



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
PEDAGOGICKÁ FAKULTA  
KATEDRA BIOLOGIE**

**Potravní preference mravenců r. *Formica* na semenech s  
elaiozómy**

Tomáš Englický

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Božena Šerá, Ph.D.

2016

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne .....

.....

Tomáš Englický

Poděkování:

Touto formou děkuji RNDr. Boženě Šeré, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za čas, který mi věnovala, za odbornou pomoc a v neposlední řadě za velkou dávku trpělivosti.

Dále děkuji Bc. Ondřeji Hornychovi, studentu Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, za pomoc při statistickém vyhodnocení získaných dat.

## **Abstrakt**

Předmětem této bakalářské práce je zjistit, zda mravenci rodu *Formica* preferují některé z druhů semen s elaiozómy. Přenos semen s elaiozómy mravenci se nazývá myrmekochorie. V teoretické části této práce je popsán fenomén myrmekochorie, který je zde zasazen do kontextu problematiky šíření semen. V závěru teoretické části je zhodnoceno, že i přes některé nevýhody přináší myrmekochorie mravencům i rostlinám značné zisky.

V praktické části této bakalářské práce je popsán pokus, kterým byly zjišťovány preference mravenců. U dvou pokusných mravenišť byla mravencům předkládána semena s elaiozómy celkem pěti pokusných rostlin. Získaná data byla zpracována do tabulek a grafů a následně vyhodnocena. Z výsledků je patrné, že mravenci preferují některé druhy předložených semen. Práce diskutuje, čím je tato preference mravenců způsobena.

## **Abstract**

The topic of the presented bachelor thesis is the determination of the ants g. *Formica* preference for specific seeds with elaiosomes. The ant dispersion of the seeds with elaiosomes is called myrmecochory. The theoretical part of this thesis describes the myrmecochory phenomenon in the context of the seed dispersal. The conclusion of the theoretical part evaluates considerable benefit of myrmecochory for ants and plants despite its disadvantages.

The practical part of this thesis describes the experiment held with the intention to determine the preferences of the ants. The seeds with elaiosomes from five experimental plants were presented to the ants from two experimental anthills. Obtained data were processed into tables and graphs and subsequently evaluated. The results show that the ants prefer certain types of seeds. The cause for this preference is discussed.

# **Obsah**

<b>1. Úvod</b> .....	6
<b>2. Literární rešerše</b> .....	7
<b>2.1 Šíření populace rostlin</b> .....	7
<b>2.2 Myrmekochorní rostliny</b> .....	9
2.2.1 Rozšíření myrmekochorních rostlin ve světě.....	10
<b>2.3 Elaiozomy</b> .....	10
2.3.1 Chemické složení elaiozómů.....	11
2.3.2 Podvodné využití atraktantu.....	11
<b>2.4 Odnos semen mravenci</b> .....	13
<b>2.5 Výhody a nevýhody myrmekochorie</b> .....	14
<b>3. Metodika práce</b> .....	16
<b>3.1 Pokusné rostliny a jejich semena</b> .....	16
3.1.1 Popis pokusných rostlin.....	16
3.1.2 Popis semen pokusných rostlin.....	18
<b>3.2 Sběr a příprava semen</b> .....	20
<b>3.3 Průběh vlastního pokusu</b> .....	21
3.3.1 Popis lokality.....	21
3.3.2 Časový plán sběru dat.....	23
3.3.3 Umístění zásobáren se semeny.....	23
3.3.4 Pozorování sběru semen.....	24
<b>3.4 Zpracování výsledků</b> .....	25
<b>4. Výsledky</b> .....	27
<b>4.1 Počty sebraných semen</b> .....	27
<b>4.2 Počty sebraných semen vztažený na druh rostliny</b> .....	28

4.3 Průměrný počet sebraných semen v závislosti na zásobárně a mraveništi.....	29
4.4 Preference druhů semen v závislosti na zásobárně.....	31
<b>5. Diskuze.....</b>	<b>32</b>
5.1 Preference druhu myrmekochorní rostliny.....	32
5.2 Vliv vzdálenosti a lokality na počet sebraných semen.....	33
5.3 Možnosti budoucího využití získaných výsledků.....	33
<b>6. Závěr.....</b>	<b>35</b>
<b>7. Použitá literatura.....</b>	<b>36</b>

# 1. Úvod

Myrmekochorie je mutualistický vztah mezi mravenci („*myrmeco*” – odvozeno od slova mravenec) a rostlinami. Zralá semena tzv. myrmekochorních rostlin jsou mravenci rozšiřována („*chory*” – odvozeno od slova roznoš - šíření). Myrmekochorie je tedy jedna ze strategií rostlin, jak šířit semena, a tedy rozšiřovat populaci. Myrmekochorní rostliny jsou definovány jako takové rostliny, které na svých semenech produkují elaiozómy (česky také někdy označovány jako masíčka). Elaiozómy jsou přívěšky semen bohaté na tuky a další látky, které jsou pro mravence atraktanty. Po objevení tohoto zdroje energie mravenci zpravidla přenášejí semena s elaiozómy do mraveniště. Po konzumaci elaiozómu mravenci semeno většinou vyhodí. Díky tomu jsou semena myrmekochorních rostlin rozšiřována na nová stanoviště (Fenner a Thompson, 2006).

Téma myrmekochorie je svou podstatou průřezové, zasahuje do oblasti ekologie, botaniky a zoologie. Možná právě proto nebyla dlouho tomuto tématu věnována v publikacích dostatečná pozornost. V současnosti zájem o tento fenomén roste. Většina autorů (např. Boieiro a kol., 2012) se však zabývá tímto ekologickým vztahem mezi mravenci a rostlinami v oblasti tropické a subtropické. To je dáno převážným výskytem myrmekochorie právě v těchto oblastech, jak uvádějí Lengyel a kol. (2010), kteří se ve své publikaci zabývali rozšířením myrmekochorních rostlin. Myrmekochorie v oblasti střední Evropy tak nabízí mnoho možností pro zjišťování nových skutečností týkajících se tohoto tématu.

V této bakalářské práci se zabývám myrmekochorií, kterou nejprve v teoretické části práce zasazuji do kontextu ekologického tématu šíření semen rostlin. Dále se v literární rešerši zabývám myrmekochorií v oblasti střední Evropy. V závěru literární rešerše uvádím hlavní výhody tohoto vztahu pro mravence i myrmekochorní rostliny. V praktické části bakalářské práce se věnuji průběhu a vyhodnocení vlastního pokusu.

Cílem praktické části této bakalářské práce je terénním pokusem ukázat, zda mravenci rodu *Formica* preferují některé z předložených semen s elaiozómy. Provedený základní pokus má za cíl ukázat možnou metodickou cestu k provádění podobných pokusů. Celá praktická část bakalářské práce je koncipována tak, aby na ní bylo možné navázat buď dalšími pokusy, nebo upravením provedeného pokusu pro didaktické využití ve školní praxi.

## 2. Literární rešerše

### 2.1 Šíření populace rostlin

Podmínkou růstu a šíření populace rostlin je úspěšné uchycení a vyklíčení semene. V kontextu šíření populace rostlin se většinou používá obecného termínu semeno, proto je tohoto termínu užíváno i v této práci. Z morfologického hlediska se však může jednat o plod. Rostliny se můžou šířit nejen generativními orgány, ale i orgány vegetativními. V takovém případě se pak používá obecný termín diaspora. Diasporou rozumíme jakýkoli oddělený orgán, schopný vyrůst v novou rostlinu, jak uvádí Slavíková (1986).

Semeno se od mateřské rostliny dostává do různé vzdálenosti, odborně se tato vzdálenost nazývá disperzní vzdálenost (Gurevitch, 2006). Disperzní vzdálenost závisí na morfologii a charakteru semene a na způsobu, kterým je semeno rozšiřováno. Způsobů šíření semen je několik a jsou pro ně zavedeny specifické termíny.

**Anemochorie** je šíření semen pomocí vzdušných proudů. Anemochorní rostliny pak dělíme do několika kategorií. Nejběžnější kategorií anemochorních rostlin jsou „letci“, jejichž jednotlivá semena jsou roznášena vzdušnými proudy. V případě takového způsobu šíření semen lze očekávat přímou závislost disperzní vzdálenosti na hmotnosti semen. Tato závislost je však značně posunuta morfologií semene, ovlivňující let (Slavíková, 1986). Řada anemochorních rostlin označených jako „letci“ má svá semena opatřena chmýrem, jako například pampeliška lékařská (*Taraxacum officinale*), nebo pcháč oset (*Cirsium arvense*). Další morfologickou adaptací semen pro šíření pomocí větru je křídélko, nebo blanitý lem. Semena s křídélky vytváří například bříza bělokorá (*Betula pendula*), nebo olše lepkavá (*Alnus glutinosa*). Blanitým lemem jsou opatřena semena křídlatce trojlístého (*Ptelea trifoliata*), nebo javoru klenu (*Acer pseudoplatanus*), jak uvádějí Opravil a Drchal (1987). Další kategorií anemochorních rostlin jsou pak „běžci“, kteří šíří svá semena spolu s celou rostlinou. V době zralosti semen se lehké a křehké lodyhy „běžců“ ulomí a celá rostlina je pak větrem kutálena, přičemž rozšiřuje svá semena. Příkladem „běžce“ je máčka ladní (*Eryngium campestre*). Tento způsob šíření semen je efektivní zejména na obdělávaných polích a stepích (Lhotská a kol., 1987). Třetí kategorií



anemochorních rostlin jsou „balisté“. Tyto rostliny využívají vzdušných proudů k rozkývání vysoké lodyhy. Zralá semena jsou umístěna zpravidla na horní části lodyhy, ze které jsou při kývání vymršťována. Tento způsob šíření semen je typický pro mák setý (*Papaver somniferum*), nebo diviznu velkokvětou (*Verbascum densiflorum*). Podrobněji se tímto tématem zabývali Opravil a Drchal (1987).

**Hydrochorie** je šíření semen pomocí vody. Semena, která jsou šířena vodou, jsou například uložena v plodu, který vytváří vrstvu vláken vzdušného pletiva. Vzdušné pletivo nadlehčuje plod a umožňuje šíření semene. Tohoto přizpůsobení využívá například kokosovník ořechoplodý (*Cocos nucifera*), nebo lodoicea seychelská (*Lodoicea maldivica*), jak uvádí Attenborough (1996). Dalším přizpůsobením k šíření pomocí vody jsou háčky nebo rýhy, mezi kterými se drží vzduchové bublinky, které nadlehčují semeno. Tento způsob využívá například pryskyřník plazivý (*Ranunculus repens*).

Dalším způsobem šíření semen je **autochorie**. Autochorní rostliny šíří svá semena vlastními silami. Příkladem rostliny, která takto šíří svá semena, je netýkavka malokvětá (*Impatiens parviflora*). Buňky zralých a přitom zelených plodů mají zvýšené vnitřní napětí, které vede k puknutí tobolky. To je doprovázeno prudkým vymršťováním semen. Dalším příkladem autochorie je pumpava obecná (*Erodium cicutarium*), jejíž plodní osiny jsou za sucha v plodu vývrtkovitě stočeny a po navlhčení vymršťují semeno. Ostré semeno se navíc pomocí stáčení plodní osiny zavrtává do země (Lhotská a kol., 1987).

Čtvrtým způsobem šíření semen je **zoochorie** neboli šíření semen pomocí živočichů. Zoochorie je ještě dělena na několik dílčích způsobů šíření semen živočichy. **Epizoochorie** je šíření semen na srsti nebo na peří živočichů. Semena jsou k tomuto způsobu šíření vybavena ostny nebo háčky. Příkladem jsou semena dvouzubce trojdílného (*Bidens tripartita*) nebo kuklíku městského (*Geum urbanum*). Vyobrazení nejružnějších přizpůsobení semen k epizoochorii (i další morfologická přizpůsobení k šíření semen) uvádí ve své knize Sýkora a Hroudová (2009). Epizoochorním způsobem mohou být šířena nejen semena, ale také plody, souplodí, nebo celé rostliny například svízel přítula (*Galium aparine*).

Živočichové mohou také šířit semena rostlin uvnitř svých těl. Takový způsob šíření se nazývá **endozoochorie**. Pro takové šíření většinou rostliny vytváří šťavnaté a pro živočichy lákavé plody, v nichž jsou ukryta semena. Semeno díky tvrdému osemení není v trávicím traktu svého přenašeče natráveno a může být rozšiřováno. Některé druhy rostlin

přímo vyžadují průchod semene trávícím traktem živočichů, aby byla přerušena dormance a semena byla klíčivá (Slavíková, 1986). Mezi takové rostliny patří například bez černý (*Sambucus nigra*) nebo jmelí bílé (*Viscum album*). Specifickými způsoby zoochorie jsou také **antropochorie** neboli šíření semen pomocí člověka a **myrmekochorie**, které je věnován zbytek této bakalářské práce.

## 2.2 Myrmekochorní rostliny

Myrmekochorní rostliny lze podle jejich využívání roznosu semen pomocí mravenců rozdělit na obligátní a fakultativní. Obligátní jsou ty, které využívají myrmekochorii jako jediný způsob rozšiřování semen, např. kopytník evropský (*Asarum europaeum*). Fakultativní využívají i další způsoby šíření svých semen, např. vlaštovičník větší (*Chelidonium majus*). Ovšem takováto kvalifikace myrmekochorních rostlin je z praktického hlediska velmi komplikovaná (Gorb a Gorb, 1999). Některé rostliny také současně využívají myrmekochorii v kombinaci s jiným způsobem šíření semen. Beaumont a kol. (2009) ve své práci popisují australský pryšec *Adriana quadripartita*, který používá kombinaci myrmekochorie a balistického šíření semen, tedy autochorie.

K běžným myrmekochorním rostlinám střední Evropy patří violka vonná (*Viola odorata*), čemeřice smrdutá (*Helleborus foetidus*), dymnivka dutá (*Corydalis cava*), bažanka vytrvalá (*Mercurialis perennis*), jaterník podléška (*Hepatica nobilis*), sasanka hajní (*Anemone nemorosa*), sasanka pryskyřníkovitá (*Anemone ranunculoides*), pryskyřník zlatožlutý (*Ranunculus auricomus*), česnek medvědí (*Allium ursinum*), rozrazil břečťanolistý (*Veronica hederifolia*). Ekologicky se tyto druhy řadí mezi rostliny s jarním efektem. Takové rostliny produkují semena brzy z jara, než dojde k jejich zastínění listy stromů. Semena těchto rostlin jsou produkována v době, kdy je pro mravence nedostatek jiné potravy. Tím je zajištěno dostatečné šíření semen myrmekochorních rostlin (Fenner a Thompson, 2006).

### 2.2.1 Rozšíření myrmekochorních rostlin ve světě

Rozšíření myrmekochorních rostlin potažmo myrmekochorie je ve světě značně nerovnoměrné. Zatímco v Austrálii a jižní Africe se vyskytuje na 1300 druhů takových rostlin, v mírném pásu Evropy je to 260 druhů, jak uvádějí Lengyel a kol. (2010). Takto nepravidelné rozšíření myrmekochorie přičítají odborníci dvěma faktorům. Prvním z nich je nedostatek fosforu a draslíku v půdě. V oblastech chudých na tyto živiny se rostlinám vyplácí investovat do tvorby elaiozómů. Tím přistupují k "lacinému" rozšiřování semen pomocí mravenců. Naopak v oblastech, kde je zmíněných živin v půdě dostatek, je pro rostliny výhodnější investovat do velkých šťavnatých plodů a nechat tak svá semena rozšiřovat pomocí ptáků a savců (Fokuhl a kol., 2012). Druhým faktorem, zapříčiňujícím nepravidelné rozšíření myrmekochorie, je mnohem vyšší druhová rozmanitost mravenců v tropických a subtropických oblastech. Tyto oblasti jsou druhově bohatší, neboť většina mravenců potřebuje pro svou tělesnou aktivitu velké množství tepla (Žďárek, 2015).

### 2.3 Elaiozómy

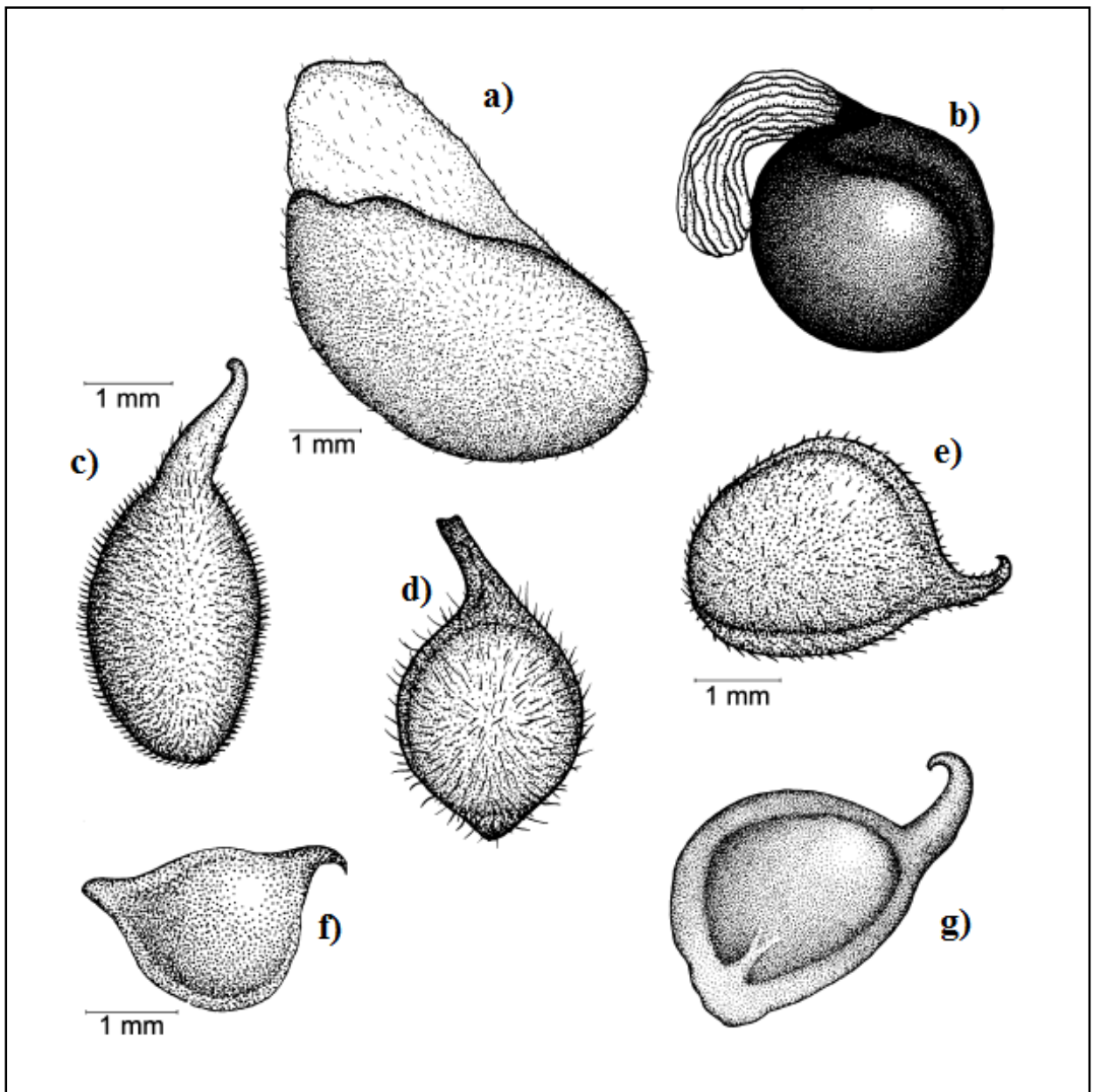
Elaiozómy, neboli masíčka, jsou morfologickou adaptací semen myrmekochorních rostlin k šíření mravenci. Elaiozóm není specifická anatomická struktura, může mít totiž různý původ. Nejčastěji se vyvíjí z osemení (*testa*). Původ elaiozómu ovšem může být i v perispermu či endospermu semene (Garrido a kol., 2009). Elaiozómy mají různou velikost i tvar. Semena s elaiozómy, které vytváří výše uvedené myrmekochorní rostliny, jsou znázorněna na obrázku 1 a 2. Na odnos semen mravenci má důležitý vliv morfologie samotného semene. Morfologické struktury mohou působit jako úchyty pro mravence (obr. 1 – fotografie e, f a g) a usnadnit tak transport semene (Reifenrath a kol., 2012).

### 2.3.1 Chemické složení elaiozómů

Elaiozómy obsahují chemické látky, které mají pro mravence vysokou nutriční hodnotu. Jedná se o mastné kyseliny: kyselinu palmitovou, kyselinu olejovou kyselinu linolovou a kyselinu linolenovou, dále elaiozómy obsahují proteiny a sacharidy a to především monosacharidy a disacharidy. Obsah mastných kyselin v elaiozómech některých myrmekochorních rostlin je uveden v tabulce 1. Elaiozómy musí obsahovat takové látky, aby bylo semeno s elaiozómem pro mravence atraktivní a přimělo jej ke sběru semene. Takovou látkou je například kyselina olejová. Kyselina olejová, která je hlavní složkou hemolymfy hmyzu, vyvolává u mravenců analogii elaiozómu s mrtvým hmyzem (Pfeiffer a kol., 2010). Pfeiffer a kol. (2010) také uvádí, že kyselina olejová vyvolává u mravenců tzv. sběrací chování a je tedy hlavním spouštěčem odnosu semene mravenci.

### 2.3.2 Podvodné využívání atraktantu

Faktu, že je kyselina olejová spouštěčem šíření semen mravenci, některé rostliny zneužívají (Žďárek, 2015). Jedná se například o pryskyřník prudký (*Ranunculus acris*) a pryskyřník kosmatý (*Ranunculus lanuginosus*). Tyto rostliny jsou takzvaně mimeticky myrmekochorní. Jejich semena produkují kyselinu olejovou, která láká mravence a dokonce vytváří i morfologické struktury napomáhající odnosu semen (obr. 1). Mimeticky myrmekochorní rostliny však nevytváří na semenech elaiozómy, které by obsahovaly další mastné kyseliny (kyselina palmitová, linolová a linolenová) s výživovou hodnotou pro mravence, jak uvádí Pfeiffer a kol. (2010). Obsah mastných kyselin ve zmíněných mimeticky myrmekochorních rostlinách je uveden v tabulce 1. Mravenci tak díky podvodnému využití atraktantu šíří semena mimeticky myrmekochorních rostlin bez energetického zisku. Aby myrmekochorie nepřestala fungovat, je nutné, aby rostlin, které atraktant zneužívají, bylo pouze zlomkové množství oproti druhům skutečně myrmekochorním (Pfeiffer a kol., 2010).



**Obr. 1:** Nákresy semen myrmekochorních rostlin s elaiozómy a mimeticky myrmekochorních rostlin bez elaiozómů: a) čemeřice smrdutá; b) dymnivka dutá; c) sasanka hajní; d) sasanka pryskyřníkovitá; e) pryskyřník zlatožlutý; f) pryskyřník prudký; g) pryskyřník kosmatý (převzato z: Pfeiffer a kol., 2010).

**Tab. 1:** Obsah mastných kyselin v semenech vybraných druhů myrmekochorních rostlin, stanovený plynovou sloupcovou chromatografií (podle: Pfeiffer a kol., 2010).

rostlinný druh	kys. palmitová	kys. olejová	kys. linolová	kys. linolenová
	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
kopytník evropský	3,8	5,4	9,8	12,5
čemeřice smrdutá	5,1	5,8	14,1	2,6
dymnivka dutá	36,4	29,7	88,7	89,7
bažanka vytrvalá	2,3	3,7	4,9	0,3
sasanka hajní	2,7	15,5	0,4	0,4
sasanka pryskyřníkovitá	1,5	5,2	0,7	0,2
pryskyřník zlatožlutý	1,8	0,8	0,9	0,1
česnek medvědí	2,9	0,6	3,3	0,2
pryskyřník prudký	0,3	1,7	0,2	0,1
pryskyřník kosmatý	0,2	1,4	0,2	0,1

## 2.4 Odnos semen mravenci

Turner a Frederickson (2013) zjišťovali, jestli elaizómy obsahují některé těkavé látky, které by mravence na dálku lákaly. Provedenými pokusy žádné těkavé látky v elaizómech zjištěny nebyly. Turner a Frederickson (2013) tak usuzují, že sebrání semene s elaizómem musí předcházet náhodné setkání mravence se semenem myrmekochorní rostliny. Kjellsson (1985), který prováděl pokusy na mravencích druhu *Myrmica ruginodis*, uvádí, že k rozpoznání semene s elaizómem potřebují mravenci přímý kontakt tykadla se semenem. Poté dochází k vyvolání sběracího chování mravence díky kyselině olejové.

Preference některých semen s elaizómy před jinými je předmětem praktické části této bakalářské práce. Mark a Olens (1996) uvádějí, že mravenci preferují větší semena s objemnějšími hmotnějšími elaizómy nad menšími semeny. Peters a kol. (2003) k této skutečnosti dodávají, že určitou roli hraje i poměr hmotnosti elaizómu a semene. Energetické náklady na odnos semene rostou s jeho hmotností, a proto je důležité, aby byl poměr hmotností elaizómu a semene pro mravence výhodný. Autoři dále vyzdvihují důležitost obsahu kyseliny olejové v elaizómech sbíraných mravenci. Proto není pro

preferenci klíčové, zda se myrmekochorní rostlina, jejíž semena jsou mravencům podávána, vyskytuje v okolí mraveniště. A její semena jsou tedy pro mravence známá. Turner a Frederickson (2013) potvrzují důležitost obsahu kyseliny olejové při preferenci mravenců a doplňují, že barva elaiozómu nemá žádný vliv na odnos semen mravenci.

Transport semen s elaiozómy z místa nalezení do mraveniště probíhá u tzv. "velkých mravenců" např. rod *Formica* až do vzdálenosti 77 m (Davidson a Morton, 1981). U tzv. "malých mravenců" např. *Temnothorax crassispinus* byla naměřena maximální vzdálenost přenosu semen 163 cm, jak uvádí Fokuhl (2012). Při transportu semene do mraveniště někdy dochází k jeho ztrátě. To samozřejmě také přispívá k šíření semen dané myrmekochorní rostliny (Fenner a Thompson, 2006).

Poté co je v mraveništi elaiozóm odstraněn z diaspory a následně využit, může dojít k zpětnému odnosu semene bez elaiozómu na odkladové místo – "smetiště" (Mark a Olesen, 1996).

## 2.5 Výhody a nevýhody myrmekochorie

Ziskem mravenců z myrmekochorního vztahu je důležitý zdroj energie v podobě látek obsažených v elaiozómech. Důležitost tohoto zdroje energie dokládají výsledky terénních pokusů Fokuhla a kol. (2007), při kterých byla koloniím mravence druhu *Myrmica rubra* podávána semena s elaiozómy. Tyto kolonie přežívaly lépe zimu a měly více kukel. Ty kolonie, kterým tato semena podávána nebyla, měly kukel méně. Obdobné výsledky uvádí i Kristen a kol. (2014), kteří podobné pokusy prováděli v laboratorních podmínkách na mravencích rodu *Formica*.

Elaiozómy jsou pro mravence důležitým zdrojem energie, a to především v jarním období, kdy myrmekochorní rostliny produkují semena a kdy je nedostatek hmyzí potravy. Elaiozómy tak hrají klíčovou roli při výživě larev mravenců. Larvy, které jsou krmeny elaiozómy, se snadněji vyvinou v nové královny, zatímco z ostatních larev se vyvíjejí dělnice (Warren a kol., 2014). Ziskem rostlin z myrmekochorního vztahu je šíření jejich semen. Díky tomu je výrazně snížena kompetice semenáčků s mateřskou rostlinou. Semena jsou mravenci často transportována na místa s větším obsahem živin (Fenner a

Thompson, 2006). Pokud jsou semena s odstraněnými elaiozómy přenesena na „sметиště“, jejich klíčivost se většinou ještě zvýší. To je dáno lepším zásobením semen vodou, nižší kompetici se semeny myrmekochorních rostlin, nižší predaci semen hlodavci a díky živinami bohatšímu prostředí (Garrido, 2009). Garrido (2009) také uvádí, že mnohdy k větší klíčivosti přispěje samotné odstranění elaiozómu. Přítomnost elaiozómu totiž u některých druhů mechanicky brání klíčení semene.

Tento mutualistický vztah však může přinést mravencům i myrmekochorním rostlinám jisté nevýhody. Výše je popsána možná nevýhoda pro mravence vyplývající ze sběru semene mimeticky myrmekochorní rostliny. Dále hrozí, že semena, která vyklíčí poblíž mraveniště, mohou mraveništi stínit a ochlazovat ho (Gorb a Gorb, 1999). Nevýhoda pro rostliny nastává, pokud semena mravenci uloží do hlubších částí mraveniště. Ve větší hloubce se výrazně snižuje jejich šance na úspěšné vyklíčení (Renard a kol., 2010).

Výhody z myrmekochorního vztahu ovšem zřejmě značně převyšují nevýhody. To dokládá skutečnost, že myrmekochorní rostliny můžeme najít mezi nejruznějšími vzájemně nepříbuznými skupinami. Lengyel a kol. (2010) se zabývali výskytem myrmekochorních rostlin v jednotlivých taxonech. Z jejich práce vyplývá, že myrmekochorní rostliny můžeme najít napříč botanickým systémem. K vzniku myrmekochorie muselo tedy v průběhu evoluce dojít několikrát nezávisle na sobě. Lengyel a kol. (2010) dokonce uvádějí, že myrmekochorie je zřejmě nejdramatičtější příklad konvergence ve světě přírody.



### **3. Metodika práce**

Metodika pokusu byla záměrně volena tak, aby mohl být pokus použit pro případné následující využití v pedagogické praxi na základních nebo středních školách. Před průběhem vlastního sběru dat bylo provedeno několik pokusů, které měly upřesnit finální metodickou cestu.

#### **3.1 Pokusné rostliny a jejich semena**

Pro provedení pokusu bylo vybráno pět druhů myrmekochorních rostlin: kopytník evropský (*Asarum europaeum*), violka rolní (*Viola arvensis*), kostival lékařský (*Symphytum officinale*), vlašovičnick větší (*Chelidonium majus*) a orsej jarní (*Ficaria verna*).

##### **3.1.1 Popis pokusných rostlin**

**Kopytník evropský** (*Asarum europaeum*) je 4 – 10 cm vysoká rostlina, která patří do čeledi podražcovité (*Aristolochiaceae*). Kopytník má poléhavé až vystoupavé, šupinaté, chlupaté lodyhy. Listy jsou dlouze řapíkaté, řapíky jsou odstále chlupaté. Čepele listů jsou okrouhle ledvinité s tupou špičkou. Čepele listů jsou kožovité na líci tmavě zelené, na rubu zelené světleji. Čepele listů jsou přitiskle chlupaté nebo lysé. Květy jsou krátce stopkaté, stopky jsou řídce chlupaté. Okvětí jsou hnědavá dlouze chlupatá, uvnitř jsou temně fialové okvětní cípy. Kopytník evropský kvete v březnu až květnu. Plodem jsou chlupaté tobolky se zachovalým okvětím. Kopytník evropský roste ve vlhkých, stinných listnatých lesích, podél potoků a v roklinách. Roste od nížin do horského pásma, převážně na bazických podkladech (Hejný a Slavík, 1997).

**Violka rolní** (*Viola arvensis*) patří do čeledi violkovité (*Violaceae*). Violka rolní má vystoupavé, větvené, 10 – 20 cm vysoké lodyhy. Dolní lodyžní listy mají okrouhle vejčité až kopinaté čepele, které jsou vroubkované a kratší než řapík. Listy, které se

nachází v horní polovině lodyhy, mají často čepele eliptické, tupě špičaté nebo tupé, vroubkovitě pilované a delší než řapík. Květy jsou nevonné s uzoučce trojúhelníkovitými kališními lístky. Koruny jsou zpravidla do plochy rozevřené se světle až smetanově žlutými korunními lístky. Viola rolní kvete od dubna do září, plodem jsou 8,0 – 9,0 mm dlouhé tobolky. Viola rolní roste mezi kulturními obilovinami a okopaninami, dále na rumištích, kompostech, podél cest a podobně. Vyskytuje se na vlhkých i vysychavých stanovištích, humózních i písčitých půdách (Hejný a Slavík, 1990).

**Kostival lékařský** (*Symphytum officinale*) je vytrvalá, drsně chlupatá rostlina, patří do čeledi brutnákovité (*Boraginaceae*). Lodyhy jsou přímé s odstávajícími štětinovitými chlupy, vysoké 40 – 80 cm. Lodyhy jsou díky sbíhavým listům křídlaté až hranaté. Lodyžní listy jsou střídavé, vejčité kopinaté až kopinaté. Přízemní a dolní listy mají křídlatý řapík, horní jsou přisedlé a až 30 cm dlouhé. Čepele listů jsou při bázi klínovitě zúžené a na vrcholu špičaté. Květy kostivalu jsou v dvojvijanech a vijanech. Kalichy jsou srostlé s trojúhelníkovitými cípy. Koruny jsou trubkovitě baňkovité, zbarvené smetanově, modrofialově, ojediněle růžově nebo bíle. Kostival kvete od června do července. Plodem jsou tvrdky. Kostival roste na vlhkých loukách i lužních lesích nebo vlhkých rudérálních místech, bohatých na živiny (Hejný, 2000).

**Vlaštovičnick větší** (*Chelidonium majus*) je 30 – 90 cm vysoká rostlina s lodyhami větvenými, roztroušeně chlupatými, náležící do čeledi mákovité (*Papaveraceae*). Listy vlaštovičnicku jsou řapíkaté (dolní listy dlouze, horní listy krátce). Čepele listů jsou jednoduše až přetrhovaně lichožpeřené, jednotlivé lístky jsou vejčité, laločnaté a vroubkované. Lícni strana čepelí je sytě zelená, rubová strana je sivě zelená. Květenstvími vlaštovičnicku jsou dvou až šestikvěté okolíky. Květy mají žlutý prchavý kalich. Koruny tvoří 4 obvykle celokrajné žluté lístky. Vlaštovičnick větší kvete od května do září. Plodem jsou tobolky, které se otevírají odspodu dvěma chlopněmi. Vlaštovičnick větší roste na mírně zastíněných vlhkých, dusíkem bohatých půdách (Hejný a Slavík, 1997).

**Orsej jarní** (*Ficaria verna*, syn.: *Ficaria bulbifera*) je rostlina náležící do čeledi pryskyřníkovité (*Ranunculaceae*). Orsej má lodyhy v době květu 6 – 15 cm dlouhé. Lodyhy jsou více článkové, větvené, v úžlabí řapíků mají pacibulky. Čepele listů jsou srdčité vejčité nebo okrouhle ledvinité. Čepele jsou nepravidelně vroubkované, lesklé, lysé. Řapíky jsou dlouhé, lysé se širokými blanitými pochvami. Květy má orsej jarní leskle zlatožluté s úzce vejčitými korunními lístky. Kališní lístky jsou vejčité, zelené a blanité.

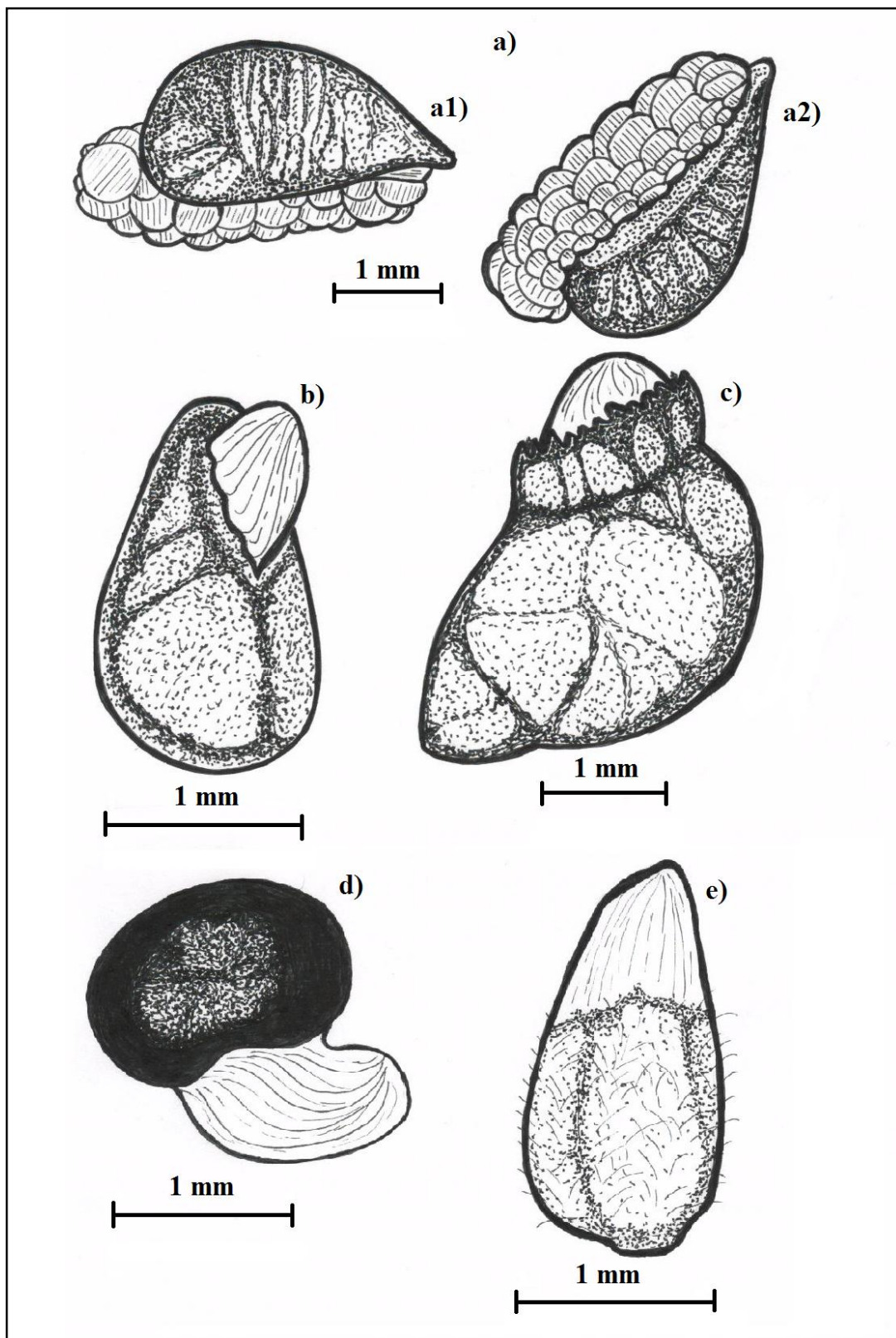
Orsej jarní kvete od března do května. Roste na vlhkých stinných místech, jako jsou vlhké louky, suťovité lesy, listnaté lesy a křoviny (Hejný a Slavík, 1997).

### 3.1.2 Popis semen pokusných rostlin

Semena pokusných rostlin jsou vyobrazena na obrázku 2. Kopytník evropský má semena hnědá, hladká, v obrysu mají polovejčitý tvar. Semena kopytníku mají elaiozómy masité, nažloutlé a rýhované. Semena violky rolní jsou hnědá, hladká, vejčitého tvaru s malým zúžením. Elaiozómy na semenech jsou drobné, nažloutlé. Kostival lékařský má semena, která jsou vlastně z morfologického hlediska tvrdky, tmavě hnědá, hladká, kapkovitého tvaru. Na širší straně semene je věnec výrůstků, v jejichž středu se nachází malý elaiozóm bílé až mírně nažloutlé barvy. Semena vlašovičnicku většího jsou černá, hladká, ledvinovitého tvaru. Elaiozómy na semenech vlašovičnicku jsou bílé až průhledné, ploché, oválené a rýhované. Orsej jarní má semena, která jsou z morfologického hlediska nažky uložené po 10 až 15. Semena jsou žlutá, kýlnatá, na povrchu řídce jemně chlupatá. U semen nelze pozorovat jasný přechod mezi ním a elaiozómem, který je žlutý až bílý. Délka a objem semen pokusných rostlin a objem elaiozómů pokusných rostlin jsou uvedeny v tabulce 2.

**Tab. 2:** Délka, objem a objem elaiozómů semen pokusných rostlin (podle: Reifenrath a kol., 2010).

rostlinný druh	délka semene	objem semene	objem elaiozómu
	mm	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>
<b>kopytník evropský</b>	3,0	15,5	0,47
<b>violka rolní</b>	1,9	1,4	0,20
<b>kostival lékařský</b>	4,0	19,8	0,17
<b>vlašovičnick větší</b>	1,5	1,4	0,26
<b>orsej jarní</b>	2,0	1,5	0,22



**Obr. 2:** Nákresy semen pokusných rostlin s elaiozómy a mimeticky: a) kopytník evropský a1) pohled z boku semene a2) pohled na elaiozóm; b) violka rolní; c) kostival lékařský; d) vlašovičnick větší; e) orsej jarní.

## 3.2 Sběr a příprava semen

Kromě kopytníku evropského byly všechny druhy pokusných rostlin sbírány na dvou lokalitách a ve dvou různých dnech. Celkem tedy proběhly 4 sběry ke každému druhu pokusné rostliny. Data sběru a GPS souřadnice lokalit, na kterých byly pokusné rostliny sbírány, jsou uvedeny v tabulce 3.

Po sběru rostlin, následovalo sušení semen, které probíhalo při pokojové teplotě a trvalo od data sběru pokusné rostliny až do provedení pokusu.

Pro průběh samotného pokusu bylo nutné zvolit kontrolní druhy rostlin. U semen těchto kontrolních rostlin byly odstraněny elaiozómy, aby bylo možné prokázat vliv přítomnosti elaiozómu na odnos semen mravenci. V předběžných pokusech bylo zjištěno, že mravenci nejvíce odnáší semena kopytníku evropského a violky rolní. Proto byly tyto dva druhy určeny jako kontrolní. U poloviny semen kopytníku a violky proto byly odstraněny elaiozómy. Odstranění elaiozómů probíhalo pomocí preparační jehly a žiletky. V případě violky rolní byla k odstraňování přívěsku použita binokulární lupa. Obdobně přistupovali k vytvoření kontrolních semen bez elaiozómů ve svých pokusech například Kristen a kol. (2014).

**Tab. 3:** Data a lokality sběru pokusných rostlin.

<b>rostlinný druh</b>	<b>datum prvního sběru</b>	<b>datum druhého sběru</b>	<b>GPS souřadnice první lokality</b>	<b>GPS souřadnice druhé lokality</b>
<b>kopytník evropský</b>	15. 5. 2015	-	49.2367589N, 15.0695658E	-
<b>violka rolní</b>	8. 6. 2015	15. 6. 2015	49.1841381N, 14.8674683E	49.1733092N, 14.8523622E
<b>kostival lékařský</b>	5. 6. 2015	8. 6. 2015	49.1449303N, 14.8019394E	49.1477144N, 14.8303039E
<b>vlaštovičník větší</b>	18. 5. 2015	22. 5. 2015	49.1690444N, 14.8435214E	49.1403594N, 14.8028378E
<b>orsej jarní</b>	1. 5. 2015	6. 5. 2015	49.1688200N, 14.8432642E	49.1487814N, 14.8038678E

### 3.3 Průběh vlastního pokusu

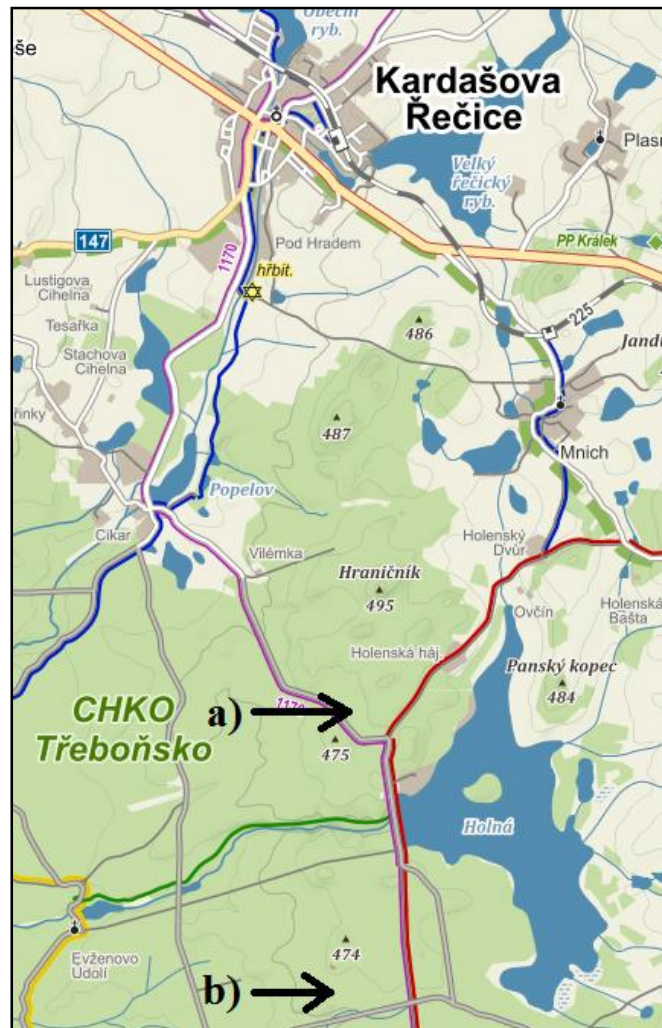
Pro samotný pokus byla vybrána dvě mraveniště mravence lesního (*Formica rufa*). Lokalita byla vybrána především s ohledem na její dostupnost.

#### 3.3.1 Popis lokality

Lokalita, na které se vyskytují pokusná mraveniště, se nachází jižně od Kardašovy Řečice nedaleko od rybníka Velká Holná. Velká Holná je jeden z největších jihočeských rybníků (241 ha, založen 1550), jak uvádějí Bína a Demek (2012). Toto území je součástí Kardašovořečické pahorkatiny, území v povodí Lužnice a Nežárky. Kardašovořečická pahorkatina je tvořena především moldanubickými horninami (pararuly, ortoruly, migmatity) a moldanubickými plutony (žula). Krajina kardašovořečické pahorkatiny pozvolně přechází mezi plochým pánevním georeliéfem a vyšším a členitějším terénem okraje Českomoravské vrchoviny (Bína a Demek, 2012).

Kardašovořečická pahorkatina je součástí Třeboňské pánve. Podle Albrechta a kol. (2003) se Třeboňská pánev nachází v nadmořské výšce 410 až 480 m n. m. Klimatologicky se Třeboňská pánev řadí do mírně teplé a mírně vlhké oblasti pahorkatinového typu s průměrnou roční teplotou 8 °C a průměrnou teplotou v červenci 18 °C. Průměrný úhrn atmosférických srážek dosahuje na Třeboňské pánvi 570 mm za rok. Třeboňská pánev leží ve fytogeografické oblasti mezofytikum. Potenciální přirozené biotopy zde Chytrý a kol. (2001) definují převážně jako blatkové bory, dále bikové a jedlové doubravy, případně bikové bučiny. V roce 1979 bylo Třeboňsko vyhlášeno chráněnou krajinnou oblastí.

Umístění pokusných mravenišť je vyobrazeno na obrázku 3. Pokusná mraveniště byla záměrně vybrána na odlišných stanovištích. První mraveniště (dále mraveniště č. 1) se nachází na okraji zapojeného lesa u asfaltové lesní silnice, jeho GPS souřadnice jsou 49.1409208N, 14.8612456E. Druhé mraveniště (dále mraveniště č. 2) se nachází v zapojeném smrkovém lese. GPS souřadnice druhého mraveniště jsou 49.1193544N, 14.8524481E. Na následujících obrázcích (obrázek 4 a obrázek 5) jsou pak obě mraveniště vyfotografována.



**Obr. 3:** Vyobrazení polohy mravenišť (a – mraveniště 1; b – mraveniště 2).



**Obr. 4:** Mraveniště číslo 1.



**Obr. 5:** Mraveniště číslo 2.

### **3.3.2 Časový plán sběru dat**

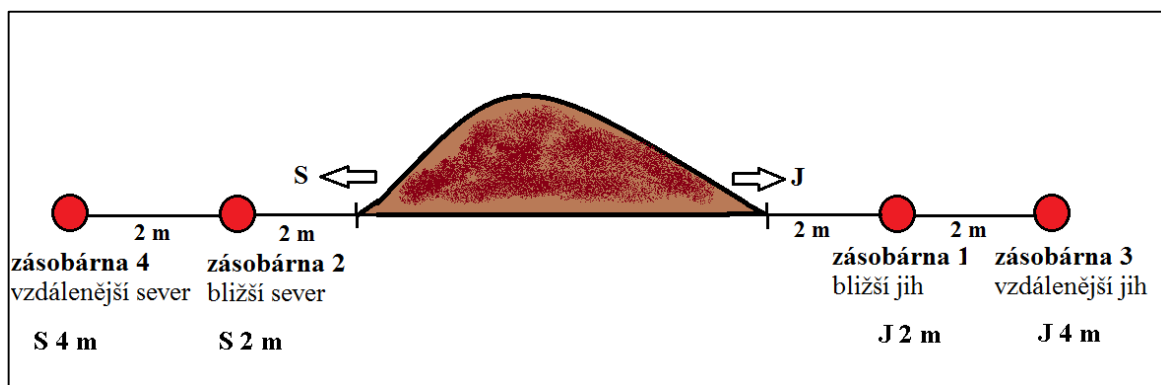
U obou mravenišť byl pokus prováděn ve čtyřech dnech a to 23. 6. 2015 (dále uváděno jako pozorování 1), 25. 6. 2015 (dále uvádělo jako pozorování 2) 28. 6. 2015 (dále uváděno jako pozorování 3) a 6. 7. 2015 (dále uváděno jako pozorování 4). V každý tento den pak bylo pozorování provedeno zvlášť v dopoledních a zvlášť v odpoledních hodinách. Celkem tedy bylo provedeno 8 pozorování pro každé mraveniště. Počasí v těchto dnech bylo teplé a slunné, průměrná denní teplota se v těchto dnech pohybovala mezi 18 a 20 °C.

### **3.3.3 Umístění zásobáren se semeny**

Při každém pozorování byly ke každému mraveništi umístěny celkem čtyři zásobárny se semeny. Dvě vždy směrem k severu od mraveniště, dvě směrem k jihu a to vždy tak, že bližší zásobárna byla umístěna 2 m od okraje mraveniště a vzdálenější 4 m od



okraje mraveniště. Umístění a popis zásobáren jsou uvedeny na obrázku 6. Zásobárna umístěná směrem k jihu vzdálená 2 m je označena jako „J 2 m“, zásobárna umístěná směrem k jihu vzdálená 4 m je označena jako „J 4 m“. Analogicky jsou pak označeny zásobárny umístěné směrem k severu.



**Obr. 6:** Umístění a popis zásobáren vzhledem k pokusnému mraveništi.

Jako zásobárna semen byla vždy použita svrchní část skleněné Petriho misky o průměru 90 mm. Tato svrchní část misky – „víčko“ – byla vždy umístěna na terén dnem vzhůru. V pokusech, které předcházely samotnému sběru dat, byly vyzkoušeny i Petriho misky plastové, které ve svých pokusech používali například Kristen a kol. (2014). Skleněné misky se ukázaly jako efektivnější vzhledem k jejich vyšší hmotnosti.

Do každé zásobárny byl umístěn přesně definovaný počet semen. A to 10 semen kopytníku evropského s elaiozómy, 10 semen tohoto druhu bez elaiozómů, 10 semen violky rolní s elaiozómy, 10 semen tohoto druhu bez elaiozómů, dále 10 semen s elaiozómy kostivalu lékařského, 10 semen vlašovičnicku většího a 10 semen orseje jarní. Umístění deseti semen jednoho druhu do zásobárny používají ve svých pokusech Peters a kol. (2003).

### 3.3.4 Pozorování sběru semen

Pozorování sběru semen mravenci probíhalo vždy u každého mraveniště přesně jednu hodinu (resp. hodinu při dopoledním pozorování a hodinu při odpoledním

pozorování). Při každém pozorování byly zásobárny kontrolovány, aby nedošlo k odnosu semen jinými organismy než mravenci. Průběh sběru semen mravenci ze zásobárny je vyobrazen na obrázku 7. Po uplynutí jedné hodiny od zahájení pozorování byl pokus ukončen. Všechny zásobárny byly sebrány a přímo v terénu byla spočítána zbylá semena. Počet semen sebraných a odnesených mravenci byl vypočítán jako rozdíl mezi počtem semen v zásobárně před zahájením pokusu a počtem semen zbylých v zásobárně po průběhu pokusu. Počet sebraných semen pro každou zásobárnu, čas a mraveniště byl zaznamenán do tabulky (oddíl 4 Výsledky).



**Obr. 7:** Sběr semen s elaiozómy probíhající na jedné zásobárně.

### 3.4 Zpracování výsledků

Zjištěný počet sebraných semen byl zpracováván ve třech různých analýzách.

V prvním případě byla testována preference mravenců rodu *Formica* na semena s elaiozómy různých druhů myrmekochorních rostlin. Byl tedy spočítán celkový počet sebraných semen pro jednotlivé druhy pokusných rostlin. Tyto hodnoty byly testovány jednocestnou analýzou variance, které předcházela Chi-square test na hladině

pravděpodobnosti  $\alpha \leq 0,05$ . Chi-square test porovnává očekávané tj. průměrné hodnoty pro jednotlivé položky v analýze (v tomto případě druhy rostlin) s hodnotami skutečnými tj. získanými pokusem. Pro tuto analýzu byl použit program Microsoft Office Excel 2007 a Statistika (verze 6).

Ve druhém případě byl testován vliv zásobárny společně s vlivem mraveniště na počtu sebraných semen s elaiozómy bez ohledu na druh myrmekochorní rostliny. Sebraná semena bez elaiozómů do této analýzy zahrnuta nebyla. Při této jednorozměrné analýze byl spočítán průměrný počet sebraných semen při jednotlivých měřeních pro každou zásobárnu zvlášť. Tyto hodnoty byly testovány testem Faktoriální ANOVA na hladině pravděpodobnosti  $\alpha \leq 0,05$ . Pro tuto analýzu byl použit program Microsoft Office Excel 2007 a Statistika (verze 6).

Při třetím testování byl zjišťován vliv zásobárny (bez ohledu na mraveniště) na preferenci semen jednotlivých druhů pokusných rostlin. Bylo tedy testováno, zda mravenci preferují na některé ze zásobáren semena testovaných druhů rostlin. Sebraná semena bez elaiozómů do této analýzy zahrnuta nebyla. Na toto testování byla použita mnohorozměrná analýza: RDA - Redundanční analýza na hladině pravděpodobnosti  $\alpha \leq 0,05$ . Pro tuto analýzu byl použit program Microsoft Office Excel 2007 a program CANOCO verze 5.

## 4. Výsledky

### 4.1 Počty sebraných semen

Provedenými pokusy zjištěný počet sebraných semen mravenci je uveden v tabulkách 4 a 5. V tabulce 4 je uveden počet sebraných semen pro mraveniště 1. V tabulce 5 je uveden počet sebraných semen pro mraveniště 2.

**Tab. 4:** Počet sebraných semen pro mraveniště 1.

čas	zásobárna	pozorování	počet sebraných semen							celk. počet sebraných s.
			kopytník evropský		violka rolní		k. lékařský	v. větší	orsej jamí	
			s elaiiozómy	bez elaiioz.	s elaiiozómy	bez elaiioz.	s elaiiozómy	s elaiiozómy	s elaiiozómy	
dopoledne	J 2m	1	10	0	10	0	4	0	0	24
		2	8	0	9	3	1	0	0	21
		3	10	0	8	0	1	0	0	19
		4	10	0	9	1	2	0	0	22
	S 2m	1	10	0	10	1	0	0	0	21
		2	10	0	8	1	4	0	0	23
		3	10	0	8	0	0	0	0	18
		4	10	0	8	1	1	0	0	20
	J 4m	1	10	0	10	2	1	0	0	23
		2	9	1	10	1	1	0	0	22
		3	10	1	9	1	0	0	0	21
		4	9	0	9	2	1	0	0	21
	S 4m	1	10	5	10	0	6	0	0	31
		2	8	0	8	1	0	0	0	17
		3	9	0	9	1	1	0	0	20
		4	8	1	10	1	0	0	0	20
odpoledne	J 2m	1	10	0	10	0	4	0	0	24
		2	8	1	9	0	3	0	0	21
		3	9	0	9	0	3	1	0	22
		4	10	1	9	0	1	0	0	21
	S 2m	1	10	0	10	1	0	0	0	21
		2	9	0	10	0	0	0	0	19
		3	10	2	9	1	1	1	0	24
		4	8	0	8	0	1	0	0	17
	J 4m	1	10	0	10	2	1	0	0	23
		2	8	2	9	0	2	0	0	21
		3	10	1	9	0	2	0	0	22
		4	10	2	9	0	0	0	0	21
	S 4m	1	10	5	10	0	6	0	0	31
		2	7	0	7	1	0	0	0	15
		3	10	2	9	1	2	0	0	24
		4	8	0	9	1	0	0	0	18
<b>celkový počet sebraných semen daného druhu</b>			<b>298</b>	<b>24</b>	<b>291</b>	<b>23</b>	<b>49</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>687</b>

**Tab. 5:** Počet sebraných semen pro mraveniště 2.

čas	zásobárna	pozorování	počet sebraných semen						celk. počet sebraných s.	
			kopytník evropský		violka rolní		k. lékařský	v. větší		orсей jamí
			s elaiozómy	bez elaioz.	s elaiozómy	bez elaioz.	s elaiozómy	s elaiozómy		s elaiozómy
dopoledne	J 2m	1	9	0	8	0	1	0	0	18
		2	9	0	9	0	2	0	0	20
		3	9	0	8	0	1	0	0	18
		4	9	0	9	1	0	0	0	19
	S 2m	1	10	2	9	0	2	0	0	23
		2	9	0	8	1	1	1	0	20
		3	10	1	8	1	1	0	0	21
		4	10	0	9	1	1	0	0	21
	J 4m	1	9	0	10	0	0	0	0	19
		2	8	1	10	1	2	0	0	22
		3	7	0	9	0	0	0	0	16
		4	9	0	8	0	1	0	0	18
	S 4m	1	10	0	7	0	2	0	0	19
		2	8	1	9	0	4	0	0	22
		3	9	0	8	1	1	0	0	19
		4	8	1	9	0	1	0	0	19
odpoledne	J 2m	1	10	1	10	4	4	0	0	29
		2	9	1	8	0	0	0	0	18
		3	9	0	8	0	1	0	0	18
		4	9	1	9	0	2	1	0	22
	S 2m	1	9	0	3	0	4	0	0	16
		2	8	0	9	0	1	0	0	18
		3	9	1	9	0	0	1	0	20
		4	9	1	8	0	1	0	0	19
	J 4m	1	6	0	8	0	0	0	0	14
		2	7	0	8	0	0	0	0	15
		3	8	1	9	0	1	0	0	19
		4	10	0	9	0	1	0	0	20
	S 4m	1	8	0	7	1	2	0	0	18
		2	7	0	7	0	0	0	0	14
		3	9	0	7	1	0	0	0	17
		4	8	0	9	1	1	1	0	20
celkový počet sebraných semen daného druhu			278	12	266	13	38	4	0	611

## 4.2 Počet sebraných semen vztážený na druh rostliny

Celkový počet sebraných semen daného druhu pokusné rostliny je dán jako součet sebraných semen při všech měřeních, ve všech zásobárnách a u obou mravenišť. Tento celkový počet sebraných semen je znázorněn na následujícím grafu (obrázek 8). Při porovnání počtu sebraných semen s elaiozómy a bez elaiozómů u stejného druhu (kopytníku evropského i violky rolní) je patrné, že mravenci preferují semena s elaiozómy.

Graf na obrázku 8 je zároveň zobrazení provedené analýzy Chi-square test. Tato analýza byla provedena pro počty sebraných semen s elaiozómy. Sebraná kontrolní semena kopytníku evropského a violky rolní do této analýzy zahrnuta nebyla. Nejprve byl proveden Chi-square test (Chi-sq: 881,07; DF = 3;  $P < 10^{-6}$ ), ve kterém nebyla zahrnuta orsej jarní. Poté byla provedena stejná analýza (Chi-sq: 1406,59; DF = 4;  $P < 10^{-6}$ ), ve které bylo s nulovou hodnotou pro orsej jarní počítáno. Oba tyto testy vyšly silně průkazně.

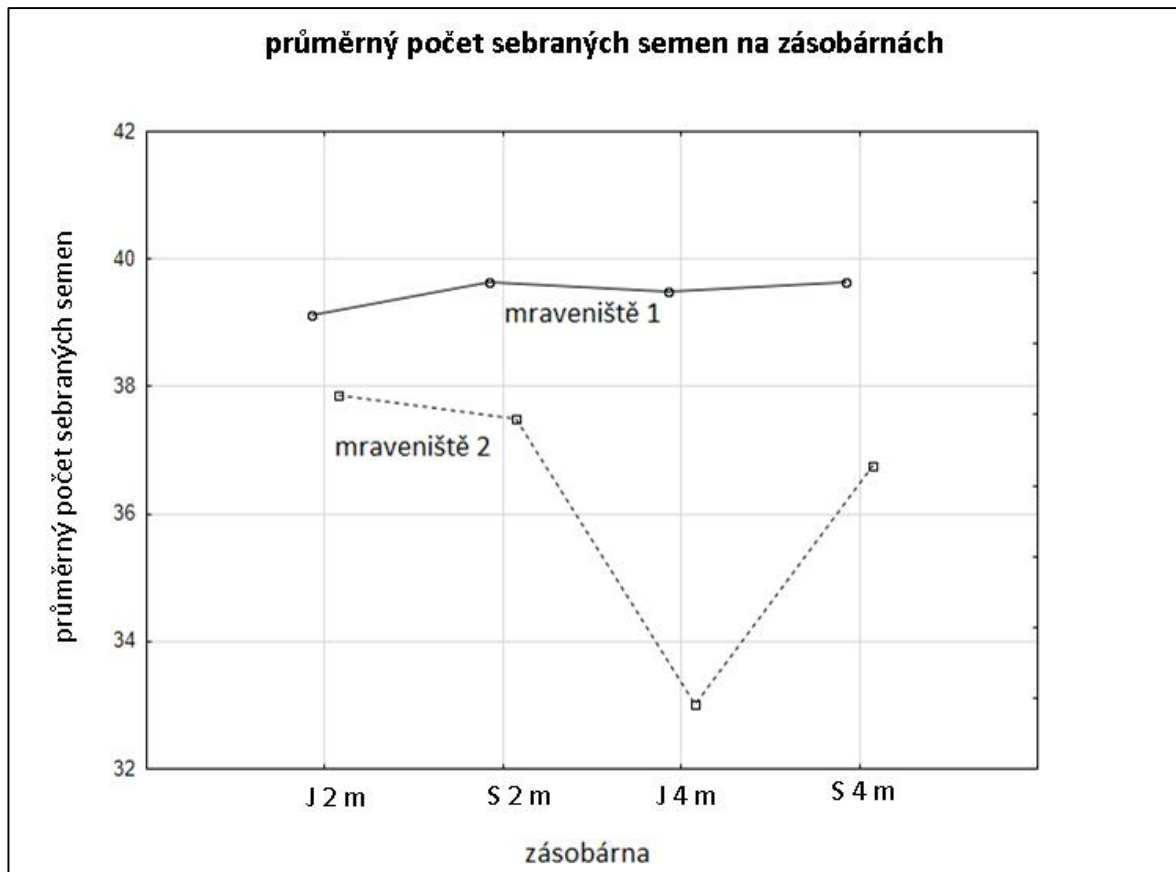


**Obr. 8:** Celkový počet sebraných semen z obou mravenišť pro jednotlivé druhy pokusných rostlin.

### 4.3 Průměrný počet sebraných semen v závislosti na zásobárně a mraveništi

Počet sebraných semen na jednotlivých zásobárnách bez ohledu na druh pokusné rostliny je dán jako průměr z jednotlivých měření. Tento průměrný počet sebraných semen vztahený na zásobárny a mravenišť je znázorněn na obrázku 9. Graf na obrázku 9 je tedy

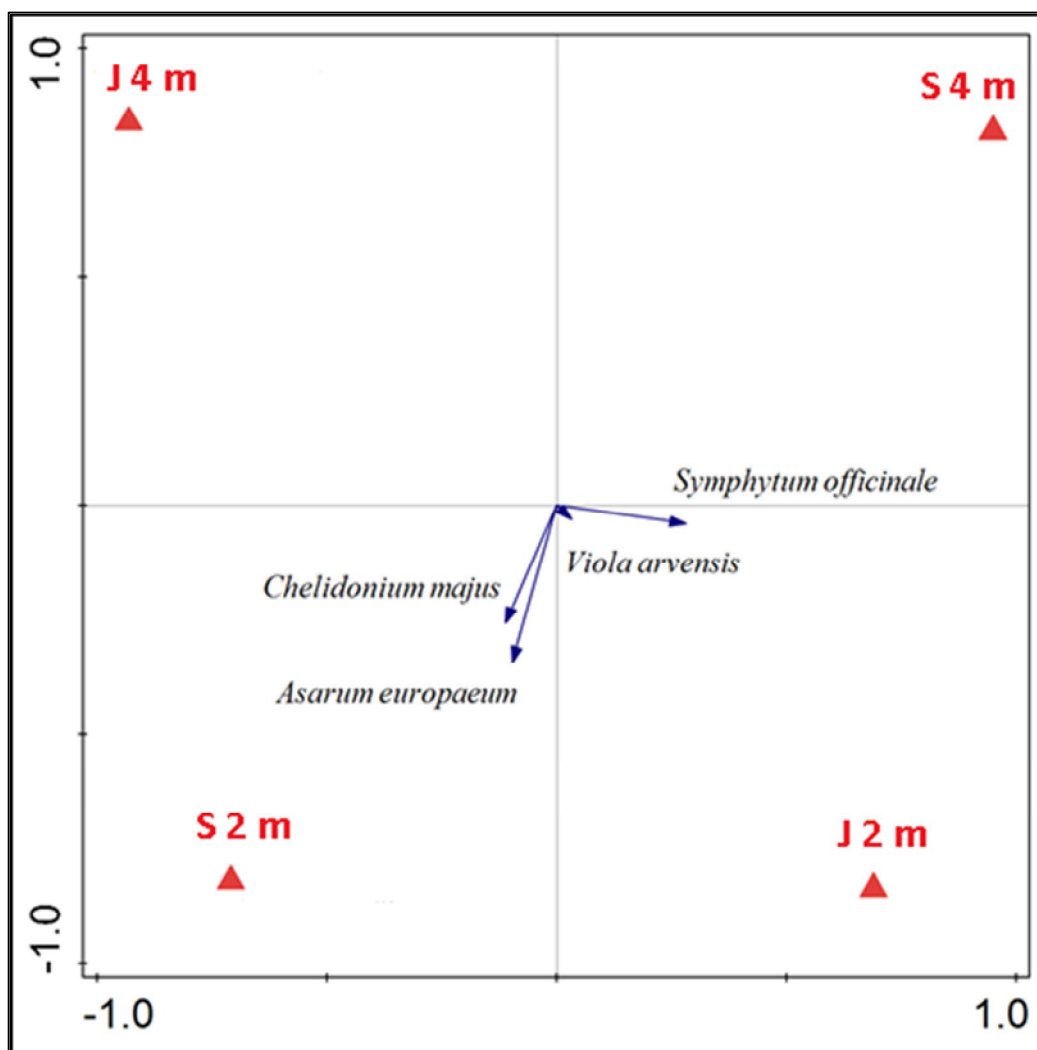
zobrazením provedeného testu Faktoriální ANOVA (F: 8,711; DF = 1; P = 0,0046), ve kterém byl testován průměrný počet semen sebraných v jednotlivých zásobárnách. V tomto testu vychází jako průkazný vliv mraveniště (resp. lokality) testovaný společně s vlivem zásobárny. Samotný vliv zásobárny, tedy vzdálenost zásobárny od mraveniště a její orientace na světovou stranu, nebyl v této analýze prokázán.



**Obr. 9:** Průměrný počet sebraných semen bez ohledu na druh rostliny vztažený na zásobárny a mraveniště.

#### 4.4 Preference druhů semen v závislosti na zásobárně

Preference sebraných semen jednotlivých druhů pokusných rostlin porovnávána u jednotlivých zásobáren je znázorněna na obrázku 10. Graf na obrázku 10 je zobrazením provedeného testu mnohorozměrné analýzy RDA (F: 1,4; DF = 3; P = 0,214). Analýza sice vyšla neprůkazně, ale při pohledu na graf je patrná tendence mravenců sbírat semena z bližších zásobáren.



Obr. 10: Preference sběru semen druhů pokusných rostlin v zásobárnách.



## 5. Diskuze

### 5.1 Preference druhu myrmekochorní rostliny

Výsledky mnou provedeného pokusu potvrdily skutečnost, že mravenci rodu *Formica* preferují semena myrmekochorních rostlin s elaiozómy. Preference byla potvrzena na druzích kopytník evropský a violka rolní. U těchto rostlin mravenci preferovali semena s elaiozómy nad semeny, u kterých byly elaiozómy odstraněny. K obdobným výsledkům došli u svých pokusných rostlin i ostatní autoři, například Kristen a kol. (2014) nebo Konečná (2012).

Fakt, že mravenci rodu *Formica* preferují semena některých druhů pokusných rostlin nad jinými (obr. 8), je statisticky podpořený. Ovšem není možné prokázat, do jaké míry měla na tuto preferenci vliv vlastnosti semen a elaiozómů (například hmotnost semen nebo chemické složení elaiozómů) a do jaké míry měla vliv na odnos semen mravenci úprava semen sušením. Například v těchto provedených pokusech, mravenci příliš nereagovali na nabídnutá semínka vlašovičnicku většího. Oproti tomu Kristen a kol. (2014) uvádějí, že v jejich pokusech patřila semena vlašovičnicku mezi nejpreferovanější. Z výše uvedeného vyplývá, že vliv úpravy semen před provedením pokusu je zásadní. Názory na provedení úpravy se ovšem různí. Například Peters a kol. (2003) používali ve svých pokusech semena čerstvě nasbíraná. Do zásobárny ovšem umístili vždy jen semena jednoho druhu rostliny. Garrido a kol. (2009) také používali čerstvá semena, a to rostlin pěstovaných ve sklenících. Jiní autoři, například Kristen a kol. (2014) nebo Konečná (2012), používali semena zamražená při teplotě – 23 °C. Takto semena uchovávali až 7 měsíců a rozmrazili je až bezprostředně před průběhem pokusu. Tento způsob konzervace semen před použitím se ukázal efektivnější a pro podobné pokusy vhodnější než sušení semen. Mravencům jsou totiž nabízena semena s čerstvými elaiozómy. Pokusy, při kterých se mravencům nabízí semena více druhů pokusných rostlin, se tak mohou provádět najednou. Pokud bych v budoucnu prováděl další podobné pokusy, přistoupil bych ke konzervaci semen s elaiozómy mražením. Výsledky mého pokusu byly ovlivněny zaschnutím elaiozómů některých semen. A mražením semen by se této situaci dalo předejít.

Uvádí se, že mravenci preferují větší semena s objemnějšími elaiozómy nad menšími semeny (Mark a Olens, 1996). V mnou provedených pokusech mravenci sbírali velká semena vlašovičnicku většího ve stejné míře jako malá semena violky rolní. I toto zjištění by bylo v budoucnu dobré ověřit například provedením pokusu v širším časovém intervalu. Pokusy Warrena a kol. (2014) ukazují, že různě velká semena jsou preferována v různém časovém období. V časnějším jarním období mravenci spíše preferují menší semena před semeny většími.

## **5.2 Vliv vzdálenosti a lokality na počet sebraných semen**

Vliv vzdálenosti a orientace ke světovým stranám na počet sebraných v mých pokusech nebyl statisticky prokázán. Přesto je na obrázku 10 patrná tendence mravenců sbírat semena z bližších zásobáren. Pro statistické prokázání by bylo nutné provést více pozorování. I v pokusech ostatních autorů většinou vliv vzdálenosti zásobárny není do určité délky od mraveniště prokazatelný. Warren a kol. (2014) uvádějí, že umístění zásobárny má vliv na počet odnesených semen až při vzdálenosti větší než 10 m. Většina autorů, například Peters a kol. (2012), s vlivem vzdálenosti vůbec neuvažují a zaměřují se na vliv charakteristiky semene a biotopu, ve kterém se mraveniště nachází. Zde se výsledky mého pokusu s výsledky Peterse a kol. (2012) shodují. Tito autoři uvádějí, že mravenci v biotopu se zapojenou vysokou vegetací sbírají semena s elaiozómy méně než na okraji lesních porostů. To se shoduje s mým závěrem, který vyplývá z obrázku 9, že v prvním pokusném mraveništi, které se nacházelo na okraji lesa, sbírali mravenci semena s elaiozómy více.

## **5.3 Možnosti budoucího využití získaných výsledků**

Provedený terénní pokus měl za svůj úkol vnést zásadní vhled do této problematiky, jak po stránce teoretické, tak metodické. A na provedený pokus lze navázat v budoucí práci dvěma způsoby.

První způsob je pokračování a rozvíjení tohoto pokusu ve vědecké rovině. Tento způsob by znamenal provést, jak již je uvedeno výše, lepší konzervaci nasbíraných semen například mražením. Dále by bylo v následujících pokusech vhodné provést více pozorování. To je podmíněno zajištěním takových podmínek, aby řešitel nemusel být sám každému pozorování přítomen a hlídat, aby nedošlo k odnosu semen jinými organismy než mravenci, jak ve své práci uvádí i Konečná (2012). K tomu lze přistoupit buď instalací krytek proti jiným predátorům na zásobárny semen (Peters, 2003), nebo instalací kamer ke každé zásobárně. Třetí možností je pak přistoupit k laboratornímu pokusu jako Kristen a kol. (2014). Ovšem sami autoři uvádějí, že chování mravenců chovaných v teráriích nemusí přesně souhlasit s tím, jak mravenci sbírají semena v přirozeném biotopu.

Druhou možností využití provedeného pokusu je jeho převedení na terénní školní úlohu. Provedený pokus splňuje většinu podmínek úspěšné realizace školního pokusu (Altmann, 1975). Zároveň také splňuje cíle školního pokusu, který by měl zaprvé seznámit žáky s určitými vlastnostmi biologického jevu a se vztahy mezi biologickými jevy. Zadruhé by měl školní pokus seznámit žáky s metodami vědecké práce v biologii a užíváním logických postupů, jak uvádí Altmann (1975). Při převedení výše popsaného pokusu na školní úlohu by bylo vhodné, aby sám vyučující nasbíral semena s elaiozómy myrmekochorních rostlin. Vlastní realizaci pokusu mohou provést v terénu sami žáci. Na střední škole by zde jistě byla možnost využít provedený pokus pro badatelsky orientované vyučování. Pro pokus s prvky badatelsky orientovaného vyučování, je typické, že sami žáci formulují hypotézy a hledají metodické cesty k řešení pokusu (Papáček, 2010). Využití tohoto pokusu ve školní praxi by tak mohlo přispět k pochopení poměrně složité ekologické problematiky vztahu mezi rostlinami a živočichy.

## **6. Závěr**

Na základě sepsání literární rešerše o fenoménu myrmekochorie byl proveden terénní pokus. Cílem tohoto pokusu bylo zjistit, zda mravenci rodu *Formica* upřednostňují některé z nabízených druhů semen s elaiozómy. V provedeném pokusu byla vybrána dvě mraveniště, u kterých byla mravencům nabízena semena pěti druhů myrmekochorních rostlin.

Provedeným pokusem bylo zjištěno, že pro odnos semen mravenci je podstatná přítomnost elaiozómu na semeni. Dále bylo pozorováno, že mravenci upřednostňují některé druhy předložených semen s elaiozómy před druhými. Jasně upřednostňována byla semena kopytníku evropského a violky rolní. Ovšem zatím není možné prokázat, zda při výběru semen mravenci záleží na druhu semene, nebo na jiných faktorech.

Dále bylo pozorováno, že na celkový počet sebraných semen mravenci má vliv charakter biotopu, ve kterém se mraveniště nachází. Pozorovatelný vliv má rovněž vzdálenost zásobárny, ve které byla mravencům předkládaná semena, od mraveniště. Na počet sebraných semen nebyl pozorován vliv denní doby, ve které byl pokus prováděn.

Provedený pokus může sloužit jako základ pro hlubší zkoumání problematiky myrmekochorie, nebo může být využit jako terénní školní úloha ve výuce přírodopisu, biologie a ekologie.

## **7. Použitá literatura**

Albrecht J. a kol. (2003): Českobudějovicko. In: Mackovčín P. a Sedláček M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VIII. Praha, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, s. 510 – 524.

Altmann A. (1975): Metody a zásady ve výuce biologii. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, s. 152 – 190.

Attenborough D. (1996): Soukromý život rostlin. Praha, Columbus, s. 18 – 27.

Beamont K. P., Mackay D. A., Whalen M. A. (2009): Combining distances of ballistic and myrmecochorous seed dispersal in *Adriana quadripartita* (Euphorbiaceae). *Acta Oecologica*, 35: 429 – 436.

Bína J. a Demek J. (2012): Z nížin do hor: Geomorfologické jednotky České republiky. Praha, Academia, s. 70 – 72.

Boieiro M., Espadaler X., Gómez C., Eustaquio A. (2012): Spatial variation in the fatty acid composition of elaiosomes in an ant-dispersed plant: Differences within and between individuals and populations. *Flora*, 207: 497 - 502.

Davidson D. W. a Morton S. R. (1981): Competition for dispersal in ant-dispersed plants. *Science*, 213: 1259 – 1261.

Fenner M. a Thompson K. (2006): The Ecology of Seeds. United Kingdom, University Press, Cambridge, s. 60 – 62.

Fokuhl G., Heinze J., Poschlod P. (2012): Myrmecochory by small ants - Beneficial effects through elaiosome nutrition and seed dispersal. *Acta Oecologica*, 38: 71 - 76.

Garrido J. L., Rey P. J., Herrera C. M. (2009): Influence of elaiosome on postdispersal dynamics of an ant-dispersed plant. *Acta Oecologica*, 35: 393 – 399.

Gorb E. a Gorb S. (1999): Dropping rates of elaiosome-bearing seeds during transport by ants (*Formica polyctena* Foerst.): Implications for distance dispersal. *Acta Oecologica*, 20: 509–518.

Gurevitch J., Scheiner S. M., Fox G. A. (2006): *The Ecology of Plants*. United Kingdom, Sinauer Associates, Sunderland, s. 179 – 182.

Hejný S. a Slavík B., eds. (1990): *Květena České republiky 2*. Praha, Academia, s. 421 – 422.

Hejný S. a Slavík B., eds. (1997): *Květena České republiky 1*. Praha, Academia, s. 352 – 354, 493, 456 - 458.

Chytrý M., Kučera T., Kočí M., eds. (2001): *katalog biotopů České republiky*. Praha, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, s. 196, 207, 229 – 230.

Kjellsson G. (1985): Seed fate in a population of *Carex pilulifera* L. *Oecologia*, 67: 416 – 423.

Konečná M. (2012): *Mravenci jako roznašeči semen v luční vegetaci*. Bakalářská práce, školitel: prof. RNDr. Jan Lepš, CSc. České Budějovice, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta.

Kristen M. P., Saxena K., Frederickson M. (2014): Seed handling behaviours of native and invasive seed-dispersing ants differentially influence seedling emergence in an introduced plant. *Ecological Entomology*, 39: 66 – 74.

Lengyel S., Gove A. D., Latimer A. M., Majer J. D., Dunn R. R. (2010): Convergent evolution of seed dispersal by ants, and phylogeny and biogeography in flowering plants: A global survey. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 12: 43 – 55.

Lhotská M., Krippelová T., Cigánová K. (1987): *Ako sa rozmnožujú a rozširujú rastliny*. Bratislava, Obzor, s. 82 – 83, 118 – 120, 168 – 169.

Mark S. a Olesen J. M. (1996): Importance of elaiosome size to removal of ant-dispersed seeds. *Oecologia*, 107: 95 – 101.

Opravil E., Drchal K. (1987): Jak rostliny cestují. Praha, Albatros, s. 49 – 140.

Papáček M., ed. (2010): Didaktika biologie v České republice a badatelsky orientované vyučování. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, s. 128 – 162.

Peters M., Oberrath R., Böhning-Gaese K. (2003): Seed dispersal by ants: are seed preferences influenced by foraging strategies or historical constraints? *Flora*, 198: 413 – 420.

Pfeiffer M., Huttenlocher H., Ayasse M. (2010): Myrmecochorous plants use chemical mimicry to cheat seed-dispersing ants. *Functional Ecology*, 24: 545 – 555.

Reifenrath K., Becker C., Poethke H. J. (2012): Diaspore trait preferences of dispersing ants. *Journal of Chemistry Ecology*, 38: 1093 – 1104.

Renard D., Schatz J., McKey D. B. (2010): Ant nest architecture and seed burial depth: Implications for seed fate and germination success in a myrmecochorous savanna shrub. *Écoscience* 17: 194 – 202.

Slavík B., ed. (2000): Květena České republiky 6. Praha, Academia, s. 206 – 207.

Slavíková J. (1986): Ekologie rostlin. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, s. 152 – 156.

Sýkora V. a Hroudová V. (2009): Tajemství rostlin. Praha, Academia.

Turner K. M. a Frederickson M. E. (2013): Signals Can Trump Rewards in Attracting Seed-Dispersing Ants. *PLoS ONE* 8(8): e71871.

Warren J. R., Giladi I., Bradford M. A. (2014): Competition as a mechanism structuring mutualisms. *Journal of Ecology*, 102: 486 – 495.

Žďárek J. (2015): Hmyzí rodiny a státy. Praha, Academia, s. 411 – 412.