

Utjecaj klimatskih promjena na održivost intenzivne pčelarske proizvodnje

Benkus, Stjepan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:497901>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Stjepan Benkus

Diplomski sveučilišni studij Zootehnika,
modul Lovstvo i pčelarstvo

**UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA ODRŽIVOST INTENZIVNE
PČELARSKE PROIZVODNJE
Diplomski rad**

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Stjepan Benkus

Diplomski sveučilišni studij Zootehnika,
modul Lovstvo i pčelarstvo

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA ODRŽIVOST INTENZIVNE
PČELARSKE PROIZVODNJE

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof.dr.sc. Tihomir Florijančić, predsjednik
2. prof.dr.sc. Zlatko Puškadija, mentor
3. doc.dr.sc. Marin Kovačić, član
4. izv.prof.dr.sc. Ivica Bošković, zamjenski član

Osijek, 2024

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MATERIJAL I METODE	3
3. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA OKOLIŠ I INTENZIVNO PČELARSTVO	4
3.1. Klimatske promjene i njihov utjecaj na okoliš.....	6
3.2. Promjene u poljoprivrednim ekosustavima.....	7
3.3. Učinci klimatskih promjena na medonosne pčele i pčelarske proizvode.....	8
3.3.1. Utjecaj na populaciju pčela, bolesti i parazite.....	16
4. ODRŽIVOST INTENZIVNE PČELARSKE PROIZVODNJE U UVJETIMA KLIMATSKIH PROMJENA	18
4.1. Utjecaj klimatskih promjena na intenzivnu proizvodnju	21
4.2. Izazovi i prijetnje za održivost intenzivnog pčelarstva	21
4.4. Prilagodbe za očuvanje održivosti.....	22
4.4.1. Utjecaj klimatskih promjena na pčelarstvo u El Salvadoru	24
5. ZAKLJUČAK	30
6. POPIS LITERATURE.....	31
4. SAŽETAK:.....	33
5. SUMMARY	34
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	1
BASIC DOCUMENTATION CARD.....	2

1. UVOD

Klimatske promjene predstavljaju jedan od najvećih globalnih izazova s kojima se suočava suvremeni svijet. Njihov utjecaj na biološke i ekološke procese postaje sve očitiji, posebno u sektoru intenzivne pčelarske proizvodnje, koja je iznimno osjetljiva na promjene u klimatskim uvjetima. Pčelarstvo, s obzirom na svoju složenu povezanost s okolišem i sezonskim varijacijama u cvjetanju biljaka, suočava se s posebnim izazovima koji proizlaze iz promjena temperature, učestalosti ekstremnih vremenskih uvjeta te promjena u dostupnosti hrane za pčele. Intenzivna pčelarska proizvodnja, koja uključuje visoku gustoću košnica i komercijalizaciju pčelinjih proizvoda, dodatno je pogođena ovim promjenama.

Klimatske promjene utječu na nekoliko ključnih aspekata pčelarske proizvodnje. Promjene u temperaturama mogu značajno utjecati na razvoj i zdravlje pčela, uključujući učestalost bolesti i parazita. Također, promjene u obrascima cvjetanja biljaka mogu smanjiti dostupnost nektara i peludi, što ima direktne posljedice na produktivnost pčela i kvalitetu pčelinjih proizvoda. Ekstremni vremenski uvjeti, kao što su toplinski udari i suše, dodatno opterećuju pčelinje zajednice i smanjuju njihovu otpornost. Unatoč brojnim studijama koje istražuju utjecaj klimatskih promjena na pčelarske zajednice, postoji potreba za detaljnijom analizom kako ta istraživanja mogu doprinijeti da intenzivna pčelarska proizvodnja može održati svoju održivost u svjetlu tih promjena. Postavlja se pitanje kako prilagoditi pčelarske prakse i menadžment kako bi se umanjili negativni učinci i osigurala dugoročna održivost. Ovaj rad fokusira se na analizu trenutnih pojedinačnih istraživanja i podataka vezanih uz utjecaj klimatskih promjena na intenzivnu pčelarsku proizvodnju, identificiranje ključnih izazova te predlaganje mogućih rješenja i strategija prilagodbe. S obzirom na sveprisutnu prirodu klimatskih promjena i njihovu kompleksnost, razumijevanje njihovih učinaka na pčelarske zajednice postaje ključno za očuvanje bioraznolikosti i održavanje ekoloških funkcija koje pčele pružaju. Medonosne pčele (*Apis mellifera*) igraju ključnu ulogu u ekosustavima kao oprašivači koji omogućuju rast mnogih biljnih vrsta i usjeva. Njihova uloga je posebno važna u poljoprivrednim sustavima, gdje pčele doprinose proizvodnji hrane i održavanju biološke raznolikosti. Globalne klimatske promjene dovode do sve učestalijih ekstremnih vremenskih uvjeta, uključujući produžene suše, toplinske valove i promjene u obrascima oborina, koji ozbiljno ugrožavaju zdravlje i produktivnost pčelinjih zajednica.

Cilj ovog diplomskog rada je istražiti kako klimatske promjene utječu na pčelarstvo, pčelinje zajednice i ujedno održivost intenzivne pčelarske proizvodnje, s posebnim naglaskom na prilagodbu pčelinjih zajednica na promjenjive klimatske uvjete i strategije koje pčelari primjenjuju kako bi umanjili negativne učinke. U okviru ovog preglednog rada, analizirat će se kako ekstremni vremenski uvjeti utječu na ključne aspekte pčelarske proizvodnje, uključujući zdravlje pčela, dostupnost hrane i kvalitetu meda.

Proučavanjem posljednjih podataka i rezultata istraživanja provedenih u različitim regijama, toplijim zonama koje su među najosjetljivijima na klimatske promjene, ovaj rad nastoji pružiti uvid u izazove s kojima se pčelari suočavaju. Klimatske promjene su, stoga, ključni faktor koji značajno utječe na različite ekosustave i ljudske aktivnosti, uključujući pčelarstvo. Razumijevanje njihovih učinaka i prilagodba praksi pčelarenja bitni su za očuvanje ekoloških funkcija i održivost pčelarske proizvodnje.

2. MATERIJAL I METODE

Cilj ovog rada je obraditi, analizirati i produbiti razumijevanje individualnih istraživanja utjecaja klimatskih promjena na održivost intenzivne pčelarske proizvodnje. Proučavanje će se fokusirati na teoretske i praktične aspekte održivosti pčelarstva, s naglaskom na promjene koje klimatski uvjeti donose lokalnim i globalnim pčelarskim praksama. U sklopu rada, pružit će se pregled dostupne stručne i znanstvene literature, kako bi se identificirali glavni čimbenici koji utječu na proizvodnju meda i drugih pčelinjih proizvoda u uvjetima promjenjive klime.

Posebna pažnja bit će posvećena pregledu relevantnih istraživanja koja se bave utjecajem klimatskih promjena na zdravlje pčelinjih zajednica, bioraznolikost oprašivača te dostupnost resursa neophodnih za pčelarstvo.

Ova metodologija omogućit će razumijevanje izazova i prilika s kojima se suočavaju pčelari u uvjetima klimatskih promjena, te ponuditi uvid u prilagodbe koje se mogu primijeniti u svrhu očuvanja održivosti pčelarske proizvodnje u budućnosti.

3. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA OKOLIŠ I INTENZIVNO PČELARSTVO

Klimatske promjene mogu utjecati na pčele na različitim razinama. Mogu imati izravan utjecaj na ponašanje i fiziologiju pčela. Mogu mijenjati kvalitetu medonosnog bilja i povećati ili smanjiti kapacitet prikupljanja i razvoj pčelinji zajednica. Također mogu odrediti nove rasprostranjene regije medonosnih pčela i stvoriti nove konkurentne odnose među vrstama i podvrstama, kao i među njihovim parazitima i patogenima. Pčelari će također biti primorani promijeniti svoje pčelarske metode, preferirajući preseljenje svojih košnica na nova područja za ispašu i uvoz stranih podvrsta kako bi testirali njihovu vrijednost u novim okruženjima. Klimatske promjene mogu utjecati na razvojni ciklus medonosnih pčela. Općenito je prihvaćeno da svaka podvrsta medonosnih pčela razvija u vlastitom ritmu. Svaka klimatska promjena ili premještanje podvrste medonosnih pčela u novu geografsku regiju imat će mjerljive posljedice. U hladnim regijama, pčele zimi formiraju zimsko klupko i koriste svoje zalihe meda za preživljavanje do proljeća. Sposobnost medonosnih pčela da akumuliraju energetske rezerve i upravljaju razvojem pčelinje zajednice predstavlja značajan adaptivni pritisak. U proljeće, kada vrijeme postane povoljnije, kraljica počinje polagati jaja, a pčelinja zajednica se razvija i povećava broj radilica. Može se dogoditi naglo zahlađenje koje traje nekoliko tjedana, tijekom kojeg pčele ne mogu sakupljati hranu. Velika populacija pčela može uzrokovati brzu iscrpljenost zaliha, što može dovesti do smrti pčelinje zajednice zbog gladi. Ovo se lako može dogoditi hibridnim pčelama (kombinacije više podvrsta), koje se vrlo brzo razvijaju u proljeće. S druge strane, lokalni ekotipovi, koji su bolje prilagođeni okolišnim uvjetima, razvijaju se sporije u proljeće dok ne prođe hladni period, nakon čega se brzo razmnožavaju. Time izbjegavaju ugrožavanje preživljavanja pčelinje zajednice. Stoga je važno razlikovati lokalne ekotipove, koji moraju prilagoditi svoj razvoj i zalihe prema klimi, i hibridne pčele koje su odabrane od strane pčelara. Varijabilnost životnog ciklusa medonosnih pčela u odnosu na temperaturu i okoliš pokazuje toliku plastičnost i genetsku varijabilnost da bi mogla dovesti do odabira razvojnih ciklusa koji su prilagođeni novim klimatskim uvjetima. Pčele prilagođavaju svoje ponašanje vremenskim uvjetima. Ne izlaze van kada pada kiša i u ekstremnoj vrućini skupljaju vodu kako bi održale hladnoću pčelinje zajednice.

Intenzivno pčelarstvo, kao društveno važna djelatnost, zahtijeva pristup temeljen na održivosti. Korištenje i komercijalizacija proizvoda poput meda i voska imaju pozitivne učinke na klimatske promjene, sigurnost hrane te smanjenje siromaštva. Održivo pčelarstvo

podrazumijeva uzgoj pčela i proizvodnju derivata pčelinjih proizvoda u skladu s trenutnim potrebama potrošnje, uz očuvanje resursa za buduće generacije. Iako postoje osnovni okviri, potrebno je dodatno raditi na njihovoj operacionalizaciji, procjeni i mjerenju u svrhu potpune održivosti. Perspektiva "trostruke bilance" (Triple Bottom Line - TBL) nudi kombinirani pristup ekonomskim, ekološkim i društvenim aspektima, poznatim kao tri P (planet, ljudi i profit). Ovaj pristup teži uspostavljanju ravnoteže između tih dimenzija kako bi se holistički pristupilo problemima (González Pacheco i Barragán Ocaña, 2023.).

Najznačajniji napredak u održivosti ogleda se u 17 ciljeva održivog razvoja (SDG) koji integriraju društvene, ekološke i ekonomske čimbenike. Iako ne postoji univerzalan konsenzus o mjerenju stupova održivosti, ekonomski aspekti obuhvaćaju novčane tokove, tržište, inovacije i komercijalne aktivnosti. Ekološki aspekti uključuju racionalno korištenje prirodnih resursa, očuvanje bioraznolikosti i promociju obnovljivih izvora energije. Društvena dimenzija povezana je s obrazovanjem, zajednicom, zdravljem, sigurnošću i kvalitetom života.

Pčelarstvo igra ključnu ulogu u očuvanju bioraznolikosti jer pčele, uz druge oprašivače, sudjeluju u prijenosu peludi između biljaka. Prema podacima UN-a (UN., 2018.), približno 90% cvjetnica ovisi o oprašivanju, što je ključno za ekosustavne usluge na globalnoj razini. Međutim, gubitak pčelinji zajednica od 2010. prijeti ovim uslugama, što je rezultiralo stvaranjem programa zaštite pčela diljem svijeta. Stres kojem su pčele izložene proizlazi iz kombinacije biotskih i abiotskih čimbenika poput klimatskih promjena, uporabe pesticida, genetskih čimbenika te bolesti i parazita poput *Varroa destructora* i *Nosema apis*. Prisutnost više od 24 vrste virusa dodatno ugrožava opstojnost pčelinji zajednica. Primjena pesticida i insekticida za suzbijanje parazita, iako nužna, često ima negativne posljedice na pčele i njihove proizvode, što dovodi do kontaminacije te općeg smanjenja otpornosti pčela.

Jedan od ključnih izazova je nemogućnost preciznog mjerenja specifičnog utjecaja kemijskih proizvoda, jer su gubici pčelinji zajednica sustavno povezani s drugim čimbenicima. Istraživanja u Italiji pokazala su da je više od 60% uzoraka peludi sadržavalo pesticide (O'Neal i sur., 2018.), s klorpirifosom prisutnim u 30% slučajeva. Takvi rezultati ističu potrebu za preispitivanjem uporabe pesticida, posebno u kontekstu zaštite poljoprivrednih kultura i očuvanja kvalitete tla.

Kao alternativa, sve se više istražuju održive prakse poput korištenja organskih sastojaka i probiotika u suzbijanju bolesti, čime se smanjuje rizik kontaminacije pčelinjih proizvoda. Međutim, unatoč primjeni tih mjera, virusne infekcije povezane s parazitima i dalje predstavljaju ozbiljnu prijetnju. Nadalje, problem neishranjenosti pčela, osobito u periodima smanjene cvatnje ili potpunog izostanka cvatnje, također značajno doprinosi slabljenju pčelinji zajednica. Selidba košnica s jedne medonosne paše na drugu se pokazala kao korisna praksa, no mnogi tradicionalni pčelari još je ne primjenjuju. Umjesto toga, pčelama se često osigurava prehrana temeljena na šećeru, koja ne sadrži potrebne proteine i hranjive tvari koje osigurava pelud. Na globalnoj razini, problem nedostatka podataka o gubicima pčelinji zajednica otežava implementaciju učinkovitih mjera zaštite, što je posebno izraženo u regijama poput Latinske Amerike, gdje se gubici pčelinji zajednica ne prate redovito. Osim toga, održivost pčelarstva ima ambivalentne učinke na okoliš, jer iako pčelarstvo doprinosi oprašivanju biljaka, intenzivni uzgoj pčela može dovesti do prijenosa bolesti na divlje oprašivače i narušavanja bioraznolikosti. Jedan od ključnih zaključaka je potreba za integriranim pristupom medonosne pčele i ostalih korisnih kukaca, pri čemu bi zaštitne zone bile jasno definirane u odnosu na agrošumske i prirodne regije. Unapređenje pčelarstva kroz edukaciju, tehnološke inovacije i primjenu održivih praksi ključno je za njegovu dugoročnu održivost u svjetlu klimatskih promjena i izazova s kojima se suočava. (González Pacheco i Barragán Ocaña, 2023.).

3.1. Klimatske promjene i njihov utjecaj na okoliš

U kontekstu globalnih klimatskih promjena, medonosne pčele roda *Apis* pokazuju impresivnu sposobnost prilagodbe različitim ekološkim uvjetima. Vrsta *Apis mellifera*, koja je prisutna od subsaharske Afrike preko sjeverne Europe do središnje Azije, naseljava raznovrsne biotope, uključujući afričke pustinjske oaze, alpske regije te rubne dijelove tundre Ujedinjenog Kraljevstva. Ova vrsta pčela pokazuje iznimnu uspješnost u prilagodbi na različite okolišne uvjete. S druge strane, preostale vrste roda *Apis* nalaze se uglavnom u Aziji, osobito u tropskoj jugoistočnoj Aziji. Prema prognozama, klimatske promjene donijet će značajne promjene u globalnim uvjetima u sljedećim desetljećima. To uključuje širenje pustinjskih područja, povlačenje ledenih pokrivača, promjene u obrascima padalina te učestalija ekstremna vremenska događanja. Ove promjene vjerojatno će imati duboke posljedice na preživljavanje specifičnih ekotipova pčela i vrsta medonosnih pčela koje su čvrsto vezane uz svoje trenutne okolišne uvjete. U budućnosti, migracija i prilagodbe u životnom ciklusu i ponašanju ovih pčela mogli bi im omogućiti preživljavanje u novim biotopima. Stoga, očuvanje genetske

varijabilnosti medonosnih pčela postaje ključno za njihovu prilagodbu na ove promjene. Osim promjena u okolišu, medonosne pčele suočit će se s brojnim izazovima, uključujući nove predatore, parazite i patogene. Odnosi između domaćina i parazita bit će u stalnoj promjeni, a pčele će biti suočene s dodatnim stresorima uzrokovanim prijenosom patogena između različitih vrsta, olakšanim međunarodnom trgovinom. U tom kontekstu, klimatske promjene mogle bi otvoriti nove mogućnosti za uspostavu medonosnih pčela u dosad neistraženim regijama ili staništima. Prilagodba ovih pčela novim uvjetima, uključujući promjene u njihovim ekološkim nišama i interakcijama s okolišem, bit će presudna za njihovu buduću održivost i uspješnost u novim klimatskim uvjetima (Le Conte i Navajas, 2008.).

Opstanak poljoprivrede širom svijeta u velikoj mjeri ovisi o oprašivačima, među kojima su kukci ključni. Njihov ekonomski doprinos procjenjuje se na oko 117 milijardi dolara godišnje (Costanza i surr., 1997.); oko 35% poljoprivrednih usjeva ovisi izravno o oprašivačima (Klein i sur., 2006.) dok 84% kultiviranih biljnih vrsta koristi aktivnost ovih kukaca (Williams, 1996.). Europske podvrste medonosne pčele, naročito talijanska pčela, *Apis mellifera ligustica* i Kranjska pčela, *Apis mellifera carnica*, najvrjedniji je oprašivač poljoprivrednih usjeva širom svijeta. Medonosne pčele su također ključne za očuvanje bioraznolikosti jer oprašuju brojne biljne vrste koje zahtijevaju oprašivače za oplodnju. U kontekstu klimatskih promjena, fenologija biljaka će se mijenjati, osobito period cvjetanja. Novi bioklimatski i ekonomski balans oblikovat će vrste i distribuciju poljoprivrednih usjeva, kao i spontanu vegetaciju. Klimatske promjene mogle bi destabilizirati odnose između medonosnog bilja i oprašivača, stoga je potrebno zaštititi oprašivače kako bi nastavili s obavljanjem funkcije oprašivanja, što je od presudne važnosti za ekonomiju i ekološku ravnotežu (Le Conte i Navajas, 2008.).

3.2. Promjene u poljoprivrednim ekosustavima

Klimatske promjene mogu drastično utjecati na razvoj i opstanak medonosnih pčela zbog promjena u okolišu koje utječu na njihovu prehranu i razvoj pčelinji zajednica. Cvijeće, od kojeg pčele ovise za nektar i pelud, značajno je pogođeno klimatskim uvjetima, što može direktno utjecati na aktivnosti pčela i njihov razvoj. Promjene u klimatskim uvjetima mogu uzrokovati smanjenje dostupnosti cvjetnog nektara i peluda, što pčelama otežava nakupljanje zaliha meda potrebnih za preživljavanje zime. Također, razmjerni unos peluda igra ključnu ulogu u hranjenju ličinki. Jedan od glavnih utjecaja klimatskih promjena na medonosne pčele

je promjena u distribuciji cvjetnih vrsta na kojima pčele ovise za hranu. Postavlja se pitanje hoće li biljke moći preživjeti brzi dolazak sušnih uvjeta ili, s druge strane, mokre sezone? Ako će biljke preživjeti, hoće li uvjeti biti optimalni za proizvodnju nektara i peluda potrebnih za razvoj pčela? Iako još nemamo točne podatke o tome kako ove promjene utječu na pčele u kontekstu klimatskih promjena, postoje brojne studije koje ukazuju na direktan utjecaj okolišnih promjena na razvoj medonosnih pčela. Utjecaj kiše na prikupljanje meda je dobro dokumentiran; na primjer, kada kiša opere cvjetove običnog bagrema, oni postaju manje privlačni za pčele jer se nektar previše razrijedi. Suha klima također smanjuje proizvodnju nektara u cvjetovima, što može dovesti do smanjene količine hrane za pčele. U ekstremnim situacijama, pčele mogu umrijeti od gladi ako pčelar ne pazi na njihove zalihe. Također, proizvodnja medne rose od strane određenih lisnih uši ovisi o klimatskim uvjetima. U Elzasu, posebni uvjeti su potrebni za razvoj populacija ušiju, čija je medna rosa vrlo privlačna pčelama. S druge strane, medna rosa može uzrokovati diuretski učinak kod pčela.

Nedostatak hrane zbog suhe klime koja smanjuje proizvodnju peluda i osiromašuje njegovu nutritivnu kvalitetu trenutno je predmet velikih rasprava. Pčele koje se rađaju u jesen provode cijelu zimu u košnici i čine osnovu pčelinje zajednice u proljeće. Ishrana peludom je ključna za razvoj budućih radilica. Nedostatak peluda uslijed jesenske suše može oslabiti imunološki sustav pčela, povećati njihovu osjetljivost na patogene i skratiti njihovu životnu dob. U tropskim klimama, koje se mogu razviti u izraženije sezone sa sušnim razdobljima, pčele bi mogle morati razviti strategiju migracije, slično kao *Apis dorsata*, divovska medonosna pčela. *Apis dorsata* gradi svoja gnijezda na otvorenom i može migrirati udaljenostima do 200 kilometara kako bi izbjegla gladi ili predatore. Vjerojatno je da će ove pčele migrirati u skladu s promjenama u cvjetnim vrstama i napustiti suha područja. Što će se dogoditi s vrstama pčela koje ne migriraju? Inače, morat će razviti strategiju prikupljanja hrane koja će im omogućiti preživljavanje u razdobljima bez cvjetova. Primjerice, Landes ekotip u jugozapadnoj Francuskoj razvija se u skladu s cvatnjom običnog vrijesa, koji je glavni izvor hrane za ove pčele. Promjene u klimi sigurno će utjecati na ovu florističku vrstu i posljedično na ovaj medonosni ekotip (Louveaux, 1973.).

3.3. Učinci klimatskih promjena na medonosne pčele i pčelarske proizvode

Do sada je identificirano desetak vrsta medonosnih pčela roda *Apis*. Distribucija tih vrsta nije ravnomjerna. *Apis mellifera*, koja potječe iz Afrike, prošla je kroz dva vala kolonizacije u

Euroaziji i izvožena je na druga kontinenta. Ostalih devet vrsta ostale su u svojim izvornim područjima u Aziji, što je najvjerojatnije mjesto nastanka roda *Apis*. Azijske vrste *Apis mellifera* imaju manju produktivnost u usporedbi s europskim podvrstama. Živeći u blagu tropskom klimatu, nemaju potrebu za velikim skladištima hrane jer tijekom cijele godine mogu pronaći cvjetove. Nasuprot tome, europske podvrste *Apis mellifera* razvile su strategiju prikupljanja i skladištenja meda koja im omogućava preživljavanje zime. Potreba za preživljavanjem često teških zimskih uvjeta stvara snažan selekcijski pritisak, što djelomično objašnjava bolje kapacitete za proizvodnju meda kod *Apis mellifera*. Izvrсна sposobnost proizvodnje meda omogućila je pčelarima širom svijeta da koriste tu pogodnost. Sada se nalazi u Aziji, gdje koegzistira s drugim vrstama roda *Apis*, te u Americi i Australiji, gdje su je kolonisti uvezli. *Apis mellifera* je najraširenija vrsta medonosne pčele u svijetu zbog svoje izuzetne sposobnosti prikupljanja meda. S morfološkog, ponašajnog i genetskog stajališta, *Apis mellifera* nalikuje na *Apis cerana*, čija se distribucija proteže od Japana do najistočnijih dijelova Bliskog Istoka. Pretpostavlja se da su se ove dvije vrste odvojile prije otprilike 8 milijuna godina (Ruttner F. 1988). Izvorno područje distribucije *Apis mellifera* obuhvaća Europu, Afriku i Bliski Istok do Afganistana, Kazahstana i istočnog Rusije. Vrsta uključuje 25 podvrsta ili geografske podvrste opisane morfologije i molekularnom analizom te grupirane u evolucijske grane na temelju svojih morfoloških sličnosti. Svaka podvrsta definirana je prema morfološkim, ponašajnim, fiziološkim i ekološkim karakteristikama koje je razvila kako bi odgovarala svojim klimatskim i okolišnim uvjetima. Podvrste 'A' grane su tipično afričke, iako se među njima mogu značajno razlikovati. Podvrste 'C' grane, poput *Apis mellifera carnica*, *ligustica* i *cecropia*, nalaze se uz sjeveroistočne obale Sredozemnog mora i morfološki su slične podvrstama 'O' grane u Bliskom i Srednjem Istoku. Podvrste 'M' grane, kao što su *Apis mellifera* i *iberiensis*, tipične su za zapadnu Europu, ali također dijele neke sličnosti s podvrstama iz sjeverne Afrike (Ruttner F. 1988). Nedavna molekularna studija pomoću SNP markera potvrdila je značaj evolucijskih grana *Apis mellifera*. Otkrila je da je vrsta nastala u Africi. Dvije grane su kolonizirale Europu, jedna putujući iz Bliskog Istoka u Italiju, a druga iz Španjolske u Dansku. Dvije najviše genetski različite podvrste su *Apis mellifera mellifera* i *Apis mellifera ligustica*. Genetski fond ovih podvrsta kontinuirano se razvija u odgovoru na prirodnu selekciju, s pčelama koje se prilagođavaju ne samo promjenama u okolišu već i ljudskim pčelarskim praksama. Svaka interakcija između ovih podvrsta i uvezenih podvrsta ili s patogenima može značajno promijeniti njihove karakteristike. *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera mellifera* i *Apis mellifera caucacica* izvožene su širom svijeta, uključujući Aziju, gdje su došle u kontakt s

drugim vrstama medonosnih pčela te novim parazitima i patogenima. (Le Conte & Navajas, 2008).

Neke europske podvrste medonosnih pčela poput *Apis mellifera*, imaju potencijal prilagodbe na vruće klime. Na primjer, *Apis mellifera sahariensis* prisutna je u oazama Sahare, gdje je prilagođena lokalnom cvijeću (poput palminih cvjetova) i ekstremnim vrućinama (Ruttner, 1988.). U SAD-u, medonosne pčele mogu se razvijati u pustinji Arizone. Opstanak ovih pčela ovisi o opskrbi vodom koju koriste u velikim količinama za razvoj ličinki i regulaciju temperature gnijezda između 34°C i 35°C. U suhim okruženjima, pustinjski cvjetovi ne mogu osigurati dovoljno vode, što dovodi do smrti pčela. Predviđanja klimatskih promjena ukazuju na to da će pustinjska područja postati još suša, što će dovesti do nestanka oaza i njihovih medonosnih pčela. *Apis mellifera sahariensis* vjerojatno neće prirodno migrirati u povoljnija područja zbog izoliranosti oaza i nemogućnosti dugotrajnih migracija ili rojenja. Stoga je ključno razmotriti mjere očuvanja kako bismo prenijeli ovu pčelu u povoljnije zone za njen razvoj, kako bismo sačuvali ovaj ekotip koji je od velike važnosti za svjetsku bioraznolikost.

Povećanje globalnih temperatura ubrzava metabolizam pčela, što značajno skraćuje vrijeme dostupno za sakupljanje hrane. Pčele su ektotermni organizmi čija unutarnja temperatura ovisi o vanjskim uvjetima, a viša temperatura okoline ubrzava njihove tjelesne funkcije, što rezultira bržim trošenjem energije (Ali i sur., 2023.). Posljedica toga je kraće vrijeme za prikupljanje peluda i nektara, što direktno utječe na količinu zaliha hrane potrebne za razvoj legla i preživljavanje pčelinji zajednica tijekom zime. Modeli pokazuju da bi povećanje temperature za samo 1°C moglo uzrokovati smanjenje rasprostranjenosti bumbara u Europi i Sjevernoj Americi za 50%, dok bi dodatno povećanje od 0,7°C moglo utrostručiti rizik od izumiranja ugroženih vrsta (Ali i sur., 2023.). Također, predviđa se da će gubici pčelinji zajednica u gornjem Srednjem zapadu SAD-a iznositi 30-50% do sredine stoljeća, zbog smanjenja floralnih resursa.

Blage zime uzrokovane klimatskim promjenama omogućuju veću stopu preživljavanja *Varroa destructor* grinja, parazita koji ozbiljno ugrožava zdravlje pčela. Populacija ove grinje u košnici se smanjuje tijekom zime, no porast temperatura omogućuje njihov opstanak i tijekom hladnijih mjeseci, što rezultira povećanim stopama infestacije u proljeće i ljeto (Ali i sur., 2023.). Viša razina parazitizma dovodi do fizičkog slabljenja pčela, uključujući deformacije krila, što može uzrokovati kolaps pčelinji zajednica. Predviđa se da će zagrijavanje zima u Europi povećati

razinu *Varroa* grinja za 5-10 puta u proljetnim mjesecima, što će dovesti do povećanih gubitaka pčelinji zajednica. Klimatske promjene uzrokuju raniji procvat biljaka, dok se pčele ne mogu brzo prilagoditi tom pomaku, što dovodi do neusklađenosti u fenologiji između procvata biljaka i izlaska pčela (Ali i sur., 2023.). Na primjer, u New Yorku su stabla jabuka cvjetala 3-4 tjedna prije nego što su pčele bile spremne za oprašivanje, što je rezultiralo smanjenim prinosima. Ova neusklađenost ima dugoročne negativne posljedice na oprašivanje biljaka i poljoprivredne prinose, jer pčele nemaju adekvatne resurse u ključnim fazama razvoja pčelinje zajednice.

Povećana varijabilnost oborina, uzrokovana klimatskim promjenama, stvara ozbiljne probleme u sakupljanju hrane za pčele. Intenzivni kišni događaji onemogućuju pčelama izlazak iz košnica radi prikupljanja peludi i nektara. Naime, pčele teže reguliraju svoju tjelesnu temperaturu u hladnim i vlažnim uvjetima, što ih čini podložnima smrzavanju i utapanju (Ali i sur., 2023.). Ova prilagodba, koja je nekoć omogućila preživljavanje zajednice, sada predstavlja rizik uslijed sve ekstremnijih kišnih događaja.

Pčelinje zajednice mogu izdržati 1 do 2 dana bez sakupljanja hrane prije nego što se njihovi zalihe kritično smanje. Ipak, klimatski modeli predviđaju drastično povećanje učestalosti i jačine intenzivnih oborina, što može prisiliti pčelinje zajednice da ostanu bez hrane tjednima. U takvim uvjetima, smanjeni razvoj ličinki od nedostatka hrane, dok se zalihe brzo troše. Pčelinje zajednice koje su već oslabljene izloženošću pesticidima ili parazitima često ne uspijevaju preživjeti nakon povlačenja jakih kiša. Više studija ukazuje na izravnu povezanost između višednevnih jakih kiša i masovnog gubitka pčelinji zajednica. Primjerice, neobične proljetne kiše na poluotoku Yucatánu uništile su više od 50% košnica (Ali i sur., 2023.) zbog onemogućavanja leta tijekom kritičnog razdoblja za sakupljanje hrane. Slično tome, tjedan dana kišnog vremena u Ontariju, Kanada, rezultirao je gubitkom 25% pčelinji zajednica (Ali i sur., 2023.) zbog gladi kada pčele nisu mogle napustiti košnice. Zalihe meda i peludi iz prethodne sezone traju samo određeno vrijeme, a prekinuti dotok hrane dodatno pogoršava situaciju. Ekstremne kiše, osobito u proljeće i jesen, predstavljaju poseban problem jer tada ima manje cvjetova u punom cvatu u usporedbi s ljetnim mjesecima. Gubitak pčelinje proizvodnje i oprašivačkih usluga zbog otežanog sakupljanja hrane izravno utječe na prinos usjeva i ekonomske prilike poljoprivrednika. Povećana učestalost poplava također predstavlja direktnu prijetnju pčelarskim zajednicama. Intenzivne kiše mogu potpuno potopiti košnice, dok pčele mogu utopiti ili izgubiti tijekom poplavnih događaja. Ovo ne samo da utječe na pčelarske zalihe, već i na lokalne pčelinje populacije koje su od vitalne važnosti za oprašivanje usjeva. Gubitak

košnica i usitnjenje populacija značajno smanjuje broj aktivnih pčela, što dodatno otežava oprašivanje i proizvodnju hrane.

Suša, s druge strane, također ugrožava pčele smanjenjem dostupnosti cvjetnih resursa. Pčele ovise o nektaru i peludi iz cvjetova kao jedinom izvoru hrane. Sušna razdoblja drastično smanjuju raznolikost cvjetnih vrsta, što dodatno otežava pčelama pristup potrebnim hranjivim tvarima. Takvi uvjeti dovode do slabijeg rasta pčelinji zajednica i povećanog rizika od preživljavanja tijekom zime. Porast temperatura dovodi do povećane toksičnosti pesticida, što dodatno pogoršava situaciju. Više temperature ubrzavaju metabolizam pčela, čime se povećava i toksičnost mnogih kemikalija. Ove interakcije između temperature i pesticida mogu imati ozbiljne posljedice po zdravlje pčela i njihovu sposobnost oprašivanja.

Uz sve navedeno, ključno je razviti strategije za prilagodbu i zaštitu pčela, kako bi se osigurala njihova održivost u kontekstu klimatskih promjena. Očuvanje staništa, povećanje raznolikosti cvjetnih resursa i smanjenje ovisnosti o pesticidima bitne su komponente za očuvanje pčelinjih zajednica i poljoprivrednih ekosustava (Ali i sur., 2023.). Utjecaj klimatskih promjena značajno oblikuje geografske distribucije pčela medarica i cvjetnih biljaka koje im služe kao izvori hrane. Kako globalne temperature rastu, pogodne stanišne zone za ove vrste pomiču se prema sjeveru i na više nadmorske visine, nastojeći se prilagoditi povoljnijim klimatskim uvjetima (Ali i sur., 2023.). Međutim, ovaj proces nije ujednačen; različite vrste biljaka i oprašivača reagiraju različitim brzinama, što može dovesti do prostorne nepodudarnosti i ometanja važnih međuzavisnih odnosa između biljaka i oprašivača.

Pčele medarice posebno će se suočiti s izazovima u pronalaženju adekvatnih izvora hrane u novim staništima, osim ako se ne provedu proaktivne mjere upravljanja. Povijesni podaci ukazuju na značajne pomake u rasponima uzrokovane zagrijavanjem; na primjer, vrste bumbara u Europi i Sjevernoj Americi migrirale su približno 320 kilometara prema sjeveru u proteklih stotinu godina. Dok se polovica promatranih biljnih vrsta također pomaknula prema sjeveru, mnoge druge su pokazale minimalno pomicanje ili su se čak povukle prema ekvatoru. U planinskim područjima, i biljke i pčele pomiču se na više nadmorske visine u odgovoru na promjenjive uvjete. Kako se klimatske promjene nastavljaju, očekuje se da će neusklađenost između biljnih i oprašivačkih vrsta rasti, što će dovesti do nutritivnih nedostataka, povećane konkurencije i smanjenog reproduktivnog uspjeha, a sve to predstavlja značajnu prijetnju zdravlju i opstanku pčela medarica.

Zajednice pčela medarica zahtijevaju dosljedan i raznolik miks peluda i nektara. Kada su ovi resursi oskudni ili nepoznati, pčelinje zajednice često doživljavaju usporen rast, povećanu ranjivost na bolesti i smanjenu stopu preživljavanja tijekom zime. Slični trendovi zabilježeni su i kod solitarnih pčela, koje također opadaju u nedostatku svojih biljaka domaćina. Važno je napomenuti da, iako dodatak bjelančevina u košnice pčela medarica može izgledati korisno, to ne nadoknađuje kritičnu potrebu za fitokemijskom raznolikošću u njihovoj prehrani. Nutricionistički stres s kojim se pčele medarice suočavaju dodatno se komplicira klimatskim faktorima, poput povećane izloženosti pesticidima u novim poljoprivrednim područjima. Ako se ti trendovi nastave, prognozira se da će klimatske promjene dovesti do smanjenja populacije pčela medarica za čak 50% unutar tradicionalno pogodnih staništa u Sjedinjenim Američkim Državama i Europi do 2100. godine (Ali i sur., 2023.).

Što se tiče migracijskih praksi pčelarstva, komercijalne operacije u ključnim poljoprivrednim regijama suočavaju se s izazovima u praćenju promjenjivih geografskih raspona pčela medarica uzrokovanih klimatskim promjenama. Tipično, migracijsko pčelarstvo uključuje transport košnica duž utvrđenih sezonskih ruta kako bi se osigurale usluge oprašivanja usjeva i proizvodnja meda. Međutim, kako temperature nastavljaju rasti, pogodne zone za pčele se pomiču brže nego što se trenutne migracijske rute mogu prilagoditi. Ova neusklađenost može negativno utjecati na zdravlje pčela i njihovu sposobnost pružanja ključnih usluga oprašivanja.

Sezonske migracijske koje koriste pčelari pri selidbi košnica povijesno su se razvijale kako bi se iskoristili stabilni klimatski uvjeti i predvidive fenološke karakteristike cvjetanja. No, antropogene klimatske promjene ometaju tu sinkronizaciju. Kako zagrijavanje ubrzava pomake u rasponu, utvrđene migracijske rute više se ne preklapaju optimalno s dostupnim izvorima hrane tijekom sezona. Pčelari su prisiljeni uzimljavati svoje pčelinje zajednice u toplijim ekosustavima. Potrebna je brza inovacija u migracijskim praksama, ali različite prepreke, uključujući financijske troškove, logističke izazove i regulativne prepreke pri transportu, mogle bi usporiti prilagodbu. Također, stacionarne pčelarske proizvodnje fokusirane na oprašivanje usjeva suočavaju se s sličnim izazovima dok se lokalni uvjeti hranjenja mijenjaju. Sve u svemu, procjenjuje se da su upravljane pčelinje zajednice koje se transportiraju na velike udaljenosti već podložnije višim stopama bolesti i gubitka pčelinji zajednica. Nedostatak cvjetnih resursa u novim regijama, pogoršan klimatskim nepodudaranjem, dodatno smanjuje otpornost pčelinji zajednica. Uz to, poljoprivrednici se mogu suočiti s nedostatkom dostupnih košnica za iznajmljivanje i smanjenim uslugama oprašivanja zbog slabijih pčelinji zajednica. Pažljivo

planiranje i koordinacija među sektorima ključni su za prilagodbu pčelarskih praksi ovim ubrzanim klimatskim promjenama.

Varijabilnost klime, nutritivni stres i ekstremni vremenski uvjeti dodatno ugrožavaju imunitet pčela medarica. Povećane temperature i oscilacije u vremenskim obrascima izlažu pčele većem broju temperaturnih ekstremnih situacija, što dodatno slabi njihove imunološke sustave. Pčele se već nalaze blizu svojih termičkih limita. Intenzivne vrućine ili hladni događaji prisiljavaju pčelinje zajednice da više resursa usmjere na regulaciju temperature u košnici umjesto na individualni imunitet. Istovremeno, ekstremno vrijeme ograničava mogućnosti za prikupljanjem, što rezultira nedovoljnom ili lošom kvalitetom prehrane. Nedostatak hrane ometa imunološke sposobnosti pojedinih pčela i dodatno smanjuje obranu pčelinje zajednice od patogena.

Povećanje globalnih temperatura također povećava ranjivost pčela medarica na razne parazite i bolesti. Na primjer, parazitska grinja *Varroa destructor* predstavlja jednu od najvećih prijetnji koju dodatno pojačava klimatske promjene. Populacije *Varroe* mogu se udvostručiti u samo 10 dana pri vrhunskim ljetnim temperaturama. Pčele troše dragocjene resurse pokušavajući regulirati temperaturu u košnici protiv pregrijavanja. Pčelinje zajednice koje su pod stresom zbog vrućine i grinja pokazuju smanjene higijenske ponašanje, što dodatno ubrzava rast grinja. Povećane temperature također povećavaju razine virusa povezanih s *Varroa*, što dovodi do većeg broja infekcija. Slične tendencije u vezi s gljivičnim i bakterijskim bolestima također su zabilježene, dodatno ugrožavajući pčelinje populacije.

Konačno, kumulativni učinci klimatskih promjena predstavljaju značajne prijetnje kako za upravljane zajednicama pčela medarica tako i za divlje autohtone pčele. Bez koordiniranih napora u očuvanju i proaktivnih strategija upravljanja, očekivana smanjenja populacija pčela mogli bi dovesti do ozbiljnih problema s prehranbenom sigurnošću, s obzirom na to da više od 75% globalnih usjeva ovisi o oprašivanju životinjama (Ali i sur., 2023.). Stoga će obnova staništa, ograničenja u upotrebi pesticida i ciljane inicijative za ublažavanje klimatskih promjena biti ključne za očuvanje zdravlja oprašivača i očuvanje vitalnih ekosustavskih usluga koje oni pružaju.

Promjene u fenologiji, koje označavaju sezonsko usklađivanje životnih ciklusa biljaka i životinja, predstavljaju jednu od najčešće zabilježenih reakcija organizama na klimatske promjene. Uočene promjene u proljetnoj fenologiji, kao odgovor na globalno zagrijavanje,

uključuju ranije razmnožavanje ptica, raniji dolazak selica, ranije pojavljivanje leptira, a za pčelare najvažnije, ranije cvjetanje biljaka. Ove promjene u vremenu cvjetanja većinom su uzrokovane povišenim temperaturama u proljeće. Takve fenološke promjene mogu rezultirati smanjenom dostupnošću hrane za pčele ili oskudnim prehranama, što može negativno utjecati na njihovo zdravlje i opstanak (Gupta i sur., 2021.).

U umjerenim klimatskim uvjetima, ranije cvjetanje proljetnih biljaka može omogućiti pčelama koje su prezimile pristup ranom izvoru peludi, pod uvjetom da su temperature dovoljno visoke za leta pčela. Ovaj raniji izvor peludi može potaknuti brži razvoj potomstva i rast populacija. Međutim, moguće je i da će povišene proljetne temperature uzrokovati da glavni usjevi cvjetaju prije nego što zajednice pčela mogu prikupiti dovoljan broj pčela sakupljačica da iskoriste bogatstvo nektara. U regijama gdje prevladavaju kasnije cvjetajuće biljke, pčele bi se mogle aktivirati prije nego što bude dostupne potrebne količine hrane za održavanje rastućih populacija.

Promjene u vremenu cvjetanja imaju značajan utjecaj na dostupnost resursa pčelama tijekom godine. Na primjer, u planinskoj livadi u Rocky Mountains (SAD), količina cvjetova se pomiče prema bimodalnoj raspodjeli, s razdobljem oskudice tijekom ljeta. Povećanje trajanja ljeta s niskom količinom cvjetova negativno će utjecati na zajednice pčela koje su se razvile tijekom obilnog proljetnog cvjetanja. U tropskim klimama, promijenjeni rasporedi cvjetanja mogu stvoriti nova razdoblja oskudice, s obzirom na to da će neki biljni vrste biti znatnije pogođene od drugih. Pčelari će morati obratiti posebnu pažnju na promjene u rasporedima cvjetanja kako bi osigurali preživljavanje svojih pčelinji zajednica i iskoristili dostupnost nektara.

Obogaćenje atmosferskog ugljikovog dioksida općenito ubrzava raspored cvjetanja biljaka. Međutim, ova pojava nije univerzalna; ovisno o vrsti i uvjetima, obogaćenje ugljikovim dioksidom može ubrzati, odgoditi ili uopće ne utjecati na vrijeme cvjetanja. Za kultivirane vrste, 80 % pokazuje ubrzano cvjetanje s povećanjem atmosferskog ugljikovog dioksida, dok su učinci na divlje vrste manje jasni uočena varijabilnost u odgovorima biljaka na povećani ugljikov dioksid može biti rezultat interakcije više čimbenika promjene okoliša koji djeluju na fiziologiju biljaka, čineći ovaj fenomen vrlo kontekstualnim. Na primjer, povišeni ugljikov dioksid i povišena temperatura neovisno djeluju na ubrzanje cvjetanja Svinđuše (*Lotus corniculatus*), česte stočne i nektarske biljke, za 5–7 dana. Međutim, kada se ta dva čimbenika iskuse u kombinaciji, rezultat je dramatično ubrzanje cvjetanja za 16 dana u odnosu na

kontrolne biljke. Ove promjene u vremenu cvjetanja mogu imati značajne posljedice za pčele koje ovise o ovim izvorima nektara. I dalje ostaje neizvjesno mogu li se pčele adekvatno prilagoditi promjenama u vremenu cvjetanja biljaka na kojima ovise, bilo promjenom vlastite fenologije ili migracijom kako bi slijedile izvore nektara. Ako pčele ne mogu pronaći odgovarajuću hranu za održavanje svojih pčela radilica i potrebama za razmnožavanjem, možda će biti potrebna izravna intervencija pčelara. S obzirom na to da će fenološki odgovori biljaka biti specifični za vrstu i ovisiti o lokalnim uvjetima, pčelari će morati pomno pratiti lokalne rasporede cvjetanja i pažljivo nadgledati uvjete u košnicama. (Gupta i sur., 2021.)

3.3.1. Utjecaj na populaciju pčela, bolesti i parazite

Klimatske promjene mogu promijeniti distribuciju poznatih patogena poput *Varroa destructor* i drugih bolesti koje pčele pogađaju (Cox-Foster i sur., 2007.) Promjene u klimi mogu modificirati interakcije između pčela i patogena, kao što je slučaj s *Tropilaelapsom*, koji bi mogao postati prijetnja ako se pčele prilagode uzgoju legla kroz zimu. Medonosne pčele suočavaju se s brojnim predatorima, parazitima (grinjama) i patogenima (protozoama, bakterijama i virusima). Grinje, poput *Acarapis woodi*, parazitiraju u traheji pčela, uzrokujući njihovu smrt. Iako su u 20. stoljeću bile problem, danas trahealne grinje više nisu značajan problem u svjetskom pčelarstvu. *Tropilaelaps spp.* je parazitska grinje koja napada *Apis dorsata* pčele u tropskoj Aziji. Uvođenje *Apis mellifera* u područje distribucije *Apis dorsata* omogućilo je *Tropilaelaps* grinji da pronađe novog domaćin. Nedavna studija temeljem molekularnih markera identificirala je najmanje četiri vrste *Tropilaelaps* u Aziji, iako je *Tropilaelaps clareae* jedina koja parazitski napada *Apis mellifera*. U ovom dijelu svijeta, *Apis mellifera* također je izložena drugoj parazitskoj grinji, *Varroa destructor*, koja je velika prijetnja za zajednice pčela. *Varroa destructor*, prvotno parazit Azijske medonosne pčele *Apis cerana*, prenesena je na *Apis mellifera* sredinom 20. stoljeća kroz genetske razmjene među mnogim zemljama. Pčelinje zajednice zaražene *Varroa* parazitom, ako se ne liječe, umiru nakon dvije do tri godine.

Ova infekcija se ne može potpuno iskorijeniti. *Varroa* grinje smanjuju imunološki odgovor pčela i potiču razvoj virusnih infekcija. Također su aktivni vektori u prijenosu virusa i bakterija. Problemi u kontroli *Varroa* parazita nalikuju onima s drugim insektima. *Varroa* postaju otporni na akaricide koje pčelari koriste za njihovu kontrolu. Otkriće u nekoliko dijelova svijeta (posebice u SAD-u i Europi) pčelinji zajednica koje podnose teške infestacije *Varroa destructor* otvara mogućnosti za dugotrajno rješavanje problema. Biološka osnova ove tolerancije počela

je biti razjašnjena korištenjem inovativnih genomske metoda koje sugeriraju da je tolerancija medonosnih pčela na *Varroa* više određena ponašanjem nego imunološkim faktorima (Navajas i sur., 2008.).

4. ODRŽIVOST INTENZIVNE PČELARSKE PROIZVODNJE U UVJETIMA KLIMATSKIH PROMJENA

Intenzivno pčelarenje predstavlja oblik pčelarske prakse koji se temelji na visokim prinosima i maksimalizaciji proizvodnje meda i drugih pčelinjih proizvoda kroz upotrebu specijaliziranih tehnika i tehnologija. Ova vrsta pčelarenja fokusira se na komercijalizaciju pčelarstva, pri čemu pčelari koriste veće pčelinje zajednice i sustave za upravljanje košnicama koji omogućuju visoku produktivnost.

Karakteristike intenzivnog pčelarenja:

1. Visoka gustoća košnica: Intenzivni pčelari obično postavljaju veći broj košnica na manjem prostoru, što omogućava učinkovitije korištenje resursa i veću proizvodnju meda.
2. Kontinuirano praćenje i upravljanje: Ova praksa uključuje redovito nadgledanje zdravlja pčelinji zajednica, hrane, aktivnosti i uvjeta u košnicama, uz primjenu suvremenih tehnologija za analizu podataka
3. Upotreba selekcije i uzgoja: Intenzivno pčelarenje često se oslanja na uzgoj pčela koje imaju visoke prinostne karakteristike, otpornost na bolesti i prilagodljivost na različite uvjete okoliša.
4. Tehnološki napredak: Primjena modernih tehnologija, uključujući automatizirane sustave za hranjenje, praćenje i kontrolu uvjeta unutar košnica, značajno povećava učinkovitost i prinos.
5. Monokulturne prakse: Često se koristi monokulturni pristup, gdje se pčele usmjeravaju na određene usjeve, što može povećati prinos, ali i smanjiti bioraznolikost i otpornost na promjene u okolišu.

6. Ekološki izazovi: Intenzivno pčelarenje može dovesti do povećane ranjivosti pčela na bolesti, štetnike i ekološke promjene, zbog čega su potrebni održivi pristupi i zaštitne mjere.
7. Ekonomija razmjera: Intenzivno pčelarenje omogućava ekonomiju razmjera, gdje se smanjenjem troškova po jedinici proizvoda postižu veći profiti.

Kao što je već navedeno, klimatske promjene predstavljaju jedan od najvećih izazova s kojima se suočava moderna poljoprivreda, uključujući i intenzivno pčelarstvo. Promjene u temperaturama, padalinama i sezonskim obrascima dovode do promjena u ekosustavima, što direktno utječe na pčelinje zajednice i njihovu sposobnost preživljavanja. Održivost intenzivne pčelarske proizvodnje ovisi o sposobnosti pčelara da se prilagode ovim promjenama i osiguraju zdravlje svojih pčelinjih zajednica. U ovom preglednom diplomskog radu istražuju se ključni aspekti održivosti intenzivne pčelarske proizvodnje u kontekstu klimatskih promjena, uključujući utjecaj na pčele, njihove navike i prehrambene izvore, kao i strategije prilagodbe pčelara. Klimatske promjene već imaju značajan utjecaj na poljoprivredu, a pčelarstvo nije iznimka. Povećanje temperatura, promjene u obrascima padalina i učestalost ekstremnih vremenskih događaja (poput suša i poplava) mogu negativno utjecati na oprašivače, uključujući pčele. Pčele su ključni oprašivači za mnoge usjeve, a njihov gubitak može dovesti do smanjenja prinosa i kvalitete poljoprivrednih proizvoda. Povećana temperatura može utjecati na metabolizam pčela, njihovu reprodukciju i preživljavanje. Istraživanja pokazuju da pčele koje su izložene ekstremnim temperaturama često pokazuju smanjenu aktivnost, što može rezultirati smanjenjem prikupljanja nektara i peluda. Osim toga, promjene u vegetacijskim sezonama mogu dovesti do nesklada između dostupnosti cvjetova i aktivnost pčela, što može dodatno ugroziti njihove zajednice. Klimatske promjene također utječu na dostupnost i kvalitetu hrane za pčele. Promjene u temperaturi i vlažnosti mogu dovesti do promjena u cvjetanju biljaka, što izravno utječe na raspoloživost nektara i peluda. Na primjer, ranija cvjetanja nekih biljnih vrsta mogu rezultirati smanjenjem dostupnosti hrane kada pčele postaju aktivne. Ovo može uzrokovati stres u pčelinjim zajednicama, smanjiti njihovu otpornost i povećati rizik od bolesti. Pored toga, klimatske promjene mogu dovesti do promjena u vrsti biljaka koje rastu u određenom području. Na primjer, invazivne vrste koje su otporne na sušu mogu zamijeniti lokalne biljke, što dodatno smanjuje raznolikost prehrambenih izvora za pčele. Ova promjena može utjecati na kvalitetu meda, što može imati ekonomske posljedice za pčelare. Kako bi se osigurala održivost intenzivne pčelarske proizvodnje, pčelari moraju razviti strategije

prilagodbe. Ove strategije mogu uključivati promjene u metodama pčelarenja, izboru pčelinjih vrsta i upravljanju okolišem. Jedna od ključnih strategija prilagodbe je izbor otpornijih pasmina pčela. Pčelari mogu odabrati vrste koje su bolje prilagođene promjenjivim klimatskim uvjetima i koje pokazuju otpornost na bolesti i parazite. Na primjer, pčele kao što su *Apis mellifera carnica* i *Apis mellifera ligustica* pokazale su otpornost na određene stresore, što ih čini boljim izborom za intenzivnu pčelarsku proizvodnju u promijenjenim klimatskim uvjetima. Također, pčelari mogu implementirati tehnike koje poboljšavaju uvjete unutar pčelinjaka. Na primjer, osiguranje adekvatne ventilacije i hlada u ljetnim mjesecima može smanjiti stres kod pčela. U zimskim uvjetima, pravilno zbrinjavanje košnica i osiguranje dovoljnih zaliha hrane mogu pomoći u održavanju zdravlja pčelinjih zajednica. U kontekstu održivosti, ekološki aspekti pčelarstva također su od velike važnosti. Intenzivna pčelarska proizvodnja može imati negativan utjecaj na okoliš, uključujući smanjenje bioraznolikosti i degradaciju staništa. Pčelari moraju uzeti u obzir utjecaj svojih praksi na ekosustave i raditi na očuvanju lokalnih biljnih i životinjskih zajednica. Primjena ekoloških metoda pčelarstva, poput izbjegavanja kemijskih pesticida i gnojiva, može poboljšati zdravlje pčela i očuvanje okoliša. Osim toga, promicanje raznolike vegetacije u blizini pčelinjaka može osigurati raznolike izvore hrane i pomoći u održavanju ekološke ravnoteže. Ekonomija pčelarstva u uvjetima klimatskih promjena također zahtijeva pažnju. Povećanje troškova uzgoja, kao i smanjenje prinosa i kvalitete proizvoda, mogu utjecati na profitabilnost intenzivne pčelarske proizvodnje. Pčelari će morati prilagoditi svoje poslovne modele kako bi se nosili s ovim izazovima. Diversifikacija proizvoda može biti jedna od strategija za poboljšanje ekonomskih rezultata. Uz proizvodnju meda, pčelari mogu razmotriti proizvodnju drugih pčelinjih proizvoda, poput propolisa, voštanih svijeća ili matične mliječi. Ove dodatne proizvodnje mogu pomoći u smanjenju rizika i povećanju prihoda. Održivost intenzivne pčelarske proizvodnje u uvjetima klimatskih promjena predstavlja složen izazov koji zahtijeva višestruke pristupe. Pčelari moraju biti spremni prilagoditi se promjenama u okolišu i razviti strategije koje će osigurati zdravlje njihovih pčelinjih zajednica. Kroz implementaciju ekoloških praksi, odabir otpornijih pasmina i promišljeno upravljanje resursima, pčelarstvo može ostati održivo i prilagodljivo unatoč izazovima koje donose klimatske promjene. U konačnici, očuvanje pčela i njihovih ekosustava od vitalne je važnosti za održavanje bioraznolikosti i pružanje ključnih ekoloških usluga koje pčele pružaju u našim agroekosustavima.

4.1. Utjecaj klimatskih promjena na intenzivnu proizvodnju

Klimatske promjene će dovesti do smanjenja ili povećanja područja dostupnih za pčele. Pčele će napustiti suha područja i migrirati prema hladnijim regijama. Pčelari će morati prilagoditi svoje metode uzgoja prema promjenama u klimi i flori. Neke regije koje su sada neprikladne za pčelarstvo moglo bi postati zanimljive, dok će druge morati biti napuštene. Prilagodba će također uključivati promjenu lokalnih ekotipova ili podvrsta pčela kako bi se osiguralo bolje prilagođavanje klimatskim uvjetima. Primjerice, afričke pčele su proširile svoju distribuciju na Argentinu i SAD, gdje su se zaustavile zbog prehladnih uvjeta izvan tog područja (Pinto i sur. 2005.). Globalno zagrijavanje je stoga povoljno za širenje ovih pčela izvan trenutnog područja distribucije. Pčelari će se vjerojatno prilagoditi promjenama klimatskih uvjeta premještanjem košnica u vlažnije regije i uvozom novih podvrsta pčela u pokušaju da testiraju njihovu prilagodbu na nove klime. Iako uvoz stranih podvrsta može povećati genetsku raznolikost, može također unijeti nove patogene ili haplotipove pčela. Ovaj genetski miks može pomoći preživljavanju pčela, ali također može dovesti do izumiranja lokalnih ekotipova zbog genetske zagađenosti. Francuski pčelari su uvezli pčele iz cijelog svijeta. Hibridi pčela mogu dati veće prinose nego lokalne tamne pčele, ali su često manje prilagođeni i osjetljiviji na bolesti. Francuska stoga ima visoku genetsku raznolikost zbog uvoza i genetske zagađenosti. S druge strane, u Sjedinjenim Američkim Državama, uvoz matica pčela je zabranjen, a američke pčele imaju više bolesti od europskih zbog ograničenog genetskog bazena. (Le Conte i Navajas, 2008.).

4.2. Izazovi i prijetnje za održivost intenzivnog pčelarstva

Unatoč sposobnosti pčela, posebno *A. mellifera*, da se prilagodi širokom rasponu klimatskih uvjeta, postoje jasni dokazi da klimatske promjene već utječu na pčelarstvo. Ekstremne vremenske nepogode i prirodne katastrofe čini se da se javljaju sve češće i mogu imati drastične posljedice na pčelarstvo. Na primjer, teška poplava i neuobičajene šumske požare postaju sve češće diljem svijeta, što povećava rizik od gubitka pčelinjih zajednica. Nadalje, razdoblje bez legla u pčelinji zajednicama će vjerojatno biti kraće ili potpuno odsutno zbog porasta temperatura. Ovo će stvoriti negativan povratni krug, što će povećati utjecaj štetnika koji ovise o leglu za svoju reprodukciju, poput *Varroa* i *Tropilaelaps* grinje. Klimatske promjene gotovo sigurno će povećati već katastrofalne učinke tih grinja i njihovih povezanih virusa na pčele i pčelarstvo. Također, čini se da će broj invazivnih vrsta koje su štetnici pčelarstva globalno imati

koristi od klimatskih promjena, što će imati zdravstvene i ekonomske posljedice za pčele. Osim toga, pomaci u sezonama i produženi periodi bez oborina vjerojatno će dovesti do smanjenja ili potpunog izostanka hrane za pčele. Povećani suhi i vlažni periodi također poznato negativno utječu na proizvodnju i nutritivni sastav peludi, što će imati negativne posljedice. Na primjer, pčele izložene lošoj prehrani poznato je da imaju smanjene imunološke i detoksifikacijske sposobnosti, što ih čini ranjivijima na okolišne stresore poput patogena ili stranih tvari. Nadalje, blaže zime mogu dovesti do povećane neusklađenosti između biljaka i oprašivača, gdje će pčele koje proizvode leglo ranije u sezoni naići na nedostatak hrane za podršku razvoju pčelinji zajednica. Takvi nedostaci u izvorima cvijeća mogu biti nadoknađeni očekivanim povećanjem širenja invazivnih biljnih vrsta uslijed globalnih promjena okoliša. Iako trenutno nedostaju podaci o pozitivnim učincima invazivnih biljaka na pčele, bumbari su pokazali koristi od invazivnog *Rhododendron ponticum*. Iako bi slični pozitivni učinci mogli biti korisni za pčele i pčelarstvo, invazivne biljke nisu održivo rješenje i ne bi trebale biti promicane. Općenito, dok generalne vrste poput pčela medarica i bumbara mogu imati koristi od iskorištavanja novih izvora cvijeća, specijalizirane vrste pčela vjerojatno će patiti zbog gubitka domaćih biljaka. Nadalje, invazije stranih biljaka također predstavljaju rizik za pčele, ugrožavajući dostupnost esencijalnih hranjivih tvari koje pruža raznovrstan izvor cvijeća, čime uzrokuje nutritivni deficit. Na kraju, nedostatak hrane ili hrana loše kvalitete povećat će rizik od gladi u pčelinjim zajednicama, čineći prikupljanje meda nepredvidljivom i prihode pčelara nesigurnima. Jasno je da su potrebne hitne mjere za ublažavanje problema (Neumann i Straub, 2023.).

4.4. Prilagodbe za očuvanje održivosti

Što možemo učiniti kako bi pčelarstvo postalo otpornije na stres uzrokovan klimatskim promjenama, prirodne nepogode su izvan kontrole pčelara, no planiranje i ublažavanje mogu pomoći u smanjenju gubitaka tijekom nesreća, kao i identifikacija opasnosti i rizika mogu pomoći, primjerice, u planiranju lokacija pčelinjaka. Povećanje svijesti među javnošću i donosiocima odluka može dodatno smanjiti vjerojatnost požara i poplava, ali se preporučuju i programi osiguranja za pčelarske poslove kako bi se nosili s gubicima pčelinji zajednica. Također, bit će potrebni učinkovitiji napor u kontroliranju štetnika poput grinja i malih košnica, te drugih invazivnih vrsta pod scenarijem klimatskih promjena. Ovo naglašava potrebu za održivim rješenjima za te štetnike. Idealno bi bilo da pčelinje zajednice prežive infestacije grinjama bez pomoći pčelara. Također, podizanje svijesti među lokalnim vlastima, posebno carinskim službenicima, o opasnostima invazivnih vrsta moglo bi pomoći u suzbijanju uvoza

štetnih patogena i štetnika. Kako bi se osigurala dugoročna otpornost, znanstvena istraživanja trebaju osigurati da pčelari dobiju najbolja moguća znanja i informacije o zdravlju pčela, ekološkim potrebama i najbolje prakse upravljanja. Ulaganje u znanstvena istraživanja i razvoj novih tehnologija bit će ključna za pripremu pčela i pčelara na neizbježne klimatske promjene. Ova istraživanja trebaju biti usmjerena na razumijevanje promjena u distribuciji biljaka i vremena cvjetanja, razvoju novih metoda za kontrolu štetnika i optimizaciji prehrane pčela. Potrebno je da svi dionici pčelarstva – znanstvenici, pčelari, donosioci odluka i javnost – zajedno rade na razvoju strategija i rješenja koja će omogućiti pčelarstvu da se nosi s izazovima klimatskih promjena. Samo kroz koordinirane napore i inovacije možemo osigurati da pčelarstvo ostane održivo i uspješno i u budućim klimatskim uvjetima. (Neumann i Straub, 2023.). Klimatske promjene donose nužnost prilagodbe kako za pčele, tako i za pčelare koji njima upravljaju, s obzirom na promjenjive obrasce flore, faune i klimatskih varijabli. Medonosne pčele ne samo da proizvode važne proizvode poput meda i voska, već imaju i ključnu ulogu u osiguravanju hrane putem oprašivanja poljoprivrednih kultura. Stoga, njihova uloga u proizvodnji hrane i ekonomskom blagostanju iznimno je značajna, kako u razvijenim, tako i u nerazvijenim regijama svijeta. S obzirom na promjene u okolišu, područja koja su nekada smatrana nepovoljnima za pčelarstvo sada bi mogla postati ekonomski održiva. Međutim, to također znači da će pčelari morati kontinuirano procjenjivati prikladnost svojih pčelinjaka. Ako lokalni uvjeti postanu neadekvatni, bit će potrebno premjestiti košnice. Povećana klimatska varijabilnost može dovesti do neujednačenog prihoda od pčelarstva, pa će pčelari morati osigurati dovoljno opreme za upravljanje pčelinji zajednicama tijekom razdoblja kada je medonosna proizvodnja izrazito visoka, kao i imati ekonomske resurse za preživljavanje godina oskudice. Osim toga, pčelari će trebati procijeniti prikladnost svoje pčelarske linije za lokalne uvjete te po potrebi uvesti ili uzgajati pčele koje su bolje prilagođene tim uvjetima. Različite pčelarske linije pokazivat će različitu prilagodbu na specifične lokacije, što naglašava važnost očuvanja genetske raznolikosti vrste *A. mellifera*. Pčelari i upravne organizacije za pčelarstvo trebaju biti svjesni genetskog podrijetla svojih pčela i poduzeti mjere za očuvanje lokalno prilagođenih pčelinjih linija koje bi mogle biti korisne u susjednim regijama (Gupta i sur., 2021.).

Prirodna i pčelarima usmjerena selekcija mogu se koristiti za uzgoj pčela koje su dobro prilagođene promijenjenim okolišnim uvjetima. U nekim regijama, moderne genetske tehnike mogu se primijeniti za identifikaciju poželjnih osobina, a instrumentalna inseminacija može olakšati selektivni uzgoj. Međutim, pčelari i zakonodavci trebaju biti oprezni s premještanjem

pčela, budući da to može dovesti do izlaganja novih nametnika i bolesti. Neprestano nadziranje bolesti i nametnika bit će ključno. Pčelari će morati biti u toku s razvojem u pčelarskim istraživanjima i pažljivo pratiti bolesti i nametnike. Globalne klimatske promjene donijet će nove patogene i promijeniti virulenciju postojećih u pčelinjacima. Promjene u klimi također mogu utjecati na učinkovitost strategija upravljanja bolestima i nametnicima. Određeni tretmani za parazite, poput primjene mravlje kiseline protiv *Varroa* grinja, ovise o vremenskim uvjetima i nisu učinkoviti u svim okolnostima. Osim toga, s promjenjivom dostupnošću hrane, pčelari ne bi trebali oslanjati se samo na povijesne obrasce cvjetanja u donošenju upravljačkih odluka. Praćenje i lociranje sve varijabilnijih mednih izvora bit će ključno za uspješno pčelarstvo. Svijest o promjenama u vremenskom rasporedu i kvaliteti hrane, kao i godišnjem slijedu cvjetanja u određenoj regiji, postat će bitna komponenta uspješnog upravljanja pčelinjacima (Gupta i sur., 2021.).

4.4.1. Utjecaj klimatskih promjena na pčelarstvo u El Salvadoru

Kako bi se prilagodili klimatskim promjenama, pčelari iz El Salvadora su primijenili promjene u svojim praksama upravljanja, što je povećalo zahtjeve za radom i troškove upravljanja. Na primjer, promjena u fizičkoj strukturi košnica je česta nova praksa upravljanja pčelinjacima. Međutim, ova praksa je još uvijek u fazi eksperimentiranja i mnogi njeni učinci nisu poznati, prvenstveno zbog nedostatka evidencije o njenoj učinkovitosti. Korištenje zamki za polen također je relativno nova i uobičajena praksa koju pčelari iz El Salvadora primjenjuju. Ova praksa proizlazi iz velikih količina polena koje pčele sakupljaju, što često premašuje kapacitet košnice i nakuplja se, otežavajući rad pčela. Povećanje količine polena u lokalnoj flori koje su zabilježili pčelari iz El Salvadora u ovoj studiji proturječi rezultatima iz , koji su pronašli suprotan trend u dostupnosti polena u lokalnoj flori u Piedmontu, Italija. Postoji nekoliko mogućih objašnjenja za ovu razliku. Jedno je to što se lokalna flora razlikuje između dviju geografskih područja i može drugačije reagirati na promjene u klimi. Drugo je to što su izrazi klimatskih promjena u Europi drugačiji i relativno blaži nego u Americi, posebno u Srednjoj Americi. (Landaverde i sur., 2023.). U prosjeku su temperature u El Salvadoru porasle za 1,3 °C od 1950. godine, a Chalatenango je među državama s najvećim porastom temperature . Ovaj porast temperature je naveo pčelare u toj oblasti da preispitaju povijesnu formulu u vezi s odnosom svjetlosti (50%) i sjene (50%) na koju su izložene njihove košnice je izvijestio da je interna temperatura košnice od 35 °C idealna za održavanje jaja, ličinki i pupa pčela. Međutim, u Chalatenangu su zabilježene temperature do gotovo 42.8 °C. Visoke temperature i izravna

izloženost sunčevoj svjetlosti mogu brzo povećati internu temperaturu košnice. U tom slučaju, pčele moraju raditi jače kako bi regulirale unutarnju temperaturu, što može rezultirati ponašajnim deficitima. Međutim, literatura također sugerira da pčele u zatočeništvu mogu adekvatno funkcionirati u stalnoj izloženosti suncu. Ipak, ova praksa mora se ocjenjivati uzimajući u obzir lokalne temperature košnica, lokaciju i dostupnost izvora hrane i vode . Odabir lokacije košnica predstavlja izazov za pčelare u El Salvadoru jer ne postoje jasne smjernice za optimalne pčelarske prakse. Iako su različite nacionalne i međunarodne organizacije razvile skupine praktičnih smjernica za pčelarstvo, nedostaju specifične regulative o prikladnim lokacijama košnica. (Landaverde i sur., 2023.). S obzirom na smanjenje poljoprivrednih i šumskih zemljišta u El Salvadoru, dostupnost prikladnih lokacija za košnice postaje sve veći izazov za pčelare. Praksa dodavanja hrane pčelama u El Salvadoru tijekom sušnih sezona postaje sveprisutnija, dok se u drugim zemljama koristi samo u razdoblju najveće potrebe. Nedavne studije sugeriraju da dodavanje hrane pozitivno utječe na razvoj ličinki i radnu sposobnost pčela. Iako postoje različite smjernice za pčelarstvo, nedostaju specifične regulative o optimalnim lokacijama za pčelinjake u El Salvadoru. Pčelari u El Salvadoru suočavaju se s izazovima kao što su nedostatak vode i hrane, povećane temperature i ekstremni vremenski uvjeti, koji negativno utječu na zdravlje i produktivnost pčela. Korištenje novih strategija, uključujući modificiranje košnica i dodavanje hrane, pokazuje se kao važna prilagodba na klimatske promjene, ali pčelari i dalje traže dodatnu tehničku pomoć i informacije (Landaverde i sur., 2023.). Klimatske promjene neprekidno utječu na ekološke sustave diljem svijeta, uzrokujući promjene u raspodjeli, produktivnosti i drugim ključnim aspektima vrsta, ekosustava i krajolika (Landaverde i sur., 2023.). Ove promjene značajno pogađaju raznolikost vrsta i njihove temeljne životne aktivnosti, uključujući reprodukciju i korištenje specifičnih mikrohabitatnih područja. Kako bi se prilagodile novim uvjetima, vrste mijenjaju svoje geografske raspodjele na temelju svoje otpornosti na okolišne uvjete, dostupnosti hrane i interakcijama s drugim vrstama. U svjetlu trenutne klimatske krize, vrste se suočavaju s ograničenim mogućnostima za nastavak svojih svakodnevnih aktivnosti, što dovodi do smanjenja zdravih populacija i ugrožava njihovu egzistenciju. Prilagodba na postojeća ili nova staništa, kao i evolucija u smjeru toleriranja klimatskih promjena, postaju ključni za prevenciju izumiranja. Insekti, uključujući pčele, predstavljaju dominantnu grupu u smislu raznolikosti, obilja i biomase. Oni ne samo da pružaju brojne ekološke usluge, već i ključnu ulogu u oprašivanju, što doprinosi poljoprivrednoj produktivnosti, očuvanju bioraznolikosti i zaštiti krajolika. Istraživanja pokazuju da većina insekata doprinosi oprašivanju prenoseći pelud s jedne biljke na drugu, pri čemu su pčele, muhe, leptiri, moljci, neki ose, kornjaši i tripsi među

najaktivnijim oprašivačima. Svijet broji oko 20.000 vrsta pčela raspoređenih u sedam porodica, pri čemu najveća raznolikost pčela prevladava na sjevernoj hemisferi zbog njihove sklonosti umjerenim temperaturama. Iako pčele igraju značajnu ulogu u oblikovanju raspodjele biljnih i životinjskih vrsta, ove hipoteze o njihovom utjecaju na globalnoj razini nisu u potpunosti potvrđene (Landaverde i sur., 2023.). Unatoč opadanju divljih pčela uslijed klimatskih i okolišnih promjena, broj pčelinji zajednica u upravljanim pčelarstvima povećan je za 45% u posljednjih 50 godina. Ovaj porast povezan je s promjenom u potrošačkim navikama prema održivijim prehranbenim opcijama te s globalnim porastom populacije i potražnje za hranom (Landaverde i sur., 2023.). Međutim, taj rast u broju upravljanih košnica nije u skladu s 300% povećanjem proizvodnje usjeva ovisnih o oprašivanju pčela u istom razdoblju (Landaverde i sur., 2023.). Divlje i upravljane pčele suočavaju se s utjecajem klimatskih promjena na sličan način, ali upravljane pčele dodatno pogoršavaju negativan utjecaj na divlje pčele kroz konkurenciju i pomicanje. Očuvanje divljih pčela predstavlja značajan izazov zbog ograničenog ljudskog utjecaja na njihove životne uvjete i obrasce kretanja. Ipak, primjenom praksi upravljanja usmjerenih na klimatske promjene, pčelari i entomolozi mogu olakšati prilagodbu pčela (Landaverde i sur., 2023.). Pčele su na vrhu popisa ugroženih vrsta za brojne organizacije koje se bave zaštitom okoliša i poljoprivrednom proizvodnjom. Ovo je rezultat istraživanja koja pokazuju opadanje njihovih populacija. U Sjedinjenim Američkim Državama, postoji zabrinutost da bi pčele mogle izumrijeti do 2035. godine ako se ne poduzmu odgovarajuće mjere zaštite njihovih staništa. Klimatske promjene drastično su smanjile staništa i prirodne izvore hrane za pčele, a nedostatak dokaza o njihovom utjecaju na zdravlje pčela potiče daljnja istraživanja. Istraživači su sve zainteresiraniji za razumijevanje uzroka promjena u gustoći populacija pčela, dok nedostatak povijesnih podataka otežava ove analize, posebno u zemljama u razvoju (Landaverde i sur., 2023.). Pčelarstvo je ne samo sektor koji proizvodi med, već i ključno za sigurnost hrane i prehranu, odgovoran za oprašivanje do 30% globalne proizvodnje hrane (Landaverde i sur., 2023.). U Salvadoru, pčelari su primijetili značajne promjene u okolišu tijekom posljednjeg desetljeća, osobito kada je riječ o dostupnosti vode i hrane za pčele, što je direktno povezano s učincima klimatskih promjena. Pčelari se slažu da je došlo do smanjenja lokalnih vodenih resursa, uglavnom zbog suša i smanjenog nivoa padalina, što su sve učestaliji fenomeni. Nedostatak vode smatra se glavnim izazovom za poljoprivrednu proizvodnju uopće, a posebno za pčelarstvo. Suša ne samo da smanjuje količinu vode u bunarima i rijekama, nego utječe i na dostupnost hrane za pčele, jer divlje bilje, koje je ključni izvor hrane za pčele, više ne cvjeta kao nekada. Osim smanjenja cvjetne raznolikosti, pčelari su primijetili i smanjenje količine i kvalitete nektara u lokalnim divljim cvjetovima, što direktno

utječe na proizvodnju meda. Kako su nivoi vode opali, cvijeće proizvodi manje nektara, zbog čega pčele moraju trošiti više energije i vremena tražeći hranu i vodu, što negativno utječe na njihovo zdravlje i produktivnost. Pčele tako postaju sve ranjivije na stres, bolesti i smanjenu sposobnost reprodukcije, što je pčelare prisililo da ulažu dodatne napore u održavanje košnica zdravima. Promjenjive vremenske prilike, poput snažnih vjetrova i intenzivnih kiša, također ograničavaju kretanje pčela, što dodatno smanjuje njihovu sposobnost prikupljanja resursa. Ekstremne vremenske nepogode, poput poplava, mogu doslovno odnijeti cijele pčelinjake, uništavajući košnice i stvarajući dodatne ekonomske gubitke za pčelare. Jedan od najznačajnijih problema s kojima se pčelari suočavaju je pojačana prisutnost štetnika poput *Varroa destructor*, čiji napadi postaju agresivniji pod utjecajem klimatskih promjena. Usto, nove štetočine, poput žutih šećernih lisnih uši (*Melanaphis sacchari*), dodatno otežavaju situaciju. Iako te uši ne napadaju izravno pčele, one proizvode medljiku koju pčele prerađuju u med slabije kvalitete, što smanjuje njegovu komercijalnu vrijednost. Kako bi se prilagodili ovim izazovima, salvadorski pčelari su morali modificirati svoje metode upravljanja pčelinjacima. Osim što traže nova mjesta za postavljanje košnica, često izvan dosega poplava i vjetrova, uvedeni su i tehnički unaprijeđeni drveni pokrovi s metalnim slojem koji smanjuju ulaz vode i vjetra u košnice. Unatoč tim mjerama, mnogi pčelari i dalje se suočavaju s teškoćama u održavanju optimalnih uvjeta za svoje pčele, osobito u pogledu balansa između izloženosti košnica suncu i sjeni, što je postalo ključno zbog sve veće opasnosti od pregrijavanja pčela. S obzirom na sve veći pritisak klimatskih promjena, pčelari su također počeli primjenjivati različite strategije prehrane za svoje pčele, uključujući dodavanje sirupa od šećera ili meda, te korištenje lokalnih izvora proteina poput sjemenki i žitarica. Međutim, mnogi pčelari nemaju dovoljno tehničkog znanja o pravilnoj pripremi i primjeni tih dodataka, što predstavlja dodatnu prepreku u osiguravanju stabilne proizvodnje meda.

Klimatske promjene ne samo da ugrožavaju opstanak pčela i kvalitetu meda, već su dovele i do značajnih ekonomskih gubitaka za pčelare. Mnogi su prisiljeni ulagati dodatna sredstva u obnovu košnica oštećenih vremenskim nepogodama, borbu protiv štetnika te kupnju hrane i lijekova, što dodatno opterećuje njihovo poslovanje.

Zanimljivo je također da afričkim i jugoistočno azijskim zemljama, za razliku od pristupa zapadnih zemalja i pristupa El Salvadora, očuvanje oprašivača često je usko povezano s pčelarstvom, koje služi kao sredstvo za pružanje održivih izvora prihoda ljudima koji bi inače obavljali aktivnosti štetne za prirodna staništa (Harianja i sur., 2023.). Zemlje poput Etiopije,

Kenije, Tanzanije, Ugande, Indije, Indonezije i Nepala razvile su različite programe za upravljanje pčelarstvom, s ciljem stvaranja dodatne vrijednosti u prirodnim okolišima. Takvi programi ne samo da omogućuju ekonomske koristi lokalnim zajednicama, već istovremeno pridonose obnovi degradiranih staništa, promovirajući aktivnosti koje minimalno utječu na okoliš (Wagner i sur., 2019.). Pčelari iz ovih regija bilježe gospodarske koristi te postaju sve svjesniji ekoloških čimbenika koji utječu na zdravlje šuma i okolnih područja u kojima djeluju. Osim toga, određeni projekti dokazali su da pčelari mogu aktivno sudjelovati u zaštiti bioraznolikosti i njenoj obnovi. Iako se suočavaju s izazovima, uključujući ograničene resurse i poteškoće u obuci, postoji optimizam da će ovaj pristup dugoročno doprinijeti očuvanju prirodnih staništa (Wagner i sur., 2019.). Iako uvjeti u ruralnim područjima zemalja u razvoju nisu usporedivi s onima u Europi i Sjevernoj Americi, činjenica da pčelarstvo stvara ekonomsku vrijednost unutar očuvanih prirodnih staništa pruža dodatni stup zaštite tih područja. Kroz uključivanje lokalnih dionika, posebice pčelara, povećava se broj zainteresiranih sudionika spremnih za očuvanje tih staništa. Gdje god se pčelarstvo prakticira, ono podiže svijest o važnosti okoliša, čineći pčelare ključnim partnerima u naporima očuvanja oprašivača. Dodavanje ekonomske vrijednosti biološkoj raznolikosti predstavlja učinkovit pristup očuvanju prirodnih staništa. No, kod pčelara, svijest o važnosti očuvanja bioraznolikosti često nadilazi samo ekonomske koristi. Istraživanje provedeno u Massachusettsu pokazalo je da su pčelari svjesniji ekoloških problema nego šira javnost, a mnogi od njih spremni su aktivno sudjelovati u očuvanju oprašivača, ne samo onih koji su povezani s njihovim pčelinjacima (DiDonato i Gareau, 2022.). U drugom istraživanju, neki pčelari izrazili su spremnost ulagati u očuvanje divljih oprašivača (Penn i sur., 2019.). Ova viša razina svijesti može se povezati s činjenicom da pčelari svakodnevno svjedoče prijetnjama bioraznolikosti koje izravno utječu na njihove pčelinje zajednice. Iako se ova svijest ne odnosi na sve pčelare, njihov angažman u zaštiti prirodnih staništa dovoljno je značajan da ih se prepozna kao važne partnere u naporima očuvanja prirodnih ekosustava (Oddie i Dahle, 2024.). Mnogi pojedinci započinju pčelarstvo iz hobija, vođeni željom da doprinesu očuvanju prirodne bioraznolikosti. Pčelarstvo je često povezano s podizanjem ekološke svijesti, promicanjem lokalnih identiteta kroz proizvodnju regionalnog meda te oživljavanjem interesa za tradicionalne, ekološki prihvatljive metode uzgoja. Iako postoji određena pogrešna percepcija o stvarnom utjecaju pčela medarica na prirodnu bioraznolikost, njihova spremnost da budu dio rješenja je neupitna. Zbog toga se obrazovanje pčelara o okolišnim temama može pokazati kao ključna strategija za njihovo aktivno uključivanje u očuvanje prirodnih ekosustava. Pčelari također mogu indirektno utjecati na poljoprivredne prakse kroz svoju suradnju s poljoprivrednicima koji ovise o uslugama

oprašivanja za produktivnost. Pčelari i njihove pčele mogu dati značajan doprinos očuvanju prirodnih staništa i bioraznolikosti pa tako ujedno i unapređenju intenzivne pčelarske proizvodnje. Iako medonosne pčele možda nisu najbolji pokazatelji stanja okoliša, njihova brojnost i dostupnost za praćenje čine ih korisnima za prikupljanje podataka na velikim područjima. Podaci koje prikupljaju pčelari mogu se standardizirati i koristiti za analize koje doprinose širim znanstvenim istraživanjima. Znanstvena istraživanja, iako temeljena na rigoroznim metodama, često su ograničena zbog financijskih i vremenskih resursa. Rješavanje problema opadanja broja oprašivača zahtijeva integraciju različitih vrsta znanja, uključujući praktična iskustva pčelara. Njihovo tradicionalno znanje i dugogodišnje iskustvo u upravljanju pčelinjacima mogu pružiti ključne uvide u stvarne izazove s kojima se suočavaju pčelarske zajednice. Zbog nedostatka financijskih sredstava, sve se više prepoznaje važnost građanskog znanstvenog istraživanja u kojem pčelari volonterski prikupljaju podatke. Napredak tehnologije, uključujući korištenje pametnih telefona, omogućuje pčelarima prikupljanje relevantnih podataka, često usporedivih s onima koje prikupljaju profesionalni znanstvenici. Angažiranje pčelara u procesima očuvanja okoliša ima dugoročne učinke na održavanje ekološke ravnoteže i održivih praksi. Prepoznavanjem pčelara kao ključnih dionika u očuvanju prirodnih staništa može se povećati globalni kapacitet za očuvanje i obnovu prirodnih ekosustava. (Oddie i Dahle, 2024.).

5. ZAKLJUČAK

Klimatske promjene predstavljaju značajan izazov za održivost intenzivne pčelarske proizvodnje, što je vidljivo kroz njihovu sveprisutnost i utjecaj na okolišne uvjete ključne za opstanak pčelinjih zajednica. Povećanje globalnih temperatura, promjene u obrascima oborina te učestalost ekstremnih vremenskih događaja negativno utječu na pčele, smanjujući dostupnost hrane, narušavajući sinkronizaciju između cvatnje biljaka i aktivnosti pčela te povećavajući opasnosti od bolesti i parazita. Prilagodba pčelarskih praksi u ovim uvjetima postaje nužna kako bi se osigurala dugoročna održivost. Ključne strategije uključuju odabir otpornijih pčelinjih vrsta, unapređenje tehničkih aspekata upravljanja košnicama i fokus na očuvanje ekološke ravnoteže. Pčelari moraju razviti proaktivne pristupe, kao što su diversifikacija izvora hrane za pčele, održavanje genetske raznolikosti pčela te poboljšanje metoda nadzora i upravljanja bolestima. Istovremeno, usvajanje ekološki održivih praksi, poput smanjenja upotrebe kemikalija i zaštite prirodnih staništa, može pomoći u očuvanju bioraznolikosti i jačanju otpornosti pčelinjih zajednica na stresne uvjete. Iako klimatske promjene predstavljaju prijetnju pčelarstvu, također otvaraju prostor za inovacije u upravljanju i prilagodbi. Edukacija pčelara, širenje tehnoloških rješenja te međunarodna suradnja ključni su faktori za uspješnu prilagodbu na klimatske izazove. Održiva intenzivna pčelarska proizvodnja može se postići kroz holistički pristup koji integrira ekološke, ekonomske i društvene aspekte, čime se osigurava ne samo opstanak pčela, nego i dugoročna sigurnost oprašivanja i proizvodnje hrane. Na temelju ovih saznanja, nužno je kontinuirano pratiti učinke klimatskih promjena na pčelarske zajednice, prilagođavati strategije upravljanja te poticati istraživanja koja će pridonijeti boljem razumijevanju ove kompleksne problematike i osigurati održivost intenzivne pčelarske proizvodnje u budućnosti. Stoga, ključno je da pčelari, znanstvena zajednica i donosioci odluka surađuju u razvoju strategija koje će omogućiti održivu intenzivnu pčelarsku proizvodnju unutar promjenjivog klimatskog okruženja. Samo integracijom znanstvenih saznanja i praktičnih rješenja moguće je osigurati budućnost intenzivnog pčelarstva i zaštititi važne ekosustave koje pčele podržavaju. Na taj način, pčelari mogu osigurati ne samo uspješnu proizvodnju meda i drugih pčelinjih proizvoda, već i očuvanje bioraznolikosti i ekološke ravnoteže.

6. POPIS LITERATURE

1. Robert, C., Ralph, d'A., Rudolf, de G., Stephen, F., Monica, G., Bruce, H., Karin, L., Shahid, N., Robert, V. O'N., Jose, P., Robert, G. R., Paul, S., Marjan, van den B. (1997.): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
2. Le Conte, Y., Navajas, M. (2008.): Climate change: Impact on honey bee populations and diseases. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*. 27(2): 485-97, 499-510
3. Klein, A.M., Vaissiere B.E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C., Tscharntke T. (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for worldcrops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 274 (1608), 303-313.
4. Williams, I. H. (1996.): Aspects of bee diversity and crop pollination in the European Union. in: Matheson, A. The conservation of bees (Linnean Society Symposium Series 18) Academic Press, London., 63-80.
5. Ruttner F. (1988.): Biogeography and taxonomy of honeybees. Springer, New York
6. Navajas, M., Migeon, A., Alaux, C., Martin-Magniette, M., Robinson, G., Evans, J., Cros-Arteil, S., Crauser, D., Le Conte, Y. (2008.): Differential gene expression of the honey bee *Apis mellifera* associated with *Varroa destructor* infection. *BMC genomics*, 9, 301.
7. Louveaux J. (1973.): The acclimatization of bees to a heather region. *Bee World*, 54 (3), 105-111.
8. Pinto, M.A., Rubink, W.L., Patton, J.C., Coulson, R.N., Johnston, J.S. (2005.): Africanization in the United States: replacement of feral European honeybees (*Apis mellifera* L.) by an African hybrid swarm. *Genetics*, 170 (4), 1653-1665
9. Cox-Foster, D. L., Conlan, S., Holmes, E.C., Palacios, G., Evans, J.D., Moran, N.A., Quan, P.L., Briese, T., Hornig, M., Geiser, D.M., Martinson, V., van Engelsdorp, D., Kalkstein, A.L., Drysdale, A., Hui, J., Zhai, J.H., Cui, L.W., Hutchison, S.K., Simons, J.F., Egholm, M., Pettis, J.S., Lipkin, W.I. (2007.): A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science*, 318 (5848), 283-287
10. Neumann, P., Straub, L. (2023.): Beekeeping under climate change. *Journal of Apicultural Research*. 62. 963-968.
11. Landaverde, R., Rodriguez, M. T., Parrella, J. A. (2023.): Honey Production and Climate Change: Beekeepers' Perceptions, Farm Adaptation Strategies, and Information Needs. *Insects*, 14 (6), 493.

12. Oddie, M., Dahle, B. (2024.): One for all and all for one: a review on the commonality of risk to honeybees and wild pollinators and the benefits of beekeepers in conservation. *Front. Bee Sci.* 2:1305679
13. Harianja, A. H., Adalina, Y., Pasaribu, G., Winarni, I., Maharani, R., Fernandes, A., Agus, S., Aswandi A., Cut R. K., Siswadi, S., Hery, K., Muhamad, Y. H., Resti, W., Ermi E. K., Raden, B. H., Tony, B., Helena, Da S., Yohanis, N., Bernard, deR. ,Totok K. W., Maman T., Sigit, B. P., Harlinda, K., (2023.): Potential of beekeeping to support the livelihood, economy, society, and environment of Indonesia. *Forests* 14 (2), 321.
14. Wagner, K., Meilby, H., Cross, P. (2019.): Sticky business - Why do beekeepers keep bees and what makes them successful in Tanzania? *Journal of Rural Studies*, 66, 52–66
15. Penn, J., Hu, W., Penn, H. J. (2019.): Support for Solitary Bee Conservation among the Public versus Beekeepers. *The American Journal of Agricultural Economics* 101 (5), 1386–1400
16. DiDonato, S., Gareau, B. J. (2022.): Be(e)coming pollinators: Beekeeping and perceptions of environmentalism in Massachusetts. *PloS One* 17:35286308
17. González Pacheco, M.A., Barragán Ocaña, A. (2023.): Sustainability and Innovation in the Beekeeping Sector: A First Approach. In: Estrada, S. *Digital and Sustainable Transformations in a Post-COVID World*. Palgrave Macmillan, Cham. 161–189
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018.): Why bees matter. The importance of bees and other pollinators for food and agriculture
19. O'Neal, S. T., Anderson, T. D., & Wu-Smart, J. Y. (2018.): Interactions between pesticides and pathogen susceptibility in honey bees. *Current opinion in insect science*, 26, 57–62.
20. Ali, M. A., Abdellah, I. M., & Eletmany, M. R. (2023.). Climate Change Impacts on Honeybee Spread and Activity: A Scientific Review. *Chelonian Conservation and Biology*, 18(2), 531-554.
21. Gupta, R. K., Wim, R., Johan, W. van V., Anuradha, G., (2021.): Beekeeping for Poverty Alleviation and Livelihood Security Vol. 1 Technological Aspects of Beekeeping Institute for Agricultural and Fisheries Research (ILVO) Technology and Food Science Unit Melle , Belgium.

4. SAŽETAK:

Diplomski rad analizira utjecaj klimatskih promjena na pčelarske zajednice i intenzivnu pčelarsku proizvodnju. Razmatra se kako porast temperature, promjene u obrascima padalina i ekstremni vremenski uvjeti utječu na zdravlje pčela, dostupnost hrane i ekosustave. Također se analiziraju prilagodbe i strategije koje pčelari mogu implementirati kako bi očuvali produktivnost i održivost pčelarstva u novim klimatskim uvjetima, s posebnim naglaskom na globalne izazove i prilagodbe lokalnih ekotipova pčela.

Ključne riječi: Klimatske promjene, pčelarstvo, održivost, pčelinje zajednice, intenzivna pčelarska proizvodnja

5. SUMMARY

This master's thesis examines the impact of climate change on beekeeping communities and intensive beekeeping production. It discusses how rising temperatures, changes in precipitation patterns, and extreme weather conditions affect bee health, food availability, and ecosystems. Furthermore, the thesis analyzes adaptations and strategies that beekeepers can implement to preserve productivity and sustainability under new climate conditions, with a particular focus on global challenges and adaptations of local bee ecotypes.

Keywords: Climate change, beekeeping, sustainability, bee colonies, intensive beekeeping production

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, smjer Zootehnika, modul Lovstvo i pčelarstvo

Utjecaj klimatskih promjena na održivost intenzivne pčelarske proizvodnje

Stjepan Benkus

Sažetak: Diplomski rad analizira utjecaj klimatskih promjena na pčelarske zajednice i intenzivnu pčelarsku proizvodnju. Razmatra se kako porast temperature, promjene u obrascima padalina i ekstremni vremenski uvjeti utječu na zdravlje pčela, dostupnost hrane i ekosustave. Također se analiziraju prilagodbe i strategije koje pčelari mogu implementirati kako bi očuvali produktivnost i održivost pčelarstva u novim klimatskim uvjetima, s posebnim naglaskom na globalne izazove i prilagodbe lokalnih ekotipova pčela.

Rad izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: prof.dr.sc. Zlatko Puškadija

Broj stranica: 34

Broj grafikona i slika: 0

Broj tablica: 0

Broj literaturnih navoda: 21

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: Hrvatski

Ključne riječi: Klimatske promjene, pčelarstvo, održivost, pčelinje zajednice, intenzivna proizvodnja

Datum obrane: 30.09.2024

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof.dr.sc. Tihomir Florijančić- predsjednik
2. prof.dr.sc. Zlatko Puškadija- mentor
3. doc.dr.sc. Marin Kovačić- član
4. izv.prof.dr.sc. Ivica Bošković- zamjenski član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1, Osijek, te u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Master's Thesis

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

University Graduate Study Program, Major in Zootechnics, Specialization in Beekeeping and Hunting

The Impact of Climate Change on the Sustainability of Intensive Beekeeping Production

Stjepan Benkus

Abstract: This master's thesis examines the impact of climate change on beekeeping communities and intensive beekeeping production. It discusses how rising temperatures, changes in precipitation patterns, and extreme weather conditions affect bee health, food availability, and ecosystems. Furthermore, the thesis analyzes adaptations and strategies that beekeepers can implement to preserve productivity and sustainability under new climate conditions, with a particular focus on global challenges and adaptations of local bee ecotypes.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: Prof. Dr. Zlatko Puškadija

Page count: 34

Number of graphs and images: 0

Number of tables: 0

Number of references: 21

Number of appendices: 0

Original language: Croatian

Keywords: Climate change, beekeeping, sustainability, bee colonies, intensive production

Thesis defense date: 30.09.2024

Reviewers:

1. prof.dr.sc. Tihomir Florijančić- president
2. prof.dr.sc. Zlatko Puškadija- mentor
3. doc.dr.sc. Marin Kovačić- member
4. izv.prof.dr.sc. Ivica Bošković- substitute member

Thesis deposited in: Library of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1, Osijek, and in the digital repository of final and master's theses of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences, Osijek.