P. (1965). Artificial beds for alkali bee propagation. Oregon State Agricultural Experiment Station Bulletin. 1–20.

72. Ševar M. (2006.). Solitarne pčele. Hrvatski zavod za poljoprivrednu savjetodavnu službu, Zagreb. https://www.savjetodavna.hr/wp-content/uploads/publikacije/solitarne_pcele_web.pdf – pristup 19. 6. 2021.

73. Tepedino V. J., Parker F. D. (1988). Alternation of Sex Ratio in a Partially Bivoltine Bee., Megachile rotundata (Hymenoptera: Megachilidae). Annals of the Entomological Society of America 81 (3): 467–476.

74. Troxclair N., Merchant M. (2001). Carpenter Bees. https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87052/pdf_1474.pdf?sequence=1&isAllowed=y – pristup 24. 7. 2021.

75. Vinchesi A., Cobos D., Lavine L., Walsh D. (2012). Manipulation of soil temperatures to influence brood emergence in the alkali bee (Nomia melanderi). Apidologie. 44 (3): 286–294.

76. Vinchesi A., Walsh D., Broadhead C. (2018). Assessing Transportation Impacts to Alkali Bees (Hymenoptera: Halictidae) and Alfalfa Seed Production in Southeastern Washington State. American Entomologist. 64 (1): 52–58.

77. Weissmann J., Picanço A., Borges P. A. V., Schaefer H. (2017). Bees of the Azores: an annotated checklist (Apidae, Hymenoptera). ZooKeys. 642: 63–95.

78. Wynns A. A., Jensen A. B., Eilenberg J. (2013). Ascosphaera callicarpa, a New Species of Bee-Loving Fungus, with a Key to the Genus for Europe. PloS one. 8 (9): e73419

79. Young B. E., Schweitzer D. F., Hammerson G. A., Sears N. A., Ormes M. F., Tomaino. A. O. (2016) Conservation and Management of North American Leafcutter Bees. NatureServe. Arlington, Virginia.

80. Zajdel B., Fliszkiewicz M., Kucharska K., Gąbka J. (2016). Influence of the presence of Cacoxenus indagator Loew. Parasite larvae in brood chambers on the emergence rate and size of red mason bees. Medycyna Weterynaryjna. 72 (9): 567–570.

Životopis

Ema Igaly rođena je 4. listopada 1996. godine u Zagrebu. Od 2011. do 2015. godine pohađala je XV. gimnaziju. Završila je 4 razreda osnovne glazbene škole u Glazbenom učilištu Elly Bašić. Tijekom osnovne škole volontirala je u Skloništu za nezbrinute životinje Grada Zagreba. Četiri semestra pohađala je tečaj modeliranja gline u Centru za likovni odgoj Grada Zagreba Jozo Kljaković. 2015. godine upisuje preddiplomski studij Ekološke poljoprivrede na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu koji završava 2018. godine obranom završnog rada na temu „Zašto konzumirati mlijeko?“. 2018. godine upisuje diplomski studij na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Ekološka poljoprivreda i agroturizam.