

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Vliv dodatečného pohřbení kadaveru na následný vývin
larev čeledi Calliphoridae**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Iveta Kopecká

Vedoucí práce: prof. RNDr. Miroslav Barták, CSc.

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv dodatečného pohřbení kadaveru na následný vývin larev čeledi Calliphoridae", jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na jejím konci. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2017

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu prof. RNDr. Miroslavu Bartákovi, CSc. za jeho odborné rady, vedení při zpracování této diplomové práce a pomoc při zpracování výsledků experimentu.

Dále děkuji také Ing. Miroslavu Férovi, Ph.D. za rozbor půdy pro DP a v neposlední řadě mé rodině za její podporu.

Vliv dodatečného pohřbení kadaveru na následný vývin larev čeledi Calliphoridae

Souhrn

Tato práce se zabývá problematikou schopnosti různých zástupců čeledi Calliphoridae za určitých podmínek dokončit svůj vývoj pod zemí.

Práce je rozdělena do dvou částí, z nichž první formou literárního přehledu z dostupných informačních zdrojů přibližuje význam kriminalistické entomologie, jenž poznatků o nekrofágním hmyzu využívá; dále popisuje čeleď Calliphoridae a zaměřuje se také na vztah hmyzu k mrtvým tělům, zvláště těm, která byla zakopána. Druhá část popisuje realizaci dvou terénních experimentů z roku 2016, které byly provedeny každý celkem ve čtyřech opakováních. Jako pokusné kadavery byla použita mrtvá těla kura domácího (*Gallus gallus f. domestica* Linné, 1758), která byla po zaklazení mouchami dodatečně zakopána.

Výsledky z obou uskutečněných experimentů vyvrátily původní hypotézu o schopnosti, resp. neschopnosti larev čeledi Calliphoridae dokončit svůj vývin na dodatečně pohřbených kadaverech. V prvním pokusu došlo k nálezům nově vylíhlých jedinců této čeledi ve všech čtyřech opakováních a v druhém pokusu byl sledovaný hmyz objeven pouze ve dvou opakováních ze čtyř. Každý z experimentů zajišťoval odlišné podmínky pro vývoj sledovaného hmyzu, nicméně výsledky z obou pokusů potvrdily schopnost larev čeledi Calliphoridae za daných podmínek svůj vývoj pod zemí dokončit.

Klíčová slova: forenzní entomologie, Calliphoridae, sukcese, dodatečné pohřbení

Effect of additional burial of the carcass on the following development of the blowfly larvae

Summary

This thesis deals with the issue of the ability of various species of the Calliphoridae family under certain conditions to finish their development on buried cadavers.

The thesis is divided into two parts, from which the first includes a literary overview of the available information sources focused on the importance of forensic entomology, which uses the knowledge about necrophage insect, as well as on the description of the Calliphoridae family, and is also focuses on the relationship of insect to dead bodies, especially those buried. The second part describes the implementation of two field experiments from 2016, each performed in four replicates. As the experimental cadavers, the dead bodies of domestic fowls (*Gallus gallus* f. *domestica* Linné, 1758) were used, which was subsequently buried after the fly oviposition.

The results of both experiments refuted the original hypothesis about the ability or the inability of Calliphoridae larvae to complete their development on post-buried carnivores, respectively. In the first attempt, the newly-hatched specimens of this family were found in all four replicates, and in the second experiment, the monitored insect was found in only two replicates of four. Each of the experiments provided different conditions for the development of the followed insect, however the results of both experiments confirmed the ability of the larvae of the family Calliphoridae finish their underground development under the specific conditions.

Keywords: forensic entomology, Calliphoridae, decomposition, additional burial

Obsah

I Teoretická část

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce	2
3 Literární přehled.....	3
3.1 Forenzní entomologie a její význam	3
3.2 Historie forenzní entomologie	5
3.3 Vztahy mezi organismy.....	7
3.4 Sukcese	8
3.4.1 Rozdělení hmyzu	9
3.4.2 Sukcesní vlny, stadia rozkladu.....	9
3.4.3 Doba rozkladu.....	14
3.4.4 Faktory ovlivňující sukcesi	14
3.5 Rozklad pod povrchem	18
3.5.1 Rozklad pohřbených kadaverů.....	18
3.5.2 Čeled' Calliphoridae na pohřbených kadaverech	20
3.5.3 Vlastnosti půdy	21
3.6 Čeled' Calliphoridae.....	22
3.6.1 Zástupci čeledi Calliphoridae ve forenzní praxi	24
3.7 Myiáze	26

II Praktická část

4 Materiál a metodika.....	28
4.1 Popis lokality.....	28
4.2 Popis experimentu	29
4.3 Odběr vzorků.....	30
5 Výsledky	33
5.1 Odebraný hmyz	33
5.2 Výsledky rozboru půdy.....	33
5.3 Tafonomické změny	34
5.4 Vyhodnocení experimentů.....	35
6 Diskuze	45
7 Závěr.....	49
8 Seznam literatury	50
9 Přílohy	55

I Teoretická část

1 Úvod

Forenzní entomologie je jednou z věd aplikovaných v kriminalistice, která pracuje s poznatky o hmyzu a jiných členovcích, nebo jejich vývojových stádiích. Využívána je ve třech oblastech. Jednou z nich je problematika skladištních škůdců, druhá se zaměřuje na parazity člověka a zvířat a třetí zahrnuje vyšetřování doby úmrtí. Ve všech třech případech představuje forenzní entomologie oblast aplikované biologie, která je založena na znalostech rozkladného procesu, jenž je v přírodě přirozenou součástí koloběhu života a smrti (Šuláková, 2014).

Rozklad (dekompozice) je postupné odbourávání mrtvé organické hmoty, zakončené přeměnou na hmotu anorganickou (mineralizace). Na rozkladu se podílejí různí dekompozitoři, jejichž činnost je ovlivněna fyzikálními a biologickými činiteli (Begon et al., 1997).

Dekompozice mrtvých živočišných těl je spojena se zákonitou sukcesí saprofágního hmyzu, který díky velice dobře vyvinutým smyslům (především čichu), bývá první na místě, kde se mrtvý organismus nachází. Hmyz nalétává na mrtvý objekt v předvídatelné posloupnosti v závislosti na fázi dekompozice, též nazývané hmyzí sukcese. Mezi první kolonizátory patří mouchy čeledi Calliphoridae a Sarcophagidae, jež přitahuje pach těla (Daněk, 1990).

Doba, za kterou dojde k rozkladu organické hmoty, je ovlivněna mnoha faktory. Mezi takové patří i pohřbení či zahrabání těla pod zem, které zabrání v přístupu hmyzu, jenž běžně kolonizuje kadavery volně přístupné, sníží teplotu a omezí přístup vzduchu. V důsledku těchto omezení se doba rozkladu těla prodlužuje. K mrtvole má schopnost dostat se odlišná nekrofauna, jejíž složení je závislé na hloubce pohřbení kadaveru a okolním prostředí (Smith, 1986).

Problematikou dekompozice pohřbených těl mouchami z čeledi bzučivkovití se již v minulosti zabývala řada autorů, z nichž mnozí dospěli k různým závěrům a jejichž názory se často liší. Praktická část této práce měla za cíl potvrdit či vyvrátit původní hypotézu, ve které bylo uvedeno, že larvy čeledi Calliphoridae nejsou schopny po dodatečném pohřbení

zakladeného kadaveru dokončit svůj vývoj. Součástí této práce je také vyhodnocení uskutečněného pokusu a shrnutí nových poznatků, které tento experiment přinesl.

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo vypracovat literární řešení týkající se vývoje much čeledi Calliphoridae se zaměřením na vývoj pod zemí a uskutečnění terénního pokusu, který měl ověřit schopnost larev této čeledi dokončit svůj vývoj na kadaveru po jeho dodatečném pohřbení.

Hypotéza: Mouchy čeledi Calliphoridae nejsou schopny po dodatečném pohřbení zakladeného kadaveru dokončit svůj vývoj.

3 Literární přehled

3.1 Forenzní entomologie a její význam

Forenzní entomologie je věda, která na základě poznatků o jednotlivých řádech zejména nekrofágního hmyzu a jeho vývojových stádiích pomáhá v kriminalistice při odhalování zločinů (Amendt et al., 2011). Mezi hlavní principy patří odhadování doby posmrtného/post mortem intervalu (PMI), kterým se rozumí doba, jež uplynula mezi úmrtím jedince a nalezením jeho ostatků (Catts, 1992).

Pro odhad PMI se dají v praxi použít i procesy související s dekompozicí, jako je např. posmrtná ztuhlost, posmrtné skvrny či posmrtné chladnutí. Nicméně přesnost těchto metod pro stanovení PMI v závislosti na čase značně klesá (Campobasso et al., 2001) a lze tak konstatovat, že v časovém intervalu více jak 72 hodin po smrti jedince je hmyz, resp. jeho jednotlivá vývojová stadia jediným spolehlivým klíčem k co nejpřesnějšímu odhadu PMI. Stáří nálezů lze zjednodušeně rozdělit na krátkodobé, tj. v rozmezí 3–5 týdnů, starší nálezy odpovídající 1–2 letům a nálezy starší dvou let. Přesnost odhadů PMI je u jednotlivých nálezů 1–5 dní, resp. zda ke smrti došlo v loňském nebo letošním roce. U těl, která byla exponována déle jak dva roky, nelze přesněji počet uplynulých let od smrti stanovit (Šuláková, 2012). Práce forenzního entomologa spočívá v analýze odebraného hmyzu, nikoliv přímo ve stanovování PMI z toho důvodu, že doba úmrtí a začátek kolonizace těla hmyzem se může, ale také nemusí lišit (Šuláková, 2014).

Prostřednictvím kriminalistické entomologii se lze také dopátrat, zda se místo nálezů ostatků shoduje s místem vykonání trestného činu, či bylo tělo po smrti přemístěno (Amendt et al., 2011), a to na základě druhů zajištěných z těla zemřelého, které se však běžně nevyskytují v oblasti místa nálezů. Dále je možné určit, zda bylo tělo dodatečně pohřbeno. Tuto skutečnost dokáže odhalit přítomnost těch druhů hmyzu, které se běžně vyskytují v případě volné expozice. Je možno také určit, zda bylo tělo pohřbené ihned po smrti, nebo došlo např. k odkrytí těla sesuvem půdy či vyhrabání zvířaty apod. (Šuláková, 2012).

Lze též úspěšně identifikovat oblasti poranění na těle, nebo v jakém prostředí bylo tělo uchováno. V případě, že v důsledku rozpadu již není možná identifikace oběti, je možné přistoupit k molekulárním a toxikologickým vyšetřením hmyzu nalezeného na místě nálezů

oběti. Tím lze stanovit nebo alespoň odhadnout příčinu smrti nebo dokonce i totožnost oběti. Tu je možné zjistit na základě analýzy DNA, kdy se získávají vzorky ze zažívacího traktu odebraného hmyzu (Amendt et al., 2011).

Na základě rozborů hmyzích těl, zejména pokožky a tukových těles jednotlivých larev, je možné stanovit přítomnost nejrůznějších chemických látek, které se mohly vyskytovat v těle mrtvého. Tímto zkoumáním se zabývá tzv. entomotoxikologie. Mohou to být toxiny, drogy i jiné chemické látky, které dokáží zpomalit nebo urychlit vývoj larev, oddálit kolonizaci těla hmyzem nebo jí i do jisté míry zamezit (Cruz, 2006; Joseph et al., 2011).

Nemusí se ovšem jednat pouze o vraždy či nešťastné náhody končící smrtí jedince, při jejichž vyšetřování je forenzní entomologie často nápomocna. Usvědčující důkazy je forenzní entomologie schopna také poskytnout i v případech zanedbání péče o člověka či zvíře. Je znám případ, kdy byla matka usvědčena ze zanedbání péče o vlastní dítě, u kterého byly v plenkách nalezeny a identifikovány larvy mouchy druhu *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794)(Goff et al., 1991).

3.2 Historie forenzní entomologie

První zmínka o využití hmyzu při vyšetřování trestného činu se objevila v lékařsko – právní knize Hsi yúan chi lu (v češtině volně přeloženo jako „Vymýcení zla“), kterou ve 13. století napsal čínský právník a vyšetřovatel Sung Tzú. Ten zde popisuje případ, kdy byl na rýžovém poli zabit jeden z pracujících mužů. Následně byl vrah usvědčen pomocímuch bzučivek, které vábily reziduální zbytky krve na jednom ze srpů, kterým byl muž pravděpodobně pobodán. O tom, že mouchy láká pach krve, se také zmínili v roce 1976 Leclercq a Lambert, kteří již šest hodin po smrti na mrtvole našli mouchy druhu *Calliphora vomitoria*, jež kladly vajíčka do kaluže krve zemřelého (Benecke, 2001).

Významný biolog Carl von Linné sledoval činnost much na mrtvých tělech již kolem roku 1767, kdy prohlásil, že „tři mouchy sežerou mrtvolu koně stejně rychle jako lev“ (Daněk, 1990; Benecke, 2001).

Během masových exhumací v Německu a Francii v průběhu 18. a 19. století se objevovaly další důkazy o využití hmyzu při kriminalistickém vyšetřování. V roce 1855 dal francouzský lékař Bergeret d'Arbois vzniknout základům moderní forenzní entomologie, když dokázal pomocí výskytu kukel dvoukřídlého hmyzu stanovit dobu úmrtí dítěte ukrytého v krbu.

V roce 1894 se objevuje kniha s názvem *La Faune des Cadavres* (česky „Fauna mrtvolná“) od veterináře Mégnina, v níž mimo jiné popisuje původně nejprve čtyři a následně celkem osm sukcesních vln probíhajících na volně exponovaných tělech a také dvě sukcesní vlny vyskytující se u těl pohřbených. Kniha též obsahuje popis jednotlivých druhů hmyzu, včetně jejich vývojových stádií. Na knihu v roce 1895 navázali dva kanadští vědci Johnston a Villeneuve, kteří svými experimenty zdůraznili, že Mégninovy principy nejsou všeobecně platné, ale že je zapotřebí je vždy vztáhnout k místním klimatickým podmínkám (Benecke, 2001). Ačkoliv byly Mégninovy metody v historii mnohokrát zopakovány, nebyly nadále nijak rozvíjeny až do roku 1948, kdy se tomuto vědnímu oboru začali pozorněji věnovat belgický lékař a vědec Leclercq a finský profesor Nuorteva (Daněk, 1990).

Na přelomu dvacátého století lékař Eduard Ritter von Niezbitowski došel svými četnými pokusy s nedonošenými embryi, kadavery koček, lišek, potkanů, krtek a telat k závěru, že sukcesní vlny probíhají na zvířecích ostatcích totožně jako na lidských a že na procesu rozkladu lidských nebo zvířecích těl se podílí samé druhy obratlovců i

bezobratlých (Benecke, 2001). Současně v této době zájem o tuto vědu náhle upadá a další rozvoj forenzní entomologie se objevu až po druhé světové válce (Povolný, 1979).

V druhé polovině dvacátého století sehráli důležitou úlohu ve vývoji forenzní entomologie vědec Leclercq a profesor Nuorteva, kteří dopomohli k rozvoji této vědy po celém světě, ve státech jako je Japonsko, Rusko, Kanada, Anglie, USA atd. (Benecke, 2001).

Za zmínku stojí také tzv. Farma lidských těl, která byla založena v 70. letech dvacátého století na univerzitě Antropologického ústavu v Tennessee profesorem Williamem M. Bassem. Sloužit měla studentům a policejním technikům nejprve pro účely kosterní analýzy (určení pohlaví, stáří, možná zranění atd.), následně zde začali provádět svá zkoumání i entomologové. Nyní tato farma čítá kolem 400 těl, přičemž každoročně jich přibývá i několik desítek. V současné době se podobných zařízení na území USA nachází několik, např. farma při Western Carolina university (Fürbach, 2008).

3.3 Vztahy mezi organismy

Mrtvé tělo každého organismu je bohatým zdrojem bílkovin, lehce stravitelných látek bohatých na živiny, které se postupně rozkládají. Představuje tak konečnou fázi potravního řetězce ve volné přírodě. V přírodě se tak stává charakteristickým objektem daného biotopu a na něm se objevují druhy celé biocenózy. Společenstvo těchto druhů se nazývá merocenóza. V takovéto merocenóze obvykle převládají zástupci z řádu brouků (cca 50 %), řádu dvoukřídlého hmyzu (cca 35 %)(Daněk, 1980).

Uvádí se, že na mrtvole se může objevit až deset různých druhů much, což umožňují jisté mezidruhové rozdíly. Na mrtvole se objevují nekrofágové z kmene členovců (Arthropoda, Latreille, 1829), kteří se na ní soustředí, neboť mrtvé tělo představuje zdroj potravy jak pro ně samotné, tak pro jejich vývojová stadia. Naproti tomu nekrofágní obratlovci, jež se objevují u mrtvého těla, se u něho zdržují povětšinou jen krátce a poté, co se nasytí, odcházejí (Daněk, 1990).

3.4 Sukcese

Sukcesi ve forenzní entomologii lze popsat jako proces rozkladu mrtvého těla činností bezobratlých i jiných organismů. Tento proces na těle probíhá v několika po sobě jdoucích tzv. „sukcesních vlnách“ a přináší charakteristické změny (Eliášová a Šuláková, 2012). Společenstvo členovců se v průběhu času na mrtvém těle mění a zahrnuje specifické druhy, které se během rozkladu těla objeví. Takové společenství, živící se tkáněmi a tělními exsudáty, může rozklad těla výrazně urychlit (Arnaldos et al., 2004). Daněk (1990) a Campobasso et al. (2001) uvádí, že mezi první kolonizátory (mrtvého) těla, jež přitahuje jeho specifický pach, patří mouchy z čeledi bzučivkovití (Calliphoridae) a masařkovití (Sarcophagidae). Ty pak společně s brouky z čeledi mrchožroutovití (Silphidae) a kožojedovití (Dermestidae) patří mezi dominantní druhy, které se na rozkladu podílejí (Smith, 1986).

Počátkem sukcese se označuje okamžik, kdy se tělo stává hmyzu volně přístupné. Naopak jejím koncem se ve forenzní entomologii rozumí úplné rozložení měkkých tkání těla, tzv. „vyskeletování“ (Daněk, 1990). Laupy (1994) uvádí, že za optimálních podmínek dochází činností larev hmyzu k redukci 80–90 % tělní hmoty kadaveru v rozmezí 7–10 dní.

V průběhu tohoto rozkladného procesu rozeznáváme několik sukcesních vln, jejichž počet se dle různých autorů a hledisek pohybuje nejčastěji mezi pěti až osmi (Daněk, 1990; Šuláková, 2006). Mezi nejpoužívanější schémata rozkladu patří Mégninovo a Martinézovo, existují však i jiná, například Fullerovo, Bornemisszovo a Paynové (Daněk, 1990). Rozhodujícím faktorem zůstává především oblast, ve které k rozkladu těla dochází. V oblastech mírného pásu (kam spadá i Česká republika) se zpravidla rozlišuje 6 stadií, které lze popsat jako: mrtvola čerstvá, nadmutá, biochemicky aktivní, pokročilý rozklad, vysychání a kosterní zbytky (Smith, 1986; Šuláková, 2014).

3.4.1 Rozdělení hmyzu

Na procesu rozkladu mrtvého těla se dle Campobassa et al. (2001) podílí několik skupin hmyzu, které lze rozdělit následovně:

- Nekrofágní druhy, které se živí přímo tělem a které se tak významně podílejí na jeho významu. Patří sem zejména čeledi Calliphoridae a Sarcophagidae z řádu dvoukřídlého hmyzu. Spolu s brouky tak patří mezi dominantní zástupce této skupiny a jsou důležitým ukazatelem pro stanovení doby kolonizace kadaveru hmyzem.
- Přirození predátoři a parazité nekrofágních druhů hmyzu jsou druhou nejrozšířenější skupinou na kadaverech. Jde především o brouky a zástupce z čeledi blanokřídlí, z části i dvoukřídlí, u jejichž larev (některých druhů) je popsán kanibalismus.
- Mezi třetí nejrozšířenější skupinu patří všežravý hmyz. Tyto druhy, resp. jejich vývojová stadia, jsou schopná žít se jednak rozkládajícím se tělem, jeho zbytky, také se však řadí mezi parazity ostatních druhů hmyzu vyskytujících se na kadaveru. Do této skupiny zahrnujeme mimo brouků např. vosy či mravence, kteří mohou významně ovlivnit dobu rozkladu mrtvého těla.
- Čtvrtou skupinou rozumíme ostatní druhy hmyzu, jako jsou roztoči, pavouci či motýli. Tělo ve fázi rozkladu jim umožňuje obohatit jejich životní prostředí, slouží jako místo úkrytu (Campobassa et al., 2001).

3.4.2 Sukcesní vlny, stadia rozkladu

V souvislosti s výskytem jednotlivých druhů hmyzu na mrtvém těle vědci rozlišují několik stadií rozkladu těla, přičemž jednotlivé fáze rozkladu nelze přesně časově ohraničit, jelikož jsou ovlivněny podmínkami prostředí, ve kterém k rozkladu dochází. Mezi ně patří zejména roční období, okolní teplota, vlhkost vzduchu, sluneční svit, stav a vlastnosti mrtvého těla aj. Tyto vlastnosti mají významný vliv na rychlost rozkladu kadaveru, resp. na výskyt výše uvedených jednotlivých skupin hmyzu (Daněk, 1990).

Šuláková (2014) popisuje proces sukcese jako nesezónní, časově zákonitý a kontinuální proces kolonizace a zániku populací jednotlivých druhů na daném místě, jež postupuje tak rychle, že některé její fáze zahrnují pouze jednu generaci daného druhu nebo skupiny druhů. Na mrtvém těle je téměř vždy možné nalézt zástupce několika sukcesních vln zároveň. Jedná se o prvně přichozí dospělce, jejich vajíčka a larvy několika instarů, pupárií, kukel, případně i nově vylíhnutých dospělých jedinců. Ve většině případů však tyto nově vylíhnutí dospělci odlétají kolonizovat jiný dostupný objekt, jelikož ten stávající bývá pro další zaklazení nevhodný z důvodu pokročilejšího stupně rozkladu.

Někteří nezávislí autoři původní Mégninovo schéma osmi sukcesních vln upravili a zredukovali na nižší počet fází, přičemž rozhodujícím faktorem zůstává oblast (určující výskyt rozkladu), pro kterou bylo dané schéma navrženo (Šuláková, 2014).

Rozdělení sukcesních vln v oblastech mírného pásu můžeme uvést následovně:

1. Sukcesní vlna: čerstvé tělo

První vlna sukcese se objevuje hned po smrti, nebo těsně před smrtí jedince v případě jeho bezmocnosti. V této fázi dochází ke kolonizaci těla zejména velkými mouchami, které jsou lákány pachem potu, krve, čerstvého masa oběti. Čerstvé tělo láká dospělé hmyzu, resp. samice, které přilétají téměř okamžitě a začínají na oběť klást vajíčka (Šuláková, 2012). Ke kladení dochází mnohem rychleji, pokud je tělo v terénu volně přístupné, nežli v uzavřených prostorách (např. uzavřený byt)(Daněk, 1990).

Mezi nejvýznamnější zástupce první vlny patří mouchy z čeledi Calliphoridae, zejména bzučivky rodu *Lucilia* a *Calliphora*, dále druhy *Protophormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy, 1830) a *Phormia regina* (Meigen, 1826) (Gullan a Cranston, 2005; Šuláková 2006 a 2014). Také se objevují zástupci z čeledi Muscidae, zejména moucha domácí – *Musca domestica* (Linné, 1758), *Musca autumnalis* (De Geer, 1776) a *Muscina stabulans* (Fallén, 1817)(Daněk, 1990).

Na jednom těle se zpravidla objevují současně zástupci dvou až pěti druhů hmyzu, přičemž jeden nebo dva druhy bývají dominantní a ostatní se na těle vyskytují v omezeném počtu. Jejich výskyt je dočasný – dochází ke kopulaci dospělců a kladení vajíček samicemi. Samice kladou vajíčka nejčastěji na larvami snadno dostupná místa, tedy přístupné sliznice okolo očí, úst, nosu, uší, urogenitálního traktu nebo konečníku, případně do traumatických ran na těle oběti. Hmyz je aktivní pouze ve dne, přičemž dospělci se tkáněmi neživí – ty jsou důležitou složkou potravy pro larvy, které se z nakladených vajíček vyvinou (Daněk, 1990; Šuláková, 2014).

U volně dostupných mrtvol se můžeme také setkat s výskytem brouků z čeledi střevlíkovití (Carabidae) a některými druhy vos, škvorů a mravenců. Mravenci a škvoři zanechávají na kůži charakteristické stopy. Vosy svými kusadly oddělují poměrně velké kusy tkáně z těla oběti, napadají zejména oční bělmo a rozrušený tělní povrch a odlétají (Daněk, 1990).

Během této fáze můžeme v důsledku chladnutí těla také pozorovat naopak úbytek případných ektoparazitů (Smith, 1986; Gunn, 2006).

2. Sukcesní vlna: nadmuté tělo

Během této fáze se v těle začínají hromadit plynné látky, které vznikají pokračující činností bakterií v trávicím traktu mrtvého jedince. Plyny tělo nadouvají a vytváří tak charakteristický zápach, jenž láká další druhy hmyzu. Délka trvání této fáze je závislá obzvlášť na ročním období. Za optimálních podmínek (vysoké teploty v létě) může k tomuto stavu dojít již druhý den po smrti (Daněk, 1990), či dokonce během několika hodin po smrti (Campobasso et al., 2001; Šuláková, 2014).

Z první vlny zůstávají a objevují se další mouchy z čeledi bzučivkovití a mouchovití a nově se objevují také masařkovití (Sarcophagidae). Mezi další kolonizátory patří nekrofágní brouci, především hrobařiči. Nalézáme i mrchožrouty a roztoče. Během několika dnů se mění podklad pod mrtvolou, tráva pod mrtvým tělem začíná z důvodu ztráty chlorofylu měnit barvu a mění se také složení půdní fauny (Daněk, 1990; Šuláková, 2006).

3. Sukcesní vlna: biochemicky aktivní rozklad

Tato vlna nastává v okamžiku, kdy v těle dochází ke zmýdelnění tuků a kdy se zároveň uvolňují těkavé mastné kyseliny, zejména velice nepříjemně zapáchající kyselina máselná, která je pro hmyz (především čeleď Muscidae) silným atraktantem (Šuláková, 2006, 2012). Na mrtvolách je v České republice nejčastěji z čeledi mouchovití zastoupena *Hydrotea ignava* (Harris, 1780), která může přilétat již v prvních dnech po smrti jedince, v době, kdy se na mrtvole nachází značné množství larev bzučivek. Tyto mouchy v důsledku obsazení mrtvoly larvami bzučivkovitých (tisíce jedinců) nekladou svá vajíčka na tělo oběti, nýbrž do tzv. lože, tedy na místo, na kterém mrtvola spočívá. Vylíhlé larvy se živí tekutinou prosakující z mrtvoly do půdy, od druhého instaru jsou schopné kolonizovat vlastní tkáň. Mouchovití tělo plně využijí až v momentě, kdy ho postupně opustí většina bzučivek (Daněk, 1990; Šuláková, 2014).

Na mrtvole přežívají druhy z druhé vlny, které mají delší generační interval a zároveň se objevují další nekrofágní brouci, nejčastěji zástupci z čeledi kožojedovití (Dermestidae) a pestrokrovečnickovití (Cleridae). Přetrvává destrukční činnost larev výše uvedených much. V případě dobře dostupného těla (venkovní prostředí, tělo bez oblečení) jsou larvy schopné zpracovat převážnou část tkáň během dvou až tří týdnů (Daněk, 1990; Voss et al., 2011).

Dostupnost mrtvoly také ovlivňuje přítomnost dalších druhů bezobratlých, kterým případně slouží jako útočiště nebo zdroj potravy. Pokud již u mrtvoly došlo k perforaci břišní stěny, žaludku a střev a tím i k uvolnění zápachu způsobeného výkaly, objevuje se též chrobák *Anoplotrupes stercorosus* (Scriba, 1791). Důležitými zástupci třetí vlny jsou také brouci (predátoři) z čeledi drabčíkovití (Staphylinidae) a mršníkovití (Histeridae), jejichž potravou bývají larvy přítomných druhů much (Daněk, 1990).

4. Sukcesní vlna: pokročilý rozklad

Po fermentaci tuků dochází k fermentaci proteinů, kdy dochází k tvorbě látek, které zapáchají podobně jako zrající sýr. Proto se někdy tato fáze také označuje termínem sýrová fermentace. Vznikající aroma je silným lákadlem pro drobné mušky z čeledi sýrohlodkovití (Piophilidae), kmitalkovití (Sepsidae), octomilkovití (Drosophilidae) a slunilkovití (Fanniidae) (Daněk, 1990; Šuláková, 2014).

V některých případech mohou být právě sýrohlodky dominantní skupinou nalétávající na mrtvé tělo. K takové situaci dochází z pravidla tehdy, není-li oběť těsně po smrti hmyzu

volně dostupná, například dostane-li se mrtvola bezprostředně po smrti do vodního prostředí a na povrch se dostane až za několik měsíců. Látky, které obvykle lákají zástupce charakteristické pro druhou vlnu, se již netvoří, a tak je kadaver zpravidla kolonizován právě druhy vyskytujícími se během fermentace proteinů (Daněk, 1990).

Procesy zmýdelnění tuků a sýrová fermentace mohou probíhat prakticky současně na různých částech těla, tudíž hmyz, který se v této sukcesní vlně na mrtvole vyskytuje, může tělo kolonizovat v různém pořadí (Šuláková, 2014).

5. Sukcesní vlna: vysychání zbytků měkkých tkání

Během páté vlny dochází již k absorpci tekutin a vysychání (mumifikaci) zbytků měkkých tkání. Tělo se může místy jevit již jako kostra, zpravidla nacházíme chrupavky, kosti a seschlé zbytky tkání. Na vazivových částech těla nebo ve vlasové (chlupové) pokrývce se může objevit i hmyz, který často škodí v domácnostech, skladech nebo muzejních sbírkách. Nadále se na rozkladu podílejí larvy sýrohlodek, hrbílek, kožojedi a pestrokrovečníci (Šuláková, 2014).

Nově se objevují brouci z čeledi hlodáčovití (Trogidae). Dominují roztoči – Acari (zejména čeleď Uropodidae a Acaridae), kteří se živí proteiny živočišného původu, napadají kostní dřev a urychlují rozpad kostí. Mnoho roztočů se k mrtvému tělu dostane pomocí forézie, tedy přichycením na těla hmyzu. Proto je na mrtvole nalézáme už od počátku rozkladu těla, resp. od okamžiku, kdy se na těle objeví první hmyz (Šuláková, 2014).

Po určitou dobu roztoči na těle setrvávají, množí se a poté, co se vylíhnou noví jedinci much a brouků, přichytí se na ně a nechají se přenést na další mrtvolu. Absorbováním všech tělních tekutin dostává složení podloží mrtvoly postupně původní podobu, přechodné společenstvo živočišných a rostlinných druhů (merocenóza) mizí (Daněk, 1990; Šuláková, 2012 a 2014).

6. Sukcesní vlna: kosterní zbytky

V této fázi je mrtvé tělo již zcela vysušeno, zbývá pouze kostra či její zbytky, případně ojediněle suché zbytky útrobníků, kůže, narušených chrupavek. Ze zástupců hmyzu nalézáme

jedince, kteří napadají sušené maso, rohovinu, kosti, kůži, peří, se kterými se lze setkat i v domácnostech, kde napadají kožešiny, látky, koberce, vlnu a různé potraviny. Nejčastěji objevujeme kožojeda obecného (*Dermestes lardarius*), rušníka muzejního (*Anthrenus museorum*) a kožešinožrouta obecného (*Attagenus pellio*), ze zástupců motýlů pak mola šatního (*Tineola biselliella*) (Šuláková, 2006).

Pokud objevíme zástupce z čeledi vrtavcovití nebo drabčíkovití, s největší pravděpodobností se jedná o jedince, kteří pod kosterními zbytky přecházejí nepříznivé povětrnostní podmínky (chlad, vlhko, sucho) nebo zde náhodně přezimují (Šuláková, 2006).

Na degradaci kosterních zbytků se podílejí např. i řasy (Algae) (Daněk, 1990; Šuláková, 2014).

3.4.3 Doba rozkladu

Dobu trvání jednotlivých sukcesních vln uvádí ve své knize „Fauna mrtvolná“ Mégnin (1894) následovně: První a druhá vlna se vzájemně prolínají a trvají do 3 měsíců. Třetí vlna společně se čtvrtou trvají od 3 do 6 měsíců, dochází k sýrovatění. Pátá vlna, vyznačující se ztekucováním ostatků, trvá 4 až 8 měsíců. Šestá vlna obvykle trvá od 6 do 12 měsíců, dochází při ní k vysychání těla, nejvíce se vyskytují roztoči. Sedmá vlna charakterizuje tělo zcela vysušené, trvá 1 až 3 roky, výskyt hmyzu v tomto období bývá různorodý. Poslední, osmá vlna, označuje trouchnivějící nález starší 3 let.

Jednotlivé vlny však nelze přesně časově ohraničit (Mégnin, 1894; Campobasso, 2001; Kelly, 2009; Šuláková, 2012 a 2014).

3.4.4 Faktory ovlivňující sukcesí

Rychlost rozkladu kadaveru ovlivňují proměnné různé povahy. Rozdělujeme je na faktory vnitřní, které se týkají samotného těla a faktory vnější, tedy vnějšího prostředí. Mezi faktory vnitřní řadíme věk, konstituci, příčinu smrti, celistvost těla. Mezi ty vnější pak okolní teplotu, síla větru, vlhkost vzduchu, sluneční svit aj. (Campobasso et al., 2001; Šuláková, 2006).

Rozhodující roli mohou mít i predátoři a mrchožrouti, jako např. psi, kočky, lišky, potkani, ptáci apod., kteří se někdy na rozkladu kadaveru též podílejí (Rodriguez, 1997; Šuláková, 2006).

Stav mrtvého těla ovlivňuje stadium rozkladu a hmyz na těle se vyskytující. Pod pojmem stav mrtvoly se ukrývá především věk, pohlaví, celkový zdravotní stav, vrstva podkožního tuku, stav oblečení; dále možnost traumatických změn, krvácivých poranění, perforace střev aj. (Šuláková, 2006).

Bezprostředně po smrti jedince nedochází u intaktní mrtvoly k okamžitému zaklazení mušními vajíčky, nicméně první kladení vajíček může výrazně urychlit přítomnost krve, fekálií, zvratků, otevřených ran, potu apod. V takovém případě dochází ke kladení mouchami již během několika minut, přičemž oběť může být stále naživu (Povolný, 1978).

Větší podíl tuku v těle, tedy i vody, podporuje jeho rychlejší rozklad a šíření bakterií. Taktéž u osob či zvířat zanedbaných, trpících hnisavou infekcí, u smrti udušením, dochází k rychlejšímu rozkladu. Naopak zpomalit rozklad, resp. posmrtné tuhnutí těla může způsobit přítomnost oblečení, které tak prospívá propuknutí hnilobného procesu (Campobasso et al., 2001; Šuláková, 2006).

Teplota prostředí významně ovlivňuje výskyt a aktivitu jednotlivých druhů nekrofágního hmyzu a tím rychlost rozkladu kadaveru. Obecně platí pravidlo, že čím je okolní teplota vyšší, tím jsou rozkladné procesy rychlejší (Daněk, 1990).

V České republice je potencionální aktivita nekrofágního hmyzu, především mrchožravých much, stanovena na období šesti měsíců, zhruba od konce dubna do konce října. Na jaře a na podzim se rozklad kadaveru opoždřuje přibližně o polovinu oproti letním měsícům, kdy bývají teploty výrazně vyšší. Při průměrných denních teplotách okolo 20 °C dochází k rozkladu měkkých částí mrtvoly již během 5-7 dnů. Naopak na jaře a na podzim, kdy se průměrné denní teploty obvykle pohybují jen kolem 15 °C, dochází k tomuto rozkladu přibližně 14 dní. Klesnou-li průměrné denní teploty o další dva stupně, prodlužuje se rozklad měkkých částí až na tři týdny (Daněk, 1990).

U mrtvého těla dochází vlivem jednotlivých chemických procesů k jeho samozáhřevu. Na něm se významně podílí také činnost početné populace muších larev, které se mrtvolou živí. Poklesnou-li noční teploty k dolní hranici aktivity larev, nevede to obvykle

k výraznějšímu pozastavení jejich činnosti. Například při delších obdobích deštivého počasí naopak rozklad v povrchových vrstvách kadaveru činností muších larev ustává (Daněk, 1990).

Vzájemným vztahem mezi okolními teplotami a nekrofágními organismy se zabývala v minulosti řada vědců (např. Arnaldos et al., 2004; Gruner et al., 2007; Schroeder et al., 2003). Teploty, během nichž je hmyz schopný prodělat vývin, se nazývají efektivní teploty. Horní hranice efektivní teploty bývá obvykle tak vysoko, že prakticky nemusí být brána v úvahu. Naopak dolní hranice se pohybuje okolo 10 °C. Larvy, které se vylíhly na podzim, pokračují ještě za efektivních teplot ve svém vývinu, ale jakmile teploty postupně klesají, larvy upadají do diapauzy a ve svém vývinu pokračují zase na jaře, když se teploty opět postupně zvyšují. Dochází tak v případě, že larvy úspěšně přečkají zimní období, kdy bývají teploty i hluboko pod bodem mrazu (Povolný, 1982).

Jednotlivá vývojová stadia hmyzu jsou schopna přežít i teploty pod bodem mrazu, nicméně jejich smrt nastává v případě, že teploty klesnou pod více než minus 15–30 °C. Mezi jednotlivými hmyzími druhy však existují značné rozdíly (Knippling a Sullivan, 1957).

Vyšší teploty prostředí napomáhají fermentaci tuků a bílkovin, účinnost bakteriálního rozkladu, urychlují vysoušení ostatků a larvální vývoj. Mnozí autoři udávají, že teplota mrtvého těla může vystoupat až k hodnotám 52 °C, přičemž při teplotách vyšších než 39°C již dochází ke změnám struktury stavby bílkovin v tělech hmyzu a dochází tak jejich zániku (Campobasso et al., 2001; Mohr a Tomberlin, 2014; Šuláková, 2014).

Nalézáme-li na mrtvém těle larvy hmyzu v zimním období, poukazuje to na fakt, že larvy se z nakladených vajíček vylíhly již na podzim předcházejícího roku, jelikož dospělé mouchy v zimě nejsou aktivní a vajíčka v tomto období nekladou. Pokud ovšem nalézáme larvy na mrtvole v jarním období, je nutné rozhodnout, zda se larvy vylíhly z nakladených vajíček již v předešlém roce na podzim, nebo časně z jara po ústupu zimy. Existuje-li spousta již mrtvých larev na kadaveru, který jsme našli na jaře, můžeme usuzovat, že mouchy nakladly na kadaver vajíčka již na podzim předešlého roku a z nich se dané larvy vylíhly (Matoba, 2008).

Vlhkost prostředí ovlivňuje zásadním způsobem – např. omezením letové aktivity – složení jednotlivých zástupců druhů hmyzu. Řada z nich vyhledává suché prostředí, a naopak jiné druhy upřednostňují vyšší vlhkost prostředí. Nízká vlhkost prostředí významně ztěžuje

pronikání hmyzích larev pod kůži mrtvoly, kdy dochází k její rychlé mumifikaci (Campobasso et al., 2001; Šuláková, 2006).

Sluneční svit, resp. jeho délka a intenzita patří také mezi důležité faktory ovlivňující jednotlivá stadia rozkladu a délku trvání sukcesních vln. Slunečné počasí napomáhá k zahřívání kadaveru, jenž má vyšší teplotu a tím ovlivňuje jednotlivé zástupce hmyzu, jak již bylo uvedeno výše (Campobasso et al., 2001).

Jak uvádí ve své práci Horenstein et al. (2010), sluneční svit má vliv i na složení nekrofágních druhů hmyzu kolonizujícího kadaver. Pokusem na prasatech (Argentina) došli k závěru, že stinné místo expozice kadaverů nejvíce ovlivnilo dvoukřídlý hmyz z podřádu krátkorozí (Diptera, Brachycera), jenž je tamní hlavní skupinou hmyzu podílející se na rozkladu těl.

V kanadském Saskatchevanu vědci simulovali podmínky rozkladu u osmnácti pokusných prasat a došli k závěru, že zastíněné místo expozice jednotlivých kadaverů prodloužilo dobu jejich rozkladu (Sharanowski et al., 2008).

3.5 Rozklad pod povrchem

3.5.1 Rozklad pohřbených kadaverů

Prostředí, ve kterém se nachází mrtvé tělo a v němž má docházet k jeho rozkladu, silně ovlivňuje složení hmyzu. Na volně ložených mrtvolách nalézáme jiné druhové složení hmyzu než na tělech pohřbených (Mégnin, 1894).

Obecně lze považovat rozkladné procesy v případě pohřbeného těla za pomalejší, a to zejména v důsledku omezení přístupu vzduchu, kdy se rozkladu neúčastní aerobní bakterie a také pro nedostupnost těla některým druhům hmyzu, jež patří mezi hlavní dekompozitory. K mrtvole má schopnost dostat se odlišná nekrofauna, jejíž složení je závislé na hloubce pohřbení kadaveru a okolním prostředí (Smith, 1986).

Campobasso et al. (2001) také uvádějí nižší teplotu v okolí pohřbeného těla jako jeden z faktorů ovlivňující rychlost (zpomalení) jeho rozkladu. Jak uvádí Povolný (1978), kolonizaci mrtvého těla hmyzem významně zpomalí vrstva zeminy již o výšce pouhých 2,5 cm.

Dle Payne et al. (1968) můžeme na pohřbených tělech rozlišit celkem pět sukcesních vln: čerstvá mrtvola, nadmutá mrtvola, deflace a rozklad, rozpad a skeletonizace.

U těl pohřbených pod zemí nalézáme nekrofágní hmyz v určité posloupnosti, kdy se postupně na mrtvole objevují roztoči (Acarina), hrbilkovití (Phoridae), výkalnicovití (Scatopsidae), octomilkovití (Drosophilidae), mrvnatkovití (Sphaerocidae), střevlíkovití (Carabidae) a chvostoskoci (Collembola). K mrtvému tělu se také snaží dostat řada brouků z čeledí drabčíkovití (Staphylinidae) a lesklecovití (Monotomidae) (Gennard, 2007).

Mezi hlavní důvody neschopnosti kolonizovat pohřbený kadaver nekrofágním hmyzem patří zamezení fyzického kontaktu hmyzu s tělem, a především vyloučení vnímání pachových signálů těla hmyzem. I tenká vrstva zeminy může díky inhibici chemických signálů zabránit samicím v kladení vajíček (Byrd a Castner, 2010).

U mrtvol pohřbených hlouběji (řádově v desítkách cm) se jejich pachy nedostanou k povrchu téměř nikdy. Tím je vyloučen přístup prakticky všech velkých much i masožravců a rozklad mrtvoly tak proběhne bez jejich účasti (Byrd a Castner, 2010).

U kadaverů, které jsou uloženy v mělčích hrobech, nebo jsou zakryty jen slabou vrstvou půdy, obvykle dochází k úniku pachových stop, a tak mají masožravci i mouchy možnost se k tělu dostat (Byrd a Castner, 2010).

Za obvyklých podmínek dojde činností hmyzích larev k redukci až 90 % hmotnosti mrtvoly cca během jednoho týdne (Payne et al., 1968; Povolný, 1978; Daněk, 1990), ovšem při zakrytí zeminou (do 25 cm) je hmyz schopný mrtvolu zredukovat pouze z 20 % během šesti týdnů. Tímto způsobem lze určit, zda s tělem bylo dodatečně manipulováno, tedy bylo-li dodatečně zakopáno nebo přikryto vrstvou půdy (Payne et al., 1968).

Vyskytují-li se na mrtvole například larvy bzučivek, musela být mrtvola pohřbena nejdříve jeden den po smrti. Při nálezů dravých brouků z čeledi mršníkovití bylo tělo pohřbeno až s odstupem tří dnů. Sýrohloďky poukazují na pohřbení těla nejméně po týdnu od smrti, brouky kožojedy pak nalézáme v případě těla pohřbeného až po nejméně dvou týdnech po smrti atd. (Povolný, 1978 a 1979).

Pokud je kadaver uložen v hloubce 15-20 cm pod povrchem, obvykle ho dokáží kolonizovat larvy velkých zástupců čeledi Muscidae, rod *Muscina* (Povolný, 1978; Daněk, 1990) a rod *Morpholeria* z čeledi Helomyzidae (Povolný, 1978). Rod *Muscina* bývá některými autory považován za dominantní v případě kadaverů uložených v horních vrstvách zeminy (Lundt, 1964; Mariani et al., 2014). Naopak Karapazarlioglu a Disney (2015) uvádí jako nejvíce rozšířený hmyz kolonizující mělce pohřbené mrtvoly druh *Conicera tibialis* (Schmitz, 1925), který patří do čeledi Phoridae.

Rodriguez a Bass (1985) tvrdí, že celkově Diptera nejsou schopna kolonizovat kadaver pohřbený v hloubce větší jak 30 cm a ve větších hloubkách není známka po odpovídající aktivitě žádného nekrofágního hmyzu. Ani Iancu a Pârvu (2013) neobjevili žádné zástupce nekrofauny, kdy prováděli experiment na jezevci (*Meles meles*, (Linnaeus, 1758)) pohřbeném do hloubky 40 cm pod povrchem.

Nicméně naproti tomu jsou z dřívějších let známy protichůdné názory jiných autorů, kdy např. Lundt (1964), Povolný (1978) a Daněk (1990) udávají, že do hloubky 30-50 cm jsou schopni pronikat dospělci čeledi Phoridae, konkrétně rody *Conicera* a *Metopina*. Druh *Conicera tibialis* (Schmitz, 1925) je schopen kolonizovat kadaver v hloubce jednoho a více metrů pod zemí (Gunn, 2006), přičemž Bourel et al. (2004) udává hloubku až dva metry.

Najdeme-li v půdě mouchu druhu *Conicera tibialis*, jak uvádí Gennard (2007), jedná se o tělo, které bylo pohřbeno před více než jedním rokem a možná i více.

V roce 2001 Campobasso et al. (2001) uskutečnili experiment, během kterého došli k závěru, že v období měsíců března a dubna byly mouchy čeledi Sarcophagidae schopny kolonizovat králičí kadaver pohřbený cca 12-20 cm pod zemí.

3.5.2 Čeleď Calliphoridae na pohřbených kadaverech

Pohřbení mrtvého těla či jeho zakrytí půdou, jak uvádí Povolný (1978 a 1979), má za následek úplné vyřazení čeledi bzučivkovitých z rozkladného procesu, která jinak bývá hlavním dekompozitorem mrtvol. Na tom se shodují i další autoři nezávisle na sobě (Smith, 1986; Daněk, 1990; Gunn, 2006). Také Gennard (2007) tvrdí, že se čeleď Calliphoridae na pohřbených tělech nevyskytuje.

Naproti tomu již v roce 1898 popisuje Motter dva případy nálezu much druhu *Lucilia caesar* na pohřbených kadaverech.

Gunn a Bird (2011) zjistili, že druhy *Calliphora vicina* a *Calliphora vomitoria* jsou schopny kolonizovat kadavery zakryté 5 cm kypré zeminy, a to i přesto, že druh *Calliphora vomitoria* je znám svou neschopností kolonizovat ostatky ve větších hloubkách. S různou proměnlivostí je schopný pohřbené kadavery (do 10 cm pod zemí) kolonizovat také druh *Lucilia sericata*.

Důležité je zjištění, že ani jeden z těchto druhů nepotřebuje přímý kontakt s mrtvým tělem k tomu, aby mohl naklást vajíčka. Experiment byl proveden v laboratorních podmínkách, kde samice much stimulovalo ke kladení vajíček na pohřbený kadaver méně jiných příležitostí. Velký počet larev, které se na kadaveru pohřbeném v hloubce 5 cm vylíhly, naznačuje, že kadavery byly vystaveny na povrchu po dostatečně dlouhou dobu, aby mohly být zaklady vajíčky (Gunn a Bird, 2011).

3.5.3 Vlastnosti půdy

Půda a její charakteristiky významně ovlivňují rozklad těla pod povrchem (Daněk, 1990).

Důležitým faktorem, který má vliv na rozklad kadaveru, je například půdní pórovitost, podle níž se hodnotí ulehlost půdy. Je to specifická vlastnost půdy vyjadřující celkové procentuální zastoupení volného prostoru, který není nijak vyplněný pevnými částicemi půdy. Tento prostor označujeme jako půdní póry. V nich je obsažena voda s rozpuštěnými organickými a anorganickými látkami a vzduch, se svými plynnými složkami. V těchto prostorách se uskutečňují látkové přeměny, na stěnách pórů přichází do styku pedosféra a biosféra (Pavel, 1984).

Kompaktnost půdy může narušit i nadýmání pohřbeného těla a s tím spojené následné sesedání půdy způsobené například propadem břišní dutiny a tím tak zpřístupnit mrtvolu některým druhům hmyzu. Sesedání zeminy je významné zpravidla u hlubších hrobů, u mělkých jeho význam klesá (Gunn a Bird, 2011).

3.6 Čeleď Calliphoridae

Bzučivky patří mezi nejběžnější a nejznámější hmyz, který se vyskytuje v různorodých klimatických podmínkách Země. Jsou to obvykle velké druhy much, které jsou často zbarveny do zelena nebo do modra, s kovovým leskem (Hudec a kol., 2007).

Taxonomické zařazení čeledi Calliphoridae v biologické klasifikaci:

Říše:	Animalia
Podříše:	Eumatozoa
Kmen:	Arthropoda
Podkmen:	Hexapoda
Třída:	Insecta
Řád:	Diptera
Podřád:	Brachycera
Čeleď:	Calliphoridae

Čeleď Calliphoridae obsahuje více než 1000 druhů zastoupených ve všech zoogeografických regionech (Campobasso et al., 2001). Šuláková et al. (2014) uvádí až 1100 druhů v 64 rodech, z čehož celkem 8 druhů (v ČR) je uvedeno v Červeném seznamu ohrožených druhů v kategorii zranitelný (Kubík a Povolný, 2005).

V Evropě se vyskytuje 113 druhů této čeledi (Rognes, 2007). Jiný údaj je pak stejným autorem uváděn o několik let později, a to celkem 115 druhů (Rognes, 2013). V České republice je pak různými autory uváděno celkem 61 druhů, z toho 51 v Čechách a 57 na Moravě (Kubík a Országh, 2009; Pavel et al., 2008; Šuláková et al., 2013 a 2014).

Aktivita bzučivek, stejně tak jako u většiny hmyzu, je ovlivněna především intenzitou světla, srážkami, a především teplotou prostředí. Dospělci aktivují a kladou vajíčka od úsvitu do stmívání a jejich aktivita vrcholí kolem poledne. Dokáží ovšem klást vajíčka i pod umělým osvětlením. Teploty jim vyhovují v rozmezí 12–30 °C, diapauza nastává, klesnou-li teploty pod 5 °C. Některé larvy byly aktivní i při teplotách -4 °C. Obecně vyšší teploty urychlují jejich larvální vývoj a smrt pro většinu z nich nastává ve 39 °C, v případě druhu *Calliphora*

vicina

až při 45 °C (Campobasso et al., 2001; Amendt et al., 2008; Mohr a Tomberlin, 2014).

V teplejších oblastech kolem Středozevního moře se většina bzučivek vyskytuje na mrtvolách v prvních dvou stádiích rozkladu během celého roku (Carvalho a Linhares, 2001; Arnaldos et al., 2004). V našich podmínkách jsou bzučivky obvykle aktivní v průběhu teplých měsíců, zhruba od konce jara do podzimu, zimu dospělci přečkávají pod odchlíplou kůrou stromů ve větších počtech (Daněk, 1990; Šuláková, 2014).

Dospělí jedinci jsou obvykle středně velké až velké robustní mouchy, které dosahují délky těla cca od 4 do 16 mm (Kubík a Országh, 2009). Dospělci bývají důležitými ukazateli stupně hygieny, neboť většinou vyhledávají fekálie, maso, krvácející rány apod., což z nich dělá potenciální přenašeče bakterií, virů, prvoků, a tedy různých chorob (Greenberg, 2004).

Nejčastěji se však dospělci živí rostlinným nektarem a jinými cukernými látkami, které jsou obsažené například v přezrálém ovoci, nebo v medovici mšic a mrtvá těla vyhledávají pouze pro případ kladení vajec, resp. pro výživu jejich larev. Samice vyhledávají výkaly

a mršiny z důvodu zvýšené potřeby proteinů, které potřebují pro dozrávání vajíček. Na mrtvolách olizují vytékající rozkladnou tekutinu a na počátku rozkladu také přítomnou krev a další tělní sekrety (Šuláková et al., 2014).

Většina druhů bzučivkovitých je oviparní (vejcorodých), vyskytují se však i druhy larviparní (živorodé). Jejich vajíčka mají protáhlý, oválný tvar, jsou přibližně 1,5 mm dlouhá a samice je kladou vždy ve shlucích v počtu 450-1200 kusů. Larvy jsou bílé, měkké a dorůstají až do velikosti 15 mm. Postupně larvy prochází vývinem a dělí se na tři stádia, tzv. instary. Přibližně po 7-8 dnech – opět záleží na mnoha faktorech – se zakuklí. Kukla má soudečkovitý tvar, barvu obvykle červenohnědou, v zadní části má dvanáct zoubků a nazýváme ji též jako puparium. To tvoří ztvrdlý exoskelet larvy posledního (třetího) instaru, uvnitř kterého se tvoří samotná kukla. Z kukly se za 10-12 dní líhne dospělý jedinec – imago a celý vývojový cyklus tak trvá asi jeden měsíc (Daněk, 1990; Šuláková et al., 2014).

Mouchy z čeledi Calliphoridae mají specializovaná tykadla, pomocí kterých jsou schopny zachytit pachy rozkládajících se těl i na velké vzdálenosti. Této vlastnosti využívají některé rostliny, které se nechávají opylovat zástupci této čeledi, jako je např. květina ze Sardinie a Korsiky *Helicodiceros muscivorus*, která produkuje zápach hniječícího masa. Z angličtiny se jí také říká „Mrtvý kuň Arum“ (Gibernau et al., 2014).

3.6.1 Zástupci čeledi Calliphoridae ve forenzní praxi

Čeď bzučivkovití patří mezi nejdůležitější zástupce hmyzu při stanovení PMI během několika prvních týdnů po smrti (Anderson, 2005). Používají se ke stanovení začátku doby kolonizace, jelikož jsou prvními kolonizátory mrtvých těl a vyskytují se téměř po celém světě (Sharma et al., 2015). Je známo, že samice bzučivek vyhledávají mrtvolu především z důvodu kladení vajíček, časová prodleva mezi přiletem prvních jedinců a naklazením prvních vajíček je minimální, což bývá klíčovým faktorem při stanovování doby kolonizace kadaveru těmito mouchami (Šuláková, 2014).

Dle Šulákové a Bartáka (2013) patří mezi forenzně významné zástupce čeledi Calliphoridae druhy: *Lucilia caesar* (Linnae, 1758), *Calliphora vicina*, *Phormia regina*, *Protophormia terraenovae*, *Lucilia illustris*, *Lucilia ampullacea* (Villeneuve, 1922), *Calliphora vomitoria*, *Lucilia sericata*, *Lucilia silvarum* (Meigen, 1826), a *Cynomya mortuorum* (Linnae, 1761).

K podobným závěrům došlo více vědců, kteří se touto problematikou na mrtvých kadaverech ve střední Evropě zabývali (např. Grassberger a Frank, 2004; Matuszewski et al., 2008). Podobné zastoupení druhů významných ve forenzní praxi udává i Brundage (2008).

Dle Brundage (2008) některé druhy z rodu *Lucilia* mohou vycítit nastávající smrt jedince ještě předtím, než nastane.

Druhové zastoupení je odlišné, záleží na lokalitě, ve které se hmyz vyskytuje. Při terénním pokusu z letních měsíců let 2011-2013 v Hrdlořezech se ukázal jako dominantní druh *Lucilia caesar*, druhý den pak byly nalezeny druhy *Calliphora vicina* a *Calliphora vomitoria*. Třetí den se objevily druhy *Lucilia sericata* a *Protophormia terraenovae* a až čtvrtý den pak druh *Phormia regina*. Pouze na jaře v jedné z pastí byl nalezen druh *Cynomya mortuorum* (Šuláková a Barták, 2013).

Další pokus byl proveden na jaře v Praze v Troji, kde dominantními druhy byly *Phormia regina* a *Protophormia terraenovae*. Méně zastoupenými druhy pak byly *Lucilia caesar* a *Lucilia sericata* (Šuláková a Barták, 2013).

V nejmenším počtu se v případě obou experimentů objevovaly druhy *Lucilia ampullacea* a *Lucilia silvarum*, které v České republice nebyly dosud na lidském těle zaznamenány (Šuláková a Barták, 2013).

Granssberger a Frank (2004), kteří provedli pokus na prasatech v centru rakouského města, zjistili vysoké zastoupení druhu *Calliphora vomitoria* a *Chrysomya albiceps*. Od května do června byl dominantním druhem *Calliphora vomitoria*, následován druhy *Protophormia terraenovae*, *Calliphora vicina* a *Lucilia sericata*. Druh *Calliphora vomitoria* je považován za venkovský druh, který preferuje zastíněná místa. V srpnu se začal na těle objevovat druh *Chrysomya albiceps*, jenž je považován za tropický druh vyskytující se převážně v jižní Evropě.

Velké mouchy bývají aktivní výhradně ve dne, proto najdeme-li na mrtvole nakladená vajíčka v noci nebo brzy z rána, je pravděpodobné, že k zaklazení došlo již předešlého dne (Povolný, 1979).

Zástupci čeledi Calliphoridae, resp. jejich larvy, jsou mimo jiné také známy svou schopností konzumovat nekrotickou či poškozenou tkáň uvnitř ran, čehož je využíváno v lékařství při tzv. larví terapii. Tato metoda je využívána nezávisle na sobě po celém světě, můžeme zmínit např. kmeny Aboridžinců v Austrálii. Za pomoci sterilních larev je tak možné úspěšně léčit chronické i akutní infikované rány, infekce v kostech, abscesy, karbunkuly (hnisavé onemocnění kůže) či vředy (Robinson, 2005).

V angličtině se o zástupcích čeledi Calliphoridae hovoří jako o „blowfly“, kdy tyto mouchy napadají nejen (hnisavé) rány živých živočichů a způsobují jim myiázy (Povolný, 2001).

3.7 Myiáze

Myiáze je parazitární onemocnění zvířat a lidí, které způsobují larvy dvoukřídlého hmyzu (Diptera). Můžeme ho také definovat jako „nákazu živého člověka anebo obratlovce larvami dvoukřídlých, které se alespoň po určité období živí odumřelými anebo živými tkáněmi hostitele, jeho tělními tekutinami anebo tráveninou“. Tato definice z monografie F. Zumpta (1965) *Myiasis in Man and Animals in the Old World: A textbook for Physicians, Veterinarians and Zoologists* (Myiázy lidí a zvířat Starého světa: Učebnice pro lékaře, veterináře a zoology) je platná do současnosti (Šuláková et al., 2014).

Toto onemocnění často poukazuje na případy zanedbání péče či týrání lidí nebo zvířat (Šuláková, 2014). Po naklazení vajíček zástupci této čeledi na hostitele dochází často k zamoření larvami, které se živí jeho odumřelou, ale i živou tkání (Abdel-Hafeez et al., 2015; Demirel Kaya, 2014).

Onemocnění se nejvíce vyskytuje v tropických a subtropických zemích, zejména ve venkovských oblastech, kde bývají lidé v těsném kontaktu se zvířaty (Demirel Kaya, 2014). Dvoukřídlí způsobují také značné škody v zemědělství, zejména v chovu ovcí, a to po celém světě. Například v Anglii jsou nejčastějšími zástupci z této čeledi způsobující myiázy u ovcí druhy *Lucilia sericata*, dále *Lucilia caesar* či *Protophormia terraneovae*, kde způsobují problémy více než 75 % farem (Wall a Lovatt, 2015).

Dospělé samice kladou jednotlivě až dvě stě vajíček na místa, kterými jsou přitahovány, nebo která jsou snáze dostupná (nos, krk, hřbet, končetiny, okolí řitního otvoru). Po vylíhnutí z vajíčka se larva dostává skrz vlnu ke kůži. Larvy, které se během vývoje dvakrát svlékají, se na kůži živí nejprve za pomoci proteolytických enzymů a poté i ústy s háčky, kterými mechanicky poškozují povrch pokožky, a tak narušují kůži. Takto napadené zvíře a larvy, které se na jeho těle živí, lákají silným zápachem další samice ke klazení. U ovcí dochází ke zvyšování tělesné teploty a dechové frekvence spojené se ztrátou hmotnosti a chuti k jídlu. Při rozsáhlejším zamoření zvířete larvami dochází k anémii, následně k celkové sepsi až úhynu. Proto je velice důležitá prevence spočívající v každodenní kontrole zdravotního stavu zvířat (Wall a Lovatt, 2015).

Ve veterinárních případech práce forezního entomologa většinou spočívá ve stanovení doby, kdy došlo k zaklazení postiženého zvířete. Dokazuje to tak mimo jiné

i případ z Velké Británie, kdy došlo k ošetření psa veterinářem, jenž byl napaden larvami much rodu *Lucilia*. Majitel postiženého psa u veterinárního lékaře prohlásil, že ke zranění psa došlo týž den, kdy byl pes k vyšetření dovezen. Nicméně podle vývojového stadia larev vyskytujících se v ráně psa byl majitel usvědčen z jeho týrání, jelikož toto zranění bylo pomocí analýzy larev stanoveno na starší více jak 30-35 hodin. Tím došlo k zanedbání péče a majitel psa byl za tento čin pravomocně odsouzen (Amendt et al., 2011).

Zatímco Demirel Kaya (2014) uvádí, že je pro zahájení léčby myiáz nutné přesně identifikovat larvy parazitující ve tkáních hostitele, Abdel-Hafeez (2015) popisuje obecný postup léčby myiáz spočívající v důkladném odstranění všech viditelných larev z rány a odstranění odumřelé tkáně postiženého. Dále je nutné intenzivní mytí rány antiseptickými roztoky, ránu uchovávat ve sterilním prostředí pomocí obvazů, a nakonec se postiženému nasazují antibiotika proti rozvoji případné sekundární bakteriální infekce.

II Praktická část

4 Materiál a metodika

Metodika práce byla zaměřena na realizaci terénního pokusu, jehož cílem bylo zjistit, zda jsou druhy čeledi Calliphoridae schopné dokončit svůj vývojový cyklus na kadaveru, jenž byl po volné expozici a zaklazení těmito druhy následně zakopán.

Terénní pokus byl proveden v letních měsících roku 2016, během měsíců června až října, vždy ve dvou variantách a čtyřech opakováních. K dodatečnému zakopání (pohřbení) kadaverů došlo v okamžiku, kdy obsahovaly vajíčka, nebo larvy prvního instaru (Obr. č. 1, 2). První varianta představovala kadaver pohřbený volně v zemi („V“) a druhá pak kadaver umístěný před samotným pohřbením do kartonové krabice (vzduchová kapsa) imitující rakev („R“) (Obr. č. 3, 4). Celkem tedy bylo k pokusu použito osm kadaverů kura domácího (*Gallus gallus f. domestica*, Linné, 1758).

Dokončení terénního pokusu spočívalo v odebrání vzorků sledovaného hmyzu, jehož determinaci a určení celkového počtu jednotlivých zástupců provedla plk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D. z Kriminálního ústavu na Praze 1.

Pro práci byl zajištěn také rozbor půdy, který poskytl základní údaje o prostředí, v němž se sledovaný hmyz vyvíjel. Na rozboru půdy se z části podílela autorka této práce, s výsledky pomohl Ing. Miroslav Fér, Ph.D. z fakulty Agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze.

4.1 Popis lokality

Experiment byl realizován na území obce Hradčany (katastrální území Hradčany u Žehuně), okres Nymburk, ve středních Čechách. Zeměpisné souřadnice pozemku, který k experimentu posloužil, jsou 50.157 N, 15.269 E; nadmořská výška 223 m n. m. Použité kadavery byly zakopány na soukromém, kanadskými topoly osázeném pozemku. Stáří topolů v roce 2016 bylo 6 let. Zalesněný pozemek se nachází pod zastavěnou částí obce mezi poli (Obr. č. 5).

Kadavery byly po usmrcení (stětí hlavy) volně exponovány (Obr. č. 6,7) s neomezeným přístupem hmyzu, aby mohlo dojít k zaklazení vajíčky much. Volná expozice proběhla na soukromém pozemku sousedícím s pozemkem, na kterém byly následně zakopány. Jednalo se o zahradu, na níž se nacházely i boxy pro koně a stavba pro prasata. Ve vzorcích tedy nelze vyloučit přítomnost druhů hmyzu, jež jsou spojovány s hospodářskými zvířaty.

4.2 Popis experimentu

Pro uskutečnění experimentu bylo použito celkem 8 slepic kura domácího s průměrnou tělesnou hmotností 1,5 kg. Všechny byly zabity stejným způsobem a v co nejkratším časovém odstupu, aby se minimalizovaly rozdíly a nepřesnosti ve výsledcích.

Volně exponovány byly od odpoledne dne 5. 6. 2016 do večerních hodin dne 6. 6. 2016, celkem tedy cca 30 hodin. Během volné expozice byly kadavery pravidelně sledovány, zda již došlo k zaklazení vajíčky hmyzu, zejména much čeledi Calliphoridae.

Dne 6. 6. 2016, kdy byla na všech kadaverech zaznamenána vajíčka much, bylo provedeno zahrabání kadaverů do předem připravených hrobů. Čtyři zvířata byla zakopána volně v zemi (přímý kontakt kadaveru s půdou bez přístupu vzduchu) a čtyři byla umístěna v kartonové krabici imitující rakev (se vzduchovou kapsou). Krabice měly všechny stejnou velikost a sílu kartonu.

Vzdálenost mezi jednotlivými hroby byla přibližně 13 m vzdušnou čarou. Hloubka hrobů u obou variant se mírně lišila tak, aby nad kadaverem, resp. nad krabicí, bylo vždy cca 25-30 cm zeminy. Hroby pro umístění kadaverů volně v zemi byly hluboké kolem 40 cm, hroby pro uložení kadaverů v kartonové krabici cca 50 cm.

Po zakopání byly hroby pravidelně sledovány, postupem času docházelo ke sléhávání zeminy (obr. č. 8). Do konce trvání experimentu, tedy až do vykopání jednotlivých kadaverů v listopadu 2016, byly hroby ponechány v původním stavu, tzn., že nebyly dodatečně přikryty další vrstvou zeminy, aby se zarovnal slehlá zemina.

Dne 17. 7. 2016 ve večerních hodinách byla nad každý jednotlivý hrob nainstalována emergentní past (Obr. č. 9) o rozměrech základny 1 x 1 m, která měla zachytit případné nově vylíhlé jedince hmyzu, kteří se vyvíjeli na kadaveru a v jeho okolí.

Hlavu každé pasti tvořila PET lahev o objemu 1,5 l, do které byl dne 28. 7. 2016 nalit roztok ve složení 3 ml 36 % formaldehydu a 2 ml detergentu (mycího prostředku „Jaru“) na 1 l vody.

Takto byly pasti ponechány až do 3. 10. 2016, kdy se z lahví odebral roztok obsahující usmrcené jedince hmyzu (Obr. č. 10), jenž byl následně předán plk. Ing. Haně Šulákové, Ph.D. do Kriminálního ústavu na Praze 1 pro determinaci jednotlivých vývojových stádií získaného hmyzu a jeho určení do druhu.

K vykopání kadaverů a následnému odběru entomologického materiálu z kadaverů došlo postupně v průběhu prvního týdne měsíce listopadu 2016 (Obr. č. 11, 12, 13, 14). Tyto vzorky byly zpracovány stejným způsobem jako vzorky z emergentních pastí.

4.3 Odběr vzorků

Entomologický materiál

Kadavery byly v zemi ponechány v období od 6. 6. 2016 až do konce října 2016, resp. k jejich postupnému vykopání došlo v průběhu prvního týdne měsíce listopadu 2016. Byly tedy v zemi uloženy po dobu cca pěti (letních a podzimních) měsíců. Tato doba byla dostatečně dlouhá na to, aby byly larvy čeledi Calliphoridae schopné dokončit svůj vývin.

K odběru vzorků z emergentních pastí nad jednotlivými hroby došlo dne 3. 10. 2016. Pasti byly postupně odinstalovány a obsah z jejich sběrných nádob byl přelit do předem připravených skleněných lahví s pevným uzávěrem. Vzorky tedy byly následující den přepraveny k determinaci v původní podobě (výše uvedený roztok a v něm usmrcený entomologický materiál). S hroby v průběhu trvání experimentu, ani po odstranění emergentních sítí, nebylo nijak manipulováno a byly ponechány v původním stavu až do listopadu, kdy došlo k vykopání kadaverů.

Odběr vzorků entomologického materiálu z prostoru hrobů byl prováděn v průběhu prvního týdne měsíce listopadu 2016, jelikož šlo o činnost poměrně časově náročnou, kdy odebrání vzorků z jednoho hrobu trvalo cca 3 hodiny. Samotný sběr hmyzu, nebo jeho částí, probíhal tak, že zemina tvořící prostředí hrobu byla postupně po malých částech odhrabávána

až k samotnému zbytku kadaveru. Během odhrabávání zeminy byl materiál odebírán pomocí pinzety do plastových nádob, které k tomu byly přímo určené. Nádoby byly rozdělené pro odběr zvláště živého a zvláště mrtvého hmyzu a nesly označení s číslem hrobu (1-4) a variantou uložení kadaveru („R“ = rakev, „V“ = volně), celkem tedy osm nádob s živými vzorky a osm s mrtvými vzorky hmyzu. Takto byla prohledána zemina z celého prostoru každého hrobu.

Půdní vzorky

Vlastnosti půdy ovlivňují výskyt hmyzu a jeho následný vývin. Proto byl také proveden rozbor půdy z oblastí, kde byl proveden terénní experiment. Rozbor měl poskytnout informace o pH, pórovitosti a vzdušnosti půdy.

K samotnému odběru vzorků půdy z jednotlivých hrobů došlo dne 28. 11. 2016.

Pro stanovení půdní reakce (pH) byly odebrány vzorky půdy ze všech hrobů (Obr. č. 15). Vzorky pro stanovení pórovitosti (vzdušnosti) byly odebrány pouze ze čtyř hrobů z důvodu náročnosti jejich odebírání a následného rozboru, přičemž tento počet měl poskytnout dostačující podklady pro vyhodnocení experimentu (Obr. č. 16).

Jednotlivé vzorky byly odebrány do speciálních ocelových nádob, tzv. „Kopeckého válečku“ (Obr. Č. 17), které se za pomoci ocelové tyče a palice zatlukly do půdy. Po zatlučení do země se váleček o objemu 100cm^3 tyče uvolní a poté dojde k jeho vytažení z půdy. Výsledkem je neporušený sloupec zeminy uložený v samotném válečku. Takto odebraný vzorek slouží ke stanovení fyzikálních vlastností půdy, v tomto případě nás bude zajímat celková pórovitost.

Jeden vzorek byl vždy odebrán přímo z hrobu, jeden z jeho těsné blízkosti; oba ve dvou opakováních. Takto odebrané vzorky měly poukázat na rozdílné hodnoty vzdušnosti půdy

za očekávání, že půda odebraná přímo z hrobů bude mít hodnoty vzdušnosti vyšší, než půda neporušená v původním stavu (v těsné blízkosti hrobů).

Válečky byly podobně jako nádoby s hmyzem označeny číslem hrobu (1-4), variantou uložení kadaveru („R“ nebo „V“) a písmenem označujícím dílčí vzorky. Písmena „a“ a „b“ označovala vzorky odebrané přímo z hrobů, označení „c“ a „d“ pak nesly vzorky odebrané

z těsné blízkosti sledovaných hrobů. Vzorky odebrané z hrobů představovaly půdu porušenou (kopání hrobů), a tak byly očekávány vyšší naměřené hodnoty (pórovitosti, provzdušenosti) oproti vzorkům odebraným z těsné blízkosti hrobů, které prezentovaly půdu v původním, neporušeném stavu. Takto bylo odebráno celkem šestnáct vzorků půdy – z každého ze čtyř sledovaných hrobů celkem čtyři vzorky („a“ – „d“).

5 Výsledky

5.1 Odebraný hmyz

Součástí hodnocení byl hmyz zachycený v emergentních pastech nad hroby. Dále hmyz a zbytky hmyzu – živé a uhynulé larvy, exuvie (svlečky larev), plná a prázdná puparia, příp. imaga (dospělci), a to zajištěné v půdním profilu nad kadaverem anebo přímo na kadaveru po jeho vykopání v listopadu 2016.

Zajištěný entomologický materiál – larvy a puparia byly rozděleny do dvou skupin podle varianty experimentů. První skupinou byl hmyz nalezený z kadaverů volně pohřbených a druhou skupinou pak hmyz odebraný z kadaverů pohřbených v krabici se vzduchovou kapsou. Obě skupiny jsou ještě rozděleny na vzorky se živým („Z“) a usmrceným hmyzem („U“).

Zástupci čeledi Calliphoridae a Sarcophagidae se na kadavery dostali během doby, kdy byly kadavery volně exponovány. Nalezení zástupci z čeledi Muscidae se z větší části dostaly na kadavery až po jejich zakopání, tedy k nim aktivně prolezli půdním profilem.

Níže je uveden veškerý z hrobů nalezený hmyz a jeho početní zastoupení včetně dosaženého vývojového stadia v jednotlivých variantách obou experimentů.

5.2 Výsledky rozboru půdy

Jednotlivé vzorky půdy byly odebrány tak, aby byla prozkoumána půda ze všech částí sledované lokality. Půdní typ je v této oblasti hodnocen jako černozem (Obr. č. 18).

Pro stanovení hodnoty pH půdy byly odebrány vzorky ze všech osmi hrobů, kdy bylo naměřeno pH pro vodu v rozmezí 7,43-7,67. Nejnížší hodnota byla naměřena z hrobu „1V“ a nejvyšší pak z hrobu „4R“. Pro KCl byly naměřeny hodnoty v rozmezí 6,80-6,91, kdy nejnížší hodnota byla zjištěna opět z hrobu „1V“ a nejvyšší z hrobu „4R“. Toto rozmezí poukazuje na půdu slabě alkalickou (zásaditou). Kompletní přehled naměřených hodnot pH pro jednotlivé hroby je uveden v tabulce č. 3 v přílohách.

Dále byla sledována pórovitost půdy, která vyjadřuje celkové procentuální množství volného prostoru, který není nijak vyplněn pevnými částicemi půdy. Měření ukázalo, že hodnoty pórovitosti se ve sledované oblasti pohybovaly v rozmezí 54,23-63,14 % u vzorků odebraných přímo z hrobů a v rozmezí 39,67-46,00 % ze vzorků odebraných v těsné blízkosti hrobů. Porovnáme-li pórovitost mezi jednotlivými hroby, nejvyšší najdeme u hrobu s označením „2V“, nejnižší pak u hrobu s označením „3V“, přičemž odebrány byly pouze hroby s označením „1R“, „2V“, „3V“ a „4R“. S pórovitostí je spojena její provzdušenost.

Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. č. 4, 5 a 6 v přílohách.

5.3 Tafonomické změny

Vzhledem k době, po kterou byly kadavery v zemi uloženy, můžeme jejich tafonomické změny popsat následovně:

- V prvním pokusu zbyly ze všech kadaverů po jejich vyzvednutí z hrobů pouze zbytky kostí, přičemž kostra pokusného objektu již byla rozpadlá (pojivové tkáně byly kompletně rozloženy).
- V druhém pokusu byl nález podobný, jako v přechodí variantě. Pojivové tkáně byly kompletně rozloženy a kostra pokusného objektu byla rozpadlá, nicméně nalezeny byly také zbytky opeření. Kadavery v případě tohoto experimentu byly pokryty vrstvou plísň.

V obou experimentech se stupeň rozložení všech kadaverů mezi sebou výrazně nelišil, změny na nich byly téměř totožné ve všech čtyřech opakováních. Rozdíly mezi oběma pokusy byly s největší pravděpodobností způsobené použitou kartonovou krabicí, která rozklad kadaverů ještě více zpomalila.

5.4 Vyhodnocení experimentů

Experiment č. 1

Vzorek „1V“

U kadaveru, který byl zakopán volně v půdě, probíhal vývoj zástupců čeledi Calliphoridae i v době po jeho zakopání.

V tomto hrobě byla nalezena dvě prázdná puparia druhu *Calliphora vomitoria* (Calliphoridae). Z pasti nad hrobem pak byl odebrán usmrcený vzorek, který obsahoval jednoho zástupce (F = female; samice) druhu *Lucilia sericata* (Calliphoridae).

Dále se mezi živými vzorky vyjma čeledi Calliphoridae objevilo 1 plné puparium druhu *Hydrotea ignava* (Muscidae) a 2 plná puparia druhu *Muscina prolapsa* (Muscidae). Mezi usmrcenými pak celkem 187 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae), 16 prázdných puparií zástupců z čeledi Phoridae a 3 imaga drobných zástupců z čeledi Staphylinidae.

V pasti bylo nalezeno ještě 5 zástupců (M = male; samec) druhu *Muscina prolapsa* (Muscidae).

Celkem:

IVZ

- 1 plné puparium *Hydrotaea ignava* (Muscidae, Diptera)
- 2 plná puparia *Muscina prolapsa* (Muscidae, Diptera)

IVU

- 2 prázdná puparia *Calliphora vomitoria* (Calliphoridae, Diptera)
- 187 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)
- 16 prázdných puparií č. Phoridae (Diptera)
- 3 imaga drobných zástupců č. Staphylinidae (Coleoptera)

IV past

- 1 F *Lucilia sericata* (Calliphoridae, Diptera)
- 5 M *Muscina prolapsa* (Muscidae, Diptera)

Vzorek „2V“

V tomto opakování bylo oproti ostatním nalezeno poměrně velké množství dospělých (vylíhlých) jedinců celkem šesti druhů z čeledi Calliphoridae. Jednalo se o usmrcené dospělé jedince z pasti nad hrobem, kteří byli nalezeni v následujícím složení: 7 samců a 21 samic druhu *Lucilia sericata* (Calliphoridae) 1 samec *Lucilia illustris* (Calliphoridae), 2 samci a 6 samic *Protophormia terraenovae* (Calliphoridae), 3 samci a 2 samice *Phormia regina* (Calliphoridae) a po jednom samci *Calliphora vomitoria* (Calliphoridae) a *Pollenia rudis* (Calliphoridae). Z čeledi Muscidae bylo nalezeno 16 samců a 92 samic druhu *Muscina prolapsa*.

Dále byla v půdním profilu nalezena celkem tři puparia, dvě prázdná puparia druhu *Protophormia terraenovae* (Calliphoridae) a jedno prázdné puparium *Lucilia* sp. (Calliphoridae). Zastoupení jedinců *Muscina* sp. (Muscidae) bylo podobné jako u prvního opakování, zde se našlo celkem 163 prázdných puparií.

V živém vzorku bylo nalezeno jedno prázdné puparium *Hydrotaea* sp (Muscidae).

Celkem:

2VZ

- 1 prázdné puparium *Hydrotaea* sp. (Muscidae, Diptera)

2VU

- 2 prázdná puparia *Protophormia terraenovae* (Calliphoridae, Diptera)
- 1 prázdné puparium *Lucilia* sp. (Calliphoridae, Diptera)
- 163 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)

2V past

- 7 M, 21 F *Lucilia sericata* (Calliphoridae, Diptera)
- 1 M *Lucilia illustris* (Calliphoridae, Diptera)
- 2 M, 6 F *Protophormia terraenovae* (Calliphoridae, Diptera)
- 3 M, 2 F *Phormia regina* (Calliphoridae, Diptera)
- 1 M *Calliphora vomitoria* (Calliphoridae, Diptera)
- 1 M *Pollenia rudis* (Calliphoridae, Diptera)

- 16 M, 92 F *Muscina prolapsa* (Muscidae, Diptera)

Vzorek „3V“

V tomto hrobu byl nalezen opět poměrně hojný počet jedinců z čeledi Muscidae. Z půdního profilu bylo nalezeno jedno plné puparium (jako živý vzorek) druhu *Muscina prolapsa* (Muscidae), dále v usmrceném vzorku celkem 174 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae) a 51 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae).

Z pasti bylo odebráno 54 samců a 381 samic druhu *Muscina prolapsa*, 6 samců a 11 samic druhu *Hydrotaea ignava* (oboje čeleď Muscidae).

Past obsahovala pouze jednu samici druhu *Lucilia sericata* z čeledi Calliphoridae, jiní zástupci zde nalezeni nebyli.

Alespoň jeden nalezený dospělý jedinec druhu *Lucilia sericata* (Calliphoridae) je důkazem, že jeho vývoj byl i v tomto případě dokončen. V pasti bylo nalezeno velké množství dospělců čeledi Muscidae, z toho lze usuzovat, že zde těmito mouchami došlo k rozložení larev čeledi Calliphoridae.

Celkem:

3VZ

- 1 plné puparium *Muscina prolapsa* (Muscidae, Diptera)

3VU

- 174 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)
- 51 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae, Diptera)

3V past

- 1 M *Lucilia sericata* (Calliphoridae, Diptera)
- 54 M, 381 F *Muscina prolapsa* (Muscidae, Diptera)
- 6 M, 11 F *Hydrotaea ignava* (Muscidae, Diptera)

Vzorek „4V“

I v tomto opakování byl prokázán dokončený vývin much čeledi Calliphoridae. Konkrétně v tomto hrobě byla v půdním profilu nalezena 3 prázdná puparia *Lucilia* sp. (Calliphoridae) a past obsahovala jednu usmrčenou samici druhu *Luciliasericata* (Calliphoridae).

Ostatní nalezený hmyz patřil k čeledi Muscidae a nalezen byl ještě jeden dospělec *Porcellio* sp. jako živý vzorek (Porcellionidae).

Past obsahovala 8 samců a 43 samic druhu *Muscinaprolapsa* a v půdě bylo nalezeno 145 prázdných puparií *Muscina* sp (Muscidae).

Celkem:

4VZ

- 1 *Porcellio* sp. (Porcellionidae, Isopoda)

4VU

- 3 prázdná puparia *Lucilia* sp. (Calliphoridae, Diptera)
- 145 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)

4V past

- 1 M *Luciliasericata* (Calliphoridae, Diptera)
- 8 M, 43 F *Muscinaprolapsa* (Muscidae, Diptera)

Shrnutí nálezu z experimentu č. 1

V následující tabulce (č. 1) je znázorněn nález zástupců Calliphoridae z experimentu č. 1 (kadavery zakopané volně). Tabulka ukazuje, že největší počet jedinců z čeledi bzučivkovitých byl nalezen ve variantě opakování pokusu „2V“. V hrobě bylo nalezeno celkem 45 jedinců; z toho 44 imag a jedno prázdné puparium. Tato skupina byla druhově nejpočetnější – objeveno bylo dohromady šest druhů sledované čeledi.

Společným nalezeným druhem pro všechna čtyři opakování experimentu byl druh *Calliphoravomitoria*. V ostatních třech variantách bylo nalezeno vždy po jednom dospělci (M i F).

Tab. č. 1: Přehled nalezených druhů čeledi Calliphoridae a jejich jednotlivých stadií z experimentu č. 1 – kadavery pohřbené volně.

	1V	2V	3V	4V
<i>Calliphora vomitoria</i>	2 prázdná puparia	1 dospělec (M)		
<i>Lucilia sericata</i>	1 dospělec (F)	28 dospělců (7 M a 21 F)	1 dospělec (M)	1 dospělec (M)
<i>Lucilia illustris</i>		1 dospělec (M)		
<i>Lucilia sp.</i>		1 prázdné puparium		3 prázdná puparia
<i>Protophormia terraenovae</i>		8 dospělců (2 M a 6 F), 2 prázdná puparia		
<i>Phormia regina</i>		5 dospělců (3 M a 2 F)		
<i>Pollenia rudis</i>		1 dospělec (M)		

Experiment č. 2

Vzorek „1R“

V tomto hrobě nebyli nalezeni žádní zástupci z čeledi Calliphoridae, i když se jednalo o variantu kadaveru v krabici se vzduchovou kapsou. Všechny kadavery byly před svým pohřbením zaklady vajíčky much. Z tohoto lze usuzovat, že pokud se na kadaveru nacházela i vajíčka bzučivkovitých, mohlo dojít k jejich likvidaci například dravými larvami čeledi Muscidae, jejichž imaturní (nově vylíhli – pohlavně nevyspělí) dospělci zde byli nalezeni

i přesto, že se jednalo o variantu v krabici, což poukazuje na fakt, že jejich larvy pravděpodobně byly schopny překonat bariéru v podobě kartonové krabice během své migrace půdním profilem k pohřbenému kadaveru.

Tento hrob obsahoval 5 zástupců druhu *Muscina prolapsa* (Muscidae) z emergentní pasti, dále 1 larvu čeledi Staphylinidae a 4 larvy *Porcellio* sp. (Porcelionidae), které byly odebrány jako živý vzorek. Mrtvý vzorek obsahoval 21 prázdných pupárií *Muscina* sp. (Muscidae), 17 prázdných pupárií *Hydrotaea* sp. (Muscidae), 36 prázdných pupárií čeledi Phoridae a 3 larvy čeledi Elateridae.

Celkem:

1RZ

- 1 larva č. Staphylinidae (Coleoptera)
- 4 *Porcellio* sp. (Porcelionidae, Isopoda)

1RU

- 21 prázdných pupárií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)
- 17 prázdných pupárií *Hydrotaea* sp. (Muscidae, Diptera)
- 36 prázdných pupárií č. Phoridae (Diptera)
- 3 larvy č. Elateridae (Coleoptera)

1R past

- 3 M, 2 F *Muscinaprolapsa* (Muscidae, Diptera)

Vzorek „2R“

Ve druhém opakování pokusu s krabicí byl nalezen hmyz patřící do pěti čeledí, včetně jednoho zástupce čeledi Calliphoridae.

Jednalo se o 176 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae), 5 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae), 16 prázdných puparií čeledi Phoridae. V půdě byla nalezena jedna larva čeledi Elateridae a jedno imago čeledi Staphylinidae.

Past ukryvala 109 samců a 381 samic druhu *Muscinaprolapsa* (Muscidae) a také jednoho zástupce druhu *Luciliasericata* ze sledované čeledi bzučivkovitých.

Zdá se, že i v tomto experimentu, kdy byl pohřbený kadaver uložen v krabici, došlo k dokončení vývoje bzučivek.

Celkem:

2RZ

- 34 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)

2RU

- 142 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)
- 5 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae, Diptera)
- 16 prázdných puparií č. Phoridae (Diptera)
- 1 larva č. Elateridae (Coleoptera)
- 1 imago č. Staphylinidae (Coleoptera)

2R past

- 1 M *Luciliasericata* (Calliphoridae, Diptera)
- 109 M, 381 F *Muscinaprolapsa* (Muscidae, Diptera)

Vzorek „3R“

V tomto opakování varianty s krabicí nebyli nalezeni žádní zástupci ze sledované čeledi, pravděpodobně tedy jejich vývoj zde nebyl dokončen.

Nalezeno bylo v půdním profilu 70 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae), 26 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae), jedno plné puparium *Fanniascalaris* (Fanniidae), 16 prázdných puparií čeledi Phoridae; dále 4 larvy čeledi Elateridae, 1 larva čeledi Cantharidae, 3 imaga čeledi Staphylinidae.

Z pasti bylo odebráno 17 usmrcených samic druhu *Muscinaprolapsa* (Muscidae).

Celkem:

3RZ

- 1 prázdné puparium *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)

3RU

- 69 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)
- 26 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae, Diptera)
- 1 plné puparium *Fanniascalaris* (Fanniidae, Diptera)
- 16 prázdných puparií č. Phoridae (Diptera)
- 4 larvy č. Elateridae (Coleoptera)
- 1 larva č. Cantharidae (Coleoptera)
- 3 imaga č. Staphylinidae (Coleoptera)

3R past

- 17 F *Muscinaprolapsa* (Muscidae, Diptera)

Vzorek „4R“

V tomto hrobě bylo mimo jiné nalezeno v živém vzorku jedno imago čeledi Staphylinidae, dále 35 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae), 9 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae), 18 prázdných puparií čeledi Phoridae a jedna larva čeledi Cantharinidae.

Z pasti bylo odebráno 45 samců a 137 samic druhu *Muscina prolapsa* (Muscidae) a také 2 samice druhu *Lucilia sericata* z čeledi bzučivkovitých.

V tomto opakování byl tedy vývoj sledované čeledi úspěšně dokončen.

Celkem:

4RZ

- 1 imago č. Staphylinidae (Coleoptera)

4RU

- 35 prázdných puparií *Muscina* sp. (Muscidae, Diptera)
- 9 prázdných puparií *Hydrotaea* sp. (Muscidae, Diptera)
- 18 prázdných puparií č. Phoridae (Diptera)
- 1 larva č. Cantharidae (Coleoptera)

4R past

- 2 F *Lucilia sericata* (Calliphoridae, Diptera)
- 45 M, 137 F *Muscina prolapsa* (Muscidae, Diptera)

Shrnutí nálezu z experimentu č. 2

Tabulka č. 2 znázorňuje nález z hrobů z druhého experimentu (kadavery pohřbené v krabici).

Ve druhém experimentu byl objeven pouze jeden druh z čeledi Calliphoridae, a to druh *Luciliasericata*. Nevyskytoval se všech čtyřech variantách, ale pouze ve dvou („2R“ a „4R“). Celkem byla nalezena jen 3 imaga tohoto druhu.

Tab. č. 2: Přehled nalezených druhů čeledi Calliphoridae a jejich jednotlivých stadií z experimentu č. 2 – kadavery pohřbené v krabici.

	1R	2R	3R	4R
<i>Luciliasericata</i>		1 dospělec (M)		2 dospělci (F)

6 Diskuze

Cílem této práce bylo potvrdit nebo vyvrátit původní předpoklad, že mouchy (resp. larvy) čeledi Calliphoridae nejsou schopny dokončit svůj vývoj na pohřbeném kadaveru. Byly tak provedeny dva experimenty, kdy v jednom z nich byly sledované larvy v přímém kontaktu s půdou (bez přístupu vzduchu) a ve druhém byly spolu s kadaverem uloženy do kartonové krabice, která vytvářela kolem kadaverůvzduchovou kapsu.

V prvním experimentu bylo nalezeno celkem 8 prázdných puparií a 18 dospělců šesti druhů čeledi Calliphoridae (*Lucilia sericata*, *Lucilia illustris*, *Protophormia terraenovae*, *Phormia regina*, *Calliphora vomitoria* a *Pollenia rudis*). K nálezu imaturních dospělců došlo vždy v každém z opakování pokusu.

Ve druhém experimentu byli nalezeni pouze tři nově vylíhlí dospělci, a to pouze ze dvou opakování varianty s krabicí, ve dvou dalších opakováních k nálezu zástupců této čeledi nedošlo. Nalezen byl druh *Lucilia sericata*. Druhové zastoupení čeledi Calliphoridae bylo pravděpodobně ovlivněno ještě před uložením kadaverů pod zem, před dodatečným zakopáním, kdy jednotlivé pokusné objekty mohly být zakladeny různými druhy v různém poměru.

Ve vztahu k druhové skladbě čeledi Calliphoridae, nejvíce byl v prvním experimentu v podobě dospělců zastoupen druh *Lucilia sericata* (31 imag), dále bylo početné zastoupení druhů v následujícím pořadí: *Protophormia terraenovae* (8 imag), *Phormia regina* (5 imag), *Calliphora vomitoria* (1 imago), *Lucilia illustris* (1 imago) a *Pollenia rudis* (1 imago).

Ve druhém experimentu se objevil pouze druh *Lucilia sericata* (3 imaga), žádný jiný.

Druh *Lucilia sericata* se tak v tomto případě může jevit jako nejodolnější.

Dokončení vývoje zástupců z této čeledi indikuje také značné množství nalezených prázdných puparií v prvním experimentu. Ve druhém experimentu byli nalezeni pouze vylíhlí dospělci z pastí nad hrobem, prázdná puparia nalezena nebyla. Jako významné se ukazuje zjištění, že u volně (kontakt se zeminou) zakopaných kadaverů může dojít k degradaci larev, kdy nemusejí být larvy nebo jejich zbytky v půdním profilu či na těle vůbec nalezeny. Z tohoto důvodu by mohlo být po nějaké době nemožné dokázat, že s tělem bylo manipulováno a že bylo dodatečně zakopáno.

Je nutno též poznamenat, že některé larvy ze sledované čeledi mohly být zredukovány larvami dalších druhů nekrofágního hmyzu, jež byly na kadaverech přítomné (čeleď Muscidae, Phoridae aj.).

Vývin larev na zakopaných kadaverech také ovlivňuje vlastnosti půdy. Půdní typ byl v obou případech experimentů hodnocen jako černozem, z tohoto pohledu tedy byly podmínky pro vývoj larev ve všech variantách podobné.

V prvním provedeném experimentu došlo ve všech opakováních k nálezu vylíhnutých dospělců i puparií. Půdní reakce pravděpodobně nijak významně vývoj larev neovlivnila, resp. nezpůsobila výrazné rozdíly ve vývoji larev mezi oběma variantami všemi opakováními, jelikož ve všech sledovaných hrobech byly její hodnoty dosti podobné, kdy půda byla ve všech případech hodnocena jako slabě zásaditá. Dalším půdním faktorem je pórovitost a s ní spojená vzdušnost. Z naměřených hodnot byla pórovitost nejvyšší u varianty „2V“, kde se také našlo nejvíce vylíhnutých jedinců ze všech variant prvního experimentu. Také v tomto opakování bylo nalezeno největší druhové zastoupení čeledi Calliphoridae (celkem 6 druhů). Naopak nejnižší pórovitost byla naměřena u varianty „3V“, kde byl nalezen pouze jeden dospělec zástupce sledované čeledi, tedy ze všech opakování prvního pokusu nejméně. Je tedy možné brát pórovitost jako důležitý faktor, který vývin larev ovlivňuje. Obecně platí, že čím vyšší půdní pórovitost (vzdušnost) je, tím půda obsahuje větší množství kyslíku a jsou tak zajištěny výhodnější podmínky pro vývoj larev.

Ve druhém provedeném experimentu došlo ve dvou opakováních k nálezu vylíhnutých dospělců a ve dvou opakováních k nálezu dospělců (ani puparií) nedošlo. I v tomto pokusu půdní reakce pravděpodobně nijak významně vývoj neovlivnila, neboť půda byla ve všech případech také hodnocena jako slabě zásaditá. Půdní pórovitost u druhého experimentu pravděpodobně nesehrála tak důležitou roli, jako u experimentu prvního. Sledovaný hmyz se totiž v druhém pokusu vyvíjel na kadaveru, který byl uložený v kartonové krabici a byl tak v prvních fázích vývoje larev zajištěn dostatek vzduchu ve všech čtyřech opakováních. Pórovitost tedy mohla ovlivnit až následnou migraci larev půdním profilem vzhůru. Nicméně larvy v tomto experimentu musely překonat překážku v podobě krabice během své migrace půdním profilem, což mohlo zásadním způsobem ovlivnit jejich schopnost vývin dokončit. V případě neschopnosti larev tuto překážku překonat, mohlo dojít k jejich redukci ostatními hmyzími druhy. Tyto domněnky podporuje výše zmíněný nález z tohoto pokusu.

Pro příští opakování podobného experimentu by bylo vhodné zajistit hodnoty pórovitosti půdy ze všech sledovaných hrobů, jelikož ta se může jevit jako podstatný faktor ovlivňující vývoj larev na volně zakopaných kadaverech.

Úspěšnost nekrofágního hmyzu dokončit svůj vývoj na pohřbených kadaverech nepochybně také ovlivňuje doba, která uplynula od smrti jedince do zakopání jeho těla pod zem. V tomto případě platí tvrzení, že je-li tělo zakopáno později (tedy je-li delší doba volně přístupné), jsou na něm nalézána vývojově starší stadiasledovaného hmyzu (např. larvy II. a III. instaru oproti vajíčkům). Tak je pravděpodobnost dokončení vývoje tohoto hmyzu po zakopání vyšší (Balme et al., 2012). V našich experimentech byly pokusné kadavery hmyzu volně přístupné cca 30 hodin před jejich zakopáním a byla tak na nich nalezena pouze vajíčka (nikoliv larvy). To znamená, že vývoj těchto jedinců probíhal z větší části pod zemí.

Výzkumů, které by se zabývaly schopností much čeledi Calliphoridae přežít a dokončit svůj vývin na pohřbených tělech, není v současnosti mnoho. Výsledky z obou vlastních experimentů neodporují údajům většiny autorů (např. Smith, 1986; Daněk, 1990; Gunn, 2006) zabývajících se problematikou kolonizace kadaveru pod zeminou uvádí, že čeleď Calliphoridae není běžně schopna vývoje pod zemí a nepodílí se standardně na jejich rozkladu. Nicméně např. Gunn a Bird (2011) uvádí, že při zakrytí kadaveru tenkou vrstvou kypré půdy se na nich čeleď Calliphoridae vyskytnout může. Jejich vývin je možný v případě, že zde naleznou dostatek substrátu, na kterém by se mohli jejich larvy živit a vyvíjet. Tyto údaje potvrzují naše výsledky, které prokázaly, že vrstva zeminy na dodatečně pohřbených kadaverech, neznamená jednoznačné přerušování vývojových cyklů čeledi Calliphoridae.

Z pozorování několika dalších autorů (Fremdt a Amendt, 2014; Gunn a Bird, 2011) je všeobecně známo, že larvy (i ty, kterým se podařilo vývin dokončit), odlézaly od kadaveru vertikálním směrem k povrchu, pod nímž se kuklily. Gunn a Bird (2011) zároveň poukazují na kuklení larev v půdním profilu v závislosti na hloubce. Udávají, že larvy, které neprošly dodatečným zakopáním, se nejčastěji kuklily v hloubce 2-4 cm pod půdním povrchem. Naopak larvy, které byly spolu s kadaverem zakopány (v tomto případě 10 a 20 cm pod povrchem), se kuklily řádově o několik centimetrů níže. Toto bylo potvrzeno i v našich experimentech, kdy byla prázdná puparia nalézána v celém průřezu půdního profilu nad kadaverem, kdy nejvíce jich bylo nalezeno v hloubce cca do 5 cm pod povrchem.

Problematika vývoje nekrofágního hmyzu pod půdním povrchem, především čeledi Calliphoridae, zůstává v současné době nadále nedokonale popsána. Naše výsledky však poukazují na možnost zástupců této čeledi svůj vývin pod zemí dokončit. Je však potřebné, aby bylo v budoucnosti na toto téma provedeno výzkumů více, které by přinesly nové poznatky.

7 Závěr

- Dokončení vývoje larev čeledi Calliphoridae je možné pouze v případě zajištění vhodných podmínek (dostatečné množství substrátu, podnebí, vlastnosti půdy aj.).
- Důležitým faktorem ovlivňujícím vývin larev čeledi Calliphoridae pod zemí je pórovitost půdy, resp. obsah kyslíku v půdním profilu.
- Uložení kadaveru do krabice před jeho zakopáním negativně ovlivnilo následný vývoj larev čeledi Calliphoridae, i když původním předpokladem byl opačný efekt.
- Nález jedinců čeledi Calliphoridae, kteří úspěšně dokončili vývoj na pohřbeném kadaveru, nemůže sám o sobě říci, kdy k zakopání tohoto těla došlo.
- Nejodolnějším se v těchto experimentech z čeledi Calliphoridae jevil druh *Lucilia sericata*.
- Výsledky této práce vyvrátily základní hypotézu. V obou experimentech byl totiž potvrzen nález dospělců čeledi Calliphoridae, jenž byli všichni imaturní, tzn. nově vylíhli. Lze tedy konstatovat, že larvy čeledi Calliphoridae jsou na dodatečně pohřbených kadaverech schopné dokončit svůj vývoj.

8 Seznam literatury

- Abdel-Hafeez, E.H., Mohamed, R.M., Belal, U.S. et al. 2015. Human wound myiasis caused by *Phormia regina* and *Sarcophaga haemorrhoidalis* in Minia Governorate, Egypt. *Parasitology Research*. (114). 3703-3709 p.
- Amendt, J., Richards, C. S., Campobasso, C. P., Zehner, R., Hall, M. J. R. 2011. Forensic entomology: applications and limitations. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 7 (4). 379 – 392 p.
- Anderson, G. S. 2005. Effects of arson on forensic entomology evidence. *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 38 (2). 49 – 67 p.
- Arnaldos, M.I., Romera, E., Presa, J.J., Luna, A., García, M.D. 2004. Studies on seasonal arthropod succession on carrion in the southeastern Iberian Peninsula. *Int. J. Legal Med*. 118. 197–205.
- Balme, G. R., Denning, S. S., Cammack, J.A., Watson, D.W. 2012. Blow flies (Diptera: Calliphoridae) survive burial: Evidence of ascending vertical dispersal. *Forensic Science International*, 216 (1 - 3). 1 - 4
- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. 1997. *Ekologie; jedinci, populace a společenstva*. Olomouc: Univerzita Palackého. 949 p. ISBN: 80-7067-695-7.
- Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International*. 120. 2-14.
- Bourel, B., Tournel, G., Hédouin, V., Gosset, D. 2004. Entomofauna of buried bodies in northern France. *International Journal of Legal Medicine*. 118. 215-220.
- Brundage, A. 2008. *Calliphoridae*. Texas A&M University. College Station. p. 13-15.
- Campobasso, C. P., Di Vella, G., Introna, F. 2001. Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic Science International*, 120 (1-2): p. 18-27.
- Byrd, J. H., Castner, J. L. 2010. *Forensic entomology: The utility of Arthropods in legal investigations*. Second edition. CRC press. Boca raton. 681 s. ISBN.:9780849382153.
- Catts, E. P. 1992. Problems in Estimating the Postmortem Interval in Death Investigations. *Journal of Agricultural Entomology*. 1992 (4). 245-255.
- Daněk, L. 1980. Možnosti využití entomologie v kriminalistice. *Čs. Kriminalistika XIII*. č. 1. 44–46.
- Daněk, L. 1990. *Možnosti využití entomologie v kriminalistice*. Praha: Kriminalistický ústav VB, 21.

- Demirel-Kaya, F., Orkun, O., Cakmak, A., Inkaya, A.C., Erguven, S. 2014. Cutaneous myiasis caused by *Sarcophaga* spp. larvae in a diabetic patient. *Mikrobiyol Bul* 48:356–361.
- Eliášová, H., Šuláková, H. 2012. Forezní biologie. In: Štefan, J., Hladík, J. a kol. *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Grada Publishing, Praha. 281-325. ISBN: 978-80-247-3594-8.
- Fremdt, H., Amendt, J. 2014. Species composition of forensically important blow flies (Diptera: Calliphoridae) and flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) through space and time. *Forensic science international*. 236. 1 - 9.
- Gennard, D. E. 2007. *Forensic entomology: An Introduction*. First edition. Wiley. University of Lincoln. UK: Wiley. 244 p. ISBN: 978-0-470-01478-3.
- Gibernau, M. and Roger, S. 2014. "Pollination success of the Corsican *Helicodiceros muscivorus* (Araceae)." *Aroideana* 37. 61-71.
- Goff, M. L., Charbonneau, S., Sullivan, M. 1991. Presence of fecal material in diapers as a potential source of error in estimations of postmortem interval using arthropod development rates. *Journal of Forensic Science*. 36 (5). 1603 - 1606 p.
- Grassberger, M., Frank, C. 2004. Initial Study of Arthropod Succession on Pig Carrion in a Central European Urban Habitat. *Journal of Medical Entomology* 41 (3): 511-523 p.
- Greenberg, J., 2004. *Many more than we know: insects. A Natural History of the Chicago Region*. University of Chicago Press. p. 291-316.
- Gullan, P. J., Cranston, P. S. 2005. *The insects: an outline of entomology*. Blackwell Publishing. 3. vydání. Malden, MA. 505. ISBN: 978-1-4051-1113-3.
- Gunn, A. 2006. *Essential Forensic Biology*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester. p. 285. ISBN: 978-0470-01277-2.
- Gunn, A., Bird J. 2011. The ability of blowflies *Calliphora vomitoria* (Linnaeus), *Calliphora vicina* (Rob-Desvoidy) and *Lucilia sericata* (Meigen) (Diptera: Calliphoridae) and muscid flies *Muscina stabulans* (Fallén) and *Muscina prolapsa* (Harris) (Diptera: Muscidae) to colonise buried remains. *Forensic Science International*. 207. 198-204.
- Gruner, S.V, Slone, D.H., Capinera, J.L. 2007. Forensically Important Calliphoridae (Diptera) Associated with Pig Carrion in Rural North-Central Florida. *J. Med. Entomol.* 44(3). 509–515.
- Hudec, K., Kolibáč, J., Laštůvka, Z., Peňáz, M. a kol., 2007. *Příroda České republiky, průvodce faunou*. Academia. 1 vydání. Praha. ISBN: 978-80-200-1569-3.
- Iancu, L., Pârvu, C. 2013. Necrophagous entomofauna (Diptera, Coleoptera) on *Meles Meles* (L.) (Mammalia: Mustelidae) carcasses within different conditions of exposure in Bucharest (Romania). *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*. 56 (1). 45-63.

- Karapazarlioglu, E., Disney R. H. L. 2015. First record of forensic species *Conicera similis* (Haliday, 1833) (Diptera:Phoridae) on exhumed rabbit carcasses in Turkey. 2015. *European Scientific Journal*. 11(9). 13-16.
- Kelly, J., Van Der Linde, T., Anderson, G. 2009. The Influence of Clothing and Wrapping on Carcass Decomposition and Arthropod Succession During the Warmer Seasons in Central South Africa. *Journal of forensic sciences.*, 54 (5), stránky 1105-1112.
- Knipling, E. B., Sullivan, W.N. 1957 Insect mortality at low temperatures. In: Smith, K.G.V. 1986. *Manual of forensic entomology*. British Museum. Natural History. London. 13–35.
- Kubík, Š., Povolný, D. 2005. Calliphoridae (bzučivkovití). In: Farkač J., Král D., Škopík M. (eds), *Červený seznam ohrožených druhů České republiky*. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR Praha. s. 363-364.
- Laupy, M. 1994. Post mortem interval a nekrofilní mouchy. *Kriminalistika*, 27 (2). 121 - 135.
- Lundt, H. 1964. In: Smith, K. G. V. 1986. *A Manual of Forensic Entomology*. The Trustees of British Museum (Natural History). London.
- Mariani, R., García-Mancuso, R., Varela, G. L., Inda A. M. 2014. Entomofauna of a buried body: Study of the exhumation a human cadaver in Buenos Aires, Argentina. *Forensic Science International*. 237. 19-26.
- Matoba, K., Terazawa, K. 2008. Estimation of the time of death of decomposed or skeletonized bodies found outdoors in cold season in Sapporo city, located in the northern district of Japan. *Legal Medicine* 10. 78–82.
- Matuszewski, S., Bajerlein, D., Konwerski, D., Szpila, K. 2008. An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. *Forensic Science International*. 2008 (180). 61-69.
- Megnin, J. P. 1894. *La Faune des Cadavres. Application de l'entomologie ala médecine légale*. Encyclopedie scientifique des Aides-Mémoire, Masson. Paris Gauthier-Villarsi Paris. 214 p.
- Mohr, R. M., Tomberlin, J. K. 2014. Environmental Factors Affecting Early Carcass Attendance by Four Species of Blow Flies (Diptera: Calliphoridae) in Texas. *Journal of Medical Entomology*. 51 (3). 702-708.
- Motter, G. M. 1898. A contribution to the study of the fauna of the grave. A study of on hundred and fifty disinterments, with some additional experimental observation. *New York Entomological Society*. 6 (4). 201-231.
- Pavel, L. a kol.: *Geologie a půdoznalství*. VŠZ Praha 1984.

- Pavel, V., Chutný, B., Petrusková, T. and Petrusek, A. 2008: Blow fly *Trypocalliphora braueri* parasitism on Meadow Pipit and Bluethroat nestlings in Central Europe. *J. Ornithol.*, 149: 193-197.
- Payne, J. A., King, E. W., Beinhart, G. 1968. In Smith, K. G. V. 1986. *A Manual of Forensic Entomology*. The Trustees of British Museum (Natural History). London.
- Povolný, D. 1978. Hmyz v kriminologii. *Vesmír*. 57. 205-208.
- Povolný, D. 1979. Někteřá hlediska praktického využití hmyzu v kriminalistice. *Kriminalistický sborník*, č. 10, str. 620-632.
- Povolný, D. 2001. Návraty tropických bzučivek: Invaze bzučivky *Chrysomya albiceps* do České republiky a její význam ve forenzní entomologii. *Vesmír* 80. 622–624.
- Robinson, W. H. 2005. *Urban Insect and Arachnids: A Hand Book of Urban Entomology*. Cambridge University Press. Cambridge. 458 s. ISBN: 100-521-81253-4.
- Rodriguez, W., C., Bass, W., M. 1985. In: Campobasso, C. P., Vella, G., D., Introna, F. 2001 *Factors affecting decomposition and Diptera colonization*. *Forensic Science International*. 120. 18-27.
- Sharma, R., Garg, R. K., Gaur, R. J. 2015. Various methods for the estimation of the post mortem interval from Calliphoridae: A review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. 2015 (5). 1-12.
- Schroeder, H., Klotzbach, H., Püschel K. 2003. Insects' colonization of human corpses in warm and cold season . *Legal Medicine*. 5. 372–374.
- Smith, K. G. V. 1986. *A Manual Of Forensic Entomology*. Cornell University Press. London. p. 205. ISBN: 0-565-00990-7.
- Šuláková, H. 2006. Speciální biologie: Využití hmyzu při stanovení post mortem intervalu. *Kriminalistický sborník* 3/2006, 36–37.
- Šuláková, H. 2012. Forenzní entomologie. In: Štefan, J., Hladík, J. a kol (eds). *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Grada Publishing, a.s. Praha. s. 315-321. ISBN: 978-80-247-3594-8.
- Šuláková, H. and Barták, M. 2013. Forensically important Calliphoridae (Diptera) associated with animal and human decomposition in the Czech Republic: preliminary results. *Čas. Slezské muzeum Opava*. 62: 255-266.
- Šuláková, H., Rognes, K., Barták, M., Kubík, Š. 2013. Calliphoridae (Diptera) of Vraž nr. Písek (Czech Republic). In: Kubík Š. and Barták M. (eds): *Sborník prací z mezinárodního workshopu „Workshop on biodiversity, Jevany“*, Česká zemědělská univerzita v Praze: 381-388.
- Šuláková H., Gregor F., Ježek, J., Tkoč, M. 2014. Nová invaze do našich obcí a měst: koutule *Clogmia albipunctata* a problematika myiáz. *Časopis Živa* 1/2014. Praha. s29.

Voss, S. C., Cook, D. F., Dadour, I. R. 2011. Decomposition and insect succession of clothed and unclothed carcasses in Western Australia. *Forensic Science International*. 2011 (211). 67-75.

Elektronické zdroje:

Fürbach, M. Farma na mrtvoly. Podívejte se, co dokáží brouci a slunce s lidským tělem [online]. *Technet.cz*. Změněno: 11. června 2008 [citováno 2017-04-08].

Dostupné z: http://technet.idnes.cz/farma-na-mrtvoly-podivejte-se-co-dokazi-brouci-a-slunce-s-lidskym-telem-1mp-/tec_tecnika.aspx?c=A080610_170447_tec_tecnika_fur

Kubík, Š. and Országh, I. 2009. Calliphoridae Brauer and Bergenstamm, 1880. In: Jedlička L., Kúdela M. and Stloukalová V. (eds): Checklist of Diptera of the Czech Republic and Slovakia. Electronic version 2. [citováno 2017-04-03].

Dostupné z: <http://zoology.fns.uniba.sk/diptera2009>

Rognes, K. 2013: Fauna Europaea: Calliphoridae In: Pape T. (ed.): Fauna Europaea: Diptera, Brachycera. Fauna Europaea version 2.6.2. Most data not changed since 2010 [citováno 2017-04-03].

Dostupné z: <http://www.faunaeur.org>

Šuláková, H. 2014. Forezní entomologie – když smrt je začátek. *Živa*. 2014 (5). 250-256 [citováno 2017-01-26].

Dostupné z: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/forezni-entomologie-kdyz-smrt-je-zacatek.pdf>

Wall, R. and Lovatt, F. *Blowfly strike: biology, epidemiology and control*. DOI: 10.1136/inp.h1434. ISBN 10.1136/inp.h1434 [citováno 2017-18-02].

Dostupné z: <http://inpractice.bmj.com/lookup/doi/10.1136/inp.h1434>

9 Přílohy

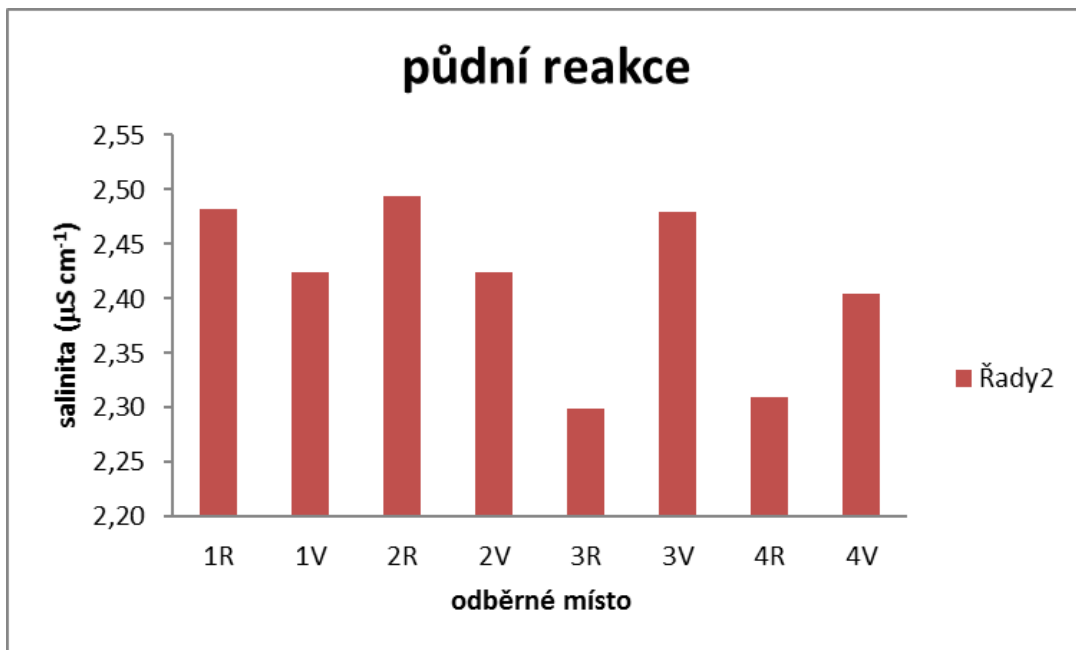
Tab. č. 3: Hodnoty pH půdy, salinita, specifická hmotnost.

Vzorek	Specifická hmotnost	Salinita	pH H ₂ O	pH KCl
1R	2,48	275,5	7,59	6,87
1 V	2,42	570,5	7,43	6,80
2 R	2,49	349,0	7,49	6,83
2 V	2,42	345,5	7,56	6,84
3 R	2,30	306,5	7,64	6,90
3 V	2,48	494,0	7,46	6,84
4 R	2,31	298,5	7,67	6,91
4 V	2,40	379,5	7,54	6,82

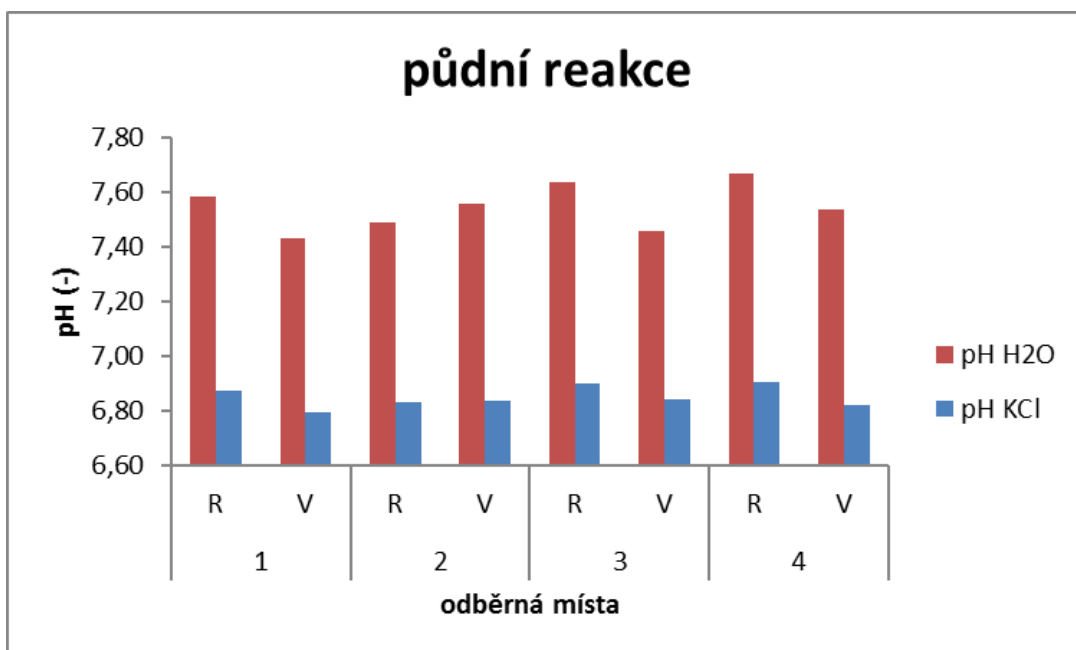
Tab. č. 4: Hodnoty pórovitosti půdy.

	Pórovitost (%)
1Ra	62,56
1Rb	61,48
1Rc	45,67
1Rd	46,00
2Va	58,95
2Vb	63,14
2Vc	41,52
2Vd	40,83
3Va	59,43
3Vb	54,23
3Vc	43,81
3Vd	44,99
4Ra	56,14
4Rb	55,67
4Rc	39,67
4Rd	40,44

Tab. č. 5: Půdní reakce – salinita.



Tab. č. 6: Půdní reakce – pH.



Obr. č. 1: Detail vajíček nakladených mouchami čeledi Calliphoridae na kadaveru (6.6.2016).



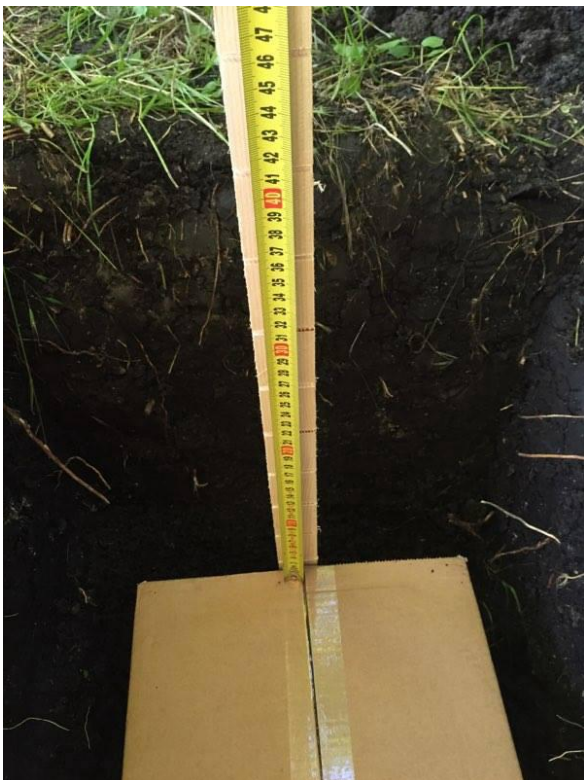
Obr. č. 2: Detail vajíček nakladených mouchami čeledi Calliphoridae na kadaveru (2).



Obr. č. 3: Kadaver uložený volně (varianta „V“) před jeho zakopáním (6.6.2016).



Obr. č. 4: Kadaver uložený v krabici imitující rakev (varianta „R“) před jeho zakopáním.



Obr. č. 5: Mapa pozemku – umístění jednotlivých hrobů (Zdroj: www.mapy.cz).



Obr. č. 6: Kadavery při volné expozici (5.6.2016).



Obr. č. 7: Mouchy čeledi Calliphoridae na exponovaném kadaveru (5.6.2016).



Obr. č. 8: Stav hrobu ze dne 25.6.2016 – slehlá zemina.



Obr. č. 9: Nad hrobem nainstalovaná emergentní past s roztokem ze dne 17.7.2016.



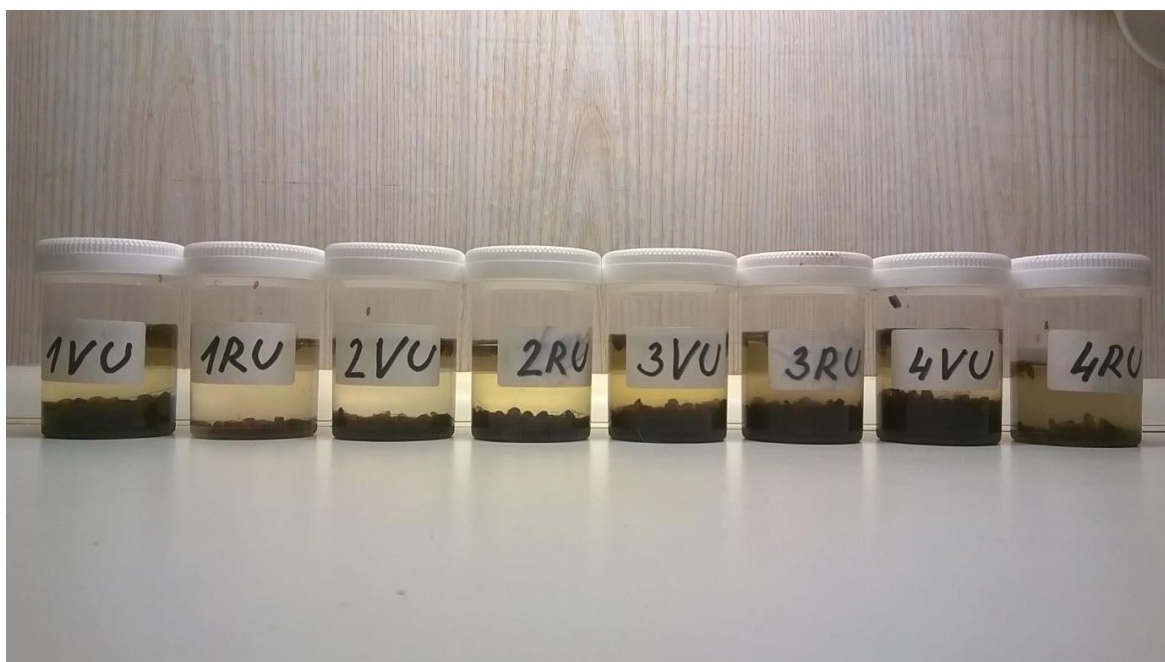
Obr. č. 10: Vzoroký entomologického materiálu v roztoku odebraném z emergentních pastí (3.10.2016).



Obr. č. 11: Detail nalezených prázdných puparií much čeledi Muscidae (4.11.2016).



Obr. č. 12: Vzorčky usmrceného entomologického materiálu v roztoku odebraném z hrobů (4.11.2016).



Obr. č. 13: Vzorky živého entomologického materiálu v roztoku odebraném z hrobů (4.11.2016).



Obr. č. 14: Detail nalezených prázdných puparií v odběrové nádobě.



Obr. č. 15: Odebrané vzorky půdy z jednotlivých hrobů pro stanovení hodnoty pH.



Obr. č. 16: Odběr vzorků půdy pomocí Kopeckého válečku (28.11.2016).



Obr. č. 17: Odebrané vzorky v Kopecského válečcích.



Obr. č. 18: Mapa zobrazující typy půd v oblasti Prahy a Středočeského kraje (Zdroj: web MZP).

