

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv ponoření kadáveru do vody na následnou migraci larev
před kuklením**

Bakalářská práce

Kristýna Stašíková

Speciální chovy

prof. RNDr. Miroslav Barták, CSc.

plk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv ponoření kadáveru do vody na následnou migraci larev před kuklením" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. dubna 2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. RNDr. Miroslavu Bartáku za vedení mé bakalářské práce a plk. Ing. Haně Šulákové, Ph.D., za konzultace. Ráda bych také poděkovala Kriminologickému ústavu Policie České republiky za poskytnutí materiálu a vybavení pro experiment. Dále jsem vděčná za podporu mé rodiny a přátel po celou dobu studia.

Vliv ponoření kadáveru do vody na následnou migraci larev před kuklením

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá specifiky rozkladu kadáveru ve vodním prostředí. Zahrnuje literární rešerši, která se věnuje forenzní entomologii, sukcesi na souši a ve vodním prostředí a forenzně významnému hmyzu. Druhou část tvoří experiment, který sloužil k potvrzení či vyvrácení informací z literárního přehledu.

Forenzní entomologie je vědní obor, který vychází ze znalostí o členovcích. V kriminalistické praxi je využívána především k určení postmortem intervalu (PMI) u těl nalezených po delší době. Většina pozornosti odborníků je v tomto oboru směřována na sukcesi kadáverů v suchozemském prostředí. Avšak ve vodním prostředí rozklad probíhá velmi odlišně od těl na souši. V běžné praxi není prozatím využíván vodní hmyz k určení PMI.

V suchozemském prostředí se larvy v migrační fázi snaží vzdálit z biochemicky aktivního kadáveru, avšak ve vodním prostředí je toto normální chování značně ovlivněno. Na základě tohoto předpokladu byla navržena nulová hypotéza, že larvy migrující z krmného substrátu obklopeného vodní hladinou nejsou schopné dosáhnout pevniny a zakuklit se. Uvedené předpoklady byly ověřeny experimentem, který proběhl v červnu 2021 v uměle vytvořeném prostředí. Byly vytvořeny tři varianty: vodní hladina s pozvolným břehem, vodní hladina s plující vegetací a pozvolným břehem a prostředí pouze s vodní hladinou. U všech variant byla doprostřed vodní hladiny umístěna platforma s krmným substrátem, který zajistil vývin larev do III. instaru, resp. migrační fáze. Larvy schopné překonat vodní prostředí a dosáhnout pevniny byly pozorovány u všech variant. Determinací bylo zjištěno, že larvy náležely třem druhům z rodu *Lucilia* (Calliphoridae, Diptera). Stanovená hypotéza, že larvy nebudou schopné dosáhnout pevniny, se nepotvrdila. U všech variant byly některé larvy schopné dostat se mimo vodní prostředí.

Klíčová slova: forenzní entomologie, vodní prostředí, Calliphoridae, larvy, migrační fáze

The effect of carcass immersion in water on subsequent larval migration before pupal stage

Summary

This bachelor thesis deals with the specifics of carcass decomposition in the aquatic environment. It includes a literature search that deals with forensic entomology, succession on land and in the aquatic environment, and forensically important insects. The second part consists of an experiment, which was used to confirm or refute the information from the literature review.

Forensic entomology is a discipline based on knowledge of arthropods. In forensic practice, it is used primarily to determine the postmortem interval (PMI) of bodies found after prolonged periods of time. Most of the attention of researchers in this field is focused on the succession of carcasses in the terrestrial environment. However, in the aquatic environment, decomposition takes place very differently from bodies on land. In common practice, aquatic insects are not yet used to determine PMI.

In the terrestrial environment, the larvae in the post-feeding stage try to move away from the biochemically active carcass, but in the aquatic environment, this normal behavior is greatly affected. Based on this assumption, a null hypothesis was proposed that larvae migrating from the feeding substrate surrounded by the water surface are not able to reach the land and pupate. These assumptions were verified by an experiment that took place in June 2021 in an artificial environment. Three variants were created: a water surface with a gradual bank, a water surface with floating vegetation and a gradual bank, and an environment with only a water surface. In all variants, a platform with feeding substrate was placed in the middle of the water surface, which ensured the development of larvae to third instar and post-feeding stage, respectively. Larvae able to cross the aquatic environment to reach land have been observed in all variants. Determinative revealed that the larvae belonged to free species of the genus *Lucilia* (Calliphoridae, Diptera). The established hypothesis that the larvae will not be able to reach the land has not been confirmed.

Keywords: forensic entomology, aquatic environment, Calliphoridae, larvae, post-feeding stage

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíl práce.....	8
3	Literární rešerše.....	9
3.1	Forenzní entomologie.....	9
3.1.1	Historie forenzní entomologie.....	10
3.1.2	Sběr a uchovávání vzorků.....	11
3.2	Sukcese.....	13
3.2.1	Suchozemské prostředí.....	13
3.2.2	Vodní prostředí.....	16
3.3	Faktory ovlivňující migraci larev.....	18
3.4	Druhy typické pro rozklad v České republice.....	20
3.4.1	Forenzně významní zástupci z řádu Diptera (dvoukřídlí).....	20
3.4.1.1	Forenzně významné druhy čeledi Calliphoridae (bzučivkovití).....	20
3.4.1.2	Forenzně významné druhy čeledi Sarcophagidae (masařkovití).....	23
3.4.1.3	Forenzně významné druhy čeledi Muscidae (mouchovití).....	24
3.4.2	Forenzně významní zástupci z řádu Coleoptera (brouci).....	25
3.4.3	Forenzně významní vodní bezobratlí.....	27
4	Metodika.....	30
4.1	Popis lokality.....	30
4.2	Popis experimentu.....	30
4.2.1	Příprava experimentu.....	30
4.2.2	Průběh experimentu.....	31
4.3	Dokumentace.....	31
4.4	Vzorky.....	32
5	Výsledky.....	33
5.1	Průběh experimentu.....	33
5.2	Determinace.....	36
6	Diskuze.....	38
7	Závěr.....	41
8	Literatura.....	42
9	Samostatné přílohy.....	I

1 Úvod

Mezi suchozemskými bezobratlými existuje řada forenzně významných druhů, které mohou kriminalisté využívat při vyšetřování. To je možné díky jejich pevné vazbě na mrtvá těla v přírodě, jelikož se jedná o nekrofágy a saprofágy, přičemž se využívá jejich podrobně známý vývojový cyklus. Avšak u vodních bezobratlých je situace zcela jiná. Neexistuje žádný vodní hmyz, který by byl primárně nekrofágní (Fenoglio et al. 2014). Většina výzkumu je zaměřena na suchozemské druhy a vodním bezobratlým je věnována pouze malá pozornost. Informace o biologii vodních organismů vyskytujících se na kadáverech jsou nedostatečné a nesouvislé (Siri et al. 2021).

Proto forenzní entomologové musí spoléhat na nekrofágní suchozemský hmyz, který se v určitých případech může na těle ve vodě vyskytovat. Pokud kadáver není nějakým způsobem připevněn pod hladinou, dojde po určité době k jeho vyplutí na hladinu. Ke kadáveru plovoucím na hladině mají přístup suchozemské organismy a mohou ho osídlit například mouchy z čeledi Calliphoridae (bzučivkovití) anebo i další druhy (Merritt & Wallace 2009). U larev much dochází před kuklením k migraci z biochemicky aktivního krmného substrátu a larvy se kuklí v půdě v okolí (Castner 2009). U kadáverů ve vodním prostředí je právě toto chování nejvíce ovlivněno. Jelikož se larvy snaží dostat mimo kadáver dochází často při migrační fázi k jejich utopení a následnému rozložení nebo skončí jako potrava vodních živočichů (Bugajski & Tolle 2014).

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vypracovat literární rešerši, zda jsou nekrofágní larvy zástupců čeledi Calliphoridae schopné migrovat v III. instaru (postfeeding stage) z kadáveru obklopeném vodním prostředím a zakuklit se na pevnině.

Součástí práce bude vypracování experimentu, který potvrdí či nepotvrdí hypotézu. Hypotéza: Pokud je kadáver obklopen vodním prostředím migrující larvy čeledi Calliphoridae nejsou schopné dosáhnout pevniny a zakuklit se.

3 Literární rešerše

3.1 Forenzní entomologie

Forenzní entomologie je vědní obor, který používá znalosti o hmyzu a dalších bezobratlých k ověřování důkazů u právních sporů v rámci občanského a trestního práva (Šuláková 2014). Využívají se především znalosti o nekrofágním hmyzu, který se specializuje na kolonizaci kadáverů obratlovců (Joseph et al. 2011). Pravděpodobně nejznámější využití forenzní entomologie je v kriminalistické praxi při určování doby úmrtí u nalezených těl, kdy již nelze s přesností určit dobu smrti podle teploty těla, posmrtné ztuhlosti a dalších faktorů. Tyto soudně lékařské metody lze použít s přesností pouze dva až tři dny po smrti, po uvedené době je již přesnější určení doby smrti pomocí vývojového stadia hmyzu, který se na těle nachází (Amendt et al. 2004). Doba, která uplyne od úmrtí do okamžiku nalezení těla, se nazývá postmortem interval a je označována zkratkou PMI (Joseph et al. 2011).

Avšak forenzní entomologie není využívána pouze pro určení doby smrti, lze ji využít například i v toxikologii. Tento obor se nazývá entomotoxikologie (Joseph et al. 2011). Při užití některých návykových látek nebo léků dochází k jejich ukládání do tkání. Larvy, které následně konzumují tuto tkáň, přijímají i látky uložené v ní. Z rozboru nestráveného obsahu trávicího traktu larev lze zjistit, jaké drogy oběť před smrtí požila, pokud již nelze získat vhodný materiál pro rozbor z těla mrtvého (Gennard 2007).

Rozbor gastrointestinálního obsahu larev může pomoci i pokud nelze kvůli stavu těla určit identitu oběti. Chávez-Briones et al. (2013) ve své práci uvedli první příklad využití DNA analýzy obsahu trávicího traktu larev při identifikaci mrtvého. Jednalo se o případ velmi ohořelé mrtvolky, u které nebylo možné získat profil DNA z žárem poškozených tkání, ale rozbor larev, které se na ní vyskytovaly, potvrdil její identitu. Přesto tento postup není v kriminalistické praxi běžně využíván (Chávez-Briones et al. 2013). Tato metoda má další potenciální využití při dodatečném přesunu těla z místa činu na jiné, neznámé místo. Rozborem larev, které zůstanou na místě činu, lze prokázat, že se vyvíjely na mrtvém lidském těle, nebo i identitu mrtvého (Amendt et al. 2011).

Podle složení fauny na kadáveru lze zjistit, zda došlo po usmrcení k manipulaci s tělem. Existuje hmyz typický pro volně exponovaná těla, pohřbená těla nebo se hmyz vyskytuje pouze v určitých oblastech. Z druhového složení, které neodpovídá místu nálezů, lze poté usoudit, že k usmrcení došlo na jiném místě (Joseph et al. 2011).

Dále se forenzní entomologie zabývá i případy fyzického týrání či zanedbání žijících osob a zvířat. Příkladem je zanedbání hygieny u malých dětí či inkontinentních osob. Mouchy jsou k těmto osobám přilákány zápachem moči nebo výkalů, nakladou v místě znečištění vajíčka a vylíhlé larvy se živí tkáněmi oběti. Obdobná situace nastává při zhoršených hygienických podmínkách v chovu zvířat (Gennard 2007), nebo pokud jedinec (člověk i zvíře) má neošetřené otevřené rány. Poškození zdraví živého obratlovce způsobené larvami dvoukřídlého hmyzu se nazývá myiáza (Amendt et al. 2011).

Forezní entomologie je využívána i v oboru potravinářství při vyšetřování kontaminace potravin hmyzem (Gennard 2007). Zabývá se výskytem domácích a skladištních škůdců v potravinách při zanedbání hygieny a výrobních postupů. V uvedených případech napomáhá zjistit, v jaké části procesu zpracování, přepravy nebo skladování potravin ke kontaminaci došlo (Šuláková 2014).

3.1.1 Historie forezní entomologie

První zdokumentované využití hmyzu při vyšetřování případu pochází z 13. století. Záznam pochází od právníka a vyšetřovatele Sung Tzu z Číny. Sung Tzu v roce 1235 napsal lékařsko-právní příručku s názvem Hsi yüan chi lu (volným překladem „Smývání křivdy“), ve které popisuje vraždu rolníka ubodaného srpem. Vyšetřovatel poručil všem rolníkům z rýžového pole, ať předloží své náradí. Mouchy se slétly k jednomu z předložených srpů, na kterém ulpěly okem nezjistitelné zbytky krve. Majitel konkrétního srpu se po konfrontaci přiznal k vraždě (Benecke 2001, Gennard 2007). Avšak Greenberg a Kunich (2002) uvádějí, že v Číně byly mouchy a jiný hmyz využíván k vyšetřování již od poloviny 10. století.

Ve vývoji forezní entomologie měla důležitou roli zjištění z oblasti biologie. V roce 1668 italský přírodovědec Francesco Redi pomocí experimentu zjistil, že larvy se vyvíjí z vajíček nakladených mouchami a popřel tím teorii, že vznikají samovolně z nečistoty. Zásadní roli měl i Carl Linné, který vypracoval systém klasifikace, což umožňuje přehlednou systematizaci hmyzu (Gennard 2007).

Za první případ popisující využití forezní entomologie v moderní historii je považován záznam z Francie z roku 1855. Jednalo se o vraždu novorozence, který byl v roce 1850 nalezen v jednom bytě mumifikovaný za krbovou římsou. Francouzský lékař Louis Francois Étienne Bergeret provedl pitvu a v těle našel pupária (použil označení kukly) masařky obecné *Sarcophaga carnaria* (Linnaeus, 1758) a housenky molů. Dle několika faktorů, především stavu mumifikace, a nalezených pupárií masařky Bergeret určil, že dítě zemřelo v roce 1848. Z toho důvodu byli stávající obyvatelé bytu osvobozeni a obvinění lidé, kteří byt obývali v daném roce (Benecke 2001, Gennard 2007). Avšak Bergeret chybně předpokládal, že vývin hmyzu trvá jeden rok. Domníval se, že samičky kladou vajíčka v létě a larvy prodělají metamorfózu až na jaře příštího roku a dospělci se líhnou z kulek v následujícím létě. Jelikož se na mrtvém novorozenci nacházela vajíčka i kukly, Bergeret z toho vyvodil, že dítě zemřelo dva roky před nálezem (Benecke 2001).

Důležitým milníkem pro rozvoj forezní entomologie byly hromadné exhumace během 18. a 19. století ve Francii a v Německu. Doktor Mathieu Orfila v roce 1831 zjistil, že larvy mají důležitou roli v procesu rozkladu těl. Německý lékař Hermann Reinhard v roce 1881 vydal první systematickou studii v oboru forezní entomologie. Reinhard zkoumal exhumovaná těla a sbíral hmyz, především mouchy z čeledi hrbilkovití (Phoridae). Další studie o exhumovaných tělech s obdobnými zjištěními pochází z roku 1886, autorem byl Eduard von Hofmann. Reinhard a Hofmann jsou považováni za zakladatele oboru forezní entomologie (Benecke 2001).

Další důležitou osobností pro rozvoj forenzní entomologie byl francouzský veterinář Jean Pierre Mégnin. Za svou kariéru publikoval řadu lékařsko-právních prací (Benecke 2001). Jeho nejslavnějším dílem je kniha *La Faune des Cadavres* (Fauna mrtvolná) vydaná v roce 1894. V této práci popisuje u těl s volnou expozicí osm sukcesních vln: čerstvé tělo, počátek rozkladu, zmýdelnění, sýrovatění, ztekucování zbytků, vysychání zbytků, vysušené zbytky a trouchnivění (Šuláková 2014). V publikaci je popsána řada forenzně relevantních čeledí a druhů hmyzu a znaky důležité pro jejich identifikaci. Zásadní vliv této knihy mimo jiné spočíval i ve zpopularizování oboru forenzní entomologie. Mégninova kniha inspirovala další výzkumníky a zájem o forenzní entomologii se rozšířil do Kanady a Spojených států amerických. Jejich snaha se zaměřovala na doplnění Mégninových poznatků a jejich upravení pro podmínky Severní Ameriky (Benecke 2001).

Nadále pokračoval zájem o význam hmyzu pro vyšetřování a je zdokumentována řada různých případů. Například předmětem zkoumání často byla poškození kůže u mrtvých dětí, u kterých se předpokládalo, že byly před smrtí zneužívány svými opatrovníky. Avšak experimenty ukázaly, že rány podobné zneužívání mohou posmrtně způsobit mravenci, švábi nebo vodní bezobratlí (Benecke 2001). Ovšem k významnému pozvednutí důvěryhodnosti forenzní entomologie v Evropě při řešení soudních sporů došlo až po roce 1986. Kenneth Smith vydal v roce 1986 knihu s názvem *A Manual of Forensic Entomology* (Manuál forenzní entomologie), která shrnula známé poznatky. Druhým výrazným pokrokem bylo v roce 2002 založení *European Association for Forensic Entomology* (Evropské společnosti pro forenzní entomologii), zkráceně EAFE (Hall 2015).

Rozvoj forenzní entomologie v Evropě čelí několika výzvám. V některých zemích, ve kterých je forenzní entomologie využívána méně, například Rakousko nebo v některých zemích Skandinávie, mohou nastat situace, kdy není dostatek odborně způsobilého personálu k analýze hmyzu. Znalosti o rozpoznání druhu a správném sběru jsou důležité pro možnost použití hmyzu jako důkazu v soudních sporech. Jelikož i blízce příbuzné druhy mohou mít výrazné rozdíly v rychlosti vývinu, může chybná identifikace značně ovlivnit vyšetřování. Navíc v Evropě jsou napříč státy rozdílné podmínky prostředí, nelze tudíž získané informace od kolegů z jiných států používat plošně. Dalším problémem, který brání pokroku forenzní entomologie, bývá akreditace pracovišť a personálu. V některých státech chybí v tomto oboru možnost vyššího vzdělání (Hall 2015).

S rozvojem molekulární biologie a genetiky se již forenzní entomologie nemusí spoléhat pouze na morfologii při určování hmyzu podle identifikačních klíčů, ale lze využít moderní metody analýzy DNA. Avšak cenové náklady na analýzu DNA jsou značně vyšší. V některých případech se proto pro zkušeného entomologa stále více vyplatí určování druhu dle morfologie, které je rychlé a levnější (Byrd & Castner 2009).

3.1.2 Sběr a uchovávání vzorků

Správný sběr a uchování vzorků hmyzu jsou důležité pro správnou interpretaci výsledků a pro jejich využití jako důkazu v soudních sporech (Amendt et al. 2007). Na místě činu nemusí vždy být přítomen forenzní entomolog. Odběr vzorků může být proveden

kriminalistickým technikem (Benecke 2005). Z uvedeného důvodu jsou často specialisty vypracovány podrobné pokyny a návody, které shrnují standardy a pravidla postupování při vyhledávání, sběru a přepravě vzorků do forenzní laboratoře (Amendt et al. 2007).

Základním pravidlem je důkladná dokumentace. Je potřeba detailně vyfotografovat místa odběru vzorků. Na fotografiích by mělo být měřítko. Je doporučeno fotografovat bez blesku, protože při fotografování s bleskem jsou bílé larvy špatně rozeznatelné a málo detailní (Benecke 2005). Všechny odběry musí být řádně označeny, je potřeba zapsat datum a čas odběru a místo, ze kterého byl vzorek odebrán. Vzorky se odebírají z různých míst na kadáveru (tělní otvory, rány, oblečení) a minimálně dva metry z okolí kadáveru (Amendt et al. 2007). Gomes et al. (2006) doporučují při hledání zahrabaných kukel hledat do vzdálenosti 6 metrů od kadáveru. Vytyčené pole se poté rozdělí na kvadranty a odebírají se vzorky zeminy z různé hloubky (od 1,5 cm do 10 cm půdy). Při sbírání vzorků by se měla odebrat celá druhová škála nekrofauny, nikoliv pouze velké množství stejného druhu (Daněk 1990). Odběr larev je vhodné provádět lžící, čímž se zabrání nechtěnému poškození vzorku i mrtvého těla (Amendt et al. 2007).

Ve forenzní entomologii se využívají tzv. živé a usmrcené vzorky. Při usmrcování se larvy zalévají horkou vodou, která nesmí dosahovat bodu varu. Dospělé jedince je vhodné usmrtit zmražením při teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Amendt et al. 2007). Daněk (1990) doporučuje usmrcování dospělců parami octového anebo sirného éteru. Usmrcené vzorky se poté skladují v 70% až 95% etanolu. Živé larvy a pupária by se měly skladovat ve zkumavkách s přístupem vzduchu při nízké teplotě, doporučuje se skladování v chladničce při teplotě $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Amendt et al. 2007). Živé vzorky by měly být co nejrychleji (nejlépe do dvou dnů) doručeny do laboratoře (Benecke 2005). Živé vzorky by se v laboratoři měly ihned začít odchovávat v kontrolovaných podmínkách (Amendt et al. 2007).

Při zajišťování vzorků z těl nalezených ve vodním prostředí by mělo dojít k odběru před vytažením těla na souš. Nejlepší konzervační médium je 70% až 80% etanol (Merritt & Wallace 2009). Konzervace v etanolu umožňuje provést DNA analýzu vzorků. Naopak konzervace v ethylacetátu nebo formaldehydu znehodnocuje a poškozuje DNA (Amendt 2011). Pokud se sbírají vzorky z vodní hladiny nebo dna, měly by se vkládat do 95% etanolu, aby nedošlo k přílišnému rozředění etanolu vodou. Vzorky se nikdy nesmí uchovávat pouze ve vodě, jelikož velmi rychle začne docházet k jejich rozkladu a znehodnocení. Transport živých zástupců vodních druhů je problematický. Při transportu je nutné zajistit zásobování kyslíkem a nižší okolní teplotu. K transportu je možné využít kbelíky se vzduchováním, které například rybáři využívají na uschování návnad, a vzorky položit na zvlhčený savý materiál. Při odchovu živých vzorků v laboratoři by se měly, co nejlépe simulovat podmínky z volné přírody (Merritt & Wallace 2009).

Při odběru chrostíku ve schránkách by do stejné zkumavky měli přijít pouze jedinci se stejným typem schránky, jelikož při vložení do etanolu mohou schránku opustit a schránka je důležitý znak pro určení druhu. (Merritt & Wallace 2009).

3.2 Sukcese

Sukcese je ekologický termín, který popisuje přirozený a předvídatelný sled změn, které následují po objevení nového prostředí pro kolonizaci (primární sukcese) nebo po narušení ekosystému (sekundární sukcese) (Barták pers. comm.). Termín sukcese vyjadřuje nesezónní, směřovaný a kontinuální proces kolonizace a zániku populací jednotlivých druhů na daném místě. Po smrti se tělo obratlovců stává součástí specifického biotopu a prochází přirozeným procesem degradace (Šuláková 2014).

Organická hmota kadáveru představuje snadno dostupnou potravu pro další živočichy (Daněk 1990). Hmyz vyhledává kadáver jako zdroj potravy nebo jako místo pro naklazení vajíček, jelikož kadáver představuje zdroj potravy pro jejich vyvíjející se larvy. Jiní bezobratlí jsou ke kadáveru přilákáni z důvodu velké koncentrace larev, které představují jejich zdroj potravy. Přilákaný hmyz a ostatní bezobratlí se tedy na kadáveru nevyskytují současně v jeden čas, ale kolonizují kadáver postupně podle fází hnilobného rozkladu (Anderson 2009).

Smith (1986) rozlišil čtyři ekologické kategorie hmyzu nalézáných na kadáverech. První kategorií jsou nekrofágní druhy. Nekrofágní druhy vyhledávají mrtvé tělo jako primární zdroj potravy a živí se jeho tkáněmi, proto jsou nejdůležitější pro určení postmortem intervalu (PMI). Do druhé kategorie zařadil predátory a parazity nekrofágních druhů. Tito zástupci vyhledávají kadáver kvůli velkému počtu larev, které využívají jako potravu nebo jako místo pro naklazení vajíček. Třetí kategorie zahrnuje omnivorní druhy. Omnivoři nejsou obligátní nekrofágové, ale využijí kadáver pouze jako příležitostný zdroj potravy (Amendt et al. 2011). Omnivorní druhy se mohou živit i ostatními přítomnými druhy na kadáveru. Příkladem omnivorních druhů jsou vosy, mravenci a někteří brouci. Poslední kategorii tvoří adventivní druhy. Kadáver využívají pouze jako náhodnou zaměnitelnou součást prostředí (Smith 1986). Příkladem mohou být pavouci, kteří místo ztrouchnivělého stromu využijí jako úkryt kadáver (Amendt et al. 2011).

V rámci sukcese jsou rozlišovány jednotlivé stupně rozkladu a charakteristické druhy, které se při konkrétní fázi na kadáveru nachází. Tyto fáze se nazývají sukcesní vlny. Společenstvo vytvořené na kadáveru má dočasné trvání a je pro něj typický relativně rychlý přechod z jedné fáze do druhé (Šuláková 2014). Tento fakt se spolu s ostatními znalostmi o biologii bezobratlých využívá ve forenzní entomologii (Anderson 2009).

3.2.1 Suchozemské prostředí

V zahraničí literatuře je při rozkladu na souši popisováno pět fází: čerstvý kadáver, nadmuté tělo, aktivní rozklad, pokročilý rozklad a oschlé ostatky (Merritt & Wallace 2009, Kreitlow 2009). Daněk (1990) uvádí, že v podmínkách střední Evropy lze rozeznat až osm sukcesních vln. V závislosti na ročním období a teplotách ale může dojít k jejich splynutí. Šuláková (2014) však uvádí, že v podmínkách prostředí mírného pásu v České republice lze při volné expozici popsat šest vln.

První vlna: **čerstvé tělo**

První fáze začíná v okamžiku smrti, v určitých případech již během umírání, například u obětí se silně krvácejícími poraněními (Daněk 1990). Tato fáze končí s prvními projevy nadmutí. Okamžitě po smrti se aktivují chemické procesy a anaerobní bakterie začínají rozkládat tělo. Bakterie svojí činností produkují typický zápach (Kreitlow 2009).

Kolonizace začíná již za pár minut po smrti. Mezi první druhy patří zástupci z čeledě bzučivkovití (Calliphoridae), kteří jsou zápachem ke kadáveru lákáni z širokého okolí (Anderson 2009). Dospělci těchto much se slétají na kadáver primárně za účelem naklazení vajíček, jelikož kadáver představuje zdroj potravy pro jejich larvy. Mouchy kladou vajíčka přednostně do přístupných tělních otvorů nebo do vytvořených ran a krve (Šuláková 2014).

Druhá skupina hmyzu, která se v této fázi nachází na kadáveru, jsou vosy a mravenci. Tento hmyz získává z kadáveru pouze živiny a poté kadáver opouští, a proto není významný pro forenzní entomologii (Šuláková 2014). Avšak mravenci na kůži mohou zanechat typické stopy, které připomínají poleptání kyselinou (Daněk 1990).

Druhá vlna: **nadmuté tělo**

V této fázi začíná hnití kadáveru. Činností hnilobných bakterií v trávicí soustavě dochází k tvorbě rozkladných plynů, které způsobí u kadáveru značné nafouknutí dutiny břišní (Kreitlow 2009). Uvolňované plynné látky lákají k tělu mimo bzučivkovitých další čeleď much, masařkovité (Sarcophagidae). Avšak v oblastech mírného pásu se jedná o forezně méně významnou skupinu, protože na tělech exponovaných v přírodě se jejich larvy téměř nenacházejí. Ke kadáveru jsou také přilákáni zástupci z čeledě moučovití (Muscidae). V některých situacích mohou moučovití představovat první kolonizátory místo bzučivkovitých (Šuláková 2014).

V této vlně se na těle objevují první zástupci brouků (Coleoptera). Brouci představují méně přesný indikátor pro výpočet posmrtného intervalu, protože se na kadáver dostávají později než mouchy a často nevyhledávají kadáver primárně z důvodu rozmnožování. Brouci mohou na kadáveru pobývat i několik dní, než dojde k naklazení vajíček. Významnou čeleď brouků nalézajících se na kadáveru jsou v této fázi mrchožroutovití (Silphidae) (Šuláková 2014).

Pro tuto vlnu jsou typičtí i parazitoidní druhy hmyzu. Svým vývinem jsou tyto zástupci spojeni s nekrofágním a saprofágním hmyzem, a proto mají význam ve forenzní praxi. Samičky kladou vajíčka do hostitelských larev a kukel. Vyhlíhlé larvy parazitoidů se živí svými hostiteli a následně se uvnitř hostitele i zakuklí. Jedná se o druhy z řádu blanokřídlí (Hymenoptera), především o chalcidky (Chalcidoidea) (Šuláková 2014).

U kadáverů ležících ve venkovním prostředí většinou dochází ke změně pH půdy pod tělem. Hlína se stává více zásaditou, čímž ovlivní půdní organismy (Kreitlow 2009). Mění se charakteristické druhové složení fauny nebo může dojít k dočasnému vymizení některých druhů. Dochází ke změně barvy trávy z důvodu ztráty chlorofylu a zpomaluje se její růst (Daněk 1990).

Třetí vlna: **biochemicky aktivní rozklad**

Šuláková (2014) zahrnuje proces zmýdelnění tuků a fermentaci proteinů do společné vlny, protože oba procesy mohou na kadáveru probíhat najednou pouze na odlišných částech těla. Daněk (1990) tuto vlnu ve své publikaci rozděluje na dvě oddělené vlny.

První proces, který v této vlně nastává, je zmýdelnění tuků kadáveru. Při tomto procesu vznikají těkavé mastné kyseliny. Dominantní zastoupení má kyselina máselná, která silně nepříjemným zápachem (pro lidské olfaktorické receptory) láká další hmyz (Daněk 1990, Šuláková 2014). Na tento zápach reagují mouchy čeledi mouchovití z rodu *Hydrotaea*, které kladou vajíčka do substrátu pod tělo, protože larvy prvního instaru se živí hnilobnou tekutinou z kadáveru. Těkavé mastné kyseliny představují atraktant současně pro čeledi brouků drabčíkovití (Staphylinidae), mršníkovití (Histeridae) a lesknáčkovití (Nitidulidae) (Šuláková 2014).

Druhý proces, ke kterému v této vlně dochází, je fermentace proteinů, označovaná také jako „sýrová fermentace“. Proces byl pojmenovaná podle charakteristického zápachu, který připomíná zralý sýr (Daněk 1990, Šuláková 2014). Na sýrový zápach reagují mušky z čeledi sýrohloďkovití (Piophilidae), kmitalkovití (Sepsidae) a slunilkovití (Fanniidae) (Šuláková 2014).

V této vlně dochází ke ztekucování substrátu. Brouci, kteří se v této vlně nacházejí na kadáveru, preferují sušší substrát. Proto je výskyt brouků nejvyšší na periferních částech těla. Jedná se o brouky z čeledi kožojedovití (Dermestidae) a pestrokrovečnickovití (Cleridae) (Šuláková 2014).

Čtvrtá vlna: **pokročilý rozklad**

Pro čtvrtou vlnu je charakteristická čpavková fermentace zbylých měkkých tkání těla. Hmyz je lákán parami amoniaku a zápachem kaseózních látek. Toto aroma na kadáver přitahuje drobné mouchy z čeledi hrbilkovití (Phoridae) (Daněk 1990, Šuláková 2014). Na těle se nachází především larvální stadia much a brouků zmíněných ve třetí vlně (Šuláková 2014). V této fázi se na kadáveru vyskytuje už pouze malé množství dospělců nekrofágního hmyzu (Daněk 1990). Na kadáveru lze nalézt dospělé drabčíky, mršníky a lesknáčky (Šuláková 2014).

Pátá vlna: **vysychání zbytků měkkých tkání**

V této vlně postupně dochází k vysychání zbytků měkkých tkání kadáveru a nastává jejich mumifikace. Z některých částí kadáveru už zbývají pouze kosti (Daněk 1990). Nově se na ostatcích objevují brouci z čeledi hloďáčkovití (Trogidae). Snižuje se počet much a brouků a dominantním zastoupení získávají roztoči (Acari). Avšak roztoči se na kadáveru nachází již od první vlny, jelikož se na kadáver dostávají přichyceni na hmyzu. Takovýto způsob transportu se nazývá forézie (Šuláková 2014). Roztoči se živí bílkovinami z kostní dřeně a napomáhají rozpadu kostí (Daněk 1990).

Šestá vlna: **kosterní zbytky**

V poslední fázi z kadáveru zbyly pouze kosterní ostatky, mrtvola je zcela vysušená a na těle se téměř nenachází měkké tkáně, jelikož došlo k jejich rozložení. Na kadáveru mohou zůstat vlasy, ochlupení, vyschlé chrupavky a vazivo (Šuláková 2014). U těl, která byla ukryta mimo vlivy přírodního prostředí, se mohou nacházet domácí a skladištní škůdci (Daněk 1990). Na tělech ve volné přírodě se vyskytují především roztoči, někdy lze nalézt ještě brouky, například kožojedy, hlodáče nebo červotočovitě (Anobiidae) (Šuláková 2014).

3.2.2 Vodní prostředí

U těl nalezených ve vodním prostředí existují velké rozdíly v sukcesi oproti tělům rozkládajícím se na souši. Na rychlosti rozkladu a druhovém zastoupení hmyzu na kadáveru má vliv typ vodního prostředí, zejména zda se jedná o tekoucí vody, stojaté vody nebo mořské prostředí. Další faktory, které ovlivňují sukcesi, jsou například roční období, teplota vody, typ oblečení atd. Průběh rozkladu je ovlivněn i tím, zda je kadáver volně potopen a může během rozkladu vyplout na hladinu, nebo je nějakým způsobem upevněn pod vodou (klec, zátěž). Dále má vliv na postup rozkladu přístup mrchožravých obratlovců ke kadáveru (Anderson 2009). Kadáver ve vodě nejčastěji poškozují dravé ryby, potkani, hryzci a další obratlovci (Daněk 1990). Rozklad ve vodním prostředí probíhá přibližně poloviční rychlostí, jelikož se na rozkladu nepodílí velkou měrou suchozemský nekrofágní hmyz a kvůli nižším teplotám vodního prostředí (Merritt & Wallace 2009). Rozklad v závislosti na hloubce zpomaluje i nižší koncentrace kyslíku (Barták pers. comm.).

Při rozkladu kadáveru ve vodním prostředí nastávají rozdílné fáze oproti rozkladu na souši (Merritt & Wallace 2009). Payne a King (1972) uvedli, že při rozkladu ve vodním prostředí je možné rozlišit šest vln: čerstvé ponořené tělo, raně plovoucí tělo, rozklad plovoucího kadáveru, nadmuté rozpadající tělo, plovoucí ostatky a potopené ostatky. Později došlo k redukci vln na pět, kvůli složitějšímu rozlišení mezi jednotlivými fázemi rozkladu (Merritt & Wallace 2009). Během sukcesních vln se na kadáveru můžou vyskytnout vodní i suchozemské organismy (Magni et al. 2021).

První vlna: **čerstvé ponořené tělo** (submerged fresh)

Při této fázi se kadáver nachází pod vodní hladinou. Tato fáze začíná ponořením kadáveru do vody a je ukončena počátkem jeho nadýmání a vyplutím k vodní hladině. Délka této fáze závisí na několika faktorech. Stěžejní je, zda se jedná o tekoucí, či stojaté vody a s tím spojené vlastnosti prostředí, geografická poloha a roční období. Obvyklé časové rozpětí je 2 dny až 13 dní (Merritt & Wallace 2009).

Při této fázi se na kadáveru může nacházet vodní hmyz, jako například larvy chrostíků z čeledi Hydropsychidae, larvy pakomárovitých (Chironomidae), nymfy jepic z čeledi Heptageniidae a dospělci vodních brouků z čeledi vodomilovití (Hydrophilidae) (Merritt & Wallace 2009).

Druhá vlna: **raně plovoucí tělo** (early floating)

V této fázi je kadáver nadmutý. K nadmutí dochází činností anaerobních bakterií, které produkují hnilobné plyny, které se hromadí v dutině břišní. Nahromaděné plyny poté vynesou tělo na vodní hladinu. Barva tkání se mění z narůžovělé na odstíny modrozelené barvy. Objevuje se výrazný zápach rozkladu. Délka této fáze opět silně závisí na geografické poloze a ročním období (Merritt & Wallace 2009).

Kadáver plovoucí na vodní hladině se tímto stává přístupným suchozemským bezobratlým. Na tělo jsou lákány mouchy z čeledi bzučivkovití (Calliphoridae), mouchovití (Muscidae), masařkovití (Sarcophagidae), které mohou na přístupná místa klást vajíčka (Merritt & Wallace 2009). Druhá diverzita much je u kadáverů ve vodním prostředí menší než u kadáverů na souši (Bugajski & Tolle 2014). Dále se může objevit hmyz, který se živí mouchami nebo jejich larvami (čeledi mrchožroutovití (Silphidae), drabčíkovití (Staphylinidae), vosovití (Vespidae)). Během této fáze byli na kadáveru nadále pozorováni i vodní bezobratlí (Merritt & Wallace 2009).

Pokud kadáver může vyplout nad hladinu a dojde k naklazení vajíček terestrickými druhy, je určení postmortem intervalu pomocí vývojového stadia much složitější, jelikož je ovipozice na nadmuté kadávery opožděná oproti kadáverům na souši o několik dnů, avšak vývin stadií je stejně rychlý. Stanovení PMI je poté závislé na odhadu doby, za kterou tělo vyplulo na hladinu. Například pokud tělo vypluje čtvrtý den a pátý den začne probíhat ovipozice, je vypočtený postmortem interval kratší o pět dní (Bugajski & Tolle 2014).

Třetí vlna: **rozklad plovoucího kadáveru** (floating decay)

Ve třetí fázi je patrný mírný rozklad kadáveru, dochází k odpadání kusů kůže a ztrátě svaloviny. Nastává rozpad měkkých tkání a očí. Hlava a končetiny zůstávají připojené k trupu. Barva kadáveru se mění na načernalou. Délka této fáze je značně variabilní. V Severní Americe ve stojatých vodách může trvat od 8 dní do 331 dní (Merritt & Wallace 2009).

V této fázi se na plovoucím kadáveru nachází velké množství larev much, které poškozují integritu kůže a vytváří mnoho ran (Merritt & Wallace 2009). Současně se na těle vyskytuje velké množství dravých brouků, kteří se živí larvami nekrofágního hmyzu, a dochází i k jejich rozmnožování (Payne & King 1972).

Čtvrtá vlna: **pokročilý rozklad plovoucího kadáveru** (advanced floating decay)

Při čtvrté fázi dochází ke značnému rozkladu plovoucího kadáveru. Většina částí kadáveru, které vyčnívaly nad vodní hladinu, je pozřena larvami much. Na kadáveru se obnažují kosti, jsou viditelná žebra. Může dojít k oddělení končetin a lebky od trupu, dochází ke zlomeninám kostí. Tato fáze končí potopením kadáveru ke dnu. V Severní Americe tato fáze může trvat 12 až 171 dní (Merritt & Wallace 2009).

Pátá vlna: **potopené ostatky** (sunken remains)

V poslední fázi ostatky klesají ke dnu, kde se dokončuje jejich rozklad. Ostatky jsou tvořeny pouze ze zbytků kůže a kostí (Merritt & Wallace 2009). Na rozkladu se podílí bakterie

a houby (Payne & King 1972). Na konci rozkladu z kadáveru zůstanou malé kousky kostí. Vytrácí se zápach rozkládajícího těla. Tato fáze trvá různě dlouho (Merritt & Wallace 2009).

3.3 Faktory ovlivňující migraci larev

Mnoho vědeckých prací se zabývá faktory ovlivňujícími vývin larválních instarů, především délku migrační fáze. Významný vliv má teplota prostředí a její pokles, nebo vzestup v průběhu dne. Vyšší teplota obvykle znamená (v běžných teplotních intervalech) rychlejší vývin jednotlivých stadií. Uvnitř větší masy larev je teplota rozdílná oproti teplotě okolního prostředí. Jejich metabolismus produkuje teplo, což se u většího množství larev značně projeví. Avšak příliš vysoké množství larev v jednom místě může vývin kvůli kompetici naopak zpomalit. Dále působí typ tkáně, kterou se larvy živí, a vliv na rychlost vývinu má i živočišný druh, který slouží jako krmený substrát (Clark et al. 2006). Rychlost vývinu larev mohou výrazně ovlivnit drogy nebo léky, které člověk před smrtí požil. Různé chemické látky mohou vývin zrychlit, ale i zpomalit. Kolonizaci kadáveru například zpomaluje malathion, což je látka používaná k hubení hmyzu, nebo kombinace alkoholu a Rohypnolu (flunitrazepamu). Naopak vývin larev může urychlovat například heroin, kokain, morfium nebo paracetamol (Amendt et al. 2011). Vliv má i pohřbení těla nebo jeho oblečení (Clark et al. 2006).

Méně prací zmiňuje vlivy působící na larvy při migraci z kadáveru, jelikož rozeznat tyto faktory není u této fáze jednoduché. Důvod migračního chování není přesně znám. Odborníci se domnívají, že migrace larev může nastat jako prevence napadení predátory a parazity nebo je to pouze instinktivní chování (Turpin et al. 2014). Migrace může také nastat z důvodu eliminace poškození kukel toxickými chemickými látkami, které vznikají při rozkladu kadáveru a vsakují se do půdy pod tělem a v blízkém okolí (Kočárek 2001). Migrační fáze larev je z hlediska posouzení a pochopení nejnáročnější fází vývinu larev. Současně je z praktického hlediska stěžejní, protože nález kukel je velmi významný pro správné určení postmortem intervalu. Důležité je určit vzorec migrace, prostorové rozložení migrujících larev a časovou délku migrační fáze (Turpin et al. 2014).

Po přechodu larev do posledního instaru a dostatečném příjmu potravy, která je nezbytná k získání potřebné zásoby tuku, aby mohla úspěšně proběhnout fáze kukly, dochází k migraci larev pryč ze zdroje potravy (Gomes et al. 2006). K hlavní migrační fázi larev bzučivek dochází na konci třetí sukcesní vlny, ve které nastává zmýdelnění tuků (Kočárek 2001). K migraci larev dochází ve vlnách, ve kterých se jednotlivé larvy pohybují všemi směry od kadáveru (Lewis & Benbow 2011). Larvy odlézají z těla do širokého okolí za účelem kuklení (Gomes et al. 2006). Někdy lze kukly nalézt i pod samotným kadáverem (Kočárek 2001). Naopak v některých případech může nastat předčasný přesun juvenilních larev ještě před migrační fází. Dochází k tomu při vysoké četnosti larev na kadáveru a s tím souvisejícím rychlým vyčerpáním zdroje potravy. Potom larvy, přestože nedosáhly migrační fáze, odlézají za účelem nalezení nového zdroje potravy (Gomes et al. 2006).

Na migrační chování mají vliv vnější i vnitřní faktory. Podmínky prostředí a druhová příslušnost ovlivňují, do jaké vzdálenosti larvy migrují a do jaké hloubky se zahrabou. Mezi podmínky prostředí patří například teplota prostředí, relativní vlhkost, míra slunečního

záření a výživná hodnota krmného substrátu (Turpin et al. 2014). Migrační fázi významně ovlivňuje typ půdy nebo materiál, po kterém se larvy pohybují a zahrabávají se do něj (Gomes et al. 2007). Gomes et al. (2006) zmiňují důležitost stupně kompaktnosti (zhutnění) půdy a přítomnost jiných druhů. Hmotnost jednotlivých larev je taktéž faktor ovlivňující vzdálenost migrace. Při experimentech méně vážící larvy migrovaly na delší vzdálenost (Gomes et al. 2007).

Kočárek (2001) provedl experiment v prostředí České republiky zaměřený na cirkadiální rytmy při migrační fázi. U larev je migrační fáze spouštěna více intenzitou světla než změnou teploty a vlhkosti. Terénní experiment byl zaměřen na dva druhy z čeledi bzučivkovití, *Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758) a *Lucilia caesar* (Linnaeus, 1758). U obou druhů docházelo k migraci larev pouze v noci. Migrací v noci se larvy vyhnou insektivorním druhům s denní a soumráchnou aktivitou, jelikož migrace světlých a nápadných larev přes den je příliš riskantní z hlediska možné vyšší mortality.

Larvy obvykle migrují individuálně nebo v malé skupince, ale v určitých situacích byly pozorovány změny tohoto chování. Může se vytvořit shluk larev (en masse), který je tvořen více než 90 % všech larev na kadáveru. Tento shluk larev se pohybuje řádově stejným směrem a ve stejný čas. V pokynech pro kriminalistické techniky je doporučeno prohledávat okolí kadáveru do 10 metrů, avšak u zdokumentovaného terénního experimentu se shluk larev dokázal vzdálit 26 metrů od kadáveru. Důvodem může být příliš podmáčená půda v okolí těla a potřeba larev vyhledat sušší místo. Obdobně toto chování může způsobit velmi rychlý rozklad kadáveru v letních měsících, se kterým souvisí nasycení půdy v jeho okolí rozkladnými tekutinami. Poslední možný důvod je únik před dravými druhy (Lewis & Benbow 2011).

Velmi kusé informace o migrační fázi larev nacházejících se na plovoucích tělech doplňují Merritt a Wallace (2009), kteří zmiňují, že obojživelníci a dravé ryby mohou značně ovlivnit úspěšnost migrujících larev v rybnících, jelikož se jimi živí. Bugajski a Tolle (2014) také uvádí, že migrace larev ve vodním prostředí končí jejich úmrtím. Důvodem je predace vodními živočichy nebo utopení larev. Pokud se na nalezeném kadáveru vyskytují stopy po přítomnosti larev, ale larvy se na kadáveru již nenacházejí, doporučují autoři předpokládat, že se larvy dostaly do migrační fáze a utopily se.

Singh a Bala (2001) provedli experiment zaměřený na schopnost larev přežít pod vodou. Při experimentu využívali dva druhy bzučivek z rodu *Chrysomya*. Výsledky byly u obou druhů velmi podobné. Při potopení larev pod vodní hladinu na dobu delší než pět hodin došlo k jejich utopení. Doba, po kterou jsou larvy schopné ve vodě přežít, se odvíjí od jejich stáří. Larvy prvního instaru vydržely ve vodě pouze do dvou hodin. Larvy třetího instaru a migrující larvy dokázaly přežít ponoření trvajícím do pěti hodin, jelikož vyvinutější larvy jsou schopné lépe čelit méně vhodným podmínkám prostředí. Přesto následný vývin larev, které ponoření přežily, byl pomalejší než u kontrolní skupiny bez ponoření.

Pokud by i přes nepříznivé podmínky došlo k zakuklení larev v blízkosti vodního prostředí, například přímo na kadáveru v oblečení nebo ve vlasech či jiném materiálu ve vodě, a následně došlo k jejich potopení, je u kukel různá schopnost přežít potopení.

Závisí na fázi vývinu, době potopení a druhu hmyzu. Nejkratší dobu potopení jsou schopny přežít a poté dokončit vývin pupária (kukly některých zástupců řádu Diptera, včetně čeledi Calliphoridae, kryté pokožkou posledního larválního instaru) na začátku metamorfózy (tj. mají ještě bílou barvu) a naopak těsně před vylíhnutím dospělce. Souvisí to se zvýšenou potřebou kyslíku během těchto fází. Žádná pupária nepřežila potopení delší než čtyři dny. Současně doba kuklení byla prodloužena přibližně o čas strávený pod vodou. To naznačuje skutečnosti, že při potopení se vývin pozastavil (Singh & Greenberg 1994). Vlastnosti vody, do které jsou puparia potopena, mají vliv na přežití a následnou dobu kuklení. Vyšší míra přežití je ve vodě z vodovodní sítě, než ve vodě z řeky nebo ve slané vodě (Magni et al. 2021). Starší puparia plavou na hladině na rozdíl od mladších (bílých), která klesají ke dnu (Singh & Greenberg 1994).

Singh a Greenberg (1994) uskutečnili experiment s pěti druhy z čeledi bzučivkovití (Calliphoridae). Schopnost přežití závisela na druhu. Nejvyšší schopnost přežití byla zjištěna u druhu *Phormia regina* (Meigen, 1826) a nejnižší u druhu *Calliphora vicina* Robinou-Desvoidy, 1830. Vliv druhové příslušnosti na schopnost přežít potvrdily také experimenty provedené Magni et al. (2021). V jejich případě *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) měl třikrát vyšší míru přežití než *Calliphora vomitoria*.

3.4 Druhy typické pro rozklad v České republice

3.4.1 Forezně významní zástupci z řádu Diptera (dvoukřídlí)

Hlavním charakteristickým znakem řádu dvoukřídlí je přítomnost pouze jednoho páru blanitých křídel. Druhý pár křídel je zakrnělý a rudimenty křídel vytváří paličkovité útvary nazývané kyvadélka (haltery). Haltery slouží k vyvažování hmyzu při letu. Dvoukřídlí mají zpravidla pár velkých složených očí. Ústní ústrojí je různorodé, ale u forezně významných druhů je nejčastější sací ústní ústrojí (Byrd & Castner 2009). Jako zdroj potravy a vody využívají dospělci snadno dostupné zdroje tekutin (výkaly, rozkládající biologický materiál, nektar, medovici apod.) (Krenn 2019).

Dvoukřídlí procházejí proměnou dokonalou neboli holometabolii. U forezně významných much samičky kladou vajíčka na vhodný substrát, ze kterých se poté líhnou larvy. Výjimkou jsou mouchy z čeledi masařkovití (Sarcophagidae), u kterých samička klade rovnou larvy prvního instaru (Castner 2009). Larvy jsou beznohé (apodní) (Byrd & Castner 2009) a prochází třemi instary (stadii). Poté u posledního instaru dochází k migraci z biochemicky aktivního substrátu do okolí a dochází k jejich zakuklení v půdě. Vývojový cyklus je dokončen líhnutím dospělých jedinců z kulek (Castner 2009).

3.4.1.1 Forezně významné druhy čeledi Calliphoridae (bzučivkovití)

Čeď bzučivkovití je v této práci chápána v širším slova smyslu včetně nově oddělených čeledí Polleniidae a Rhiniidae. Jedná se o střední až velké mouchy. Délka těla je 4 mm až 16 mm. Bzučivky mají robustní tělo. Často mají charakteristickou barvu, dospělci bzučivek jsou nejčastěji černí nebo jejich zbarvení odpovídá odstínům od zelené po tmavě

modrou s kovovým leskem (Kubík & Országh 2009). Arista bývá stejně dlouhá jako tykadlo. Na aristě se často nachází mnoho různě dlouhých chloupků. Proboscis je kratší s masitým labellum (rozšířená koncová část ústního ústrojí). Většina částí hrudi je obvykle pokryta setami. Samci někdy mají delší drápky na nohou než samice. Další pohlavní rozdíly jsou například v uspořádání set na nohách (Shewell 1987). Larvy mají bílou až krémově žlutou barvu. Štěrbiny v okolí dýchacích stigmat se svažují dovnitř a na posledním článku mají larvy šest nebo více tuberkulů (Byrd & Castner 2009).

Bzučivky vyhledávají kadávery pomocí tykadel, která jsou sídlem čichu, a vizuálně pomocí zraku. Samice preferují kladení vajíček do otevřených ran, krve nebo u intaktních těl (bez poranění) do nosu a úst (Byrd & Castner 2009). Samičky kladou 450-1200 vajíček umístěných ve shlucích (Daněk 1990). Dospělci nejsou nekrofágní, živí se šťávami a nektarem květů. Pouze samice v době rozmnožování přijímají někdy krev jako zdroj bílkovin potřebných pro vývin vajíček. Avšak larvy těchto much jsou typičtí nekrofágové, kteří se živí tkáněmi uhynulých živočichů (Šuláková 2014). Průměrně se larvy zakuklí za 7-8 dní a kukly se vylíhnou po 10-12 dnech, avšak délka vývinu je ovlivněna mnoha faktory (Daněk 1990).

V České republice se vyskytuje 61 druhů z čeledi bzučivkovití *sensu lato*. Na území Čech je známo 51 druhů (Šuláková et al. 2014) a na Moravě 57 druhů (Kubík & Országh 2009, Pavel et al. 2008, Šuláková et al. 2013). Forenzní entomologie z toho využívá 13 druhů. Obvykle patří mezi první kolonizátory kadáveru, objevují se tedy v první sukcesní vlně. Bzučivkovití mají pro forenzní entomologii velký význam. Časové rozmezí mezi přiletem na kadáver a nakladením vajíček je zanedbatelné, jelikož samice vyhledávají kadáver primárně s úmyslem kladení nikoli jako zdroj potravy (Šuláková 2014). Tato skutečnost umožňuje podle bzučivkovitých nejpřesněji určit PMI (Grassberger & Reiter 2001). Příkladem forenzně důležitých rodů a druhů z čeledi bzučivkovití jsou rody *Lucilia* a *Calliphora* a druhy *Protohormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy, 1830) a *Phormia regina* (Šuláková 2014). Na kadáveru se obvykle současně vyskytují alespoň dva až tři druhy bzučivkovitých, ale může být zastoupeny čtyři až pět druhů. Níže jsou vypsány příklady forenzně významných druhů v České republice (Šuláková & Barták 2013). Všechny níže zmíněné forenzně důležité druhy se vyskytují v Čechách i na Moravě (Kubík & Országh 2009).

Bzučivka zelená *Lucilia sericata* (Meigen, 1826)

Pro rod *Lucilia* je typické kovově lesklé zelené zbarvení těla (Gennard 2007). *Lucilia sericata* se vyhýbá zastíněným místům, pro kladení vajíček preferuje místa s přímým slunečním svitem a teplá místa, na kterých teplota dosahuje minimálně 30 °C (Daněk 1990). Vajíčka může klást i do ran žijících živočichů a způsobuje tímto myiázu (Daněk 1990, Šuláková 2014).

Lucilia sericata je velmi častý druh ve forenzně entomologickém výzkumu. Například Grassberger a Reiter (2001) provedli experimenty, při kterých porovnávali rychlost vývinu larev při deseti různých teplotách, a vytvořili graf, který umožňuje rychlejší odhad PMI. Clark et al. (2006) provedli experiment, při kterém zkoumali vliv typu substrátu na rychlost vývinu larev. Ukázalo se, že krmením na plicích se larvy vyvíjely rychleji a dospělci byli poté větší než

při krmení na játrech. Proto je důležité při sběru vzorků larev zaznamenat, na jaké části těla se larvy nacházely a čím se pravděpodobně krmily.

Lucilia illustris (Meigen, 1826)

Lucilia illustris se nejhojněji vyskytuje během letních měsíců. Preferuje teplé počasí a pro kladení vajíček si vybírá kadávery na slunných místech. Dospělci i larvy se mohou vyskytovat na rozkládajících se živočiších i na výkalech, ale obě stadia preferují kadávery (Byrd & Castner 2009).

Bzučivka zlatá ***Lucilia caesar*** (Linnaeus, 1758)

Lucilia caesar je blízce příbuzná s *Lucilia illustris*, z toho vyplývá i obtížné rozlišení těchto dvou druhů. Jelikož jsou oba druhy morfologicky velmi podobné, existuje pouze pár determinačních znaků, které jsou spolehlivě použitelné pouze pro identifikaci samců. Avšak kvůli blízké příbuznosti nelze použít ani základní analýzu genetických markerů. Z toho vyplývá, že může snadno dojít k záměně *Lucilia caesar* s *Lucilia illustris*. Není známo, jak rozdílné vývojové cykly těchto bzučivek jsou. Jelikož experimenty jsou zaměřené především na *Lucilia illustris*, protože v Severní Americe se nachází pouze tento druh. Známé je, že *Lucilia caesar* preferuje stinnější lesní lokace oproti *Lucilia illustris* (Sonet et al. 2012).

Lucilia ampullacea Villeneuve, 1922

Šuláková a Barták (2013) uvádějí, že tento druh bzučivky se při rozkladu velkých obratlovců, tedy i člověka, v podmínkách České republiky vyskytuje v minimálním množství jedinců.

Lucilia silvarum (Meigen, 1826)

Tento druh nemá typickou zelenou barvu pro rod *Lucilia*, ale jeho tělo je tmavě modré. Je aktivní po většinu dne i při šeravém počasí, od brzkého rána až do pozdního večera. Tato bzučivka fakultativně parazituje u obojživelníků a svým parazitováním je může snadno oslabit a zabít (Byrd & Castner 2009). Šuláková a Barták (2013) uvádí, že se *Lucilia silvarum* při rozkladu velkých obratlovců v podmínkách České republiky vyskytuje minimálně.

Bzučivka obecná ***Calliphora vicina*** Robineau-Desvoidy, 1830

Pro rod *Calliphora* je typické kovově lesklé modré zbarvení těla. Mají černou hlavu, ale spodní strana (bucca) je oranžová, kalyptry jsou tmavé a bazikosta žlutá. Dospělci se živí tekutinami z hnijícího ovoce i masa a výkaly, ale larvy jsou pouze nekrofágní (Byrd & Castner 2009). Avšak bzučivka obecná klade vejčička pouze na kadávery, které nejsou v pokročilejším stadiu rozkladu. Vejčička klade obvykle do 48 hodin po smrti. Této bzučivce pro kladení vajíček nevádí stinné a zcela temné lokace (Daněk 1990). *Calliphora vicina* je typický příklad mouchy, která může způsobovat myíazu (Byrd & Castner 2009, Šuláková 2014).

Calliphora vomitoria (Linnaeus, 1758)

Tato moucha je velice podobná příbuzné bzučivce *Calliphora vicina*, avšak bazikosta je tmavá. Pro kladení vajíček preferuje *Calliphora vomitoria* stinná místa (Byrd & Castner 2009).

Phormia regina (Meigen, 1826)

Tneto druh má tmavě nebo olivově zelenou barvu, která se může zdát až černá. Preferuje chladnější počasí. U larev této bzučivky je velký rozptyl délky vývinu. Larvální vývin může trvat od 4 dnů do 15 dnů. Jelikož vývin larev je velmi ovlivněn teplotou prostředí. V lékařství jsou larvy *Phormia regina* používány jako terapie u špatně se hojících nekrotických ran (Byrd & Castner 2009). Tyto bzučivky jsou častým původce myiázy (Šuláková 2014, Byrd & Castner 2009).

Protohormia terraenovae (Robineau-Desvoidy, 1830)

Protohormia terraenovae má tmavě modrou až černou barvu. Tato bzučivka se vyznačuje větším tělem a značným množstvím set na těle. Preferuje chladnější počasí. Parazituje u ptáků a způsobuje myiázu u hospodářských zvířat (Byrd & Castner 2009).

Cynomya mortuorum (Linnaeus, 1761)

Cynomya mortuorum má modrozelenou barvu těla a hlava je v obličejové části jasně žlutooranžová. Tato bzučivka preferuje chladnější oblasti a larvy se vyskytují jen na volně exponovaných kadáverech, nenachází se u pohřbených těl (Gennard 2007).

3.4.1.2 Forezně významné druhy čeledi Sarcophagidae (masařkovití)

Masařkovití představují čeleď z řádu dvoukřídlí (Diptera). Masařky jsou velikostně různorodá čeleď, velikost se pohybuje v rozmezí od 2 mm do 25 mm, jedná se tedy o malé až velké mouchy. Barva může být různá, ale nikdy nemají kovově lesklé zbarvení. Pro forezně významné druhy je typické světle šedé zbarvení s třemi černými pruhy na mesonotumu (dorzální část středohrudi) a šachovnicovitým vzorem na zadečku. Arista tykadel je v bazální části ochlupená. Na meronu se nachází silné sety. Mediální žilka (M_1) v křídle je ohnutá směrem dopředu (Kejval & Pape 2009). Určení konkrétního druhu může být u této čeledi velmi obtížné, u mnoha skupin lze rozlišit pouze samce (Byrd & Castner 2009). Larvy mají soudkovitý tvar. Posteriovní stigmata larev zapadají do prohlubně a na okraji posledního článku je velké množství tuberkulů (Byrd & Castner 2009, Gennard 2007).

Dospělci se živí rozkládající živočišnou i rostlinou organickou hmotou. Další složka potravy může být nektar květů, míza nebo medovice mšic. Samice této čeledi nekladou vajíčka, ale jsou viviparní nebo ovoviviparní (Byrd & Castner 2009). Samice vajíčka inkubují ve váčku ve vejcovodu, a tudíž kladou již živé larvy prvního instaru (Kejval & Pape 2009). Potrava larev je živočišného charakteru, jedná se především o kadávery nebo výkaly zvířat. Masařkovití jsou vektoři různých onemocnění (Byrd & Castner 2009).

V Evropě se vyskytuje řádově 310 druhů z čeledi masařkovití (Sert et al. 2020). Z toho bylo 143 druhů zaznamenáno v České republice, přičemž v Čechách je evidováno 109 zástupců a 129 zástupců na Moravě (Verves & Barták 2018). Masařky nepatří v oblasti mírného pásu mezi běžné kolonizátory kadáverů. Ve střední Evropě forenzní entomologie využívá zhruba 25 druhů masařek. Avšak téměř ve všech případech je na kadáveru nalezen především jeden druh masařky. Konkrétně se jedná se o masařku *Sarcophaga argyrostoma* (Robineau-Desvoidy, 1830). Masařkovití se objevují na kadáveru během druhé sukcesní vlny (Šuláková 2014).

***Sarcophaga (Liopygia) argyrostoma* (Robineau-Desvoidy, 1830)**

Sarcophaga argyrostoma je druh mouchy vyskytující se v Čechách i na Moravě (Verves & Barták 2018). Sert et al. (2020) uvádí, že jejich práce je první studie, která se zabývá délkou jednotlivých fází vývinu puparia této masařky a vazbě na teplotu prostředí. Toto poukazuje na skutečnost, že tento druh není ve forenzní entomologii využíván jako první možnost pro určení post mortem intervalu. Znalost jednotlivých stadií kulek a jejich délka v různých teplotách umožňuje přesnější určení PMI. Withers a Roy (2020) uvádí případovou studii, ve které řeší případ myiázy. *Sarcophaga argyrostoma* nakladla larvy do operační rány staršího muže.

3.4.1.3 Forezně významné druhy čeledi Muscidae (mouchovití)

Jedná se o menší až středně velké mouchy, obvykle dosahují velikosti od 2 mm do 18 mm. Forezně významné druhy mají obvykle tmavou barvu a na hrudi a zadečku se může vyskytovat šedý nebo žlutý vzor. Rozmístění a přítomnost štětín jsou hlavní znak pro rozpoznávání jednotlivých druhů. Arista může být holá i ochlupená. Proboscis je obvykle kratší a ústní ústrojí se vyznačuje velkou labellou. Meron je téměř vždy bez silných štětín. Anální žilka nikdy nedosahuje okraje křídel (Gregor & Rozkošný 2009, Gregor et al. 2016). Larvy mají bílou až žlutou barvu (Byrd & Castner 2009). Larvy mají nerovnoměrně válcovitý tvar (Gregor & Rozkošný 2009) a lze je rozpoznat pomocí štěrbin ve tvaru písmene „S“ u posteriorních stigmat (Gennard 2007).

Pro tuto čeleď je charakteristická rozmanitost v typu preferované potravy a substrátu pro kladení vajíček. Pro kladení vajíček mohou využívat rozkládající se živočišný i rostlinný materiál, výkaly nebo oblečení nasáklé biologickým materiálem (Byrd & Castner 2009). Samičky kladou vajíčka i do substrátu pod kadáver, kde se vylíhlé larvy živí prosáklou tekutinou (Šuláková 2014).

V České republice se celkem vyskytuje 301 zástupců z čeledi mouchovití, z toho v Čechách 278 druhů a 260 na Moravě (Gregor & Rozkošný 2009). Barták (pers. comm.) později uvádí, že se v České republice vyskytuje již 309 druhů. Klimešová et al. (2016) provedli v České republice tři experimenty s expozicí kadáveru ve volné přírodě v různých ročních obdobích. Během těchto pokusů zachytili 51 druhů z této čeledi. Ve všech ročních obdobích se nejčastěji na kadáveru vyskytoval druh *Hydrotaea ignava* (Harris, 1780). Mouchovití se na kadáveru objevují až po bzučivkovitých a masařkovitých během druhé

anebo třetí sukcesní vlny. Dále je forenzně významný rod *Muscina* (Šuláková 2014). Přestože jsou v literatuře často zmiňovány mouchy rodu *Musca* jako forenzně významné druhy, Klimešová et al. (2016) během jejich experimentu téměř *Musca domestica* (Linnaeus, 1758) a *Musca autumnalis* (De Geer, 1776) nezachytili. I jiné případy z České republiky taktéž dokazují, že se tyto mouchy vyskytují na rozkládajících tělech velmi zřídka, jelikož samice preferují jako substrát pro kladení vajíček výkaly nebo hnijící zeleninu, a proto nemají pro forenzní entomologii větší význam (Klimešová et al. 2014, Šuláková 2014, Byrd & Castner 2009).

***Hydrotaea ignava* (Harris, 1780)**

V České republice je tato moucha typický a nejhojněji zastoupený druh nekrofágního hmyzu z čeledi moučovití (Šuláková 2014, Klimešová et al. 2016). Vyskytuje se na území Čech i Moravy (Gregor & Rozkošný 2009). Spolu s dalšími dalšími zástupci rodu *Hydrotaea*, jmenovitě *Hydrotaea armipes* (Fallen, 1825) a *Hydrotaea dentipes* (Fabricius, 1805), je *Hydrotaea ignava* typická pro třetí sukcesní vlnu, ve které dochází k aktivnímu rozkladu kadáveru (Klimešová et al. 2016).

***Muscina prolapsa* (Harris, 1780)**

Muscina prolapsa je nejčastější zástupce nekrofágní fauny z rodu *Muscina* (Klimešová et al. 2016). Tento druh se nelézá na území Čech i Moravy (Gregor & Rozkošný 2009). U kadáverů exponovaných v zimních měsících se procentuální zastoupení rodu *Muscina* na kadáveru zvyšuje, jelikož se snižuje počet much z čeledi bzučivkovití (Klimešová et al. 2016). Mouchy rodu *Muscina* jsou významné u těl zahrabaných v mělkých hrobech. Dospělé mouchy jsou přilákány zápachem a kladou vajíčka na povrch hrobu. Vylíhlé larvy jsou schopné proniknout až 40 cm zeminy a dostat se ke kadáveru (Bernhardt et al. 2016).

3.4.2 Forenzně významní zástupci z řádu Coleoptera (brouci)

Pro řád Coleoptera je charakteristická přeměna předního páru křídel v krovky. Zadní pár křídel je blanitý a v klidu, když brouci neletí, je složený pod krovkami (Daněk 1990, Byrd & Castner 2009). U některých druhů brouků dochází k redukci blanitých křídel a tito brouci jsou sekundárně nelétaví, avšak tyto rody nepatří mezi forenzně významné (Daněk 1990). Brouci mají kousací ústní ústrojí. Živí se rozličnými způsoby, někteří jsou predátory, jiní jsou mrchožrouty nebo se živí rostlinami (Byrd & Castner 2009). Někteří brouci mají v přírodě velký význam jako likvidátoři uhynulých živočichů (Daněk 1990). Brouci se k odhadu PMI využívají především při nálezů těla v pokročilém stadiu rozkladu, kdy již dochází k vysychání ostatků (Kulshrestha & Satpathy 2001).

Brouci prochází proměnou dokonalou. Z nakladených vajíček se líhnou larvy se třemi páry končetin. Larvy mají zřetelně rozeznatelnou hlavu (Byrd & Castner 2009). Larvy se často nachází pod kadáverem, kde se živí prosakujícími tekutinami. Ke kuklení obvykle dochází na chráněných místech. Mají kuklu volnou, na kukle jsou zřetelné základy všech částí těla (Castner 2009).

Čeleď Silphidae (mrchožroutovití) má na území České republiky 24 zástupců (Růžička & Jakubec 2017). Forezně důležité zástupci jsou mrchožrout pobřežní - *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758), a rod *Thanatophilus*. Přestože jsou v literatuře často zmiňováni hrobařiči (rod *Nicrophorus*), jejich význam je pro forezní entomologii malý, jelikož se na kádáveru obvykle nevyskytují jejich larvy ale pouze dospělí jedinci. Na kádáveru se mrchožroutovití vyskytují od druhé sukcesní vlny (Šuláková 2014). Dospělí jedinci jsou primárně draví a živí se larvami, ale larvy mrchožroutovitých se živí především organickou hmotou kádáveru (Byrd & Castner 2009). U některých druhů je pozorovatelná rodičovská péče. Dospělci vyvrhují potravu do úst larev do doby, než dospějí (Castner 2009).

Čeleď Dermestidae (kožojedovití) má v České republice 57 zástupců (Háva 2017). Forezně významní jsou tři zástupci. Konkrétně se jedná o *Dermestes frischii* Kugelann, 1792, *Dermestes murinus* Linnaeus, 1758 a *Dermestes undulatus* Brahm, 1790 (Daněk 1990, Šuláková 2014). Na kádáveru se objevují během třetí sukcesní vlny (Šuláková 2014). Larvy se někdy nazývají „woolly bear“ (volně přeloženo „vlnění medvídky“), což odkazuje na chloupky, které larvy na sobě mají. Tyto chloupky mohou být dráždivé, proto je nutné se vyvarovat kontaktu s okem nebo inhalaci (Kulshrestha & Satpathy 2001). Larvy i dospělci se živí uschlou (mumifikovanou) tkání, ale dospělci mohou být kanibalové a požírat vlastní larvy a kukly (Byrd & Castner 2009). Mohou se živit i chlupy, peřím anebo kostmi. Preferují sušší substrát a teplé prostředí. Na kádáveru zanechávají charakteristické stopy. Jejich výkaly jsou tmavé a mají tvar tenkého vlákna. Dále mohou být na kádáveru patrné zaoblené stopy po kousnutích (Schroeder et al. 2002). Dospělci při vyrušení předstírají, že jsou mrtví. Přetočí se na záda a složí nohy k tělu (Kulshrestha & Satpathy 2001). Kožojedovití značně urychlují proces skeletonizace, především ve vnitřních uzavřených prostorech, kde jsou méně vhodné podmínky pro mouchy a jejich larvy (Schroeder et al. 2002). Jejich vývojový cyklus je dobře prozkoumán, proto kožojedovití představují významné zástupce pro určení doby smrti (Daněk 1990).

Čeleď Staphylinidae (drabčíkovití) má v České republice více než 1450 zástupců. Jedná se o nejpočetnější čeleď brouků na území České republiky (Vávra et al. 2017). Mezi forezně významné zástupce patří drabčík páskovaný - *Creophilus maxillosus* (Linnaeus, 1758) a rody *Ontholestes*, *Philonthus* a *Aleochara* (výslunníci). Kádáver kolonizují během třetí sukcesní vlny (Šuláková 2014). Forezně významné druhy drabčíkovitých mají charakteristický vzhled. Mají štíhlé protáhlé tělo a tzv. polokrovky (velmi krátké krovky čtvercového tvaru). Dospělci i larvy forezně významných drabčíkovitých jsou predatorní, na kádáveru se živí drobnějším hmyzem a larvami (Byrd & Castner 2009). Na zadečku mají měchýřky se sekretem, který slouží jako obranný mechanismus (Daněk 1990). Mađra et al. (2014) při terénních experimentech provedených v západním Polsku zjistili, že některé druhy drabčíkovitých mají značnou sezónnost a preferenci typu prostředí. Z druhového složení fauny drabčíkovitých je proto možné usuzovat, zda došlo k přesunutí těla.

3.4.3 Forezně významní vodní bezobratlí

Mezi zástupci suchozemského hmyzu existuje řada nekrofágních druhů, které se specializují na rozklad kadáverů, a jsou důležitou součástí ekosystému. Avšak u vodního hmyzu k takovéto specializaci nedošlo, přestože je hmyz nejdůležitější skupinou bezobratlých ve sladkovodních tocích (Fenoglio et al. 2014). Vodní hmyz se dokázal přizpůsobit a vyskytuje se ve všech vodních prostředích, ve kterých by se mohlo rozkládající tělo nacházet (Merritt & Wallace 2009). Přesto se evolučně nevyvinuly žádné druhy, které by se živily pouze rozkládajícími se kadávery (Fenoglio et al. 2014).

Fenoglio et al. (2014) předkládají šest hypotéz, proč k této specializaci u vodního hmyzu nedošlo. První hypotéza vychází z toho, že i mezi suchozemským hmyzem pouze malé procento představují nekrofágní druhy. Takže nalezení nekrofágního druhu mezi vodním hmyzem je ještě méně pravděpodobné, protože pouze 3 % z celkového počtu hmyzu je vázáno na vodní prostředí (Merritt & Wallace 2009). Toto by mohlo souviset s evolucí hmyzu a evolučním tlakem, jelikož k přizpůsobení na vodní prostředí je sekundární (Fenoglio et al. 2014).

Druhá hypotéza se opírá o fakt, že vodní hmyz je vysoce potravně přizpůsobivý. Všechny vodní hmyz je alespoň v jedné fázi životního cyklu omnivorní. Tudíž se mohou živit případnými kadávery, ale i jiným materiálem (Fenoglio et al. 2014).

Třetí hypotéza předpokládá, že ve vodním prostředí je pro hmyz obtížnější kadáver nalézt než na souši. Suchozemský hmyz je lákán zápachem a plyny z kadáveru. Plynné látky se v terestrických podmínkách dobře šíří pomocí větru do širokého okolí. Šíření ve vodním prostředí je mnohem menší a může být ovlivněno tokem vody do jednoho směru (Fenoglio et al. 2014).

Čtvrtá hypotéza ukazuje na určitou podobnost mezi kadávery a výkaly obratlovců (například býložravců), které jsou v terestrickém prostředí více rozmanité. K preferenci těchto substrátů vedl pravděpodobně podobný evoluční tlak. Ve vodním prostředí není mnoho producentů velkého množství trusu, navíc dochází k jeho rozptýlení v prostředí, a proto nebyl u vodního hmyzu tento evoluční tlak tak silný (Fenoglio et al. 2014).

Pátá hypotéza zmiňuje nestálou a kratší dostupnost kadáverů ve vodním prostředí, což znemožňuje závislost pouze na tomto zdroji potravy (Fenoglio et al. 2014). Tuto hypotézu ale rozporují informace od jiných autorů, kteří uvádí, že rozklad ve vodě je pomalejší než na souši (Merritt & Wallace 2009).

Poslední šestá hypotéza uvádí, že vliv může mít i kompetice o kadáver jako zdroj potravy s ostatními bezobratlými. Příkladem jsou korýši (Crustacea), kteří se na souši téměř nevyskytují, a tak pro suchozemský hmyz nepředstavovali soupeře. Avšak ve sladkovodním prostředí jsou korýši nesespecializovaní mrchožrouti, a tím omezují sladkovodní hmyz (Fenoglio et al. 2014).

Existuje několik skupin bezobratlých, kteří se na rozkládajících kadáverech ve vodním prostředí vyskytují častěji a dalo by se teoreticky uvažovat nad jejich využitím pro kriminalistickou praxi (Merritt & Wallace 2009). Avšak menší rozsah znalostí o biologii

vodních bezobratlých znemožňuje prozatím jejich běžné využití ve forenzní entomologii. U těl nalezených ve vodním prostředí se určuje interval postmortem ponoření (postmortem submersion interval, PMSI). Interval postmortem ponoření je doba mezi potopením kadáveru do vody a jeho nalezením. Dále je možné uvažovat o využití vodních bezobratlých k zodpovězení otázky, zda tělo bylo nalezeno na místě ponoření nebo došlo k úmyslnému přemístění či posunu tokem vody (Siri et al. 2021).

Řád Ephemeroptera (jepice) je na území České republiky zastoupen 106 druhy (Soldán et al. 2017). Většinu délky života tráví jepice ve vodním prostředí ve stadiu nymfy (Sartori & Brittain 2015). Pro okřídlené dospělé jepice je charakteristický velmi krátký život, obvykle žijí pouze 2 až 3 dny. Jepice jsou rozmanitou skupinou a nymfy různých skupin mají rozdílný způsob života. Larvy jepic z některých skupin byly pozorovány poblíž a na kadáverech. Nymfy jepic se mohou na kadáveru živit usazenými jemnými částicemi organické hmoty nebo řasami, které kadáver často pokrývají (Merritt & Wallace 2009).

Po redukci několika druhů kvůli nedostatečnému prokázání na našem území má řád Plecoptera (pošvatky) v České republice 95 zástupců (Bojková et al. 2017). Pošvatky pro vývin a život vyžadují čistou a chladnou vodu, pomalu až středně rychle tekoucí tok a oblázky na dně. Larvální vývin je pomalý a trvá téměř rok. Pošvatky se dělí na dvě skupiny podle způsobu získávání potravy: na drtiče (shredders) a predátory. Obě skupiny byly pozorovány na ponořených kadáverech. Pokud se na kadáveru vyskytují dravé pošvatky, lze usoudit, že tělo se po určitou dobu nacházelo v klidnější části řeky, aby se na kadáveru mohly vyskytovat larvy jiných druhů, kterými se živí pošvatky (Merritt & Wallace 2009).

Z řádu Trichoptera (chrostíci) se v České republice vyskytuje 259 zástupců (Chvojka & Komzák 2017). Chrostíci se vyskytují ve stojatých i tekoucích vodách. Pro tento řád je charakteristická tvorba nebo využívání schránek z různého materiálu. Schránky jsou tvořené z větviček, listů, kamínků nebo zrněk písku. Chrostíci dokážou vytvářet hedvábné vlákno, čímž tyto materiály slepují dohromady. Jak larva roste a zvětšuje se, stěhuje se z menší schránky do větší a starou zanechá na místě. Různé druhy preferují v různém stadiu vývinu rozdílné materiály na tvorbu schránek. Tento vlastnost může napomoci určení konkrétního druhu, pokud se na kadáveru najde schránka chrostíka. Poté by se podle biologie druhu dalo odhadnout, kdy se tělo dostalo do vody (Merritt & Wallace 2009). Byl zaznamenán případ, kdy si chrostík do vrcholu schránky začlenil vlákno z oblečení mrtvého. Jelikož se vlákno nacházelo pouze na vrcholu a v místě, kde byla schránka přilepena k oblečení, dokázali experti vyvodit minimální dobu, po kterou tělo bylo ve vodě. Chrostíci se mohou živit kůží kadáveru, pokud není zakryta oblečením (Benecke 2005). V Severní Americe bylo vícekrát pozorováno, že se larvy chrostíků živí uhynulými lososy (Merritt & Wallace 2009, Fenoglio et al. 2014).

Čeďed' Chironomidae (pakomárovití) z řádu Diptera (dvoukřídílí) je v České republice zastoupena 259 druhy (Hamerlík 2007). Pakomáři obvykle kolonizují kadáver jako první (Merritt & Wallace 2009), ale nejsou typičtí pro žádnou sukcesní vlnu a na kadáveru se mohou objevit v různém larválním instaru, jelikož se vajíčka a první larvální instary nechávají unášet vodou. Ponořený kadáver využívají jako zdroj potravy nebo úkryt. Nepodílí

se přímo na rozkladu kadáveru, jelikož se živí drobnými částčkami organické hmoty. Různé druhy pakomárů vyžadují různou kvalitu vody. Záleží na teplotě, pH, množství kyslíku, znečištění nebo typu toku (Siri et al. 2021). Přesto se vyskytují téměř ve všech typech vodního prostředí. Proto jsou pakomáři k nalezení téměř na všech tělech nalezených ve vodním prostředí v hojném množství (Merritt & Wallace 2009). Využívání pakomárů ve forenzní entomologii by mělo být obezřetné. Prozatím jsou pakomáři občas využíváni k potvrzení, že s tělem nebylo manipulováno (Siri et al. 2021).

Někteří zástupci korýšů (Crustacea), například sladkovodní raci, jsou z vodních bezobratlých nejbližší k nekrofágnímu způsobu získávání živin (Merritt & Wallace 2009). Desetinožci (Decapoda) se podílejí na rozkladu kadáverů ve vodním prostředí (Magni et al. 2021). Avšak v České republice se vyskytuje pouze šest druhů raků, z nichž dva původní druhy jsou vedeny na Červeném seznamu ohrožených druhů (Vlach & Fisher 2017). Benecke (2005) uvádí příklad, že blešivec obecný *Gammarus pulex* (Linnaeus, 1758) zanechává na těle stopy jako po vpichu jehlou. Daněk (1990) též uvádí, že blešivci narušují kadávery ležící u dna. V mořské prostředí je možné se setkat se svijonožci (Cirripedia), kteří se permanentně přichytí na kadáver (zuby, kosti, oblečení nebo boty). Podle velikosti a množství svijonožců na kadáveru lze odhadovat přibližně dobu, po kterou kadáver byl v moři. Například na neoprenu se svijonožci objeví již v prvním měsíci pod vodou. Vyšší teplota a delší doba v moři se vyznačuje vyšším počtem a větší velikostí svijonožců (Magni et al. 2021).

4 Metodika

Experiment byl zaměřen na ověření informací zjištěných v rámci literární rešerše a ověření chování larev při migraci ve vodním prostředí.

4.1 Popis lokality

Experiment byl proveden na zahradě rodinného domu v obci Chrastava, která se nalézá v okrese Liberec. Místo experimentu se nachází na zeměpisných souřadnicích 50°48.953' N, 14°58.171' E, v nadmořské výšce 296 m n. m. Zahrada se nachází v zastavěné části města. Od místa experimentu je přibližně 45 metrů vzdálený potok a na zahradě se vyskytuje větší množství ovocných stromů a thují. Boxy, ve kterých byl experiment prováděn, byly umístěny na trávníku, kam po většinu dne dopadalo přímé sluneční záření. Na letecké fotografii je označeno místo (příloha 1), kde byl experiment uskutečněn.

4.2 Popis experimentu

Experiment trval 9 dní, byl zahájen 19. června 2021 a ukončen byl 27. června 2021. Experiment probíhal ve dvou opakováních (varianta 1 a 2), které byly uskutečněny současně.

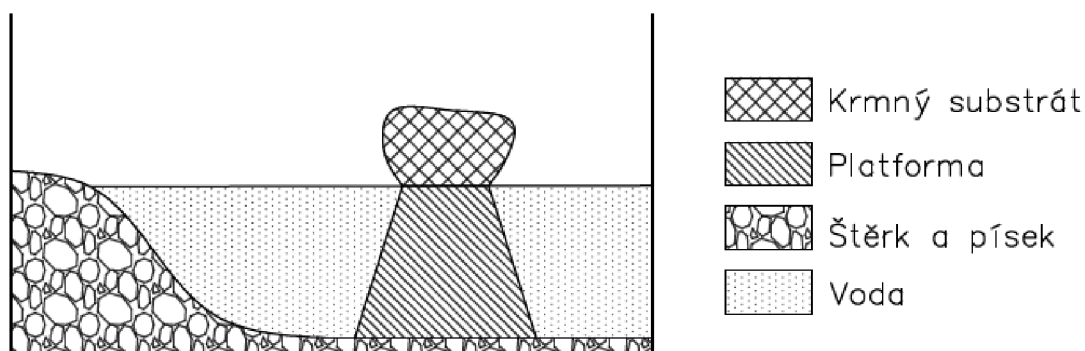
4.2.1 Příprava experimentu

Základem experimentu byly plastové boxy, ve kterých byl simulován rozklad ve vodním prostředí. Rozměry boxu byly 39 cm x 28 cm, výška byla 28 cm. Byly vytvořeny tři různé typy prostředí. V boxu varianty A bylo vytvořeno dno se svažujícím se břehem bez vegetace. Na nákresu je graficky znázorněn tato varianta (obrázek 1). V boxu varianty B bylo vytvořeno dno se svažujícím se břehem a s listím a kusy větví, které představovaly vegetaci na hladině (příloha 2). V boxu varianty C nebyl vytvořen břeh, pouze dno zalité vodou (příloha 3). Svah byl vytvořen z pásu pozinkovaného pletiva smotaného do ruličky, který byl zasypán betonářským štěrkem o frakci 0 mm - 4 mm. Dno bylo pokryto křemenným pískem zhruba v 3cm vrstvě. Každá varianta byla vytvořena dvakrát, celkem bylo připraveno šest boxů (přílohy 4 a 5).

V každém plastovém boxu byla v části s vodou zhotovena z převrácených květináčů pevná platforma, která fixovala krmný substrát v určitém místě boxu a bránila jeho ponoření pod vodní hladinu. Při experimentu bylo do každého boxu umístěno místo kadáverů řádově 250 g vepřového masa, konkrétně vepřová kýta. Maso představovalo krmný substrát, na který kladly mouchy vajíčka a na kterém se vyvíjely larvy až do migrační fáze.

K imitaci vodní hladiny byla použita pitná voda z vodovodní sítě. Vodní hladina dosahovala výšky platformy, aby bylo maso částečně ponořené ve vodě a larvy nemohly využít suchou část platformy ke kuklení. Na ochranu experimentálních boxů proti poškození zvířaty (kuny, kočky) byly boxy zakryty pletivem, které avšak nebránilo vletu a odletu hmyzu. Boxy byly položeny v rámci experimentální plochy na osluněné místo vzájemně v metrových

rozestupech. Uprostřed mezi boxy byl ve stejné výšce u země umístěn DataLogger Voltcraft DL-140TH, který zaznamenával informace o teplotě a vlhkosti během experimentu.



Obrázek 1: Nákres experimentálního boxu (varianta A)

4.2.2 Průběh experimentu

Experiment byl zahájen volnou expozicí masa mimo boxy po dobu 6 hodin, aby bylo zajištěno naklazení vajíček na všechny varianty za stejných podmínek. V průběhu expozice byly pozorovány a písemně a fotograficky dokumentovány druhy hmyzu, které se na maso slétaly. Po zaklazení mušími vajíčky byly jednotlivé kusy masa přeneseny na platformy do připravených beden, avšak nadále bylo hmyzu umožněno na maso létat. V následujících dnech bylo pozorováno líhnutí larev z vajíček, vývin larev a jejich migrace ve vodním prostředí. Experiment byl ukončen poté, co ve všech boxech proběhla migrační fáze a byly získány vzorky larev.

V průběhu experimentu byly boxy podle počasí zakrývány plastovými víky, aby při vytrvalém dešti nedošlo k vytopení experimentu a zániknutí vytvořeného břehu. Popřípadě byla doplněna voda, pokud došlo k vypaření vody a vznikla tak neponořená část platformy. Voda byla opatrně dolita po boku boxu, aby došlo k nejmenšímu narušení pokusu.

4.3 Dokumentace

Během celého experimentu byly pravidelně pořizovány fotografie a zápisy o pozorovaných změnách. Při volné expozici masa bylo fotografování zaměřeno na zachycení všech druhů hmyzu, které se na návnadu (maso) slétaly a případně kladly vajíčka. Následně byly dokumentovány vylíhlé larvy. Pozornost byla zaměřena především na larvy III. instaru, které byly v migrační fázi. V migrační fázi byly pořízeny i video záznamy jejich chování a pohybu ve vodním prostředí. Během celého experimentu byl také dokumentován stav rozkladu masa.

4.4 Vzorky

Sběr vzorků byl zaměřen především na larvy, které se dokázaly z krmného substrátu dostat mimo vodní plochu. Z každého boxu byl odebrán vzorek larev, které jakýmkoliv způsobem překonaly vodu a dostaly na vytvořený břeh nebo na bok plastového boxu. Tyto larvy byly následně odebírány pinzetou do plastových zkumavek s otvory pro přístup vzduchu, aby nedošlo k jejich úhynu. Zkumavky byly v období mezi odběrem a jejich převozem do laboratoře uskladněny v lednici při teplotě řádově 4 °C. Vzorky larev k určení druhů byly předány do 7 dnů od odebrání. Vzorky byly předány forenzní entomoložce plk. Ing. Haně Šulákové, Ph.D., z Kriminálního ústavu Policie ČR v Praze za účelem určení konkrétních druhů.

5 Výsledky

5.1 Průběh experimentu

V průběhu experimentu byly v jednotlivých experimentálních boxech pečlivě pozorovány a podrobně zaznamenávány všechny změny, zejména kolonizace krmných substrátů nekrofágními zástupci hmyzu, kladení vajíček, vývin larev až do migrační fáze a především samotný způsob migrace ze substrátu obklopeného vodní plochou. Naměřená teplota a relativní vlhkost během experimentu je zobrazena v grafu (příloha 6).

První den (19. červen 2021)

12.00 – Začátek expozice masových nástrah. První moucha se objevila již za 5 minut a jejich počet postupně přibýval. V průběhu expozice bylo pozorováno nalétávání hmyzu na masové nástrahy. Byly pozorovány vosy a zástupci z čeledí bzučivkovití (Calliphoridae), kterých bylo na mase pozorováno početně nejvíce, a mouchovití (Muscidae). Na mase a v jeho okolí se objevily hnědé tečky, výkaly much.

18.00 – Přemístění nástrah do plastových boxů na platformy.

20.00 – Vajíčka byla zřetelně viditelná u variant B1, B2, C1 a C2. Maso nejevilo známky rozkladu, bylo pouze oschlé.

Druhý den (20. červen 2021)

07.30 – Na masových nástrahách byla vajíčka viditelná opět pouze na variantách B1, B2, C1 a C2. Objevil se lehký zápach a maso bylo oschlé.

14.00 – Vajíčka much se dále objevila na variantě A2. U varianty B2 se objevily larvy prvního instaru. V místě ponoření masa do vody se objevila pěna.

16.30 – Na masové nástrahy dále přilétalo velké množství much, které dále kladly vajíčka. Vajíčka much byla nově zpozorována na masové nástraze varianty A1. Larvy I. instaru byly nadále zjištěné pouze u varianty B2.

19.30 – Ve variantě B2 se zvýšil počet larev I. instaru. U varianty C1 byla vajíčka nakladena na ponořenou platformu. U varianty C2 byly mouchami nakladeny dva shluky vajíček i do vody. Neponořená část masových nástrah byla oschlá, část ponořená ve vodě zvodnatěla, což se projevovalo vyblednutím a změknutím svaloviny.

Třetí den (21. červen 2021)

08.00 – Pouze nakladená vajíčka byla nadále pozorována u variant A1, A2, B1, C1 a C2. U varianty B2 se objevily larvy druhého instaru. U varianty C2 došlo k potopení dvou shluků vajíček nakladených předešlý den ke dnu a došlo i ke spadnutí dalšího shluku vajíček z masové nástrahy do vody, tato vajíčka zůstala plavat u hladiny.

10.00 – U varianty C2 byly zpozorovány larvy I. instaru.

11.00 – U varianty A2 byly zpozorovány larvy I. instaru. U varianty C2 se objevily živé larvy I. instaru na shluku plovoucích vajíček ve vodě.

15.30 – Larvy I. instaru byly dále zpozorovány na variantě B1 a C1. Tímto byly larvy zjištěny na všech variantách kromě varianty A1.

19.30 – U varianty B2 došlo k odpadnutí kusu masa do vody, tím pádem do vody spadly i larvy, které se na této části nástrahy nacházely. U dna se nacházely larvy všech stadií, z nichž některé se ještě pohybovaly. Většina (odhadem 70 %) larev třetího instaru plavala na hladině a pohybovala se od místa potopení nástrahy k bokům plastového boxu (příloha 7). Na hladině se nacházela i larvy I. a II. instaru, všechny stadia larev se pohybovala stejným způsobem (pohyb podobný tzv. pídalkovitému pohybu).

20.30 – Většina zbylých larev klesla ke dnu a přestala se pohybovat/utopila se. Byly pozorovány 3 larvy, které se dostaly mimo vodní prostředí. Larva II. instaru se zachytila na vegetaci. Proběhl odběr vzorků larev, které úspěšně překonaly vodní plochu.

Čtvrtý den (22. červen 2021)

07.15 – U varianty A1 byly zpozorovány larvy I. instaru. U varianty A2 a byly zpozorovány larvy II. instaru. U varianty B2 se již na hladině nenacházely žádné larvy, klesly ke dnu. U varianty C2 došlo k potopení třetího shluku vajíček a na masové nástraze byly pozorovány larvy II. instaru. U varianty B2 a C2 se objevilo velké množství pěny okolo masa.

10.45 – V experimentálním boxu varianty B2 byl na vytvořeném břehu nalezen hrobařík obecný *Nicrophorus vespillo* (Linnaeus, 1758). Na těle hrobaříka se nacházeli foretičtí draví roztoči.

16.00 – U varianty B1 byly zpozorovány larvy II. instaru.

18.30 – U variant A2 a C2 byly objeveny larvy III. instaru, které se po masové nástraze rychle pohybovaly od jednoho konce k druhému. U variant A1, B1 a C1 držela masová nástraha svůj původní tvar, u variant A2, B2 a C2 docházelo kvůli vysokému počtu larev konzumujících maso k jeho rozpadu na kusy.

Pátý den (23. červen 2021)

07.30 – Živé larvy všech stadií byly pouze na masových nástrahách. Nehybné larvy ve vodě, které se většinou vznášely přibližně 2 cm od dna, byly utopené v různé vzdálenosti od masové nástrahy. U varianty A1 a C1 byly zpozorovány larvy II. instaru. U varianty B1 byly zpozorovány larvy III. instaru.

11.00 – U varianty A2 byla zpozorována zvýšená pohybová aktivita larev na masové nástraze. U varianty C2 se nacházely dvě živé larvy III. instaru na vodní hladině a plavaly u okraje plastového boxu.

12.45 – U varianty A2 začala migrace larev III. instaru, jelikož se ve vodě nacházelo větší množství larev. Většina larev plavala na hladině nebo byla mírně potopena pod vodní hladinou.

14.00 – U varianty A2 se vyskytovala jedna larva III. instaru na vytvořeném břehu, ale kvůli mokrému břehu se vracela zpět do vody. Další larva III. instaru ležla po boku plastového boxu.

14.45 – U varianty C2 započala migrace larev, živé larvy III. instaru se nacházely na vodní hladině.

16.00 – U varianty C2 probíhala plně migrace, jelikož se ve vodě nacházelo velké množství larev (příloha 8). Téměř všechny larvy plavaly těsně pod hladinou. Většina larev byla III. instaru, ale ve vodě se vyskytovala i předchozí stadia. Čtyři larvy lezly po plastovém boxu.

16.40 – U varianty C2 byly pozorovány larvy potopené u dna, některé z nich se stále hýbaly.

19.00 – U variant A1 a C1 stále nebyly pozorována larvy III. instaru, larvy byly stále především uvnitř masa, což znesnadňovalo pozorování. U varianty A2 a C2 byly nadále pozorovány larvy, které překonaly vodní plochu a lezly po boku boxu.

Šestý den (24. červen 2021)

07.00 – U varianty B1 byla pozorována jedna larva zachycená na plující vegetaci. U varianty C1 byly pozorovány larvy III. instaru pohybující se po masové nástraze. U variant A2, B2 a C2 přes noc pokračovala migrace larev, u těchto variant již došlo ke konzumaci téměř celé masové nástrahy. U varianty A2 lezly po boku boxu dvě larvy a na víku boxu se pohybovaly další čtyři larvy. U varianty B2 bylo nalezeno větší množství lezoucích larev na boku i víku boxu. Mezi larvami III. instaru byla pozorována i larva druhého stadia. U varianty C2 se vyskytovalo největší množství lezoucích larev na boku a víku boxu.

13.45 – U variant A1, B1 a C1 byla konzumace masové nástrahy pomalejší, způsobena nejspíše menším množstvím larev. U varianty A2 pokračovala migrace. Na boku boxu se nacházelo několik larev, ale většina larev na vodní hladině byla utopena. U varianty B2 na platformě již nebyla žádná masová nástraha, nezkonzumovaná část byla potopená ve vodě. Většina larev ve vodě byla utopena, převážně se nacházely na vodní hladině u břehu a okraje plastového boxu. Zbývalo několik plavajících larev. Nehybné/utopené byly i larvy nacházející se na plující vegetaci. U varianty C2 byla nezkonzumovaná část masa potopená ve vodě. Většina larev byla utopena a nehybně plavala na hladině nebo u dna (v části mezi hladinou a dnem nebyly ve vodě téměř žádné larvy).

18.00 – U varianty A1 byly pozorovány larvy III. instaru. U varianty B1 se nacházelo sedm larev III. instaru na vodní hladině. U varianty C1 byla pozorována větší aktivita larev v masové nástraze.

Sedmý den (25. červen 2021)

7.30 – U varianty A1 došlo přes noc k převrnutí masové nástrahy z platformy do vody. Živé larvy III. instaru postupně vypadávaly z potopené nástrahy. Některé larvy dokázaly překonat vodní plochu a dostat se na bok boxu. U varianty B1 začaly migrovat první larvy, dvě larvy byly nalezeny na boku boxu. U varianty C1 nebyla prozatím pozorována žádná larva ve vodě. U varianty A2 pokračovala migrace, nejvíce živých larev se nacházelo na víku boxu v místě kontaktu s boky boxu. U varianty B2 se nacházelo několik posledních živých larev na boku boxu, utopené larvy plující na vodní hladině se hromadily u břehu. U varianty C2 byly všechny larvy ve vodě nepohyblivé/mrtvé, nacházely se u dna nebo pluly na hladině u okraje boxu. Aktivita larev byla zaznamenána pouze v potopené masové nástraze.

13.15 – U varianty A1 se stále vyskytovaly plavající larvy, některé se dostaly k boku boxu. U varianty C1 a B1 se v okolí masa vyskytovala pěna. U varianty A2 byly objeveny larvy zavrtané na břehu ve štěrku.

20.00 – U varianty A1 je pozorován pohyb larev v masové nástraze a bylo objeveno několik larev zavrtaných do písku na břehu. U varianty B1 začala migrace, plovoucí vegetace v některých případech spíše omezovala pohyb larev ke břehu. U varianty C1 stále nezačala migrace. U varianty A2 a C2 se již nepohybovaly larvy na vodní hladině, ale stále byla pozorována aktivita larev zavrtaných v masové nástraze. U varianty B2 nebyla aktivita pozorována ani u larev na vodní hladině ani v masové nástraze.

Osmý den (26. červen 2021)

07.40 – U varianty B1 pokračovala migrace larev, byla pozorována larva lezoucí po vegetaci (listu). U varianty C1 byly dvě larvy na vodní hladině. U variant A1, A2, B2 a C2 zůstala situace stejná jako předešlý den.

10.15 – U varianty C1 přibylo ve vodě dalších pět larev, probíhal začátek migrační vlny.

12.45 – U varianty C1 bylo na vodní hladině větší množství larev, probíhala migrace.

18.00 – U varianty A1 několik larev aktivně plavalo, pohyb byl pozorován i v masové nástraze a larvy lezly i po břehu. U varianty B1 a C1 byla stále masová nástraha s larvami na platformě, potopené larvy u vodní hladiny byly nehybné. U varianty A2 a C2 došlo k vyplavení uhynulých larev ze dna na hladinu.

Devátý den (27. červen 2021)

08.45 – U varianty A1 byly stále pohybující se larvy v mase, většina utopených larev klesla ke dnu. U varianty B1 probíhala migrace, některé larvy se dostaly na plastový box nebo se zachytily na vegetaci. U varianty C1 stále probíhala migrace, pár larev se dostalo na plastový box. U varianty A2, B2, C2 došlo k potopení většiny larev ke dnu.

17.00 – U varianty B1 byly zpozorovány larvy zavrtané do břehu.

20.00 – U varianty A1 se stále pohybovaly larvy v masové nástraze. U variant B1 a C1 byly larvy na vodní hladině nehybné. Masové nástrahy s larvami zůstaly na platformě. U varianty A2, B2 a C2 se na hladině objevilo velké množství larev, jelikož utopené larvy opět vyplavaly na hladinu. Došlo k ukončení pokusu, při likvidaci materiálu z experimentálních boxů byly nalezeny živé larvy zavrtané hluboko ve vrstvě štěrku.

5.2 Determinace

U odebraných vzorků larev byla určena druhová příslušnost a pohlaví. Bylo zajištěno a určeno 28 vzorků larev. Všechny vzorky byly z rodu *Lucilia*. Nejpočetněji zastoupený druh byl *Lucilia caesar* (tvořil 75 % všech jedinců). Jako druh *Lucilia caesar* bylo určeno 21 jedinců. Druh *Lucilia caesar* se vyskytoval ve všech variantách experimentálních boxů. Početně druhý byl druh *Lucilia illustris*. Jako druh *Lucilia illustris* bylo určeno 5 jedinců, což odpovídá 17,86 %. Posledním zastoupeným druhem byl *Lucilia sericata*. Byly určeny 2 jedinci, a to pouze u varianty A2. Druh *Lucilia sericata* tvořil 7,14 %. Procentuální druhové zastoupení

zobrazuje graf (příloha 9). Podrobné rozdělení odebraných vzorků larev podle varianty boxu je zobrazeno v tabulce (příloha 10). V zastoupení pohlaví bylo 11 samic a 17 samců (příloha 11). Samice tvořily 39,29 % a samci tvořili 60,71 %.

6 Diskuze

Experiment byl zaměřen na zjištění migračního chování larev před kuklením při obklopení kadáveru vodou. Výsledky experimentu potvrzují pouze některá tvrzení zjištěná v rámci literární rešerše.

Různí autoři (Payne & King 1972, Daněk 1990, Kreitlow 2009, Merritt & Wallace 2009, Šuláková 2014) se shodují, že rozdělení jednotlivých vln rozkladu a jejich délka závisí na mnoha faktorech, například specifičnosti prostředí, geografické poloze a teplotě prostředí. U kadáverů na pevnině začíná osidlování terestrickým hmyzem obvykle ihned po úmrtí (Daněk 1990, Anderson 2009), avšak u těl ve vodním prostředí je osidlování možné až ve druhé vlně, která může pod vlivem mnoha faktorů prostředí nastat za rozličně dlouhou dobu (Merritt & Wallace 2009, Bugajski & Tolle 2014).

Při realizovaném experimentu byla vytvořena platforma, které udržovala krmný substrát nad hladinou, proto nebylo možné pozorovat první vlnu rozkladu těla ve vodním prostředí, tzv. čerstvé ponořené tělo, kterou uvádí Merritt a Wallace (2009). Na krmném substrátu byla sledována rovnou druhá vlna rozkladu, tzv. raně plovoucí tělo, ve které na krmný substrát nalétávaly terestrické druhy nekrofágního hmyzu, jmenovitě mouchy čeledí bzučivkovití a masařkovití. Jedná se o čeledě, které Šuláková (2014) a další autoři uvádí jako typické druhy much, které kladou vajíčka na kadávery v suchozemském prostředí a jsou typické pro první a druhou sukcesní vlnu. Platformou byla krmná nástraha po celou dobu experimentu udržovaná ve druhé vlně rozkladu, jelikož zabraňovala potopení krmného substrátu. Avšak během experimentu došlo u dvou variant (A1 a B2) aktivitou larev k potopení krmného substrátu, jak popisují Merritt a Wallace (2009) u třetí až čtvrté fáze.

Merritt a Wallace (2009) a Bugajski a Tolle (2014) uvádějí, že larvy nejsou schopné překonat vodní plochu a zakuklit se, jelikož při migraci ve vodním prostředí umírají. Výsledky provedeného experimentu ovšem naznačují, že za jistých podmínek je část larev schopna dosáhnout souše a následně se zakuklit. Bylo pozorováno, že larvy v migrační fázi aktivně opouštěly krmný substrát, tak jak popisují mnozí autoři (Gomes et al. 2006, Castner 2009, Turpin et al. 2014). U všech variant se některé larvy snažily na vodní hladině pohybovat, ale k jejich posunu mohlo přispět i mikroproudění vody způsobené například větrem, pohybem ostatních larev nebo kapkami deště. Tato skutečnost nebyla popsána v žádné známé literatuře, ale odpovídá tvrzení Lewis a Benbow (2011), že se larvy snaží opustit vlhké prostředí a dostat se na sušší místo. Současně je nezbytné připustit, že schopnost larev dosáhnout břehu byla ovlivněna velikostí experimentu, ve kterém platforma s krmným substrátem nebyla vzdálená od boku boxu více než 10 cm a larvy tedy musely ve vodě překonat menší vzdálenost než v experimentu provedeném autory Bugajski a Tolle (2014). Z provedeného experimentu tedy vyplývá, že část larev je při migrační fázi schopná zvládnout alespoň určitou vzdálenost ve vodě, aniž by došlo k jejich úhynu.

Ve všech případech se larvy dostaly přes vodní plochu pouze na její hladině. Nebylo zjištěno, že by larvy byly schopné překonat potřebnou vzdálenost k okraji boxu aktivním způsobem pod vodou, respektive po dně. Několikrát byly pozorovány stále živé larvy

potopené ke dnu boxu, ale ani jednou nebylo zaznamenáno, že by larvy byly schopné ve vodě po dně aktivně lézt a dostat se tak na souš.

U žádné varianty nebyly pozorovány larvy, které by si ke kuklení zvolily místo na krmném substrátu. Všechny larvy skončily nějakým způsobem (z vlastní vůle, odpadnutím krmného substrátu do vody, pohybem ostatních larev) ve vodě. U variant A1, A2 a B1 bylo nalezeno cca 15 larev, které se zahrabaly v břehu nasáklém vodou, to odporuje tvrzení Lewis a Benbow (2011), že larvy vyhledávají sušší místo, protože břeh byl podmáčený. Avšak většina přeživších larev opustila experimentální box po jeho stěně a snažila se zakuklit mimo něj.

Při experimentu se neukázalo, že by jednotlivé varianty (vodní hladina s pozvolným břehem, vodní hladina s plující vegetací a pozvolným břehem, prostředí pouze s vodní hladinou) měly vliv na úspěšnost larev při migraci. U všech variant došlo k utopení cca 75 % larev. U variant s břehem (A1, A2, B1 a B2) nebyla zaznamenána preference migrace larev přes břeh, z vodní plochy se larvy dostávaly nejkratší možnou cestou. U varianty s vegetací na hladině (B1 a B2) bylo možné pozorovat využívání vegetace některými larvami k lezení, ale larvy na ní nezůstávaly a pokračovaly dál k okrajům boxu. Uvedené chování mohlo být způsobeno instinktivní potřebou nalézt vhodné místo pro úspěšné dokončení kuklení, což zmáčená vegetace nepředstavovala. Proto larvy pokračovaly dále v lezení. Neprokázalo se, že by vegetace měla výrazněji pozitivní vliv na úspěšnost larev při překonávání vodní plochy. V pozdější fázi experimentu byly na vegetaci nalezeny mrtvé larvy, které se na ni pravděpodobně zachytily pasivním pohybem.

Nepotvrdily se výsledky Kočárka (2001), který uvádí, že larvy *Lucilia caesar* v České republice migrují pouze v noci. Například u larev varianty C2 bylo pozorovatelné postupné navýšení migrace přes den, začátek migrace byl zaznamenán v 14.45 a do 19.00 bylo pozorovatelné velké množství migrujících larev. Avšak Kočárek (2001) experiment prováděl v terestrickém prostředí, tudíž obklopení kadáveru vodou mohlo značně ovlivnit dobu začátku migrace, a to odsunutím migrační fáze do nejzazší možné chvíle.

V experimentu zastoupené druhy *Lucilia caesar*, *Lucilia illustris* a *Lucilia sericata* potvrzují tvrzení Šulákové a Bartáka (2013), že patří mezi běžné forenzně významné a hojně se vyskytující bzučivkovité v České republice. Místu expozici kadáveru odpovídají nalezené druhy much, jelikož bzučivky rodu *Lucilia* preferují pro kladení vajíček teplá slunečná místa (Daněk 1990, Byrd & Castner 2009). Nejčteněji se vyskytovala bzučivka *Lucilia caesar* (příloha 9), která preferuje o trochu stinnější místa než ostatní dva druhy (Sonet et al. 2012). Toto mohlo být zapříčiněno poklesem teplot a deštivým počasím od čtvrtého dne experimentu. Druhové zastoupení bylo chudší než u kadáverů na souši, u kterých jsou obvykle čtyři až pět druhů, jak uvádí Bugajski a Tolle (2014). Avšak také to mohlo být způsobeno velikostí krmného substrátu, který měl pouze 250 g. Jelikož byl odebrán relativně malý vzorek larev nelze ustanovit, zda mělo pohlaví anebo druhová příslušnost vliv na schopnost dostat se mimo vodní prostředí.

Prozatím neexistují vodní bezobratlí, kteří by se běžně využívali ve forenzní entomologii k určení přesného PMI. Avšak někteří autoři (Merritt & Wallace 2009, Siri et al.

2021, Magni et al. 2021) se zabývají několika skupinami bezobratlých, u kterých se při podrobnějším zkoumání předpokládá možnost využití v praxi.

Hypotéza, která zněla: „Pokud je kadáver obklopen vodním prostředím migrující larvy čeledi Calliphoridae nejsou schopné dosáhnout pevniny a zakuklit se.“, se nepotvrdila, jelikož se část larev při experimentu dokázala překonat vodní plochu a dosáhnout potřebného břehu.

7 Závěr

- Cílem této bakalářské práce bylo věnovat se specifickým rozkladu kadáveru ve vodním prostředí. Literární rešerše a experiment byl zaměřen na migrační fázi III. instaru larev před kuklením. Na migrační fázi působí mnoho vlivů a migrace je ve vodním prostředí velmi rozdílná od migrace na pevnině.
- Rozdělení jednotlivých fází rozkladu těla se neliší pouze podmínkami prostředí (suchozemské prostředí versus vodní prostředí), ale velmi záleží i na geografické poloze a teplotě prostředí.
- Ve forenzní entomologii nejsou v běžné praxi využíváni vodní bezobratlí k určení přesného post-mortem intervalu, proto se využívá suchozemský hmyz, který na kadáver přilétává během druhé vlny (raně plovoucí tělo).
- Při terénním experimentu byly použity tři varianty – vodní hladina s navazujícím pozvolným břehem, vodní hladina s plující vegetací a navazujícím pozvolným břehem a prostředí pouze s vodní hladinou. Varianty byly vždy ve dvou opakováních.
- Jednotlivé varianty neměly výraznější vliv na úspěšnost přežití larev. Larvy ve všech variantách dokázaly překonat vodní hladinu a dosáhnout umělého břehu, nebo stěny experimentální boxu.
- Všechny larvy překonaly vodní plochu na její hladině. U larev nebyla zjištěna schopnost aktivně lézt po dně.
- V odebraných vzorcích byli zjištěni pouze zástupci rodu *Lucilia*, jmenovitě druhy *Lucilia caesar*, *Lucilia illustris* a *Lucilia sericata*, přesto že na návnady během expozice nalétával hmyz z jiných rodů a čeledí.
- Výsledky experimentu mohly být ovlivněny velikostí pokusných boxů, proto v budoucnu doporučujeme zopakovat experiment v přirozenějších podmínkách prostředí nebo ve větším měřítku, kdy by mohlo být přesněji zjištěno, jakou vzdálenost dokážou larvy ve vodním prostředí překonat, než se utopí.
- Stanovená nulová hypotéza, že migrující larvy čeledi Calliphoridae nejsou schopné ve vodním prostředí dosáhnout pevniny a zakuklit se, se experimentem nepotvrdila, jelikož ve všech variantách bylo zaznamenáno několik larev, které byly schopné překonat vodní plochu a dostat se mimo experimentální box.

8 Literatura

Amendt J, Campobasso CP, Gaudry E, Reiter C, LeBland HN, Hall MJR. 2007. Best practice in forensic entomology – standards and guidelines. *International Journal of Legal Medicine* **121**:90-104.

Amendt J, Krettek R, Zehner R. 2004. Forensic entomology. *Naturwissenschaften* **91**:51-65.

Amendt J, Richards CS, Campobasso CP, Zehner R, Hall MJR. 2011. Forensic entomology: applications and limitations. *Forensic Science, Medicine, and Pathology* **7**:379-392.

Anderson GS. 2009. Factors That Influence Insect Succession on Carrion. Pages 201-250 in Byrd JH, Castner JL, editors. *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations* 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton.

Benecke M. 2001. A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International* **120**:2-14.

Benecke M. 2005. Arthropods and Corpses. Pages 207-240 in Tsokos, editor. *Forensic Pathology Reviews*, Volume 2. Human Press Inc., Totowa.

Bernhardt V, fremdt H., Huilbregts H., Verhoff MA, Amendt J. 2016. *Muscina prolapsa* (Harris 1780). *rechtsmedizin* **26**:97-102.

Bojková J, Kroča J, Helešic J, Soldán T. 2017. Plecoptera (pošvatky). Pages 123-125 in Hejda R, Farkač J, Chobot K, editors. *Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.*

Bugajski KN, Tolle C. 2014. Effect of Water on Blow Fly (Diptera: Calliphoridae) Colonization of Pigs in Northwest Indiana. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* **123**:67-71.

Byrd JH, Castner JL. 2009. Insect of Forensic Importance. Pages 39-126 in Byrd JH, Castner JL, editors. *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations* 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton.

Castner JL. 2009. General Entomology and Insect Biology. Pages 17-38 in Byrd JH, Castner JL, editors. *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations* 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton.

Clark K, Evans L, Wall R. 2006. Growth rates of the blowfly, *Lucilia sericata*, on different body tissue. *Forensic Science International* **156**:145-149.

Daněk L. 1990. Možnosti využití entomologie v kriminalistice. *Kriminalistický ústav, Praha.*

Fenoglio S, Meritt RW, Cummins KW. 2014. Why do no specialized necrophagous species exist among aquatic insects. *Freshwater Science* **33**:711-715.

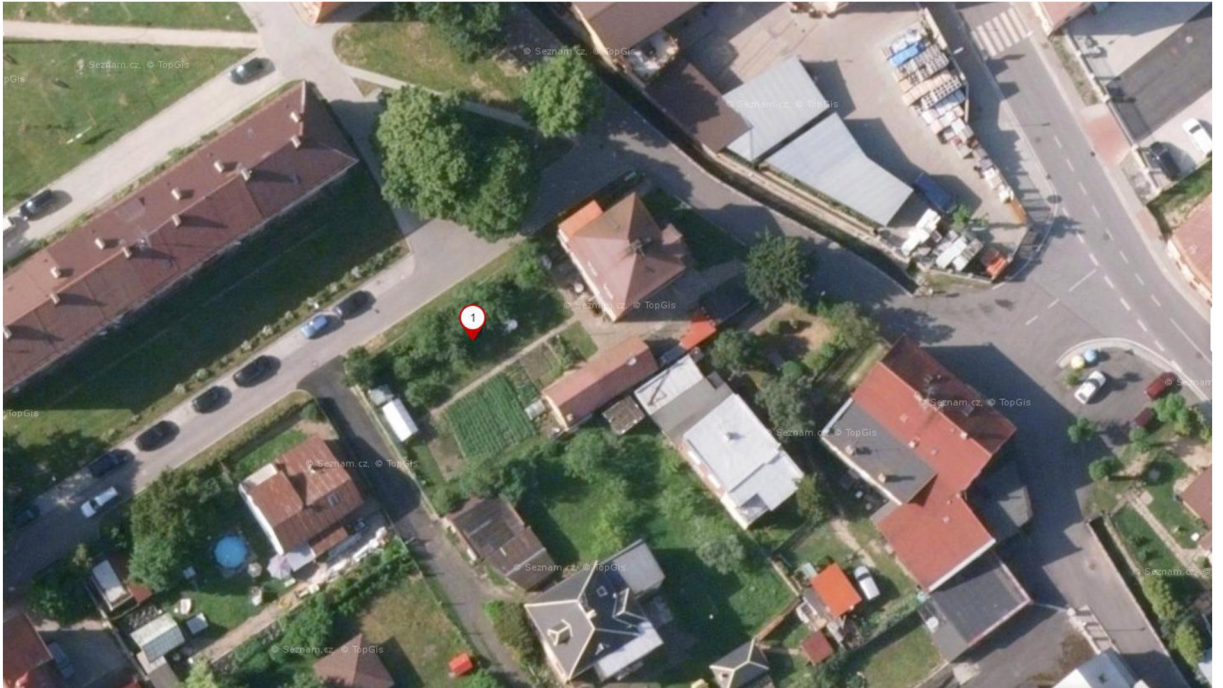
- Gennard DE. 2007. Forensic entomology: an introduction. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Gomes L, Godoy WAC, Zuben CJ. 2006. A review of postfeeding larval dispersal in blowflies: implications for forensic entomology. *Naturwissenschaften* **93**:207-215.
- Gomes L, Gomes G, Oliveira HG, Zuben CJ, Silva IM, Sanches MR. 2007. Efeito do tipo de substrato para pupação na dispersão larval pós-alimentar de *Chrysomya albiceps* (Diptera, Calliphoridae). *Inheringia* **97**:239-242.
- Grassberger M, Reiter C. 2001. Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen- and isomorphen-diagram. *Forensic Science International* **120**:32-36.
- Greenberg B, Kunich J. 2002. Entomology and the Law: Flies as Forensic Indicators. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gregor F, Rozkošný R, Barták M, Vaňhara J. 2016. Manual of Central European Muscidae (Diptera). *Zoologica* **162**:1-220.
- Gregor F, Rozkošný R. 2009. Muscidae Latreille, 1802. In Jedlička J, Kúdela M, Stloukalová V, editors. Checklist of Diptera of the Czech republic and Slovakia. Comenius University, Bratislava.
- Hall MJR. 2015. Introduction to European Chapters. Pages 75-79 in Tomberlin JK, Benbow ME, editors. *Forensic Entomology: International Dimensions and Frontiers*. CRC Press, Boca Raton.
- Hamerlík L. 2007. Chironomidae (Diptera) from fountains new for Czech Republic. *Lauterbornia* **61**:137-140.
- Háva J. 2017. Dermestidae (kožojedovití). Page 335 in Hejda R, Farkač J, Chobot K, editors. Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Chávez-Briones ML, Hernández-Cortés R, Díaz-Torres P, Niderhauser-García A, Ancer-Rodríguez J, Jarmillo-Rangel G, Ortego-Martínez M. 2013. Identification of human Remains by DNA Analysis of the Gastrointestinal Contents of Fly Larvae. *Journal of Forensic Sciences* **58**:248-250.
- Chvojka P, Komzák P. 2017. Trichoptera (chrostíci). Pages 170-174 in Hejda R, Farkač J, Chobot K, editors. Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Joseph I, Mathew D, Sathyan P, Varghees G. 2011. The use of insects in forensic investigations: An overview on the scope of forensic entomology. *Journal of Forensic Dental Sciences* **3**:89-91.

- Kejval Z, Pape T. 2009. Sarcophagidae Macquart, 1834. In Jedlička J, Kúdela M, Stloukalová V, editors. Checklist of Diptera of the Czech republic and Slovakia. Comenius University, Bratislava.
- Klimešová V, Olekšáková T, Barták M, Šuláková H. 2016. Forensically Important Muscidae (Diptera) Associated with Decomposition of Carcasse and Corpses in the Czech Republic. Proceeding of International PhD Students Conference (MendelNet) **23**:784-789.
- Klimešová V, Slobodová M, Šuláková H, Barták M. 2014. Využití čeledi Muscidae (Diptera) ve forenzní praxi. Pages 67-76 in Kubík Š, Barták M, editors. 6th Workshop on biodiversity, Jevany. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kočárek P. 2001. Diurnal patterns of postfeeding larval dispersal in carrion blowflies (Diptera: Calliphoridae). european Journal of Entomology **98**:117-119.
- Kreitlow KLT. 2009. Insect Succession in a Natural Enviroment. Pages 251-269 in Byrd JH, Castner JL, editors. Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton.
- Krenn HW. 2019. Fluid-feeding Mouthparts. Pages 47-99 in Pérez-Miles F, editor. New World Tarantulas. Springer.
- Kubík Š, Országh I. 2009. Calliphoridae Brauer & Bergenstamm, 1889. In Jedlička J, Kúdela M, Stloukalová V, editors. Checklist of Diptera of the Czech republic and Slovakia. Comenius University, Bratislava.
- Kulshrestha P, Satpathy DK. 2001. Use of Beetles in forensic entomology. Forensic Science International **120**:15-17.
- Lewis AJ, Benbow ME. 2011. When Entomological Evidence Crawls Away: *Phormia regina* en masse Larval Dispersal. Journal of Medical Entomology **48**:1112-1119.
- Mądra A, Konwerski S, Matuszewski S. 2014. *Necrophilus* Staphylininae (Coleoptera: Staphylinidae) as indicators of season of death and corpse relocation. Forensic Science International **242**:32-37.
- Magni PA, Senigaglia V, Robinson SC, Dadour IR. 2021. The effect of submersion in different types of water on the survival and eclosion of blow-fly intra-puparial forms (Diptera: Calliphoridae). Forensic Science International **319** (110663) DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110663.
- Magni PA, Tingey E, armstrong NJ, Verduin J. 2021. Evaluation of barnacle (Crustacea: Cirripedia) colonisation on different fabrics to support the estimation of the time spent in water by human remains. Forensic Science International **318** (110526) DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110526.
- Merritt RW, Wallace JR. 2009. The Role of Aquatic Insects in Forencis Investigations. Pages 271-319 in Byrd JH, Castner JL, editors. Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton.

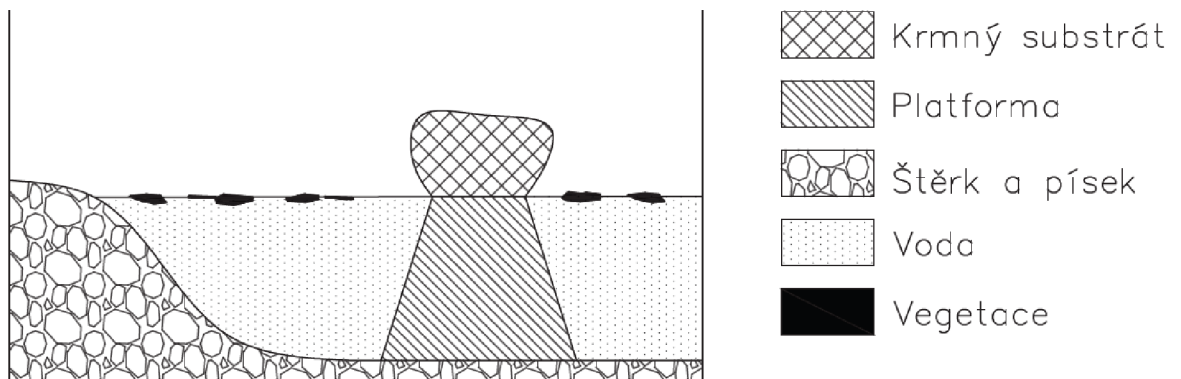
- Pavel V, Chutná B, Petrusková T, Petrusek A. 2008. Blow fly *Trypocalliphora braueri* parasitism on Meadow Pipit and Bluethroat nestlings in Central Europe. *Journal of Ornithology* **149**:193-197.
- Payne JA, King EW. 1972. Insect Succession and Decomposition of Pig Carcasses in Water. *Journal of Georgia Entomological Science* **7**:153-162.
- Růžička J, Jakubec P. 2017. Silphidae (mrchožroutovití). Page 417 in Hejda R, Farkač J, Chobot K, editors. Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Sartori M, Brittain JE. 2015. Order Ephemeroptera. Pages 873-891 in Thorp J, Rogers DC, editors. *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*. Academic Press, London.
- Sert O, Örsel GM, Şabanoğlu B, Özdemir S. 2020. A Study of pupal developments of *Sarcophaga argyrostoma* (Robineau-Desvoidy, 1830). *Forensic Science, Medicine and Pathology* **16**:12-19.
- Shewell GE. 1987. Calliphoridae. Pages 1133-1145 in McAlpine, editor. *Manual of Nearctic Diptera Volume 2*. Agriculture Canada, Ottawa.
- Schroeder H, Klotzbach H, Oesterhelweg L, Püschel K. 2002. Larder beetles (Coleoptera, Dermestidae) as an accelerating factor for decomposition of a human corpse. *Forensic Science International* **127**:231-236.
- Singh D, Bala M. 2011. Larval survival of two species of forensically important blowflies (Diptera: Calliphoridae) after submergence in water. *Entomological Research* **41**:39-45.
- Singh D, Greenberg B. 1994. Survival After Submergence in the Pupae of Five Species of Blow Flies (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology* **31**:757-759.
- Siri A, Mariani R, Varela GL. 2021. Corpses in aquatic environments: two human forensic cases with associated chironomid (Insecta: Diptera: Chironomidae) larvae. *Australian Journal of Forensic Sciences* **53**:181-190.
- Smith KGV. 1986. *A Manual of Forensic Entomology*. Trustees of the British Museum (Natural History), London.
- Soldán T, Bojková J, Zahrádková S. 2017. Ephemeroptera (jepice). Pages 114-117 in Hejda R, Farkač J, Chobot K, editors. Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Sonet G, Jordaens K, Braet Y, Desmyter S. 2012. Why is the molecular identification of the forensically important blowfly species *Lucilia caesar* and *L. illustris* (family Calliphoridae) so problematic. *Forensic Science International* **223**:153-159.
- Šuláková H, Barták M, Vaněk J. 2014. Bzučivkovití (Diptera, Calliphoridae) české části Krkonoš. *Opera Corcontica* **51**:145-156.

- Šuláková H, Barták M. 2013. Forensically important Calliphoridae (Diptera) associated with animal and human decomposition in the Czech Republic: preliminary results. *Časopis Slezského zemského muzea Opava* **62**:255-266.
- Šuláková H, Rognes K, Barták M, Kubík Š. 2013. Calliphoridae (Diptera) of Vráž nr. Písek (Czech Republic). Pages 381-388 in Kubík Š, Barták M, editors. Workshop on biodiversity, Jevany. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šuláková H. 2014. Forezní entomologie – když je smrt začátek. *Živa* **5**:250-256.
- Turpin C, Kyle C, Beresford DV. 2014. Postfeeding Larval Dispersal Behavior of Late Season Blow Flies (Calliphoridae) in Southern Ontario, Canada. *Journal of Forensic Sciences* **59**:1295-1302.
- Vávra JC, Janák J, Šíma A. 2017. Staphylinidae (drabčíkovití). Pages 421-442 in Hejda R, Farkač J, Chobot K, editors. Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Verves Y, Barták M. 2018. New distributional data and an updated and commented list of Czech and Slovak Sarcophadidae (Diptera). *Annales de la Société entomologique de France (N.S.)* DOI: 10.1080/00379271.2018.1469430.
- Vlach P, Fischer D. 2017. Decapoda (desetinožci). Pages 98-102 in Hejda R, Farkač J, Chobot K, editors. Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Withers P, Roy L. 2020. A case of human myiasis in France due to *Sarcophaga (Liopygia) argystoma* (Diptera, Sarcophagidae). *Bulletin Mensuel de la Société Linneenne de Lyon* **79**:5-7.

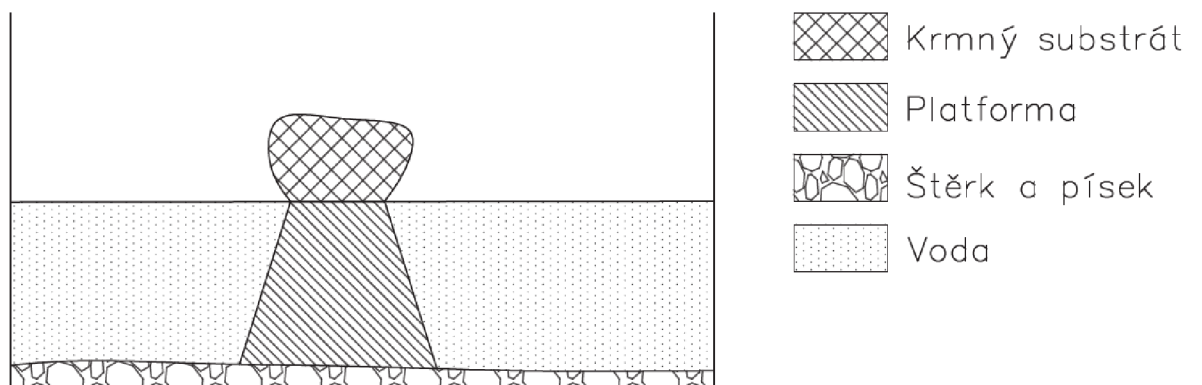
9 Samostatné přílohy



Příloha 1: Místo experimentu (Zdroj: web Mapy.cz)



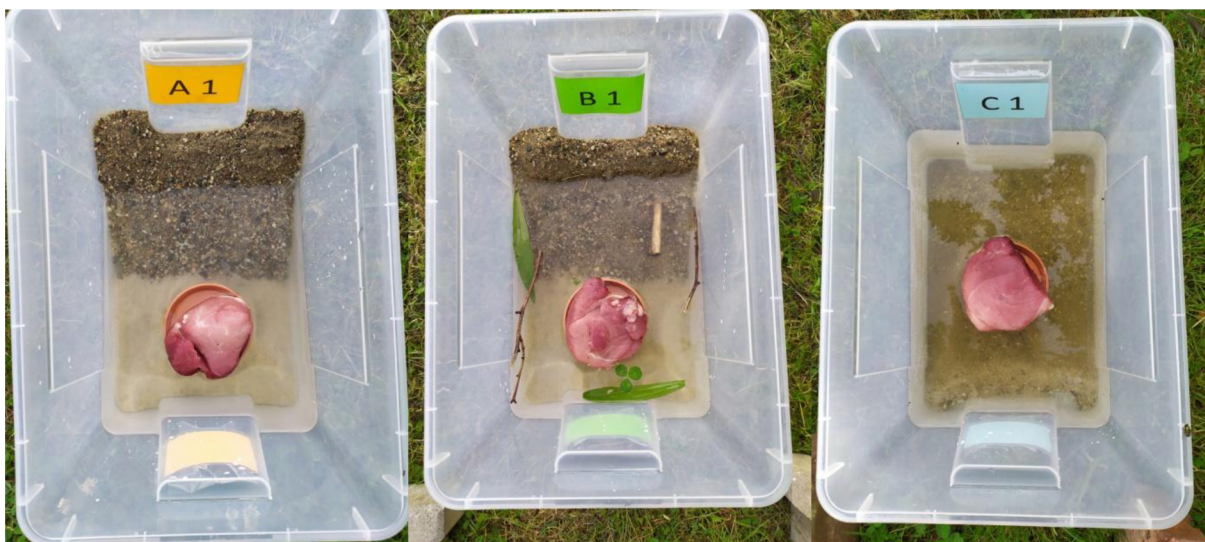
Příloha 2: Náskres experimentálního boxu (varianta B)



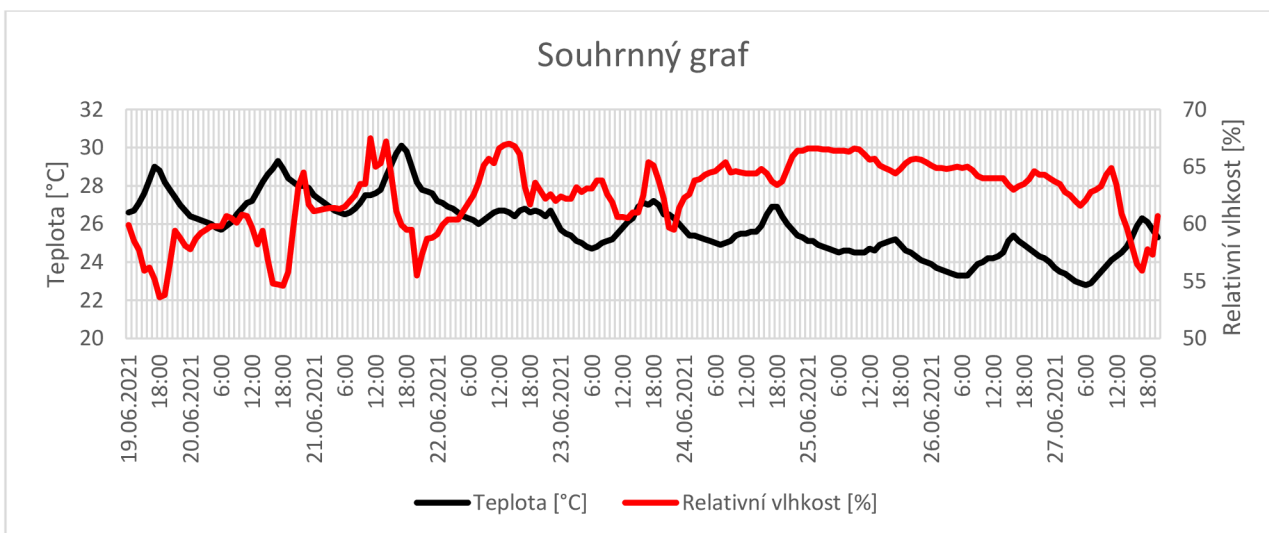
Příloha 3: Náskres experimentálního boxu (varianta C)



Příloha 4: Varianty experimentu (Zdroj: Kristýna Stašíková)



Příloha 5: Varianty experimentu z ptačího pohledu (Zdroj: Kristýna Stašíková)



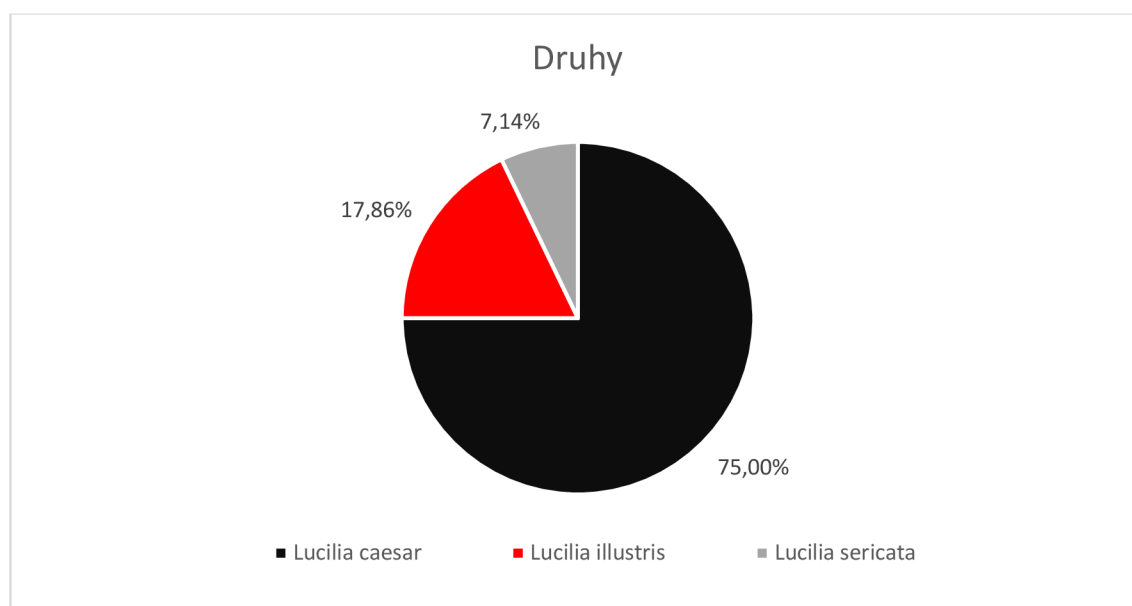
Příloha 6: Graf zobrazující teploty a relativní vlhkost naměřené za celé období experimentu



Příloha 7: Larvy všech stadií pohybující se k bokům experimentálního boxu – varianta B2 (Zdroj: Kristýna Stašíková)



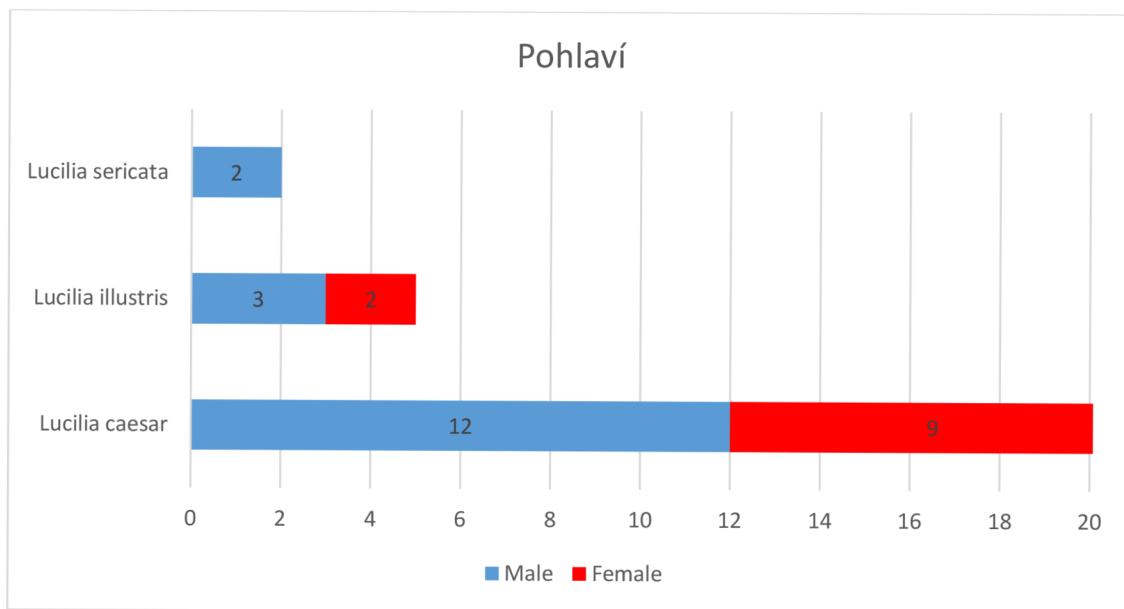
Příloha 8: Plně probíhající migrace larev – varianta C2 (Zdroj: Kristýna Stašíková)



Příloha 9: Graf zobrazující druhové složení determinovaných vzorků larev

Příloha 10: Tabulka zobrazující druhovou příslušnost odebraných vzorků larev a jejich pohlaví

VARIANTA	DRUH	CELKEM	POHLAVÍ
A1	<i>Lucilia caesar</i>	4	2 M (samci)
			2 F (samice)
	<i>Lucilia illustris</i>	4	2 M (samci)
			2 F (samice)
A2	<i>Lucilia caesar</i>	4	3 M (samci)
			1 F (samice)
	<i>Lucilia illustris</i>	1	1 M (samec)
			0 F (samic)
	<i>Lucillia sericata</i>	2	2 M (samci)
			0 F (samic)
B1	<i>Lucillia caesar</i>	4	2 M (samci)
			2 F (samice)
B2	<i>Lucillia caesar</i>	3	2 M (samci)
			1 F (samice)
C1	<i>Lucillia caesar</i>	2	1 M (samec)
			1 F (samice)
C2	<i>Lucillia caesar</i>	4	2 M (samci)
			2 F (samice)



Příloha 11: Graf zobrazující pohlaví determinovaných vzorků