

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



Distribuce epigeonu na ekotonu lesa a pole

Bc. Libor Marčan

Diplomová práce

předložená na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků na získání titulu Mgr.

v oboru Ochrana a tvorba krajiny.

Vedoucí práce: doc. RNDr. Mgr. Ivan Hadrián Tuf, Ph.D.

2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Mgr. Ivana Hadriána Tufa, Ph.D. a s pomocí uvedených literárních zdrojů.

V Prostějově, 16. 5. 2023

.....

Bc. Libor Marčan

Poděkování

Chtěl bych na tomto místě poděkovat zejména vedoucímu této diplomové práce doc. RNDr. Mgr. Ivanu Hadriánu Tufovi, Ph.D. za nesmírnou trpělivost a množství odborných i praktických rad. Dále musím poděkovat doc. RNDr. Milanu Veselému, Ph.D. za velkou pomoc s determinací materiálu střevlíkovitých brouků. Poděkování patří také Zemědělskému družstvu MORAVAN Domamyslice za umožnění výzkumu na jejich poli a Odboru životního prostředí Magistrátu Statutárního města Prostějově za souhlas s provedením výzkumu v biokoridoru Hloučela.

Marčan, L. (2023). Distribuce epigeonu na ekotonu lesa a pole. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra ekologie a životního prostředí, 56 stran, český jazyk.

Abstrakt

V intenzivně zemědělsky využívané krajině Hané patří drobné lesní celky mezi prvky výrazně zvyšující heterogenitu jinak monotónní krajiny. Tato práce sleduje vliv okraje takového fragmentu lesa na společenstvo bezobratlých půdního povrchu. Cílem této studie bylo zjistit, zda se společenstva epigeonu v lese a na poli nějak ovlivňují, jak se mění jejich početnost v různé vzdálenosti od ekotonu a jaké jsou trendy v jejich aktivitě v průběhu sezóny. Za tímto účelem bylo instalováno 40 padacích zemních pastí ve čtyřech transektech napříč ekotonem listnatého lesa a řepného pole vždy 10 m od sebe. Pasti byly vybírány od poloviny dubna do poloviny října 2021. Celkem bylo zachyceno 6428 jedinců sledovaných skupin (Araneae, Opiliones, Formicidae, Diplopoda, Chilopoda, Oniscidea, Staphylinoidae, Carabidae). Materiál střevlíkovitých byl determinován na druhovou úroveň. Zachyceno bylo 13 druhů střevlíků, z nichž nejpočetnější byli *Anchomenus dorsalis*, *Pterostichus melanarius* a *Abax parallelepipedus*. V jejich distribuci napříč ekotonem byly zjištěny značné rozdíly. Zatímco *A. parallelepipedus* je prokazatelně lesním druhem, *P. melanarius* jednoznačně preferuje pole. Nejhojnější střevlíček *A. dorsalis* může být na základě výsledků označen za ekotonového specialistu, jehož početnost od ekotonu oběma směry klesá. Také v aktivitě v průběhu roku byly zjištěny rozdíly. Zatímco *A. dorsalis* je druh s typicky jarní aktivitou, *P. melanarius* a *A. parallelepipedus* mají podobně jako další početný druh *Harpalus rufipes* vrchol aktivity v srpnu. Zjištěné výsledky vesměs souhlasí se závěry podobných studií a potvrzují tak význam heterogenity krajiny pro biodiverzitu a mohou se stát argumentem pro budování zelené sítě v zemědělské krajině.

Klíčová slova: epigeon, ekoton, les, pole, padací zemní pasti, střevlíci

Marčan, L. (2023). Soil surface dwelling arthropods on an ecotone between forest and field. MSc. thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, 56 pp, Czech language

Abstract

In the intensely agriculturally used landscape of Haná, small forest units are among the elements that significantly increase the heterogeneity of the otherwise monotonous landscape. This work describes the influence of the edge of such a forest fragment on the community of the surface-dwelling invertebrates. The aim of this study was to find out if epigeon communities in the forest and in the field are somehow affected, how their abundance changes at different distances from the ecotone and what their trends are in their activity during the season. For this purpose, 40 pitfall traps were installed in four transects across the deciduous forest and beet field ecotone, each 10 m apart. The traps were selected from mid-April to mid-October 2021. A total of 6428 individuals of the monitored groups (Araneae, Opiliones, Formicidae, Diplopoda, Chilopoda, Oniscidea, Staphylinoidae, Carabidae) were caught. Ground beetle (Carabidae) material was determined to the species level. 13 species of ground beetles were caught, the most numerous of which were *Anchomenus dorsalis*, *Pterostichus melanarius* and *Abax parallelepipedus*. Significant differences were found in their distribution across the ecotone. While *A. parallelepipedus* is demonstrably a forest species, *P. melanarius* clearly prefers fields. Based on the results, the most abundant ground beetle, *A. dorsalis*, can be identified as an ecotone specialist, which abundance decreases in both directions from the ecotone. Differences were also found in the activity during the year. While *A. dorsalis* is a species with typically spring activity, *P. melanarius* and *A. parallelepipedus*, like another abundant species *Harpalus rufipes*, have a peak of activity in August. The obtained results generally agree with the conclusions of similar studies and thus confirm the importance of landscape heterogeneity for biodiversity and can become an argument for building a green network in the agricultural landscape.

Key words: surface-dwelling invertebrates, ecotone, forest, field, pitfall traps, ground beetles

Obsah

| | |
|--|------|
| Seznam tabulek..... | viii |
| Seznam obrázků..... | ix |
| 1 Úvod..... | 10 |
| 1.1 Rozhraní dvou společenstev a okrajový efekt..... | 10 |
| 1.2 Ekoton lesa a pole..... | 11 |
| 1.3 Ekoton a edafon..... | 12 |
| 1.4 Význam okrajového efektu v zemědělství i ochraně přírody..... | 15 |
| 2 Cíle práce | 18 |
| 3 Metody | 19 |
| 3.1 Lokalita | 19 |
| 3.2 Sběr materiálu..... | 20 |
| 3.3 Determinace a vyhodnocení | 22 |
| 4 Výsledky | 24 |
| 4.1 Početnost a složení odchycených vzorků epigeonu..... | 24 |
| 4.2 Stanovištní preference střevlíkovitých brouků..... | 25 |
| 4.3 Stanovištní preference ostatních sledovaných skupin epigeonu | 30 |
| 4.4 Aktivita epigeonu v průběhu sezóny | 32 |
| 5 Diskuze..... | 35 |
| 5.1 Použité metody | 35 |
| 5.2 Společenstvo epigeonu na ekotonu lesa a pole | 37 |
| 5.3 Distribuce střevlíků..... | 40 |
| 6 Závěr | 44 |
| 7 Literatura..... | 46 |

Seznam tabulek

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabulka 1: | Přehled výběrů pastí a odchycených jedinců epigeonu..... | 24 |
| Tabulka 2: | Početnost odchycených jedinců sledovaných skupin..... | 24 |
| Tabulka 3: | Početnost zachycených druhů střevlíkovitých brouků..... | 25 |
| Tabulka 4: | Shrnující tabulka ke GAM modelu na obrázcích 4 a 8..... | 27 |
| Tabulka 5: | Výsledky CCA modelu testujícího vysvětlení výskytu druhů střevlíků a dalších skupin umístěním pastí, vzdáleností od ekotonu a časem výběru..... | 30 |
| Tabulka 6: | Shrnující tabulka ke GAM modelu závislosti početnosti epigeonu na pořadí výběru..... | 34 |

Seznam obrázků

- Obrázek 1:** Červeně značené umístění studované lokality na severovýchodním okraji Prostějova20
- Obrázek 2:** Instalovaná zemní past přikrytá deskou a vybavená informační cedulkou.....21
- Obrázek 3:** Přibližná pozice transektů s instalovanými pastmi.....22
- Obrázek 4:** Generalizovaný aditivní model zobrazující vztah mezi početností střevlíků a vzdáleností od ekotonu.....27
- Obrázek 5:** T-value biplot ukazující stanovištní preference střevlíků a dalších sledovaných skupin.....28
- Obrázek 6:** Průměrný úlovek pěti nejpočetněji zastoupených druhů střevlíků v pastech s různou vzdáleností od ekotonu.....29
- Obrázek 7:** Ordinační diagram kanonické korespondenční analýzy znázorňující vliv umístění pasti, vzdálenosti od ekotonu a času výběru na druhy střevlíků a další sledované skupiny.....29
- Obrázek 8:** Generalizovaný aditivní model zobrazující odpověď (početnost) sledovaných skupin epigeonu na vzdálenost od ekotonu.....31
- Obrázek 9:** Průměrný počet odchycených jedinců pavouků v pastech s různou vzdáleností od ekotonu.....32
- Obrázek 10:** Průměrný počet odchycených jedinců drabčίκů v pastech s různou vzdáleností od ekotonu.....32
- Obrázek 11:** Generalizovaný aditivní model ukazující závislost početnosti epigeonu na pořadí výběru.....33

1 Úvod

Tato práce se zabývá problematikou okrajového efektu na pozemní druhy bezobratlých, tedy epigeon. Zaměřuji se v ní zejména na rozhraní lesa a pole, tedy ekoton dvou zcela odlišných společenstev, které spolu ale v naší krajině často sousedí a mohou vzájemně interagovat.

1.1 Rozhraní dvou společenstev a okrajový efekt

V klasické ekologii je pro přechodovou zónu mezi dvěma či více společenstvy dobře zaveden pojem ekoton (Odum, 1971; Kemp, 1998). Tato hranice přitom může být různě široká (Hora et al., 2009). Přírozené přechodové zóny mezi terestrickými ekosystémy mohou být velmi dlouhé a pozvolné, naopak v člověkem ovlivněné krajině jsou mnohem častější ostrá rozhraní (Kemp, 1998).

Na ekotonech se setkávají druhy žijící v obou hraničních společenstvech, specialisté na jedno z nich, ale také druhy typické pouze pro toto rozhraní. Tyto druhy označujeme jako ekotonové specialisty (Odum, 1971; Niemela, Halme, 1992; Magura et al., 2001; Maggagula, 2003). Na příliš ostrých hranicích se ekotonoví specialisté obvykle nevyskytují (Heliölä, 2001), naopak čím je ekoton širší a společenstva se více prolínají, tím častěji zde specialisty najdeme. Tomuto jevu zvýšené druhové diverzity na ekotonech říkáme okrajový efekt (Odum, 1971) a je to jedna z typických charakteristik dobře vyvinutých ekotonů (Hora et al., 2009).

Kromě běžně užívaného výrazu ekoton se můžeme řídčeji setkat ještě s pojmem ekoklina. Takto bývá nazýván skutečně pozvolný přechod mezi dvěma společenstvy podél nějakého gradientu měnících se ekologických podmínek (Attrill, Rundle, 2002).

Výše uváděné skutečnosti týkající se zvýšené druhové bohatosti na ekotonech ukazují, že tato ekologická rozhraní mohou hrát významnou roli v udržení gama diverzity a celkově napomoci stabilizaci krajiny. Ekotony totiž mohou stabilizovat po případných výkyvech či disturbancích společenstva na obou stranách hranice (Delcourt, Delcourt, 1992; Hornák et al., 2018). Pestrá krajinná mozaika tvořená

různými společenstvy a jejich přechodovými zónami je tedy klíčem k co nejvyšší biodiverzitě v kulturní krajině (Liu et al., 2010).

1.2 Ekoton lesa a pole

Lesní okraje patří k nejčastějším typům ekotonů, neboť člověk svou činností po staletí vytváří v krajině různá nelesní stanoviště. V důsledku to vede v lidmi ovlivněném prostředí k výrazné fragmentaci krajiny, čímž vznikají dlouhé ekotony (Odum, 1971). Střídáním různých ekosystémů se tak vytváří krajinná mozaika (Kemp, 1998). V té hrají důležitou roli agroekosystémy, tedy části krajiny zemědělsky využívané, sloužící k produkci potravin či energetických surovin (Mueller et al., 2021). Více jak polovinu území našeho státu tvoří zemědělsky využívaná půda a z ní většinu půda orná. V oblasti střední Moravy představuje orná půda i 80 % rozlohy. Základní jednotkou takovéto zemědělské krajiny se pak stává pole, obvykle s jednou monokulturně pěstovanou plodinou (Šarapatka, Niggli, 2008). Ač obecně platí, že agroekosystémy vykazují vzhledem ke svému okolí sníženou biodiverzitu (Šarapatka, 2014; Šimek et al., 2021) je dobré si uvědomit, že zemědělsky využívaná půda nemusí představovat plochu bez života. V přírodě najdeme mnoho druhů vázaných na člověkem po staletí udržovaná nelesní stanoviště (Šarapatka, Niggli, 2008) a dokonce i v rámci soustavy Natura je na asi třetině ploch prováděn nějaký zemědělský management. Nutno ovšem dodat, že vesměs předindustriálního charakteru (Frouz, Frouzová, 2021).

V uplynulých desetiletích však nejen v našich podmínkách došlo k mimořádné intenzifikaci zemědělství, což se sebou nese celosvětový pokles biologické rozmanitosti nejen organismů vázaných na obdělávanou půdu (Risken et al., 2022). V České republice je tento jev spojen zejména se scelováním půdních bloků a výraznou homogenizací krajiny v průběhu 20. století (Knapp, Řezáč, 2015). Na konvenčních intenzivně zemědělsky využívaných plochách nenacházíme mnoho mikrohabitatů, ale naopak se jedná o stanoviště vysoce homogenní, což vede k významnému snížení funkční i druhové diverzity nejen epigeických organismů (Kędzior, Kosewska, 2022). K tomu se připojuje sklizeň plodin, chemické ošetřování pěstovaných porostů a manipulace s půdou v podobě orby či podmítky (Gallé et al., 2018). Intenzifikace zemědělství reaguje na nutnost produkovat více produktů s menšími náklady a zejména s nižším využitím lidských zdrojů. To se sebou bohužel mimo ztrátu biodiverzity nese i řadu dalších ekologických problémů jako je degradace půd či znečištění vody (Mueller et al., 2021).

Naproti tomu les představuje v naší krajině něco, co považujeme za takřka neměnné a stabilní. A to navzdory tomu, že prakticky všechny lesní porosty na území České republiky vysadil a obhospodařuje člověk (Adam et al., 2017). Les a pole představují zcela odlišné ekosystémy, byť mohou ležet těsně vedle sebe. Změny jsou patrné zejména na vegetaci, ale odlišné jsou i světelné, teplotní či vláhové podmínky panující na povrchu půdy, obsah půdního vzduchu a také množství organické hmoty či její vrstvení (Marfo et al., 2019; Pechanec et al., 2019). Hlavním zdrojem půdní organické hmoty jsou rostliny, a proto je vegetační pokryv důležitým faktorem ovlivňujícím její množství. V lesních ekosystémech je to zejména rostlinný opad, ale také mrtvá dřevní hmota. Obecně platí, že s výškou porostu se zvyšuje množství organické hmoty vstupující do půdy. To ale neplatí u intenzivně využívaných porostů, kde dochází k nějaké formě sklizně. A jelikož hlavním cílem zemědělců je produkce využitelných plodin, jsou agroekosystémy silně otevřené, protože většinu produkce zemědělci z pole odvázejí. Do rozkladných procesů tak vstupuje mnohem méně biomasy (Šimek et al. 2021).

Samotné rozhraní lesa a pole, které bývá z pravidla velmi ostré má pak zcela specifické podmínky odlišující se od obou okolních ekosystémů. Zejména se jedná o podmínky světelné, vláhové, mikroklimatické a v neposlední řadě také míru vystavení disturbancím (Murcia, 1995; Hora et al., 2009). Význam ekotonu pro biodiverzitu, tedy již zmiňovaný okrajový efekt, je pak tím silnější, čím širší a delší ekoton je. Biodiverzitu zvyšuje také stratifikace lemového porostu. Tedy vytvoření lesního lemu s bylinným, keřovým i stromovým patrem. Zajímavé je, že atraktivnější bývají jižní okraje lesů (Šarapatka, Niggli, 2008).

1.3 Ekoton a edafon

Pozitivní vliv okrajového efektu na biodiverzitu je velmi dobře zmapovaný u obratlovců, zejména u ptáků, kteří ekotony hojně využívají (Hendrychová et al., 2021). Na následujících řádcích se chci věnovat vlivu okrajového efektu na početnost i diverzitu edafických organismů a možnosti jejich šíření přes hranici dvou odlišných ekosystémů – lesa a pole.

Na začátek je nutné si uvědomit, že orná půda představuje pro půdní organismy velmi extrémní biotop. Nejde jen o odvoz prakticky veškeré produkce z pole, ale také o disturbanční zásahy narušující přirozenou stratifikaci půdního povrchu (Kędzior,

Kosewska, 2022). Právě v této svrchní, narušované vrstvě půdy žije až 95 % půdních organismů (Tuf, 2012). Dále je vhodné připomenout, že pole se velmi intenzivně proměňuje v čase. Jednak bývá na konvenčně obhospodařovaných plochách půda značnou část roku bez vegetačního krytu a jednak na polích dochází ke střídání plodin. Pěstovaná plodina, a s jejím pěstováním spojené agrotechnické zásahy, velkou měrou ovlivňuje výskyt i abundanci edafonu (Alderweireldt, 1989; Šarapatka, 2014; Bertrand, 2016). Vzhledem k tomu, že půdní biota je agrotechnickými zásahy výrazně poškozována, uvažuje se často o roli neproduktivních ploch, například právě lesních okrajů či fragmentů dřevinné vegetace v rekolonizaci orné půdy (Magura et al., 2001; Magura, 2002; Buddle et al., 2004; Gallé et al., 2018). Zda je druh schopen takovéto kolonizace a je k ní motivován, závisí na mnoha jeho charakteristikách. Zejména na pohyblivosti a potravních či stanovištních nárocích (Malschi et al., 2010; Bertrand et al., 2016). Bude tedy vhodné, podívat se na různé skupiny epigeických členovců samostatně.

K nejvíce studovaným skupinám epigeických bezobratlých patří nepochybně střevlíci. Jsou to vysoce mobilní, zpravidla polyfágní predátoři (Kotze et al., 2011). Z toho plyne, že se jedná o skupinu s dobrou kolonizační schopností, která by ekotony mohla využívat. Autoři se obecně shodují, že diverzita i abundance střevlíků je vyšší v nelesních ekosystémech než v lese. Jedná se tedy vesměs o typické druhy otevřené krajiny (Niemela, Halme, 1992; Heliölä et al., 2001; Magura et al., 2001; Molnár et al., 2001; Knapp, Řezáč, 2015). To se úplně netýká velkých střevlíků rodu *Carabus*, kteří se, zdá se, zejména orné půdě spíše vyhýbají (Heliölä et al., 2001; Magura et al., 2001; Cole et al., 2002; Gallé et al., 2019).

Na ekotonu lesa a pole se druhy střevlíků obou stanovišť setkávají a samotné rozhraní tedy obvykle vykazuje vyšší diverzitu (Molnár et al., 2001; Magura, 2002). Zároveň ale platí, že se společenstva střevlíků v lese a na poli příliš nepřekrývají. Lesní druhy střevlíků se nezapojují do kolonizace pole a ekoton prakticky neopouštějí, zároveň bývají na ekotonu méně početní, než v lese samotném (Bedford, Usher, 1994; Andrésí et al., 2018). Polní druhy zase jen zřídka zabíhají do lesního prostředí. Naopak na ekotonu mívají polní střevlíci vyšší abundanci než na poli (Lacasella et al., 2015). Nemusí to však platit vždy (Hora et al., 2009). Vyšší diverzitu na rozhraní, které nepředstavuje ani pro jednu ze skupin ideální prostředí lze vysvětlovat různě. Lze říci, že vyšší diverzita ekotonu je dána prostým setkáváním druhů z obou stanovišť, a tedy

hlavním zdroje biodiverzity je migrace (Hora et al., 2009). Ukazuje se však, že zejména pro polní druhy střevlíků mají ekotony mnohem větší význam než pouhé okrajové plošky výskytu. Nacházejí zde například vhodná zimoviště. Střevlíci, ale také drabčící tráví zimu mnohem častěji na lesních okrajích či křovinatých mezích než na poli. A to i v případě, že se na poli nachází posklizňové zbytky či vegetační kryt vzešlých ozimých plodin. Na jaře pak z těchto ploch úspěšně kolonizují pole a tyto neproduktivní plochy tedy mají pro udržení jejich populací značný význam (Andersen, 1997). Stejně tak může z neproduktivních ploch probíhat rekolonizace pole po orbě či chemickém ošetření plodin (Rischen et al., 2022).

Další významnou skupinou pohyblivých predátorů půdního povrchu jsou pavouci. Ti jsou často v agroekosystémech nejvýznamnějšími predátory a mohou tak ovlivňovat celá společenstva bezobratlých. Na početnost epigeických pavouků na poli má velký vliv zejména orba. Pokud se na poli hospodáří bezorebně, pozitivně se to projevuje na diverzitě i abundanci pavouků. (Buddle et al., 2004; Topa et al., 2021). Zajímavé je, že některé skupiny na pravidelné disturbance reagují pozitivně a orba jejich výskyt naopak podporuje. Týká se to zejména druhů z čeledí Linyphiidae a Lycosidae (Topa et al., 2021). V lese a na poli žijí rozdílné druhy pavouků a na ekotonu se obě tato společenstva setkávají. Efekt zvýšené biodiverzity na ekotonu bývá u pavouků dokonce výraznější než u střevlíků, i když nezasahuje příliš hluboko do sousedících společenstev (Bedford, Usher, 1994; Royauté, Buddle, 2012; Gallé et al., 2019). Lesní druhy pavouků ekoton nijak nevyhledávají a na poli se prakticky nevyskytují. Toto rozhraní jim tedy zřejmě nepřináší žádné benefity. Naproti tomu pro polní druhy budou pravděpodobně lesní okraje a další neproduktivní plochy zásadní. Jejich význam dokládá i fakt, že diverzita i abundance pavouků je mnohem vyšší na menších polích s neproduktivními plochami po okrajích než na polích velkých (Gallé et al., 2019). Na ekotonech nacházejí polní pavouci úkryt před agrotechnickými zásahy, vhodné podmínky pro zimování či alternativní kořist v době, kdy se na poli mnoho potravy nenachází (Royauté, Buddle, 2012; Alignier et al., 2014). Les či jeho fragmenty poté hrají důležitou roli v rekolonizaci polí epigeickými druhy pavouků, a to i přesto, že striktně lesní druhy se na kolonizaci pole příliš nepodílí, ale velký překryv je mezi druhy žijícími na poli a druhy vyskytujícími se na ekotonu (Royauté, Buddle, 2012). Rychlost a efektivita této rekolonizace je pak tím vyšší, čím blíže se nachází nějaké refugium například ve formě lesního okraje (Kędzior, Kosewska,

2022). Tuto kolonizační schopnost podtrhuje zjištění, že pavouci, obdobně jako ostatní epigeičtí bezobratlí, migrují častěji přes ekoton z jednoho biotopu do druhého, než podél hranice (Hora et al., 2009).

Třetí velmi pohyblivou skupinou epigeických predátorů jsou stonožky. Stonožky můžeme považovat za bioindikátory stavu půdních společenstev, neboť kde se vyskytují stonožky, musí být dostatek jejich kořisti, kterou tvoří různí půdní bezobratlí (Voigtländer, 2006). Na rozdíl od předchozích skupin nejsou k obdělávání půdy stonožky výrazněji citlivé. Důležitější je pro jejich výskyt mikroklima a přítomnost vegetačního krytu. Proto mimo vegetační období často využívají k životu krajinné prvky, ze kterých se šíří do pole (Schmitt, Roth, 1998).

Lesní okraje se v zemědělské krajině ukazují jako mimořádně významné pro udržení biodiverzity epigeonu. Nejde jen o biodiverzitu vyčíslenou součtem lesních a polních druhů s některými ekotonovými specialisty. Významná je zejména funkce ekotonů jakožto refugií polních druhů, ze kterých může probíhat rekolonizace disturbovaných stanovišť.

1.4 Význam okrajového efektu v zemědělství i ochraně přírody

Na první pohled nemusí být zřejmá souvislost mezi hojností půdních organismů a zemědělskou produkcí. Víme ale, že edafon v půdě nejen žije, ale významně se podílí také na pedogenezi, rozkladu organické hmoty a zpřístupnění živin z ní rostlinám, tvorbě půdní struktury, napomáhá vzniku půdních agregátů a v neposlední řadě se i mrtvá těla půdních organismů stávají důležitou součástí humusu (Tuf, 2012; Šarapatka, 2014). Pro udržení života v zemědělské půdě je zcela zásadní obsah organické hmoty v půdě. Ta je nezbytnou podmínkou správné půdní struktury, udržitelného využívání půdy a její ochrany (Kemp, 1998). Organická hmota ve zdravé a živé půdě představuje velmi dobrou zásobárnu živin jež se postupně uvolňují a pro zemědělce tak klesá nutnost aplikace minerálních hnojiv. To je nejen úspora finanční, ale snižuje se tím také množství pojezdů zemědělské techniky po pozemku, a tedy i hrozba utužení půdy (Šimek et al., 2021). Přitom naopak platí, že úbytek půdních organismů snižuje rychlost rozkladu organické hmoty, a tedy i dostupnost živin pro rostliny (Odum, 1971). Zdravá půda plná života by měla být jednoznačně přáním každého zemědělce.

Ukazuje se, že pokud vytvoříme na orné půdě podmínky pro optimální život půdních organismů, pomáhají nejen s rozkladem rostlinných zbytků, ale také s ochranou proti škůdcům (Kerdraon et al., 2019; Topa et al., 2021). To znamená, že vytvoření vhodných podmínek pro epigeické predátory by mohlo snížit spotřebu pesticidů a pomoci na cestě k udržitelnějšímu zemědělství (Alignier, 2014; Iuliano, 2020; Bonato et al., 2023). Prvotním krokem v podpoře půdních bezobratlých na orné půdě by mohlo být omezení mechanického zpracování půdy, ponechání půdního krytu v podobě posklizňových zbytků nebo meziplodin. To vše plní mimo podpory edafonu i další půdě prospěšné funkce. Ukazuje se, že diverzita a abundance brouků i pavouků je významně vyšší na plochách obhospodařovaných v režimu ekologického zemědělství (Fukuda et al., 2011).

Další a již náročnější možností, jak pomoci epigeickým predátorům na zemědělské půdě je budování krajinné mozaiky. Víme totiž, jak významnou roli pro ně ekotony hrají. Krajina tvořená menšími poličky vykazuje výrazně vyšší diverzitu i abundanci epigeických bezobratlých než velké polní celky. Je to dáno výrazným okrajovým efektem, kdy neobhospodařované části krajiny slouží jako účinné rezervoáry pro zachování pestrosti půdních živočichů (Kinnunen et al., 1996; Lacasella et al., 2015; Gallé et al., 2018). Části krajiny, na kterých neprobíhá intenzivní zemědělská činnost mají tedy obrovský význam jako rezervoár a zimoviště pro dravé brouky a pavouky, kteří nám mohou být během vegetace nápomocni v likvidaci hmyzích škůdců na zemědělských plodinách (Andersen, 1997). Ukazuje se, že zejména pavouci z těchto ploch na pole intenzivně migrují právě za kořistí a v době, kdy na poli není vegetace, se vrací zpět na ekotony (Schmidt et al., 2005). Je tedy zřejmé, že pestrá krajinná mozaika, ale také dostatek posklizňových zbytků ležících na povrchu půdy a omezení disturbancí narušujících přirozenou půdní vrstevnatost pomohou půdním organismům lépe prosperovat, z čehož bude mít prospěch i hospodařící zemědělec (Kerdraon et al., 2019).

Nutno zmínit také opačnou stránku a častý argument proti budování mozaiky krajinné zeleně, totiž že tyto plochy poskytují úkryt rovněž zemědělským škůdcům. Toto se sice potvrdilo, ovšem v mnohem menším měřítku než u jejich predátorů. Pestrá krajina je tedy ve výsledku stabilnější a populace škůdců jsou přirozeně regulované (Alignier et al., 2014). Výskyt škůdců je na krajinné struktuře mnohem méně závislý, než výskyt jejich predátorů (Bonato et al., 2023).

Zbývá si položit otázku, jak velký musí být les, aby se jeho blízkost pozitivně projevila na životě v a na orné půdě. Vzhledem k tomu, že striktně lesní druhy epigeických organismů vybíhají na pole velmi málo či vůbec (Gallé et al., 2019), ukazuje se, že stačí malé fragmenty lesů vytvářející krajinou mozaiku. Tato fragmentace lesa nemá například na střevlíky prakticky žádný negativní vliv (Heliölä et al., 2001). U pavouků sice se zmenšením lesního porostu k úbytku druhové bohatosti dochází, nicméně i malé lesní plochy mohou hostit druhy, které se v okolní krajině nevyskytují a lesní okraje jsou důležité hlavně jako refugia polních druhů. (Buddle et al., 2004; Knapp, Řezáč, 2015).

Pro úplnost bych dodal, že pro podporu epigeonu v zemědělské krajině nemusíme nutně sázet lesy. Velký význam mají také liniové výsadby dřevin (Fukuda et al., 2011). Dokonce nemusíme sázet ani stromy. Jako záchranná stanoviště pro polní bezobratlé mohou sloužit také biopásy, pokud je na poli necháme přes zimu, což představuje jednoduché a levné opatření (Triquet et al., 2022). Také užití meziplodin či pestrost pěstovaných plodin mají pozitivní vliv na diverzitu i abundanci půdních bezobratlých. Důležitou roli zde hraje odlišné časování agronomických zásahů v různých polních kulturách, což umožňuje části živočichů přečkat tyto disturbance a následně rekolonizovat narušené plochy (Iuliano, Gratton, 2020).

Na závěr této úvodní části méj diplomové práce bych dodal, že se nyní čím dál větší důraz klade na posílení vedlejších, tedy mimoprodukčních funkcí krajiny, které mají zajistit udržitelnost zemědělského hospodaření a další využití krajiny (Šimek et al., 2021). V tomto směru je tedy vhodné myslet na budování pestré krajinné mozaiky. Ukazuje se, že ekotonální efekt na půdní bezobratlé je značný. Proto jedním z klíčů k pestré, zdravé a funkční krajině, včetně vysoké biodiverzity, jež je nedílným parametrem funkční krajiny, bude heterogenita prostředí tvořeného menšími ploškami s různým vegetačním pokryvem (Knapp, Řezáč, 2015; Kędzior, Kosewska, 2022; Rischen et al., 2022).

2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je přispět k poznání společenstva bezobratlých půdního povrchu na ekotonu lesa a pole. Kromě review charakteristiky epigeických společenstev na ekotonech je cílem instalovat padací zemní pasti na takovém ekotonu, získaný materiál roztrždit a střevlíkovité brouky determinovat. Příspěvkem by měl být přehled aktivity různých druhů střevlíků v průběhu sezóny a jejich distribuce na rozhraní lesa a pole. Tyto poznatky by mohly být nápomocny při obnově krajiny a budování ekologicky stabilizujících prvků v agrární krajině.

3 Metody

Pro svůj výzkum distribuce epigeonu na ekotonu lesa a pole jsem si vybral lokalitu severního okraje prostějovského lesoparku Hloučela a přiléhající pole. Zde jsem instaloval 40 padacích zemních pastí ve čtyřech transektech. Vzorky jsem odebíral ve čtrnáctidenních intervalech a výzkum probíhal od poloviny dubna do poloviny října roku 2021. Výzkum probíhal s vědomím Odboru životního prostředí Magistrátu Statutárního města Prostějova a Zemědělského družstva MORAVAN Domamyslice.

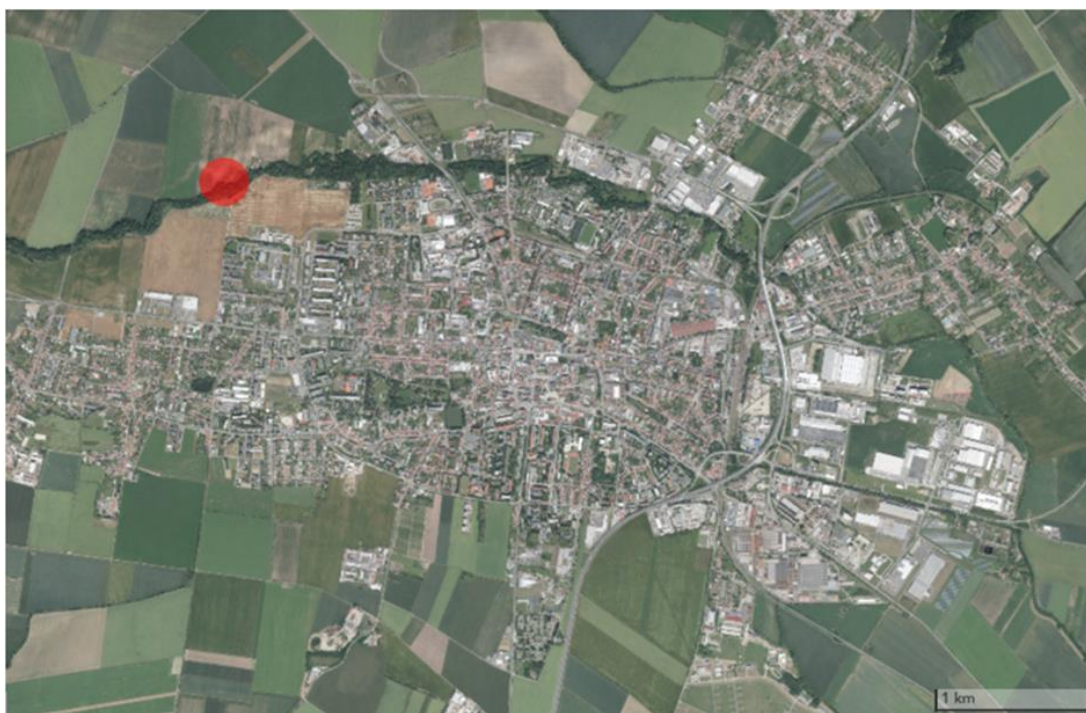
3.1 Lokalita

Jak už je zmíněno výše, výzkum probíhal v lesoparku Hloučela, který leží na severu Prostějova, tedy v srdci intenzivně zemědělsky využívané Hané, na střední Moravě (obr. 1). K umístění pastí jsem zvolil severní okraj východní části lesoparku, který není intenzivně rekreačně využíván a porosty jsou zde přírodního charakteru, byť byly vysázeny člověkem na začátku 20. století. Osu lesoparku tvoří říčka Hloučela. Ve stromovém patře dominuje přirozeně zmlazující jasan ztepilý doplněný olší lepkavou, topolem černým, javorem mléčem a vrbou bílou. V okrajové zóně lesa je hojně zastoupena také třešeň ptačí. Keřové patro je vytvořeno prakticky pouze na lesním lemu a je tvořeno z většiny bezem černým s příměsí slivoně myrobalánu. V bylinném patře dominuje kopřiva dvoudomá doplněná kuklíkem městským a svízelem přítulou. Na půdním povrchu se krom listového opadu nachází také velké množství větví a mrtvého dřeva, jež se z porostu neodstraňuje a ponechává se rozkladu. Půdním typem je fluvizem s vysokým procentuálním obsahem skeletu. V této části lesoparku říčka více méně volně meandruje, a proto se zde střídají štěrkové lavice se zanesenými slepými rameny s velmi vysokým obsahem organické hmoty. Nutno dodat, že ačkoliv výměra lesoparku přesahuje 30 ha, jedná se o poměrně úzký pás, jenž je široký v místě výzkumu 70 až 100 m.

Přilehlé pole má výměru přibližně 25 ha, sklonitost do 1° a leží v klimatickém regionu č. 3. Průměrná nadmořská výška je 236 m n. m. Půdním typem je černozem s velmi nízkým obsahem skeletu. Směrem k lesoparku obsah skeletu narůstá, ale nepřesahuje 10 %. Na poli konvenčně hospodaří Zemědělské družstvo MORAVAN.

Během výzkumu zde byla pěstována cukrová řepa vysetá v polovině dubna. Sklizeň proběhla až po ukončení sběru dat, a to na konci listopadu.

Pole a les jsou od sebe na výzkumné lokalitě odděleny zatravněnou a pouze zřídka využívanou polní cestou o šíři cca 3 metry, která se v některých partiích mění pouze v pěšinu. Na obou stranách jsou pak přibližně metr široké pásy volně rostoucí travobylinné vegetace. Hranice mezi oběma společenstvy je tedy poměrně zřetelná a přechodová zóna je reprezentovaná prakticky pouze touto polní cestou.



***Obrázek 1:** Červeně značené umístění studované lokality na severovýchodním okraji Prostějova (zdroj mapového podkladu: ČUZK).*

3.2 Sběr materiálu

K odchytu epigeických členovců jsem využil padací zemní pasti. Ty jsem na základě doporučení vedoucího práce doc. Tufa vytvořil ze zavařovací sklenice Omnia o objemu 700 ml s průměrem hrdla 7 cm. Tyto sklenice jsem zakopal tak, aby jejich hrdlo bylo v jedné rovině s okolním terénem. Do sklenice jsem poté vložil plastový nápojový kelímek o objemu 300 ml se stejným průměrem hrdla. Tento způsob se ukázal jako velmi praktický, neboť nebylo nutné po každém odběru vzorku zakopávat novou past, ale stačilo pouze vyměnit kelímek ve sklenici a případně poupravit okolní terén, aby nad něj hrdlo pasti nevyčnívalo. Plastový kelímek jsem naplnil přibližně do

1/3 výšky 4% roztokem formaldehydu, který sloužil jako fixační médium mezi odběry. Instalovanou past jsem přikryl dřevěnou deskou 20x20 cm podloženou v rozích drobnými kamínky držícími desku přibližně 5 cm nad terénem. Deska měla plnit funkci stříšky zabraňující zejména nežádoucímu ředění fixačního roztoku. I přesto, že výzkum probíhal v klidnější části lesoparku, byla na desce umístěna informační cedulka, abych předešel zničení pastí ze strany kolemjdoucích (Obr. 2).



Obrázek 2: Instalovaná zemní past přikrytá deskou a vybavená informační cedulkou.

Pro umístění pastí jsem vytyčil kolmo k hranici lesa 4 transekty, každý obsahující 10 pastí (Obr. 3). Vzdálenost mezi pastmi byla zvolena 10 metrů, což bylo doporučení vedoucího práce a shoduje se zkušenostmi i jiných autorů (Kotze et al., 2011). Díky této vzdálenosti jsem získal poměrně hustou síť, v níž nebudou příliš zásadní ani případné ztráty jednotlivých pastí.

Jako hranice mezi oběma společenstvy byl určen okraj polní cesty přiléhající k lesu. Od této pasti jsem v desetimetrových vzdálenostech rozmisťoval čtyři pasti směrem do lesa a pět pastí směrem do pole. Celkem bylo instalováno 40 padacích zemních pastí.

Výzkum probíhal v roce 2021. Pasti jsem nainstaloval hned po vysetí řepy, tedy 18. dubna a následně je pravidelně vybíral ve čtrnáctidenních intervalech. Poslední

odběr se uskutečnil 20. října. Původně zamýšlený záměr byl instalovat pasti opět po sklizni pro sledování případné obnovy epigeických společenstev, ovšem vzhledem k opakovanému odkladu vyorání řepy a klesající aktivitě bezobratlých nebylo možné tento záměr realizovat. Celkem jsem provedl 13 odběrů. Při každém odběru jsem přecedil obsah pasti, získaný materiál v případě potřeby propláchl čistou vodou, uložil do ZIP sáčku, popsal a fixoval 70% etanolem. Past jsem vždy zkontroloval, vyrovnal okolní terén a dolil fixační roztok formaldehydu.



Obrázek 3: Přibližná pozice transektů s instalovanými pastmi.

3.3 Determinace a vyhodnocení

Ze získaného zoologického materiálu jsem vytřídil pavouky, sekáče, mravence, mnohonožky, stonožky, suchozemské stejnonožce, střevlíky a drabčíky. Jiné zachycené organismy (žížaly, chvostoskoky, dvoukřídle, blanokřídle, různé larvy, ostatní druhy brouků či rejsky) nebyly dále vyhodnocovány. Všechny jedince výše vypsanych taxonomických skupin jsem pro každý výběr pasti spočítal a výsledky zapsal do tabulky v programu MS Excel tak, aby byla vždy jasná poloha pasti i datum výběru.

Materiál střevlíkovitých brouků byl dále determinován na druhovou úroveň. K tomu jsem využil různé určovací klíče (Hůrka, 1996; Müller-Motzfeld, 2004) a následně konzultaci a revizi u doc. RNDr. Milana Veselého, Ph.D.

Základní statistické zpracování a vyhodnocení dat bylo provedeno v MS Excel, kde jsem zpracovával početnost jednotlivých druhů a vyšších taxonomických skupin v různé vzdálenosti od ekotonu a to jak v absolutních číslech, tak jako průměrný úlovek na jeden výběr pasti na každé pozici. Toto bylo nutné kvůli ztrátě některých pastí, čímž by hrozilo zkreslení výsledku. V MS Excel byla také připravena data pro zpracování mnohorozměrné analýzy v programu CANOCO. V rámci enviromentálních dat byl vyhodnocován termín výběru pasti (faktor *čas*) a pozice pasti (faktor *vzdálenost od ekotonu* do lesa či pole a faktor *pole* pro umístění pasti na poli či v lese, respektive ekotonu). Druhov data představoval počet jedinců příslušné taxonomické skupiny v dané padací zemní pasti. Informace o tom, ze kterého transektu past pochází nebyla do vyhodnocení zahrnuta, neboť nemá ekologický význam. S ohledem na délku gradientu v druhových datech (3,9 směrodatné odchylky) byla zvolena unimodální metoda a provedena byla kanonická korespondenční analýza (CCA). Dále byl sestaven T-value biplot pro ověření stanovištní preference a generalizované aditivní modely (GAM) pro *vzdálenost od ekotonu* (tento faktor byl kódován pomocí kladných čísel pro směr do pole a záporných čísel pro směr do lesa) a pro pořadí výběru (faktor *čas* byl kódován pomocí pořadového čísla dne výběru v roce), díky čemuž může být hodnocena aktivita epigeonu v průběhu sezóny.

4 Výsledky

Pro odběr vzorků bylo instalováno čtyřicet padacích zemních pastí ve čtyřech transektech, které byly celkem třináctkrát vybrány. Pro každou pozici mohlo být získáno 52 odběrů, tedy 520 celkem. Nicméně v 67 případech došlo ke ztrátě či poškození pasti znemožňujícímu její výběr, tudíž bylo provedeno celkem 453 odběrů (Tab. 1). K největším ztrátám pastí došlo přímo na ekotonu, kde se podařilo provést pouze 33 odběrů a ztrátovost pastí tak dosáhla téměř 36 %. V lese bylo ztraceno pouze 5,3 % pastí a na poli 14,2 %.

Tabulka 1: Přehled výběrů pastí a odchycených jedinců epigeonu.

| | Pole | Les | Ekoton | Celkem |
|-------------------------------|-------------|------------|---------------|---------------|
| Vybraných pastí | 223 | 197 | 33 | 453 |
| Počet jedinců | 3312 | 2309 | 807 | 6428 |
| Jedinců na výběr pasti | 14,85 | 11,72 | 24,45 | 14,9 |

4.1 Početnost a složení odchycených vzorků epigeonu

Dohromady se podařilo vytřídit 6428 jedinců (Tab. 1), z čehož 3999 tvořili střevlíkovití brouci, kteří jsou tedy jednoznačně nejpočetnější skupinou. S velkým odstupem je následuje 1138 pavouků. Další sledované skupiny byly zastoupeny v podstatně nižším počtu (Tab. 2). Nejméně ze sledovaných skupin bylo odchyceno jedinců stonožek (21).

Tabulka 2: Početnost odchycených jedinců sledovaných skupin.

| | Pole | Les | Ekoton | Celkem |
|-----------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Pavouci | 609 | 383 | 146 | 1138 |
| Sekáči | 104 | 63 | 2 | 169 |
| Mravenci | 78 | 92 | 46 | 216 |
| Mnohonožky | 105 | 38 | 5 | 148 |
| Stonožky | 3 | 18 | 0 | 21 |
| Stejnonožci | 30 | 343 | 109 | 482 |
| Střevlíci | 2287 | 1275 | 437 | 3999 |
| Drabčící | 96 | 97 | 62 | 255 |
| Jedinců celkem | 3312 | 2309 | 807 | 6428 |

Materiál střevlíkovitých brouků byl determinován na druhovou úroveň. Bylo zachyceno 13 druhů střevlíků (Tab. 3) mezi nimiž početně výrazně dominuje střevlíček *Anchomenus dorsalis* zastoupený 1265 jedinci, což představuje přibližně 31,6 % všech odchycených střevlíků. Dalšími velmi početnými druhy jsou *Pterostichus melanarius* se 745 jedinci (18,6 %), *Abax parallelepipedus* odchycený v 652 exemplářích tvořících 16,3 % střevlíků a kvapník *Harpalus rufipes* jehož 514 jedinců představuje asi 12,9 % střevlíků. Pětici nejčastějších druhů uzavírá 250 jedinců střevlíčka *Poecilus cupreus* reprezentujících 6,3 % střevlíkovitých brouků. Těchto pět nejhojnějších střevlíků dohromady reprezentuje více jak 85 % získaného materiálu této čeledi brouků.

Naopak nejvzácnějším zachyceným druhem je svižník *Cylindera germanica* odchycený pouze ve 4 exemplářích. Mezi druhy tvořící méně než jedno procento odchycených střevlíků patří také prskavci *Brachinus crepitans* a *Brachinus explodens*, střevlík *Carabus hortensis* a střevlíček *Calathus fuscipes*.

Tabulka 3: Početnost zachycených druhů střevlíkovitých brouků.

| Druh | Pole | Les | Ekoton | Celkem |
|---|------|-----|--------|--------|
| <i>Abax parallelepipedus</i> (Piller et Mitterpacher, 1783) | 13 | 551 | 88 | 652 |
| <i>Anchomenus dorsalis</i> (Pontoppidan, 1763) | 722 | 349 | 194 | 1265 |
| <i>Brachinus crepitans</i> (Linnaeus, 1758) | 15 | 4 | 11 | 30 |
| <i>Brachinus explodens</i> Duftschmid, 1812 | 0 | 29 | 8 | 37 |
| <i>Calathus fuscipes</i> (Goeze, 1777) | 18 | 11 | 10 | 39 |
| <i>Carabus hortensis</i> Linnaeus, 1758 | 0 | 24 | 12 | 36 |
| <i>Cylindera germanica</i> (Linnaeus, 1758) | 4 | 0 | 0 | 4 |
| <i>Harpalus affinis</i> (Schrank, 1781) | 127 | 25 | 11 | 163 |
| <i>Harpalus griseus</i> (Panzer, 1796) | 78 | 42 | 11 | 131 |
| <i>Harpalus rufipes</i> (DeGeer, 1774) | 449 | 35 | 30 | 514 |
| <i>Platynus assimilis</i> (Paykull, 1790) | 0 | 130 | 3 | 133 |
| <i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758) | 205 | 28 | 17 | 250 |
| <i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger, 1798) | 656 | 47 | 42 | 745 |

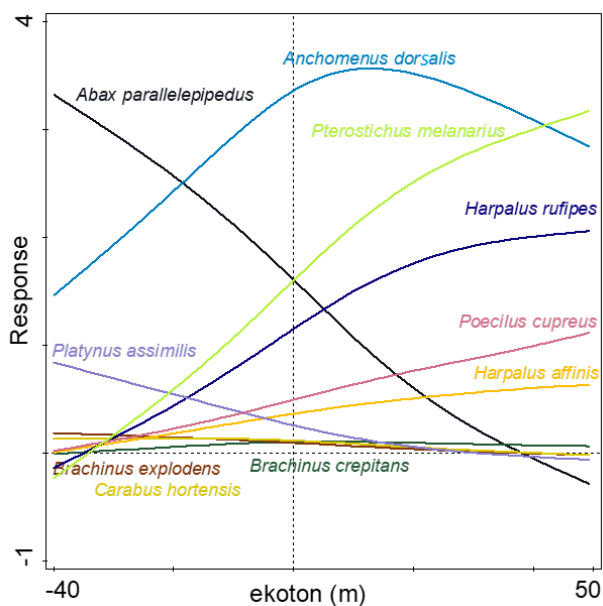
4.2 Stanovištní preference střevlíkovitých brouků

Již z výše uvedené tabulky (Tab. 3) je zřejmé, že velká část střevlíků je výrazně častěji zachycena v jednom ze sledovaných biotopů. I z této tabulky můžeme bez dalších analýz říci, že prskavec *B. explodens*, střevlík *C. hortensis* a úzkohrdlec *P. assimilis* jednoznačně preferují les před polem, na kterém se je nepodařilo zachytit ani v jediném

případě. U prvních dvou jmenovaných je přitom dobře patrné, že vyšší abundanci vykazují na ekotonu, než v lese samotném, přičemž však na pole zjevně nevybíhají. *Platynus assimilis* se pak jeví jako lesní specialista, který se vyhýbá i samotné hranici lesa. To ostatně potvrzuje i generalizovaný aditivní model odpovídající na výskyt v různé vzdálenosti od ekotonu (Obr. 4). Tento model přiřazuje k lesním druhům také *A. parallelepipedus*, u kterého rovněž mírně narůstá početnost s rostoucí vzdáleností od ekotonu směrem do lesa (Obr. 4 a 6). Zhotovený T-value biplot (Obr. 5) mezi prokazatelně lesní druhy řadí právě *A. parallelepipedus*, *P. assimilis*, a *B. explodens*.

Jediným druhem, který nebyl zachycen jinde než na poli je *C. germanica* (Tab. 3). Tyto preference potvrdila i další analýza (Obr. 5 a 7), nicméně vzhledem k velmi malému počtu odchycených jedinců je nemůžeme považovat za zcela signifikantní. Naopak prokazatelné výsledky ukázal T-value biplot (Obr. 5) pro *P. melanarius*, *H. rufipes*, *H. affinis* a *P. cupreus*. U všech těchto druhů se ukazuje jednoznačná preference k polním podmínkám (Obr. 4, 5 a 6).

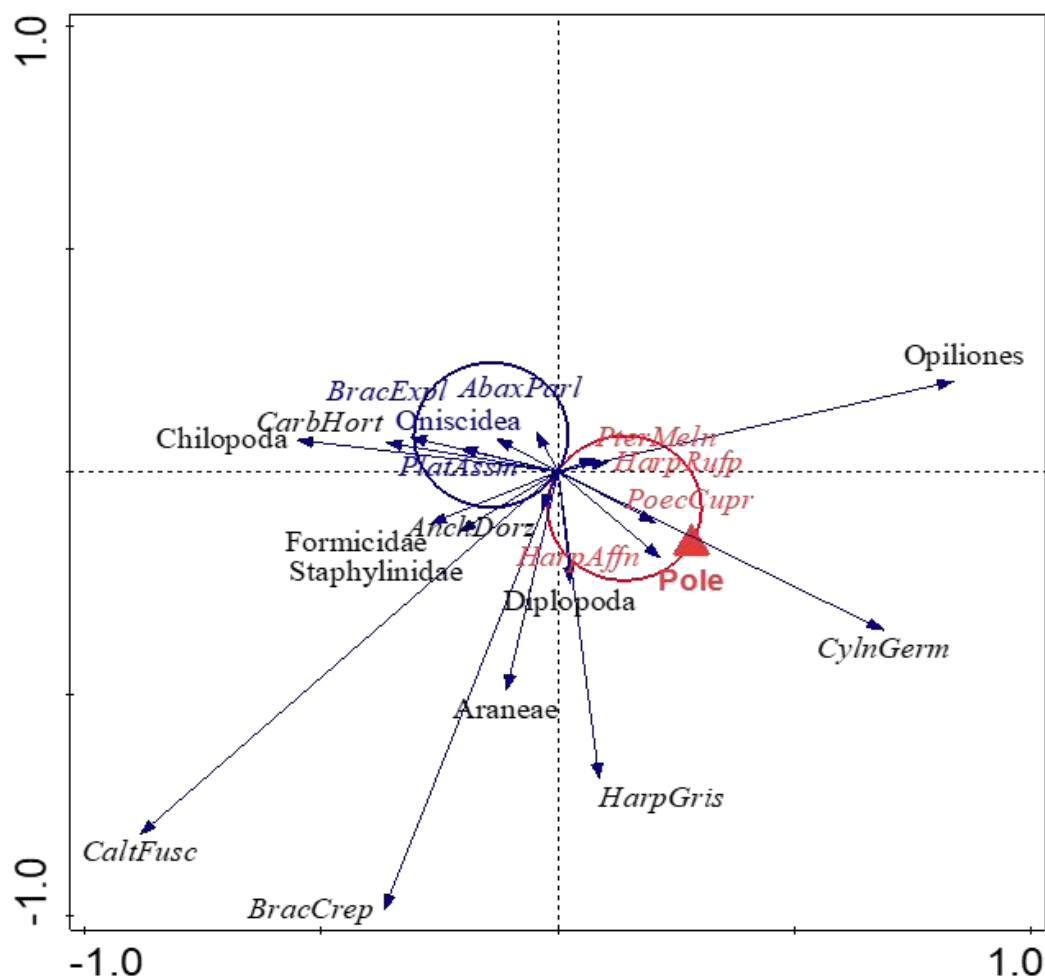
V rámci determinovaných druhů se nenašel žádný, jenž by se vyskytoval pouze na ekotonu. Přesto se ukázalo, že nejpočetnější druh *A. dorsalis*, vykazuje nejvyšší aktivitu právě na ekotonu (Obr. 6) a s rostoucí vzdáleností od něj se jeho úlovek snižuje (Obr. 4). Obdobně je na tom prskavec *B. crepitans* (Obr. 4 a 7) a střevlíček *C. fuscipes* (Obr. 7), ovšem proti jednoznačným závěrům u těchto dvou druhů stojí nízký počet odchycených jedinců.



Obrázek 4: Generalizovaný aditivní model zobrazující vztah mezi početností střevlíků a vzdáleností od ekotonu.

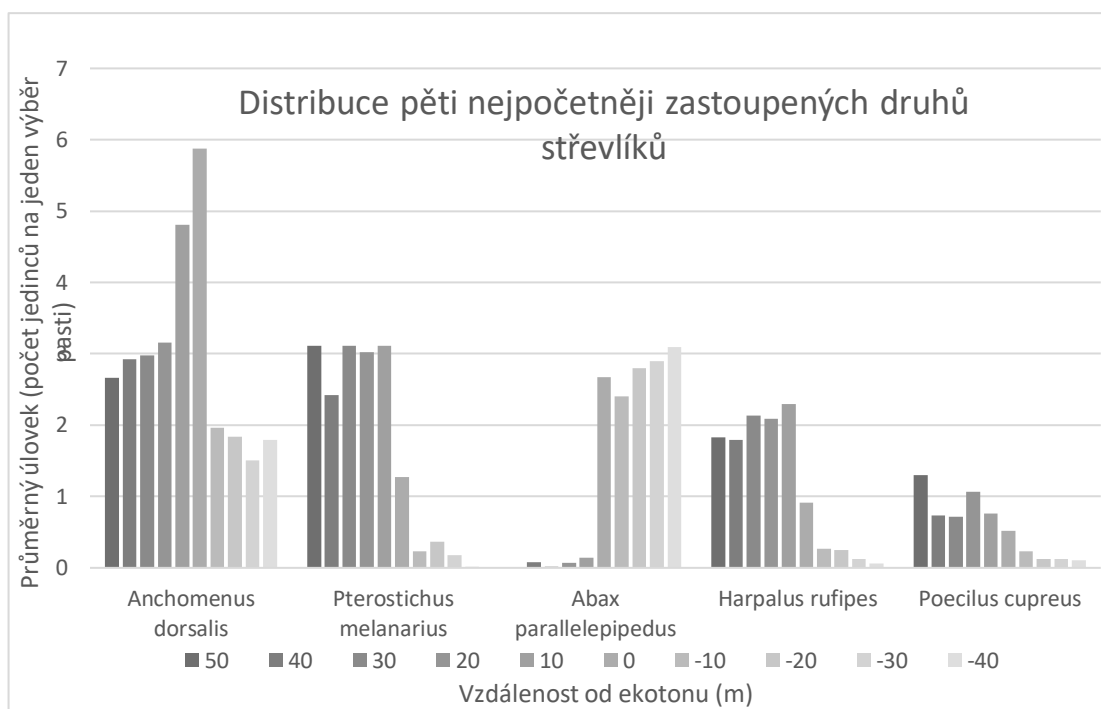
Tabulka 4: Shrnující tabulka ke GAM modelu na obrázcích 4 a 8. Taxony se signifikantní odpovědí mají *p* hodnotu zvýrazněnou tučně.

| | F | P |
|--------------------------------|-------|--------------------|
| Pavouci | 5,8 | 0,00311 |
| Sekáči | 2,6 | 0,07236 |
| Mravenci | 8,4 | 0,00025 |
| Mnohonožky | 14,8 | <0,00001 |
| Stonožky | 4,2 | 0,01583 |
| Stejnonožci | 31,6 | <0,00001 |
| <i>Abax parallelepipedus</i> | 148,3 | <0,00001 |
| <i>Anchomenus dorsalis</i> | 10,6 | 0,00003 |
| <i>Brachinus crepitans</i> | 5,6 | 0,00393 |
| <i>Brachinus explodens</i> | 12,8 | <0,00001 |
| <i>Carabus hortensis</i> | 7,6 | 0,00057 |
| <i>Cylindera germanica</i> | 2,9 | 0,05451 |
| <i>Harpalus affinis</i> | 16,4 | <0,00001 |
| <i>Harpalus griseus</i> | 2,4 | 0,09286 |
| <i>Harpalus rufipes</i> | 50,7 | <0,00001 |
| <i>Platynus assimilis</i> | 34,0 | <0,00001 |
| <i>Poecilus cupreus</i> | 26,9 | <0,00001 |
| <i>Pterostichus melanarius</i> | 49,0 | <0,00001 |
| <i>Calathus fuscipes</i> | 1,8 | 0,17178 |
| Drabčici | 4,7 | 0,00949 |

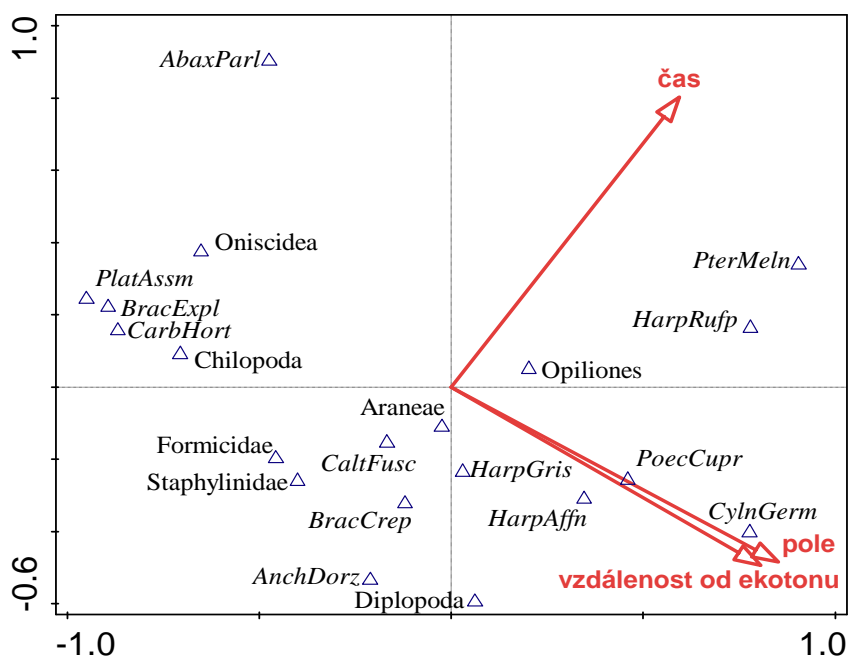


Obrázek 5: T-value biplot ukazující stanovištní preference střevlíků a dalších sledovaných skupin. Barevně jsou napsány taxony se significantní odpovědí. Červený kruh obsahuje polní druhy, modrý kruh lesní druhy.

Pozn. BracExpl - *Brachinus explodens*, AbaxParl - *Abax parallelepipedus*, PlatAssm - *Platynus assimilis*, PterMel - *Pterostichus melanarius*, HarpRufp - *Harpalus rufipes*, PoecCupr - *Poecilus cupreus*, HarpAffn - *Harpalus affinis*, CarbHort - *Carabus hortensis*, CaltFusc - *Calathus fuscipes*, BracCrep - *Brachinus crepitans*, HarpGris - *Harpalus griseus*, CylnGerm - *Cylindera germanica*, AnchDorz - *Anchomenus dorsalis*.



Obrázek 6: Průměrný úlovek pěti nejpočetněji zastoupených druhů střevlíků v pastech s různou vzdáleností od ekotonu. Kladné hodnoty nesou pasti umístěné na poli, záporné v lese, 0 značí ekoton.



Obrázek 7: Ordinační diagram kanonické korespondenční analýzy znázorňující vliv umístění pasti, vzdálenosti od ekotonu a času výběru na druhy střevlíků a další sledované skupiny. Zkratky druhů jsou vysvětleny výše (pod Obr. 5).

Tabulka 5: Výsledky CCA modelu testujícího vysvětlení výskytu druhů střevlíků a dalších sledovaných skupin umístěním pasti, vzdáleností od ekotonu a časem výběru.

| | osa 1 | osa 2 | osa 3 | osa 4 |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Eigenvalues | 0,3717 | 0,2705 | 0,0095 | 0,2391 |
| Explained variation (cumulative) | 15,24 | 26,33 | 26,72 | 36,52 |
| Pseudo-canonical correlation | 0,8521 | 0,8446 | 0,2606 | 0,0000 |
| Explained fitted variation (cumulative) | 57,03 | 98,55 | 100,00 | |

Kanonická korespondenční analýza (Obr. 7) vysvětluje 26,23 % variability v datech, přičemž faktor *pole* vysvětluje 13,7 % variability ($F=71,3$; $p=0,002$), faktor *čas* 12,5 % ($F=64,5$; $p=0,002$) a faktor *vzdálenost od ekotonu* přispívá vysvětlením 1,9 % variability ($F=8,6$; $p=0,002$). Permutační test potvrzuje vysokou vypovídající hodnotu modelu, když pro první osu $F=26,9$; $p=0,002$ a pro všechny osy $F=54,5$ a rovněž $p=0,002$.

4.3 Stanovištní preference ostatních sledovaných skupin epigeonu

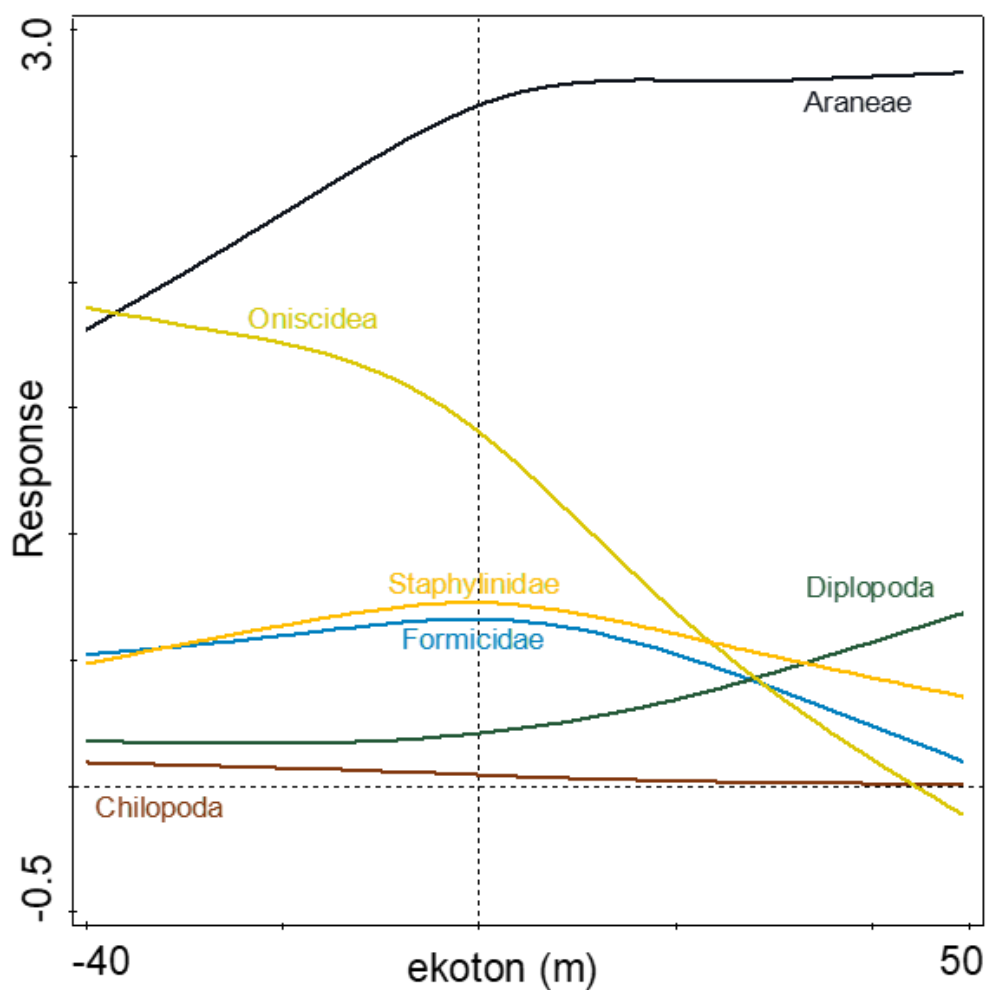
Mimo střevlíky bylo vytríděno 2429 jedinců epigeických bezobratlých. Početní zastoupení různých sledovaných skupin, stejně jako počty individuí odchycených na poli, v lese a přímo na ekotonu ukazuje Tab. 2.

Pro odhalení vztahu mezi počtem odchycených jedinců různých skupin a vzdáleností od ekotonu byl vytvořený generalizovaný aditivní model (Obr. 8). Z něj je jasně vidět výrazný okrajový efekt, tedy posílení výskytu na ekotonu, u drabčičků, mravenců a rovněž u početně hojně zastoupených pavouků. Distribuci této po střevlicích nejpočetněji zastoupené skupiny v různé vzdálenosti od ekotonu detailněji popisuje Obr. 9, kde je velmi dobře vidět, že ačkoliv je celkově abundance pavouků vyšší na poli, past umístěná na ekotonu má nejvyšší počet odchycených individuí na jeden výběr. Ještě výraznější je pak efekt ekotonálního obohacení patrný u drabčičků (Obr. 10).

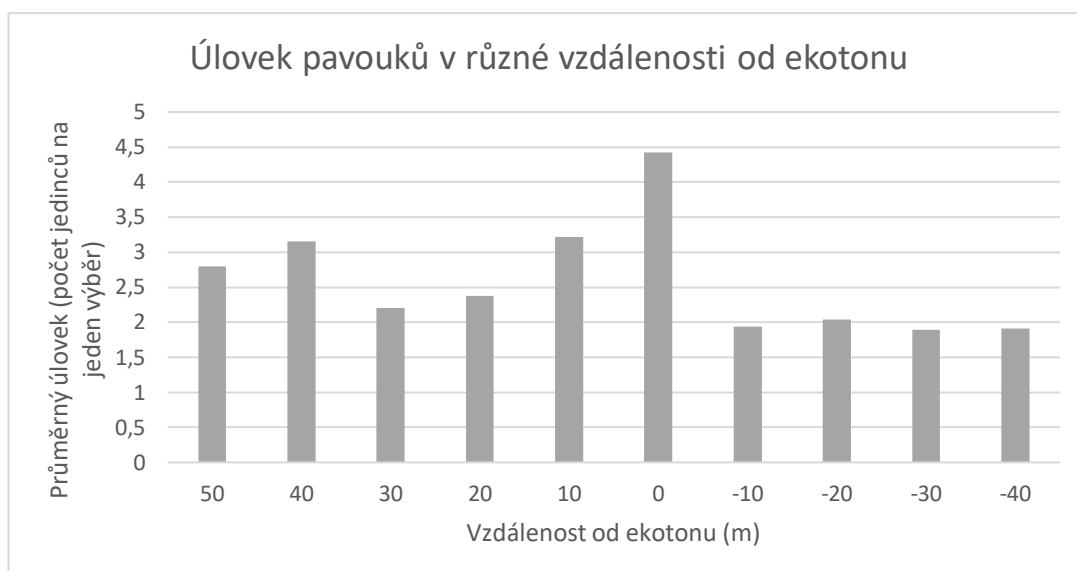
Pavouci jsou v početním zastoupení ve vzorku následování stejnonožci. Jak je patrné již z Tab. 2, stejnonožci výrazně upřednostňují les před polem. Tuto výraznou preferenci potvrzuje i GAM na Obr. 8. Zároveň se jedná o jedinou sledovanou skupinu, jenž můžeme signifikantně označit za lesní (Obr. 5). Ještě výraznější stanovištní

preferance v mém vzorku prokázaly stonožky, nicméně vzhledem k velmi nízkému počtu odchytených jedinců není možné vyvodit u této skupiny relevantní závěry.

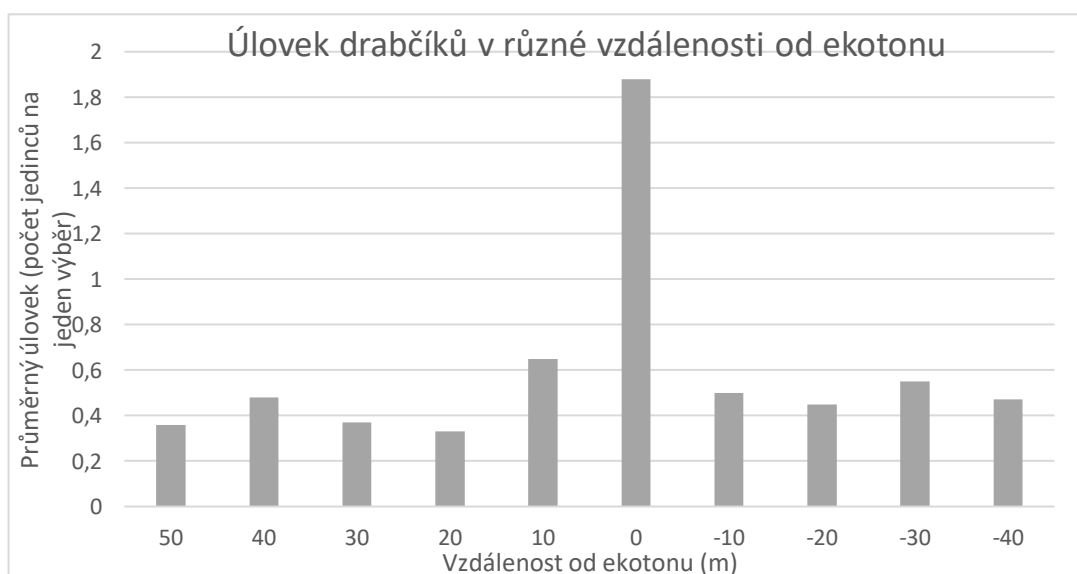
Opačný trend byl zjištěn u mnohonožek, které byly početnější na poli a jejich počet se vzdáleností od ekotonu dokonce narůstal (Obr. 8). Také pavouci byli početnější na poli než v lese, avšak maxima dosáhli na ekotonu.



Obrázek 8: Generalizovaný aditivní model zobrazující odpověď (početnost) sledovaných skupin epigeonu na vzdálenost od ekotonu (F a p hodnoty pro jednotlivé skupiny viz Tab. 4).



Obrázek 9: Průměrný počet odchycených jedinců pavouků v pastech s různou vzdáleností od ekotonu. Kladná čísla značí pasti umístěné na poli, záporná v lese, 0 značí ekoton.



Obrázek 10: Průměrný počet odchycených jedinců drabčků v pastech s různou vzdáleností od ekotonu. Kladná čísla značí pasti umístěné na poli, záporná v lese, 0 značí ekoton.

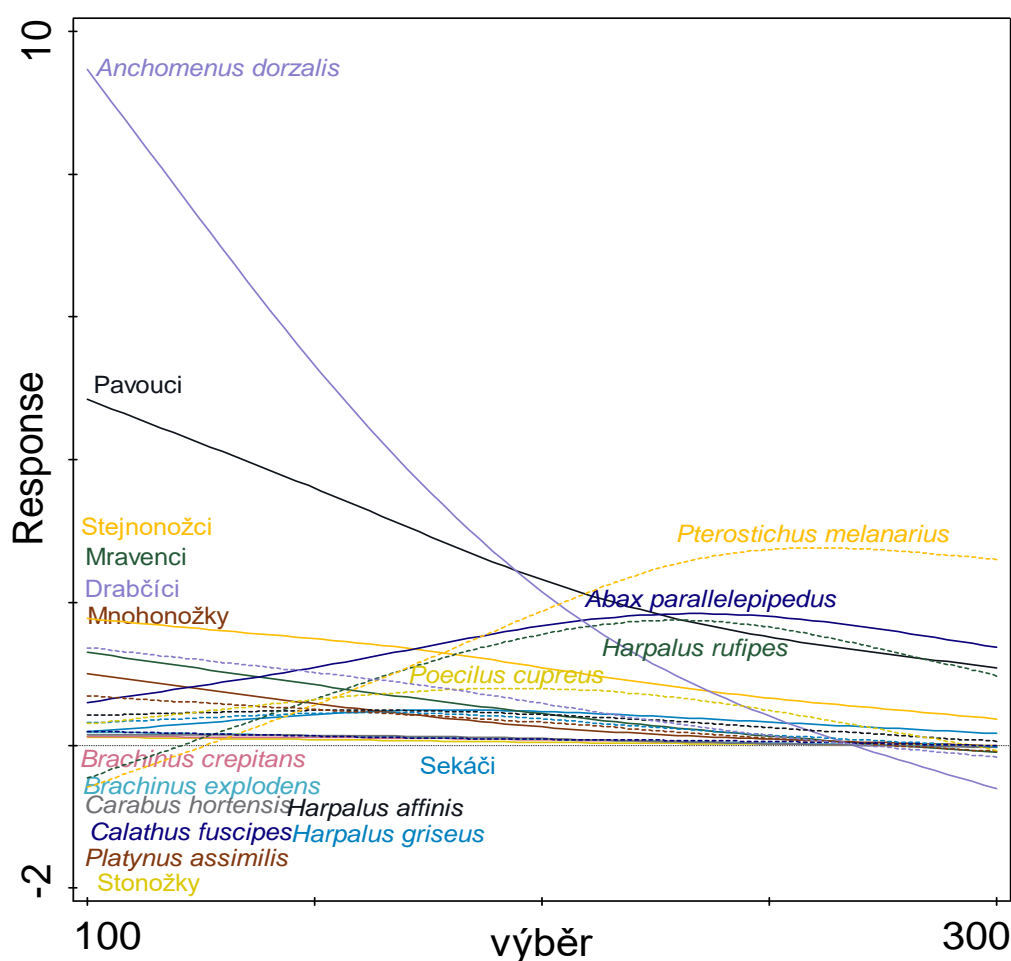
4.4 Aktivita epigeonu v průběhu sezóny

Odchyt probíhal od 18. dubna do 20. října a bylo v jeho průběhu provedeno 13 odběrů. Díky tomu je možné sledovat početnost epigeonu v různých částech sezóny. Za tímto účelem byl zkonstruován generalizovaný aditivní model ukazující početní odpověď

epigeonu na pořadí výběru pasti (Obr. 11). Čas byl zároveň jedním z faktorů kanonické korespondenční analýzy (Obr. 7).

Jak je z modelu (Obr. 11 a Tab. 6) patrné, většina sledovaných skupin vykazuje vyšší aktivitu na jaře. Nejzřetelněji je to vidět u nejpočetněji zastoupeného střevlíčka *A. dorsalis*, u kterého počty během sezóny prakticky kontinuálně klesají. Obdobně reaguje také prskavec *B. crepitans* či kvapníci *H. griseus* a *affinis*. Z jiných skupin půdních bezobratlých vykazují jarní dominanci pavouci, stejnonožci, mravenci, mnohonožky i drabčící.

Červencového maxima dosahuje střevlíček *P. cupreus*. S vrcholícím létem roste početnost střevlíkovitých brouků *P. melanarius*, *A. parallelepipedus* a *H. rufipes*. Od září se potom snižuje početnost prakticky všech sledovaných skupin.



Obrázek 11: Generalizovaný aditivní model ukazující závislost početnosti epigeonu na pořadí výběru. Na ose *x* je vyneseno pořadí dní v roce, na ose *y* počet jedinců odchycených během jednoho výběru jedné pasti.

Tabulka 6: Shrnující tabulka ke GAM modelu závislosti početnosti epigeonu na pořadí výběru (Obr. 11). Taxony se signifikantní odpovědí na faktor čas mají p hodnotu zvýrazněnou tučně.

| | F | P |
|--------------------------------|-------|--------------------|
| Pavouci | 47,5 | <0,00001 |
| Sekáči | 5,0 | 0,007 |
| Mravenci | 25,5 | <0,00001 |
| Mmonožky | 30,3 | <0,00001 |
| Stonožky | 4,3 | 0,01476 |
| Stejnonožci | 8,4 | 0,00025 |
| <i>Abax parallelepipedus</i> | 10,5 | 0,00003 |
| <i>Anchomenus dorsalis</i> | 188,3 | <0,00001 |
| <i>Brachinus crepitans</i> | 5,0 | 0,00746 |
| <i>Brachinus explodens</i> | 7,7 | 0,00052 |
| <i>Carabus hortensis</i> | 6,8 | 0,00127 |
| <i>Cylindera germanica</i> | 2,1 | 0,12222 |
| <i>Harpalus affinis</i> | 7,4 | 0,00072 |
| <i>Harpalus griseus</i> | 14,8 | <0,00001 |
| <i>Harpalus rufipes</i> | 31,8 | <0,00001 |
| <i>Platynus assimilis</i> | 13,7 | <0,00001 |
| <i>Poecilus cupreus</i> | 15,8 | <0,00001 |
| <i>Pterostichus melanarius</i> | 38,1 | <0,00001 |
| <i>Calathus fuscipes</i> | 4,7 | 0,00956 |
| Drabčici | 37,4 | <0,00001 |

5 Diskuze

Tato práce se zabývá problematikou epigeonu na ekotonu lesa a pole. Věnuje se stanovištním preferencím zachycených druhů střevlíkovitých brouků i dalších skupin bezobratlých půdního povrchu a dále sleduje jejich aktivitu v průběhu sezóny.

5.1 Použité metody

Zoologický materiál byl získán od poloviny dubna do poloviny října roku 2021 odchycem do padacích zemních pastí. Tato metoda se zejména pro hlavní cílovou skupinu, tedy střevlíky, mnohokrát dobře osvědčila a je hojně využívána (Cole et al., 2002; Magura, 2002; Hora et al., 2009). Zároveň má také své nedostatky. Prvním z nich je zachycení pouze aktivně se pohybujících jedinců (Gerlach et al., 2009). Z tohoto důvodu neumožňují padací zemní pasti kvalitně zhodnotit početnost, ale spíše aktivitu epigeických organismů. Mnohem snáze do nich také spadnou rychle se pohybující druhy (střevlíci, pavouci) než druhy pomalejší, či druhy s delším tělem (mnohonožky, stonožky). Tomu nahrává i fakt, že přes maximální snahu o zarovnání hrdla pasti s povrchem, vždy musí zachycený jedinec překonat byť minimální hranu (Kotze et al., 2011). Druhým faktorem ztěžujícím jednoznačnou interpretaci získaných dat je fixační médium, jež může prokazatelně ovlivňovat složení odchyceného vzorku. Mnohé chemikálie mají na různé edafické organismy efekt repelentu či atraktantu (Luff, 1975; Knapp et al., 2016). V tomto výzkumu byl jako fixační médium využit 4% roztok formaldehydu. Ten funguje jako atraktant pro střevlíky a drabčičky, naopak sekáče odpuzuje. Na pavouky pravděpodobně žádný vliv nemá (Pekár, 2002). Oba tyto zmíněné faktory mohou být nápovědou k vysvětlení výrazné početní dominance odchycených střevlíků v mém vzorku. Třetím problémem zvolené odchytové metody je stříška nad pastí (Császár et al., 2018). Zastřešení pasti mění podmínky v jejím bezprostředním okolí a například právě v polních podmínkách na začátku sezóny se zastřešená past stává prvkem výrazně zvyšujícím heterogenitu prostředí a prostor pod stříškou se pro mnoho epigeických členovců může stávat atraktivním (Brown, Matthews, 2016). Tato zjištění by mohla mít souvislost s klesajícím úlovkem pavouků v průběhu roku, byť mnoho druhů má po jarním období zvýšenou aktivitu také na konci léta (Chatzaki et al., 1997). Jenže v letním období byl již povrch pole přikryt

listy řepy a stříška tedy oproti jaru ztratila na atraktivitě. Také materiál, z jakého je stříška vytvořena může ovlivnit výsledky výzkumu (Baars, 1979). Mnou použité dřevěné stříšky mohli napomoci vytvořit příznivé mikroklima, které je zejména v polním prostředí vzácné. To by mohlo pomoci s vysvětlením výrazně vyššího zastoupení mnohonožek na poli než v lese, byť právě lesní prostředí s množstvím opadu představuje pro většinu mnohonožek atraktivnější prostředí (Golovatch, Kime, 2009). Zatímco v lese leží na povrchu půdy spousta opadu i mrtvého dřeva poskytujícího mnohonožkám úkryt, na poli se nic takového nenachází. Proto je možné, že polní mnohonožky vyhledávaly stříšky jako úkryty a jejich úlovek je zde díky tomu vyšší. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem se tedy pro vyhodnocení množství úlovku hodí spíše pojem trapabilita, než početnost (Hora et al., 2009).

Vzdálenost mezi pastmi byla zvolena 10 metrů, což by mělo být vhodné pro získání kontinuálních dat o aktivitě v různé vzdálenosti od ekotonu a tato hustá síť snese i případnou ztrátu pasti (Kotze et al., 2011). Ke ztrátám pastí bohužel došlo i v tomto výzkumu a to v 67 případech. Nejvíce pastí bylo zničeno přímo na ekotonu, což je škoda, neboť hlavním přínosem této práce má být právě zhodnocení společenstva na rozhraní lesa a pole. V tomto případě byla zřejmě nešťastně zvolena lokalita, neboť ekoton tvořený polní cestou je využíván lidmi a je zde tedy riziko vandalismu vyšší. Také pasti nejbliže okraji pole byly zničeny častěji než vzdálenější, což podporuje předchozí vysvětlení.

Frekvence výběrů pasti jednou za 14 dní byla zvolena s vidinou ideálního poměru náročnost/kvalita dat (Hora et al., 2009). Je to doba dost dlouhá na to, aby se v ní ztratily případné výkyvy počasí apod., zároveň dost krátká, aby mohla být sledována aktivita v průběhu času a zároveň nedošlo k velké ztrátě dat v případě zničení pasti.

Lokalita byla zvolena jako typický lesní fragment v zemědělské krajině navíc vzhledem ke tvaru porostu s velmi dlouhým ekotonem. Jako určitá nevýhoda se ukázala vysoká návštěvnost lokality, která, ač byla vybrána klidnější část lesoparku, se promítla do množství zničených pastí. I když bývají jižní okraje lesa jako ekoton obecně atraktivnější (Šarapatka, Niggli, 2008), výzkum byl prováděn na severní straně lesoparku, jelikož na jižní straně jsou les a pole odděleny asfaltovou cyklostezkou

s výrazně vyšším pohybem lidí. Zároveň může asfaltová cesta představovat pro některé epigeické členovce výraznou migrační bariéru (Mader et al., 1990).

5.2 Společenstvo epigeonu na ekotonu lesa a pole

V této studii bylo vyhodnoceno 6428 jedinců odchycených bezobratlých, mezi nimiž jednoznačně dominovali střevlíci (3999 jedinců). V početním zastoupení v úlovku je následovalo 1138 pavouků. Hojné zastoupení těchto skupin v úlovku nebylo překvapením, neboť obecně jsou považovány za dominantní skupiny epigeických predátorů (Alebeek et al., 2006; Kotze et al., 2011; Knapp, Řezáč, 2015; Topa et al., 2021) a také je pro ně optimální zvolená metoda odchytu. Rovněž stejnonožci, třetí skupina s nejvyšší trapabilitou, s 482 odchycenými jedinci bylo očekávaným úlovkem, neboť patří mezi dominantní složky epigeonu v podobných výzkumech (Hora et al., 2009).

Zcela signifikantně vyšly stanovištní preference u stejnonožců. Je zřejmé, že jim vyhovuje stabilnější lesní mikroklima, vyšší vlhkost a vrstva organického opadu. Tato zjištění se zcela shodují s dosud známými poznatky o stanovištních preferencích stejnonožců, které vycházejí z jejich fyziologických potřeb (Hornung, 2011). Stejnonožcům také nevyhovuje manipulace s půdou, tedy orba a podobné zásahy (Paoletti et al., 2007). Jsou citliví rovněž na užití pesticidů (Miko et al., 2019) a problémy jim způsobuje také acidifikace půd, která je na orné půdě zejména díky kyselým hnojivům častá a zrychlená (Souty-Grosset, Faberi, 2018). Proto není překvapením, že byli v mnohem větší míře zachyceni v lese než na poli (Paoletti, Hassal, 1999).

Opačný trend než stejnonožci vykazují ve výsledcích tohoto výzkumu mnohonožky. Toto zjištění se zdálo jako poměrně překvapivé, jelikož mnohonožky jakožto typické detritofágy bychom čekali spíše v lese s vyšší vrstvou opadu, než na holém poli. Přesto však i v této skupině najdeme druhy dobře přizpůsobené náročným podmínkám panujícím na poli (David, 2015). Zároveň je dobré pamatovat na fakt, že mnohonožky jsou poměrně diverzifikovanou skupinou, v rámci které lze hovořit o charakteristických ekomorfofotypech s odlišnými stanovištními požadavky a životní strategií. V našich podmínkách v rámci mnohonožek převládají hemiedafické druhy, jenž se nemusí nutně pohybovat po půdním povrchu, ale preferují spíše svrchní vrstvy

půdy (Kime, Golovatch, 2000). To může být jedním z důvodů, proč byly mnohonožky jen málo zastoupeny v úlovku, jelikož padací zemní pasti zachycují pouze živočichy pohybující se po půdním povrchu. Toto vysvětlení může být nápovědou k vyšší trapabilitě mnohonožek na poli, neboť zde je půdní povrch kompaktní a chybí vrstva jakéhokoliv opadu, což by mohlo i mnohonožky nutit k pohybu spíše po povrchu. Lesní druhy naopak mohou využívat silnější opadovou vrstvu a přes hranu pasti zarovnanou s povrchem tedy nepřepadnou. Jak už je také popsáno výše, živočichové s dlouhým tělem, navíc pomalu se pohybující, mohou z pasti „vycouvat“ a nepřepadnou do ní (Fryčka, 2012). A v neposlední řadě se ukazuje, že užití fixační médium může na mnohonožky působit jako repelent (Fryčka, 2012).

Stonožky byly v úlovku zastoupeny pouze 21 jedinci, což neumožňuje vyvozovat žádné prokazatelné závěry, přesto jich bylo v lese uloveno 6x více než na poli. Mohlo by to souviset požadavkem většiny druhů na vlhké úkryty, jež jsou v podmínkách pole velkou vzácností. Zároveň se ukazuje, že diverzita stonožek je odrazem celkové diverzity stanoviště a je proto očekávatelné, že v lese se bude vyskytovat více druhů a celkově zde stonožky budou početnější než na poli, které poskytuje vhodné podmínky jen pro několik málo druhů (Schmitt, Roth, 1998; Stašiov et al., 2017).

U mravenců je ve výsledcích dobře patrný pozitivní okrajový efekt, tedy nárůst početnosti, resp. trapability na ekotonu. Z dosavadních poznatků jiných autorů vyplývá, že to nemusí být pravidlem a velmi záleží na druhovém složení. Nárůst početnosti na ekotonech je totiž typický pro generalisty, tedy druhy obecně rozšířené bez specifických požadavků na vlastnosti prostředí. Naproti tomu lesní specialisté mají na ekotonu sníženou abundanci. Stejně tak diverzita typicky lesních druhů je vyšší ve větších celcích lesa, než na jeho okraji, kterému se vyhýbají (Dauber, Wolters, 2004; Sobrinho, Schoereder, 2006).

Sekáči byli uloveni častěji na poli než v lese, což je zajímavé, neboť obecně je bereme jako pavoukovce poměrně citlivé na využití půdy a její zpracování. Přesto se však mezi nimi vyskytují polní druhy (Stašiov et al., 2011), dokonce známé pro svoji schopnost potlačovat škůdce pěstovaných rostlin, například predací jejich vajíček (Šilhavý, 1956). Na ekotonu se mi sekáče prakticky zachytit nepodařilo, což nahrává tomu, že se jedná spíše o druhy přizpůsobené lesnímu, respektive polnímu prostředí

(De Smedt et al., 2019). V lese, ač tam bylo zachyceno méně jedinců, očekávám vyšší diverzitu než na poli. Předchozí výzkumy ukazují, že na diverzitě lesních sekáčů se pozitivně projevuje druhové složení porostů a velikost lesních fragmentů. Lze tedy předpokládat, že druhově pestrý les bude hostit více druhů, než pole s monokulturně pěstovanou plodinou (Stašiov et al., 2020).

Pavouci patří mezi nejpočetnější epigeické predátory (Topa et al., 2021), což potvrzují i výsledky tohoto výzkumu, kde byli pavouci druhou nejpočetnější skupinou po střevlících. Nejhojněji byli zachyceni v pastech přímo na ekotonu, což ukazuje na velký význam okrajového efektu a souhlasí to s výsledky předchozích prací (Bedford, Usher, 1994; Schmidt et al., 2005; Hora et al., 2009; Royauté, Buddle, 2012; Gallé et al., 2019) Zvláštní však je, že početněji byli zachyceni na poli než v lese, což není obvyklé (Knapp, Řezáč, 2015). Většina pozemních pavouků negativně reaguje na orbu a pole po ní může být pavouky rekolonizováno z nezasazených ploch, jako jsou právě lesní okraje (Malschi et al., 2010; Fukuda et al., 2011; Kędzior, Kosewska, 2022). Zároveň však také známe polní specialisty, kterým časté disturbance nevadí, a naopak jejich početnost zvyšují (Topa et al., 2021). Je tedy nanejvýš pravděpodobné, že v lese a na poli se budou vyskytovat odlišné druhy pavouků (Bedford, Usher, 1994; Andrés et al., 2018) a otázkou může být míra překryvu, a tedy vzájemného ovlivnění obou společenstev. K odpovědi na takovou otázku jsou však nutná druhová data. Obecně můžeme shrnout, že fragmenty lesa v zemědělské krajině mají výrazně pozitivní vliv na abundanci i diverzitu pavouků (Gallé et al., 2019; De Smedt et al., 2019; Kędzior, Kosewska, 2022).

Ještě výrazněji, než v případě pavouků se pozitivní vliv ekotonu projevil u drabčků. Ti byli zastoupeni jak v lese, tak na poli, nicméně na ekotonu jich bylo zachyceno nejvíce. Mezi drabčky najdeme druhy adaptované na různá stanoviště a nabízí se tedy opět vysvětlení, že na ekotonu se setkávají lesní a polní druhy (Martins et al., 2012). Tomu by napovídala i fakt, že diverzita oběma směry od ekotonu velmi rychle klesá. Přesto může být ekoton zejména pro polní druhy velmi cenný, neboť jim poskytuje úkryt před disturbancemi a nabízí jim například vhodné podmínky pro zimování (Andersen, 1997).

5.3 Distribuce střevlíků

Střevlíci představují v úlovku nejpočetněji zastoupenou skupinu, což u prací s podobným způsobem odběru vzorků bývá obvyklé (Cole et al., 2002; Kotze et al., 2011; Knapp, Řezáč, 2015) a pravděpodobné důvody byly již popsány výše. Pokud se podíváme na jejich prostorovou distribuci, zjistíme, že nejvíce jedinců na jednu past bylo zachyceno přímo na ekotonu, který byl v hojnosti úlovku těsně následován polem. V lese byl zaznamenaný přibližně poloviční úlovek na past oproti ekotonu. To souhlasí s obecnými závěry, které tvrdí, že početnost střevlíků je vyšší na nelesních stanovištích, než v lese (Niemela, Halme, 1992; Heliölä et al., 2001; Liu et al., 2010; Knapp, Řezáč, 2015). Ovšem nemusí tomu tak být vždy (Hora et al., 2009).

Rovněž diverzita na ekotonu by měla být vyšší, jednak z důvodu překryvu druhů obou stanovišť (Bedford, Usher, 1994) a jednak díky přítomnosti ekotonových specialistů (Magura, 2002; Magagula, 2003), tedy druhů nacházejících na tomto rozhraní ideální podmínky. S tím se víceméně shodují i výsledky této práce, kdy na ekotonu bylo zachyceno 12 druhů střevlíkovitých brouků, což je ovšem stejný počet jako v lese. Na poli bylo zaznamenanáno 10 druhů. Zajímavé je, že v podobných pracích se obvykle setkáváme u střevlíků s opačným výsledkem, tedy vyšší diverzitou na nelesních stanovištích (Niemela, Halme, 1992, Magura et al., 2001; Molnár et al., 2001).

Nejpočetněji zachyceným střevlíkem byl střevlíček ošlejchový (*Anchomenus dorsalis*), jehož úlovek představuje více než 31 % ulovených střevlíků. Jedná se o obecně rozšířený a početný druh, tudíž vysoký úlovek není překvapivý (Křivan, 2017). U tohoto střevlíčka se velmi zřetelně projevuje efekt ekotonu a jeho úlovek oběma směry od ekotonu klesá. Mohli bychom jej tedy označit za ekotonového specialistu, který se z rozhraní šíří do obou hraničících společenstev, což souhlasí s poznatky jiných autorů (Knapp et al., 2019; Bennewicz, Barczak, 2020), někdy však bývá označován spíše za druh odlesněných biotopů (Pilon et al., 2013; Křivan, 2017). Ostatně i ve výsledcích této práce byl zachycen častěji na poli než v lese. Střevlíček ošlejchový se také projevil jako typicky jarní druh, jehož maximální úlovky byly zaznamenanány na začátku sezóny a početnost postupně klesala až s končícím létem prakticky vymizel. Jako druh s jarní aktivitou bývá označován i v jiných pracích (Pilon et al., 2013; Marrec et al., 2017; Knapp et al., 2019).

Druhý nejčastěji ulovený střevlíček *Pterostichus melanarius* se ve výsledcích ukazuje jako jednoznačně polní druh a jeho sporadické úlovky v lese bychom mohli označit za náhodně procházející jedince. Podobně tomu bývá i v jiných studiích a stanovištní preference tohoto střevlíčka se tedy zdají být jasné (Thomas et al., 1998; Magura et al., 2001), stejně tak jako letní aktivita výrazně rostoucí během srpna (Thomas et al., 1998).

Velmi podobnou distribuci jako střevlíček *P. melanarius* vykazuje také kvapník plstnatý (*Harpalus rufipes*). Také tento druh zcela jednoznačně vykazuje preference k polním podmínkám (Magura et al., 2001), i když byl hojně zaznamenán také na ekotonu. Stejně tak u něj byla zaznamenána spíše letní aktivita, což obojí souhlasí s dosavadními poznatky (Luff, 1980; Zhang, 1997). Obdobné stanovištní preference signifikantně vyšly pro kvapníka modrého (*Harpalus affinis*), kterého můžeme rovněž považovat za typicky polní druh (Bennewicz, Barczak, 2020).

Také další z hojněji zaznamenaných druhů střevlíček měděný (*Poecilus cupreus*) byl častěji uloven na poli než v lese, ale podobně jako kvapník plstnatý se ekotonu nevyhýbal a v okrajových partiích lesa se jej rovněž povedlo zachytit. Stejně tak tento střevlíček zjevně dává přednost otevřeným biotopům (Magura et al., 2001; Bennewicz, Barczak, 2020) a patří ve střední Evropě k velmi početným polním druhům (Zangger et al., 1994).

Mezi pěti nejpočetněji zastoupenými druhy střevlíkovitých brouků se objevil pouze jeden preferující les. Jedná se o čtvercoštitníka černého (*Abax parallelepipedus*) a jeho distribuce na sledované lokalitě zcela odpovídá výsledkům podobných studií (Magura et al., 2001; Magura, 2002; Knapp et al., 2019). Čtvercoštitníka tedy zjevně můžeme považovat za typicky lesní druh (Assmann, 1999), který se v menší početnosti vyskytuje i na ekotonu, ale poli se vyhýbá. Co se týče aktivity tohoto druhu v průběhu roku, je v mnohém podobná polnímu druhu *P. melanarius*. Čtvercoštitník černý byl v největší míře odchycen v srpnu v souladu s očekáváním (Elek et al., 2017).

Z početně méně zastoupených střevlíků můžeme za prokazatelně lesní druhy, na základě výsledků tohoto výzkumu, označit ještě úzkohrdlece přizpůsobeného (*Platynus assimilis*) a prskavce menšího (*Brachinus expodens*). Oba tyto druhy se vyskytovaly pouze v lese, mnohem méně časté byli na ekotonu a na poli se je

nepodařilo zaznamenat vůbec. Úzkohrdlec přizpůsobený byl přitom v některých pracích zaznamenán jako druh preferující ekoton (Knapp et al., 2019), jinde byl potvrzen jeho výskyt především v lese (Křivan, 2017; Bennewicz, Barczak, 2020). Také aktivita v průběhu roku, s vrcholem na konci jara, je v souladu s dřívějšími poznatky (Ploomi et al., 2014). U prskavce menšího byla zdokumentována kolonizace polí z ekotonů (Kromp, Steinberger, 1992), což však tato práce nepotvrdila. Mnohem podobnější by tomu byla distribuce prskavce většího (*Brachinus crepitans*), kterého lze na základě výsledků této práce označit za ekotonového specialistu a také jiní autoři jej označují za druh okrajů polí či rozptýlené zeleně (Letardi et al., 2015; Křivan, 2017).

Z velkých střevlíků byl překvapivě zaznamenán pouze střevlík zahradní (*Carabus hortensis*). Nejvíce ulovených jedinců na jednu past bylo uloveno přímo na ekotonu a poté v lese. Na poli tento střevlík zaznamenán nebyl. To odpovídá předchozím zjištěním stanovištních preferencí tohoto druhu, kde jej autoři označují buď jako lesního (Heliölä et al., 2001; Knapp et al., 2019) či ekotonálního střevlíka (Magura et al., 2001; Bennewicz, Barczak, 2020). Také tato práce, byť údají pouze o jednom druhu, přispívá k obecnému tvrzení, že velcí střevlíci se intenzivně využívané orné půdě spíše vyhýbají (Cole et al., 2002), či obývají pouze okraje polí (Gallé et al., 2019).

Ze striktně polních druhů stojí za zmínku jediný zaznamenaný svižník, a to svižník německý (*Cylindera germanica*). Byť byly odchyceny pouze čtyři exempláře, všechny ve větší vzdálenosti od ekotonu a pouze na poli. Tento svižník se vyskytuje na otevřených lokalitách nepříliš zatížených zemědělskou činností (Kaděra, 2013), proto byl možná zaznamenan na poli jen v několika málo exemplářích a zastíněná polní cesta na ekotonu pro něj již nebyla vhodným biotopem.

V rámci této práce se podařilo potvrdit závěry jiných podobných výzkumů společenstev střevlíků na ekotonech. Mezi střevlíky byly skutečně zaznamenány druhy specializované na ekoton, stejně tak jako druhy striktně polní a lesní (Niemela, Halme, 1992). Ukázalo se, že heterogenita krajina má jednoznačně pozitivní vliv na diverzitu střevlíků (Kinnunen et al., 1996; Horňák et al., 2018; Kędzior, Kosewska, 2022). Zároveň se potvrdilo, že lesní druhy jen zřídka opouští les (Bedford, Usher, 1994) a propojení fragmentů lesa v zemědělské krajině je tedy pro jejich šíření velmi důležité

(Jopp, Reuter, 2005). Lze tedy zcela jednoznačně potvrdit, že budování zelené lesní sítě v agrární krajině, například formou Územního systému ekologické stability, má pozitivní dopad nejen na střevlíkovité brouky, ale epigeické bezobratlé obecně.

Vyhodnocení časové distribuce jednotlivých druhů střevlíků v průběhu roku je v této práci značně omezené z důvodu časování agrotechnických zásahů v řepě. Původní myšlenka monitoringu jarní a podzimní migrace do/z pole tak bohužel musela být opuštěna.

6 Závěr

Tato práce shrnuje dosavadní poznatky o společenstvech epigeických členovců na ekotonu lesa a pole a přispívá k nim vlastním výzkumem zaměřeným zejména na střevlíky. Na rozhraní lesoparku Hloučela a řepného pole na severovýchodním okraji Prostějova bylo zakopáno 40 zemních pastí do nichž probíhal od poloviny dubna do poloviny října 2021 odběr vzorků.

Odchyceno a dále vyhodnoceno bylo 6428 jedinců, kteří byli roztříděni do vyšších taxonomických skupin (pavouci, sekáči, mravenci, mnohonožky, stonožky, stejnonožci, drabčící a střevlíci). Střevlíkovití brouci byli následně determinováni na druhovou úroveň. Podařilo se odchytit 3999 střevlíků patřící do 13 druhů. Nejpočetněji byl zastoupen *Anchomenus dorsalis* tvořící přibližně 31,6 % úlovku střevlíků.

Získaná data odhalila v úlovku na ekotonu jak lesní specialisty (*Abax parallelepipedus*, *Platynus assimilis*, *Brachinus expodens*), tak druhy preferující pole (*Pterostichus melanarius*, *Poecilus cupreus*, *Harpalus affinis*, *Harpalus rufipes*). Jako ekotonový specialista může být na základě výsledků této práce označen nejpočetněji zastoupený střevlíček *A. dorsalis*.

Výrazně pozitivní vliv ekotonu na početnost v úlovku byl zaznamenán také u pavouků a drabčků. Bez znalosti druhového složení je však obtížné tato data nějak spolehlivě interpretovat.

Dále bylo možné vyhodnotit aktivitu odchycených druhů během roku. Zde byly jednoznačně vymezeny druhy s jarní aktivitou (*A. dorsalis*) a druhy mající vrchol aktivity v pozdním létě (*A. parallelepipedus*, *H. rufipes*, *P. melanarius*).

Z výsledků této práce i po jejím porovnání s výsledky jiných autorů je zřejmé, že ekotony výrazně přispívají k biodiverzitě i početnosti epigeonu. Je to dáno odlišným složením společenstev na obou stranách hranice, jež se zde překrývají a také obohacením o ekotonové specialisty, kteří právě na rozhraní odlišných biotopů nachází optimální stanoviště. Síť lesních porostů v intenzivně zemědělsky využívané krajině může pomoci k její stabilizaci i v oblasti půdní bioty.

Bohužel se zcela nepodařilo ozřejmit problematiku rekolonizace pole z lesa po agrotechnických zásazích, a to z důvodu několikrát odkládané sklizně řepy. Právě rekolonizace půdy predátory škůdců pěstovaných plodin by mohla být dalším argumentem pro budování zelené sítě v krajině a jedná se tedy i na Hané o vhodný směr výzkumu do budoucna. Stejně tak zjištěný silně pozitivní efekt ekotonu na početnost pavouků a drabčků si říká o hlubší prozkoumání na druhové úrovni.

7 Literatura

- Adam, M. D., Hort, L., Janík, D., Král, K., Šamonil, P., Unar, P. (2017). Metodika stanovení přirozenosti lesů v ČR. Brno: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví.
- Alderweireldt, M. (1989). An ecological analysis of the spider fauna (Araneae) occurring in maize fields, Italian ryegrass fields and their edge zones, by means of different multivariate techniques. *Agriculture, ecosystems & environment*, 27/1-4, 293-306. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(89\)90093-5](https://doi.org/10.1016/0167-8809(89)90093-5)
- Alebeek, F.A.N., Kamstra, J.H., Kruistum, G., Visser, A.J. (2006). Improving natural pest suppression in arable farming: field margins and the importance of ground dwelling predators. *IOBC/WPRS Bulletin*, 29/6, 137-140. ISSN 0253-1100
- Alignier, A., Raymond, L., Deconchat, M., Menozzi, P., Monteil, C., Sarthou, J., Vialatte, A., Ouin, A. (2014). The effect of semi-natural habitats on aphids and their natural enemies across spatial and temporal scales. *Biological Control*, 77, 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.06.006>.
- Andersen, A. (1997). Densities of overwintering carabids and staphylinids (Col., Carabidae and Staphylinidae) in cereal and grass fields and their boundaries. *Journal of Applied Entomology*, 121/1-5, 77-80. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1997.tb01374.x>
- Andrési, D., Bali, L., Tuba, K., Szinetár, C. (2018). Comparative study of ground beetle and ground-dwelling spider assemblages of artificial gap openings. *Community Ecology*, 19/2, 133-140. <https://doi.org/10.1556/168.2018.19.2.5>
- Assmann, T. (1999). The ground beetle fauna of ancient and recent woodlands in the lowlands of north-west Germany (Coleoptera, Carabidae). *Biodiversity and Conservation*, 8, 1499-1517. <https://doi.org/10.1023/A:1008974413376>
- Attrill, M. J., Rundle, S. D. (2002). Ecotone or Ecocline: Ecological Boundaries in Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55/6, 929-936. <https://doi.org/10.1006/ecss.2002.1036>.

- Bedford, S. E., Usher, M. B. (1994). Distribution of arthropod species across the margins of farm woodlands. *Agriculture, ecosystems & environment*, 48/3, 295-305. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90111-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90111-2)
- Bennewicz, J., Barczak, T. (2020). Ground beetles (Carabidae) of field margin habitats. *Biologia*, 75, 1631-1641. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00424-y>
- Bertrand, C., Burel, F., Baudry, J. (2016). Spatial and temporal heterogeneity of the crop mosaic influences carabid beetles in agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 31, 451-466. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0259-4>
- Bonato, M., Martin, E. A., Cord, F. A., Seppelt, R., Beckmann, M., Strauch, M. (2023). Applying generic landscape-scale models of natural pest control to real data: Associations between crops, pests and biocontrol agents make the difference. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 342, 108215. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108215>
- Brown, G. R., Matthews, I. M. (2016). A review of extensive variation in the design of pitfall traps and a proposal for a standard pitfall trap design for monitoring ground-active arthropod biodiversity. *Ecology and Evolution*, 6/12, 3953-3964. <https://doi.org/10.1002/ece3.2176>
- Buddle, C. M., Higgins, S., Rypstra, A. L. (2004). Ground-dwelling spider assemblages inhabiting riparian forests and hedgerows in an agricultural landscape. *The American midland naturalist*, 151/1, 15-26. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2004\)151\[0015:GSAIRF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2004)151[0015:GSAIRF]2.0.CO;2)
- Cole, L. J., McCracken, D. I., Dennis, P., Downie, I. S., Griffin, A. L., Foster, G. N., Waterhouse, T. (2002). Relationships between agricultural management and ecological groups of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) on Scottish farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93/1-3, 323-336. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00333-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00333-4)
- Dauber, J., Wolters, V. (2004). Edge effects on ant community structure and species richness in an agricultural landscape. *Biodiversity and Conservation*, 13, 901-915. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000014460.65462.2b>

- David, J. F. (2015). Diplopoda — ecology. In: Minelli, A. (2016). *Treatise on Zoology-Anatomy, Taxonomy, Biology - The Myriapoda*. Volume 2, ISBN: 978-90-04-18827-3
- De Smedt, P., Baeten, L., Proesmans, W., Van de Poel, S., Van Keer, J., Giffard, B., Martin, L., Vanhulle, R., Brunet, J., Cousins, S. A. O., Decocq, G., Deconchat, M., Diekmann, M., Gallet-Moron, E., Le Roux, V., Liira, J., Valdés, A., Wulf, M. Andrieu, E., Hermy, M., Bonte, D., Verheyen, K. (2019). Strength of forest edge effects on litter-dwelling macro-arthropods across Europe is influenced by forest age and edge properties. *Diversity and Distributions*, 25/6, 963-974. <https://doi.org/10.1111/ddi.12909>
- Delcourt, P. A., Delcourt, H. R. (1992). Ecotone dynamics in space and time. *Landscape Boundaries*, 92, 19-54. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2804-2_2
- Elek, Z., Howe, A. G., Enggaard, M. K., Lovei, G. L. (2017). Seasonal dynamics of common ground beetles (Coleoptera: Carabidae) along an urbanisation gradient near Sorø, Zealand, Denmark. — *Entomologica Fennica*, 28, 27-40.
- Frouz, J., Frouzová, J. (2021). *Aplikovaná ekologie*. Praha: Karolinum. ISBN: 978-80-246-4577-3
- Fryčka, P. (2012). *Trapabilita epigeonu– chování modelových druhů u zemních pastí (bakalářská práce)*. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra ekologie a životního prostředí.
- Fukuda, Y., Moller, H., Burns, B. (2011). Effects of organic farming, fencing and vegetation origin on spiders and beetles within shelterbelts on dairy farms. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 54/3, 155-176. <https://doi.org/10.1080/00288233.2011.591402>
- Gallé, R., Császár, P., Makra, T., Gallé-Szpisjak, N., Ladányi, Z., Torma, A., Szilassi, P. (2018). Small-scale agricultural landscapes promote spider and ground beetle densities by offering suitable overwintering sites. *Landscape Ecology*, 33, 1435-1446. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0677-1>

- Gallé, R., Happe, A. K., Baillod, A. B., Tschardtke, T., Batáry, P. (2019). Landscape configuration, organic management, and within-field position drive functional diversity of spiders and carabids. *Journal of Applied Ecology*, 56/1, 63-72. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13257>
- Golovatch, S. I., Kime, R. D. (2009). Millipede (Diplopoda) distributions: A review. *Soil Organisms*, 81/3, 565-597.
- Heliölä, J., Koivula, M., Niemelä, J. (2001). Distribution of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) across a boreal forest–clearcut ecotone. *Conservation biology*, 15/2, 370-377. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002370.x>
- Hendrychová, M., Šálek, M., Novák, J., Krkošková, N. (2021). Jak se žije ptákům v krajině po těžbě? *Ochrana přírody*, 4/2021, 26-30.
- Hora, P., Tuf, I. H., Machač, O., Brichta, M., Tufová, J. (2009). Ekoton–prosté rozhraní, nebo specifický biotop. *Živa*, 1, 25-27.
- Hornák, O., Machač, O., Šarapatka, B., Tuf, I. H. (2018). Size of fragments of woodland in rural landscapes affects assemblages of ground dwelling invertebrates. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 82, 69-78. ISSN 1211-376X
- Hornung, E. (2011). Evolutionary adaptation of oniscidean isopods to terrestrial life: Structure, physiology and behavior. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 4/2011, 95-130.
- Hůrka, K. (1996). Carabidae of the Czech and Slovak Republics: Carabidae České a Slovenské republiky. Zlín: Kabourek. ISBN 80-901466-2-7
- Chatzaki, M., Trichas, A., Markakis, G., Mylonas, M. (1997). Seasonal activity of the ground spider fauna in a Mediterranean ecosystem. In: Selden, P. A. (ed.). *Proceedings of the 17th European Colloquium of Arachnology*, Edinburgh 1997. ISBN: 0-9500093-2-6
- Iuliano, B., Gratton, C. (2020). Temporal resource (dis) continuity for conservation biological control: from field to landscape scales. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 127. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00127>

- Jopp, F., Reuter, H. (2005). Dispersal of carabid beetles—emergence of distribution patterns. *Ecological Modelling*, 186/4, 389-405. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.02.009>
- Kaděra, M. (2013). Svižníci – naši nejhbitější brouci. *Naše příroda*, 2013/4.
- Kędzior R., Kosewska A. (2022). Landscape Heterogeneity Determines the Diversity and Life History Traits of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae). *Sustainability*, 14, 21. <https://doi.org/10.3390/su142113980>
- Kemp, D. D. (1998). *The environment dictionary* (1st ed.). London: Routledge. ISBN: 0-415-12752-1
- Kerdraon, L., Laval, V., Suffert, F. (2019). Microbiomes and pathogen survival in crop residues, an ecotone between plant and soil. *Phytobiomes Journal*, 3/4, 246-255. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-02-19-0010-RVW>
- Kime, R. D., Golovatch, S. I. (2000). Trends in the ecological strategies and evolution of millipedes (Diplopoda). *Biological Journal of the Linnean Society*, 69/3, 333-349. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2000.tb01209.x>
- Kinnunen, H., Järveläinen, K., Pakkala, T., Tiainen, J. (1996). The effect of isolation on the occurrence of farmland carabids in a fragmented landscape. *Annales Zoologici Fennici*, 33, 165-171. <http://www.jstor.org/stable/23735416>
- Knapp, M., Řezáč, M. (2015). Even the smallest non-crop habitat islands could be beneficial: distribution of carabid beetles and spiders in agricultural landscape. *PLoS one*, 10/4, e0123052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123052>
- Knapp, M., Seidl, M., Knappová, J., Macek, M., Saska, P. (2019). Temporal changes in the spatial distribution of carabid beetles around arable field-woodlot boundaries. *Scientific reports*, 9/1, 8967. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45378-7>
- Kotze, D. J., Brandmayr, P., Casale, A., Dauffy-Richard, E., Dekoninck, W., Koivula, M. J., Zetto, T. (2011). Forty years of carabid beetle research in Europe—from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *ZooKeys*, 100, 55-148. <https://doi.org/10.3897/zookeys.100.1523>

- Kromp, B., Steinberger, K. H. (1992). Grassy field margins and arthropod diversity: a case study on ground beetles and spiders in eastern Austria (Coleoptera: Carabidae; Arachnida: Aranei, Opiliones). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 40/1-4, 71-93.
[https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90085-P](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90085-P)
- Křivan V. (2017). *Brachinus crepitans* (Linnaeus, 1758) - prskavec v Kraji Vysočina. Pobočka ČSO na Vysočině, online: www.prirodavysociny.cz (cit. 14. 5. 2023).
- Křivan V. (2017). *Platynus assimilis* (Paykull, 1790) - střevlíček v Kraji Vysočina. Pobočka ČSO na Vysočině, online: www.prirodavysociny.cz (cit. 14. 5. 2023).
- Křivan V. (2017). *Anchomenus dorsalis* (Pontoppidan, 1763) - střevlíček v Kraji Vysočina. Pobočka ČSO na Vysočině, online: www.prirodavysociny.cz (cit. 14. 5. 2023).
- Lacasella, F., Gratton, C., De Felici, S., Isaia, M., Zapparoli, M., Marta, S., Sbordoni, V. (2015). Asymmetrical responses of forest and “beyond edge” arthropod communities across a forest–grassland ecotone. *Biodiversity and Conservation*, 24, 447-465. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0825-0>
- Letardi, A., Arnone, S., Cristofaro, M., Nobili, P. (2015). Species composition of carabid communities (Coleoptera Carabidae) in apple orchards and vineyards in Val d’Agri (Basilicata, Italy). *Biodiversity Journal*, 6/1, 11-16.
<https://hdl.handle.net/20.500.12079/887>
- Liu, Y., Axmacher, J. C., Wang, Ch., Li, L., Yu, Z. (2010). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in the intensively cultivated agricultural landscape of Northern China – implications for biodiversity conservation. *Insect Conservation and Diversity*, 3/1, 34-43. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2009.00069.x>
- Luff, M. L. (1980). The biology of the ground beetle *Harpalus rufipes* in a strawberry field in Northumberland. *Annals of Applied Biology*, 94/2, 153-164.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1980.tb03907.x>
- Mader, H. J., Schell, C., Kornacker, P. (1990). Linear barriers to arthropod movements in the landscape. *Biological Conservation*, 54/3, 209-222.
[https://doi.org/10.1016/0006-3207\(90\)90052-Q](https://doi.org/10.1016/0006-3207(90)90052-Q)

- Magagula, C.N. (2003). Changes in carabid beetle diversity within a fragmented agricultural landscape. *African Journal of Ecology*, 41, 23-30.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2003.00403.x>
- Magura, T. (2002). Carabids and forest edge: spatial pattern and edge effect. *Forest Ecology and Management*, 157/1-3, 23-37.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00654-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00654-X)
- Magura, T., Tóthmérész, B., Molnár, T. (2001). Forest edge and diversity: carabids along forest-grassland transects. *Biodiversity & Conservation*, 10, 287-300.
<https://doi.org/10.1023/A:1008967230493>
- Malschi, D., Tritan, N., Şerbănescu, R. (2010). Protective agroforestry belts and their environmental importance for sustainable agriculture development in Transylvania. *Romanian Agricultural Research*, 27, 103-114.
- Marfo, T. D., Datta, R., Pathan, S. I., Vranová, V. (2019). Ecotone dynamics and stability from soil scientific point of view. *Diversity*, 11/4, 53.
<https://doi.org/10.3390/d11040053>
- Marrec, R., Caro, G., Miguet, P. (2017). Spatiotemporal dynamics of the agricultural landscape mosaic drives distribution and abundance of dominant carabid beetles. *Landscape Ecology*, 32, 2383-2398.
<https://doi.org/10.1007/s10980-017-0576-x>
- Martins, I. C. F., Cividanes, F. J., Ide, S., Haddad, G. Q. (2012). Diversity and habitat preferences of Carabidae and Staphylinidae (Coleoptera) in two agroecosystems. *Bragantia*, 71/4, 471-480.
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000009>
- Miko, L., Šantrůčková, H., Záhora, J., Máchal, A. (2019). *Život v půdě*. 1. vydání. Brno: Lipka. ISBN: 978-80-88212-17-1
- Molnár, T., Magura, T., Tóthmérész, B., Elek, Z. (2001). Ground beetles (Carabidae) and edge effect in oak-hornbeam forest and grassland transects. *European Journal of Soil Biology*, 37/4, 297-300.
[https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01103-7](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01103-7)

- Mueller, L., Sychev, V. G., Dronin, M. N., Eulenstein, F. (2021). Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes (1st ed.). Springer International Publishing. ISBN: 978-3-030-67450-2
- Müller-Motzfeld, G. (2004). Käfer Mitteleuropas, Bd. 2: Adephaga I: Carabidae. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. ISBN 3-8274-1551-9
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 10/2, 58-62. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6).
- Niemela, J., Halme, E. (1992). Habitat associations of carabid beetles in fields and forests on the Åland Islands. SW Finland. *Ecography*, 15/1, 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1992.tb00001.x>
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology* (3rd ed.). Philadelphia, London, Toronto: W. B. Saunders Company. ISBN: 9780721669410
- Paoletti, M. G., Hassall, M. (1999). Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74/1-3, 157-165. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00035-3)
- Paoletti, M. G., Osler, G. H., Kinnear, A., Black D. G., Thomson, L., Tsitsilas, A. E., Sharley, D., Judd, S. F., Neville, P. F., D’Inca, A. (2007). Detritivores as indicators of landscape stress and soil degradation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47/4, 412-423. <https://doi.org/10.1071/EA05297>
- Pechanec, V., Pohanka, T., Kilianová, H., Fišerová, E., Římalová, V. (2019). Variabilita půdního uhlíku na hranicích pozemků. *Listy Cukrovarnické a Řeparské*, 135/4, 148-151.
- Pekár, S. (2002). Differential effects of formaldehyde concentration and detergent on the catching efficiency of surface active arthropods by pitfall traps. *Pedobiologia*, 46/6, 539-547. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00158>

- Pilon, N., Cardarelli, E., Bogliani, G. (2013). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of rice field banks and restored habitats in an agricultural area of the Po Plain (Lombardy, Italy). *Biodiversity Data Journal*, 1, e972. <https://doi.org/10.3897/BDJ.1.e972>
- Ploomi, A., Kivimägi, I., Kruus, E., Sibul, I., Jogar, K., Hiiesaar, K., Metspalu, L. (2014). Seasonal cold adaptation dynamics of some carabid beetle species: *Carabus granulatus*, *Pterostichus oblongopunctatus* and *Platynus assimilis*. *Forestry Studies*, 57/1, 90-96. <https://doi.org/10.2478/v10132-012-0007-3>
- Rischen, T., Geisbüsch, K., Ruppert, D. (2022). Farmland biodiversity: wildflower-sown islands within arable fields and grassy field margins both promote spider diversity. *Journal Insect Conservation* 26, 415-424. <https://doi.org/10.1007/s10841-021-00363-2>
- Royauté, R., Buddle, Ch. M. (2012). Colonization dynamics of agroecosystem spider assemblages after snow-melt in Quebec (Canada). *The Journal of Arachnology*, 40, 48-58. <https://doi.org/10.1636/P11-16.1>
- Schmidt, M. H., Roschewitz, I., Thies, C., Tscharnke, T. (2005). Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. *Journal of Applied Ecology*, 42/2, 281-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01014.x>
- Schmitt, G., Roth, M. (1998). Centipede and milipede communities in cultural landscapes of Northeast-Germany. In: Pižl, V., Tajovský, K. (eds.): *Soil Zoological Problems in Central Europe*. České Budějovice, 1998. ISBN 80-902020-4-7
- Sobrinho, T. G., Schoereder, J. H. (2006). Edge and shape effects on ant (Hymenoptera: Formicidae) species richness and composition in forest fragments. *Biodiversity and Conservation*, 16, 1459-1470. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9011-3>
- Souty-Grosset, C., Faberi, A. (2018). Effect of agricultural practices on terrestrial isopods: a review. *Zookeys*, 801, 63-96. <https://doi.org/10.3897/zookeys.515.9332>

- Stašiov, S., Diviaková, A., Svitok, M., Novikmec, M. (2017). Myriapod (Chilopoda, Diplopoda) communities in hedgerows of upland agricultural landscape. *Biologia*, 72, 1320-1326. <https://doi.org/10.1515/biolog-2017-0147>
- Stašiov, S., Diviaková, A., Svitok, M., Novikmec, M., Dovciak, M. (2020). Hedgerows support rich communities of harvestmen (Opiliones) in upland agricultural landscape. *Basic and Applied Ecology*, 47, 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.05.001>
- Stašiov, S., Uhorskaiová, L., Svitok, M., Hazuchová, L., Vician, V., Kočík, K. (2011). Influence of agricultural management form on the species structure of harvestman (Opiliones) communities. *Biologia* 66, 149-155. <https://doi.org/10.2478/s11756-010-0139-y>
- Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1
- Šarapatka, B., Niggli, U. (2008). *Zemědělství a krajina: cesty k vzájemnému souladu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN: 978-80-244-1885-8
- Šilhavý, V. (1956). *Fauna ČSR. Svazek 7, Sekáči - Opilionidea*. 1. vydání. Praha: Československá akademie věd.
- Šimek, M., Elhottová, D., Fuksa, P., Hynšt, J., Kobes, M., Kvítek, T., Malý, S., Moudrý, J., Rozsypal, R., Tajovský, K. (2021). *Živá půda praktický manuál* (1. vydání). Praha: Academia. ISBN: 978-80-200-3199-0
- Thomas, C., Parkinson, L., Marshall, E. (1998). Isolating the components of activity-density for the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in farmland. *Oecologia*, 116, 103-112. <https://doi.org/10.1007/s004420050568>
- Topa, E., Kosewska, A., Nietupski, M., Trębicki, Ł., Nicewicz, Ł., Hajdamowicz, I. (2021). Non-inversion tillage as a chance to increase the biodiversity of ground-dwelling spiders in agroecosystems: preliminary results. *Agronomy*, 11/11, 2150. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112150>

- Triquet, C., Roume, A., Tolon, V., Wezel, A., Ferrer, A. (2022). Undestroyed winter cover crop strip in maize fields supports ground-dwelling arthropods and predation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 326, 107783. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107783>
- Tuf, I. H. (2012). Půdní bezobratlí. In: Machar, I., Drobilová, L. a kol.: Ochrana přírody a krajiny České republiky, Vybrané aktuální problémy a možnosti jejich řešení, II. díl. Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3041-6
- Tuf, I. H. (2013). Praktika z půdní zoologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3479-7
- Voigtländer, K. (2006). The life cycle of *Lithobius mutabilis* L. Koch, 1862 (Myriapoda: Chilopoda). *Bonner zoologische Beiträge*, 55, 9-25. <https://biostor.org/reference/136880>
- Zangger, A., Lys, J. A., Nentwig, W. (1994). Increasing the availability of food and the reproduction of *Poecilus cupreus* in a cereal field by strip-management. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 74/2, 111-120. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1994.tb01777.x>
- Zhang, J., Drummond, F. A., Liebman, M., Hartke, A. (1997). Phenology and dispersal of *Harpalus rufipes* DeGeer (Coleoptera: Carabidae) in agroecosystems in Maine. *Journal of Agricultural Entomology*, 14/2, 171-186.