

Univerzita Palackého v Olomouci  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra ekologie a životního prostředí



**Společenstva opylovačů svazenky vratičolisté a  
změny jejich distribuce během dne**

**Jan Harásek**

**Bakalářská práce**

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Bc. v oboru

Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: Mgr. Monika Mazalová, Ph.D.

Olomouc 2016



### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Moniky Mazalové, Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 16. prosince 2016

.....

Podpis

Harásek J. 2016. Společenstva opylovačů svazenky vratičolisté a změny jejich distribuce během dne [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouc, 32 s., česky.

## Abstrakt

V této bakalářské práci jsem se zabýval strukturou společenstev opylovačů svazenky vratičolisté (*Phacelia tanacetifolia* Benth) a tím, zda a případně jak se mění jejich distribuce napříč polem a v průběhu dne. Zjistil jsem, že porost svazenky je atraktivní pro různé druhy opylovačů, jako jsou čmeláci, včela medonosná, motýli, pestřenky a solitérní druhy včel. Společenstvo opylovačů bylo vzorkováno dvěma metodami odchytu hmyzu. Individuální sběry se ukázaly být vhodnou metodou vzorkování sociálních opylovačů (čmeláci a včely) a denních motýlů. Moerickeho misky byly vhodné z hlediska přesnější determinace druhů a zachycení méně nápadných skupin hmyzu s menší tělesnou velikostí, jako jsou pestřenky a samotářské včely.

Pro sledované území a získaná data o výskytu opylovačů byla provedena RDA analýza testující vliv faktorů vhodnosti okolního prostředí z hlediska zastoupení různých vhodných ploch pro výskyt opylovačů a také faktor pozice misky v porostu svazenky. Model průkazně vysvětloval variabilitu společenstev opylovačů, nicméně signifikantní vliv měla pouze proporce zastoupení nevhodného prostředí v okruhu 200 m. Zatímco někteří sociální opylovači (*Bombus terrestris*, *B. lapidarius*) vykazovali pozitivní odezvu, skupina pestřenek (Syrphidae) reagovala na rostoucí zastoupení nevhodných ploch poklesem abundancí. Z uvedeného je zřejmé, že malé druhy opylovačů, „čtou prostředí“ jinak, na menší prostorové škále, než velké druhy.

Dalším testovaným předpokladem bylo, že distribuce různých druhů na poli může být ovlivněna denní dobou. Tento trend byl provedenou RDA analýzou potvrzen. Včela medonosná, čmeláci a denní motýli vykazovali maximum sběrové aktivity v odpoledních hodinách, přičemž oba nejhojnější druhy čmeláků (tj. *B. terrestris* i *B. lapidarius*) zalétaly nejdál do středu pole. Důvodem mohlo být, že díky opylovačům a klimatickým podmínkám (teplo, sucho) mohly být květy v odpoledních hodinách na okraji pole již vyčerpány a opylovači museli zalétat dále do pole. Naopak zástupci čeledi Syrphidae byli na rostlinách aktivnější v ranních hodinách, což může být dáno jejich malou tělesnou velikostí s vysokým poměrem plochy povrchu těla ku objemu a tím i rychlejším ohřevem těla slunečními paprsky oproti hmotnějším druhům.

Dalším předpokladem byl pokles abundancí opylovačů směrem od okraje pole do jeho středu. Ten se však na úrovni celého společenstva (RDA model) nepotvrdil. Pomocí GLM jsem však individuálně zjistil tento trend u dvou skupin, a to u samotářských včel a pestřenky psané (*Sphaerophoria scripta*). Absenci obdobného trendu u klíčových skupin opylovačů (*Bombus* spp., *Apis mellifera*) lze vysvětlit nedostatečnou velikostí plochy svazenky, jež může vést ke vzájemné kompetici o zdroje nektaru a tím i využívání vzdálenějších částí pole (tj. dál od jeho okrajů).

**Klíčová slova:** svazenka vratičolistá, opylovači, čmeláci (*Bombus* spp.), včela medonosná (*Apis mellifera*), denní aktivita, distribuce na ploše, Moerickeho žluté misky

Harasek J. 2016. Pollinators of lacy phacelia and daily changes of their distributions in the field [bachelor thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Sciences, Palacky University Olomouc. 32 pp., in Czech

## **Abstract**

In this bachelor thesis I studied pollinator communities of lacy phacelia and their potential distributional changes during a day. I have found that plants of phacelia were attractive for different species of pollinators such as honey bee, bumblebees, butterflies, hoverflies and solitary bees. Pollinators were sampled by the use of two different methods. Individual sampling was an effective method for social pollinators (honey bees, bumblebees) and butterflies collecting. Moericke's yellow pan traps were useful for more precise determination of species and also for sampling of less noticeable insect groups with smaller body size, like hoverflies and solitary bees.

RDA analysis was calculated to test the influence of the surrounding area "suitability" factors and the trap position inside the phacelia stand. Environs of the phacelia field was evaluated as for the representation of three categories of areas, scaled according to their suitability for the pollinators' occurrence. The whole model has conclusively explained the variability of pollinator communities, however, the only significant factor was the proportion of unsuitable environment within a radius of 200 m. Whilst some social pollinators (*Bombus terrestris*, *B. lapidarius*) showed a positive response to this, hoverflies (Syrphidae) responded to the increasing proportion of unsuitable patches by decrease in abundance. Apparently, small pollinator species "read environment" distinctively, on the smaller spatial scale, than large species.

Another tested assumption was that the distribution of species in the field can be affected by daytime. This trend was confirmed by RDA analysis. Honeybees, bumblebees and butterflies foraged more in the afternoon, two of the most abundant bumblebee species (i.e. *B. terrestris* and *B. lapidarius*) flying more distant, to the center of the field compared to the other species. I suggest, this behaviour might reflect the fact that the blooms on the edge of the field might be empty earlier because of the early pollinators' foraging (Syrphidae) and climatic conditions (heat, drought), so the later pollinators had to fly further into the field. On the contrary, members of the family Syrphidae were more active on flowers in the morning, this could be due to their small body size with a high ratio of body surface to volume. In comparison to bigger species, they might gain the sun heat much faster..

Another presumption of my thesis was the decline in abundance of pollinators from the edge of the field to the centre. That, however, wasn't confirmed for entire community of pollinators (RDA model). Using the GLM, I have found this trend individually in two groups: solitary bees and hoverfly *Sphaerophoria scripta*. The absence of a similar trend among the key groups of pollinators (*Bombus* spp., *Apis mellifera*) can be explained by the small size of studied phacelia field, which can lead to mutual competition for sources of nectar and, therefore, flights to more remote parts of the field (i.e. further from the edge).

**Key words:** *Phacelia tanacetifolia*, pollinators, bumblebees (*Bombus* spp.) *Apis mellifera*, daily activity, distribution in area, Moericke's yellow pan traps

## Obsah

Seznam obrázků .....	xliv
Seznam tabulek .....	xi
Poděkování: .....	xii
1 Úvod.....	1
2 Cíle práce .....	4
3 Metodika .....	5
3.1 Sledované území.....	5
3.2 Sběr entomologického materiálu.....	6
3.2.1 Individuální sběr zástupců opylovačů .....	6
3.2.2 Odchyt pomocí tzv. Moerickeho misek.....	7
3.3 Vysvětlující proměnné .....	7
3.3.1 Stanovení vhodnosti okolního prostředí coby zdroje opylovačů.....	8
3.3.2 Teplota.....	10
3.3.3 Srážky .....	10
3.3.4 Vlhkost vzduchu .....	10
3.3.5 Rychlost větru.....	10
3.4 Statistická analýza dat .....	11
4 Výsledky .....	12
4.1 Srovnání metod sběru .....	12
4.2 Distribuce opylovačů odchycených metodou Moerickeho misek podél transektu od okraje do středu pole.....	15
4.3 Distribuce opylovačů odchycených individuálním vzorkováním podél transektu od okraje do středu pole.....	17
4.4 Vliv denní doby a vzdálenosti na abundanci opylovačů .....	19
5 Diskuze .....	21
5.1 Srovnání dvou metod sběru dat: fyzického sčítání/individuálních sběrů a Moerickeho misek .....	21
5.2 Vhodnost prostředí pro opylovače .....	22



5.3	Vliv denní doby na rozložení opylovačů na kultuře svazenky vratičolisté .....	23
5.4	Prostorová distribuce opylovačů v kultuře svazenky vratičolisté .....	24
6	Závěr .....	26
7	Literatura.....	28

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b> - Mapa sledovaného území. ....	5
<b>Obr. 2</b> - Ordinační CCA model sledovaných proměnných prostředí ve vztahu k abundancím opylovačů na experimentální ploše. Do grafického výstupu modelu bylo promítnuto pouze 10 taxonů s největší vahou v modelu. ....	15
<b>Obr. 3</b> - GLM model abundance opylovačů od okraje do středu pole pro dva taxony - pestřenku <i>Sphaerophoria scripta</i> a ostatní včely. ....	16
<b>Obr. 4</b> - Ordinační CCA model sledovaných proměnných prostředí ve vztahu k abundancím opylovačů na experimentální ploše. ....	17
<b>Obr. 5</b> - GLM početní odezvy pestřenek (Syrphidae) na proporci nevhodného prostředí v okruhu 200 m kolem vzorkovacích plošek individuálního sběru na experimentální ploše. ....	18
<b>Obr. 6</b> - Ordinační RDA model sledovaných proměnných prostředí a abundancí opylovačů na experimentální ploše. ....	19

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b> - Počet jedinců napočítaných během individuálního sběru zástupců opylovačů v obou transektech .....	13
<b>Tab. 2</b> - Počet jedinců chycených metodou Moerického žlutých misek v obou transektech. ....	14

### **Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat Mgr. Monice Mazalové, Ph.D. za cenné rady a pevné nervy při vedení práce. Dále pak RNDr. Tomáši Kurasovi, Ph.D. za rady při jejím vypracování. Zdeňkovi Janků za pomoc s GISem. A všem těm, kteří mi věřili až do konce.

## 1 Úvod

Vztah mezi rostlinou a opylovačem započal v průběhu druhohor (Hu et al. 2008, Peñalver et al. 2012). Dnes se odhaduje, že na světě existuje okolo 352 000 druhů krytosemenných rostlin (Paton 2008), z nichž téměř 87,5 % druhů využívá ke svému opylení právě živočichy (Ollerton, 2011). Nečastějším opylovačem rostlin je hmyz, který opyluje obrovskou škálu rostlin (Waser et al. 1996.).

Nejběžněji se opylovači dostanou na květ rostliny při hledání potravy, obvykle za přičinění rostliny samotné. Rostlina může lákat opylovače rozličnými způsoby, jako je vůně (Wright a Schiestl 2009), barva (Kevan 1972, Disney et al. 1982, Aguiar a Sharkov 1997), velikost (Kevan 1972, Mulligan a Kevan 1973) nebo tvar květu, skutečným cílem opylovačů je však odměna za návštěvu květu v podobě nektaru a pylu. Ty slouží jako atraktivní potravní zdroj, ať už pro dospělé, nebo – jako v případě mnoha zástupců blanokřídlého hmyzu – také pro larvální stadia, ať už vzhledem k vysokému obsahu energeticky bohatých cukrů (nektar), bílkovin (pyl), nezbytných pro růst a vývoj, či minerálů (Heinrich 1975, Jabłoński a Skowronek 1983, Kevan a Baker 1983).

Jak dokazuje teorie optimálního vyhledávání potravy - optimal foraging theory (Pyke 1984), pro opylovače je nesmírně důležité, kolik času a tím i energie, vynaloží během jejího hledání. Let samotný je totiž velice energeticky náročný, především pro hmotné druhy opylovačů jako jsou včely a čmeláci (Ellington 1990). Množství energie vydané na let je nadto významně ovlivněno klimatickými charakteristikami, zejména pak extrémní teplotou (Corbet et al. 1993). Každá energie vydaná zbytečně, pak zvyšuje riziko, že by se mohlo jednat o let poslední. V zájmu živočicha tedy je najít místo, které bude v „neztrátové“ blízkosti a zároveň z něj bude mít co největší užitek (Westphal et al. 2006, Lihoreau et al 2011).

Solitérně žijícím opylovačům, se obvykle stačí držet v blízkosti potravních zdrojů, přičemž dostatečným zdrojem pro ně jsou i relativně malé plošky vhodných kvetoucích rostlin (Gathmann a Tschardtke 2002). Důvodem je, že takoví živočichové často ani nemají daný úkryt, který by pravidelně využívali. To je typické pro různé druhy motýlů (Lepidoptera) a dvoukřídlých (Diptera) (Dennis 1992, Wojciechowicz-Żytko a Wnuk 2012). Jiné druhy sice hnízdo mají, ale jako jednotlivci potřebují primárně uživit jen sami sebe popřípadě své larvy, jak je tomu u solitérních druhů z řádu Hymenoptera (Gathmann a Tschardtke 2002).

U sociálních druhů hmyzu, jako jsou včely (*Apis*) a čmeláci (*Bombus*), je získání dostatečného množství potravy složitějším úkolem. Je totiž třeba zajistit množství potravy dostačující pro výživu celé kolonie (čítající často až několik set jedinců – Cueva del Castillo et al. 2015). Sociální druhy tak potřebují úměrně větší zdroj potravy. Celkové množství vhodných nektarodárných rostlin tudíž musí být mnohem větší a přísun potravy přitom dostupný plynule. To znamená, že během celé doby existence hnízda, musí být v jeho okolí vhodná kvetoucí vegetace (Shelly et al. 1991, Fussell a Corbet 1995, Knight et al. 2005, Lihoreau et al. 2011).

Zdroj vhodné potravy je dán kvalitou okolního prostředí. Na dnešní krajinu má velice významný vliv člověk a právě jeho zásahy do prostředí mohou ovlivnit potravní zdroje opylovačů, a to fragmentací přirozených habitatů (Harrison a Bruna 1999, Steffan-Dewenter et al. 2006). Děje se tak především vytvářením produkčně-zemědělského typu krajiny. Ta slouží pro pěstování rostlinných monokultur, které se zde sice střídají, ale pouze ve velmi omezené skupině plodin. Převážně se jedná o obilniny, řepu, řepku (Corbet et al. 1991), popřípadě meziplodiny (svazenka vratičolistá, hořčice setá; Jabłoński a Skowronek 1983). Takto pěstované plodiny vytváří dlouhé souvislé jednolitě plochy, které zároveň kvůli intenzivnímu obhospodařování (jako je třeba pravidelná orba) vytlačují opylovače na jejich okraj, kde obývají polopřirodní fragmenty svého předchozího habitatu (Svennson et al. 2000, Öckinger a Smith 2007). Přestože některé z takto pěstovaných rostlin tvoří pro opylovače vítaný a bohatý zdroj nektaru a pylu (Corbet et al. 1991, Klein et al. 2007), z hlediska založení hnízda představují jejich kultury zcela nevhodné plochy. A především, oproti planě rostoucím rostlinám z „polopřirodních“ ploch v okolí, tyto rostliny, díky výsevu ve stejný čas, rostou a plodí synchronně. Obrovský potravní zdroj tedy během krátké doby vzniká a zanedlouho zase zaniká s odkvětem pole dané plodiny (Westphal et al. 2003, 2009, Holzschuh et al. 2011). Jako takový zdroj potravy může sloužit i velice oblíbená zemědělská meziplodina svazenka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), která je pro své nektaro- a pylodárné vlastnosti oblíbenou rostlinou pro opylovače (Williams a Christian 1991, Ambrosino et al., 2006, Wojciechowicz-Żytka a Wnuk 2012).

Průměrná plocha jednotlivých polí je dnes přibližně 5-10 krát větší, než tomu bylo ještě před 60 lety (Plesník a Staňková 2001) plošně rozsáhlejší jsou tedy i pole s kvetoucími plodinami. Mohou tato rozkvetlá pole představovat až příliš bohatý zdroj potravy? Nabízí se otázka, zda v takovém případě nebude mít distribuce opylovačů na poli charakter postupně klesající početnosti jedinců od okraje pole do jeho středu.

Pokud je totiž zdroj potravy během synchronizovaného kvetení rozsáhlé plochy na nektar bohaté rostliny rovnoměrně dostupný na celé ploše, lze předpokládat, že sběr nektaru v okrajových částech pole je ekonomičtější, než návštěva centrálních (= vzdálenějších) částí. Většina opylovačů patří mezi létavé hmyzí skupiny a let je, jak bylo uvedeno výše, energeticky náročná činnost. Dalším předpokladem je případná změna uvedeného trendu v průběhu dne. V brzkých ranních hodinách, po noci, kdy opylovači neaktivují, lze očekávat doplnění množství nektaru v nektariích rostlin. V odpoledních hodinách pak naopak snížení objemu nektaru v nektariích nejvíce exponovaných rostlin (Gilbert et al. 1991), tj., podle mé hypotézy, časný výskyt opylovačů při okrajích plochy a následný přesun maximální aktivity opylovačů do ploch dál od okrajů pozemku v odpoledních hodinách.

## 2 Cíle práce

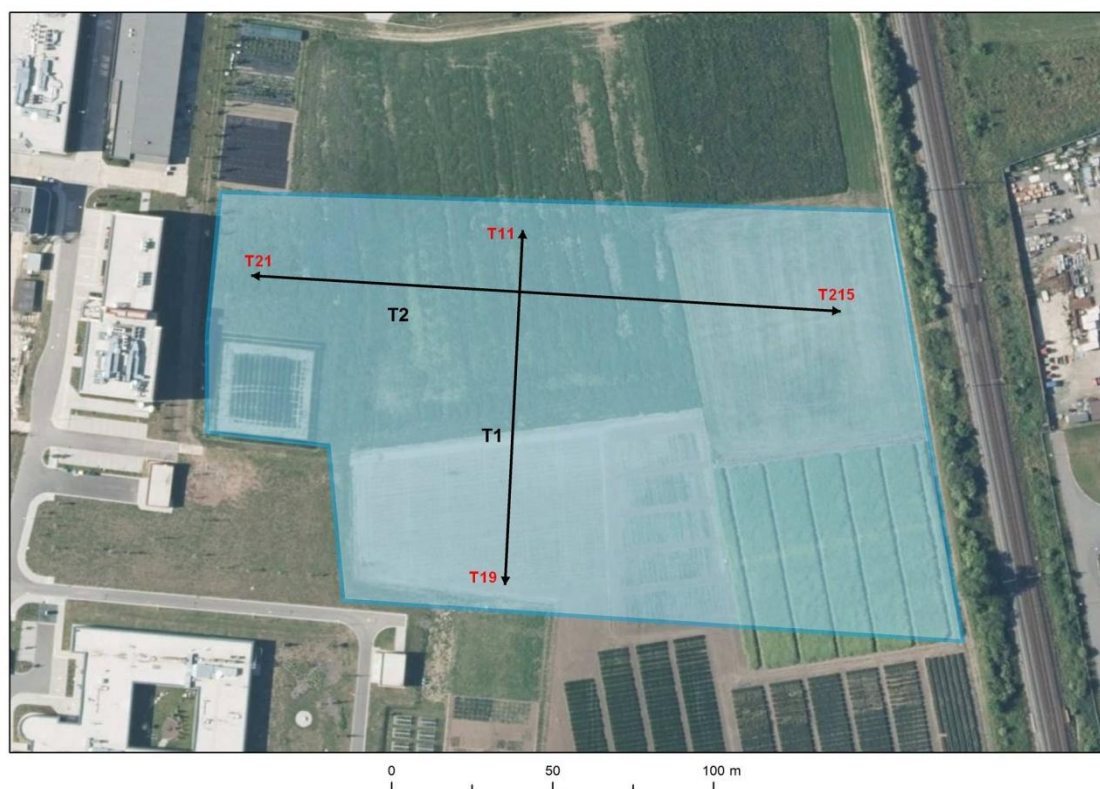
- popsat strukturu společenstva opylovačů plochy svazenky vratičolisté (*Phacelia tanacetifolia*), coby nektarodárné rostliny, hojně používané v posledních dekádách rovněž k zlepšování kvality půdy
- srovnat vhodnost dvou běžně používaných metod sběru dat při vzorkování společenstev opylovačů (Moerickeho žluté misky, sběr formou individuální pochůzky)
- zjistit, zda existuje rozdíl v početnosti opylovačů vyskytujících se při okrajích plně rozkvetlé plochy *vers.* v centrální části pole, případně zda se liší distribuce opylovačů na ploše v ranních hodinách od distribuce odpolední.



### 3 Metodika

#### 3.1 Sledované území

Území, na kterém jsem prováděl experiment, se nachází v areálu vědeckotechnického parku Univerzity Palackého v Olomouci v jihovýchodě Olomouce v městské části Holice (49°34'29.1"N 17°17'04.6"E). Leží v geomorfologickém celku Horemoravského úvalu ve výšce 210 m n. m.



**Obr. 1** – Mapka sledovaného území. Modrá plocha označuje plochu svazenky vratičolisté v době experimentu, tj. na přelomu června a července 2016. Na této ploše jsou vyznačeny dva transekty, T1 a T2 na které jsem přibližně v rozmezí 10 m položil 24 pastí založených na principu tzv. Moerickeho žlutých misek. Transekt T1 obsahoval 9 pastí, označených jako T11-T19. Transekt T. obsahoval 15 pastí, označených jako T21-T215. Mapa neukazuje tehdejší rozložení pěstovaných plodin.

Sledované území o výměře 2,5 ha je využíváno především k zemědělským účelům. Od 17. června do 4. července 2016, tj. v době konání experimentu, se zde nacházel porost svazenky vratičolisté (*Phacelia tanacetifolia* Benth), která byla v plném květu. Ačkoliv jde na našem území o nepůvodní plodinu (pochází ze Severní Ameriky), její nízké nároky na prostředí (roste na všech typech půd, je suchuvzdorná) a produkce značného objemu snadno rozložitelné biomasy, zlepšující bilanci dostupné organické hmoty v půdě, z ní udělaly velice oblíbenou zemědělskou meziplodinu (Wilczewski a Skinder 2005, Titov a Mamonov 2013). Navíc je díky vysokému obsahu nektaru a pylu

v květu (Zimna 1959, Jabłoński a Skowronek 1983) také velice vděčnou pylo- a nektarodárnou rostlinou, obvykle lákající množství různých opylovačů, jako jsou včely medonosné (Jabłoński a Skowronek 1983, Williams a Christian 1991, Kumova a Korkmaz 2013), čmeláci (Williams a Christian 1991, Westphal et al. 2003, Ambrosino et al., 2006), různé druhy dvoukřídlých (Wnuk et al. 2009, Laubertie et al. 2012, Wojciechowicz-Żytka a Wnuk 2012) aj. Jedná se tedy o vhodnou rostlinu pro experiment s opylovači.

### **3.2 Sběr entomologického materiálu**

Na dané zemědělské ploše s kulturou svazenky byly zhruba uprostřed vytyčeny dva transekty svírající úhel přibližně 90° tak, aby spojovaly vždy středy vzájemně protilehlých okrajů pole (viz Obr. 1). Tyto transekty budou dále označovány jako transekt T1 a transekt T2. Transekt T1 měřil 100 m, zatímco délka transektu T2 byla 150 m.

Entomologicky materiál pro další vyhodnocení byl sbírán v rozmezí přibližně dvou týdnů maxima květu svazenky (na přelomu června a července), a to za využití dvou metod sběru, hojně používaných při vzorkování opylovačů (Mosevičius 2004, Wilson et al. 2008, Šrámková a Benda 2016).

#### **3.2.1 Individuální sběr zástupců opylovačů**

První použitou metodou bylo individuální sčítání zástupců druhů opylovačů na vzorkovacích ploškách podél obou vymezených transektů. Vzorkovací plošky pro individuální odchyt měly charakter kruhů o průměru 2 m, situovaných podél transektů ve vzájemné vzdálenosti cca. 10 m. Vzorkování hmyzu na těchto ploškách probíhalo dvakrát denně, poprvé od 7. hodiny ránní, podruhé v časných odpoledních hodinách (od 14. hodiny). Tento design sběru dat byl zvolen s ohledem na předpokládanou dynamiku množství nektaru v květech svazenky. Ranní pochůzka probíhala prakticky od začátku denní letové aktivity hlavních druhů opylovačů (čmeláci r. *Bombus*, včela medonosná). V ranních hodinách lze předpokládat maximální objem nektaru v květech svazenky, který se během noci – mimo období aktivity opylovačů – doplňuje (Zimna 1959, Gilbert 1991). Během dne je nektar aktivně odčerpáván opylovači, takže v časných odpoledních hodinách lze předpokládat jeho menší objem v nektariích, a to zejména v nejčastěji navštěvovaných částech plochy. To by podle mé výchozí hypotézy tedy mělo vést k odlišné distribuci jedinců opylovačů na poli během dne. Opylovači byli na vzorkovacích ploškách individuálně počítáni prostým sledováním na květech, v případě

na první pohled nerozpoznatelných jedinců byli tito odchyceni do entomologické sítě a následně určeni (v případě potřeby za použití entomologické lupy).

### 3.2.2 Odchyt pomocí tzv. Moerickeho misek

Druhou použitou metodou byl odchyt pomocí tzv. Moerickeho žlutých misek (Moericke 1951), které jsem instaloval rovněž v rozestupu přibližně 10 m podél obou vytyčených transektů. Celkem jsem použil 24 pastí, v transektu T1 jsem položil 9 misek, v transektu T2 pak 15 misek s ohledem na jejich odlišnou délku. Uvedený přístup byl použit jako doplňková metoda s cílem získat srovnatelná data ve vztahu k distribuci opylovačů podél gradientu vzdálenosti od okraje ke středu plochy. Existuje totiž evidence o komplementaritě obou metod z hlediska zaznamenaných taxonů opylovačů (Mosevičius 2004, Wilson et al. 2008, Šrámková a Benda 2016)

Každá miska obsahovala směs vody, soli a komerčně dostupného detergentu. Sůl se běžně používá jako konzervant ve vodních pastech při dlouhodobější expozici (Novák 1969, Niedobová a Řezníčková 2014). I přes relativně krátkou expozici misek během vzorkovacího období (průměrně dva dny) jsem ji použil rovněž, vzhledem k vysokým teplotám, očekávatelným v období sběru dat. Saponát se používá k snížení povrchového napětí nejsvrchnější vrstvy molekul vody na hladině. Drobný hmyz, který dosedne na vodní hladinu, tak nemůže využít vodní blanky k opětovnému odletu. Misky byly vybírány v periodě dvou, v případě nepřízně počasí i tří dnů, vždy v mezidobí pochůzek zajišťujících individuální vzorkování (viz výše). Význam Moerickeho misek spočívá především v podchycení výskytu drobnějších opylovačů, které nebylo možno zachytit vizuálně.

Materiál získaný oběma metodami sběru byl určován do druhů (čmeláci r. *Bombus* a *Apis mellifera*, Lepidoptera) a rodů (*Syrphidae*) v případě snadněji určitelných a významných skupin opylovačů, obtížně determinovatelné skupiny pak byly řazeny pouze do vyšších taxonů (čeled' – např. Chrysididae, nadčeled' – např. Apoidea apod.). Ostatní zástupci hmyzu reprezentující odlišné trofické gildy než cílová skupina opylovačů byli zařazeni pouze do systematické úrovně řádu.

### 3.3 Vysvětlující proměnné

Pro každou misku v transektech byly stanoveny její GPS souřadnice, čímž jsem zjistil jejich pozice od okraje pole a tím také jejich vzdálenost do středu. Na základě těchto souřadnic jsem také stanovil plochy vhodnosti prostředí od každé misky v okolí

v poloměru od jejich středu. Tím jsem zjistil potřebné vysvětlující proměnné pro mnohorozměrné ordinační metody.

Jako kovariáty posloužily environmentální proměnné, tj. klimatologické podmínky, které panovali na lokalitě. Údaje o těchto podmínkách byly získány z blízké klimatologické stanice v Olomouci - Holici (nadmořská výška 210 m n. m., 49°34'33"N 17°17'02"E). Jednalo se o hodnoty průměrné teploty, vlhkosti vzduchu, srážek a rychlosti větru (Teräs 1976, Puškadija et al 2007).

### **3.3.1 Stanovení vhodnosti okolního prostředí coby zdroje opylovačů**

Pro lepší interpretaci hmyzu do sledovaného území, bylo také třeba rozčlenit okolní prostředí z hlediska míry jeho vhodnosti pro výskyt opylovačů s důrazem na čmeláky, jakožto významné volně žijící opylovače svazenky (Williams a Christian 1991). Cílem této analýzy, provedené v prostředí GIS (ArcGis 10.1) bylo stanovit proporcí zastoupení různě vhodných prostředí pro výskyt opylovačů v daných vzdálenostech od každé misky. Poměr ploch vhodných a nevhodných pro výskyt čmeláků jsem stanovil individuálně pro každou z instalovaných žlutých misek tak, že miska tvořila pomyslný střed kruhu o poloměru (a) 200 m a (b) 500 m. V obou takto definovaných plochách pro každou misku zvlášť, jsem pak vyčíslil zastoupení tří kategorií – ploch z hlediska výskytu čmeláků trvale vhodných, (=potenciální hnízdiště i dostupnost potravy), dočasně vhodných (v době experimentu přítomny potravní zdroje ale ne plochy využitelné ke hnízdění) a zcela nevhodných ploch (absence hnízdiště i potravního zdroje) – viz výčet níže v textu. Proporční zastoupení ploch v kruhu daného poloměru kolem misky reflektuje pravděpodobnost, se kterou mohou opylovači k misce přiletět (viz čím blíže a čím větší zastoupení vhodných ploch v okolí misky, tím pravděpodobněji očekávám výskyt opylovačů (čmeláků). Hlavním motivem pro provedení zmíněné analýzy prostředí bylo zjistit, zda nebyla některá strana pokusného pole opylovači méně navštěvována, jelikož tito opylovači museli urazit delší cestu ze svého hnízda. Výstupy GIS analýzy posloužily jako další parametr popisující každou misku, resp. vzorkovací plochu, a vystupují v mnohorozměrné analýze druhových dat jako nezávislé (vysvětlující) proměnné.

Jak bylo uvedeno výše v textu, zvolil jsem dvě vzdálenosti, ve kterých jsem určoval zastoupení ploch z hlediska jejich vhodnosti pro opylovače. První z nich vymezila kruh o poloměru 200 m, druhá pak kruh o poloměru 500 m, přičemž tato zahrnovala i předchozí plochu kruhu s menším poloměrem (200 m). Nejprve jsem rámcově vymezil rozsah území (přibližně dle překryvu ploch větších kruhů kolem všech

misek s určitým přesahem), na kterém bylo třeba následně veškerou plochu rozdělit do výše zmíněných tří kategorií vhodnosti plochy. Kategorie byly následující:

1. Nevhodné prostředí pro opylovače. Jednalo se veskrze o zastavěné plochy, jako jsou budovy, parkoviště či silnice. Vedle toho sem spadají také pravidelně obdělávané zemědělské plochy charakteru orné půdy bez výskytu kvetoucích rostlin vhodných coby zdroj potravy pro opylovače.
2. Částečně vhodné prostředí pro opylovače, tj. prostředí, které obsahovalo v době sběru dat potravní zdroj (rozkvetlé záhony rostlin, pole s atraktivním zdrojem potravy), ale není vhodné k hnízdění (např. je zde prováděna pravidelná údržba – orba, mulčování aj.).
3. Vhodné prostředí pro opylovače bylo takové, které má stálou vegetaci a není ovlivňováno lidskou činností tak, aby zde potenciální opylovači nebyli schopni trvale přežít (trvalé travní porosty s výskytem kvetoucích rostlin, extenzivní zahrady, sady aj.).

Takto vymezené plochy (na základě rozboru podrobných aktuálních ortofotomap a v nutných případech také doplněné o terénní ověření skutečného charakteru pozemků, jsem zadal do programu ArcGis (verze 10.1) a následně jsem pomocí GPS souřadnic jednotlivých misek stanovil procentuelní zastoupení jednotlivých prostředí pro jednotlivé misky. Jak bylo uvedeno výše, tato analýza byla provedena pro dvě vzdálenosti, a to do 200 m od misky a do 500 m od misky.

Výběr vzdáleností (200, 500m) nebyl náhodný, vycházel jsem z předpokladu, že čmeláci obvykle létají průměrně 400 až 500 m od svého hnízda (Darvill et al. 2004, Knight et al. 2005), přičemž ale nepreferují rostliny ve své blízkosti tj. 150 až 200 m od hnízda (Dramstad 1996, Osborne et al. 1999, Dramstad et al. 2003). Dnes existují v zásadě dvě alternativní hypotézy, vysvětlující tento vzorec chování. Podle Dramstada (1996) snižuje využívání vzdálenějších zdrojů kompetici mezi jedinci stejného hnízda. Druhým vysvětlením tohoto chování je snaha zamezit snadnému vyhledání hnízda hnízdními parazity čmeláků – pačmeláky, kteří se pravděpodobně dokážou orientovat podle pachových značek, zanechaných jedinci čmeláků na navštívených květech (Goulson et al. 1998).

### **3.3.2 Teplota**

Teplota byla zvolena jako důležitý faktor pro všechny druhy opylovačů, jelikož aktivita některých druhů se může podle toho významně měnit. Některé druhy čmeláků mohou například být mnohem aktivnější i za mnohem nižší teploty než včely medonosné (Lundberg 1980, Corbet 1993). Teplota byla měřena ve výšce 2 metrů nad zemí a udávána ve stupních Celsia. Průměrná teplota dosahovala hodnot 21,7 °C. V případě individuálního sběru jedinců opylovačů se použily hodnoty v časech, kdy byly jedinci počítáni. U odchytů misek byl použit průměr teplot po celou dobu expozice misky mezi jejími jednotlivými výběry.

### **3.3.3 Srážky**

Děšť má prokazatelný vliv na snížený výskyt včel (Puškadija et al 2007), tudíž množství srážek byl rovněž potenciálně významný faktor pro zhodnocení. Během konání experimentu, byly tři na srážky vydatné dny a to 20. 6., 25. 6. a 2. 7. 2016, kdy úhrn srážek přesahoval 8 mm. V případě individuálního sběru jedinců opylovačů se braly v úvahu průměrné hodnoty srážek z předchozích 24 hodin. U odchytů z misek byl použit průměr srážek po celou dobu expozice misky mezi jejími jednotlivými výběry.

### **3.3.4 Vlhkost vzduchu**

I vlhkost vzduchu může mít vliv na množství opylovačů. Nejvyšší aktivitu včel zaznamenali Puškadija et al. (2007) v rozmezí 65 až 75 %, při nižších i vyšších hodnotách vzdušné vlhkosti bylo sledováno nižší množství jedinců. Čmelákům nevyhovuje vlhkost vzduchu nižší než 30 %, aktivní však mohou být i při maximální vlhkosti (Teräs 1976). Vedle samotného vlivu na aktivitu opylovačů však vzdušná vlhkost ovlivňuje také množství nektaru v květu – to se při nižší vlhkosti snižuje vysycháním a rostlina se může stát pro opylovače méně atraktivní (Corbet 1979). V případě fyzického sčítání jedinců opylovačů byly použity hodnoty z doby počítání jedinců. U odchytů z misek byly použity průměry hodnot vlhkosti vzduchu po celou dobu expozice misky mezi jejími jednotlivými výběry.

### **3.3.5 Rychlost větru**

Také rychlost větru může ovlivnit letovou aktivitu hmyzu. Vítr u čmeláků nutně nemusí být důvod, aby nevzletěli, ovlivňuje však ostatní skupiny opylovačů, např. motýly (Dover et al. 1997) a pravděpodobně i menší blanokřídlé. Často může doprovázet ostatní negativní faktory počasí jako je déšť a nižší teploty (Teräs 1976). Během doby experimentu byly naměřeny hodnoty rychlosti větru mezi 0-7 m/s.

V případě fyzického sčítání se používaly hodnoty větru z doby počítání jedinců. U odchytů misek byly použity průměrné hodnoty rychlosti větru vzduchu po celou dobu expozice misky mezi jejími jednotlivými výběry.

### **3.4 Statistická analýza dat**

K vyhodnocení vlivu proměnných na společenstva opylovačů jsem použil mnohorozměrné ordinační metody. Nejprve jsem použil nepřímou ordinaci (DCA-detrended correspondence analysis) k nalezení hlavních gradientů v datech. Na základě délky gradientů byla dále uplatněna buď kanonická korespondenční analýza (CCA; Ter Braak 1986), nebo redundanční analýza (RDA; Legendre a Anderson 1999) - pokud  $>3,5$  pak CCA, pokud  $<3,5$ , pak RDA. Tyto metody přímé ordinace umožnily vztáhnout gradienty v druhovém složení a abundancích k externím prediktorům a zároveň testovat význam těchto proměnných. Abundance druhů/taxonů vstupovaly vzhledem k odlišným početnostem mezi taxony do analýz standardizovány použitím logaritmické funkce.

Testy modelů byly provedeny pomocí Monte-Carlo permutačního testu s nastavením time series a linear transect přes bloky definované číslem pasti resp. vzorkovací plošky (v případě individuálního sběru) a 2000 permutací. Environmentální proměnné byly testovány s použitím forward-selektce.

Při analýze faktorů ovlivňujících složení společenstva opylovačů svazenky vratičolisté a jejich distribuci na ploše pole jsem použil CCA v případě dat získaných vzorkováním pomocí Moerickeho žlutých misek. Dále jsem sestrojil dva RDA modely pro data pocházející z individuálních sběrů. Pomocí generalizovaných lineárních modelů (GLM) jsem dále hodnotil individuální odpovědi jednotlivých druhů/taxonů opylovačů k dílčím testovaným proměnným. Všechny uvedené analýzy byly provedeny v programu Canoco 5.

## 4 Výsledky

### 4.1 Srovnání metod sběru

V experimentu byly použity dvě různé metody sběru hmyzu a to pomocí fyzického sčítání zástupců opylovačů a odchyt pomocí tzv. Moerickeho misek.

U individuálního sběru zástupců opylovačů (tab. 1) bylo během celého experimentu pozorováno 16 937 jedinců hmyzu. Nejčastěji sledovanými opylovači byla včela medonosná (*Apis mellifera*) s 8311 jedinci (49,07 % z celkového počtu jedinců) a čmeláci s 8265 jedinci (48,8 %). Čmeláků se na lokalitě nacházelo vícero druhů. Nejpočetnějšími byli zástupci druhů *Bombus terrestris/lucorum* s 7 173 jedinci. Tyto dva druhy lze bezpečně rozlišit až při laboratorním rozboru determinačních znaků pod binokulární lupou. Při terénních ekologických studiích se běžně uvádějí spolu (např. Fussell a Corbet, 1991). Druhým nejpočetnějším druhem na lokalitě byl *Bombus lapidarius* s 1091 jedinci. Vedle toho byl viděn i jedinec *Bombus pascuorum*. Motýlů bylo pozorováno 213 jedinců (1,26 %), přičemž převládali především jedinci druhů bělásek řepový (*Pieris rapae*) se 100 jedinci a kovolesklec gama (*Autographa gamma*) s 97 jedinci. V menší míře objevily druhy babočka paví oko (*Nymphalis io*), babočka admirál (*Vanessa atalanta*) a babočka bodláková (*Vanessa cardui*). Pestřenek (Syrphidae) bylo spatřeno 144 jedinců (0,85 %), které během terénního vzorkování nebylo možno určit do jednotlivých druhů. Z nepříliš početných pozorování tu byli 3 jedinci (0,02 %) drvodělky fialové (*Xylocopa violacea*). Také zde byl spatřen 1 jedinec (0,01 %) dlouhososky velké (*Bombylius major*).

Metodou žlutých misek (tab. 2) bylo odchyceno pouze 423 jedinců. Nejpočetnější skupinou zde byly „ostatní včely“ s 213 jedinci (50,35 % z celkového počtu jedinců). Do této uměle vytvořené skupiny byly vzhledem k obtížné determinaci zařazeny všechny ostatní druhy včel mimo jedinců včely medonosné. Jednalo se především o samotářské druhy jako je zednice rezavá (*Osmia rufa*), vlnařka obecná (*Anthidium manicatum*), šedosrstka tolicová (*Rhopitoides canus*) a čalounice mateřídoušková (*Megachile rotundata*). Druhou početnou skupinou byly pestřenky s 96 jedinci (22,7 %), reprezentované rody *Volucella*, *Episyrphus* *Sphaerophoria* a *Syrphus*. Bylo také odchyceno 73 jedinců (17,26 %) čmeláků, kteří byli následně v laboratoři určeni do 5 různých druhů a to *Bombus terrestris*, *Bombus lucorum*, *Bombus lapidarius*, *Bombus hypnorum* a *Bombus hortorum*. Ve sběrech z misek se nacházelo také 31 jedinců (7,33 %) *Apis mellifera*. Motýli byli zastoupeni 10 jedinci (2,36 %), a to druhy *Autographa gamma*, *Pieris rapae* a *Vanessa cardui*.



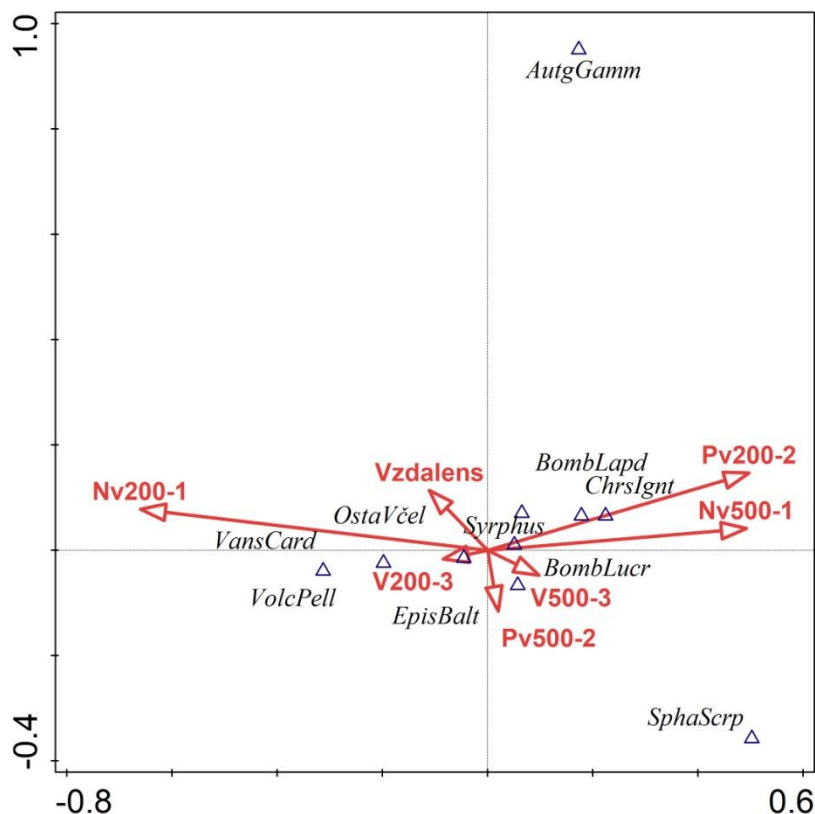
**Tab. 1** - Počet jedinců napočítaných během individuálního sběru zástupců opylovačů v obou transektech.

Opylovači:	Počet viděných jedinců:	Procentuelní podíl (%):
<i>Bombus terrestris/lucorum</i>	7173	35.98
<i>Bombus lapidarius</i>	1091	5.47
<i>Bombus pascuorum</i>	1	0.01
včela medonosná ( <i>Apis mellifera</i> )	8311	41.69
drvodělka fialová ( <i>Xylocopa violacea</i> )	3	0.02
pestřenky č. <i>Syrphidae</i>	144	0.72
Dlouhososka velká ( <i>Bombylius major</i> )	1	0.01
<i>Autographa gamma</i>	97	0.49
<i>Pieris rapae</i>	100	0.50
<i>Nymphalis io</i>	7	0.04
<i>Vanessa atalanta</i>	8	0.04
<i>Vanessa cardui</i>	1	0.01
<b>Celkem</b>	<b>16 937</b>	<b>100</b>

**Tab. 2** - Počet jedinců chycených metodou Moerického žlutých misek v obou transektech.

Opylovači:	Počet chycených jedinců:	Procentuelní podíl (%)
<i>Bombus hortorum</i>	1	0.24
<i>Bombus hypnorum</i>	1	0.24
<i>Bombus lapidarius</i> ,	8	1.89
<i>Bombus lucorum</i>	18	4.26
<i>Bombus terrestris</i>	45	10.64
včela medonosná <i>Apis mellifera</i>	31	7.33
ostatní včely	213	50.35
<i>Episyrphus</i> spp	21	4.96
<i>Sphaerophoria</i> spp	4	0.95
<i>Syrphus</i> spp	70	16.55
<i>Volucella</i> spp	1	0.24
<i>Autographa gamma</i>	1	0.24
<i>Pieris rapae</i>	6	1.42
<i>Vanessa cardui</i> .	3	0.71
<b>Celkem</b>	<b>423</b>	<b>100</b>

## 4.2 Distribuce opylovačů odchycených metodou Moerickeho misek podél transektu od okraje do středu pole

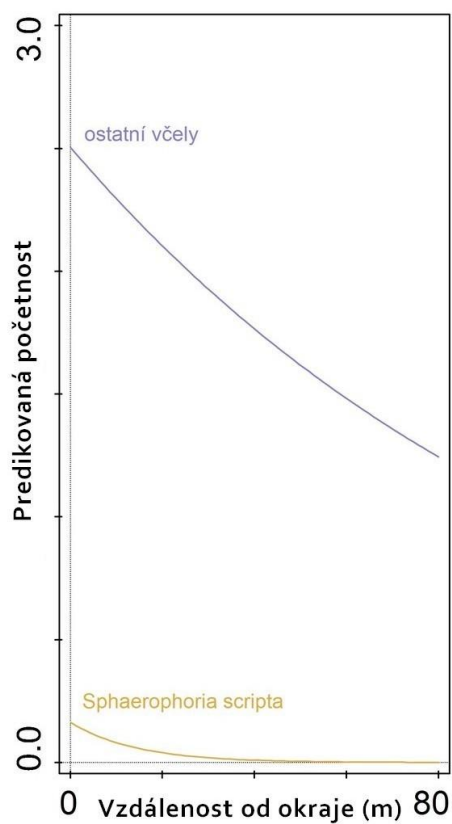


**Obr. 2** - Ordinační CCA model sledovaných proměnných prostředí (7 proměnných: nevhodné prostředí v kruhu o poloměru 200 m od misky (Nv200-1), částečně vhodné prostředí (Pv200-2), vhodné prostředí (V200-3), nevhodné prostředí v kruhu o poloměru 500 m od misky (Nv500-1), částečně vhodné prostředí (Pv500-2), vhodné prostředí (V500-3), nejbližší vzdálenost každé misky k okraji pole (Vzdalens)) ve vztahu k abundancím opylovačů na experimentální ploše. Do grafického výstupu modelu bylo promítnuto pouze 10 taxonů s největší vahou v modelu; tyto jsou značeny pomocí trojúhelníků s akronymy názvů druhů: *Autographa gamma* (AutgGamm), *Bombus lapidarius* (BombLapd), *Bombus lucorum* (BombLucr), *Episyrrhus balteatus* (EpisBalt), *Chrysis ignita* (ChrsIgnt), ostatní včely (OstVčel), *Sphaerophoria scripta* (SphaScrp), *Syrphus* spp. (Syrphus), *Vanessa cardui* (VansCard), *Volucella pellucens* (VolcPell).

Provedená mnohorozměrná ordinační analýza (CCA) vysvětlila po odfiltrování efektu kovariát 6 % variability v druhových datech ( $F = 0,9$ ;  $p = 0.43756$  pro všechny ordinační osy). Gradient opylovačů se směrem od okraje pole do středu neměnil a výsledek byl tedy neprůkazný (vzdalens  $F = 0,5$ ;  $p = 0.91209$ ).

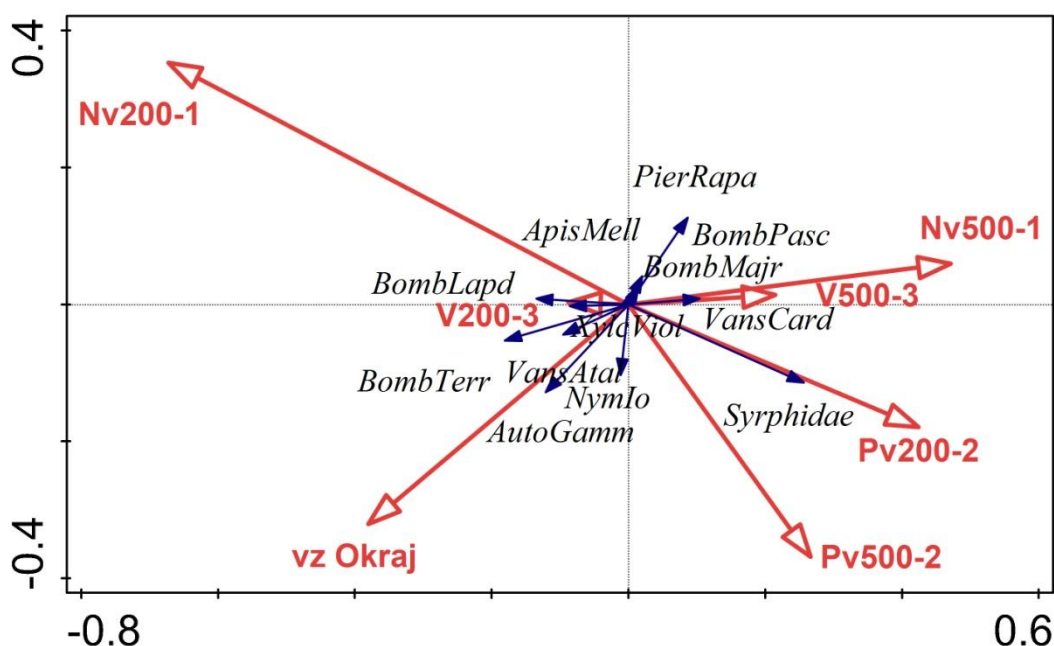
Vzhledem k neprůkaznosti celkového modelu byly vytvořeny GLM modely, kterými se vyhodnotily individuální odpovědi jednotlivých druhů/taxonů opylovačů k dílčím testovaným proměnným. Jak je patrné z obr. 2, průkaznou odezvu na vzdálenost

od okraje měly pouze 2 druhy/taxony a to „ostatní včely“ ( $F = 8.2$ ;  $p = 0.00494$ ) a pestřenka *Sphaerophoria scripta* ( $F = 5.6$ ;  $p = 0.01955$ ).



**Obr. 3** - GLM model abundance opylovačů od okraje do středu pole pro dva taxony - pestřenku *Sphaerophoria scripta* a ostatní včely.

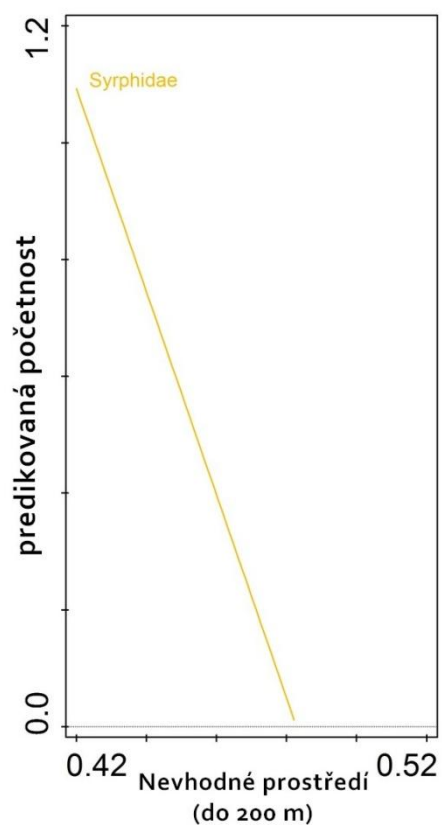
### 4.3 Distribuce opylovačů odchycených individuálním vzorkováním podél transektu od okraje do středu pole



**Obr. 4** - Ordinační CCA model sledovaných proměnných prostředí (7 proměnných: nevhodné prostředí v kruhu o poloměru 200 m od misky (Nv200-1), částečně vhodné prostředí (Pv200-2), vhodné prostředí (V200-3), nevhodné prostředí v kruhu o poloměru 500 m od misky (Nv500-1), částečně vhodné prostředí (Pv500-2), vhodné prostředí (V500-3), nejbližší vzdálenost každé misky k okraji pole (Vzdalens)). ve vztahu k abundancím opylovačů na experimentální ploše. Jednotlivé taxony opylovačů jsou značeny pomocí modrých šipek s akronymy názvů druhů/taxonu (Syrphidae): *Nymphalis io* (NymIo), *Apis mellifera* (ApisMell), *Autographa gamma* (AutgGamm), *Bombylius major* (BombMajr), *Bombus lapidarius* (BombLaps), *Bombus terrestris/lucorum* (BombTerr), *Bombus pascuorum* (BombPasc), *Pieris rapae* (PierRapa), *Syrphidae* (Syrphidae), *Vanessa atalanta* (VansAtal), *Vanessa cardui* (VansCard), *Xylocopa violacea* (XylcViol).

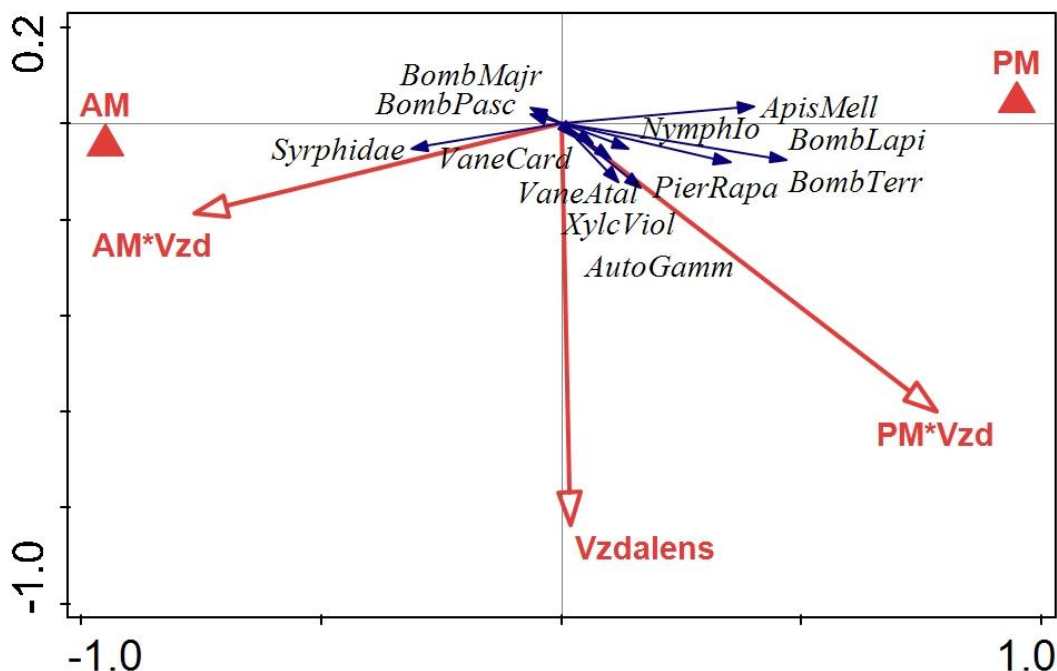
Provedená mnohorozměrná ordinační analýza (RDA) vysvětlila (obr. 5) po odfiltrování efektu kovariát 2.9% variability v druhových datech ( $F = 1$ ;  $p = 0,04695$  pro všechny ordinační osy). Gradient opylovačů se směrem od okraje pole do středu neměnil, pro tento faktor byl tedy výsledek neprůkazný ( $F = 0.8$ ;  $p = 0.58042$ ). Z testovaných proměnných měla na opylovače signifikantní vliv pouze proporce nevhodného prostředí v nejbližším okolí (do 200 m) vzorkovací plochy ( $F = 2.9$ ;  $p = 0.04895$ ). Na hranici průkaznosti pak vystupoval vliv zastoupení nevhodných ploch v kruhu o poloměru 500 m od vzorkovacích ploch ( $F = 1.0$ ;  $p = 0.07692$ ). Ostatní testované proměnné neměly na složení společenstva opylovačů průkazný vliv.

Z grafického výstupu RDA modelu vyplývá (obr. 5), že na rostoucí zastoupení nevhodného prostředí v poloměru 200 m od vzorkovací plochy vykazují negativní odezvu pouze pestřenky (čeleď Syrphidae), což prokázal i dodatečný GLM model. Naopak zastoupení včely medonosné (*Apis mellifera*) a čmeláků *Bombus lapidarius* a *Bombus terrestris/lucorum* bylo vyšší právě na vzorkovacích plochách, v jejichž blízkém okolí bylo vyšší zastoupení nevhodného prostředí. Obdobná, i když slabší, byla odezva drvodělky *Xylocopa violacea*.



**Obr. 5** - GLM početní odezvy pestřenek (Syrphidae) na proporcii nevhodného prostředí v okruhu 200 m kolem vzorkovacích plošek individuálního sběru na experimentální ploše.

#### 4.4 Vliv denní doby a vzdálenosti na abundanci opylovačů



**Obr. 6** - Ordinační RDA model sledovaných proměnných prostředí (5 proměnných: vzdálenost misek od okraje (Vzdalens), dopolední čas (AM), odpolední čas (PM), čas s interakcí vzdálenosti od okraje v dopoledních hodinách (AM\*vzd), čas s interakcí vzdálenosti od okraje v odpoledních hodinách (PM\*vzd.) a abundancí opylovačů na experimentální ploše. Opylovači jsou značeni pomocí modrých šipek s akronymy názvů druhů: *Nymphalio*, *Apis mellifera* (*ApisMell*), *Autographa gamma* (*AutoGamm*), *Bombus major* (*BombMajr*), *Bombus lapidarius* (*BombLaps*), *Bombus terrestris/lucorum* (*BombTerr*), *Bombus pascuorum* (*BombPasc*), *Pieris rapae* (*PierRapa*), *Syrphidae* (*Syrphidae*), *Vanessa atalanta* (*VansAtal*), *Vanessa cardui* (*VansCard*), *Xylocopa violacea* (*XylcViol*).

Provedená mnohorozměrná ordinační analýza (RDA) vysvětlila po odfiltrování efektu kovariát 15,4 % variability v druhových datech ( $F = 14,3$ ;  $p = 0,001$  pro všechny ordinační osy). Společenstva opylovačů se vzájemně průkazně lišila dle denní doby provedeného vzorkování (AM i PM  $F = 41,1$ ;  $p = 0,0025$ ). Naopak efekt denní doby testovaný v interakci se vzdáleností vzorkovací plochy od okraje pole nebyl signifikantní (PM \* vzdálenost-okraj  $F=1,1$ ;  $P=0,20813$ ; AM \* vzdálenost-okraj  $F=0,8$ ;  $P=0,29096$ ).

Nejdelší gradient v druhových datech je na grafickém výstupu RDA modelu patrný podél horizontální ordinační osy a reprezentuje odlišnost v hlavním rozložení denní aktivity druhů při návštěvách svazkové kultury. Zástupci čeledi *Syrphidae* byli zjištěni na květech především v dopoledních hodinách. Naproti tomu, v odpoledních hodinách převažovali především zástupci blanokřídlých (čmeláci s výjimkou *Bombus*

*pascuorum*) a denních motýlů. Zástupci čeledi Syphidae byli v dopoledních hodinách zaznamenáváni ve větší vzdálenosti od okraje, než další zjištěný zástupce dvoukřídlých *Bombylius major*. Odpoledne se v největší vzdálenosti od okraje nacházely dva druhy čmeláků *Bombus lapidarius* a *Bombus terrestris/lucorum*.



## 5 Diskuze

Svazenka vratičolistá je oblíbenou zemědělskou plodinou posledních dekád (Wilczewski a Skinder 2005, Titov a Mamonov 2013), především pro svůj rychlý růst a pozitivní vliv na půdu. Vedle toho je však i velice oblíbenou nektaro- a pylodárnou plodinou pro různé druhy opylovačů. Plochy svazenky tak mohou tvořit bohatý zdroj potravy, pro velké množství hmyzu, který je navštěvuje.

Experiment, který probíhal na kultuře svazenky na přelomu června a července ukázal strukturu celého společenstva opylovačů svazenky. Druhé zastoupení se výrazně nelišilo oproti zjištění z jiných studií. Zástupci včely medonosné (*Apis mellifera*) a čmeláků (šlo o druhy *Bombus hortorum*, *Bombus hypnorum*, *Bombus lapidarius*, *Bombus lucorum*, *Bombus pascuorum* a *Bombus terrestris*) jasně dominovali celému prostředí a ukázalo se tedy, že pole svazenky jsou pro ně vhodné zdroje potravy (Jabłoński a Skowronek 1983, Williams a Christian 1991, Westphal et al. 2003, Kumova a Korkmaz 2013). Vedle nich se také potvrdilo, že svazenka je ideální rostlinou i pro další druhy blanokřídlých a to solitérní druhy včel jako je *Anthidium manicatum*, *Megachile rotundata*, *Osmia rufa*, *Rhopitoides canus* a *Xylocopa violacea* (Williams 2003). Stejně očekávaně se zde nacházeli další výrazní opylovači a to motýli, jako *Autographa gamma*, *Nymphalis io*, *Pieris rapae*, *Vanessa atalanta* a *Vanessa cardui* (Steffan-Dewenter a Tscharrntke 1997). Pozorování také potvrdila atraktivnost porostů svazenky pro rody dvoukřídlých z čeledi pestřenek, jako jsou *Episyrphus*, *Sphaerophoria*, *Syrphus* a *Volucella* (Laubertie et al. 2012, Wojciechowicz-Żytka a Wnuk 2012).

### 5.1 Srovnání dvou metod sběru dat: fyzického sčítání/individuálních sběrů a Moerického misek

Ke vzorkování společenstev opylovačů jsem použil dvě ze všeobecně používaných metod sběru (cf. Monsevičius 2004, Wilson et al. 2008) - individuální sběr zástupců opylovačů na vzorkovacích plochách definované velikosti a odchyt pomocí Moerického žlutých misek (Moericke 1951). Vycházel jsem přitom z předpokladu, že jednotlivé metody mohou zachytit odlišné spektrum opylovačů (Šrámková a Benda 2016), což se také potvrdilo. Fyzické sčítání se ukázalo být vhodnou metodou pro určení počtů sociálních druhů opylovačů, jako jsou čmeláci a včela medonosná. Zástupců těchto taxonů bylo napočítáno během celého experimentu přes 16 937, což tvořilo skoro 98 % všech fyzicky spočítaných jedinců. Naproti tomu u misek byla

procentuální úspěšnost odchyty těchto skupin mnohem nižší (24,59 %). To by mohlo být způsobeno tím, že pro dominantní opylovače použité žluté misky na fialovém pozadí masově kvetoucí svazenky nepředstavovaly dostatečně atraktivní cíl - jelikož se čmeláci soustředili na fialové květy svazenky, nebyli atrahováni odlišnou barvou misky („květu“) svazenky (Woodward a Laverty 1992). Stejně vhodnou metodou bylo fyzické sčítání i pro motýly (213 jedinců *vers.* 10 z misek), kteří jsou stejně jako sociální blanokřídlí snadno rozpoznatelnými druhy pozorovatelnými i běžným okem. Individuální sčítání během pochůzky kulturou svazenky naopak nebylo adekvátní metodou pro zachycení druhové bohatosti menších, rychle se pohybujících opylovačů, jako jsou pestřenky či drobné druhy samotářsky žijících včel. Tyto skupiny během individuálního sčítání jedinců buď nebyly vůbec zjištěny či byly výrazně podhodnoceny (drobné druhy včel), anebo sice byly vizuálně zjištěny, avšak vzhledem k rychlému pohybu nebyly odchyceny pro determinaci na nižší taxonomickou úroveň (pestřenky). Právě metoda Moerickeho misek se tak ukázala jako vhodný způsob pro odchyt a přesnější determinaci drobných soliterních druhů opylovačů. Tyto druhy jasně dominovaly výsledkům z misek, a tvořily 73,05 % ze všech chycených opylovačů. Nutno však dodat, že celková úspěšnost odchyty miskami, nebyla tak vysoká, jak jsem předpokládal na základě obdobných studií jiných autorů (Westphal et al. 2003, Wilson et al. 2008). Opylovači zde byli zastoupeni pouhými 423 jedinci při expozici 25 misek po dobu 18 dní a pěti výběrů. Je možné, že na vině bylo vícero faktorů. Jak již bylo zmíněno na příkladu čmeláků, misky nemusely být v poli svazenky tak lákavé, aby přitáhly dostatečné množství opylovačů. Zároveň pro některé druhy mohou být atraktivní pouze některé barvy (Toler 2005).

## 5.2 Vhodnost prostředí pro opylovače

RDA analýza individuálních sběrů vyšla průkazně z hlediska vlivu zastoupení nevhodného prostředí do 200 m od vzorkovacích ploch. Kategorizace míry vhodnosti prostředí byla primárně provedena na základě ekologických nároků čmeláků, ale předpokládal jsem, že obdobné parametry prostředí mohou určovat jeho vhodnost také pro další opylovače. U sociálních opylovačů *Apis mellifera* a čmeláků *Bombus Lapidarius* a *Bombus Terrestris/lucorum* se ukázalo, že prostředí do 200 m pro ně má význam. To může být ale dáno pouze jen tím, že v okolí nebyl žádný jiný potravní zdroj a druhům tedy nezbývalo než létat na masově kvetoucí rostliny.

Naopak pestřenky (čeled' Syrphidae) vykazovaly silnou negativní odpověď k vzrůstající proporcii nevhodného prostředí v okruhu nejbližších 200 m od

vzorkovacích míst (Obr. 5). Pestřenky, coby malé a individuálně žijící druhy hmyzu, zjevně „čtou prostředí“ jinak, na menší prostorové škále, než sociální druhy včelovitých blanokřídlých. Uvedený jev lze interpretovat i jako absenci/nedostatek vhodného prostředí pro výskyt nejen dospělců pestřenek, ale především jejich larválních stádií (imobilní, odlišné biotopové i potravní nároky než dospělci). Například u druhů, jejichž larvy se živí mšicemi, může zřejmě okolní prostředí hrát roli i kvůli nedostatku vhodných rostlin mšicemi. V jejich blízkosti dospělé samičky kladou vajíčka (Wojciechowicz-Żyto a Wnuk 2012), tedy taková prostředí vyhledávají. Lze tedy předpokládat, že pestřenky neshbíraly potravu tak hojně v částech pole, které navazovaly na prostředí s větším zastoupením nevhodných ploch.

### **5.3 Vliv denní doby na rozložení opylovačů na kultuře svazenky vratičolisté**

Jeden z výchozích předpokladů předkládané bakalářské práce byl, že chování opylovačů (resp. distribuci) různých druhů na poli by mohla být ovlivněna denní dobou. Tento předpoklad potvrdily výsledky provedené RDA analýzy (Obr. 6). Ta poukázala na odlišnou denní aktivitu různých skupin opylovačů. Z pozice druhů v ordinačním prostoru lze vyvodit i trendy časoprostorové variability výskytu různých taxonů opylovačů. Například včely (*Apis mellifera*), velké druhy čmeláků s vazbou na otevřená, výslunná stanoviště (*Bombus lapidarius* a *B. terrestris*) a denní motýli vykazovali maximum sběrové aktivity v odpoledních hodinách, přičemž oba druhy čmeláků zalétaly nejdál do středu pole. Denní motýli patří mezi silně heliofilní druhy, potřebují nejprve naakumulovat dostatek tepla k tomu, aby byli schopni letu. To vysvětluje aktivitu většiny druhů této skupiny až po poledni, kdy už mohou být nektaria na okrajích pole prázdná. V této souvislosti je vhodné si povšimnout nejsilnějšího trendu u nejsvětleji zbarveného motýla (*Pieris rapae*). Zmiňovaný trend u čmeláků zřejmě reflektuje fakt, že v teplých červnových dnech nektar rychle ubývá (i ráno je dost teplo pro aktivitu části nektarofágních druhů, např. Syrphidae), nadto se při vyšších teplotách může objem nektaru v květu zmenšovat i prostým vypařováním, což může vést až k jeho vysrážení (Corbet 1979). Pokud jsou v okrajových částech pole květy již zbaveny částí nektaru časnějšími konzumenty, vysvětluje to odpolední přítomnost čmeláků v částech plochy dál od okrajů. Pro čmeláky také může být let v pozdější době díky příhodnějším teplotám méně náročný, a proto mohou doletět dále (Corbet et al. 1993). Pouze u jednoho studovaného taxonu byly výsledky na první pohled odlišné. Zástupci čeledi Syrphidae byli na rostlinách aktivnější v ranních hodinách. Pestřenky

patří mezi menší druhy opylovačů, tudíž mají v poměru k objemu těla větší povrch (např. ve srovnání s čmeláky), což znamená i možnost rychlejší akumulace tepla z dopadajícího slunečního záření. Jedinci tak mohou být schopni aktivovat dříve. Komplementární vysvětlení nabízí studie Herrery (1990), který argumentuje, že se tyto druhy mohou vyhýbat extrémně vysokým teplotám letního odpoledne, kdy by mohly trpět značným přehříváním organismu (Herrera 1990).

#### **5.4 Prostorová distribuce opylovačů v kultuře svazenky vratičolisté**

Podle výše uvedené předpokládané hypotézy jsem očekával sestupný trend v abundanci opylovačů od okraje pole k jeho středu. Tento trend byl testován mnohorozměrnými ordinačními analýzami jak pro misky (CCA), tak pro individuální sběr opylovačů (RDA). Ani jedna z analýz ho však neprokázala na úrovni celého společenstva opylovačů. Je ovšem možné předpokládat, že důležitým faktorem pro tento trend by mohla být velikost dané plochy. Jak ukázaly dílčí GLM modely pro misky, očekávaný pokles abundance existuje u dvou sledovaných taxonů, a to pestřenky *Sphaerophoria scripta* a skupiny solitérních včel. To by mohlo být způsobeno tím, že jak solitérní včely, tak pestřenky mohou sát i nektar z květů, které jsou již téměř vyprázdněny, tj. takové, které již opylovači, jako třeba čmeláci vynechávají (Heinrich 1979, Gilbert 1983). Z toho důvodu by mohli zástupci těchto druhů stále profitovat i na okrajích, také díky nižší konkurenci s kompetičně zdatnějšími, většími druhy opylovačů, tudíž nelétají dále do středu. Také se domnívám, že nenalezení očekávaných trendů v případě sociálních druhů opylovačů (čmeláci, včely medonosné) mohou být způsobeny velikostí pozemku. Sociální druhy hmyzu potřebují k pokrytí potravních nároků celé hnízdní populace velké množství zdrojů (Cueva del Castillo et al. 2015). Sledované denzity čmeláků a včel na vzorkovacích plochách dokládají značnou atraktivitu pole svazenky, coby vydatného potravního zdroje. Tento zdroj může lákat opylovače z širokého okolí, kteří si následně o potravu konkurují. Plocha o výměře zhruba 2,5 ha by nemusela být dostatečně velká, aby se na ní očekávaný gradient projevil. Očekávaný trend také mohl zaniknout v důsledku ne zcela symetrického růstu a kvetení svazenky. Blíže ke středu plochy byl porost svazenky hustší, zapojenější, také denzita květů byla zřejmě vyšší (*pers. observ.*), a tedy i lepším zdrojem potravy pro opylovače. Při východním okraji plochy (u železničního koridoru) svazenka dokonce tvořila pás smíšeného porostu s hořčicí setou (*Sinapis alba*), což mohlo snižovat atraktivitu této části pole pro opylovače a ovlivnit tak výsledky (Woodward a Laverty 1992). A to i přesto, že do smíšeného porostu s hořčicí sice nebyly misky instalovány,

ani prováděn individuální sběr, je však možné, že to mohlo mít vliv na přilet některých opylovačů přímo ve svazence. Nutno také poznamenat, že, prostřednictvím misek bylo odchyceno poměrně nízké množství jedinců, tudíž je možné, že k neprůkaznosti experimentu mohlo vést nedostatečné množství dat.

## 6 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval strukturou společenstev opylovačů svazenky vratičolisté (*Phacelia tanacetifolia* Benth) a tím, zda a případně jak se mění jejich distribuce napříč polem a v průběhu dne. Zjistil jsem, že porost svazenky je atraktivní pro různé druhy opylovačů, jako jsou čmeláci, včela medonosná, motýli, pestřenky a solitérní druhy včel. Společenstvo opylovačů bylo vzorkováno dvěma metodami odchytu hmyzu. Individuální sběry se ukázaly být vhodnou metodou vzorkování sociálních opylovačů (čmeláci a včely) a denních motýlů. Moerickeho misky byly vhodné z hlediska přesnější determinace druhů a zachycení méně nápadných skupin hmyzu s menší tělesnou velikostí, jako jsou pestřenky a samotářské včely.

Pro sledované území a získaná data o výskytu opylovačů byla provedena RDA analýza testující vliv faktorů vhodnosti okolního prostředí z hlediska zastoupení různých vhodných ploch pro výskyt opylovačů a také faktor pozice misky v porostu svazenky. Model průkazně vysvětloval variabilitu společenstev opylovačů, nicméně signifikantní vliv měla pouze proporce zastoupení nevhodného prostředí v okruhu 200 m. Zatímco někteří sociální opylovači (*Bombus terrestris*, *B. lapidarius*) vykazovali pozitivní odezvu, skupina pestřenek (Syrphidae) reagovala na rostoucí zastoupení nevhodných ploch poklesem abundancí. Z uvedeného je zřejmé, že malé druhy opylovačů, „čtou prostředí“ jinak, na menší prostorové škále, než velké druhy.

Dalším testovaným předpokladem bylo, že distribuce různých druhů na poli může být ovlivněna denní dobou. Tento trend byl provedenou RDA analýzou potvrzen. Včela medonosná, čmeláci a denní motýli vykazovali maximum sběrové aktivity v odpoledních hodinách, přičemž oba nejhojnější druhy čmeláků (tj. *B. terrestris* i *B. lapidarius*) zalétaly nejdál do středu pole. Důvodem mohlo být, že díky opylovačům a klimatickým podmínkám (teplo, sucho) mohly být květy v odpoledních hodinách na okraji pole již vyčerpány a opylovači museli zalétat dále do pole. Naopak zástupci čeledi Syrphidae byli na rostlinách aktivnější v ranních hodinách, což může být dáno jejich malou tělesnou velikostí s vysokým poměrem plochy povrchu těla ku objemu a tím i rychlejším ohřevem těla slunečními paprsky oproti hmotnějším druhům.

Dalším předpokladem byl pokles abundancí opylovačů směrem od okraje pole do jeho středu. Ten se však na úrovni celého společenstva (RDA model) nepotvrdil. Pomocí GLM jsem však individuálně zjistil tento trend u dvou skupin, a to u samotářských včel a pestřenky psané (*Sphaerophoria scripta*). Absenci obdobného trendu u klíčových skupin opylovačů (*Bombus* spp., *Apis mellifera*) lze vysvětlit

nedostatečnou velikostí plochy svazenky, jež může vést ke vzájemné kompetici o zdroje nektaru a tím i využívání vzdálenějších částí pole (tj. dál od jeho okrajů).

## 7 Literatura

- AMBROSINO M. D., LUNA J. M., JEPSON P. C., WRATTEN S. D. 2006. Relative Frequencies of Visits to Selected Insectary Plants by Predatory Hoverflies (Diptera: Syrphidae), Other Beneficial Insects, and Herbivores Environ. Entomol. 35(2): 394–400.
- AGUIAR A. P., SHARKOV A. 1997. Blue pan traps as a potential method for collecting Stephanidae (Hymenoptera). Journal of Hymenoptera Research, 6:422–423.
- CRESSWELL J. E., OSBORNE J. L., GOULSON D. 2000. An economic model of the limits to foraging range in central place foragers with numerical solutions for bumblebees. Ecological Entomology. 25(3): 249–255.
- CORBET S. A., WILLMER P. G., BEAMENT J. W. L., UNWIN D. M., PRŶS-JONES O. 1979. Post-secretory determinants of nectar sugar concentration. Plant Cell and Environment. 2: 239–308.
- CORBET S. A., WILLIAMS I. H., OSBORNE J. L. 1991. Bees and the pollination of crops and flowers in the European Community. Bee World. 72: 47–59.
- CORBET S. A., FUSSELL M., AKE R., FRASER A., GUNSON C., SAVAGE A., SMITH K. 1993. Temperature and the pollinating activity of social bees. Ecological Entomology. 18: 17–30.
- CUEVA DEL CASTILO R., SANABRIA-URBÁN S., SERRANO-MENESES M. A. 2015. Trade-offs in the evolution of bumblebee colony and body size: a comparative analysis. Ecology and evolution. 5(18): 3914–3926.
- DARVILL B., KNIGHT M. E., GOULSON D. 2004. Use of genetic markers to quantify bumblebee foraging range and nest density. Oikos. 107: 471–478.
- DENNIS, R. H. L. (Editor). 1992. The ecology of butterflies in Britain. Oxford University Press. 354 s. ISBN 0198540256
- DOVER J. W., SPARKS T. H., GREATORIX-DAVIES J. N. 1997. The importance of shelter for butterflies in open landscapes. Journal of Insect Conservation. 1: 89–97.
- DRAMSTAD W. E. 1996. Do bumblebees (Hymenoptera: *Apidae*) really forage close to their nests? Journal of Insect Behavior, 9: 163–182.
- DRAMSTAD W. E., FRY G. L. A., SCHAFFER M. J. 2003. Bumblebee foraging—is closer really better? Agriculture, Ecosystems and Environment. 95: 349–357.
- ELLINGTHON C. P., MACHIN K. E., CASAEY T. M. 1990. Oxygen consumption of bumblebees in forward flight. Nature. 347: 472–473.
- FUSSELL M., CORBET S. A. 1991. Forage for bumble bees and honey bees in farmland: a case study. Journal of Apicultural Research. 30: 87–97.
- GATHMANN A., TSCHARNTKE T. 2002. Foraging ranges of solitary bees. Journal of Animal Ecology. 71: 757–764.
- GILBERT F. S. 1983. The foraging ecology of hoverflies (Diptera, Syrphiadea): circular movement on composite flowers. Behavioral Ecology and Sociobiology. 13: 253–257.
- GILBERT F. S., HAINES N., DICKSON K. 1991. Empty flowers. Functional Ecology. 5: 29–39.
- GOULSON D., STOUT J. 2001. Homing ability of the bumblebee *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). Apidologie, Springer Verlag, 32(1): 105–111.
- GOULSON D., HAWSON S. A., STOUT J. C. 1998. Foraging bumblebees avoid flowers already visited by conspecifics or by other bumblebee species. Animal Behaviour. 55: 199–206.



- HARRISON S., BRUNA E. 1999. Habitat fragmentation and large-scale conservation: what do we know for sure? *Ecography*. 22: 225–232.
- HEINRICH B. 1975. Energetics of pollination. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 6: 139-170.
- HEINRICH B. 1979. Resource heterogeneity and patterns of movement in foraging bumblebees. *Oecologia*. 40: 235–246.
- HEINRICH, B. 1996. *The Thermal Warriors*. Harvard University Press, Cambridge. 221 s.
- HERRERA, C. M. 1990. Daily patterns of pollinator activity, differential pollinating effectiveness, and floral resource availability, in a summer-flowering Mediterranean shrub. - *Oikos* 58: 277-288.
- HOLZSCHUH A., DORMANN C. F., TSCHARNTKE T., STEFFAN-DEWENTER I. 2011. Expansion of mass-flowering crops leads to transient pollinator dilution and reduced wild plant pollination. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 1–8. (publikováno online)
- HU S., DILCHER D. L., JARZEN D. M., TAYLOR D. W. 2008. Early steps of angiosperm–pollinator coevolution. *PNAS Early Edition* 105(1): 240–245.
- JABŁOŃSKI B., SKOWRONEK J. 1983. Pszczelarska i rolnicza wartość facelii błękitnej (*Phacelia Tanacetifolia Benth.*) i gorczyca białej (*Sinapis Alba L.*) w siewach poplonowych. *Pszczelnictwo zaszyty naukou*. 17: 111–125.
- KEARNS C. A., INOUE D. W., WASER N. 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant–pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 29: 83–112.
- KEVAN G. P. 1972. Floral colors in the high arctic with reference to insect-flower relations and pollination. *Canadian Journal of Botany*. 50(11): 2289–2316.
- KEVAN P. G., BAKER H. G. 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*. 28: 407–53.
- KLEIN, A.M., VAISSIE B.E., CANE J. H., STEFFAN-DEWENTER I., CUNNINGHAM S. A., KREMEN C., TSCHARNTKEL T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 274: 303–313.
- KNIGHT M. E., MARTIN A. P., BISHOP S., OSBORNE J. L., HALE R. J., SANDERSON R. A., GOULSON D. 2005. An interspecific comparison of foraging range and nest density of four bumblebee (*Bombus*) species. *Molecular Ecology*. 14: 1811–1820.
- KUMOVA U., KORKMAZ A. 2013. The Research on determination of flowering phenology of *Phacelia* (*Phacelia tanacetifolia* Benth) and its nectar and pollen potential. *Mollifera*. 13(25): 30–40.
- LAUBERTIE E. A., WRATTEN, S. D., HEMPTINNE J.-L. 2012. The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness. *Biological Control*. 61: 1–6.
- LEGENDRE P., ANDERSON M. J. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs*. 69: 1–24.
- LIHOREAU M., CHTITTKA L., RAINE N. E. 2011. Trade-off between travel distance and prioritization of high-reward sites in traplining bumblebees *Functional Ecology*. 25: 1284–1292.
- LUNDBERG, H. 1980. Effects of weather on foraging-flights of bumblebees (Hymenoptera, Apidae) in a subalpine/alpine area. *Holarctic Ecology*. 3: 104–110.

- MOERICKE V. 1951. Eine Farbfalle zur Kontrolle des Fluges von Blattläusen, insbesondere der Pflirsichblattlaus, *Myzodes persicae* (Sulz.). Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. 3: 23–24
- MONSEVIËIUS V. 2004. Comparison of three methods of sampling wild bees (Hymenoptera, Apoidea) in Èepkeliai Nature Reserve (South Lithuania). *Ekologija*. 4: 32–39.
- MULLIGAN, G. A., KEVAN, P. G. 1973. Color, brightness and other floral characteristics attracting insects to the blossoms of some Canadian weeds. *Canadian Journal of Botany*. 51: 1939–52.
- NIEDOBOVÁ J., ŘEZNIČKOVÁ P. 2014. Odchytové a odběrové metody bezobratlých. 1. vydání. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 72 s. ISBN 978-80-7375-983-4.
- NOVÁK K. (Editor). 1969. Metody sběru a preparace hmyzu. Academia, Praha. 243 s.
- ÖCKINGER E., SMITH H. G. 2007. Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*. 44: 50–59.
- OLLERTON J., WINFREE R., TARRANT S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Nordic Society Oikos* 120: 321–326.
- OSBORNE J.L., CLARCK S.J., MORRIS R.J., WILLIAMS, I.H., RILEY J.R., SMITH A.D., REYNOLDS D.R., EDWARDS A.S. 1999. A landscape scale study of bumble bee foraging range and constancy, using harmonic radar. *Journal of Applied Ecology*, 36: 519–533.
- PATON A., BRUMMITT J. N., GOVAERST R., HARMAN K, HINCHCLIFFE S., ALLKIN B., LUGHADHA E. N. 2008. Towards target 1 of the global strategy for plant conservation: a working list of all known plant species - progress and prospects. *Taxon*. 57: 602–611.
- PEÑALVER E., LABANDEIRA C. C., BARRÓNA E., DELCLOSD X., NELE P. NELE A. TAFFOUREAUF P., SORIANOF C. 2012. Thrips pollination of Mesozic Gymnosperms. *PNAS Early Edition*, 109(22): 8623–8628.
- PLESÍK J., STAŇKOVÁ J. (editoři). 2001. Status of Biological Resources and Implementation of the Convention on Biological Diversity in the Czech Republic. First Report. Ministry of the Environment of the Czech Republic, Prague, 72 s.
- PYKE G. H. 1984. Optimal foraging theory: A critical review. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 15:523–75.
- PUŠKADIJA Z., EDITA Š., MIJIĆ A., ZDUNIĆ Z., PARADŽIKOĆ N., FLORIJAŇIĆ T., OPAČAK A. 2007. Influence of weather conditions on honeybee visits (*Apis mellifera carnica*) during sunflower (*Helianthus annuus* l.) blooming period. *Agriculture*, 13(1): 230-233.
- SHELLY T. E., BUCHMANN S. L., VILLALOBOS E. M., O'ROURKE. 1991. Colony ergonomics for a desert-dwelling bumblebee species (Hymenoptera: Apidae). *Ecological Entomology*. 16: 361–370.
- STEFFAN-DEWENTER I., TSCHARNTKE T. 1997. Early succession of butterfly and plant communities on set-aside fields. *Oecologia*. 109: 294–302
- STEFFAN-DEWENTER I., MÜNZENBERG U., BÜRGER C., THIES C., TSCHARNTKE T. 2002. Scale-dependent effects of landscape structure on three pollinator guilds. *Ecology*. 83: 1421–1432.

- SVENNSON B., LAGERLO J., SVENNSON B. G. 2000. Habitat preferences of nest-seeking bumble bees (Hymenoptera: Apidae) in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 77: 247–255.
- ŠRÁMKOVÁ A., BENDA D. Druhová diverzita žahadlových (Hymenoptera: Aculeata) v nektarodárném biopásu: srovnání tří entomologických metod. 22 In: MAZALOVÁ M. & KURAS T. (editoři). 2016. *Blanokřídli v českých zemích a na Slovensku - 12*, sborník z konference konané ve dnech 10.-12. června 2016, Horka nad Moravou, 28 s.
- TER BRAAK, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 67: 1167-1179.
- TITOV, V. N., MAMONOV, A. N. 2013. Role of sweetclover and phacelia in agriculture ecology improvement for droughty leet-bnk areas of Saratov region. *Doklady Rossiiskoi Akademii Sel'skokhozyaistvennykh Nauk*. 3: 33–36.
- TERÄS, I. 1976. Flower visits of bumblebees, *Bombus* Latr. (Hymenoptera, *Apidae*), during one summer. *Ann. Zool. Fennici*. 13: 200–232.
- TOLER T. R., EVANS E. W., TEPEDINO V. J. 2005. Pan-trapping for bees (Hymenoptera: Apiformes) in Utah's West Desert: the importance of color diversity. *The Pan-Pacific Entomologist*. 81: 103–113.
- WASER, N. M., CHITTKA, L., PRICE M. V., WILLIAMS N. M., OLLERTON J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*. 77: 1043–1060.
- WELLS H., WELLS P. H. 1986. Optimal diet, minimal uncertainty and individual constancy in the foraging of honeybees, *Apis mellifera*. *Journal of Animal Ecology* 55: 881–891.
- WESTPHAL C., STEFFAN-DEWENTER I., TSCHARNTKE T. 2003. Mass-flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters*. 6: 961–965.
- WESTPHAL C., STEFFAN-DEWENTER I., TSCHARNTKE T. 2006. Foraging trip duration of bumblebees in relation to landscape-wide resource availability. *Ecological Entomology*. 31: 389–394.
- WESTPHAL C., BOMMARCO R., CARRE', G. LAMBORN, E. MORISON N. et al. 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs*, 78: 654–671.
- WESTPHAL C., STEFFAN-DEWENTER I., TSCHARNTKE T. 2009. Mass flowering oilseed rape improves early colony growth but not sexual reproduction of bumblebees. *Journal of Applied Ecology*, 46: 187–193.
- WILSON J. S., GRISWOLD T., MESSINGER O. J. 2008. Sampling Bee Communities (Hymenoptera: Apiformes) in a Desert Landscape: Are Pan Traps Sufficient? *Journal of the Kansas entomological society*. 81(3):288–300.
- WILCZEWSKI E., SKINDER Z. 2005. Zawartość i akumulacja makroskładników w biomasie roślin niemotylikowatych uprawianych w międzyplonie ścierniskowym. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 4(1): 163-173.
- WILLIAMS N. M. 2003. Use of novel pollen species by specialist and generalist solitary bees (Hymenoptera: Megachilidae). *Oecologia*. 134: 228–237.

- WILLIAMS I. H., CHRISTIAN D. G. 1991. Observations on *Phacelia tanacetifolia* Bentham (Hydrophyllaceae) as a food plant for honey bees and bumble bees. *Journal Of Apicultural Research*. 30(1): 3-12.
- WOODWARD G. L., LAVERTY, T. M. 1992. Recall of flower handling skills by bumblebees: a test of Darwin's interference hypothesis. *Animal Behaviour*. 44: 1045–1051.
- WOJCIECHOWICZ-ŻYTKO E., WNUK A. 2012. The occurrence of *Syrphidae* in *Aphis fabae* Scop. (Hemiptera) colonies on broad bean intercropped with *Phacelia* (Part II). *Journal of Plant Protection Research*. 52(2): 196–201.
- WNUK A., WOJCIECHOWICZ-ZYTKO E., WALIGORA U. 2009. Atrakcyjność kwiatów facelii błękitnej (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) w przywabianiu mszycożernych bzygowatych (Diptera, *Syrphidae*). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 539(2): 743–751.
- WRIGHT G. A., SCHIESTL F. P., 2009. The evolution of floral scent: the influence of olfactory learning by insect pollinators on the honest signalling of floral rewards. *Functional Ecology*. 23: 841–851.
- ZIMNA J. 1959. Facelia błękitna jako roślina miododajna (*Phacelia tanacetipholia* Benth.). *Pszczelnicze Zeszyty Naukowe*. 3: 77–102.