

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2020**

**Bc. Martina Větrovská**

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA EKOLOGIE**

**Ekotonální efekt a jeho vliv na skladbu nekrofágních  
společenstev brouků**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Ing. Pavel Jakubec, Ph.D.**

**Konzultant: Santiago Montoya-Molina, MSc.**

**Diplomant: Bc. Martina Větrovská**

**2020**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martina Větrovská

Krajinné inženýrství  
Regionální environmentální správa

Název práce

Ekotonální efekt a jeho vliv na skladbu nekrofágních společenstev brouků

Název anglicky

Edge effect and its influence on composition of necrophagous beetle communities

---

Cíle práce

- Zpracovat literární rešerši na téma ekotonální efekt se zaměřením především na jeho vliv na biodiverzitu bezobratlých.
- Experimentálně zjistit jak se mění parametry společenstev nekrofágních společenstev brouků na přechodu mezi lesním a lučním habitatem.
- Pokusit se zjistit preference jednotlivých zaznamenaných druhů v rámci experimentu.

Metodika

Vybrat tři vhodné lokality s podobnými klimatickými parametry, s přítomností přechodu lesa v luční biotop podobného stáří a struktury. Vzdálenost mezi lokalitami by měla být minimálně 1 km. Na každé pak pomocí padacích pastí s návnadou nasbírat zástupce nekrofágních bezobratlých na gradientu mezi lesem a loukou. Vzdálenost mezi jednotlivými pastmi v gradientu bude minimálně 30 metrů. Pasti budou exponovány po stejně dlouhou dobu a to minimálně 14 dní na přelomu května a června.

Odebraný materiál bude roztříděn z každé pasti samostatně a zástupci nekrofágní komunity určeni do druhu. Na základě takto sebraných dat bude testována hypotéza, že s rostoucí vzdáleností od ekotonu se mění druhová diverzita a abundance studované skupiny.

**Doporučený rozsah práce**

30

**Klíčová slova**

ekoton, biodiverzita, nekrofágní, Silphidae, ekologie,

---

**Doporučené zdroje informací**

Begon M, Harper JL, Townsend CR (2006) *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. 3rd ed. Blackwell science, 738 pp.

Jakubec P, Růžička J (2015) Is the type of soil an important factor determining the local abundance of carrion beetles (Coleoptera: Silphidae)? *European Journal of Entomology* 112: 747–754.

Kočárek P (2001) Diurnal Activity Rhythms and Niche Differentiation in a Carrion Beetle Assemblage (Coleoptera : Silphidae ) in Opava , the Czech Republic. *Biological Rhythm Research* 32: 431–438.

Magura T, Lövei GL, Tóthmérész B (2017) Edge responses are different in edges under natural versus anthropogenic influence: a meta-analysis using ground beetles. *Ecology and Evolution* 7: 1009–1017.

Martínez-Falcón AP, Zurita GA, Ortega-Martínez JJ, Moreno CE (2018) Populations and assemblages living on the edge: dung beetles responses to forests-pasture ecotones. *PeerJ* 6: e6148.

Ries L, Fletcher RJ, Battin J, Sisk TD (2004) Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 491–522.

Ries L, Sisk TD (2008) Butterfly edge effects are predicted by a simple model in a complex landscape. *Oecologia* 156: 75–86.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Pavel Jakubec, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra ekologie

**Konzultant**

Santiago Montoya-Molina

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2020

---

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Ekotonální efekt a jeho vliv na skladbu nekrofágních společenstev brouků vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 29.6.2020

.....

Bc. Martina Větrovská

### **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce doktoru Pavlu Jakubcovi za trpělivost, ochotu a doporučení zdrojů, které mi pomohly ke zpracování této práce a osobní pomoc při ukládání pastí. Stejně tak konzultantovi Santiagovi Montoya-Molina. Dceři Adélce za čas, který mi dala na psaní práce a pomoc při sběru vzorků. Dále celé rodině, přátelům a kolegům za podporu a umožnění studia.

V Praze dne 29.6.2020

.....

Bc. Martina Větrovská

**Abstrakt:**

Tato práce se zabývá provedením a vyhodnocením experimentu zaměřenému na výskyt nekrofágních druhů brouků v prostředí ekotonu a sousedních biotopů. Pro experiment byl zvolen přechod mezi biotopem louky a lesa. Bylo zkoumáno druhové zastoupení nekrofágů a vliv vzdálenosti od ekotonu na uspořádání společenstev, i jejich habitatové preference. Pro experiment byly použity padací pasti s návnadou a konzervantem, které byly rozmístěny dle stanoveného designu na vybrané lokality. Pasti byly exponovány po dobu dvou týdnů. Z odebraných vzorků byli separováni nekrofágové a pomocí statistického modelování byl hodnocen ekotonální efekt na tyto mrchožrouty. Z provedené analýzy byly zjištěny habitatové preference jednotlivých druhů a složení společenstev nekrofágů ve vazbě na vzdálenost od ekotonu. Získaná data lze využít ve forenzní entomologii pro odhalení manipulace s tělem oběti, neboť specializace druhů na konkrétní habitat může poukázat na přemístění těla oběti z původního místa činu. Dále mohou být tyto poznatky podkladem pro krajinné plánování.

**Klíčová slova:** ekoton, biodiverzita, nekrofágní, Silphidae, ekologie

**Abstract:**

This work deals with the implementation and evaluation of an experiment focused on the occurrence of necrophagous beetle species in the environment of ecotones and neighboring habitats. The transition between the meadow and forest habitat was chosen for the experiment. The species representation of necrophages and the influence of the distance from the ecotone on the arrangement of communities, as well as their habitat preferences, were investigated. For the experiment, drop traps with bait and preservative were used, which were distributed according to the specified design to selected locations. The traps were exposed for two weeks. Necrophages were separated from the samples taken and the ecorotonal effect on these scavengers was evaluated using statistical modeling. The habitat preferences of individual species and the composition of necrophage communities in relation to the distance from the ecotone were determined from the performed analysis. The obtained data can be used in forensic entomology to detect manipulation of the victim's body, because the specialization of species on a particular habitat may indicate the relocation of the victim's body from the original crime scene.

**Key words:** ecotone, biodiversity, necrophagous, Silphidae, ecology



Obsah:

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce .....	3
3. Metodika .....	4
3.1 Charakteristika studijního území.....	4
3.1.1 Zájmové území.....	4
3.1.2 Geologie území .....	5
3.1.3 Pedologie území .....	6
3.1.4 Klima.....	6
3.1.5 Hydrologie .....	6
3.1.6 Vegetace.....	6
3.2 Sběr dat.....	7
3.2.1 Popis pastí .....	7
3.2.2 Design rozmístění pastí .....	8
3.2.3 Sběr a rozdělení vzorků.....	9
3.3 Zpracování dat .....	10
3.3.1 Gradientová analýza.....	10
3.3.2 Smíšené lineární modely .....	10
3.3.3. Výpočet rarefaction hodnoty.....	11
4 Literární rešerše .....	12
4.1 Mrchožroutovití.....	12
4.2 Vliv biotopu na složení společenstev mrchožroutů.....	14
4.2.1 Ekoton.....	14
4.2.2 Odezvy druhů na okraj biotopu.....	15
5 Výsledky .....	18
5.1 Ordinační diagram .....	18
5.2 Lineární modely .....	18
6 Diskuse.....	23
7 Závěr a přínos práce.....	27
8 Přehled literatury.....	28
9 Přílohy.....	35

## 1. Úvod

V České republice je více než 50% půdy využíváno pro zemědělství (ČUZK .2020), díky tomu je značná část půdy ošetřována chemickými látkami, jedná se zejména o hnojiva či chemické postřiky. Tento způsob hospodaření vedl v minulých desetiletích ke snížení biodiverzity bezobratlých živočichů. V poslední době sice roste procento ekologického zemědělství, ale ani to nestačí ke snížení rozšiřujícího se seznamu chráněných a kriticky ohrožených druhů bezobratlých. Hmyz přitom představuje většinu druhové rozmanitosti (Kraus et al. 2017).

V České republice byl doposud zjištěn výskyt zhruba 29 500 druhů hmyzu, což je přes 80 % u nás volně žijících druhů živočichů (Kraus et al. 2017). Podle aktuálního červeného seznamu bezobratlých je ohroženo 22 % druhů hmyzu (Hejda et al. 2017). Hmyz je významný a nezastupitelný pro své funkce v ekosystému, ať už jako opylovačů, herbivorů, detritivorů, kteří představují potravní základnu pro druhy výše postavené v potravním řetězci (Ollerton et al. 2011). Tato práce je zaměřená na výskyt nekrofágních brouků čeledi mrchožroutovitých *Silphidae*, a to zejména jejich druhovou diverzitu v biotopu lesa a louky s vlivem přechodu těchto dvou biotopů, tedy vliv ekotonu na skladbu společenstev těchto brouků.

Termín ekoton pochází z řeckého slova „tonus“, což znamená napětí. Tedy zóna napětí mezi dvěma biotopy (Bieringer et Zulka, 2003). Efekt ekotonu je zkoumán, protože je velice důležitý, neboť v něm dochází k interakcím mezi druhy žijícími v sousedních biotopech a lze díky tomu sledovat, jak struktura krajiny ovlivňuje kvalitu stanoviště. Bylo provedeno několik experimentů se zaměřením na výskyt hmyzu, preference jednotlivých druhů, které reagují na okraje, ekologické toky, přístup k prostorově odděleným zdrojům, mapování zdrojů a interakce druhů (Ries et al. 2004). Žádný z těchto experimentů zatím nebyl proveden v podmínkách České republiky se zaměřením na výskyt společenstev nekrofágů v ekotonu louky a lesa.

Výsledkem tohoto experimentu je hodnocení vlivu vzdálenosti od ekotonu na biodiverzitu a abundanci jednotlivých druhů ve sledovaných biotopech pomocí statistického modelování. Tyto výsledky mohou být využity jak v územním plánování např. pro efektivní navrhování prvků Územního systému ekologické stability (ÚSES), tak se výsledky zaměřené na nekrofágní druhy dají využít ve forenzní entomologii.

Pomocí hmyzu je možné poměrně přesně stanovit přibližný čas od smrti, tzv. post mortem interval (PMI), a to na základě zkoumání ekologických vazeb hmyzu v místě nálezů a stáří nalezených nekrofágů. Každý druh má specifické nároky pro svůj vývoj např. teplotu prostředí, vlhkost vzduchu nebo půdy, zdroje, kterými se živí atd., v práci jsou popsány tyto ekologické vazby a jejich vliv na přesnost stanovení doby smrti. Doplněním údajů z tohoto experimentu je možné též určit, zda nedošlo k manipulaci s tělem oběti, jelikož některé druhy otevřené krajiny se nevyskytují v lese, a naopak lesní druhy hrobaříků se nevyskytují v otevřené krajině. Tyto habitatové preference byly v tomto experimentu sledovány a hodnoceny.

## **2. Cíle práce**

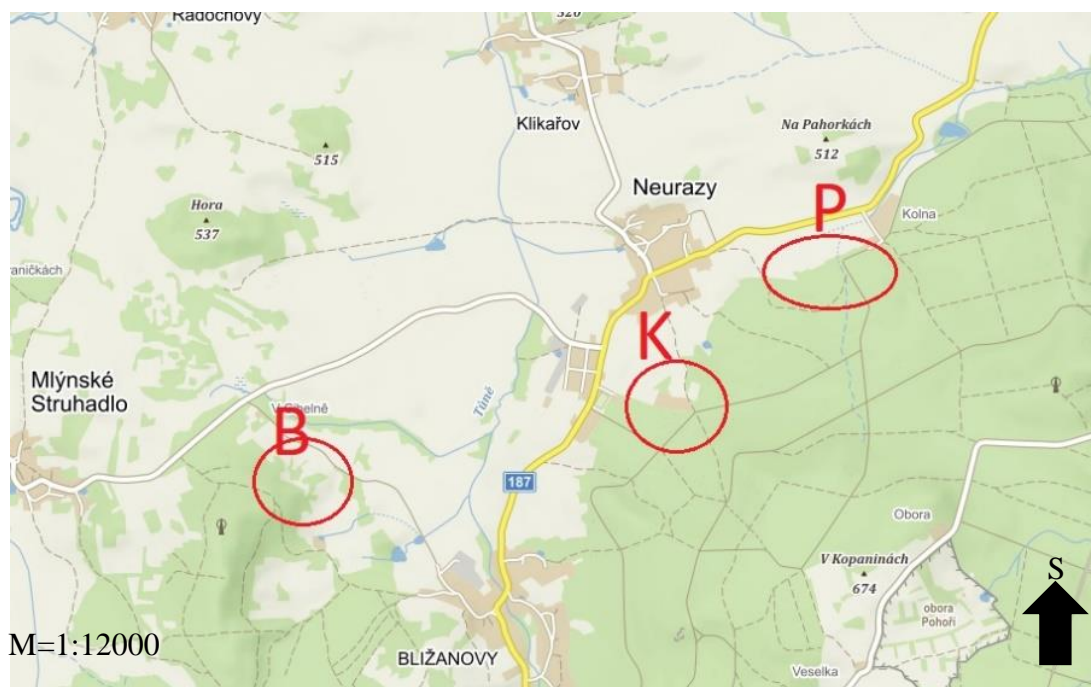
- Zpracovat literární rešerši na téma ekotonální efekt se zaměřením především na jeho vliv na biodiverzitu bezobratlých.
- Experimentálně zjistit, jak se mění parametry společenstev nekrofágních brouků na přechodu mezi lesním a lučním habitatem.
- Pokusit se zjistit preference jednotlivých zaznamenaných druhů v rámci experimentu.

### 3. Metodika

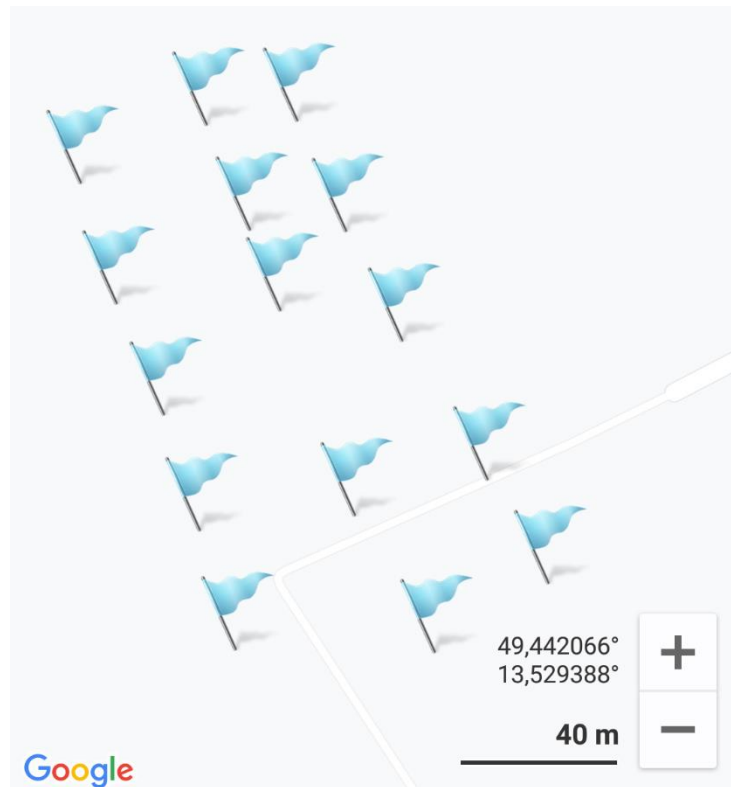
#### 3.1 Charakteristika studijního území

##### 3.1.1 Zájmové území

Obec Neurazy se nachází v Plzeňském kraji, v okrese Plzeň jih a správně spadá pod obec s rozšířenou působností Nepomuk. Leží v nadmořské výšce 488 m.n.m. na severozápadním úpatí Plánické vrchoviny, jejíž nejvyšší vrcholy jsou Rovná (728 m n. m.), Barák (706 m n. m.), Na Balkáně (706 m n. m.) a Stírka (706 m n. m.) (obec Neurazy, 2020). Plocha katastrálního území je 25 km<sup>2</sup> (ČÚZK 2020). Extravilán obce tvoří lesy, pole a pastviny. Dopravní obslužnost je pouze silniční dopravou. Lokalita P- pila se nachází východně od obce směrem k městu Nepomuk v blízkosti je místní závod na zpracování dřeva GPS 49,4442144°,13,529062° cca 482,7 m.n.m. Lokalita K – kino se nachází v jihozápadní části obce, kde je v blízkosti letní kino GPS 49,435081°13,513989° cca 506 m.n.m, a lokalita B – Bližanovy se nachází severozápadně od obce v blízkosti sousední obce Bližanovy GPS 49,432027°13,0488318° cca 540 m.n.m. (obr.1 a 2). U všech lokalit byla orientace lesa na jihozápad a louky na severovýchod.



Obr. 1. rozmístění pastí v lokalitách: B-Bližanovy, K-kino, P-Pila



Obr.2. rozmístění pastí v lokalitě P

### 3.1.2 Geologie území

Zájmové území leží na rozhraní geologických jednotek Moldanubika a Bohemika, obě jsou součástí Českého masívu. Část území je tvořena moldanubikem (svorové ruly, pararuly až migmatity s vložkami vápenců, erlanů, kvarcitů, grafitů a amfibolitů). Největší část území tvoří granitoidy až diority, dále pak jednotvárná (svorové ruly, pararuly až migmatity). Oblastí prochází několik zlomů severojižního směru. Lokality P a K se nacházejí na písčitohlinitém – hlinitopísčitém sedimentu. Lesní část lokalit je tvořena rulou. Lokalita B se nachází na porfyrickém drobnozrnném biotitickém granodioritu (Geoportal.gov, 2014 -geologie; Demek, 1987)

### 3.1.3 Pedologie území

Půdní pokryv je na většině území tvořen kambizeměmi. V severní části obvodu jsou výrazněji zastoupeny pseudogleje. Podél větších toků se nachází fluvizemě, menší toky jsou lemovány glejemi. menší část území je tvořena luvizeměmi. Na lokalitě P jsou bonitované půdně ekologické jednotky BPEJ 7.50.01 a 7.67.01. U lokality K je v části louky dominantní kambizem mesobazická, doprovodnou je kambizem oglejená mesobazická jednotky BPEJ 7.32.14. V lese je to kambizem dystrická. rankerová. Na lokalitě B jsou jednotky BPEJ 7.32.14., 7.29.44. a 7.39.29. je to kambizem oglejená mesobazická. (Geoportal.gov, 2014 -pedologie), (ČÚZK, 2020)

### 3.1.4 Klima

Klima je jako v celém regionu mírně teplé dle Quittovy klimatické klasifikace použité v Atlasu podnebí Česka (2007). Průměrná roční teplota v území závisí zejména na nadmořské výšce, pohybuje se zpravidla mezi 6 -8 °C. Průměrný roční úhrn srážek je zhruba 600 -800 mm v závislosti na nadmořské výšce a tvaru reliéfu. (Tolasz, 2007).

### 3.1.5 Hydrologie

Celé území spadá do povodí Labe (povodí I. řádu) a povodí Vltavy (povodí II. řádu). Nepatrná část území Nepomucka na severozápadě náleží do povodí řeky Úhlavy (povodí IV. řádu), která ústí do Berounky. Největší část území správního obvodu odvodňuje řeka Úslava (povodí IV. řádu), která je nejvýznamnějším tokem území (Vlček, 1984; VÚV TGM, 2014).

### 3.1.6 Vegetace

Území je využíváno především pro zemědělství. V katastrálním území Neurazy je 276,8 ha orné půdy, 154 ha trvalých travních porostů a 38,8 ha lesa (ČÚZK 2020). Pěstuje se zde především obilí, kukuřice a v menší míře brambory. Louky v minulosti sloužily jako pastviny pro krávy z dnes již zaniklého JZD. V současné době jsou dvakrát ročně posečeny a sváží se z nich seno. Na vybraném území jsou to louky s typickými travinami jako např. bojínek hliznatý (*Phleum nodosum*), kostřava

červená (*Festuca rubra*), kostřava ovčí (*Festuca ovina*), lipnice luční (*Poa pratensis*). Lesy jsou převážně smrkové s nejčastěji zastoupeným Smrkem ztepilým (*Picea abies*). Na okrajích lesa se vyskytují Duby zimní (*Quercus petraea*), Olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) a Bříza bělokorá (*Betula pendula*) (Černý 2007).

## 3.2 Sběr dat

### 3.2.1 Popis pastí

Padací past se skládala z odchytové nádoby, do ní zavěšené nádoby s návnadou a stříšky. Jako odchytová nádoba byly použity plastové kyblíky o objemu 1 litr. Do nich byly za okraje na drátkách zavěšeny menší plastové kelímky o objemu 0,2 litru (obr. 3). Vzhledem k nutnosti konzervace vzorků byly sběrné nádoby naplněny zhruba do jedné třetiny směsí ethylenglykolu a vody v poměru 1:3. Jako návnada do zavěšeného kelímku bylo použito kuřecí maso (prsní řízky bez kůže a kostí) cca 50 g na jednu past. Kelímek kryla stříška z plechu o rozměrech 20x20 centimetrů, která měla v rozích předvrtané otvory, do kterých byly zatlučeny hřebíky, tím byla stříška připevněna k zemi. Mezera mezi stříškou a pastí byla cca 2 cm. Pasti byly zakopány tak, aby horní okraj kyblíku byl v úrovni okolní půdy.



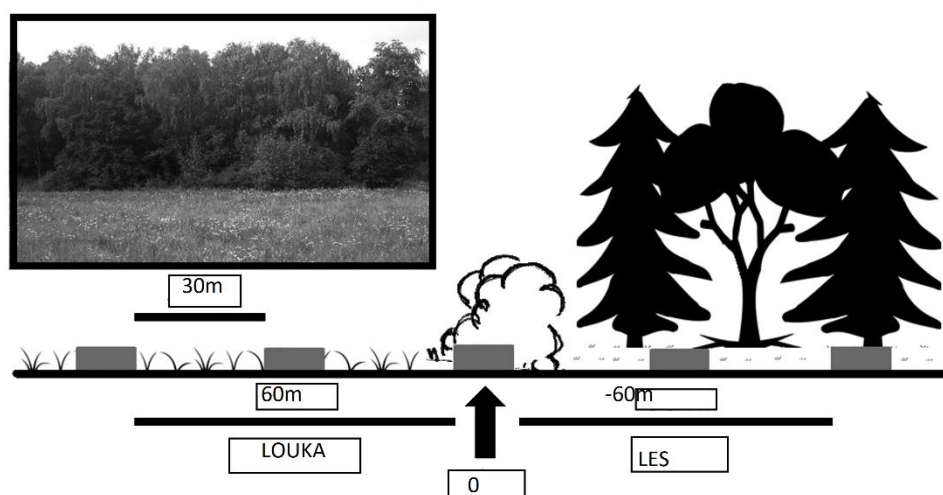
Obr. 3. uložení padací pasti s návnadou a konzervantem:

*plechová stříška, plastový kyblík s konzervantem, zavěšený kelímek s návnadou*



### 3.2.2 Design rozmístění pastí

Umístění pastí bylo provedeno na třech lokalitách vzdálených od sebe minimálně 1 km vzdušnou čarou. Tato vzdálenost byla zvolena z důvodu statistické nezávislosti jednotlivých odběrů. Na základě místních znalostí byly vytipovány tři lokality s podobnými klimatickými podmínkami. Každá lokalita byla tvořena habitatem lesa, louky a ekotonem mezi těmito biotopy. Na každé lokalitě byly pasti umístěny ve třech liniích, které byly od sebe vzdáleny 50 m. Na každé linii bylo uloženo pět pastí ve vzdálenosti 30 m od sebe. Na přechodu linie lesa a louky (ekoton) byla past označena jako 0 a od této pasti byly rozmístěny dvě pasti v biotopu lesa v gradientu -30m (-1) a -60m (-2) a v biotopu louky v gradientu 30m (1) a 60m (2) od ekotonu viz obr.3.1. Celkem bylo uloženo 45 pastí. Lokality byly pracovně rozlišeny podle místa uložení počátečním písmenem místa P – pila, K- kino, B – Bližanovy, každá past byla označena číslem linie 1-3 a umístěním v gradientu -2 až 2 ( obr. 4).. Popisy pastí jsou uvedeny příloze č.1 v tabulce data. Pro kontrolu byla každá past zaměřena GPS lokátorem a označena číslem bodu. U některých pastí zejména v lese nebyly souřadnice GPS úplně přesné. Pasti byly kladeny 1.6.2019 teplota vzduchu 27°C, polojasno. Expozice trvala dva týdny. Během expozice pastí byly desátý a třináctý den dešťové přeháňky, denní teplota se pohybovala od 25°C do 33°C.



Obr. 4. Rozmístění pastí od ekotonu (Urbański et al.2015)

<https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.2.283>

### 3.2.3 Sběr a rozdělení vzorků

Z nalezených pastí (některé pasti byly znehodnoceny zvěří nebo povětrnostními vlivy) byla demontována stříška, ze sběrné nádoby byly odstraněny napadané listy a drobní obratlovci. Zbytek obsahu byl vysypán na sítko a uložen do plastových krabiček s víkem, ve kterých byl zalit dostatečným množstvím roztoku 70% lihu, kterým byly vzorky zakonzervovány před vlastním zpracováním v laboratoři. Každá krabička byla označena písmenem lokality, číslem linie a jejím umístěním v gradientu od -60m do + 60 m od ekotonu označenému 0 a pro kontrolu číslem bodu dle zaměření GPS.

V laboratoři byl obsah jednotlivých krabiček postupně přesypán na sítko a pevný obsah byl propláchnut tekoucí vodou. Následně byl obsah sítka vložen do misky a zalit vodou. Z misek byli pinzetou vybíráni mrchožroutovití jedinci a položeni na papírové utěrky (obr. 3.5). Po oschnutí byli rozděleni a zařazeni do druhů. Následně byl z každé pasti zaznamenán počet jedinců každého druhu bez rozlišení pohlaví. Determinace byla prováděna na základě srovnání s již určeným materiálem a případně konzultováno pomocí určovacího klíče Šustek Z. (1981).



Obr. 5. rozřídění vzorků

### 3.3 Zpracování dat

#### 3.3.1 Gradientová analýza

Gradientovou analýzou byla testována odezva druhů na ekoton. Byla testována hypotéza  $H_0$  – vzdálenost od ekotonu nemá vliv na druhovou abundanci. Gradientová analýza - byla provedena nepřímá gradientová analýza ordinační metodou detrendovanou korespondenční analýzou DCA, kde byly použity vícerozměrná data porovnáním ordinace s faktorem vzdálenost a bez něj. Výstupem je ordinační diagram s testovanou významností faktoru vzdálenosti od ekotonu, pomocí Monte Carlo permutačního testu s 999 permutacemi, který naznačuje preference biotopu jednotlivých druhů.

#### 3.3.2 Smíšené lineární modely

Testovaná hypotéza  $H_0$  – vzdálenost od ekotonu nemá vliv na biodiverzitu v biotopu. Alternativní hypotéza  $H_1$ -vzádnost od ekotonu ovlivňuje biodiverzitu. . Hodnota  $p$  byla stanovena na 0,05 tedy hladina signifikance 5%.

Statistickým porovnáním smíšených modelů pro jednotlivé druhy a jejich reakcí na vzdálenost od ekotonu nebo biotop, při poissonovském rozdělení dat byl pro každý druh testován počet jedinců v závislosti na vzdálenosti od ekotonu, kde jako vysvětlující proměnou byla vzdálenost a vysvětlovanou počet jedinců. Počet jedinců byl testován i v závislosti na biotopu, kde byl biotop jako vysvětlující proměnná. Pro jednotlivé druhy a posouzení jejich závislosti na vzdálenosti ekotonu a typu biotopu byly vytvořeny zobecněné lineární modely se smíšenými efekty (GLM). Porovnáním indexů pro jednotlivé biotopy a druhy byla hodnocena habitatová preference mrchožroutů. Přehled počtů jedinců na lokalitách je uveden v příloze č.1.

Pro stanovení indexu diverzity jednotlivých pastí byl použit Shannonův - Weaverův index. Indexy založené na poměrné početnosti druhů počítají s rovnoměrností zastoupení druhů a některé zároveň s druhovou bohatostí. Nemají žádný předpoklad o modelové četnosti druhů a dají se tak považovat za neparametrické indexy. Tento index je indexem vycházejícím z informační teorie. Jeho předpokladem je náhodný výběr jedinců z teoreticky neomezeného množství a přítomnost všech druhů společenstva ve vzorku (Jarkovský et al. 2012).

Výpočet se provádí pomocí vzorce

$$H = \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$
$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

*S* - celkový počet taxonů, *n<sub>i</sub>* - počet jedinců *i*-tého druhu a *N* celkový počet jedinců,

Pomocí Shannon – Weaver indexu biodiverzity jako závislé proměnné a vzdálenosti od ekotonu jako nezávislé proměnné řešíme, zda tato vzdálenost ovlivňuje biodiverzitu (Jarkovský et al. 2012).

### **3.3.3. Výpočet rarefaction hodnoty**

Z vyhodnocených dat - počtu pastí a nalezených druhů pro les, ekoton a louku, byla provedena modelace teoretických hodnot pro stanovení množství pastí, které by mohly být použity pro opakování experimentu s požadovaným množstvím druhů.

Data byla zpracována a analyzována pomocí programu R (verze 3.5.1.).

## 4 Literární rešerše

### 4.1 Mrchožroutovití

Čeď mrchožroutovití má celkem asi 185 druhů. Tato čeď se dělí na dvě podčeďi hrobařici *Nicrophorinae* a mrchožrouti *Silphinae* (Sikes,2005,2008; Růžička et Jakubec 2016). Ve střední Evropě se vyskytuje 30 druhů, z toho 20 mrchožroutů a 10 hrobaříků (Jakubec et Růžička 2015). Do čeďi patří jak predátoři rodu *Phosphuga*, *Ablattaria*, *Dendroxena*, částečně rod *Silpha*, tak fytofágové rodu *Aclypea* a fakultativní nebo obligátní nekrofágové rodu *Nicrophorus*, *Thanatophilus*, *Necrodes*, *Oiceptoma* a některé druhy rodu *Silpha*.(Sikes 2008).

Některé druhy nekrofágů jsou specializované na vyhledávání mršin v prostoru a jsou proto adaptovány schopností letu. Bez této schopnosti by nebyli schopni konkurence ostatních druhů nekrofágů nebo nekrobiontů (Ikeda et al. 2007). Nespecializované druhy schopnost létat nemají, protože jsou schopni zajistit potravu vlastní aktivitou např. mrchožrouti rodu *Dendroxena* loví housenky (Ikeda et al 2007). Vzdálenosti, které jsou jednotlivé druhy schopni překonat se zjišťují zpětnými odchvy označených jedinců. Bylo tak zjištěno, že hrobařík *Nicrophorus germanicus*, který je největším středoevropským hrobaříkem, je schopen překonat za 24 hodin vzdálenost delší než čtyři kilometry. U menších druhů např. *Thanatophilus rugosus* je tato vzdálenost do 500 metrů (Petruška 1964).

Vlastnostmi, které ovlivňují rozšíření a početnost druhů během roku se zabýval Anderson (1982). Výskyt druhů a jejich aktivita na mršinách se mění nejen během ročního období, ale i denní doby nebo vlivem teploty. Ekologická nika jednotlivých druhů, jejich specializace a schopnost konkurence je pravděpodobně způsobena koevolucí na mršinách. Různý výskyt těchto druhů podle místa a času degradující mršiny může být způsoben mezidruhovou kompeticí a snahou najít mršinu bez konkurentů. Sezónní výskyt těchto druhů souvisí s jejich schopností udržet svoji teplotu a vývojovém stádiu v jakém přezimují. V časném jaře jsou to druhy *N. antennatus*, *N.vespillo*, *N. vespilloides*, *N. germanicus*, *N. humator* a *N. vestigator*, kteří přezimují jako dospělci. V pozdním jaře jsou to druhy přezimující jako larvy a to *N. sepultor*, *N. ivestigator* a *N.interruptus* ( Novák 1961; Šustek 1981).

Dospělce střeoevropských druhů lze určovat podle klíčů např. Mroczkowski (1955), Székessy (1961), Freude (1971), Šustek (1981) a Nikolaev & Kozminykh (2012) (Háva, 2015). Morfologie larev čeledi mrchožroutovitých je popsána např. Newtonem (1991) nebo Klausnitzerem (1978,1997). Většinu dospělců střeoevropských druhů je možné určit podle celkového vzhledu a charakteristických znaků. U druhů *Silpha obscura* a *S. alpestris* a některých druhů hrobaříků *Nicrophorus* (*N.antennatus* x *N.vestigator* a *N.investigator* x -*N. sepultor*) jsou pouze nepatrné rozdíly ve struktuře chloupků a při jejich odření může dojít k nepřesnému určení druhu (Růžička et Jakubec 2016).

Mrchožroutovití jsou důležitou součástí forenzní kriminalistiky, kdy se pomocí skladby společenstev a jejich preferencí dá zpřesnit čas úmrtí nebo původní místo smrti. Studie byly provedeny v různých biotopech, kde byla zkoumána nejen časová posloupnost výskytu jednotlivých druhů, ale zároveň bylo zjištěno, že výskyt určitého druhu je vázán ne na zdroj potravy, ale na biotop, ve kterém se nachází. Jak uvádí Dekeirsschieter et al (2010). Habitatovými preferencemi se zabývá Novák (1962), Růžička (1994), Kočárek (2003), Jakubec et Růžička (2015), v těchto studiích bylo zjištěno, že je lze dělit na druhy typicky lesní např. *Nicrophorus vespilloides*, *N. humator*, *N.investigator*, *Necrodes littoralis*, *Oiceptoma thoracicum*, *Phosphuga atrata atrata* a *Dendroxena quadrimaculata* a druhy otevřené krajiny jako jsou *Nicrophorus antennatus*, *N.germanicus*, *N. sepultor*, *N.vestigator*, *Thanatophilus rugosus* a *T. sinulatus*. Druhy *Nicrophorus interuruptus* a *N.vespillo* se vyskytují v obou biotopech a jsou tedy nevyhraněné.

Dalším ovlivňujícím faktorem výskytu může být půdní typ. Vazba na půdní typ byla pozorována u druhů *N.antennatus*, *N. germanicus*, *N. humator*, *N. interruptus*, *N. sepultor*, *Silpha obscura obscura* a *Thanatophilus sinautus* (Novák1961, 1962, Looney et al. 2009, Jakubec et Růžička 2015).

Aktivita hmyzu je dána klimatickými podmínkami a schopností druhů regulovat svoji tělesnou teplotu. Teplota ovlivňuje nejen rychlost procesů rozkladu, ale i aktivitu a rychlost růstu hmyzu a urychluje tak vývoj instarů. Vysoké teploty mohou vývoj instaru nejen zpomalit, ale může dojít i ke smrti jedince, který není dostatečně vyvinut nebo není adaptován na vyšší teploty. Nízká teplota prostředí naopak zpomaluje rozklad i vývoj, kdy může nastat diapauza, tedy stav zastavení vývoje a v extrémních případech může způsobit uhynutí jedinců ve všech stupních vývoje. Také jsou

ovlivněny procesy probíhajících posmrtných změn, kdy enzymy a jejich reakce zrychlují nebo zpomalují průběh rozkladu, zejména tvorbu plynů, fermentaci tuků a bílkovin (Šuláková 2006). Ke zvýšení teploty může dojít i při vytvoření larválních agregací, kdy se larvy shlukují do větších mas a zahřívají se navzájem (Rivers et Dahlem 2014).

Byla zaznamenána i rozdílná aktivita během dne mezi jednotlivými druhy (Kočárek 2001,2002). U *Nicrophorus germanicus* a *N. humator* je nejvyšší aktivita v podvečer a v noci, ale *N.vespillo*, *Oiceptoma thoraticum*, *Thanatophilus rugosus* a *T. sinuatus* jsou aktivní během dne (Špicarová 1972, Kočárek 2001, 2002).

## **4.2 Vliv biotopu na složení společenstev mrchožroutů**

### **4.2.1 Ekoton**

Pojem ekoton je běžně používán pro označení hranice přirozeného biotopu, především lesa, a narušené, či člověkem jinak pozměněné krajiny. S ekotonem úzce souvisí tzv. okrajový efekt. Pod ním rozumíme vlivy, kterými na sebe působí dvě ekologická společenstva při své dělící hranici (ekotonu). Na tomto území je možné pozorovat prvky obou společenstev a zároveň zde panují jedinečné vlastnosti této přechodové zóny. Proto je ekoton charakterizován vyšší druhovou bohatostí a zároveň vyšší populační hustotou, než je v obou okolních společenstvech (Lacina 2010). Podle nejčastěji používané definice (Lloyd et al. 2000) je ekoton definován poněkud obezřetněji, a to jako zóna, ve které jsou prostorové změny vegetace rychlejší než v okolí. Ekoton je přechodné stanoviště tvořené hranicí dvou různých prostředí. Šířka ekotonu se může lišit. Někdy mu svou charakteristikou odpovídá celé stanoviště, protože si kvůli malé velikosti nedokáže zachovat své vnitřní prostředí.

Pojem „ekoton“ představil Clements (1905) jako linku, která spojuje body stejného prostředí nebo jí probíhá náhlá změna v symetrii. Nejvýznamnějším efektem je výskyt druhů z obou sousedících společenstev spolu s druhy specificky ekotonálními. Taková společenstva jsou nazývána ekotonální a zvýšená druhová bohatost, kterou se vyznačují, je pak označována jako ekotonální jev neboli okrajový efekt, anglicky „edge effect“; (Šálek et al. 2005). Ekotony jsou základní jednotkou v krajinářských studiích (Wiens 1992). Mohou mít význam pro řízení v EU, kde mohou

pomoci čelit změnám klimatu, protože reakce na změny klimatu budou viditelné nejprve v ekotonech (Neilson 1991; Kupfer et Cairns 1996; Allen et Breshears 1998)

Výzkum ekotonu byl použit k testování mezi konkurenčními ekologickými teoriemi, protože některé teorie předpovídají, že většina hranic mezi společenstvy budou náhlé (Odum 1983; Gilpin 1994), další teorie předpovídají, že náhlé hranice nastanou především, když dojde k prudkým změnám prostředí (Wilson et Agnew 1992; Auerbach et Shmida 1993). Každý druh může na tento okrajový efekt reagovat odlišným způsobem s ohledem na jejich specializaci nebo adaptaci k prostředí. Mohou být striktními specialisty vyskytující se pouze v konkrétním biotopu a nikdy nepřekračující jeho hranici nebo se jí dokonce vyhýbat. Jiné druhy mohou být lhostejné nebo mající prospěch z přítomnosti přilehlého biotopu, rozšiřují se blíže k hranici nebo se dokonce koncentrují v okrajové zóně svého biotopu (Ries et al. 2004).

Ekologická hrana je zóna v dané krajině, kde ekologické vlastnosti (např. krajinná pokrývka, vlastnosti půdy nebo hustota stromů) procházejí na relativně krátké vzdálenosti velkými změnami (Cadenasso et al. 1997). Ekologické okraje (zóny oddělující ekosystémy nebo typy krajinného pokryvu) mohou fungovat jako aktivní hranice, jedinečná stanoviště a zóny dynamického přechodu. Abiotické faktory a interakce druhů vykazují silné reakce na okraje a tyto reakce mohou výrazně ovlivnit strukturu a funkci ekosystému (Porensky, 2011). Díky tomu je velice složité, vymezit prostorově optimální šířku ekotonu.

#### **4.2.2 Odezvy druhů na okraj biotopu**

Reakce živočichů a rostlin na okraj biotopu je ovlivňována několika faktory. Důležitým faktorem je typ sousedních biotopů, kde je v lesním porostu většinou vyšší druhová diverzita s nižším počtem jedinců, zatím co na loukách a pastvinách je diverzita nižší s větším počtem jedinců. Okrajové efekty mění biologickou rozmanitost hmyzu několika způsoby (Martinez-Falcón et al. 2018). Je to dáno především zdroji potravy, homogenitou prostředí a povětrnostními vlivy. Množství druhů a jejich populační hustoty závisí především na zkoumaných druzích, potažmo na typech hraničních biotopů.



V seminární práci vyvinul Ewers et Didham (2006) analytický přístup, kterým kvantifikuje jak velikost, tak rozsah okrajových efektů s ohledem na vzdálenost jako spojitou proměnnou na obou stranách gradientu vnitřní-vnější (Fonseca et Joner 2007). Model popisuje sigmoidní a unimodální odezvové funkce, které byly teoreticky predikovány a empiricky prokázány. Výsledky ukazují, že velikost a rozsah okrajových efektů nemusí nutně korelovat, a proto poskytují kvantitativně odlišné a doplňkové informace o síle okrajových efektů. Tuto metodu lze využít pro přesnější předpovídání přítomnosti, prostorového umístění a využití základního stanoviště podle druhů ve fragmentovaných krajinách.

Unimodální odpověď blízko hrany nebo na okraji, vyhýbání se hraně (sigmoidní nebo lineární odpověď) nebo necitlivost hran (neutrální odpověď), a tento rámeček lze aplikovat na oba úplné (pokrývající celý rozsah vzdáleností) a neúplné biologické reakce na okrajové efekty. Tento přístup byl v poslední době používán k posouzení okrajových účinků na fragmentované krajině, kde byla původní stanoviště, jako jsou lesy, přeměněna na pastviny a využití zemědělské půdy, k posouzení reakce populace v ekotonech mezi fragmenty lesa a novými agroekosystémy (Campbell et al. 2011; Ewers et al., 2013 ; Peyras et al., 2013; Barnes et al., 2014; Villada-Bedoya et al. 2017).

V botanické studii Luczaj et Sadowska (1997) bylo více druhů stromů a keřů v okrajové zóně mezi listnatými lesy a loukami v Polsku. Jejich druhová bohatost ale kulminovala v různých vzdálenostech od okraje. Houby a byliny byly k okrajovému efektu indiferentní, ale počet druhů mechorostů byl právě v ekotonu nejnižší a směrem do obou biotopů narůstal. Naproti tomu vyšší počet druhů rostlin v ekotonu ve srovnání s lesním biotopem dokazuje studie prováděná v lesích okolo Bruselu (Godefroid et Koedam 2003), Meiners et Pickett (1999) prokázali individualistické odpovědi jednotlivých druhů rostlin, jejichž abundanční amplitudy leží v různých vzdálenost na transektu staré pole a sukcesně mladý les. Tuto odpověď, tedy individuální reakci na různé ekotony prokázaly i další studie (např. Gehlhausen et al., 2000, Walker et al. 2003).

U studií zabývajících se živočichy prováděné na střevlících (Molnár et al. 2001, Heliölä et al. 2001), dokazují výskyt druhů z obou biotopů v ekotonu, vyšší druhová bohatost zde prokázána nebyla. Stejně tak mísení druhů v ekotonu, bez vlivu na vyšší druhovou bohatost, prokázali také Kotze et Samways (2001) na hranici pastvin a montánního lesa v Jižní Africe (mravenci a střevlící). Stejně tak Williams et Marsh

(1998) na hranici dvou různých lesních biotopů v Austrálii (malí savci). Naopak ve studii Stevens et Husband (1998) se malí savci ekotonu vyhýbali a jejich početnost kulminovala až mezi 120 a 160 metry od lesního okraje (prales, Brazílie). Podobně se chovali také obojživelníci v lesích na severovýchodním pobřeží USA (stát Maine), pro které byla působnost okrajového efektu 25 až 35 metrů do nitra lesa (Demaynadier et Hunter 2003). Vyšší druhovou bohatost ekotonu oproti okolnímu prostředí dokazují studie Didham (1997) a Chiba (2007). Didham (1997) zkoumal půdní bezobratlé (především brouky a mravence) na pomezí fragmentů přirozených deštných lesů a otevřené krajiny. Chiba (2007) prokázal nejvyšší druhovou bohatost u suchozemských měkkýšů na styku vlhkého a suchého lesního biotopu na jednom ostrově v Západním Pacifiku

Byers et al. (2017) řeší studie provedené ve větších měřítkách k posouzení dalších faktorů, které mohou ovlivňovat okrajové efekty, jako je složení krajiny a její struktura, rozptyl metapopulace a dynamika metakomunit ve fragmentované krajině a stupeň kontrastu mezi stanovišti (Byers et al 2017). Kontrastem mezi biotopy (nízko nebo vysoko kontrastní ekotony) ovlivňujícím reakce druhů společenstev brouků na okrajový efekt se zabývá Peyras et al. (2013). Zbytky původních lesů jsou rozhodující pro zachování všech druhů na úrovni krajiny (Beiroz et al. 2017), protože několik druhů se vyhýbá okraji a udržuje vyšší abundanci směrem k vnitřním lesům.

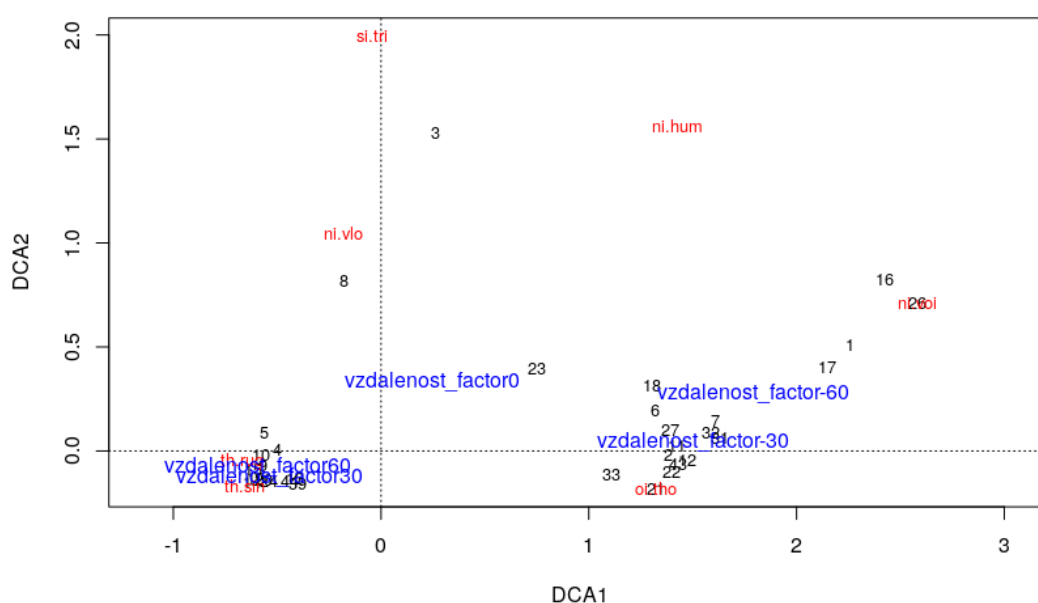
Ekologický význam okrajového efektu je především v přírodních ekotonech, kde byla zjištěna větší druhová rozmanitost, než v ekotonech uměle vytvořených lidskou činností (Magura et al. 2017). Tyto poznatky mají přínos především pro efektivní krajinné plánování.

Z pohledu forenzní entomologie, je důležitá skladba společenstev nekrofágů, kteří se podílejí na rozkladné degradaci kadáveru, jejich druhové složení a habitatové preference, kdy může být prokázána manipulace s tělem nebo lze stanovit přibližnou dobu smrti.

## 5 Výsledky

### 5.1 Ordinační diagram

Ordinační diagram (obr.6) je výsledkem testování proměnných *faktor vzdálenosti* jako vysvětlující proměnou (prediktoru) a vysvětlovanou proměnou a *počtem jedinců* každého druhu (kvantitativním způsobem) pro stanovení složení společenstva v daném gradientu od ekotonu. Bylo zjištěno, že faktor vzdálenosti od ekotonu má signifikantní vliv na druhové složení (Monte - Carlo permutační test, p hodnota > 0.001).



Obr.6 ordinační diagram - vliv gradientu na druhovou skladbu

*Modře vzdálenost od ekotonu, číslo počet jedinců, červeně název druhu*

### 5.2 Lineární modely

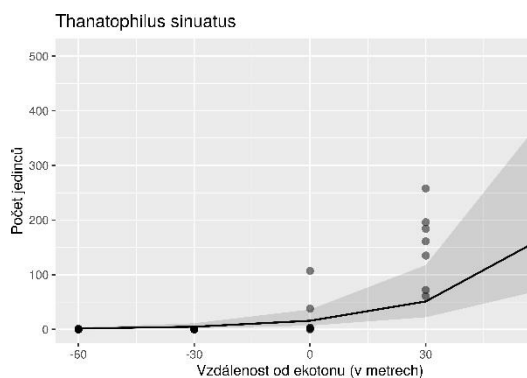
Smíšenými lineárními modely byla početnost jednotlivých druhů vysvětlována lineárním poissonovským modelem se smíšenými efekty, kdy vzdáleností od ekotonu (v metrech nikoliv jako faktor vzdálenosti) byl pevný efekt a lokalita a linie náhodný efekt. Hodnoty výpočtu p - hodnoty jsou uvedeny v tabulce tab.1..Ke každému druhu je vytvořen graf závislosti počtu jedinců na vzdálenosti od ekotonu (obr.7. – 13). Dále byly vytvořeny grafy pro zobrazení závislosti biodiverzity (obr.14) na vzdálenosti od ekotonu a abundance (obr.15) druhů v závislosti na biotop.

druh	početnost na ekotonu	změna početnosti	specializace	z hodnota	p hodnota
<i>Thanatophilus sinuatus</i>	15,736	0,0392556	lucni	40,578	> 0.001
<i>Thanatophilus rugosus</i>	0,7846747	0,038906	lucni	8,009	> 0.001
<i>Silpha tristis</i>	0,3758365	0,003395	nezjistena	1,228	0,219
<i>Oiceptoma thoraticum</i>	16,77965	-0,014806	lesni	-12,48	> 0.001
<i>Nicrophorus humator</i>	0,8397089	-0,01213	lesni	-4,193	> 0.001
<i>Nicrophorus vespillo</i>	1,507062	0,025196	lucni	8,82	> 0.001
<i>Nicrophorus vespilloides</i>	2,668928	-0,029093	lesni	-12,116	> 0.001

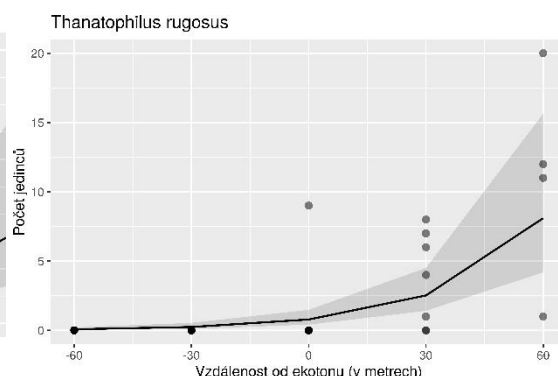
tab.1. Hodnoty zjištěné pomocí GLM modelu. Sloupec početnost na ekotonu udává hodnoty pravděpodobného výskytu počtu jedinců daného druhu na ekotonu. Sloupec změna početnosti je logaritmovaná změna početnosti při změně vzdálenosti o jeden metr. Sloupec specializace explicitně navržená strategie studovaného druhu. Sloupec z hodnota je hodnota z statistiky pro proměnnou vzdálenost = sklon modelu. Sloupec Hodnota p stanovuje hodnotu významnosti pro zamítnutí nebo nezamítnutí H0

U všech druhů kromě *Silpha tristis* byl signifikantní rozdíl v početnosti se změnou vzdálenosti od ekotonu.

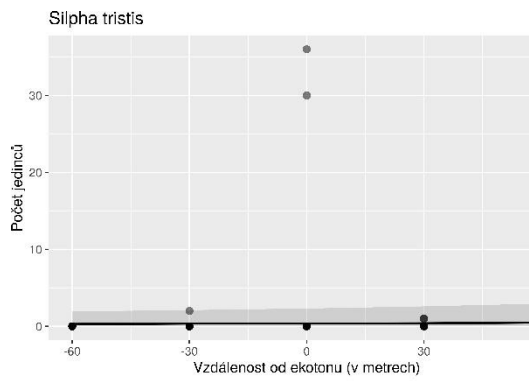
Dle vyhodnocení dat a použitých lineárních modelů můžeme předpokládat, že pro *Thanatophilus sinuatus* (obr.7) *Thanatophilus rugosus* (obr.8) *Nicrophorus vespillo* (obr.12) počet jedinců roste se vzdáleností od ekotonu směrem na louku. U *Oiceptoma thoraticum* (obr.10), *Nicrophorus humator* (obr. 11), *Nicrophorus vespilloides* (obr.12) roste počet jedinců směrem do lesa. Vzdálenost od ekotonu má signifikantní vliv na počet jedinců. Ale u *Silpha tristis* (obr.9) počet se jedinců nemění se vzdáleností od ekotonu, vzdálenost od ekotonu nemá signifikantní vliv na počet jedinců.



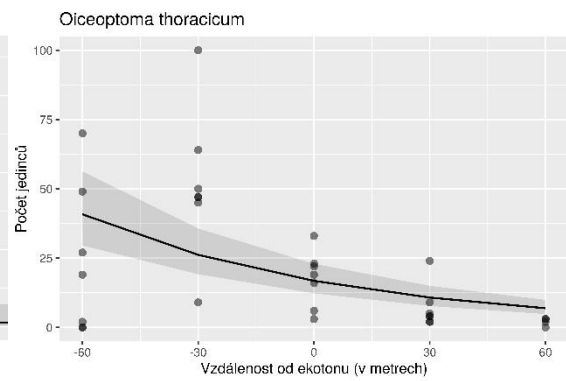
Obr.7 *Thanatophilus sinuatus*



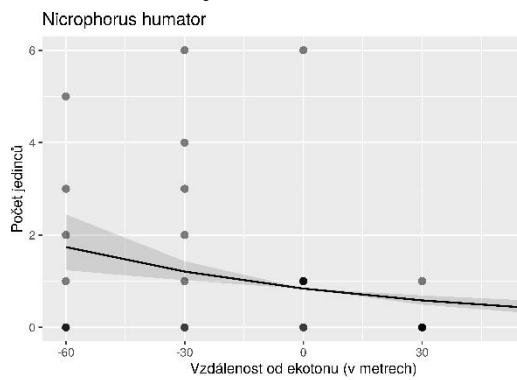
Obr.8 *Thanatophilus rugosus*



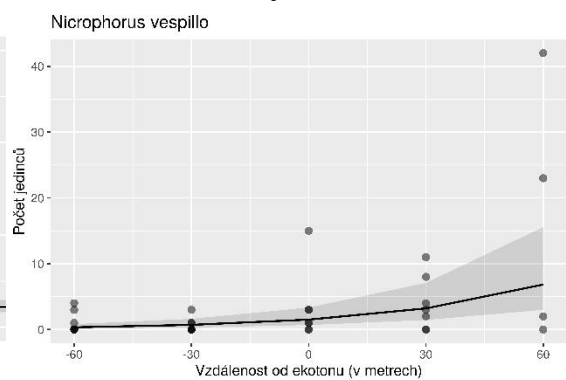
Obr.9 *Silpha tristis*



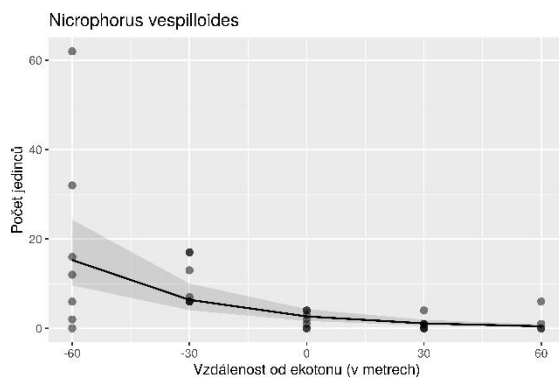
Obr.10 *Oiceptoma thoracicum*



Obr.11 *Nicrophorus humator*

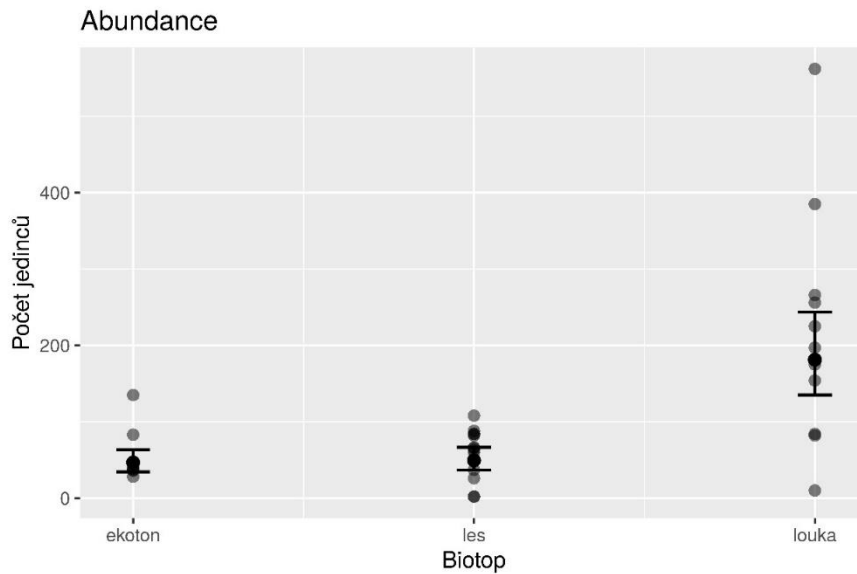


Obr.12 *Nicrophorus vespillo*



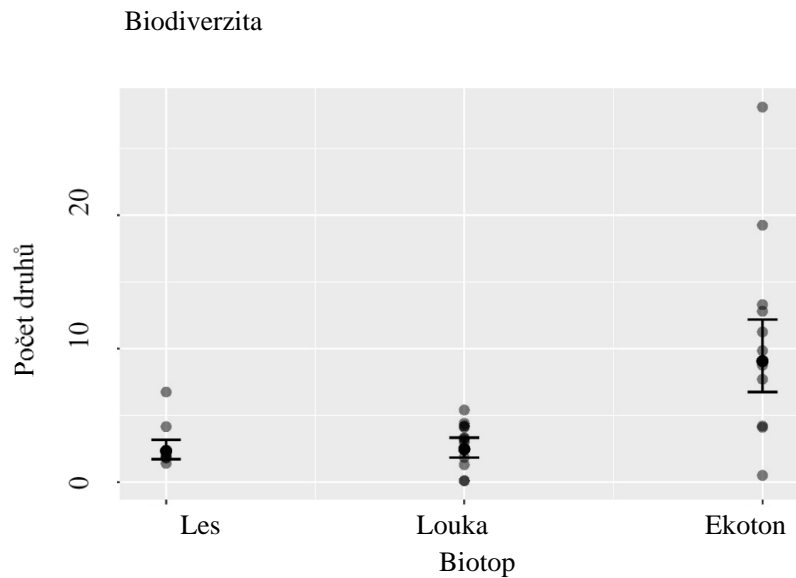
Obr.13 *Nicrophorus vespilloides*

Obr.7-13: černý bod – počet dle modelu, šedý bod – data z pastí



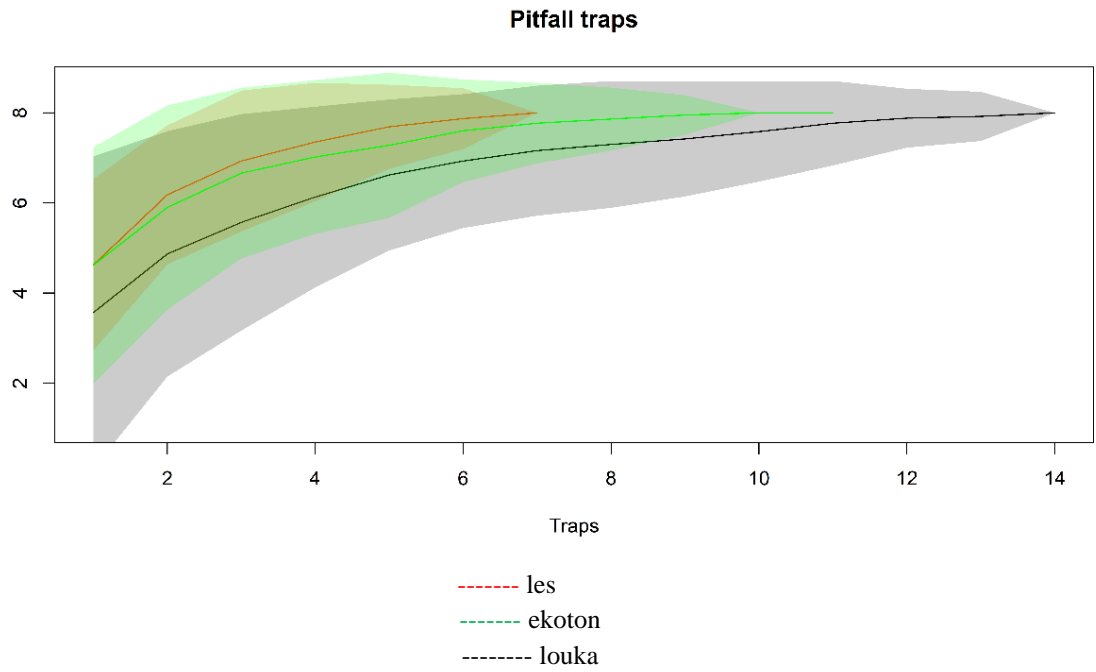
Obr. 14 Abundance – početnost v závislosti a biotopu  
*Černý bod – model, šedý bod - data z pastí*

Abundance (obr. 14) roste směrem od ekotnu do lesa i na louku. V lučním biotopu bylo odchyceno nejvíce jedinců. Druhově nejbohatší byl ale ekoton, kde byl ohyceno nejvíce druhů. Biodiverzita směrem od ekotonu klesá (obr.15.) . Proveden t-test hodnota  $p=0,001$ .



Obr. 15 Biodiverzita – Shanonův index biodiverzity v závislosti na biotopu  
*Černý bod – model, šedý bod - data z pastí*

Model předpokládaného počtu druhů při stanoveném počtu pastí (obr.16). zobrazuje odhad počtu druhů v závislosti na počet pastí pro jednotlivé biotopy.



Obr. 16. Model předpokládaného počtu druhů dle množství pastí pro jednotlivé biotopy dle výpočtu z dostupných dat

## 6 Diskuse

Experiment pro zjištění změny parametrů společenstev nekrofágních druhů brouků na přechodu mezi lesem a lučním habitatem byl proveden na začátku měsíce června v klimaticky podobných lokalitách. Výsledky tohoto experimentu mohly být ovlivněny dalšími faktory jako jsou teploty, srážky, složení půdy a porostů, které nebyly pro modelové situace zohledněny. Dle provedených analýz bylo zjištěno, že nejvýznamnějším pro složení společenstev je vzdálenost pastí od ekotonu. Z celkového počtu 3613 jedinců bylo 2390 jedinců zachyceno v pastech umístěných v lučním biotopu. V podobném experimentu provedeném na území Mexika, který byl proveden Martínéz at al., 2018, bylo odchyceno 41 636 jedinců z toho 22 740 na pastvině.

Šíření organismů mezi biotopy je pohybem organismů z jednoho biotopu do dalšího odlišného biotopu, tím dochází k jejich propojení. Ekologické charakteristiky prostředí a složení společenstva se mění s blízkostí k hranici, což bylo zmíněno již v ochránářsky zaměřených studiích (Tscharrntke et al 2012; Fagan et al. 1999). Toto potvrzují i hodnocená data, protože většina druhů se vyskytovala na všech lokalitách ve všech typech biotopů, lišil se jen jejich počet v závislosti na vzdálenosti od okraje. Vzájemný vztah mezi těmito sousedními biotopy je klíčovým faktorem určujícím různorodost společenstev hmyzu v krajině mírného podnebního pásu, kde jsou tyto biotopy často velmi fragmentované a vystavené okrajovému (ekotonálnímu) efektu (Fahrig 2003). V některých případech svou charakteristikou odpovídá celé stanoviště ekotonu, protože si kvůli malé velikosti nedokáže zachovat své vnitřní prostředí. V našem experimentu byla celková šíře studovaného území 120 m, kdy do každého biotopu zasahoval gradinet od ekotonu 60 m. Jak uvádí Ewers et Didham (2008) může být ekotonální vliv zaznamenán na vzdálenost až 1 km.

Na vybraných lokalitách byla zvolena dostatečná vzdálenost od přechodu obou biotopů pro určení preferencí jednotlivých druhů. Důležitým efektem je na těchto místech výskyt druhů z obou sousedících společenstev spolu s druhy specificky ekotonálními. Taková společenstva jsou nazývána ekotonálními a zvýšená druhová bohatost, kterou se vyznačují, je pak označována jako ekotonální jev (Šálek et al. 2005). *Silpha tristis* se v tomto experimentu jeví jako typický ekotonální druh.



S rostoucí vzdáleností od ekotonu nebyla pozorována, pouze na dvou lokalitách (P2, K1) byl nalezen jeden jedinec v gradientu do 30 m od ekotonu, což lze považovat za náhodný výskyt, v pastech umístěných v lese nebyl výskyt zaznamenán vůbec.

Mezi druhy, které se ve větším počtu vyskytovaly v lučním biotopu, patří *Thanatophilus sinuatus*, *Thanatophilus rugosus* a *Nicrophorus vespillo*, v lesním biotopu to byl především *Nicrophorus vespilloides* a *Oiceoptoma thoracicum* která byla zároveň v největším počtu odchycena na ekotonu. Vyhodnocením tyto preference korespondují s výsledky studií provedených (Novák 1962; Růžička 1994; Kočárek 2004; Jakubec et Růžička 2015), kde byly uvedené druhy rozděleny jako typicky lesní nebo druhy otevřené krajiny. Těmto závěrům odpovídají i výsledky tohoto experimentu. Tato vyhraněnost není zcela patrná u *Oiceoptoma thoracicum*, která byla vyhodnocena jako lesní, ale vyhodnocená jako lesní, ale vyskytuje se poměrně dost volně i v okolní krajině na ekotonu 122 jedinců, v lese 529 jedinců, na louce 58 jedinců.

Do hodnocení preferencí nebyla zahrnuta *Phosphuga atrata atrata*, protože nebylo odchyceno dostatečné množství jedinců, důvodem je, že se jedná o predátora, který se nesespecializuje na mršiny, ale živí se především šneky a žížalami. V dané lokalitě a období se jednalo spíše o náhodný výskyt, a to na dvou lokalitách po jednom jedinci na ekotonu a v lese. Stejně tak nebyl hodnocen *Nicrophorus littoralis*, přestože se jedná o nekrofága, důvodem je, že neleze do padacích pastí.

Dva lesní druhy, *N. vespilloides*, u kterého bylo nejvíce jedinců odchyceno v pastech -60 m od okraje lesa a *N. humator*, u kterého byl největší počet jedinců odchycen na okraji lesa ve vzdálenosti - 30m od okraje, které prokázaly, jasný důkaz okrajového efektu. Počet odchycených jedinců obou druhů se postupně snížil se snížením vzdálenosti k okraji lesa. Typický druh louky *N. vespillo* měl nejvyšší celkový počet v pastech 60 m od okraje lesa.

Vzhledem k období, ve kterém byl experiment prováděn, mohl být výskyt brouků ovlivněn i teplotou. Konkurenční druhy nekrofágních brouků jsou často aktivní v různých časech, ale máme pouze obecnou znalost dynamiky populace během začátku jejich sezónní činnosti. Výsledky získané Wilsonem a kol. (1984) naznačují, že teplota může být jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujícím činnost a její diferenciace na začátku sezóny, čímž je ovlivněna disperzní schopnost některých nekrofágních

brouků. Stejně důležité ekologické aspekty, které snižují negativní dopad konkurence, jsou stanoviště a potravinové preference (Ohkawara et al. 1998; Scott 1998). Z tohoto důvodu můžeme uvažovat, že množství odchycených jedinců jednotlivých druhů mohly ovlivnit i tyto faktory a snížit jejich aktivitu, protože před samotným vybíráním pastí klesly teploty a bylo několik deštivých dnů. Tím že byl proveden pouze jeden sběr, nejsou výsledky těmito vlivy zkresleny.

Stejně tak jako uvádí Urbański a kol. (2015) i v mém experimentu byli nejběžnějším druhem *N. vespilloides* a *N. vespillo*. Preferovali různé typy stanovišť, ale součástí experimentu nebylo každodenní sledování pastí, kde by byly sledovány vrcholy aktivity v různých obdobích. Předchozí výzkum o hmyzích konkurencích ukázal, že tento druh používá stejný typ zdroje a jsou buď aktivní současně, ale preferují různá stanoviště nebo preferují stejný typ stanoviště, ale jsou aktivní v různých časech. Tento ekologický mechanismus souvisí s oběma sezónními a denními variacemi (Carothers et Jaksic 1984; Kočárek 2001)

Na okraji lesa se mění biotické a abiotické podmínky, které ovlivňují vztahy mezi druhy (Heliola et al. 2001). Druhy ze sousedního habitatu jsou velmi často zaznamenány na okraji mezi dvěma stanovišti (Didham 1997; Heliola et al. 2001). Okrajový efekt mého experimentu byl podobný výsledkům ve studiích populační dynamiky (Heliola et al. 2001; Yu et al. 2006). V těchto studiích, stejně jako na vybraných lokalitách, počet druhů klesal se snižováním vzdálenosti na okraj dvou stanovišť. Spíše luční druh *N. vespillo* byl zachycen v lese i díky vyšší teplotě na začátku června, protože dle studií opakovaných v podzimních měsících se v lese vyskytuje celkem vzácně (Kočárek 2001). Tento posun aktivity mohl být spojený se zvýšením teploty v lesním prostředí. Wilson et al. (1984) ukázali, že rozptylové schopnosti hrobaříků jsou v korelaci s minimální letovou teplotou. Je pravděpodobné, že typický druh louky jako *N. vespillo* vyžaduje vyšší minimální teplotu k letu, než druhy preferující chladnější stanoviště.

Druhy jednotlivých biotopů mohou vzhledem ke svým odlišným vlastnostem reagovat na okraj rozdílným chováním. Mohou být striktními specialisty ve svém biotopu a nikdy nepřekročí jeho hranici nebo se jí dokonce vyhýbají. Alternativou je, že mohou být lhostejné nebo mající prospěch z přítomnosti přilehlého biotopu, rozšiřují se blíže k hranici nebo se dokonce koncentrují v okrajové zóně svého biotopu (Ries et al. 2004). Dle výsledků tohoto experimentu se vzdáleností od ekotonu směrem

na louku roste abundance, ale naopak klesá diverzita. Největší diverzita druhů byla zaznamenána v ekotonu, nejnížší naopak v otevřené krajině (na louce). Dle tohoto zjištění si nekrofágní druhy nejvíce konkurují právě v ekotonu.

V mnoha oblastech na celém světě dochází k odlesňování a tím ztrátě vegetačního pokryvu, ubývá tak přirozených stanovišť lesních druhů. Odlesňováním se vytváří krajina s fragmentovanými lesy (Hennenberg et al. 2005). To může být hrozbou pro lesní druhy žijící dále od okraje lesa. Způsobením ztráty stanovišť může dojít k nárůstu okrajových efektů v důsledku ekologického přechodové pásma mezi dvěma sousedními stanovišti (Laurance et Yensen 1991; Saunders et al. 1991; Murcia 1995; Laurance et al. 2002), ale také k ostrovní ekologii (MacArthur et Wilson 1967; Cantrell et al. 2001; Lomolino et Weiser 2001; Fahrig 2003). Některé tyto druhy se vyskytují v menších počtech i v ekotonu, jeho zachování je proto důležité a je třeba s jejich ochranou pracovat při návrhu ÚSES v krajinném plánování. Jako podklad může sloužit hodnocení preferencí druhů zaznamenaných v této práci.

Při zpracování literární rešerše bylo zjištěno, že většina podobných studií např. Ewers et Didham (2008), je prováděna v zahraničí, kde jsou ekotony a druhy v nich žijící velice ohroženou skupinou, a to nejen u brouků. Abundance těchto druhů na stejné lokalitě může být způsobena jak jejich specializací a rozdílné schopnosti letu, tak jejich citlivostí na vlivy prostředí a dobu výskytu, což je v tomto experimentu pozorováno u druhu *Thanatophilus sinuatus*, který byl odchycen v mnohonásobně větších počtech jedinců než *Thanatophilus rugosus*. Oba druhy přitom byly zachyceny na louce a však *Thanatophilus rugosus* se na rozdíl od *Thanatophilus sinuatus* v ekotonu téměř nevyskytl. Většina studií je však zaměřena převážně na hrobaříky např. Kočárek 2001. Pro další studie v rámci České republiky by mohla být získána zajímavá a důležitá data pro forenzní praxi, právě podrobnějším zkoumáním druhu *Thanatophilus*.

## 7 Závěr a přínos práce

Zpracováním literární rešerše bylo zjištěno, že vliv ekotonu není dostatečně prozkoumán. Efekt ekotonu se liší ve vazbě na krajinu a charakter podnebí, ve kterém jsou studie prováděny. Podle výsledků provedených studií nelze jednoznačně určit hranice ekotonu, protože odezvy jednotlivých druhů se pohybují v řádech jednotek, desítek i stovek metrů. Většina studií se však shoduje v tom, že ekoton je nejbohatším na biodiverzitu bezobratlých. Dosud provedené studie zkoumají ekoton a ekologické vazby bezobratlých především ve vztahu k zemědělské krajině. Předmětem výzkumu jsou častěji dopady na zemědělství a schopnost disperze hmyzu. Pro rozšíření znalostí o nekrofágních druzích je potřeba zpracovat další podobné studie. Cíl zpracování literární rešerše byl splněn.

Druhým z cílů této práce bylo experimentálně zjistit, jak se mění parametry společenstev nekrofágních druhů brouků (*Siphidae*) na přechodu mezi lesním a lučným habitatem. Dle stanovené metodiky byl proveden experiment a na vybraných lokalitách, kde byly umístěny padací pasti a následně jejich sběr. Provedením analýzy získaných dat bylo dosaženo cíle práce, a to zjištěním reakcí jednotlivých nalezených druhů nekrofágů na vzdálenost o ekotonu mezi dvěma biotopy.

Z výsledků analýzy můžeme předpokládat, že na ekotonu je větší druhová diverzita než v lesním nebo lučném biotopu. Naopak abundance byla nejvyšší v lučném habitatu a tím potvrzena specializace druhu *N. Vespillo* na otevřenou krajinu. Provedením tohoto experimentu lze odhadnout, které druhy *Silpidae* se specializují na určité stanoviště a určit tak jejich preference. U druhů, které jsou specializované na ekoton, je pro jejich ochranu důležité zachovat toto prostředí. V této studii se na vybraných lokalitách nejčastěji v ekotonu vyskytla *Silpha tristis*. Vzhledem ke specializaci nekrofágních druhů je možné tyto data využít i ve forenzní entomologii, která může díky specializaci brouků učit místo, kde bylo manipulováno s tělem, případně i místo smrti. Tyto informace mohou být klíčové pro vyšetření trestných činů. Cíl pokusit se zjistit preference jednotlivých zaznamenaných druhů byl splněn.

Vzhledem k tomu, že experiment byl proveden pouze v jednom období a z některých pastí nebylo možné zpracovat data, protože byla past poškozena, lze tento experiment zopakovat i na jiných lokalitách nebo jiném ročním období, abychom získali další data k této problematice.

## 8 Přehled literatury

Allen, C.D. et Breshears, D.D., 1998: Drought-induced shift of a forest-woodland eco.tone: rapid landscape response to climate variation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 95 : 14839-14842

Anderson, R.S., 1982: Resource partitioning in the carrion beetle (Coleoptera: Silphidae) fauna of southern Ontario: ecological and evolutionary considerations. *Canadian Journal of Zoology* 60:1314-1325

Auerbach, M. et Shmida, A., 1993: Vegetation change along an altitudinal gradient on Mt Hermon, Israel – no evidence for discrete communities. *J. Ecol.* 81: 25-33

Beiroz W, Slade EM, Barlow J, Silveira JM, Louzada J, Sayer E., 2017: Dung beetle community dynamics in undisturbed tropical forests: implications for ecological evaluations of land-use change. *Insect Conservation and Diversity* 10(1):94–106

Bieringer G., Zulka K.P. , 2003: Shading out species richness: edge effect of a pine plantation on the Orthoptera (Tettigoniidae and Acrididae) assemblage of an adjacent dry grassland. *Biodiversity and Conservation* 12: 1481–1495

Byers JE, Holmes ZC, Malek JC., 2017: Contrasting complexity of adjacent habitats influences the strength of cascading predatory effects. *Oecologia* 185(1):107–117.

Campbell RE, Harding JS, Ewers RM, Thorpe S, Didham RK., 2011: Production land use alters edge response functions in remnant forest invertebrate communities. *Ecological Applications* 21(8):3147–3161

Cadenasso M L, , Traynor M M , 1997: Functional location of forest edges: gradients of multiple physical factors, and , S TA Pickett, *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(5): 774-782

Cantrell, R.S., Cosner, C. et Fagan, W.F., 2001: How predator incursions affect critical patch size: the role of the functional response. *Am. Nat.* 158: 368-375.

Clements F.E. 1907: *Plant physiology and ecology*. Holt, New York.

Carothers, J. H., et F. M. Jaksić., 1984: Time as a niche difference: the role of interference competition., *Oikos* 42(3): 403–406.

Černý T., 2007: TDE01 Poo trivialis-Alopecuretum pratensis Regel 1925. In: Chytrý M. (ed.), *Vegetace České republiky. 1. Travinná a keříčková vegetace [Vegetation of the Czech Republic. 1. Grassland and Heathland Vegetation]*. Academia, Praha, pp. 223-226

ČÚZK, ©2015 a): Český úřad zeměměřický a katastrální: Katastrální území Neurazy (online) [cit.2020.4.15], dostupné z

[https://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?AKCE=META:SESTAVA:MDR002\\_XSLT:WEBCUZZK\\_ID:704229](https://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?AKCE=META:SESTAVA:MDR002_XSLT:WEBCUZZK_ID:704229)

Demaynadier P.G. et Hunter jr. M.L., 2003: Effects of Silvicultural Edges on the Distribution and Abundance of Amphibians in Maine. *Conservation Biology* 12, Issue 2: 340 – 352

Demek J., 1987: *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Brno: Academia, 1987. 584 s.

Didham, R. K. 1997: The influence of edge effects and forest fragmentation on leaf litter invertebrates in central Amazonia [pp. 55–70]. In: *Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities* (W. F. Lawrence and R. O. Bierregaard, editors). University of Chicago Press, Chicago, IL.

Ewers R.M., Didham R.K., 2006: Continuous response functions for quantifying the strength of edge effects. *Journal of Applied Ecology* 43(3):527–536

Ewers R.M., Didham, R.K., 2008: Pervasive impact of large-scale edge effects on a beetle community, *Proceedings of the National Academy of Sciences* Apr 2008, 105 (14) 5426-5429;

Ewers R.M., Bartlam S., Didham R.K. 2013: Altered species interactions at forest edges: contrasting edge effects on bumble bees and their phoretic mite loads in temperate forest remnants. *Insect Conservation and Diversity* 6(5):598–606

Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34: 487-515

Fonseca CR, Joner F. 2007. Two sided edge effect studies and the restoration of endangered ecosystems. *Restoration Ecology* 15(4):613–619

Gehlhausen S.M., Schwartz M.W. et Augspurger C.K. 2000: Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. *Plant Ecology* 147: 21–35

Gilpin, M., 1994: Community-level competition: asymmetrical dominance. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 91: s. 3252-3254

Godefroid S. et Koedam N., 2003: Distribution pattern of the flora in a peri-urban forest: an effect of the city–forest ecotone. *Landscape and Urban Planning* 65: 169–185

Háva, J. ,2015: *Dermestidae (Coleoptera)*, Leiden ; Boston : Brill, [2015] 446s

Hejda Radek, Farkač Jan ,Chobot, Karel.:(2017). Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Red List of Threatened Species of the Czech Republic. Invertebrates...s. 23-25

Heliola, J., M. Koivula, and J. Niemela. 2001: Distribution of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) across a boreal forest-clearcut ecotone. *Conservation Biology* 15(2): s.370–377

Hennenberg K.J, Goetze D., Kouamé, Lucien O., Bettina -Porembski S.: Border and ecotone detection by vegetation composition along forest-savanna transects in Ivory Coast, *Journal of Vegetation Science*, 16(3) : 301-310

Heliölä J., koivula M. et Niemelä J. 2001: Distribution of Carabid Beetles (Coleoptera, Carabidae) across a Boreal Forest–Clearcut Ecotone. *Conservation Biology* 15, No. 2: 370–377

Chiba s. 2007: Species richness along environmental gradients in island land molluscan fauna. *Ecology*, 88(7): 1738-1746.

iKeda h., Kagaya T., KuboTa K. & abe T., 2007: Flight capabilities and feeding habits of silphine beetles: are flightless species really “carrion beetles“? — *Ecol. Res.* 22: 237–241

iKeda h., Kagaya T., KuboTa K. & abe T., 2008: Evolutionary relationships among food habit, loss of flight, and reproductive traits: life-history evolution in the Silphinae (Coleoptera: Silphidae). — *Evolution* 62: 2065–2079.

Jakubec P., Růžička J, 2015: Is the type of soil an important factor determining the local abundance of carrion beetles (Coleoptera: Silphidae)?, *European Journal of Entomology* 112 (4) 747–754

Jakrovský J, Littnerová S., Dušek L., 2012: Statistické hodnocení biodiverzity, Brno, s. 18-20

Kupfer, J.A. et Cairns, D.M., 1996: The suitability of montane ecotones as indicators of global climatic change. *Prog. Phys. Geogr.* 20: 253-272

Kočárek P., and K. Benko., 1997: Výskyt a sezónní aktivita brouku čeledi Silphidae na Hlucisku Slezko, Ceska Republika. *Casopis Slezskeho Zemskeho Muzea* 46:s. 173–179

Kočárek, P., 2001: Diurnal activity rhythms and niche differentiation in a carrion beetle assemblage (Coleoptera: Silphidae) in Opava, the Czech Republic. *Biological Rhythm Research* 32(4): s.431–438.

Kočárek P., 2003: Decomposition and Coleoptrea succession on exposed carbiology rion of small mammalin in Opava, the Czhech Republic -The European Jurnal of Soil 39: 31-45

Kotze D.J.& Samways M.J. ,2001: No general edge effects for invertebrates at Afromontane forest/grassland ecotones. *Biodiversity and Conservation* 10: 443- 466

Kuras, T., Šarapatka, B., Mazalová, M., Tuf, I.H., Bednář, M. (2017): Krajinná struktura: Klíč k ochraně biologické rozmanitosti, půdy a vody. Část I – Ochrana biodiverzity. Ochrana přírody, 6: s.18 – 23.

Lacina, A, 2010: Okrajový efekt jako fenomén určující skladbu malakofauny otevřených vápnatých slatinišť na kontaktu s lesními stanovišti [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <<https://is.muni.cz/th/ggzn7/>>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Michal Horský.

Laurance, W.F. et Yensen, E. 1991: Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. Biol. Conserv. 55: s.77 -92.

Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H.L., Bruna, E.M., Didham, R.K., Stouffer, P.C., Gascon, C., Bierregaard, R.O., Laurance, S.G. et Sampaio, E.: 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. Conserv. Biol. 16: s. 605-618.

Lomolino, M.V. et Weiser, M.D. 2001. Towards a more general species-area relationship: diversity on all islands, great and small. J. Biogeogr. 28: 431-445

Loyd K.M., Mcqueen A.A.M., Lee B.J., Wilson R.C.B., Walker S. et Wilson J.B., 2000: Evidence on ecotone concepts from switch, environmental and anthropogenic ecotones. Journal of Vegetation Science 11: 903-910

Looney C., Caldwell B.T. & Eigenbrode S.D. 2009: When the prairie varies: the importance of site characteristics for strategising insect conservation. - Insect Conserv. Divers. 2: 243-250.

Luczaj L. et Sadowska B. 1997: Edge effect in different groups of organisms: vascular plant, bryophyte and fungi species richness across a forest-grassland border. Folia Geobot. Phytotax. 32: 343-353

MacArthur R.H. & Wilson, E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, NJ, US

Martínez-Falcón AP, Zurita GA, Ortega-Martínez IJ, Moreno CE. 2018: Populations and assemblages living on the edge: dung beetles responses to forests-pasture ecotones. PeerJ 6:e6148 DOI 10.7717/peerj.6148

Meiners S.J. et Pickett S.T.A. 1999: Changes in community and population responses across a forest-field gradient. Ecography 22: 261-267

Molnár T., Magura T., Tóthmérész B et Elek Z. 2001: Ground beetles (Carabidae) and edge effect in oak-hornbeam forest and grassland transects. Eur. J. Soil Biol. 37: 297-300.

Mroczkowski M., 1955: Omaclicowata -, Silpidae (Silpidae), Klucze do oznaczenia owdów Polski Part 19 No. 25, Warszawa 29,p. 42



Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 10:s. 58-62.

Národní geoportal INSPIRE ©2020, mapa geologie, půda, hydrologie, <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?openNode=Soil&keywordList=inspire> online (cit. 16.4.2020)

Neilson, R.P. 1991: Climatic constraints and issues of scale controlling regional biomes. In: Holland, M.M., Risser, P.G. & Naiman, R.J. (eds.) *Ecotones: the role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments*, pp. 31-51. Chapman & Hall, London, UK

Nisimura, T., H. Numata, and E. Yoshioka. 2005. Effect of temperature on circadian rhythm controlling the crepuscular activity of the burying beetle *Nicrophorus quadripunctatus* Kraatz (Coleoptera: Silphidae). *Entomological Science* 8(4): 331–338

Novák B. 1961: Saisonmässiges Vorkomenn von Totengräbern in Feldbiozönosen (Col. Silphidae). - *Acta Univ. Palack. Olomuc. Fac. Rer. Natur.* 6: 45-114.

Novák B. 1962: Ein Beitrag zur Faunistik und Ökologie der Totengräber (Col. Silphidae). - *Acta Univ. Palack. Olomuc. Fac. Rer. Natur.* 11: 263-300

Novák, J., Petr, L., and Treml, V., 2010: Late-Holocene human-induced changes to the extent of alpine areas in the East Sudetes, Central Europe. *Holocene*, 20: 895–905

Odum, E.P. 1983: *Basic ecology*. Saunders College Publishing, Philadelphia, PA, US

Ohkawara, K., S. Suzuki, and H. Katakura. 1998. Competitive interaction and niche differentiation among burying beetles (Silphidae, *Nicrophorus*) in northern Japan. *Entomological Science* 1(4): 551–559.

Ollerton J., Winfree R. & Tarrant S., 2011: How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120: 321-326

Petruška F. 1694.: Příspěvek k poznání pohyblivosti nuniverzitas Palackianeacěkolika druhů brouků nalétávajících na mršiny (*Col. Silphidae et Histeridae*), *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, (Facultas Rerum Naturalium)* 16, 159–187

Petruška F., 1975: The effect of predominating winds on the flight of some species of beetles from the group of Silphidae into pitfall traps (Col. Silphidae). *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, (Facultas Rerum Naturalium)* 51, 155–175

Peyras M, Vespa NI, Bellocq MI, Zurita GA. 2013: Quantifying edge effects: the role of habitat contrast and species specialization. *Journal of Insect Conservation* 17(4):807–820

Randall W., 2012: *Myster Ecotones Between Forest and Grassland*,

Springer Science & Business Media, 10. 7. 2012 - Počet stran: 330

- Ries L, Flecher -RJ, Ban J, Sisk TD. 2004: Ecological responses in habitat degradation mechanisms, models and variability explained, Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 35: 491-522
- Rivers D. B., Dahlem, G. A., 2014: The science of forensic entomology. John Wiley et Sons. Hoboken, 382 s.
- Růžička J. 1994: Seasonal activity and habitat associations of Silphidae and Leiodidae: Cholevinae (Coleoptera) in central Bohemia. - Acta Soc. Zool. Bohem. 58: 67-78.
- Růžička, Jan, and Pavel Jakubec. *Coleoptera: Agyrtidae, Silphidae*. Vit Kabourek, 2016
- Saunders, D.A., Hobbs, R.J. & Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conserv. Biol. 5: 18-32.
- Scott, M. P. 1998. The ecology and behavior of burying beetles. Annual Review of Entomology 43: 595–618
- Sikes D. 2005: Silphidae Latreille, 1807. In Beutel R.G. & Leschen R.A.B. (eds): Handbook of Zoology, Vol. IV: Arthropoda: Insecta, Part 38: Coleoptera, Beetles. Vol. 1: Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim). Walter de Gruyter, Berlin, pp. 288–296.
- Sikes D. 2008: Carrion beetles (Coleoptera: Silphidae). In Capinera J.L. (ed.): Encyclopedia of Entomology. Vol. 1A–C. Springer, Berlin, pp. 749–758
- Sikes D.S. & Venables C. 2013: Molecular phylogeny of the burying beetles (Coleoptera: Silphidae: Nicrophorinae). — Mol. Phylogen. Evol. 69: 552–565.
- Stevens S.M. et Husband T.P. 1998: The influence of edge on small mammals: evidence from Brazilian Atlantic forest fragments. Biological Conservation 85: 1- 8.
- Šálek M., Růžička J., Mandák B., 2005: Ekologie. Lesnická práce, Praha, 121s
- Špicarová N., 1972: Diurnal activity of young individuals of the species *Necrophorus Germanicus* (Col.Silphidae), Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, (Facultas Rerum Naturalium) 47, 179–187
- Šustek Z. 1981: Keys to identification of insects 2: Carrion beetles of Czechoslovakia (Coleoptera: Silphidae). — Zpr. Čs. Spol. Entomol. ČSAV 2: 1–47
- Šuláková H., 2006: Speciální biologie: využití hmyzu při stanovení post mortem intervalu. Kriminalistický sborník 3: 36-37
- Šustek Z. (1981): Klíče k určování hmyzu 2: Mrchožroutovité Československa (Coleoptera Silphidae). Zprávy Československé Společnosti Entomologické při

ČSAV, 2: 1-47pp  
Tolasz R. 2007: Atlas podnebí Česka. = Climate atlas of Czechia. Tolasz, Radim a kol. Praha-Olomouc : Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. 255 s

Tscharntke Y., Clough T., Wanger L., Iris J., Motzke I., Perfecto J., Vandermeer A., Whitbread G. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification, *Biological Conservation*, Volume 151, Issue 1, July 2012, Pages 53-59

Urbański A. and Baraniak E (2015). Differences in Early Seasonal Activity of Three Burying Beetle Species (Coleoptera: Silphidae: Nicrophorus F.) in Poland, *The Coleopterists Society, The Coleopterists Bulletin*, 69(2) : 283-292

Vlček, Vladimír, 1933- editor, Kestřánek, Jaroslav *Zeměpisný lexikon ČSR Vodní toky a nádrže*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1984. 315 s.

Walker S., Wilson J.B., Steel J.B., Rapson G.L., Smith B., King W. Mcg. et Cottam Y.H. 2003: Properties of ecotones: Evidence from five ecotones objectively determined from a coastal vegetation gradient. *Journal of Vegetation Science* 14: 579-590

Wiens A. J. 1992: *The Ecology of Bird Communities*, Svazek 2., Cambridge University Press, 12. 3. 1992 - Počet stran: 336

Williams S.E. et Marsh H. 1998: Changes in small mammal assemblage structure across a rain forest/open forest ecotone. *Journal of Tropical Ecology* 14:187- 198.

William F. Fagan, Robert Stephen Cantrell, et Chris Cosner, "How Habitat Edges Change Species Interactions.," *The American Naturalist* 153, no. 2 (February 1999): 165-182

Wilson, D. S. et J. Fudge. 1984. Burying beetles - Intraspecific interactions and reproductive success in the field. *Ecological Entomology* 9: 195–203..

Wilson, D. S., W. G. Knollenberg, and J. Fudge. 1984. Species packing and temperature dependent competition among burying beetles (Silphidae, Nicrophorus). *Ecological Entomology* 9: 205–216

Wilson, J.B. et Agnew, A.D.Q. 1992. Positive-feedback switches in plant communities. *Adv. Ecol. Res.* 23: 263-336.

Yu, X. D., T. H. Luo, J. Yang, and H. Z. Zhou. 2006. Distribution of ground-dwelling beetles (Coleoptera) across a forest-clearcut ecotone in Wolong Natural Reserve, southwestern China. *Insect Science* 13(2): 127–135..

Obr. 4. Rozmístění pastí od ekotonu (Urbański et al. 2015, <https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.2.283>)

## **9 Přílohy**

1. Tabulka vyhodnocení pastí
2. Protokol z programu R

Příloha č. 1 – Tabulka hodnocených dat

<i>Thanatophilus rugosus</i>	<i>Silpha tristis</i>	<i>Necrodes littoralis</i>	<i>Oiceoptoma thoracicum</i>	<i>Nicrophorus humator</i>	<i>Nicrophorus vespillo</i>	<i>Nicrophorus vespilloides</i>	<i>Phosphuga atrata atrata</i>	Lokalita	Transekt	Vzdálenost	Biotop	linie	lok
0	0	2	19	0	1	62	0	pila	1-2	-60	les	A1	A
0	0	4	47	0	3	6	0	pila	1-1	-30	les	A1	A
0	30	0	3	0	1	4	1	pila	1-0	0	ekoton	A1	A
8	0	0	4	0	11	0	0	pila	1-3	30	louka	A1	A
1	0	0	0	0	2	0	0	pila	1-4	60	louka	A1	A
0	0	8	27	3	4	6	1	pila	2-2	-60	les	A2	A
0	0	10	50	4	1	17	0	pila	2-1	-30	les	A2	A
0	36	0	6	1	1	1	0	pila	2-0	0	ekoton	A2	A
6	1	0	2	1	8	1	0	pila	2-3	30	louka	A2	A
12	0	0	3	2	42	0	0	pila	2-4	60	louka	A2	A
0	0	0	70	2	3	12	0	pila	3-2	-60	les	A3	A
0	0	13	45	1	0	6	1	pila	3-1	-30	les	A3	A
9	0	0	16	0	3	0	0	pila	3-0	0	ekoton	A3	A
0	0	2	2	0	3	1	0	pila	3-3	30	louka	A3	A
20	6	2	3	0	23	1	0	pila	3-4	60	louka	A3	A
0	0	0	0	5	0	32	0	kino	1-2	-60	les	B1	B
0	0	0	9	0	0	17	0	kino	1-1	-30	les	B1	B
0	0	0	22	6	3	4	0	kino	1-0	0	ekoton	B1	B
7	1	0	4	0	2	0	0	kino	1-3	30	louka	B1	B
11	0	0	2	0	0	6	0	kino	1-4	60	louka	B1	B
0	0	0	2	0	0	0	0	kino	2-2	-60	les	B2	B
0	0	0	100	2	0	6	0	kino	2-1	-30	les	B2	B
0	0	0	19	1	15	2	0	kino	2-0	0	ekoton	B2	B
4	0	0	5	0	0	4	0	kino	2-3	30	louka	B2	B
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	kino	2-4	60	louka	B2	B
0	0	0	0	0	0	2	0	kino	3-2	-60	les	B3	B
0	2	4	64	6	1	7	0	kino	3-1	-30	les	B3	B
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	kino	3-0	0	ekoton	B3	B
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	kino	3-3	30	louka	B3	B
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	kino	3-4	60	louka	B3	B
0	0	0	49	1	0	16	0	blizanovy	1-2	-60	les	C1	C
0	0	0	47	3	0	13	0	blizanovy	1-1	-30	les	C1	C
0	0	0	23	1	0	0	1	blizanovy	1-0	0	ekoton	C1	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	1-3	30	louka	C1	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	1-4	60	louka	C1	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	2-2	-60	les	C2	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	2-1	-30	les	C2	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	2-0	0	ekoton	C2	C
0	0	0	9	0	0	1	0	blizanovy	2-3	30	louka	C2	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	2-4	60	louka	C2	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	3-2	-60	les	C3	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	3-1	-30	les	C3	C
0	0	0	33	1	0	3	0	blizanovy	3-0	0	ekoton	C3	C
1	0	0	24	0	4	0	0	blizanovy	3-3	30	louka	C3	C
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	blizanovy	3-4	60	louka	C3	C

Sloupec 1-8 odchytené druhy, v řádcích jsou uvedeny počty odchytených jedinců, (NA – poškozené nebo nenalezené pasti , nejsou data)

Lokalita – název vybraných lokalit

Transek – umístění pasti

Vzdálenost - vzdálenost od ekotonu měřená v metrech

Biotop – typ biotope

Linie – označení pozice pasti na lokalitě

Lok – lokalita A=P -pila, B=K – kino, C= B Bližanovy

## Příloha č.2 – protokol pro zpracování experiment v programu R

```
rm(list = ls()) # clean the R environment
# install.packages(c("vegan", "multcomp"))
library(ggplot2)
library(lme4)
library(multcomp)
library(vegan)
library(sjPlot)
#nacte data z pracovniho adresare (to je ten, kde je spousteci soubor projektu a je
jedno kam ho presunes (nejlepe presouvat celou slozku))
data <- read.csv2("data/data_silphidae_PJ.csv", sep=",", header = TRUE,
stringsAsFactors = FALSE, na.strings = "NA" )

#nactena data obcas nemaji spravny format (rko nevi jestli je to textovy retezec nebo
faktor (coz je specialni format pro analyzu dat))
data$linie <- as.factor(data$linie)
data$Biotop <- as.factor(data$Biotop)
data$lok <- as.factor(data$lok)
data$vzdalenost_factor <- as.factor(data$Vzdalenost)

#vytvorime novy sloupec s nazvem total, kde budou celkovy pocet nalezenych
jedincu v jednotlivych pastech
data$total <- rowSums(data[,1:9])
str(data)
data2 <- dplyr::select (data,-c(nec.lit, ph.atr))
#odstrani radky, kde nejaka data nejsou, aby se z nich nepocitali prumery (rozbite
pasti a podobne - NA se totiz nerovna nule, nula je smysluplna hodnota nejakeho
ukazatele, ale NA znamena, ze ta hodnota nebyla vubec merena jestli mi rozumis,
tim padem tenhle prikaz odstrani hodnoty a radky s NA a necha ty s nulou)
data <- data[complete.cases(data),]
data2 <- data2 [complete.cases(data2),]

#ordinacni diagram pomoci DCA

ord <- decorana(data[1:9])
ord #kontrola delky gradientu jestli je vic nez 3, ale mene nez 4 (DCA or PCA would
be appropriate)
plot(ord) #ordinace bez faktorů
ord.fit <- envfit(ord ~ vzdalenost_factor , data=data, perm=999) #ordinace s faktory
prostredi (vzdalenost od ekotonu), vypočet
ord.fit
plot(ord.fit) #zobrazení (graf) ord.fit

#pouze nekrofagni druhy, kter je mozne odchytit pomoci vnazenych padacich pasti
ord2 <- decorana(data2[1:7])
```

```

ord2 #kontrola delky gradientu jestli je vic nez 3, ale mene nez 4
plot(ord2) #ordinace bez faktorů
ord.fit2 <- envfit(ord2 ~ vzdalenost_factor , data=data2, perm=999) #ordinace s
faktory prostredi (vzdalenost od ekotonu), vypocet
ord.fit2
plot(ord.fit2) #zobrazeni (graf) ord.fit

#smisene modely pro jednotlivé druhy a jak reaguji na vzdalenost od ekotonu a nebo
pripadne biotop, poissonovské rozdeleni dat
mod_ths1 <- glmer(th.sin~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
#model1 s faktorem vzdalenosti
mod_ths2 <- glmer(th.sin~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson()) #model2
s faktorem biotop
AIC(mod_ths2,mod_ths1) #porovnani obou modelu na zaklade AIC hodnoty
summary(mod_ths1) #sumarizace vysledku modelu

mod_sil1 <- glmer(si.tri~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
#model1 s faktorem vzdalenosti
summary(mod_sil1)

#tady se to stejne opakuje pro dalsi druhy:
mod_thr1 <- glmer(th.rug~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
mod_thr2 <- glmer(th.rug~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson())
AIC(mod_thr1,mod_thr2)
summary(mod_thr1)

mod_oth1 <- glmer(oi.tho~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
mod_oth2 <- glmer(oi.tho~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson())
AIC(mod_oth1,mod_oth2)
summary(mod_oth1)

mod_nvlo1 <- glmer(ni.vlo~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
mod_nvlo2 <- glmer(ni.vlo~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson())
AIC(mod_nvlo1,mod_nvlo2)
summary(mod_nvlo1)

mod_nlit1 <- glmer(nec.lit~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
mod_nlit2 <- glmer(nec.lit~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson())
AIC(mod_nlit1,mod_nlit2)
summary(mod_nlit1)

mod_nvoi1 <- glmer(ni.voi~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
mod_nvoi2 <- glmer(ni.voi~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson())
AIC(mod_nvoi1,mod_nvoi2)
summary(mod_nvoi1)

mod_nhu1 <- glmer(ni.hum~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson())
mod_nhu2 <- glmer(ni.hum~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson())
plot(mod_nhu1)
AIC(mod_nhu1,mod_nhu2)

```

```

summary(mod_nhu1)

#graf hodnot na zaklade modelu

plot_model(mod_ths1,
  type = "eff",
  terms = c("Vzdalenost"),
  show.data=TRUE,
  # colors=c("#EC3F4A", "#1E90FF"),
  # colors = "black",
  title = "Thanatophilus sinuatus",
  axis.title=c("Vzdálenost od ekotonu (v metrech)","Počet jedinců"),
  show.legend = T)
ggsave("outputs/T.sinuatus_vzdalenost.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,
units="cm")

plot_model(mod_thr1,
  type = "eff",
  terms = c("Vzdalenost"),
  show.data=TRUE,
  # colors=c("#EC3F4A", "#1E90FF"),
  # colors = "black",
  title = "Thanatophilus rugosus",
  axis.title=c("Vzdálenost od ekotonu (v metrech)","Počet jedinců"),
  show.legend = T)
ggsave("outputs/T.rugosus_vzdalenost.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,
units="cm")

plot_model(mod_sil1,
  type = "eff",
  terms = c("Vzdalenost"),
  show.data=TRUE,
  colors=c("#EC3F4A", "#1E90FF"),
  # colors = "black",
  title = "Silpha tristis",
  axis.title=c("Vzdálenost od ekotonu (v metrech)","Počet jedinců"),
  show.legend = T)

ggsave("outputs/S.tristis_vzdalenost.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,
units="cm")

plot_model(mod_oth1,
  type = "eff",
  terms = c("Vzdalenost"),
  show.data=TRUE,
  colors=c("#EC3F4A", "#1E90FF"),
  # colors = "black",
  title = "Oiceoptoma thoracicum",
  axis.title=c("Vzdálenost od ekotonu (v metrech)","Počet jedinců"),
  show.legend = T)

```



```
ggsave("outputs/O.thoracicum_vzdalenost.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10, units="cm")
```

```
plot_model(mod_nvlo1,  
  type = "eff",  
  terms = c("Vzdalenost"),  
  show.data=TRUE,  
  colors=c("red"),  
  # colors = "black",  
  title = "Nicrophorus vespillo",  
  axis.title=c("Vzdálenost od ekotonu (v metrech)","Počet jedinců"),  
  show.legend = T)  
ggsave("outputs/N.vespillo_vzdalenost.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,  
units="cm")
```

```
plot_model(mod_nvoi1,  
  type = "eff",  
  terms = c("Vzdalenost"),  
  show.data=TRUE,  
  colors=c("red"),  
  # colors = "black",  
  title = "Nicrophorus vespilloides",  
  axis.title=c("Vzdálenost od ekotonu (v metrech)","Počet jedinců"),  
  show.legend = T)  
ggsave("outputs/N.vespilloides_vzdalenost.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,  
units="cm")
```

```
plot_model(mod_nhu1,  
  type = "eff",  
  terms = c("Vzdalenost"),  
  show.data=TRUE,  
  colors=c("red"),  
  # colors = "black",  
  title = "Nicrophorus humator",  
  axis.title=c("Vzdálenost od ekotonu (v metrech)","Počet jedinců"),  
  show.legend = T)  
ggsave("outputs/N.humator_vzdalenost.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,  
units="cm")
```

```
#Indexy diverzity a jak vzdalenost od okraje je ovlivnuje  
data$total  
mod_tot <- glmer(total~Vzdalenost+(1|linie), data = data, family= poisson()) #data  
jsou pocty, takže poissonovsky smisený model  
mod_tot2 <- glmer(total~Biotop+(1|linie), data = data, family= poisson())  
summary(mod_tot)  
summary(mod_tot2)
```

```

AIC(mod_tot,mod_tot2)

plot_model(mod_tot2,
  type = "eff",
  terms = c("Biotop"),
  show.data=TRUE,
  colors=c("red"),
  # colors = "black",
  title = "Abundance",
  axis.title=c("Biotop","Počet jedinců"),
  show.legend = T)
ggsave("outputs/abundance_biotop.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,
units="cm")

#vytvorime dalsi sloupec, kde budou hodnoty shannonova indexu diverzity pro
jednotlive pasti
data$shanon <- diversity(data[1:9])

#model diverzity (linearni, normalni)
mod_div <- lm(shanon~vzdalenost_factor, data=data)
mod_div2 <- lm(shanon~Biotop, data=data)
mod_div3 <- lm(shanon~Vzdalenost, data=data)
summary(mod_div)
summary(mod_div3)
summary(mod_div2)
plot(mod_div3)

plot_model(mod_div2,
  type = "eff",
  terms = c("Biotop"),
  show.data=TRUE,
  colors=c("#EC3F4A", "#1E90FF"),
  # colors = "black",
  title = "Shanon-Wiener index",
  axis.title=c("Biotop","Počet jedinců"),
  show.legend = T)
ggsave("outputs/diverzita_biotop.jpeg", dpi = 1200 ,width = 15, height = 10,
units="cm")

#spocita rarefaction hodnoty pro jednotlive samplovane biotopy, tedy kolik druhu by
se zde zhruba naslo pokud bychom pouzili tolik a tolik pasti (teoreticka hodnota na
zaklade dostupnych dat)
loc1_les <- vegan::specaccum(data[data$Biotop=="les",c(1:9)], "random")
loc1_ekot <- vegan::specaccum(data[data$Biotop=="ekoton",c(1:9)], "random")
loc1_louka <- vegan::specaccum(data[data$Biotop=="louka",c(1:9)], "random")

#Graf

```

```

#jen funkce, která preklada rgb hodnoty pro graf
col2alpha <- function(col, alpha) {
  col_rgb <- col2rgb(col)/255
  rgb(col_rgb[1], col_rgb[2], col_rgb[3], alpha = alpha)
}

#generovani grafu a jejich export
#tahle funkce vytvori tiff soubor biotops ve slozce outputs s danymi parametry
tiff (filename="outputs/biotops.tiff", width=8000, height=4000,
compression="lzw", res= 800)
#slouzi, aby vytvoril opravdu jen jedno okno grafu a ne nekolik
par(mfrow=c(1,1))

#vytvari jednotlivé grafy a pridava je na sebe
plot(loc1_les,col="#000000", xlab= "Traps", ylab = "", main="Pitfall traps",
ci.type="polygon", ci.col = col2alpha("#000000", 0.2),
  ci.lty = 0)
plot(loc1_ekot, add=TRUE, col="#FF4500", ci.type="polygon", ci.col =
col2alpha("#FF4500", 0.2),
  ci.lty = 0)
plot(loc1_louka, add=TRUE, col="#00FF00", ci.type="polygon", ci.col =
col2alpha("#00FF00", 0.2),
  ci.lty = 0)
#ukoncovaci funkce pro funkci tiff, musi se dat na konec za graf a pak az funkce tiff
vytvori ten soubor.
dev.off()

```