

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ochrana životního prostředí



Aleksandr Mitrofanov

Faktory ohrožující samotářské včely

Factors threatening solitary bees

Typ závěrečné práce:

Bakalářská práce

Vedoucí práce/Školitel:

RNDr. Tomáš Erban, Ph.D.

Praha, 2024

Charles University

Faculty of Science

Study programme: Environmental Protection



Aleksandr Mitrofanov

Factors threatening solitary bees

Faktory ohrožující samotářské včely

Type of thesis

Bachelor's thesis

Supervisor:

RNDr. Tomáš Erban, Ph.D

Prague, 2024

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce za cenné rady, trpělivost a odborné vedení. Děkuji také své rodině a přátelům za jejich neustálou morální podporu a povzbuzení v průběhu celého studia. Děkuji také všem kolegům a spolužákům, kteří mi poskytli zpětnou vazbu k textu a pomohli mi utřídit myšlenky. Věřím, že bez jejich podpory by tato práce nebyla tím, čím je.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Během práce byly použity nástroje umělé inteligence (AI) a technologie podporované AI.

V Praze dne

6.01.2025

Jméno a příjmení

Aleksandr Mitrofanov

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na faktory ohrožující samotářské včely a jejich klíčovou roli v ekosystémech a zemědělství. Samotářské včely, které tvoří většinu druhové rozmanitosti včel, jsou nezbytnými opylovači podporujícími biodiverzitu a stabilitu ekosystémů. Hlavními hrozbami pro jejich populace jsou intenzivní zemědělství, používání insekticidů, klimatické změny, urbanizace, konkurence s včelou medonosnou, paraziti a invazivní druhy. Intenzivní zemědělské praktiky a homogenizace krajiny snižují dostupnost potravy a vhodných hnízdišť, zatímco insekticidy, zejména neonicotinoidy a flupyradifuron, negativně ovlivňují přežitelnost a reprodukční schopnosti včel. Klimatické změny způsobují fenologické nesoulady mezi kvetením rostlin a aktivitou včel, což narušuje synchronizaci opylování. Urbanizace redukuje přírodní stanoviště a zvyšuje expozici stresorům jako světelné znečištění. Konkurence s včelou medonosnou omezuje přístup samotářských včel k potravě a paraziti dále oslabují jejich populace. Práce navrhuje ochranná opatření zahrnující diverzifikaci krajiny, omezení insekticidů, podporu genetické rozmanitosti, monitorování populací a zvýšení veřejného povědomí. Závěrem je zdůrazněna nutnost komplexního přístupu k ochraně samotářských včel pro udržitelný rozvoj a zachování funkčních ekosystémů.

Klíčová slova: samotářské včely, ohrožení, insekticidy, opylování, management

Abstract

This bachelor's thesis examines the factors threatening solitary bees and their essential role in ecosystems and agriculture. Solitary bees, which constitute the majority of bee diversity, are crucial pollinators that support biodiversity and ecosystem stability. The primary threats to their populations include intensive agriculture, insecticide use, climate change, urbanization, competition with honeybees, parasites, and invasive species. Intensive farming practices and landscape homogenization reduce the availability of food and suitable nesting sites, while insecticides, particularly neonicotinoids and flupyradifuron, adversely affect bee survival and reproductive capabilities. Climate change induces phenological mismatches between plant flowering and bee activity, disrupting pollination synchronization. Urbanization diminishes natural habitats and increases exposure to stressors such as light pollution.

Competition with honeybees limits access to floral resources for solitary bees, and parasites further weaken their populations. The thesis proposes conservation measures including landscape diversification, insecticide restriction, support for genetic diversity, population monitoring, and increased public awareness. In conclusion, a comprehensive approach to protecting solitary bees is essential for sustainable development and the preservation of functional ecosystems.

Keywords: solitary bees, threats, insecticides, pollination, management

Obsah

Abstrakt	1
1. Úvod.....	4
1.1. Kontext a význam tématu.....	4
1.2. Cíle a výzkumné otázky	5
3. Literární rešerše	6
3.1 Samotářské včely, jejich biologie a význam pro ekosystémy.....	6
3.1. Celosvětová diverzita a výskyt samotářských včel	6
3.2. Biologie a životní cyklus samotářských včel	8
3.3. Potravní specializace, adaptace a ekosystémový význam	9
3.4 Význam morfologických a behaviorálních adaptací.....	10
3.5 Ekosystémový význam	10
3.6 Ekonomický význam	11
4. Faktory ovlivňující samotářské včely	13
4.1. Intenzivní zemědělství a homogenizace krajiny	13
4.2. Pesticidy a chemické znečištění.....	14
4.3 Klimatická změna a její dopady na reprodukční úspěšnost samotářských včel	23
4.4. Vliv urbanizace na populace samotářských včel	25
4.5 Kompetice s včelou medonosnou	26
4.6 Paraziti u samotářských včel.....	27
4.7 Vliv invazivních druhů na samotářské včely	29
5. Analýza vědeckých studií: Vizualizace a síťové propojení	29
6 Závěr.....	37
Seznam literatury	37

1. Úvod

1.1. Kontext a význam tématu

Opylování představuje jednu z nejdůležitějších ekosystémových služeb, která je nezbytná pro reprodukci široké škály kvetoucích rostlin a udržení biodiverzity suchozemských ekosystémů (Kremen et al., 2002; Potts et al., 2010). Podle odhadu přibližně 87,5 % kvetoucích rostlin na Zemi je závislých alespoň částečně na opylování živočichy (Ollerton et al., 2011), přičemž hmyz – a zejména včely – hraje v tomto procesu klíčovou roli (Kremen et al., 2007; Michener, 2007).

Veřejnost a zemědělská praxe často zaměřují svou pozornost především na včelu medonosnou *Apis mellifera*, která je nejznámějším a z ekonomického hlediska nejdůležitějším opylovačem. Je také nejznámějším eusociálním zástupcem včel rodu *Apis*. Poskytuje nejen ekosystémové služby, ale i včelí produkty jako med, vosk, propolis a jed. Je však třeba zdůraznit, že rod *Apis* zahrnuje více druhů včel medonosných, například včelu východní *Apis cerana*. K eusociálním zástupcům opylovačů dále patří čmeláci (rod *Bombus*) a bezžihadlové včely (*Meliponini*), jejichž role v opylování je rovněž zásadní (Klein et al., 2007; Michener, 2007). Přesto je většina včelích druhů na Zemi samotářských. Celková diverzita včel dosahuje přibližně 20 000 druhů, přičemž samotářské včely tvoří naprostou většinu této druhové rozmanitosti (Potts et al., 2010; Winfree et al., 2008).

Samotářské včely hnízdí individuálně a nevytvářejí dlouhodobé kolonie s trvalou královnou, na rozdíl od včel medonosných či čmeláků (Michener, 2007). Díky široké škále ekologických strategií, preferencí hnízdních substrátů, dob aktivity i květných specializací přispívají k opylování rozmanitých společenstev rostlin, čímž významně posilují funkční diverzitu opylovačů (Kremen et al., 2002). V posledních desetiletích se stále častěji prokazuje celosvětový trend úbytku opylovačů, který se netýká pouze včely medonosné, ale i divokých včel včetně samotářských druhů (Potts et al., 2010). Tento pokles opylovací kapacity má závažné ekologické a ekonomické důsledky, neboť opylovači jsou nezbytní pro produkci celé řady plodin (Khalifa et al., 2021). Opylovači jsou také nezbytní pro udržení rozmanitých společenstev planě rostoucích rostlin (Ollerton et al., 2011).

1.2. Cíle a výzkumné otázky

Hlavním cílem této bakalářské práce je shrnout a zhodnotit klíčové faktory, které ovlivňují populace samotářských včel. Práce se zaměřuje hlavně na analýzu vlivů intenzivního zemědělství, používání pesticidů, urbanizace, klimatických změn a kompetice s eusociálními opylovači. Kromě přehledu jednotlivých faktorů je cílem poskytnout náhled na jejich propojení, jelikož různé faktory se podílejí na negativních vlivech obvykle společně. Dále bude zohledněn potenciál uplatnění různých ochranných opatření pro zmírnění negativních dopadů na samotářské včely a ochranu jejich populací. Zaměření bude také na strategie pro udržitelnou ochranu samotářských včel v různých typech krajín včetně zohlednění specifika městského prostředí v důsledku urbanizace.

Výzkumné otázky této práce jsou následující:

1. Jak intenzivní zemědělství a homogenizace krajiny ovlivňují dostupnost potravy a hnízdišť pro samotářské včely?
2. Jaké jsou dopady různých insekticidů na zdraví a reprodukční schopnosti samotářských včel, se zaměřením na neonikotinoidy a jiné relevantní třídy pesticidů?
3. Jak urbanizace a ztráta přírodních biotopů ovlivňují populace samotářských včel?
4. Jak klimatické změny a fenologické nesoulady narušují synchronii mezi včelami a jejich potravními zdroji?
5. Jak kompetice s včelou medonosnou a dalšími eusociálními opylovači ovlivňuje dostupnost pylu a nektaru pro samotářské včely?
6. Jaká opatření a strategie jsou nejúčinnější pro ochranu a management populací samotářských včel?

3. Literární rešerše

3.1 Samotářské včely, jejich biologie a význam pro ekosystémy

3.1. Celosvětová diverzita a výskyt samotářských včel

Samotářské včely představují jednu z nejpočetnějších a nejrozmanitějších skupin včel na světě. S odhadovaným počtem kolem 20 000 druhů (Michener, 2007; Winfree et al., 2008) se samotářské včely staly dominantní formou včelí diverzity. Na rozdíl od eusociálních druhů, jako jsou včely medonosné či čmeláci, samotářské včely žijí a hnízdí individuálně bez vytváření trvalých kolonií (Westrich, 1996). Každá samice je zodpovědná za stavbu a údržbu svého vlastního hnízda, kde klade vajíčka a vytváří potravní zásoby pro larvy. Tato samostatnost přináší několik výhod, včetně nižší závislosti na koloniální podpoře a vyšší flexibility při využívání různých typů stanovišť. Samotářské včely také vykazují vysokou míru specializace na určité druhy rostlin, což zvyšuje efektivitu opylování a podporuje udržitelnost rostlinných společenstev (Cane & Sipes, 2006). Díky své ekologické významnosti hrají klíčovou roli v udržování biodiverzity a stability ekosystémů, zejména v krajinách ovlivněných intenzivním zemědělstvím a urbanizací (Potts et al., 2010).

Geografické rozšíření samotářských včel:

Samotářské včely jsou rozšířeny téměř po celém světě, s výjimkou Antarktidy, a obývají širokou škálu stanovišť, od suchých stepí a polopouští až po vlhké lesy a tropické deštné pralesy (Danforth et al., 2019). Jejich rozšíření a populace jsou silně ovlivněny klimatickými podmínkami, dostupností potravy a vhodnými hnízdišti. Mnohé druhy jsou vysoce specializované na konkrétní typy rostlin nebo specifická hnízdiště, což zvyšuje jejich zranitelnost vůči změnám prostředí (Potts et al., 2010). Ekosystémové opylovací služby poskytované samotářskými včelami jsou často vázány na úzkou skupinu rostlin, se kterými mají vzájemně prospěšné a závislé vztahy. Tato interdependence mezi rostlinami a samotářskými včelami je klíčová pro udržení biodiverzity a stability ekosystémů, neboť obě skupiny se bez sebe navzájem neobejdou (Potts et al., 2010).

Druhová diverzita:

K samotářským včelám patří široká škála rodů, podrodů a druhů, které se liší nejen velikostí a vzhledem, ale také ekologickými nároky a životními strategiemi. Mezi významné rody patří například *Andrena*, *Colletes*, *Lasioglossum* nebo *Megachile*. Každý z těchto rodů má své specifické charakteristiky a adaptace, které jim umožňují přežít v různých typech prostředí (Westrich, 1996).

Ekologická role:

Samotářské včely hrají klíčovou roli v opylování mnoha divoce rostoucích i zemědělských rostlin. Díky široké rozmanitosti a specializaci dokážou opylovat i ty rostliny, které by jinak měly jen omezený přístup k opylovačům (Winfree et al., 2008). Některé druhy jsou *monolektické*, což znamená, že opylují pouze jeden druh rostlin. Jiné jsou *oligolektické*, specializované na několik druhů, například na rostliny jedné čeledi. Zatímco další druhy jsou *polyfágní* a navštěvují široké spektrum květů nepříbuzných rostlin (Cane & Sipes, 2006).

Rod	Počet druhů	Ekologické nároky	Specifické adaptace	Reference
<i>Andrena</i>	cca 1300	Oligolektické, preferují různé biotopy	Vytváření hnízd v zemi, aktivní v různých dobách dne	Westrich, 1996; Potts et al., 2010
<i>Colletes</i>	cca 700	Oligolektické, často vyskytují v suchých stanovištích	Používají vodnatý materiál k uzavírání hnízdních komor	Westrich, 1996
<i>Lasioglossum</i>	cca 1700	Polyfágní, adaptabilní na různé prostředí	Menší velikost, schopnost vytvářet jednoduchá hnízda	Winfree et al., 2009
<i>Megachile</i>	cca 1500	Polyfágní, preferují otevřené stanoviště	Používají listy a květy k vytváření hnízdních materiálů	Winfree et al., 2009
<i>Osmia</i>	cca 800	Oligolektické až polyfágní, preferují různé biotopy	Využívají bahno nebo rostlinný materiál k	(Michener, 2007)

			uzavírání hnízdnic komor, adaptabilní na různé materiály pro hnízdění	
--	--	--	---	--

Tabulka 1 Příklady významných rodů samotářských včel a jejich charakteristiky

V Tab 1. jsou uvedeny hlavní rody samotářských včel, které se liší nejen počtem druhů, ale i jejich ekologickými nároky a specifickými adaptacemi. Například rod *Andrena*, který zahrnuje přibližně 1300 druhů, je oligolektický a preferuje různé biotopy, což jim umožňuje opylovat širokou škálu rostlin. Tento rod vytváří hnízda v zemi a je aktivní v různých dobách dne, což zvyšuje jejich efektivitu při sběru pylu a nektaru.

Naopak rod *Megachile* je polyfágní a využívá listy a květy k vytváření hnízdnic materiálů, což jim poskytuje větší flexibilitu při výběru opylovaných rostlin. Tento způsob stavby hnízd jim umožňuje adaptovat se na různé typy prostředí a dostupné materiály, což je výhodné v proměnlivých podmínkách.

Rod *Osmia* vykazuje variabilitu od oligolektických po polyfágní chování, což jim umožňuje využívat různé druhy rostlin a materiály pro stavbu hnízd. Tato adaptabilita je klíčová pro jejich schopnost přežít a efektivně opylovat v různých typech krajin.

Tabulka 1 také zahrnuje rod *Lasioglossum*, který je polyfágní a adaptabilní na různé prostředí. Menší velikost těchto včel a jejich schopnost vytvářet jednoduchá hnízda jim umožňuje využívat širokou škálu stanovišť, což zvyšuje jejich přítomnost v různorodých ekosystémech.

3.2. Biologie a životní cyklus samotářských včel

Biologie samotářských včel se značně liší od eusociálních druhů. Samotářské včely vytvářejí a spravují své hnízda individuálně. Hnízda mohou být umístěna v zemi, v dutinách dřeva, ve stoncích rostlin nebo v jiných vhodných úkrytech (Michener, 2007; Westrich, 1996). Samice nesou do hnízda pyl a nektar, z nichž vytvářejí potravní zásoby pro larvy. Po nakladení vajíčka a uzavření hnízdnic komůrky se samice již dále o potomstvo nestará a nová generace se obvykle líhne až v následující sezóně (Dorn et al., 2012).

Životní cyklus:

Životní cyklus samotářských včel je často krátký a úzce spjatý s dostupností květů v prostředí. Mnohé druhy jsou univoltinní, což znamená, že mají jednu generaci ročně, a jejich letní aktivita je synchronizována s kvetením konkrétních rostlin (Memmott et al., 2007). Doba aktivity může trvat jen několik týdnů, což zdůrazňuje důležitost fenologické shody mezi včelami a rostlinami, kterou mohou klimatické změny snadno narušit (Memmott et al., 2007).

Reprodukce:

Reprodukční strategie samotářských včel zahrnuje tvorbu potravních zásob pro larvy. Samice často vytvářejí několik hnízdních komor v rámci jednoho hnízda, kde každá komora obsahuje potravní zásobu a jedno vajíčko. Tento energeticky náročný proces klade vysoké nároky na dostatek kvalitní potravy a vhodná hnízdiště (Potts et al., 2010).

3.3. Potravní specializace, adaptace a ekosystémový význam

Samotářské včely vykazují vysokou míru potravní specializace, což je zásadní pro jejich ekologický význam. *Oligolektické* druhy se zaměřují na úzký okruh příbuzných rostlin, díky čemuž výrazně zvyšují efektivitu opylování těchto rostlin a napomáhají jejich reprodukčnímu úspěchu (Cane & Sipes, 2006). Naproti tomu *polyfágní* (generalističtí) opylovači využívají široké spektrum kvetoucích druhů a tím přispívají k rozložení opylovacího tlaku v průběhu celé sezóny (Winfree et al., 2008).

Například některé druhy rodu *Andrena* se specializují na raně kvetoucí dřeviny, jako jsou ovocné stromy či vrby, a získávají tím brzy na jaře potřebné zdroje pylu a nektaru (Michener, 2007). Rod *Megachile* (tzv. „listonošky“) naopak často přednostně vyhledává rostliny s bohatým nektarem, které kvetou ve střední či pozdější fázi sezóny, což jim poskytuje vysoce energeticky vydatnou potravu (Winfree et al., 2008). Oba tyto rody se tak dohromady postarají o širší fenologické pokrytí kvetoucích rostlin, čímž stabilizují opylovací služby v krajině (Potts et al., 2010). Tím, že se druhy liší nejen v období aktivity, ale často i v mikrostanovištích pro hnízdění, maximalizují šance na přežití i v prostředích se značně kolísající nabídkou potravy (Garibaldi et al., 2013).

3.4 Význam morfologických a behaviorálních adaptací

Mnohé samotářské včely mají unikátní morfologické znaky – například některé *Megachile* disponují silnými kusadly, kterými stříhají listy pro vystýlání hnízd, zatímco rody jako *Osmia* využívají bahno nebo zbytky rostlinného materiálu k uzavírání hnízdních komor (Bosch & Kemp, 2002). Další adaptací jsou různé formy ochlupení (*scopae*), kdy hustota a rozmístění „sběrných kartáčků“ úzce souvisí s tvarem a strukturou pylových zrn konkrétních rostlin (Rust, 1990). Tyto morfologické přizpůsobení zvyšují efektivitu přenosu pylu a mohou ovlivňovat, na které rostliny se včely reálně zaměřují (Cane & Sipes, 2006). Navíc se u některých druhů vyskytují behaviorální adaptace, jako je „buzz pollination“ (vibrové opylování), jež pomáhá uvolňovat pyl z prašníků, zejména u plodin typu rajče či paprika (Winfree et al., 2008).

3.5 Ekosystémový význam

Klíčová úloha v zemědělství

Samotářské včely sehrávají zásadní roli při opylování mnoha plodin, kde doplňují nebo v některých případech dokonce nahrazují včelu medonosnou (Garibaldi et al., 2013). U ovocných sadů, bobulovin či některých druhů zeleniny pomáhají stabilizovat a zvyšovat výnosy, protože rozšiřují časové okno opylení a lépe pokrývají variabilní podmínky prostředí (Bosch & Kemp, 2002). Různé rody samotářských včel – například *Osmia* nebo *Megachile* – mohou být mimořádně efektivní v podmínkách, kde je opylování včelou medonosnou omezeno (Michener, 2007). Tato diverzita přispívá k rovnoměrnějším výnosům a snižuje riziko selhání produkce v případě výpadku jediného opylovače (Winfree et al., 2008).

Zachování biodiverzity v planých ekosystémech

Mimo zemědělskou krajinu jsou samotářské včely nezbytné pro udržení různorodých společenstev planě rostoucích rostlin (Klein et al., 2007). Mnohé druhy rostlin by bez specializovaných opylovačů (např. *oligolektických* druhů *Andrena* nebo *Colletes*) měly problém s úspěšným nasazením semen (Cane & Sipes, 2006). Tím se snižuje riziko ztráty genetické diverzity u volně žijících rostlinných populací, což následně ovlivňuje i celé společenstvo dalších živočichů (Potts et al., 2010).

Odolnost vůči environmentálním výkyvům

Rozmanitost samotářských včel včetně rozdílných fenologických „vln“ (jarní vs. letní aktivita) umožňuje opylení i při změnách klimatu či při nepravidelném kvetení rostlin (Bartomeus et al., 2011). Některé druhy jsou aktivní dříve na jaře, jiné až v letních měsících; dohromady tak pokrývají širší spektrum kvetoucích druhů (Winfree et al., 2008). Díky tomu mohou plané i zemědělské ekosystémy lépe zvládat výkyvy teplot, srážek nebo fenologické posuny (Potts et al., 2010).

Význam pro stabilitu ekosystémových služeb

Ekosystémové služby, jako je opylování, přispívají k potravinové bezpečnosti a ekonomické stabilitě regionů (Klein et al., 2007). Vysoká diverzita opylovačů zároveň zvyšuje odolnost ekosystémů vůči stresorům, protože náhrada jednoho opylovače druhým se stává mnohem snazší (Garibaldi et al., 2013). Samotářské včely tak posilují stabilitu ekosystémů a napomáhají zachování druhového bohatství, což je důležité jak pro udržitelné hospodaření, tak i pro estetickou a kulturní hodnotu krajiny (Bosch & Kemp, 2002).

3.6 Ekonomický význam

Samotářské včely poskytují významnou část ekosystémové služby opylování, jež je zásadní pro mnoho hospodářských plodin (Garibaldi et al., 2013). V některých regionech dokonce mohou nahradit či doplnit včelu medonosnou. Zejména tam, kde je aktivita medonosné včely omezena například počasím, chorobami či nevhodným termínem kvetení (Reilly et al., 2024). Níže jsou uvedeny hlavní přínosy, které přinášejí samotářské včely pro ekonomiku.

Vyšší a stabilnější výnosy

Samotářské včely zvyšují kvalitu a množství úrody u celé řady plodin, včetně ovocných stromů, bobulovin a plodin kvetoucích časně či za chladnějšího počasí (Garibaldi et al., 2013) Kombinace druhově pestrých opylovačů navíc snižuje riziko kolapsu opylování, pokud jeden druh včel trpí chorobami či nepříznivými klimatickými podmínkami (Nicholson & Ricketts, 2019).

Studie Garibaldi et al. (2014) analyzovala 41 zemědělských systémů po celém světě a zjistila, že divocí opylovači, mezi nimiž samotářské včely, významně zvyšují plodnost plodin ve všech zkoumaných systémech. Na rozdíl od *A. mellifera*, které prokazovaly významný vliv na zvýšení plodnosti pouze v 34 % systémů, samotářské včely přispívají k vyšší efektivitě opylování napříč různými zemědělskými prostředími, přičemž jejich efektivita může záviset na konkrétních druzích (Garibaldi et al., 2013).

Další významný příspěvek k této problematice přináší studie (Reilly et al., 2024) která prostřednictvím globální analýzy zahrnující 93 studií z databáze CropPol ukázala, že divoké včely, zahrnující samotářské druhy, mají podobný až mírně nižší vliv na zvýšení výnosů plodin ve srovnání s včelami medonosnými. Přesto divoké včely přispívají k celkové efektivitě opylování díky své schopnosti ukládat větší množství pylu na květy, což zvyšuje plodnost a kvalitu plodin (Reilly, 2024 #24). Studie také zdůraznila, že biodiverzita opylovačů, včetně samotářských včel, je klíčová pro udržení stabilních a vysokých výnosů plodin napříč různými regiony a časovými obdobími (Reilly et al., 2024).

Specifický případ pěstování borůvek ve státě Vermont, USA, byl podrobně analyzován v práci Nicholson & Ricketts (2019). Výzkum ukázal, že samotářské včely nejenže zvyšují množství plodů, ale také výrazně zlepšují jejich kvalitu. Konkrétně se zvýšil počet semínek až o 92 %, hmotnost plodů o 12 % a množství plodů rovněž o 12 %. Dále samotářské včely přispěly ke zvýšení uniformity velikosti plodů o 11 % a urychlení času sklizně o 2,5 dne (Nicholson & Ricketts, 2019). Tyto faktory společně vedou k vyšší tržní hodnotě plodin a stabilnějším výnosům, což má přímý pozitivní dopad na ekonomickou výkonnost farmářů. (Nicholson & Ricketts, 2019).

Snížení nákladů na umělé opylování

V oblastech s nedostatkem přirozených opylovačů mohou farmáři investovat značné prostředky do umělého přenosu pylu nebo do dovozu komerčních včelstev. Dostatečně početné populace samotářských včel snižují náklady na tyto postupy a zlepšují udržitelnost zemědělství (Potts et al., 2010).

Diverzifikace pěstovaných plodin

Jednotlivé druhy samotářských včel se vyznačují různými fenologickými vrcholy (tj. aktivitou v odlišných obdobích), a tím podporují opylení širšího spektra plodin (Nicholson & Ricketts, 2019) Farmáři se proto mohou orientovat na větší rozmanitost pěstovaných druhů, což přináší odolnost vůči výkyvům trhu i počasí. (Nicholson & Ricketts, 2019).

Nepřímé ekonomické přínosy

Pestré opylovací společenstvo obvykle souvisí s celkově zdravým ekosystémem, který má vyšší biodiverzitu (Garibaldi et al., 2013). Rozmanitá krajina přitahuje turisty, čímž může podpořit venkovský turismus a různé formy agroturistiky (Cichowska & Klimek, 2011). Kromě toho stabilní ekosystémy lépe odolávají environmentálním výkyvům, což je z dlouhodobého hlediska přínosem pro místní ekonomiku i sociální stabilitu (Faganel, 2011).

4. Faktory ovlivňující samotářské včely

Populace samotářských včel čelí řadě hrozeb, které jsou úzce spojeny s moderními zemědělskými praktikami. Intenzivní zemědělství, charakterizované rozsáhlými monokulturami, vysokou hustotou pěstovaných plodin a značným využíváním syntetických hnojiv a pesticidů, má zásadní dopad na biodiverzitu a ekosystémové služby poskytované samotářskými včelami (Goulson, 2013; Potts et al., 2010).

4.1. Intenzivní zemědělství a homogenizace krajiny

Intenzivní zemědělství je jedním z hlavních faktorů přispívajících k poklesu populací samotářských včel (Potts et al., 2010). Tento způsob hospodaření se vyznačuje monokulturami, které omezují rozmanitost rostlin a tím i dostupnost potravy pro včely (St. Clair et al., 2020). Převládající monokultury často neposkytují dostatečné množství potravy ani vhodná hnízdiště pro mnoho druhů samotářských včel, což vede k poklesu jejich biodiverzity a úbytku specializovaných druhů, které jsou méně schopny přežít v homogenních krajinách (Kline & Joshi, 2020).

Studie ukazují, že diverzifikace zemědělských systémů může mít pozitivní vliv na zdraví (*A. mellifera*) a zároveň podporovat divoké včely tím, že zajišťují rozmanitější zdroje potravy a vhodná hnízdiště (St. Clair et al., 2020).

Fragmentace krajiny, způsobená intenzivním zemědělstvím, dále ztěžuje samotářským včelám nalezení potřebných zdrojů potravy a míst pro hnízdění v blízkosti svých hnízdišť (Potts et al., 2010). Snížená biodiverzita v krajině negativně ovlivňuje stabilitu a odolnost ekosystémů, což má přímý dopad na populace včel a jejich schopnost efektivně opylovat plodiny. (Potts et al., 2010).

Intenzivní zemědělské praktiky vedou také k vyššímu využívání pesticidů, které mají toxické účinky na samotářské včely (Anderson & Harmon-Threatt, 2021). Zvýšená expozice pesticidům nejenže snižuje životaschopnost včel, ale také ovlivňuje jejich reprodukční schopnosti a celkové zdraví. Studie prokázaly, že chronický kontakt s například imidaklopridem během vývoje může snížit schopnost samic samotářských včel při hledání potravy a zvýšit konkurenční schopnost samců při hledání partnerů, což může mít dlouhodobé důsledky pro populační dynamiku těchto druhů. (Anderson & Harmon-Threatt, 2021).

4.2. Pesticidy a chemické znečištění

Pesticidy představují jeden z největších chemických stresorů pro samotářské včely. Patří sem insekticidy, herbicidy a fungicidy, které jsou široce používány v zemědělství k ochraně plodin před škůdci (Cullen et al., 2019). Tyto chemické látky mají různé mechanismy účinku a mohou výrazně ovlivňovat zdraví a přežití samotářských včel nejen individuálně, ale také na úrovni populací. Navíc, kombinace různých pesticidů může vést k synergickým efektům, které zvyšují jejich celkovou toxicitu a negativní dopady na včely (Cullen et al., 2019; Main et al., 2020). Systemické pesticidy, jako jsou

neonikotinoidy (*acetamiprid*, *flonicamid*, *sulfoxaflor*) a fungicidy (*dodine*), se vstřebávají rostlinami a přecházejí do pylu a nektaru, a vedou k chronické expozici včel (Phan et al., 2024).

4.2.1. Přítomnost pesticidů v pylových zásobách samotářských včel

Pesticidy byly nalezeny v koktejlech v pylových zásobách samotářských včel nejen v zemědělských oblastech, ale i v zahrádkářských koloniích (Phan et al., 2024; Šlachta et al., 2020). Data ukazují na značný význam fungicidů v pylových zásobách, které se vyskytují společně s insekticidy. Existující data jsou zejména zaměřena na včely rodu *Osmia*, což reflektuje jejich komerční význam a využití v opylovacích službách (Phan et al., 2024). Tato kombinace chemikálií zvyšuje celkovou toxicitu pro samotářské včely, protože fungicidy mohou synergicky interagovat s insekticidy a zhoršovat jejich negativní dopady (Phan et al., 2024).

4.2.2. Typy pesticidu a jejich účinky

Různé typy pesticidu mají odlišné účinky na samotářské včely, přičemž některé z nich působí synergicky, čímž zvyšují celkovou toxicitu (Goulson, 2013; Main et al., 2020).

Insekticidy

Neonikotinoidy: Tyto systémové insekticidy jsou obzvláště nebezpečné, protože se vstřebávají do celé rostliny a přecházejí do pylu a nektaru, což vede k chronické expozici včel. Neonikotinoidy působí jako agonisté nikotinových acetylcholinových receptorů, což narušuje nervový systém včel a vede k jejich smrtelnosti, snížené schopnosti orientace a reprodukčním problémům (Goulson, 2013; Main et al., 2020). Tyto látky mohou také způsobovat subletální účinky, jako je snížená imunita a narušené chování včel, což dále ohrožuje jejich přežití (Cullen et al., 2019; Main et al., 2020).

Pyrethroidy: Jsou to rychle působící insekticidy, které mohou způsobit především akutní toxicitu u včel, ovlivňovat jejich nervový systém a způsobovat smrt. Pyrethroidy narušují funkci nervových buněk včel tím, že prodlužují otevření sodíkových kanálků, což vede k hyperexcitabilitě nervového systému a nakonec k paralýze (Anderson & Harmon-Threatt, 2021; Cohen et al., 2021). Podobně jako neonikotinoidy, pyrethroidy mohou snižovat schopnost včel efektivně sbírat potravu a orientovat se, což má dlouhodobé dopady na populace samotářských včel (Cohen et al., 2021).

Fungicidy a herbicidy:

I když jsou primárně určeny k ochraně rostlin před houbovými chorobami a nežádoucími rostlinami, mohou mít sekundární účinky na včely tím, že mění strukturu rostlinných komunit a snižují dostupnost potravy. Zvláště EBI (Ergosterol biosynthesis inhibitors) fungicidy, které zasahují do syntézy sterolů v rostlinách, mohou mít nepříznivé účinky na včely tím, že snižují kvalitu a množství nektaru a pylu dostupného pro opylovače (Cullen et al., 2019; Lundin et al., 2015; Main et al., 2020). Navíc, kombinace fungicidů a insekticidů může vést k synergickým účinkům, kde kombinované působení těchto chemikálií způsobuje vyšší toxicitu, než by vyplývalo z jejich jednotlivého působení (Goulson, 2013; Main et al., 2020). Synergické účinky mohou vést k výraznějšímu poklesu populací samotářských včel, než by bylo očekáváno při expozici jednotlivým pesticidům (Goulson, 2013; Lundin et al., 2015; Main et al., 2020).

4.2.3. Expozice a bioakumulace insekticidů u volně žijících opylovačů

Výzkum od Main et al., 2020 ukazuje, že divoké včely a motýli jsou vystaveni širokému spektru insekticidů při opylování v agroekosystémech, což zahrnuje nejen insekticidy jako neonikotinoidy ale také různé fungicidy a herbicidy. Tato studie demonstruje, že opylovači mohou bioakumulovat různé pesticidy, což může vést k subletálním efektům a chronické expozici, která není zachycena tradičními toxikologickými testy zaměřenými pouze na smrtelnost (Main et al., 2020). Tento nálezní podtrhuje potřebu rozšíření výzkumu na další třídy pesticidů a jejich kombinované účinky na různé druhy opylovačů (Cullen et al., 2019; Goulson, 2013).

4.2.4. Rizika pro vývoj a přežití samotářských včel

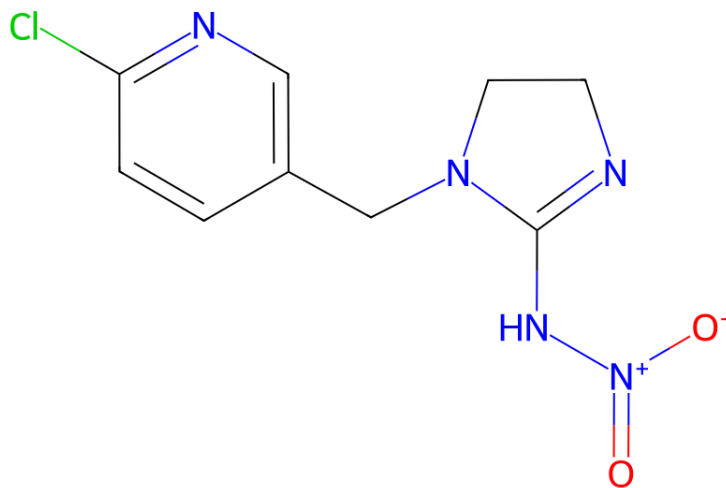
Pesticidy v pylových zásobách samotářských včel představují značné riziko pro jejich vývoj a přežití. Studie Phan et al. (2024) prokázala, že chronická expozice systémovým insekticidům vede ke zpoždění larválního vývoje a snížení tělesné hmotnosti jak larv, tak dospělých včel. Dále, expozice fungicidu *dodine* způsobila abnormality v defekaci larv a zvýšenou mortalitu kukel, což výrazně ovlivnilo přežití dospělých jedinců (Phan et al., 2024).

4.2.4. Subletální a synergické účinky insekticidů na příkladu neonikotinoidů

Subletální účinky například neonikotinoidů zahrnují změny v chování, snížení reprodukční schopnosti, oslabení imunity a narušení kognitivních funkcí opylovačů. Tyto účinky se mohou projevit i při nízkých koncentracích insekticidů, které nevedou k okamžité smrti, ale mají dlouhodobé dopady na jedince i populace. (Boff & Ayasse, 2024; Goulson, 2013; Stuligross & Williams, 2020).

Změny v chování

Expozice neonikotinoidům, jako je imidaklopid a thiamethoxam, snižuje aktivitu včel při hledání potravy a jejich schopnost vrátit se do úlu. Například imidaklopid omezuje schopnost včel orientovat se v prostoru a snižuje počet květů navštívených během jednoho sběru potravy (Boff & Ayasse, 2024; Stuligross & Williams, 2020). Podobně byly pozorovány změny při hledání potravy solitérních včel *Osmia lignaria* (Anderson & Harmon-Threatt, 2021).



Obrázek 1 Molekula Imidaklopridu CSID:77934

<https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.77934.html>, (accessed 5:02, Jan 3, 2025).

Ovlivnění reprodukce

Subletální dávky neonikotinoidů snižují reprodukční schopnost včel a kvalitu jejich potomstva. Například u druhu *Osmia lignaria* expozice imidaklopridu vedla k poklesu

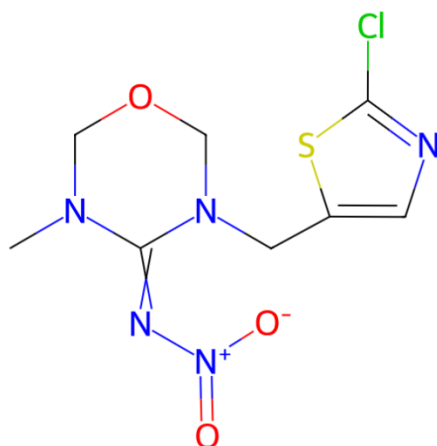
počtu vajíček kladených samicemi a zhoršení kvality hnízd (Stuligross & Williams, 2020).

Narušení imunity

Neonikotinoidy narušují imunitní systém včel a zvyšují jejich náchylnost k patogenům, jako jsou viry a paraziti včely medonosné *Nosema spp.* (Di Prisco et al., 2013). Výzkumy ukázaly, že expozice těmto pesticidům může vést k poklesu aktivity genů spojených s imunitní odpovědí (Alaux et al., 2010).

Kognitivní poruchy

Subletální dávky neonikotinoidů negativně ovlivňují učení a paměť včel. Například thiamethoxam narušuje schopnost včel pamatovat si cesty k potravním zdrojům, což snižuje jejich efektivitu při sběru potravy (Goulson, 2013; Stuligross et al., 2023). Tyto efekty jsou spojeny s poruchou vývoje mozkových struktur, jako jsou houbovitá tělesa která jsou klíčová pro kognitivní funkce hmyzu (Anderson & Harmon-Threatt, 2021).



Obrázek 2 Molekula Thiamethoxamu CSID:96828

<https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.96828.html>, (accessed 5:01, Jan 3, 2025).

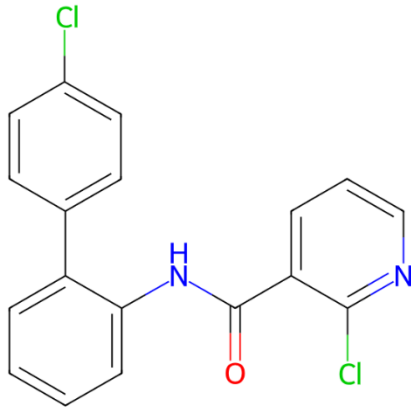
4.2.5 Synergické účinky neonikotinoidů

Synergické účinky neonikotinoidů se objevují, když jsou tyto látky kombinovány s dalšími stresory, jako jsou jiné pesticidy, nedostatek potravy nebo klimatické změny.

Tyto kombinace mohou zhoršovat jejich dopad na necílové organismy. (Stuligross et al., 2023; Tsvetkov et al., 2017).

Interakce s fungicidy

Kombinace neonikotinoidů a fungicidů, jako je boskalid, zvyšuje toxicitu pro včely. Tento efekt je patrný zejména u látek působících na nervový systém, které v kombinaci zvyšují úmrtnost i subletální účinky (Tsvetkov et al., 2017).



Obrázek 3 . Boskalid CSID:184713,

<https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.184713.html>, (accessed 5:04, Jan 3, 2025).

Kombinace s herbicidy

Herbicidy, jako je glyfosát, mohou snižovat dostupnost potravy pro opylovače, což zvyšuje jejich stres a citlivost na neonikotinoidy (Battisti et al., 2023). Glyfosát také zhoršuje mikrobiální rovnováhu v trávicím traktu včel, což zvyšuje jejich zranitelnost vůči dalším stresorům (Battisti et al., 2023).

Synergie v prostředí

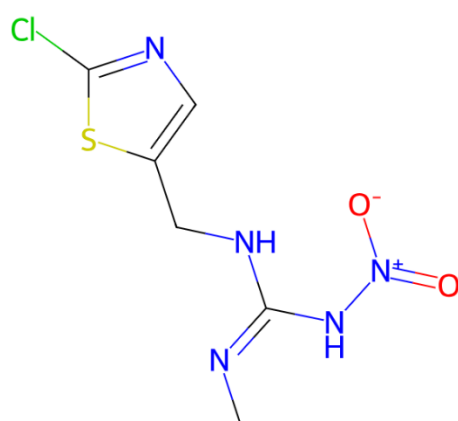
V přírodních podmínkách může kombinace neonikotinoidů a dalších stresorů vést k rychlému poklesu populace opylovačů. Například kombinace nedostatku potravy a expozice imidaklopridu vedla k významnému snížení reprodukční úspěšnosti samotařských včel (Stuligross et al., 2023).

4.2.6 Zákaz neonikotinoidních pesticidů v Evropské unii

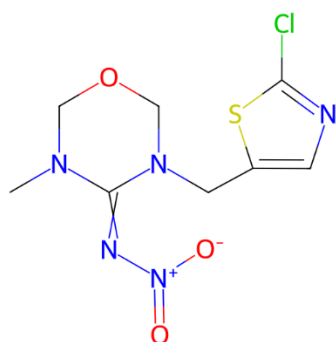
V Evropské unii došlo k významné regulaci těchto látek v reakci na vědecké důkazy o jejich škodlivém působení na opylovače (EFSA, 2013a).

Historický kontext regulace

První významná regulační opatření byla iniciována na základě hodnocení Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA, 2013a). Evropská komise následně vydala Prováděcí nařízení (EU) č. 485/2013, které omezilo použití tří hlavních účinných látek: klothianidinu, thiamethoxamu a imidaklopridu (European Commission, 2013). Toto omezení se týkalo především moření osiv a půdní aplikace u plodin atraktivních pro včely (Kathage et al., 2018).



Obrázek 4 Klothianidin CSID:184723 <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.184723.html>, (accessed 5:06, Jan 3, 2025)



Obrázek 5 Thiamethoxam CSID:96828, <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.96828.html>, (accessed 5:08, Jan 3, 2025)

Vědecké podklady pro regulaci neonikotoidů

Evropský úřad pro bezpečnost potravin provedl komplexní hodnocení rizik, které identifikovalo několik klíčových problémů (EFSA, 2013a).

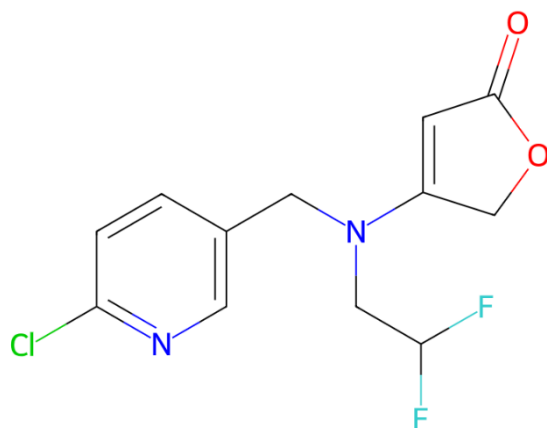
- Přímé letální účinky na dospělé včely při akutní i chronické expozici (Sánchez-Bayo & Tennekes, 2020).
- Subletální účinky ovlivňující navigační schopnosti včel (Henry et al., 2012).
- Negativní dopady na reprodukci včetně snížené plodnosti včelích kolonií (Whitehorn et al., 2012).
- Synergické účinky při kombinaci s jinými stresory včetně patogenů (Doublet et al., 2015).

Současný stav regulace

V roce 2018 EU přijala sérii prováděcích nařízení 2018/783, 2018/784 a 2018/785, která vedla k téměř úplnému zákazu venkovního používání dotčených látek (European Commission, 2018a, 2018b, 2018c). Povoleno zůstalo pouze použití ve stálých sklenících s dodatečnými bezpečnostními opatřeními (Gross, 2018).

4.2.7 Vliv Flupyradifuronu na samotářské včely

Flupyradifuron dále v textu FPF je moderní insekticid z chemické skupiny butenolidů, který získal pozornost jako potenciální alternativa k neonikotinoidům. Přestože se jeho akutní toxicita vůči včelám jeví nižší než u většiny neonikotinoidů, jeho vysoká rozpustnost ve vodě (3200 mg/L při 20°C) a perzistence v povrchových vodách naznačují, že může docházet k dlouhodobé expozici prospěšných hmyzových druhů, včetně samotářských včel (*Xenoglossa pruinosa*) (Rondeau & Raine, 2024; Siviter et al., 2024; Siviter & Muth, 2020).



Obrázek 6 Flupyradifuron (FPF) CSID:26050805, <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.26050805.html>, (accessed 5:10, Jan 3, 2025)

Dopady na přežití a reprodukční úspěšnost samotářských včel

Studie Rondeau a Raine (2024) prokázala, že samotářské včely *Xenoglossa pruinosa* jsou citlivé na expozici Flupyradifuronu, což vede k významnému snížení přežití a reprodukční úspěšnosti. Jednotlivé i kombinované vystavení FPF a dalších pesticidů, označených jako „bee safe“, mělo negativní vliv na chování a produkci potomstva u těchto včel. (Rondeau & Raine, 2024). Podobně Chen et al. (2024) zjistili, že chronická expozice FPF u medonosných včel snižuje přežití a tělesnou hmotnost, což může negativně ovlivnit celkovou sílu a stabilitu kolonie (Chen et al., 2024).

Behaviorální Změny

Expozice FPF u samotářských včel vedla k významným změnám v chování, zejména v oblasti opylování a reprodukčních aktivit. Bylo zjištěno, že včely vystavené FPF vykazovaly sníženou efektivitu při opylování květin a méně úspěšně stavěly své hnízda. Tyto behaviorální změny mohou mít dlouhodobé důsledky pro opylování plodin a udržení biodiverzity v ekosystémech (Rondeau & Raine, 2024). Dále bylo identifikováno, že FPF snižuje citlivost na sacharózu a ovlivňuje paměť včel medonosných, což může negativně ovlivnit jejich schopnost sbírat potravu a efektivně komunikovat v rámci kolonie. (Chen et al., 2024).

Morfologické a Buněčné Změny

Byla provedená ultramikroskopická analýza samotářských včel vystavených FPF a zjištěny vážné buněčné změny ve střevních buňkách a mozkových neuronech. Bylo pozorováno poškození mitochondrií, disintegrační změny jader a apoptóza, což

naznačuje, že FPF narušuje normální buněčné funkce a může vést k selhání neuronů a střevních buněk (Siviter et al., 2024).

Oxidační Stres a Enzymatické Změny

Expozice FPF u samotářských včel vyvolává oxidační stres, což je potvrzeno zvýšenou lipidovou peroxidací a dysregulací antioxidantních enzymů, jako jsou kataláza (CAT), superoxid dismutáza (SOD) a peroxidáza (POD) (Siviter et al., 2024). Zvýšená lipidová peroxidace (měřená jako malondialdehyd, MDA) naznačuje, že FPF způsobuje poškození buněčných membrán a dalších lipidů, což může vést k celkovému poškození buněk a tkání. (Siviter et al., 2024).

Genetické Změny

FPF indukuje dysregulaci genů spojených s apoptózou, imunitou a detoxikací u samotářských včel (*Xenoglossa pruinosa*) (Rondeau & Raine, 2024). Změny v expresi genů jako p53, ark, bok a atg1 ukazují, že FPF aktivuje apoptotické a autophagické cesty, což přispívá k buněčné smrti a dysfunkci. Navíc, inhibice genů jako AmGR1 a Mblk-1, které jsou důležité pro citlivost na sacharózu a kognitivní funkce, vysvětluje pozorované behaviorální změny a může negativně ovlivnit schopnost včel učit se a adaptovat se na měnící se prostředí (Rondeau & Raine, 2024).

Dopady na ekosystémové služby

Negativní účinky FPF na samotářské včely mají přímý dopad na ekosystémové služby, zejména opylování. *Xenoglossa pruinosa* je klíčovým opylovačem pro mnoho druhů rostlin, a její úbytek může vést ke snížení opylovacích aktivit, což má následně vliv na produkci plodin a udržení biodiverzity (Chen et al., 2024; Rondeau & Raine, 2024; Siviter et al., 2024; Siviter & Muth, 2020).

4.3 Klimatická změna a její dopady na reprodukční úspěšnost samotářských včel

4.3.1 Vliv klimatických změn na fenologii včel a rostlin

Fenologie, tedy načasování periodických životních událostí organismů, je vysoce citlivá na změny klimatu (Chang et al., 2024). U samotářských včel, jako například je

Osmia lignaria, je synchronizace fenologických událostí s kvetením rostlin je klíčová pro úspěšné sbírání potravy a reprodukční úspěch (Westreich et al., 2023). Klimatické změny, zejména oteplování a změny v srážkových vzorcích, vedou k posunům v načasování těchto událostí, což může narušit synchronizaci mezi včelami a jejich hostitelskými rostlinami (Möllmann et al., 2024).

4.3.2 Fenologické nesoulady a jejich dopad na reprodukční úspěšnost

Fenologické nesoulady vznikají, když se načasování životních událostí včel a rostlin rozchází, což může vést k nedostatku potravy pro larvy a dospělé včely (Vázquez et al., 2023). Například zvýšené srážky v ranném období mohou negativně ovlivnit úspěšnost vývoje larev a vynoření dospělých včel, jak ukazuje studie o *O. lignaria* (Westreich et al., 2023). Tyto nesoulady mohou vést ke sníženému počtu oplodněných vajec, vyšší mortalitě larev a dospělých včel a tím i k poklesu populací samotářských včel (Möllmann et al., 2024).

4.3.3 Vliv extrémních klimatických událostí na populace samotářských včel

Extrémní klimatické události, jako jsou záplavy, sucha či vichřice, se stávají častějšími a intenzivnějšími v důsledku klimatických změn a mohou mít vážné dopady na populace samotářských včel (Sirohi et al., 2024). Přímé dopady zahrnují fyzické poškození hnízd a úhyn dospělých včel během hledání potravy (Möllmann et al., 2024). Nepřímé dopady zahrnují změny v dostupnosti potravy a zvýšenou konkurenci o zdroje, což může vést k vyšší mortalitě larválních stádií a sníženému vynoření dospělých včel (Vázquez et al., 2023).

4.3.4 Adaptace samotářských včel na klimatické změny

Samotářské včely vykazují určitou míru adaptability na měnící se klimatické podmínky, avšak jejich schopnost adaptace je omezená (Chang et al., 2024). Adaptace zahrnuje posuny v načasování hnízdění a hledání potravy, rozšíření geografického rozsahu a změny v chování během hledání potravy (Möllmann et al., 2024). Genetická diverzita hraje klíčovou roli v adaptabilitě populací včel, protože vyšší genetická variabilita umožňuje rychlejší evoluční reakce na nové podmínky (Westreich et al., 2023). Nicméně, rychlost klimatických změn často překračuje schopnost včel adaptovat se, což může vést k úbytku populací (Sirohi et al., 2024).

4.4. Vliv urbanizace na populace samotářských včel

Fenologie včel v městských a přírodních prostředích

Sirohi et al. (2024) zjistili, že včely v městských oblastech mají tendenci se objevovat dříve než ve venkovských lokalitách, což je způsobeno efektem městského tepelného ostrova. Tento jev vede ke zvýšení teplot v městských oblastech o 1–4 °C oproti okolní krajině. Výzkum ukázal, že 26 z 35 druhů samotářských a primitivně eusociálních včel se v městských oblastech objevilo o jeden nebo více týdnů dříve než v přírodních lokalitách. Tento fenologický posun může způsobit nesoulad mezi dobou kvetení rostlin a aktivitou včel, což ohrožuje ekosystémové služby opylování (Sirohi et al., 2024).

Redukce přírodních stanovišť

Urbanizace a rozšiřování lidské infrastruktury vedou k významné redukci přírodních stanovišť samotářských včel. Fragmentace krajiny a ztráta biodiverzity omezují dostupnost klíčových zdrojů, jako jsou květy poskytující pyl a nektar, a vhodných míst pro hnízdění. Redukce přírodních stanovišť negativně ovlivňuje složení druhů včel a jejich ekologickou funkci v ekosystémech. (Knop et al., 2017) Nedostatek přirozených stanovišť nutí včely hledat náhradní zdroje v městských oblastech, což však často vede ke zvýšené expozici stresorům, jako jsou pesticidy a světelné znečištění. Fragmentace krajiny zároveň narušuje migrační trasy a snižuje genetickou variabilitu včelích populací (Herrera et al., 2023).

Mikrobiota a její role v městském prostředí

Mikrobiota samotářských včel, která zahrnuje bakterie a houby, hraje klíčovou roli ve zdraví včel. Urbanizace mění složení mikrobioty u samotářských včel. V městských oblastech byl například pozorován pokles diverzity hub a bakterií, což může ovlivnit metabolismus a imunitu včel. Solitérní včely, které získávají mikrobiotu převážně z prostředí, jsou na tyto změny obzvláště citlivé. Zvýšený výskyt bakterií schopných metabolizovat pesticidy v městských oblastech naznačuje přizpůsobení včel chemickým stresorům (Nguyen & Rehan, 2023).

Vliv světelného znečištění na samotářské včely

Světelné znečištění má významný vliv na chování samotářských včel. Umělé světlo v noci (ALAN Artificial Light At Night) může narušovat přirozené cirkadiální rytmy včel

a ovlivňovat jejich schopnost orientace, reprodukce a hledání potravy (Bloch et al., 2017). Studie ukazují, že ALAN snižuje počet nočních návštěv na květinách až o 62 %, což vede k nižší úspěšnosti opylování a reprodukčnímu výstupu rostlin (Knop et al., 2017). Navíc ALAN zvyšuje predaci a může měnit druhové složení včel v dané oblasti, čímž přispívá k dlouhodobým změnám ekosystémů (Hopkins et al., 2018).

4.5 Kompetice s včelou medonosnou

Mechanismy mezidruhové konkurence

Konkurence mezi samotářskými včelami a včelou medonosnou probíhá dvěma hlavními způsoby:

1. **Konkurence o zdroje:** Včely medonosné mohou monopolizovat květní zdroje, zejména v oblastech s omezenou nabídkou nektaru a pylu (Pyke & Balzer, 1983).
2. **Interferenční konkurence:** Fyzické vytlačování samotářských včel z květin je běžné, což omezuje jejich schopnost sbírat potravu (Gross & Mackay, 1998).

Dopady na samotářské včely

Studie ukazují rozdílné dopady konkurence na samotářské včely. V Austrálii tvoří včely medonosné až 65 % všech opylovačů a významně snižují dostupnost zdrojů pro samotářské druhy (Prendergast et al., 2022). V Tasmánii a Victorii bylo pozorováno snížení frekvence návštěv květin samotářskými včelami, což ovlivňuje jejich reprodukční úspěšnost (Mallick & Driessen, 2009). V některých neotropických oblastech však nebyl prokázán konzistentní negativní vliv na populace samotářských včel (Roubik & Wolda, 2001).

Geografická a druhová variabilita

Dopady konkurence se liší podle ekologických podmínek a vlastností jednotlivých druhů:

- **Austrálie:** V zemědělských oblastech dochází k výrazné monopolizaci zdrojů, přičemž medonosné včely dominují až 99 % květních zdrojů (Paton, 1993).

- **Evropa:** Včely medonosné zde historicky koexistují s domácími opylovači, což snižuje jejich negativní dopad v přírodních ekosystémech (Steffan-Dewenter & Tschamntke, 2000).
- **Ostrovy:** Zavedení medonosných včel na ostrovy Ogasawara vedlo k výraznému snížení populací původních samotářských včel (Kato et al., 1999).

Mezery ve výzkumu

Přestože existuje mnoho studií, přetrvávají nedostatky ve výzkumu. Zaprvé chybí dlouhodobé studie zaměřené na přímé dopady na reprodukční úspěšnost a přežití samotářských včel (Prendergast et al., 2022) A zadruhé, podrobné údaje o vlivu konkurence v městských a aridních prostředích zůstávají omezené (Paini, 2004).

4.6 Paraziti u samotářských včel

Rostoucí výskyt parazitů představuje závažnou hrozbu pro populace těchto včel, což může mít dalekosáhlé důsledky pro opylovací služby a celkovou stabilitu ekosystémů (McMahon et al., 2018; Murray et al., 2019).

Přehled parazitů ohrožujících samotářské včely

Mezi hlavní parazity ohrožující samotářské včely patří různé viry, mikrosporidie a trypanosomatidy. Deformed Wing Virus (DWV) a Black Queen Cell Virus (BQCV) jsou dva z nejčastěji identifikovaných virů, které byly původně objeveny u medonosných včel, avšak jejich přítomnost byla potvrzena i u divokých opylovačů, včetně samotářských druhů včel a hoverfly (*Syrphidae*) (Bordin et al., 2022; Cersini et al., 2013). Tyto patogeny, ačkoliv primárně postihují včely medonosné, představují významné riziko pro samotářské včely (Bordin et al., 2022). Dalšími významnými patogeny jsou *Nosema ceranae* a *Crithidia mellificae*, které mohou způsobovat vážné zdravotní problémy a snížit životaschopnost včel (Bordin et al., 2022; Cilia et al., 2020).

Mechanismy šíření parazitů mezi včelami

Viry se mezi včelami šíří hlavně prostřednictvím společného využívání květin, kde mohou být kontaminovány pyl a nektar infikovanými jedinci (McMahon et al., 2018; Murray et al., 2019). *Varroa destructor* přenáší viry ve včelstvech medonosných včel, neparazituje však samotářské včely ani čmeláky, a tím nepřímo přispívá k přenosu těchto virů na samotářské včely prostřednictvím kontaktu s infikovanými medonosnými

včelami. (Bailey et al., 1983; Mondet et al., 2020). Kromě přímého kontaktu mohou být včely infikovány také prostřednictvím fekálně-orální cesty, kdy se viry dostávají do trávicího traktu jiných jedinců (Ngor et al., 2020).

Vliv charakteristik druhů a krajiny na přenos virů

Charakteristiky samotářských včel, jako je specializace na určité druhy květin a jejich role v opylovacích sítích, mají zásadní vliv na riziko nákazy viry. Včely s vysokým překryvem květinových zdrojů s medonosnými včelami vykazují vyšší nálože virů, což naznačuje, že medonosné včely fungují jako rezervoáry virů (Cilia et al., 2020). Dále krajinné faktory, jako je množství a rozmanitost květinových stanovišť, mohou ovlivnit riziko přenosu virů. V krajinách bohatých na květinové zdroje dochází k menšímu překryvu mezi samotářskými včelami a medonosnými včelami, což vede k nižší prevalenci virů díky (Fearon & Tibbetts, 2021; Radzevičiūtė et al., 2017).

Specifické vlivy na samotářské včely

Samotářské včely jsou obzvláště citlivé na viry kvůli své životní strategii. Každá samice buduje a obývá své vlastní hnízdo, což znamená, že infikovaná samice může přímo ovlivnit přežití svého potomstva (Cersini et al., 2013; Cilia et al., 2020). Navíc samotářské včely často navštěvují specifické druhy květin, což může zvyšovat nebo snižovat jejich expozici virům v závislosti na tom, zda tyto květiny jsou také navštěvovány medonosnými včelami (Cilia et al., 2020).

Případové studie a výzkumné nálezy

Výzkum provedený v severní Itálii ukázal, že včely s vysokým překryvem květinových zdrojů s medonosnými včelami mají vyšší prevalenci a nálože virů BQCV a DWV, což potvrzuje roli medonosných včel jako rezervoárů virů (Cersini et al., 2013; Cilia et al., 2020). Další studie ukazují, že povětrnostní podmínky, jako je teplota a vlhkost, mohou ovlivnit výskyt a nálože virů v populacích samotářských včel. (Cilia et al., 2020; Smoliński et al., 2021). Výzkum také naznačuje, že druhy s vyšší centrální rolí v opylovacích sítích mají nižší nálože virů, což podporuje teorii dilučního efektu, kdy rozmanitost a komplexita sítí snižují riziko šíření patogenů (Fearon & Tibbetts, 2021).

Vliv parazitů na populační dynamiku samotářských včel

Infekce parazity a viry mohou mít významný dopad na populační dynamiku samotářských včel. Snížená reprodukční úspěšnost a zvýšená mortalita jedinců

mohou vést k úbytku populací, což má přímý vliv na opylovací služby a tím i na ekosystémovou stabilitu (Benjeddou et al., 2001; Cersini et al., 2013). Navíc ko-infekce více parazity může zhoršit zdravotní stav včel a zvýšit jejich náchylnost k dalším stresovým faktorům, jako jsou pesticidy a ztráta stanovišť (Ryba et al., 2012; Zheng et al., 2015).

4.7 Vliv invazivních druhů na samotářské včely

Invazivní druhy ovlivňují samotářské včely několika způsoby, včetně konkurence o zdroje, změn v dostupnosti potravy a degradace hnízdních stanovišť (Cunningham-Minnick et al., 2024).

Invazivní rostliny často dominují v ekosystémech na úkor původních druhů, což vede ke snížení biodiverzity kvetoucích rostlin, které jsou klíčovým zdrojem potravy pro samotářské včely. Studie zjistily, že vyšší diverzita kvetoucích rostlin podporuje vyšší hojnost a pestrost druhů samotářských včel (Cunningham-Minnick et al., 2024). Přítomnost invazivních rostlin může tedy negativně ovlivnit specializované druhy včel, které jsou závislé na určitých druzích původních rostlin (Harmon-Threatt, 2020).

Invazivní druhy také mění půdní vlastnosti a mikroklima, což negativně ovlivňuje hnízdění samotářských včel. Například preference určitých druhů včel pro písčité nebo dobře odvodněné půdy znamená, že invazivní rostliny mohou redukovat dostupnost vhodných stanovišť (Cunningham-Minnick et al., 2024; Harmon-Threatt, 2020).

Nepřímé dopady invazivních druhů se projevují i při správě krajiny. Například aplikace herbicidů k odstranění invazivních rostlin má různé dopady na samotářské včely. Kombinace herbicidů s výsadbou opylovačsky atraktivních rostlin zvyšuje hojnost včel, ale současně může negativně ovlivnit vzácné druhy (Cunningham-Minnick et al., 2024).

5. Analýza vědeckých studií: Vizualizace a síťové propojení

5.1 Úvod do problematiky citovanosti

Citovanost vědeckých prací je klíčovým ukazatelem jejich vlivu na rozvoj vědeckých poznatků a šíření znalostí v odborné komunitě. Významné studie obvykle

přispívají k formování teoretických základů a stávají se výchozími body pro další výzkum. Analýza citovanosti není jen měřením popularity, ale poskytuje cenné informace o propojení jednotlivých studií a jejich tematických oblastí.

V rámci této bakalářské práce byla použita metoda vizualizace sítí citací, která umožňuje pochopit strukturu a hierarchii vědeckého poznání v oblasti ochrany opylovačů a samotářských včel. Tato metoda zviditelňuje klíčové publikace, jejich propojení a vývoj vědění v časové ose. Grafické znázornění citací zjednodušuje analýzu komplexních vztahů mezi jednotlivými studiemi a pomáhá identifikovat klíčová témata a úspěchy v dané oblasti.

5.2 Metodologie

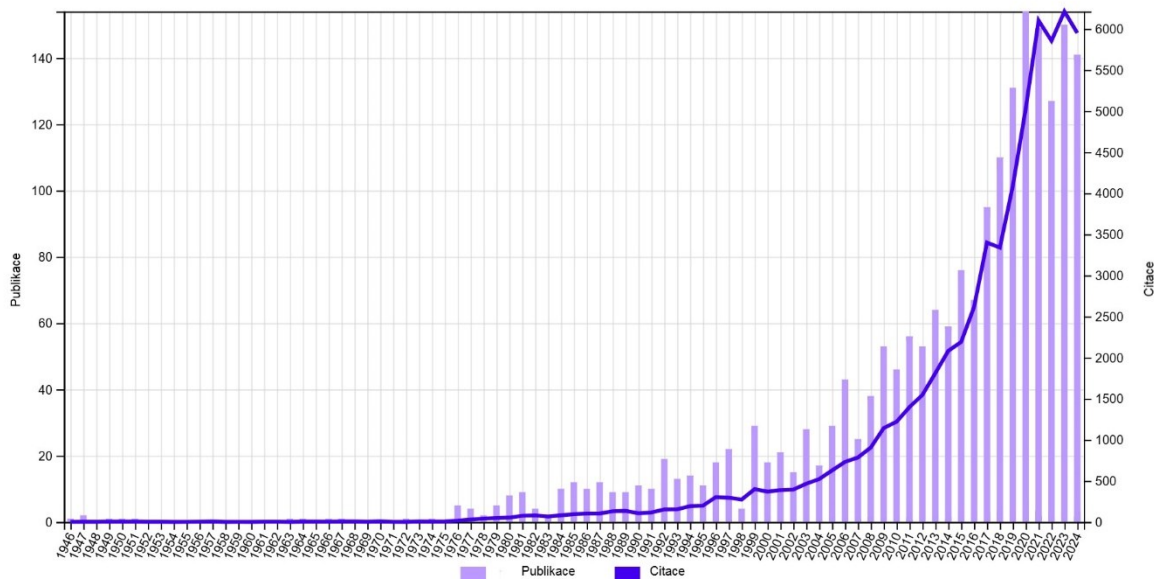
Tento systematický přehled byl proveden podle zásad definovaných v prohlášení PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [Moher et al., 2009]. Pro vyhledávání relevantních studií byl využit **AI** nástroj **ResearchRabbit** (<https://www.researchrabbit.ai/>), který umožňuje efektivní vizualizaci a propojení relevantních publikací.

Byly provedeny dvě rešerše relevantních publikací, jedna ve **Web of Science** (<https://www.webofscience.com>, Clarivate, Philadelphia, PA, USA) a jedna ve **Scopusu** (<https://www.scopus.com>, Elsevier, Amsterdam, Nizozemsko). Poslední vyhledávání bylo provedeno dne 3.ledna 2025. Vyhledávací řetězec byl formulován následovně:

TS=("solitary bee*" OR "solitary bees*") pro *Web of science*

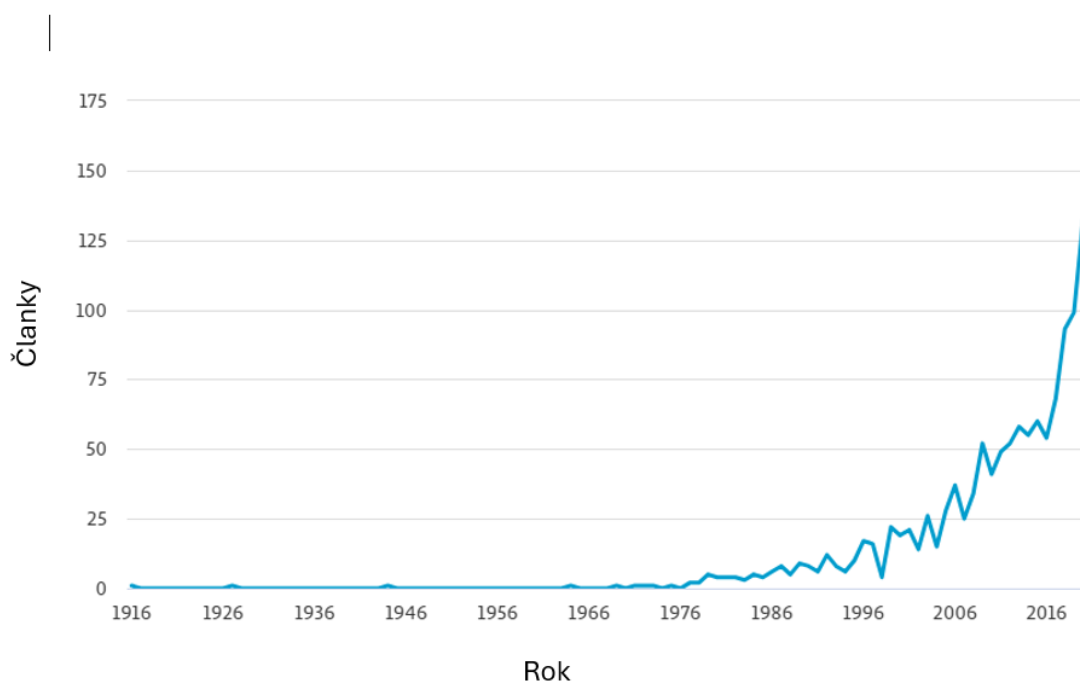
TITLE-ABS-KEY ("solitary bee*" OR "solitary bees*") pro *Scopus*

Vysledky hledání na web of science podle klíčových slov na



Obrázek 7 Výsledky hledání na web of science podle klíčových slov

Tento graf z databáze Web of Science zobrazuje časový vývoj publikací a citací od roku 1946 do roku 2024. Fialové sloupce znázorňují počet publikací v jednotlivých letech, zatímco modrá čára představuje počet citací těchto publikací. Od roku 1990 je patrný postupný nárůst počtu publikací a citací, přičemž v posledních dvou dekadách dochází k výraznému růstu. Nejvýraznější akcelerace je vidět od roku 2010, kdy citace dosahují svého vrcholu kolem 6000. Tento trend naznačuje rostoucí význam daného tématu ve vědecké komunitě.



Obrázek 8 Výsledky hledání na Scopus podle klíčových slov

Tento graf z databaze Scopus zobrazuje časový vývoj počtu publikovaných článků od roku 1916 do roku 2018. Na vodorovné ose (x-ová) jsou uvedeny jednotlivé roky, zatímco svislá osa (y-ová) ukazuje počet článků. Do roku 1970 je počet publikací velmi nízký, téměř zanedbatelný. Od 1980 dochází k mírnému nárůstu, ale skutečný růst začíná až po roce 2000. Nejvýraznější akcelerace je patrná od roku 2010, kdy počet publikovaných článků dramaticky roste a dosahuje maxima kolem 130 publikací ročně. Tento trend poukazuje na rostoucí zájem a aktivitu v dané oblasti výzkumu.

5.3 Kritéria inkluze a exkluze

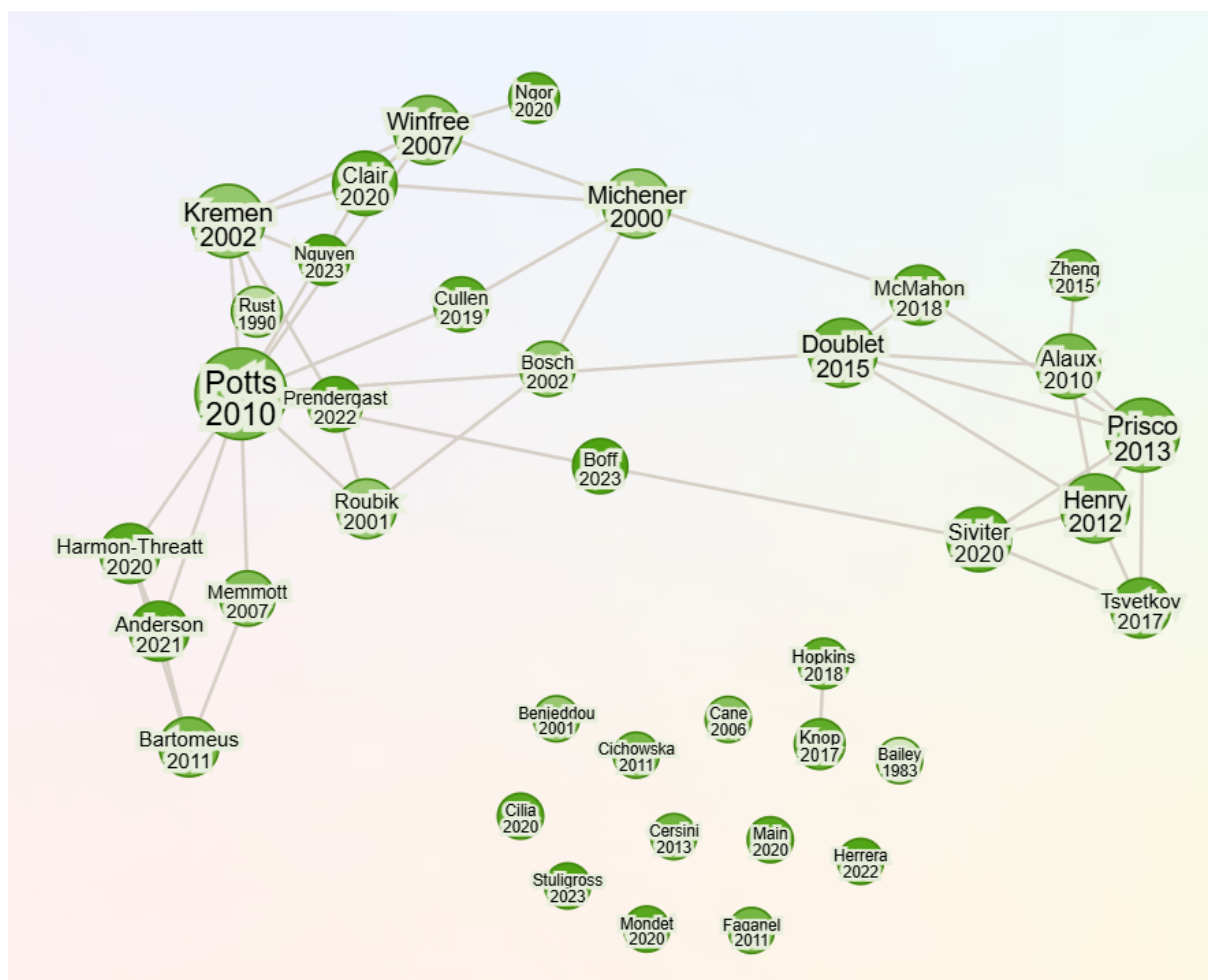
Inkluze:

- Studie zaměřené na samotářské včely (např. rody *Andrena*, *Osmia*, *Megachile*).
- Výzkumy hodnotící dopady intenzivního zemědělství, pesticidů, klimatických změn nebo urbanizace.
- Kvantitativní studie poskytující statistické údaje o vlivu těchto faktorů.
- Publikace v recenzovaných vědeckých časopisech.
- Články publikované v angličtině.

Exkluze:

- Studie zaměřené pouze na eusociální včely (např. *Apis mellifera*, *Bombus spp.*).
- Kvalitativní studie bez kvantitativních dat.
- Publikace v jazycích jiných než angličtině.
- Abstrakty, recenze .

5.4 Vizualizace citací: Klíčové studie a propojení

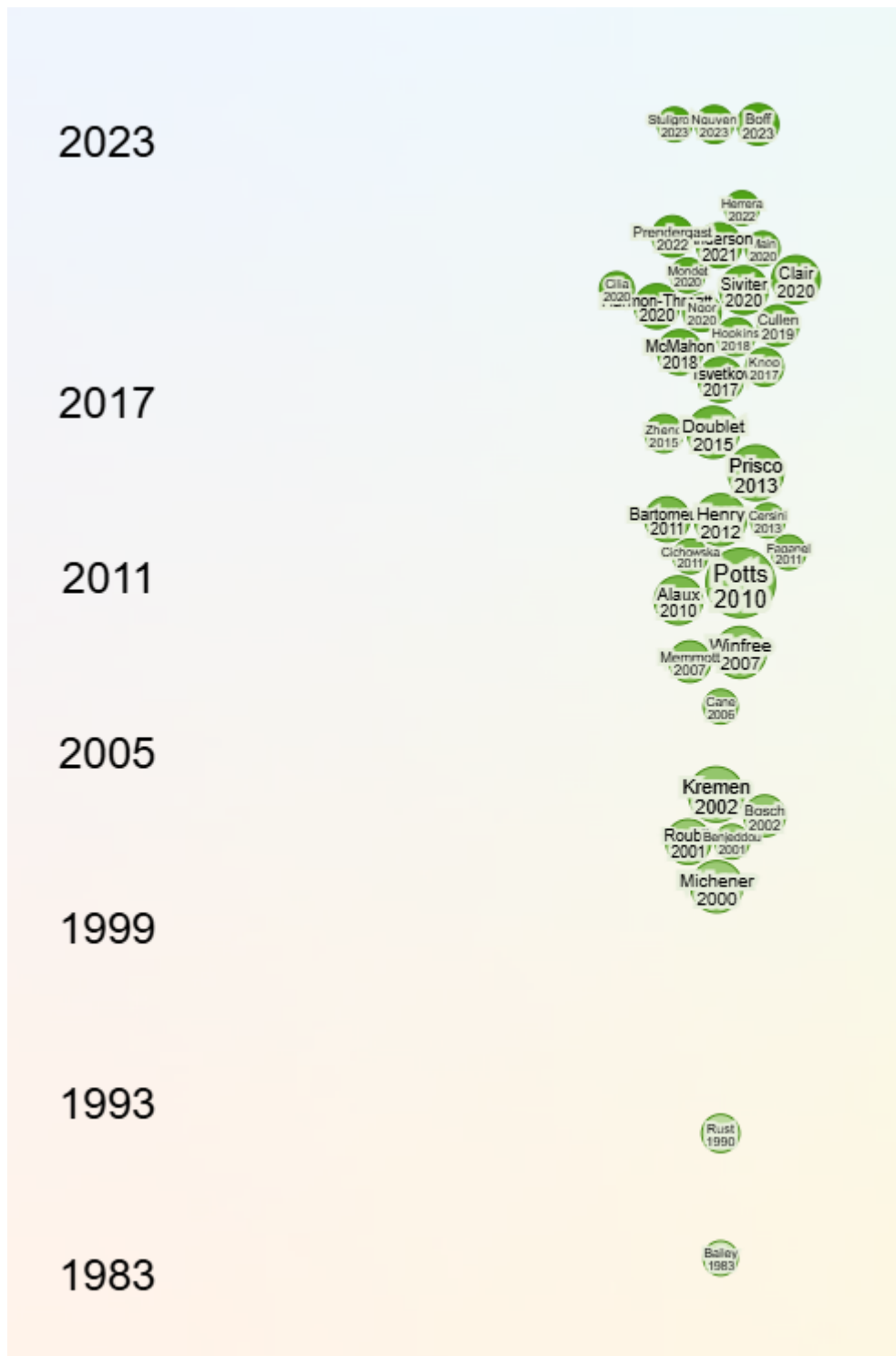


Obrázek 9 vizualizace citací použitých v této práci www.researchrabbit.io

První vizualizace (Obrázek 9) zobrazuje síťové propojení mezi články použitými v této bakalářské práci. Nejvýznamnější uzel v této síti představuje studie Potts et al., 2010, která je spojena s dalšími články pokrývajícími klíčová témata, jako je pokles opylovačů, vliv pesticidů a změny v ekosystémech. Důležité propojení je také patrné mezi články, které se zaměřují na ekologii a biodiverzitu, jako například Kremen et al., 2002 nebo Henry et al., 2012.

Táto vizualizace byla vytvořena pomocí nástroje **Research Rabbit**, který umožňuje vizualizaci vztahů mezi články na základě jejich tematické podobnosti a relevance. Tento nástroj zjednodušuje analýzu klíčových zdrojů a jejich vzájemných propojení v rámci použité literatury.

5.3 Chronologický vývoj vědeckých poznatků



Obrázek 10 Chronologický vývoj vědeckých poznatků www.researchrabbit.io

Druhá vizualizace (Obrázek 10) zobrazuje časovou osu, která znázorňuje, kdy byly jednotlivé články použité v této bakalářské práci publikovány. Graf ukazuje, že většina článků byla publikována v posledních dvou desetiletích, přičemž vrchol publikací je patrný kolem roku 2022. Tento trend odráží narůstající zájem o problematiku ochrany opylovačů v souvislosti s rostoucími environmentálními hrozbami, jako jsou pesticidy, klimatické změny a ztráta biodiverzity.

Starší články, jako například Michener, 2000 a Kremen, 2002, tvoří základní kameny pro následné výzkumy. Novější publikace, jako Harmon-Thread et al., staví na těchto základech a dále rozvíjejí aktuální témata. Tato vizualizace jasně ukazuje, jak se poznání v této oblasti postupně vyvíjelo a reagovalo na nové výzvy.

Tento graf byl vytvořen pomocí nástroje Research Rabbit, který umožňuje sledovat chronologii publikací a identifikovat klíčové momenty ve vývoji poznatků.

5.4 Tematické oblasti vědeckých studií



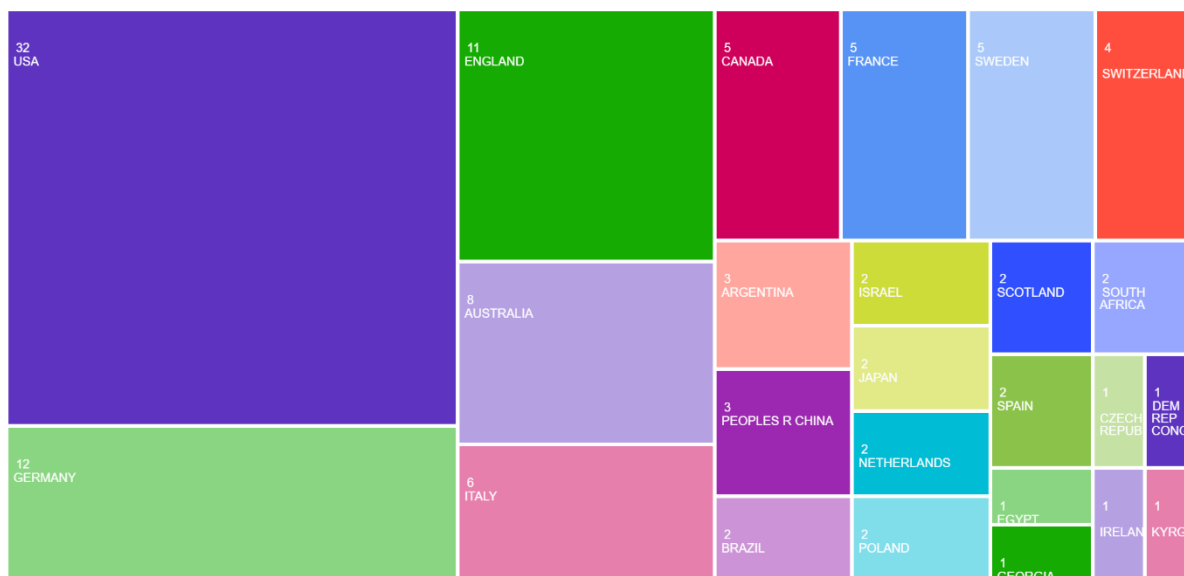
Obrázek 11 Stromová mapa oblastí vědeckých studií

Třetí vizualizace (Obrázek 11) pochází z databáze Web of Science a zobrazuje tematické oblasti vědeckých článků použitých v této bakalářské práci. Největší podíl mají články zaměřené na ekologii a ochranu životního prostředí (28 článků), což reflektuje primární zaměření této práce na udržitelnou ochranu opylovačů. Další významnou oblastí je entomologie (10 článků), která se zabývá výzkumem hmyzu, včetně včel jako klíčových opylovačů.

Další tematické oblasti zahrnují mikrobiologii (6 článků), biodiverzitu (5 článků) a evoluční biologii (6 článků). Tyto oblasti podtrhují interdisciplinární charakter výzkumu, který propojuje ekologii, biologii a další obory pro komplexní pochopení problematiky opylovačů.

Tento graf názorně ukazuje, jak široká škála vědeckých disciplín přispívá k hlubšímu pochopení a efektivní ochraně opylovačů. Vytvoření této vizualizace umožnilo identifikovat klíčové oblasti výzkumu a jejich vzájemné propojení.

5.5. Geografické rozložení vědeckých studií



Obrázek 12 Geografické rozložení vědeckých studií

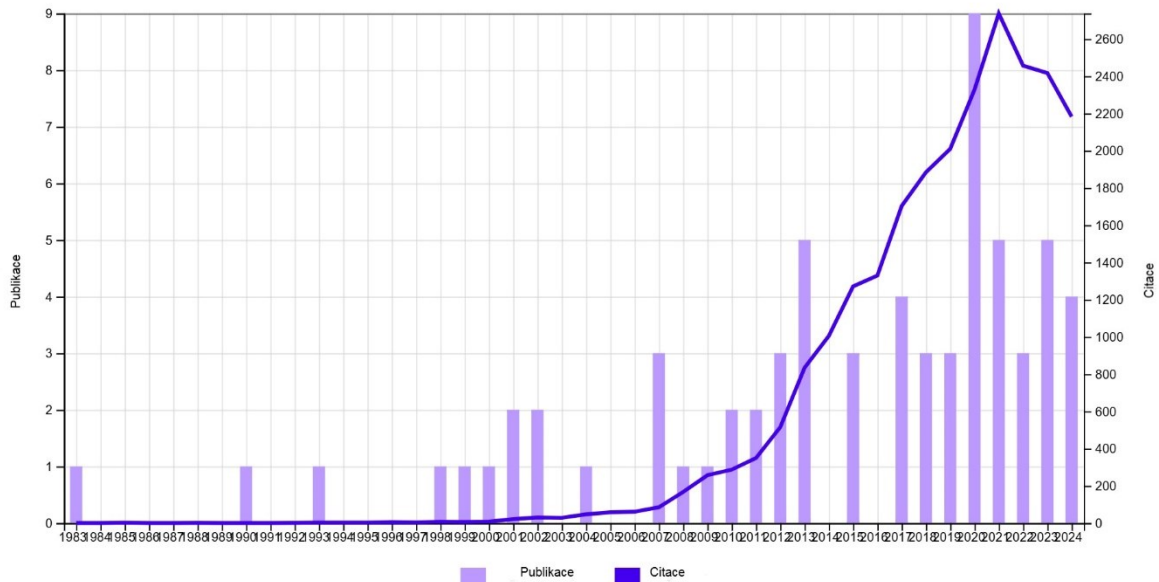
Čtvrtá vizualizace (Obrázek 12), vytvořená pomocí databáze Web of Science, znázorňuje geografické rozložení vědeckých studií použitých v této bakalářské práci. Největší podíl publikací pochází z USA (32 článků), následovaných Německem (12 článků) a Anglií (11 článků). Tyto tři země dominují v oblasti výzkumu opylovačů, což odráží jejich intenzivní vědeckou aktivitu a zájem o problematiku ochrany biodiverzity.

Další významné země zahrnují Austrálii (8 článků), Itálii (6 článků) a několik dalších států s menším zastoupením, jako je Kanada, Francie a Švédsko (každá 5 článků). Tento graf zdůrazňuje globální charakter výzkumu opylovačů, přičemž většina publikací pochází z rozvinutých zemí, kde je k dispozici více zdrojů pro vědecký výzkum.

Geografické rozložení článků zároveň ukazuje mezinárodní spolupráci, která je klíčová pro řešení globálních problémů, jako je pokles populace opylovačů. Tato data podtrhují důležitost výzkumu nejen ve vyspělých zemích, ale i v regionech, které jsou méně zastoupené, aby bylo možné zohlednit rozdílné environmentální podmínky a přístupy k ochraně.

Vizualizace geografického rozložení poskytuje jasný obraz o tom, jak různé země přispívají k výzkumu ochrany opylovačů a které regiony by mohly těžit z většího zapojení do této oblasti. Tato analýza zároveň zdůrazňuje důležitost sdílení poznatků a rozšiřování spolupráce mezi zeměmi.

5.6 Časová dynamika publikací a citací



Obrázek 13 Časová dynamika publikací a citací.

Pátá vizualizace (**Obrázek 13**), vytvořená pomocí databáze **Web of Science**, zobrazuje časový vývoj publikací a citací vědeckých studií v oblasti ochrany opylovačů. Sloupce znázorňují počet publikací za jednotlivé roky, zatímco linie sleduje celkový počet citací těchto studií.

Graf ukazuje, že počet publikací začíná narůstat kolem roku 2000, s výrazným vrcholem v posledním desetiletí. Tento trend odráží rostoucí zájem o ochranu opylovačů v souvislosti s environmentálními výzvami, jako jsou pesticidy, klimatické změny a ztráta biodiverzity.

Linie zobrazující citovanost ukazuje prudký nárůst po roce 2010, což naznačuje, že studie publikované v této době měly významný dopad na vědeckou komunitu. Vrchol citovanosti lze pozorovat kolem roku 2022, což odráží aktuálnost a význam dané problematiky.

Tato vizualizace zdůrazňuje, že nejen počet publikací, ale také jejich vědecký dopad významně narůstá, což podtrhuje důležitost výzkumu v oblasti ochrany opylovačů a biodiverzity.

6 Závěr

Tato bakalářská práce jednoznačně potvrzuje klíčovou roli samotářských včel v udržování funkčnosti ekosystémů a zajištění stabilních zemědělských výnosů. Samotářské včely, které představují většinu druhové rozmanitosti včel na světě, jsou nezbytnými opylovači podporujícími biodiverzitu a ekologickou stabilitu. Jejich schopnost opylovat širokou škálu rostlin přispívá nejen k udržení rozmanitých rostlinných společenstev, ale také k zabezpečení potravinové produkce a ekonomické stability zemědělských systémů.

Nicméně populace samotářských včel čelí řadě závažných hrozeb, které vyplývají z lidské činnosti a změn v prostředí. Mezi hlavní hrozby identifikované v této práci patří intenzivní zemědělství a homogenizace krajiny, pesticidy a chemické znečištění, klimatické změny, urbanizace, mezidruhová konkurence a invazivní druhy, stejně jako paraziti a choroby.

Intenzivní zemědělství, charakterizované monokulturami, výrazně snižuje rozmanitost rostlin, což omezuje dostupnost potravy a vhodná hnízdiště pro samotářské včely. Fragmentace krajiny brání včelám v nalezení potřebných zdrojů a přirozených úkrytů, což vede k úbytku biodiverzity a poklesu specializovaných druhů.

Pesticidy, zejména neonicotinoidy a flupyradifuron, představují významné chemické stresory, které negativně ovlivňují zdraví a reprodukční schopnosti včel. V Evropské unii jsou neonicotinoidy zakázány, avšak na globální úrovni stále zůstávají povoleny v mnoha zemích, což znamená, že jejich negativní dopady na samotářské včely nejsou řešeny univerzálně. Synergické účinky pesticidů s dalšími stresory, jako jsou paraziti a klimatické změny, dále zvyšují jejich celkovou toxicitu a škodlivé dopady na včelí populace.

Klimatické změny přinášejí fenologické nesoulady mezi kvetením rostlin a aktivitou včel, což narušuje synchronizaci opylování a snižuje reprodukční úspěšnost včel. Extrémní klimatické události, jako jsou sucha či záplavy, vedou k fyzickému poškození včelích populací a snižují dostupnost potravy.

Urbanizace způsobuje redukci přírodních stanovišť a zvyšuje expozici včel stresorům, jako je světelné znečištění, což negativně ovlivňuje jejich chování a přežití. Snížená biodiverzita v městských oblastech omezuje možnosti včel najít potravu a vhodná hnízdiště, což vede ke zvýšené konkurenci a stresu.

Mezidruhová konkurence s včelou medonosnou (*A.Mellifera*) často monopolizuje květinové zdroje, čímž omezuje přístup samotářských včel k potravě. Invazivní rostliny dále mění strukturu rostlinných komunit, což negativně ovlivňuje specializované druhy samotářských včel a jejich schopnost efektivně opylovat.

Paraziti a choroby, jako jsou Deformed Wing Virus (DWV) a *Nosema ceranae*, snižují reprodukční úspěšnost a přežitelnost včel. Ko-infekce více parazity může zhoršit zdravotní stav včel a zvýšit jejich náchylnost k dalším stresovým faktorům.

Důsledky poklesu populací samotářských včel jsou mnohostranné. Ekologicky vede snížená opylovací kapacita ke ztrátě biodiverzity, oslabení ekologických sítí a destabilizaci ekosystémů. Ekonomicky to znamená ovlivnění výnosů plodin, což má přímý dopad na zemědělské podniky a potravinovou bezpečnost. Sociálně může oslabení opylovačů dlouhodobě ovlivnit zemědělskou ekonomiku a komunitní stabilitu.

Pro ochranu samotářských včel je nezbytný komplexní přístup zahrnující diverzifikaci krajiny, omezení používání toxických pesticidů, podporu genetické rozmanitosti, zavedení monitorovacích systémů a zvýšení povědomí veřejnosti o významu těchto včel. Diverzifikace krajiny zahrnuje podporu pestrých rostlinných společenstev a vytváření přirozených úkrytů pro samotářské včely, což zvyšuje dostupnost potravy a hnízdišť. Omezení používání toxických pesticidů vyžaduje zavedení přísnějších regulací, zejména v regionech, kde nejsou neonicotinoidy zakázány, a propagaci ekologicky šetrných alternativních metod ochrany plodin.

Podpora genetické rozmanitosti zahrnuje zvyšování genetické variability populací samotářských včel prostřednictvím programů na ochranu a obnovu populací, což je klíčové pro jejich schopnost adaptace na environmentální stresory. Zavedení monitorovacích systémů umožňuje včasné odhalení a řešení problémů včelích populací, zatímco podpora výzkumu zaměřeného na interakce mezi různými stresory přispívá k lepšímu pochopení kumulativních dopadů na včely.

Vzdělávání a osvěta hrají zásadní roli v zvýšení povědomí veřejnosti o významu samotářských včel a jejich ochraně. Zapojení komunit do projektů na obnovu a vytváření přirozených stanovišť podporuje aktivní účast veřejnosti na ochraně biodiverzity a posiluje ekologickou integritu krajiny.

Budoucí výzkum by se měl zaměřit na detailní zkoumání synergických efektů mezi klimatickými změnami, parazity a pesticidy. Důležité je také provádět dlouhodobé studie v různých typech krajín, aby bylo možné lépe porozumět dynamice populací samotářských včel a jejich schopnosti adaptace na rychle se měnící podmínky. Genetická rozmanitost hraje klíčovou roli v adaptabilitě a je nezbytné posilovat tuto diverzitu pro zvýšení odolnosti populací vůči environmentálním stresorům.

Zajištění přežití samotářských včel vyžaduje integraci vědeckých poznatků s efektivním managementem krajiny a implementací ochranných opatření. Udržitelný rozvoj a zachování funkčních ekosystémů jsou podmíněny nejen ochranou samotářských včel, ale také celkovou péčí o biodiverzitu a ekologickou integritu našich krajů. Bez těchto opylovačů by byla ohrožena nejen zemědělská produkce, ale i celková stabilita a zdraví ekosystémů, na kterých jsme závislí.

7. Seznam literatury

- Alaux, C., Brunet, J. L., Dussaubat, C., Mondet, F., Tchamitchan, S., Cousin, M., Brillard, J., Baldy, A., Belzunces, L. P., & Le Conte, Y. (2010). Interactions between *Nosema* microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). *Environmental microbiology*, 12(3), 774-782.
- Anderson, N. L., & Harmon-Threatt, A. N. (2021). Chronic contact with imidacloprid during development may decrease female solitary bee foraging ability and increase male competitive ability for mates. *Chemosphere*, 283, 131177.
- Bailey, L., Ball, B., & Perry, J. (1983). Honeybee paralysis: its natural spread and its diminished incidence in England and Wales. *Journal of Apicultural Research*, 22(3), 191-195.
- Bartomeus, I., Ascher, J. S., Wagner, D., Danforth, B. N., Colla, S., Kornbluth, S., & Winfree, R. (2011). Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(51), 20645-20649. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.1115559108>
- Battisti, L., Potrich, M., Lozano, E. R., dos Reis Martinez, C. B., & Sofia, S. H. (2023). Review on the sublethal effects of pure and formulated glyphosate on bees: Emphasis on social bees. *Journal of Applied Entomology*, 147(1), 1-18.
- Benjeddou, M., Leat, N., Allsopp, M., & Davison, S. (2001). Detection of acute bee paralysis virus and black queen cell virus from honeybees by reverse transcriptase PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(5), 2384-2387.
- Bloch, G., Bar-Shai, N., Cytter, Y., & Green, R. (2017). Time is honey: circadian clocks of bees and flowers and how their interactions may influence ecological communities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1734), 20160256.
- Boff, S., & Ayasse, M. (2024). Exposure to sublethal concentration of flupyradifurone alters sexual behavior and cuticular hydrocarbon profile in *Heriades truncorum*, an oligolectic solitary bee. *Insect Science*, 31(3), 859-869.
- Bordin, F., Zulian, L., Granato, A., Caldon, M., Colamonico, R., Toson, M., Trevisan, L., Biasion, L., & Mutinelli, F. (2022). Presence of known and emerging honey bee pathogens in apiaries of Veneto region (Northeast of Italy) during spring 2020 and 2021. *Applied Sciences*, 12(4), 2134.
- Bosch, J., & Kemp, W. P. (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.
- Cane, J., & Sipes, S. (2006). Floral specialization by bees: analytical methods and a revised lexicon for oligolecty. *Plant-pollinator interactions: from specialization to generalization*, 99-122.
- Cersini, A., Bellucci, V., Lucci, S., Mutinelli, F., Granato, A., Porrini, C., Felicioli, A., & Formato, G. (2013). First isolation of Kashmir bee virus (KBV) in Italy. *Journal of Apicultural Research*, 52(2), 54-55.
- Chang, M. M., Hsu, P.-S., Yang, E.-C., Sun, S.-J., & Ho, C.-K. (2024). Warming induces short-term phenological shifts in pollinator-plant interactions that enhance larval development in honey bee. *PloS one*, 19(12), e0314791.
- Chen, J., Liu, Y. J., Wang, Q., Zhang, L., Yang, S., Shi, M., Gao, J., Dai, P. L., & Wu, Y. Y. (2024). Multiple stresses induced by chronic exposure to flupyradifurone

- affect honey bee physiological states. *Science of the Total Environment*, 935, Article 173418. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173418>
- Cichowska, J., & Klimek, A. R. (2011). The role of agrotourism in the development and conversion of rural areas.
- Cilia, G., Garrido, C., Bonetto, M., Tesoriero, D., & Nanetti, A. (2020). Effect of Api-Bioxal® and ApiHerb® treatments against *Nosema ceranae* infection in *Apis mellifera* investigated by two qPCR methods. *Veterinary Sciences*, 7(3), 125.
- Cohen, H., Smith, G. P., Sardiñas, H., Zorn, J. F., McFrederick, Q. S., Woodard, S. H., & Ponisio, L. C. (2021). Mass-flowering monoculture attracts bees, amplifying parasite prevalence. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1960), 20211369.
- Cullen, M. G., Thompson, L. J., Carolan, J. C., Stout, J. C., & Stanley, D. A. (2019). Fungicides, herbicides and bees: A systematic review of existing research and methods. *PloS one*, 14(12), e0225743.
- Cunningham-Minnick, M. J., Milam, J., Fassler, A., & King, D. I. (2024). Best management practices for bee conservation in forest openings. *Conservation Science and Practice*, e13231.
- Danforth, B. N., Minckley, R. L., & Neff, J. L. (2019). *The solitary bees: biology, evolution, conservation*. Princeton University Press.
- Di Prisco, G., Cavaliere, V., Annoscia, D., Varricchio, P., Caprio, E., Nazzi, F., Gargiulo, G., & Pennacchio, F. (2013). Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(46), 18466-18471.
- Dorn, S., Zurbuchen, A., & Müller, A. (2012). Enhancing wild bees in agricultural landscapes.
- Doublet, V., Labarussias, M., de Miranda, J. R., Moritz, R. F., & Paxton, R. J. (2015). Bees under stress: sublethal doses of a neonicotinoid pesticide and pathogens interact to elevate honey bee mortality across the life cycle. *Environmental microbiology*, 17(4), 969-983.
- EFSA. (2013a). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance clothianidin. *EFSA Journal*, 3066(1), 11.
- Faganel, A. (2011). Developing Sustainable Agrotourism in Central and East European Countries.
- Fearon, M. L., & Tibbetts, E. A. (2021). Pollinator community species richness dilutes prevalence of multiple viruses within multiple host species. *Ecology*, 102(5), e03305.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Kremen, C., Carvalheiro, L. G., Harder, L. D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Freitas, B. M., Ghazoul, J., Greenleaf, S.,...Klein, A. M. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science*, 339(6127), 1608-1611. <https://doi.org/doi:10.1126/science.1230200>
- Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977-987.
- Gross, C., & Mackay, D. (1998). Honeybees reduce fitness in the pioneer shrub *Melastoma affine* (Melastomataceae). *Biological Conservation*, 86(2), 169-178.
- Harmon-Threatt, A. (2020). Influence of nesting characteristics on health of wild bee communities. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 39-56.

- Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S., & Decourtye, A. (2012). A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science*, 336(6079), 348-350.
- Herrera, C. M., Núñez, A., Valverde, J., & Alonso, C. (2023). Body mass decline in a Mediterranean community of solitary bees supports the size shrinking effect of climatic warming. *Ecology*, 104(9), e4128.
- Hopkins, G. R., Gaston, K. J., Visser, M. E., Elgar, M. A., & Jones, T. M. (2018). Artificial light at night as a driver of evolution across urban–rural landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(8), 472-479.
- Kathage, J., Castañera, P., Alonso-Prados, J. L., Gómez-Barbero, M., & Rodríguez-Cerezo, E. (2018). The impact of restrictions on neonicotinoid and fipronil insecticides on pest management in maize, oilseed rape and sunflower in eight European Union regions. *Pest management science*, 74(1), 88-99.
- Kato, M., Shibata, A., Yasui, T., & Nagamasu, H. (1999). Impact of introduced honeybees, *Apis mellifera*, upon native bee communities in the Bonin (Ogasawara) Islands. *Population Ecology*, 41(2), 217-228.
- Khalifa, S. A. M., Elshafiey, E. H., Shetaia, A. A., El-Wahed, A. A. A., Algethami, A. F., Musharraf, S. G., AlAjmi, M. F., Zhao, C., Masry, S. H. D., Abdel-Daim, M. M., Halabi, M. F., Kai, G., Al Naggar, Y., Bishr, M., Diab, M. A. M., & El-Seedi, H. R. (2021). Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. *Insects*, 12(8), 688. <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/8/688>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kline, O., & Joshi, N. K. (2020). Mitigating the Effects of Habitat Loss on Solitary Bees in Agricultural Ecosystems. *Agriculture*, 10(4), 115. <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/4/115>
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M., & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548(7666), 206-209.
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S. G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E. E., Greenleaf, S. S., Keitt, T. H., Klein, A. M., Regetz, J., & Ricketts, T. H. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10(4), 299-314. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>
- Kremen, C., Williams, N. M., & Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16812-16816. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.262413599>
- Lundin, O., Rundlöf, M., Smith, H. G., Fries, I., & Bommarco, R. (2015). Neonicotinoid insecticides and their impacts on bees: a systematic review of research approaches and identification of knowledge gaps. *PloS one*, 10(8), e0136928.
- Main, A. R., Hladik, M. L., Webb, E. B., Goyne, K. W., & Mengel, D. (2020). Beyond neonicotinoids—Wild pollinators are exposed to a range of pesticides while foraging in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 742, 140436.
- Mallick, S. A., & Driessen, M. M. (2009). Impacts of hive honeybees on Tasmanian leatherwood *Eucryphia lucida* Labill.(Eucryphiaceae). *Austral ecology*, 34(2), 185-195.

- McMahon, D. P., Wilfert, L., Paxton, R. J., & Brown, M. J. (2018). Emerging viruses in bees: from molecules to ecology. *Advances in virus research*, *101*, 251-291.
- Memmott, J., Craze, P. G., Waser, N. M., & Price, M. V. (2007). Global warming and the disruption of plant–pollinator interactions. *Ecology Letters*, *10*(8), 710-717.
- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world*. JHU press.
- Möllmann, J. S., Loerchner, L. K., Knuf, I. M. E., Hodapp, D., Xu, H., & Colgan, T. J. (2024). Simulated climate warming scenarios lead to earlier emergence and increased weight loss but have no effect on overwintering survival in solitary bees. *bioRxiv*, 2024.2010.2018.619057.
- Mondet, F., Beaufrepaire, A., McAfee, A., Locke, B., Alaux, C., Blanchard, S., Danka, B., & Le Conte, Y. (2020). Honey bee survival mechanisms against the parasite *Varroa destructor*: a systematic review of phenotypic and genomic research efforts. *International journal for parasitology*, *50*(6-7), 433-447.
- Murray, E. A., Burand, J., Trikoz, N., Schnabel, J., Grab, H., & Danforth, B. N. (2019). Viral transmission in honey bees and native bees, supported by a global black queen cell virus phylogeny. *Environmental microbiology*, *21*(3), 972-983.
- Ngor, L., Palmer-Young, E. C., Nevarez, R. B., Russell, K. A., Leger, L., Giacomini, S. J., Pinilla-Gallego, M. S., Irwin, R. E., & McFrederick, Q. S. (2020). Cross-infectivity of honey and bumble bee-associated parasites across three bee families. *Parasitology*, *147*(12), 1290-1304.
- Nguyen, P. N., & Rehan, S. M. (2023). Environmental effects on bee microbiota. *Microbial Ecology*, *86*(3), 1487-1498.
- Nicholson, C. C., & Ricketts, T. H. (2019). Wild pollinators improve production, uniformity, and timing of blueberry crops. *Agriculture Ecosystems & Environment*, *272*, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.018>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, *120*(3), 321-326.
- Paini, D. (2004). Impact of the introduced honey bee (*Apis mellifera*)(Hymenoptera: Apidae) on native bees: a review. *Austral ecology*, *29*(4), 399-407.
- Paton, D. C. (1993). Honeybees in the Australian environment. *Bioscience*, *43*(2), 95-103.
- Phan, N. T., Joshi, N. K., Rajotte, E. G., Zhu, F., Peter, K. A., Lopez-Urbe, M. M., & Biddinger, D. J. (2024). Systemic pesticides in a solitary bee pollen food store affect larval development and increase pupal mortality. *Science of the Total Environment*, *915*, Article 170048. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170048>
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, *25*(6), 345-353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Prendergast, K. S., Dixon, K. W., & Bateman, P. W. (2022). The evidence for and against competition between the European honeybee and Australian native bees. *Pacific Conservation Biology*, *29*(2), 89-109.
- Pyke, G., & Balzer, L. (1983). effects of the introduced honeybee (*Apis mellifera*) on Australian native bees. Apiculture Workshop Papers: Workshop papers and documents for the Standing Committee on Agriculture Workshop held at Hawkesbury Agricultural College, Richmond, NSW, 18-22 July 1983,
- Radzevičiūtė, R., Theodorou, P., Husemann, M., Japoshvili, G., Kirkitadze, G., Zhusupbaeva, A., & Paxton, R. J. (2017). Replication of honey bee-associated RNA viruses across multiple bee species in apple orchards of Georgia, Germany and Kyrgyzstan. *Journal of Invertebrate Pathology*, *146*, 14-23.

- Reilly, J., Allen-Perkins, A., Winfree, R., & Bartomeus, I. (2024). Pollinator contribution to crop yield. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.7481551>
- Rondeau, S., & Raine, N. E. (2024). Single and combined exposure to 'bee safe' pesticides alter behaviour and offspring production in a ground-nesting solitary bee (*Xenoglossa pruinosa*). *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 291(2019), Article 20232939. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2939>
- Roubik, D. W., & Wolda, H. (2001). Do competing honey bees matter? Dynamics and abundance of native bees before and after honey bee invasion. *Population Ecology*, 43(1), 53-62.
- Rust, R. (1990). Spatial and temporal heterogeneity of pollen foraging in *Osmia lignaria propinqua* (Hymenoptera: Megachilidae). *Environmental Entomology*, 19(2), 332-338.
- Ryba, S., Titera, D., Schodelbauerova-Traxmandlova, I., & Kindlmann, P. (2012). Prevalence of honeybee viruses in the Czech Republic and coinfections with other honeybee disease. *Biologia*, 67, 590-595.
- Sánchez-Bayo, F., & Tennekes, H. A. (2020). Time-cumulative toxicity of neonicotinoids: experimental evidence and implications for environmental risk assessments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1629.
- Sirohi, M., Jackson, J., & Ollerton, J. (2024). COMPARISON OF FLIGHT PERIODS OF SOLITARY AND PRIMITIVELY EUSOCIAL BEES IN URBAN ENVIRONMENTS AND NATURE CONSERVATION AREAS: A PRELIMINARY REPORT. *Zoodiversity*, 58(4).
- Siviter, H., Devore, J., Gray, L. K., Ivers, N. A., Lopez, E. A., Riddington, I. M., Stuligross, C., Jha, S., & Muth, F. (2024). A novel pesticide has lethal consequences for an important pollinator. *Science of the Total Environment*, 952, Article 175935. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175935>
- Siviter, H., & Muth, F. (2020). Do novel insecticides pose a threat to beneficial insects? *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 287(1935), Article 20201265. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1265>
- Šlachta, M., Erban, T., Votavová, A., Bešta, T., Skalský, M., Václavíková, M., Halešová, T., Edwards-Jonášová, M., Včeláková, R., & Cudlín, P. (2020). Domestic Gardens Mitigate Risk of Exposure of Pollinators to Pesticides—An Urban-Rural Case Study Using a Red Mason Bee Species for Biomonitoring. *Sustainability*, 12(22), 9427. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9427>
- Smoliński, S., Langowska, A., & Glazaczow, A. (2021). Raised seasonal temperatures reinforce autumn Varroa destructor infestation in honey bee colonies. *Scientific Reports*, 11(1), 22256.
- St. Clair, A. L., Zhang, G., Dolezal, A. G., O'Neal, M. E., & Toth, A. L. (2020). Diversified Farming in a Monoculture Landscape: Effects on Honey Bee Health and Wild Bee Communities. *Environmental Entomology*, 49(3), 753-764. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa031>
- Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. (2000). Resource overlap and possible competition between honey bees and wild bees in central Europe. *Oecologia*, 122, 288-296.
- Stuligross, C., Melone, G. G., Wang, L., & Williams, N. M. (2023). Sublethal behavioral impacts of resource limitation and insecticide exposure reinforce negative fitness outcomes for a solitary bee. *Science of the Total Environment*, 867, 161392.

- Stuligross, C., & Williams, N. M. (2020). Pesticide and resource stressors additively impair wild bee reproduction. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1935), 20201390.
- Tsvetkov, N., Samson-Robert, O., Sood, K., Patel, H., Malena, D., Gajiwala, P., Maciukiewicz, P., Fournier, V., & Zayed, A. (2017). Chronic exposure to neonicotinoids reduces honey bee health near corn crops. *Science*, 356(6345), 1395-1397.
- Vázquez, D. P., Vitale, N., Dorado, J., Amico, G., & Stevani, E. L. (2023). Phenological mismatches and the demography of solitary bees. *Proceedings of the Royal Society B*, 290(1990), 20221847.
- Westreich, L. R., Westreich, S. T., & Tobin, P. C. (2023). Native solitary bee reproductive success depends on early season precipitation and host plant richness. *Oecologia*, 201(4), 965-978.
- Westrich, P. (1996). Habitat requirements of central European bees and the problems of partial habitats. Linnean Society symposium series,
- Whitehorn, P. R., O'connor, S., Wackers, F. L., & Goulson, D. (2012). Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science*, 336(6079), 351-352.
- Winfree, R., Williams, N. M., Gaines, H., Ascher, J. S., & Kremen, C. (2008). Wild bee pollinators provide the majority of crop visitation across land-use gradients in New Jersey and Pennsylvania, USA. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 793-802. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01418.x>
- Zheng, H.-Q., Gong, H.-R., Huang, S.-K., Sohr, A., Hu, F.-L., & Chen, Y. P. (2015). Evidence of the synergistic interaction of honey bee pathogens *Nosema ceranae* and deformed wing virus. *Veterinary microbiology*, 177(1-2), 1-6.

CSID:96828, <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.96828.html>,
(accessed 5:01, Jan 3, 2025)

CSID:77934, <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.77934.html>,
(accessed 5:02, Jan 3, 2025)

CSID:184713, <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.184713.html>,
(accessed 5:04, Jan 3, 2025)

CSID:96828, <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.96828.html>,
(accessed 5:08, Jan 3, 2025)

CSID:26050805, <https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.26050805.html>,
(accessed 5:10, Jan 3, 2025)

8. Seznam Obrázku

Obrázek 1 Molekula Imidaklopridu CSID:77934.....	17
Obrázek 2 Molekula Thiamethoxamu CSID:96828.....	18
Obrázek 3 . Boskalid CSID:184713,.....	19

Obrázek 4 Klothianidin CSID:184723 https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.184723.html , (accessed 5:06, Jan 3, 2025).....	20
Obrázek 5 Thiamethoxam CSID:96828, https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.96828.html , (accessed 5:08, Jan 3, 2025).....	20
Obrázek 6 Flupyradifuron (FPF) CSID:26050805, https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.26050805.html , (accessed 5:10, Jan 3, 2025)	22
Obrázek 7 Výsledky hledání na web of science podle klíčových slov	31
Obrázek 8 Výsledky hledání na Scopus podle klíčových slov	31
Obrázek 9 vizualizace citací použitých v této práci www.researchrabbit.io	33
Obrázek 10 Chronologický vývoj vědeckých poznatků www.researchrabbit.io	34
Obrázek 11 Stromová mapa oblastí vědeckých studií	35
Obrázek 12 Geografické rozložení vědeckých studií	36
Obrázek 13 Časová dynamika publikací a citací.....	37