Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství (FAPPZ)

Působení opaření vařící vodou na počáteční kolonizaci kadáveru nekrofágním hmyzem

Bakalářská práce

Autor práce: Magdaléna Hálová

Obor studia: Veřejná správa v zemědělství a krajině

Vedoucí práce: prof. RNDr. Miroslav Barták, CSc.
Odborný konzultant: plk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Působení opaření vařící vodou na počáteční kolonizaci kadáveru nekrofágním hmyzem " 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. Prohlašuji, že jsem v souvislosti s vytvořením bakalářské práce neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 5. 2021 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. RNDr. Miroslavovi Bartákovi, CSc., za umožnění zpracování bakalářské práce na toto téma. Dále bych chtěla poděkovat plk. Ing. Haně Šulákové Ph.D., za skvělý přístup a dávání nenahradilených rad a informací.

Působení opaření vařící vodou na počáteční kolonizaci kadáveru nekrofágním hmyzem

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá vlivem opaření kadáveru vařící vodou na jeho následnou kolonizaci nekrofágním hmyzem. Hlavním cílem práce je vypracovat literární rešerši zabývající se problematikou forenzní entomologie se zaměřením na vliv vysokých teplot, zejména opaření, kterým může být zvířecí kadáver anebo lidská mrtvola vystaveny, na následnou kolonizaci hmyzem. Součástí práce je také realizace terénního experimentu, na základě kterého bude možné posoudit stávající poznatky.

Literární rešerší bylo zjištěno, že kadávery vystavené vysokému žáru při ohoření mohou být nadále kolonizovány nerkofágním hmyzem. Podmínkou je zachování dostatečného množství měkkých tkání, které nejsou vysokou teplotou příliš poškozeny (denaturace bílkovin). Současně bylo zjištěno, že mnozí autoři (např. Anderson 2005; Avila & Goff 1998; Smith 1986) se zabývali pouze vlivem ohoření (působení otevřeného ohně), ale údaje o působení opaření jsou v literárních zdrojích nedostatečné. Pouze Smith (1986) zmiňuje vliv „uvaření“ masa a skutečnost, že o takto upravený substrát nekrofágní druhy nejeví zájem.

Experiment odhalil, že o opařené kadávery jevil nekrofágní hmyz větší zájem při kladení než o kontrolní kadávery. Tuto skutečnost lze vysvětlit větší pachovou atraktivitou opařených kadáverů, protože se z nich uvolňoval mnohem větší zápach nežli z kontrolních kadáverů. Celkem bylo odchovem získáno 1233 jedinců řádu Diptera, ze kterých 58 % se vyvíjelo na opařených kadáverech. Celkem se na kadáverech vyvíjelo osm druhů ze čtyř čeledí, konkrétně Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae a Fanniidae. Na opařených kadáverch se vyvíjelo všech osm druhů, na kontrolních pouze šest. Na kontrolních kadáverch chyběli zejména zástupci pozdějších sukcesních vln. Z toho lze usoudit, že opařené kadávery vykazovaly rychlejší degradaci a uvolňovaly aromatické látky typické pro starší (více degradovaná) těla. Poznatky terénního experimentu doplňují doposud publikované údaje.

Klíčová slova: forenzní entomologie, kadáver, opaření, dvoukřídlí, nekrofágní hmyz

Effect of cadavers scalding with boiling water on first necrophagous insect colonizers

Summary

The bachelor thesis deals with the influence of scalding of a carcass with boiling water on its subsequent colonization by necrophagous insects. The main goal of this work is to develop a literature search dealing with the issue of forensic entomology with a focus on the influence of high temperatures, especially scalding to which an animal carcass or human corpse may be exposed, on subsequent colonization by insects. Part of the work is also the implementation of a field experiment, based on which it will be possible to assess existing knowledge.

It has been found in the literature that carcasses exposed to high temperatures during burning can be colonized by necrophagous insects. The condition is to maintain a sufficient amount of soft tissues that are not too damaged by high temperatures (protein denaturation). At the same time, it was found that many authors (eg Anderson 2005; Avila & Goff 1998; Smith 1986) dealt only with the effect of burning (open fire), but data on the effect of scalding are insufficient in the literature. Only Smith (1986) mentions the effect of "cooking" meat and the fact that necrophagous species are not interested in such a treated substrate.

The experiment revealed that necrophagous insects showed more interest in scalded carcasses in laying eggs than in control carcasses. This fact can be explained by the greater odor attractiveness of scalded carcasses because they released a much greater odor than from control carcasses. A total of 1233 individuals of the order Diptera were obtained by breeding, of which 58% developed on scalded carcasses. A total of eight species from four families developed on the carcasses, namely Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae, and Fanniidae. All eight species developed on scalded carcasses, only six on control ones. Representatives of later succession waves were mainly missing from the control carcasses. From this, it can be concluded that scalded carcasses showed faster degradation and released aromatic substances typical of older (more degraded) bodies. The findings of the field experiment supplement the data published so far.

Keywords: forensic entomology, cadaver, scald, Diptera, necrophagous insect

Obsah

1 Úvod **8**

2 Cíl práce **9**

3 Literární rešerše **10**

3.1 Forenzní entomologie **10**

3.2 Historie **10**

3.3 Dekompozice mrtvého těla **12**

3.3.1 Faktory ovlivňující rozklad kadáverů 13

3.3.2 Stadia rozkladu těl 13

3.3.3 Sukcesní vlny 14

3.4 Popáleniny a opařeniny na lidském těle **17**

3.5 Kolonizace kadáverů vystavených působení vysoké teploty **18**

3.6 Hlavní zástupci nekrofágního hmyzu **18**

3.6.1 Nekrofágní hmyz nalézaný na kadáverech 19

4 Materiál a metody **22**

4.1 Popis lokality **22**

4.2 Přípravná fáze experimentu **22**

4.2.1 Příprava kadáverů 22

4.2.2 Příprava pomocného materiálu 22

4.3 Průběh experimentu **23**

4.3.1 Volná expozice 23

4.3.2 Odchov larev 24

4.3.3 Líhnutí a odchyt imág 25

4.4 Sledované parametry **25**

4.5 Dokumentace terénního experimentu **25**

4.6 Meteorologická data **26**

4.7 Určení entomologického materiálu **26**

5 Výsledky **27**

5.1 Druhové složení **27**

5.1.1 Opařený kadáver 1 vs. Kontrolní kadáver 1 27

5.1.2 Opařený kadáver 2 vs. Kontrolní kadáver 2 29

5.1.3 Opařený kadáver 3 vs. Kontrolní kadáver 3 30

5.2 Tafonomické změny **32**

5.2.1 Opařený kadáver 1 vs. kontrolní kadáver 1 32

5.2.2 Opařený kadáver 2 vs. kontrolní kadáver 2 33

5.2.3 Opařený kadáver 3 vs. Kontrolní kadáver 3 33

6 Diskuze **35**

7 Závěr **38**

8 Seznam literatury **39**

1 Úvod

V současné době představuje problematika forenzní entomologie jednu ze stěžejních oblastí kriminalistiky založenou na praktickém využití znalostí o bezobratlých, především hmyzu. Její uplatnění nalézáme jak v oblastech trestního práva, tak v občansko-právních sporech. Základem celého odvětví jsou stěžejní informace o principu střídání nekrofágního hmyzu na mrtvých tělech a dalších krmných substrátech, délce vývojových cyklů, mezidruhové a vnitrodruhové interakci a dalších biologických, fyzikálních a chemických faktorech, které mohou uvedené ovlivnit.

Základní využití forenzní entomologie spočívá ve stanovení doby, která uplynula mezi smrtí jedince a nálezem jeho mrtvého těla a označuje se termínem postmortem interval (PMI). PMI je možné odvodit od období, po které kadáver kolonizoval hmyz. Protože přesnost stanovení PMI vychází především z rychlosti, se kterou první kolonizátoři reagují na mrtvé tělo, je důležité poznat co nejvíce faktorů, které ovlivňují jejich přílet a kladení vajíček. Mezi tyto faktory můžeme zařadit také vliv opaření kadáveru na úplném začátku rozkladu, tedy během umírání anebo krátce po smrti. Přestože se na první pohled jedná o atypický faktor, můžeme se s ním setkat u zvířecích kadáverů i lidských mrtvol jako důsledek různých nehod, zanedbání péče anebo týrání.

Přes veškeré poznatky, které moderní forenzní entomologie využívá, v případě vlivu opaření kadáveru se ve stávající literatuře setkáváme s nedostatečnými, nebo protichůdnými informacemi. Při praktickém využití tak může nastat situace, ve které se nemůže forenzní entomolog správně vyjádřit, jak opaření ovlivnilo nálet prvního hmyzu a nakolik stanovená doba kolonizace odpovídá skutečnému PMI.

Předkládaná bakalářská práce se zaměřuje na kompletaci stávajících literárních údajů o vlivu opaření anebo odborných tepelných úprav na první kolonizátory. Současně předkládá vlastní poznatky z malého terénního experimentu.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vypracování literární rešerše na téma: Působení opaření vařící vodou na počáteční kolonizaci kadáveru nekrofágním hmyzem. Součástí práce bude terénní experiment, při kterém bude pozorován účinek opaření kadáverů menších obratlovců (např. slepice, králík) vařící vodou na následnou kolonizaci nekrofágním hmyzem z čeledí Calliphoridae, Sarcophagidae a Muscidae.

H0: Opaření kadáveru vařící vodou na počátku rozkladu ovlivňuje druhové spektrum nekrofágních druhů z řádu dvoukřídlí.

3 Literární rešerše

3.1 Forenzní entomologie

Forenzní entomologie se řadí mezi odvětví kriminalistiky a představuje praktické využití biologie, které využívá znalostí o jednotlivých skupinách hmyzu a dalších bezobratlých (Benecke 2001; Gennard 2007). Tento obor se uplatňuje v mnoha případech trestního i občanského práva, ale v podstatě jej lze rozdělit do tří základních skupin (Amendt et al. 2006; Šuláková 2006). První představuje oblast zabývající se stanovením doby smrti, přesněji řečeno délkou intervalu mezi smrtí jedince a nálezem jeho těla. Tato problematika se někdy označuje za soudně-lékařské využití forenzní entomologie (Amendt et al. 2006; Erzinçlioğlu 2000; Keiper & Casamatta 2001; Oliveira-Costa & de Mello-Patiu 2004; Šuláková 2006; Šuláková 2014). Druhou je oblast zaměřená na parazity zvířat a člověka a často souvisí s problematikou myiáz. Myiáza je onemocnění, při kterém se larvy dvoukřídlého hmyzu vyvíjejí v tkáních stále živého obratlovce, včetně člověka (Šuláková et al. 2014; Vaništa & Manďáková 2003). Do třetí oblasti řadíme problematiku skladištních a potravinářských škůdců, ve které se při výskytu hmyzu v potravinách, krmivech a dalších produktech určuje, zda nedošlo k zanedbání technologického postupu, balení, skladování anebo přepravy těchto komodit (Šuláková 2014). Ve všech případech využívá forenzní entomologie informace o hmyzu k získání důležitých odpovědí (Amendt et al. 2006; Erzinçlioğlu 2000; Keiper & Casamatta 2001; Oliveira-Costa & de Mello-Patiu 2004; Šuláková 2006; Šuláková et al. 2014). Přestože postupy forenzní entomologie se využívají nejčastěji na souši, lze je v omezeném rozsahu aplikovat i ve vodním prostředí (Anderson 1995; Hobischak & Anderson 2002).

3.2 Historie

Forenzní entomologie se vyvíjí a využívá již stovky let a při odhalování zločinů byl hmyz využíván mnohem dříve, než byla napsána vůbec první kniha pojednávající o tomto vědním oboru. Základní principy využití forenzní entomologie zůstávají ve své podstatě stejné, pouze s rostoucím poznáním se mění především přesnost závěrů, které může nabídnout (Benecke 2001; Greenberg & Kunich 2002).

Obecně se uvádí, že hmyz při vyšetřování využívali Číňané už v polovině desátého století (Cheng 1890; Greenberg & Kunich 2002). Přesto prvním zaznamenaným případem, ve kterém byla prostřednictvím much vyřešena vražda, nalézáme v knize Hsi Yüan Lu („Vymýtání omylů“, též „Vymýtání zla“). Jejím autorem byl v třináctém století čínský soudní vyšetřovatel Sung Tz´u. V knize popisuje případ zavražděného rolníka na rýžovém poli, jehož pachatele se podařilo odhalit pomocí mikroskopických zbytků krve na vražedném srpu. Mouchy, které neviditelné zbytky krve vycítily, usedly na vražedný nástroj. Majitel srpu se pod vlivem tohoto důkazu k vraždě přiznal (Benecke 2001).

Následně v třináctém až v devatenáctém století se na základě rychlého rozvoje biologických oborů a realizaci nových výzkumných prací, se také forenzní entomologie stala

novým vědeckým směrem. Jedny z nejzajímavějších, z pohledu současnosti však nejzákladnějších experimentů proběhly v Itálii pod vedením Francesca Rediho. Ten ve své publikaci *Esperienze intorno alla generazione degli' insetti* („Pokusy o generacích hmyzu“) v roce 1668 publikoval výsledky svých experimentů s hnijícím masem. Výsledkem bylo, že vyvrátil do té doby rozšířené tvrzení, že „červi“ (larvy hmyzu) vznikají spontánně na mase. Naopak dokázal, že „červi“ se líhnou z vajíček, které nakladly mouchy (Sant 2019). Za použití klasifikačního systému od Carla von Linného z roku 1775, mohl na jeho práci navázat a zároveň tento systém rozšířit o své poznatky. K rozvoji forenzní entomologie výrazně přispěl i biolog Carl von Linné, který již v roce 1767 napsal, že „tři mouchy sežerou mrtvolu koně tak rychle jako lev“ (Daněk 1990). Zatímco Rediho experimenty prokázaly souvislost mezi rozkladným procesem a vývojovými cykly hmyzu, Linného taxonomické práce napomohly identifikaci hmyzu, včetně forenzně významných zástupců (Gennard 2007).

Z případů, které byly z právního hlediska velice významné a k jejich vyřešení dopomohla forenzní entomologie, je nutné zmínit nález mrtvého novorozence ve Francii v polovině devatenáctého století. Mumifikované tělo dítěte bylo nalezeno v zazděném komíně při renovačních pracích v roce 1850 a jeho pitvu prováděl Dr. Marcel Bergeret. Ten si povšiml, že na těle mrtvého novorozence byli moli a larvy masařek, které určil do druhu *Sarcophaga carnaria* (Linnaeus, 1758). Na základě odvozených vývojových cyklů usoudil, že mrtvolka dítěte byla do komínu umístěna v roce 1848, zatímco hmyz se k tělu dostal až v roce 1849 (Bergeret 1855). Později se ukázalo, že Bergeretův předpoklad o délce vývojových cyklů byl chybný, přesto uvedená zjištění vedla k vypátrání rodiny, která mrtvého novorozence do krbu schovala (Gennard 2007).

Stěžejní prací se pro forenzní entomologii stala publikace od Jean-Pierra Mégnina z roku 1894. Ten ve své práci *La Faune des Cadavres: Application de I'Entomology à la Médicine Légale* (“Fauna na mrtvolách: Aplikace entomologie do soudního lékařství“) zveřejnil svá pozorování a zjištění o rozkladných procesech činností hmyzu. Mégnin poprvé popsal sukcesní vlny, ve kterých se střídá hmyz na volně exponovaných a pohřbených mrtvolách (Benecke 2004). Pro volnou expozici uvedl osm fází, pro pohřbené dvě. Současně uvedl výčet hlavních nekrofágních zástupců na mrtvolách a determinační znaky, na základě kterých je bylo možné určit, první ucelené poznatky o jejich vývojových cyklech a faktorech, které ovlivňují vývin hmyzu (Mégnin 1894). Jako první poukázal na skutečnost, že jednotlivé fáze rozkladu jsou závislé na okolních podmínkách, např. teplotě, dešťových srážkách, nebo oblečení mrtvého. Mégnina publikace položila pevný základ pro stanovení doby smrti dle hmyzu a po mnoho desítek let představovala jedinou ucelenou práci na dané téma, kterou využívali soudní lékaři i vyšetřovatelé z mnoha zemí (Gennard 2007).

Začátkem dvacátého století se ukázalo, že poznatky o suchozemském hmyzu je možné využít nejen na souši, ale mohou napomoci i při nálezu mrtvol ve vodě. Uvedený případ se udál ve Skotsku, ve kterém byly 29. září 1935 nalezeny v řece nedaleko Edinburgu rozsekané části těl, které patřily dvěma ženám. Vyšetřování odhalilo, že těla patřila paní Ruxtonové a slečně Rogersonové, která byla zaměstnána v rodině Ruxtonových jako vychovatelka. Na pozůstatcích obou žen byly nalezeny larvy III. instaru rodu *Calliphora*. Následným

zkoumáním bylo zjištěno, že vajíčka much musela být nakladena ještě předtím, než byly části těl vhozeny do řeky. Získané důkazy a informace o délce vývinu larev usvědčily manžela paní Ruxtonové, Dr. Ruxtona, z vraždy obou žen (Gennard 2007).

Poprvé byly výsledky forenzní entomologie použity jako stěžejní důkaz v soudním řízení v šedesátých letech dvacátého století v Maďarsku. Jednalo se o tak významná zjištění, že dokonce zvrátila již platný rozsudek a napomohla osvobodit převozníka, nevinně odsouzeného z vraždy pošťáka. Maďarský entomolog Ferenc Mihalyi podle dosaženého vývojového stupně larev, které se našly na těle mrtvého, prokázal, že k smrti pošťáka došlo před setměním den před nálezem. Tímto prokázal, že převozník, který přišel do práce až po setmění, nemohl pošťáka zabít (Chalupský 1998).

V současné době se rozvojem forenzní entomologie v Evropě zabývají zejména polští vědci, kteří prostřednictvím dlouholetého výzkum vypracovali metodu odhadu předběžného výskytu hmyzu na kadaveru, kterou nazvali „preappearance interval“ (PAI) (Matuszewski 2011, 2012). Metoda vychází především z pozorování brouků, zejména mrchožrouta *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758) (Matuszewski 2011), drabčíka *Creophilus maxillosus* (Linnaeus, 1758) a mnoha dalších (Matuszewski & Szafałowicz 2013). Obdobně jako většina metod ve forezní entomologii, také PAI, respektive zastoupení larválních stadií a dospělců značně závisí na teplotě okolního prostředí (Matuszewski 2011, 2012). Obdobný vztah vypozorovali u much čeledi Calliphoridae (Matuszewski 2013).

3.3 Dekompozice mrtvého těla

Dekompozice mrtvého těla je kontinuální proces, který představuje ukončení koloběhu jakékoli hmoty v systému. Ať se jedná o produkci rostlin, primární a sekundární konzumaci, které se účastní býložravci a predátoři, či konečnou redukci jejich těl a částí (Begon et al. 1999; Kočárek 2003; Povolný 1979).

Z pohledu hmyzu představuje mrtvé tělo snadno dostupnou zásobárnu bílkovin, o kterou nemusí bojovat. Kadáver se stává součástí biotopu, ve kterém se vyskytuje, a začne se na něm utvářet tzv. merocenóza, neboli dílčí společenstvo (Daněk 1990). Rozkladný proces podléhá zákonitému sledu, který se označuje termínem sukcese. Ve forenzní entomologii se jedná o zákonitý sled hmyzu a ostatních organismů, který je natolik charakteristický, že při jeho znalosti je možné odvodit délku intervalu mezi počátkem rozkladu a nálezem těla (Eliášová & Šuláková 2012; Povolný 1982).

Kadáver postupně kolonizuje celá řada nekrobiontů, ale také příležitostných zástupců bezobratlých (Amendt et al. 2004). V základu je možné hmyz a další bezobratlé na kadáverech rozdělit na nekrofágní zástupce hmyzu, predátory a parazity nekrofágních druhů, všežravé druhy a příležitostně zastoupení bezobratlé, kteří mrtvé tělo využívají především k úkrytům, respektive jako součást jejich běžného životního prostředí (Smith 1986).

3.3.1 Faktory ovlivňující rozklad kadáverů

Rychlost, se kterou mrtvola rozkládá ovlivňuje celá řada faktorů a v samotném základu je můžeme rozlišit na dvě hlavní skupiny. Faktory vycházející z vlastností mrtvoly a na vnější vlivy. Mezi vlasnosti mrtvoly zahrnujeme především o jaký druh mrtvého živočicha se jedná, jeho stáří, zdravotní stav, pohlaví, objem těla, množství podkožního tuku, míru ochlupení či stav ošacení a jiné. Mezi vnější vlivy můžeme zahrnout na prvním místě teplotu prostředí, vlhkost, srážky, denní a roční dobu, zeměpisné umístění, aerobní a anaerobní podmínky, míru přítomnosti bakterií, hmyzu a dalších organismů, zastínění a jiné (Campobasso et al. 2001; Likovský 1967; Payne 1965; Schoenly & Reid 1987).

Stav mrtvoly rozhoduje, jak rychle proběhnou jednotlivé fáze rozkladu, a jaký hmyz a kdy se do rozkladného procesu zapojí. Například krvácivá poranění, zvratky a exkrementy na těle mrtvého jsou pro hmyz natolik lákavým podnětem, že zejména v letním období extrémně urychlují kolonizaci kadáveru. Naproti tomu těla bez poranění nemusí z počátku vůbec lákat hmyz a začátek kolonizace je u nich zpožděný i v případě, že ostatní podmínky jsou pro kolonizaci příznivé (Campobasso et al.. 2001; Šuláková 2006, 2014).

Teplota prostředí, ve kterém kadáver leží, představuje jeden z nejvýznamnějších faktorů. Teplota ovlivňuje jak rychlost chládnutí kadáveru, tak rychlost rozkladného procesu, aktivitu hmyzu i délku vývojových cyklů (Byrd & Castner 2010; Campobasso et al. 2001; Šuláková 2006). Teplota je stěžejním faktorem při výpočtu doby kolonizace mrtvého těla hmyzem (Smith 1986; Šuláková 2014).

Úzkou souvislost s teplotou prostředí má také roční období a s ním spojené klimatické podmínky. V jarních a letních měsících, které se pojí s vyššími teplotami, se v přírodě vyskytuje nejvíce hmyzu (Arnaldos et al. 2004) a kolonizaci těla při volné expozici téměř nic nebrání (Šuláková 2014). Naproti tomu na podzim a v zimě je zastoupení hmyzu v přírodě mnohem nižší (Arnaldos et al. 2004), přesto se můžeme setkat s druhy, které jsou schopné i v tomto obdodí mrtvé tělo kolonizovat (Smith 1986; Šuláková 2006, 2014).

3.3.2 Stadia rozkladu těl

Rozkladný proces je možné popsat několika způsoby (Šuláková 2014). Z lékařského hlediska se na mrtvém popisují tzv. posmrtné změny, které se dělí na časné a pozdní a jsou vyvolány biochemickými a fyzikálními faktory (Hirt et al. 2008). Mezi časné změny patří *algor mortis* – chladnutí těla, ke kterému dochází z důvodu vyrovnání teploty těla s okolním prostředím, dále *rigor mortis* -mrtvolná ztuhlost vyplívající z poklesu hladiny ATP ve svalech, a *livores mortis* – neboli posmrtné skvrny vznikající poklesem krve vlivem gravitace. Mezi pozdní rozkladné změny řadíme autolýzu, hnilobu, mumifikaci a zmýdelnění, též označované termínem saponifikace (Hirt et al. 2008, Likovský 1967; Pitr 1989; Vass 2001).

Dalším zůsobem je přes společenstva hmyzu a dalších bezobratlých, kteří se na kadáveru střídají (Šuláková 2014). Stadia rozkladu představují období, ve kterých se postupně střídá společenstvo nekrofágů, saprofágů, dermatofágů a keratofágů (Bornemissza

1957).Nejčastěji se ve forenzní praxi popisuje dekompoziční proces prostřednictvím stavu těla, které definují jeho aktuální stav a biochemické procesy, které v něm probíhají (Payne & Crossley 1966; Smith 1986; Šuláková 2014). V základu lze rozlišit pět fází:

1. Fáze: Čerstvá mrtvola (Fresh stage): Tato fáze nastává od chvíle smrti, až do prvních příznaků nadýmání těla (Nuorteva 1987; Erzinçlioğlu 1996; Smith 1986).

2. Fáze: Nadýmání mrtvoly (Bloated Stage): V této fázy rozpad těla pokračuje prostřednictvím bakteriální aktivity či hniloby. Tuto fázy můžeme považovat za nejsnadněji rozlišitelnou. Činností anaerobních bakterií v trávicí soustavě mrtvého jedince se vytváří plyny, které se v těle hromadí. V letních měsích, za příznivých podmínek, můžeme tento stav pozorovat již druhý den od smrti (Daněk 1990). Nejdříve dochází k naplnění střev, čímž se nejdříve zvětšuje břišní dutina (Smith 1986; Šuláková 2019). V pozdějších fázích začne plyn pronikat z trávící soustavy do okoních tkání a podkoží a dochází k extrémnímu nadmutí celého těla (Hirt et al. 2008). .

3. Fáze: Aktivní rozklad (Active decay stage): Fáze se vyznačuje rozkladem kůže mrtvoly a její postupnou degradací. Následuje uvolnění většího množství rozkladných plynů z těla do okolí. To má za příčinu postupné snižování nadmutí a pokračování rozkladu(Gennard 2007). Při extrémním nadmutí těla může dojít vlivem tlaků plynů k náhlé ruptuře kůže a prudkému uvolnění plynů (Hirt et al. 2008) Při pokročilejší fázy rozkladu dochází k fermentaci tuků při které vznikají mastné kyseliny, především silně zapáchající kyselina máselná (Daněk 1990, Šuláková 2017). Následuje fermentace proteinů, při které vznikají kaseózní látky, které svým zápachem připomínají přezrálý sýr (Smith 1986, Šuláková 2019). Poté nastupuje fáze pokročilejšího rozkladu, ve které dochází k amoniakální fermentaci a dochází k uvolňování čpavku (Gennard 2007).

4. Fáze: Fáze po rozkladu (Post-decay stage): V pozdější fázy rozkladu na těle zůstávají zbytky kůže, střeva, chrupavky a kosti, které mohou mít na sobě zbytky zaschlé svaloviny. Zbývající měkké tkáně se postupně vysouší a jejich rozklad se extrémně zpomaluje. Největším ukazatelem této fáze je zvýšený počet brouků a snížený počet much na mrtvole (Gennard 2007).

5. Fáze: Skeletonizace (Skeletonization): V této fázy z těla zůstaly pouze kosti a vlasy. S touto fazí nejsou vázány konkrétní skupiny hmyzu, nicméně v četném množství případů, lze nalézt brouky z čeledě Trogidae (Šuláková 2014, 2017). Tělo se nachází na vrcholu svého rozkladu. Na původním místě uložení se nachází jednotlivé kosti. Drobné kůstky, např. zápěstí či chodidel mohou odnášet hlodavci, delší kosti nohou a rukou, žebra a lebku větší zvířata, např. divoká prasata anebo šelmy (Daněk 1990; Gennard 2007).

3.3.3 Sukcesní vlny

1. vlna: Nastává ihned po smrti a je specifická zejména náletem much (Daněk 1990), případně vos a mravenců (Šuláková 2017), které přivábí pach krve, čerstvého masa a potu. Z pohledu časné kolonizace je tato fáze významná, zejména pokud osoba zemřela v důsledku

poranění a na těle se nachází různě krvácivá místa (Šuláková 2019). Pokud tělo krvácí a je nehybné, mouhou mochy začít klást ještě v době, kdy je osoba při životě. K zakladení dochází o poznání rychleji, pokud se tělo nachází na místě častého výskytu much či ve volném terénu (Daněk 1990). Nejvýznamnějšími kolonizátory 1. vlny jsou mouchy z čeledi Calliphoridae (bzučivkovití), jejichž larvy představují v podmínkách České republiky hlavní dekompozitory lidských těl (Šuláková 2014, 2019), a z čeledi Muscidae (mouchovití) (Daněk 1990), které mohou za určitých podmínek nahradit bzučivky v roli prvních kolonizátorů (Šuláková 2014).

2. vlna: U těl s poraněnými místy kadáver stále kolonizují druhy 1. vlny (Šuláková 2019), ale u tzv. intaktních mrtvol, tj. bez poranění se stejné druhy objevují až v 2. fázi (Šuláková 2017), respektive ihned jak se začnou tvořit plynné látky. V důsledku jejich tvorby se tělo nadouvá a páchne. Již nepatrné množství vzniklých plynných látek, může již ke konci druhého dne přilákat typické nekrofágy z řádu Coleoptera, konkrétně *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758), *Thanatophilus rugosus* (Linnaeus, 1758), *Oicoptoma thoracica* (Linnaeus, 1758), *Thanatophilus sinuatus* (Fabricius, 1775), *Silpha obscura* (Linnaeus, 1758) a *Sciodrepoides watsoni* (Spence, 1815) (Daněk 1990). Prostřednictvím forézie jsou na těchto broucích přenášeny klidová stadia roztočů (Šuláková 2019), proto lze tento řád pavoukovců nalézt hojně zastoupený na mrtvém těle již v 2. vlně. Častým zástupcem je druh *Poecilochirus necrophori* (Vitzthum, 1930) (Daněk 1990). V této fázi jsou lákáni ke kadáveru také první brouci čeledi Staphylinidae (drabčíkovití). Tito entomofágní brouci přistupují k tělu jako ke zdroji „hotového jídla“, které představují vajíčka a larvy ostatního hmyzu. Drabčíkovití a další predátoři mohou významně ovlivnit zastoupení nekrofágního hmyzu a vývojové cykly, zejména pokud se živí larvami či kuklami (Smith 1986).

3. vlna: Zmýdelněním tuků se vytváří těkavé mastné kyseliny, především kyselina máselná typická svým dráždivým zápachem. Objevují se nové nekrofágní druhy hmyzu, z brouků *Hister cadaverinus* (Hoffmann, 1803), *Gnathoncus rotundatus* (Kugelann, 1792), z dvoukřídlých *Hydrotaea capensis* (Wiedeman, 1818) (Gennard 2007). Přilétají také první brouci z čeledi Dermestidae (kožojedovití) a Cleridae (pestrokrovečníkovití). Na kadáveru nadále setrvávají brouci z 2. vlny s delší dobou vývinu. Počátkem 3. vlny se objevuje na kadáveru značné množství biofágů různých druhů, jejichž potravou jsou larvy much 1. a 2. vlny (Daněk 1990).

V této fázi dochází také ke změně vegetace a půdního edafonu přímo pod ležícím kadáverem (zejména pokud se jedná o kadáver neoblečený). Změny se projevují u rostlin ztrátou chlorofilu, v rámci které dochází ke žloutnutí, popřípadně úhynu rostlin. Fauna pod tělem, zejména zastoupení roztočů se výhnamně mění, protože roste podíl saprofágních druhů (Daněk 1990).

4. vlna: Krátce po fermentaci tuků dochází k fermentaci proteinů. Tento proces se též nazývá termínem „sýrová fermentace“, protože při ní vznikají kaseózní látky, které svým zápachem připomínající aroma přezrálého sýru. Tato specifická vůně přilákává další druhy hmyzu. Zejména mouchy z čeledi Piophilidae (sýrohlodkovití), jejichž larvy jsou charakteristické svojí schopností skákat (Daněk 1990; Šuláková 2019). Nejběžnějším zástupcem sýrohlodek na lidských mrtvolách je druh *Stearibia nigriceps* (Meigen, 1826)

(Šuláková 2017, 2019). Druh *Piophila casei* (Linnaeus, 1758), který Daněk (1990) řadí mezi typické zástupce v České republice, je dle Šulákové (2014) vzácný a na mrtvolách se vyskytuje zcela ojediněle. S touto fází se pojí také počátek výskytu much z čeledi Fanniidae (slunilkovití), především druhů *Fannia canicularis* (Linnaeus, 1761) (Daněk 1990) a *Fannia scalaris* (Fabricius, 1794) (Šuláková, 2014).

Za specifických okolností mohou být sýrohlodky výhradními kolonizátory kadáveru . K takové situaci dochází, pokud je ke kadáveru omezen přístup větších much, například rodů *Lucilia, Calliphora* a *Sarcophaga*. Příkladem takové situace může být umístění po dlouho dobu kadáveru pod vodní hladinou,, které se dostane mimo vodní prostředí (např. poklesem vodní hladiny) až při fermentaci proteinů (Daněk 1990).

Proporciálně s úbytkem měkkých tkání se snižuje kvalitativní i kvantitativní množsví typických nekrofágních jedinců. Současně v „loži mrtvoly[1]“ a její blízkosti se uskutečňují biologické cykly larev některých druhů brouků a much s kratším vývojovým stadiem (Daněk 1990).

5. vlna: Nastává s čpavkovou fermentací a uvolnění amoniakových par, na které reagují drobné mušky z čeledi Phoridae (hrbilkovití), například druhy *Phora aterrima* (Fabricius, 1794) a *Megaselia rufipes* (Meigen, 1804) (Daněk 1990). Dospělé jedince nekrofághního hmyzu z 1. a 2. vlny zde nacházíme již zcela ojediněle (Daněk 1990). Druh *Hydrotaea ignava* (Harris, 1780) z čeledi Muscidae, který Daněk (1990) uvádí jako typického zástupce pro 5. vlnu, Klimešová et al. (2014) a Šuláková (2014, 2017, 2019) na základě experimentů a forenzních případů popisují již v 2., příp. na počátku 3. vlny.

6. vlna: V této vlně dochází k vysychání zbytků měkkých tkání (Šuláková 2006). Dle Daňka (1990) nastává toto období koncem prvního roku až druhého roku stáří kadáveru. Většina kadáveru je vyskeletovaná.. Namísto typických nekrofágů, kteří již na mrtvole nemají obživu pro sebe ani své potomstvo, nalétávají zástupci z čeledi Trogidae (hlodáčovití). Mezi nejhojněji se vyskytující patří *Trox sabulosus* (Linnaeus, 1758), *Trox hispidus* (Pontoppidan, 1763) a *Trox scaber* (Linnaeus, 1767). Nalézáme je v sušších místech zbytků kadáveru, pod kostmi a zaschlou kůží, v dutinách velkých kostí, vlasové pokrývce apod. Nadále na kadáveru setrvávají drabčíci rodu *Atheta* a mnohé jiné saprofágní druhy (Daněk 1990).

Postupným rozkladem hnilobné tekutiny a zbytků měkkých tkání kadáveru, dochází k vysoušení lože a okolí kadáveru. Současně se začíná radikálně měnit přechodné společenství živočišných a rostlinných druhů, jenž mělo prozatímní trvání. Půda, která se nachází pod kadáverem, se opět plynule dostává do původního stavu. Na zbylých částech kadáveru se nalézají rozmanité druhy roztočů, kteří se živí zbytky proteinů, zejména z kostní dřeně (Daněk 1990). Kromě roztočů se na kostech rozvíjí společenstvo řas (Šuláková 2014), které v konečném důsledku urychlují rozpad kostí (Daněk 1990).

[1] Lože mrtvoly - Jedná se o nejbližší okolí kadáveru včetně jeho podloží

7. vlna: Tuto vlnu můžeme zaznamenat i po více než třech letech expozice kadáveru v terénu (Daněk 1990). Zpravidla se již jedná výhradně o kosterní nález (Šuláková 2019), na které jsou zastoupeny různé druhy roztočů. Současně je možný výskyt čeledi Ptinidae (vrtavcovití) (Daněk 1990).

8. vlna: Nastává po vysušení a celkové skeletaci kadáveru a Daněk (1990) ji uvádí pro mrtvoly nalézané v bytech a jiných uzavřených prostorách. Nachází se zde hmyz, který se živí na mumifikovaných tkáních, sušeném mase, kostích, rohovině, kůži, peří apod. Typickým druhem brouka je *Dermestes lardarius* (Linnaeus, 1758) z čeledi Dermestidae (kožojedovití). V uzavřených prostorách se mohou na zbytcích kadáveru vyskytovat housenky motýlů, převážně molů a zavíječů. Mezi nejběžnější zastupující druh patří *Tineola biselliella* (Hummel, 1823) (mol šatní) (Daněk 1990; Šuláková 2014).

Stěžejní pro jednotlivé fáze sukcese je, že je nelze striktně ohraničit. Sukcese představuje kontinuální proces, jeho průběh a celková délka závisí především na teplotách na počátku rozkladu a druhovém složení prvních kolonizátorů (Šuláková 2014, 2019), v neposlední řadě vlivech prostředí a vlastnostech kadáveru (Daněk 1990).

3.4 Popáleniny a opařeniny na lidském těle

Poleptání a popáleniny jsou závažným a hojným úrazem, který může zapříčinit v mnoha případech smrt. Pokud poraněný přežije, může to na něm zanechat doživotní jizvy, jak na těle, tak na duši. Lékařská a zdravotnická pomoc viditelně zlepšuje přežití a zároveň snižují riziko komplikací. K pomoci proti popáleninám nejsou zapotřebí speciální prostředky a vybavení. Přednemocniční léčba je dostupná i lékařem, který se náhodně ocitnul u termického poranění mimo ordinaci či v době svého volna (Dobiáš et al. 2007).

Definice: Poleptání a popáleniny jsou poranění, které mohou být způsobeny příliš vysokými teplotami nebo žíravinami (zásady a kyseliny). Popáleninové trauma či termický poranění vzniká dostatečně dlouhým, přímým či nepřímým vlivem nadprahové hodnoty tepelné energie na organismus. Po takovémto vlivu vzniká povrchové nebo hluboké narušení kůže a podkožních tkání. Popáleninové trauma patří mezi jeden z nejdrastičtějších stresů (Dobiáš et al. 2007).

Popáleniny dělíme na (Dobiáš et al. 2007):

- Suché – vznikají po kontaktu s plameny a horkými předměty. K suché popálenině může dojít i pomocí tření, např. o provaz a lano.
- Mokré – vznikají po kontaktu s příliš horkou tekutinou či párou. Mokré popáleniny označujeme jako opařeniny.
- Chemické – vznikají po kontaktu s chemickými prostředky, které mají žíravé účinky na kůži. Takové prostředky nás obklopují denno denně. Můžeme se s nimi setkat při práci v domácnosti, v zaměstnání, na zahradě či v dílně. Mnohem agresivněji působí koncetrované zásady nežli stejným způsobem

koncentrované kyseliny. Takové zásady způsobují mnohem rozsáhlejší poškození sliznice a kůže.

Patofyzilogie[2]: Poškozená kůže a sliznice teplem vyplaví tkáňové mediátory (přenašeče), díky nim dojde k porušení kapilár v celém organismu. Přímým následkem popálenin je agresivní forma šoku. Popáleninový šok se projeví z bolesti, přemístění tělních tekutin na poraněné místo. Při vdechnutí příliš horkého dýmu vznikne na sliznicích dýchacích cest opuchnutí (Dobiáš et al. 2007).

3.5 Kolonizace kadáverů vystavených působení vysoké teploty

Gennard (2007) uvádí, že rozhodující vliv, zda bude hmyz kolonizovat opálené, nebo spálené lidské tělo, má intenzita žáru a stupeň opálení. Podle Smithe (1986) nerozhoduje o případné aktraktivitě kadáveru povrchová vlhkost, ale stav bílkovin v těle. Na základě svých experimentů s ohořelými kousky masa a jater uvádí, že pokud došlo k úplné koagulaci bílkovin, hmyz nebude na takovou návnadu reagovat.

Podle Andersona (2005) u lidských mrtvol, které byly vystaveny vysokému žáru (vlivem hoření, nebo opaření), zůstane uvnitř těla, resp. břišní a hrudní dutiny dostatek tkání, které nebyly působením vysokých teplot příliš zasaženy a mohou stále sloužit jako substrát pro vývin nekrofágního hmyzu. Rozhodudjící je tedy intenzita žáru, kterému bylo tělo vystaveno (Byrd & Castner 2010; Introna et al. 1998). Byrd a Castner (2010) uvádí, že na takových mrtvolách posléze nalézáme téměř totožné druhy, jako na tělech, která působení vysokých teplot vystavena nebyla.

Někteří autoři dokonce popisují, že kadávery, které byly vystaveny působení vysokých teplot, jsou pro hmyz „pachově“ více atraktivní, než těla nespálená, a to do takové míry, že hmyz je přednostně vyhledává a klade na ně více vajíček (Avila & Goff 1998). Anderson (2005) uvádí, že této skutečnosti lze využít ve forenzní praxi, resp. že metody forenzní entomologie lze použít i na oběti žhářství anebo případy, kdy se pachatel vraždy pokusí spálením odstranit tělo oběti.

3.6 Hlavní zástupci nekrofágního hmyzu

Na kadáverech se střídá značné množství druhů hmyzu a dalších bezobratlých, které mohou mít různý význam (Eliášová a Šuláková 2012).

Zpravidla na základě kriminalistického významu lze nekrofágní druhy rozlišit na forenzně vysoce relevantní, forenzně významné, forenzně zajímavé a doprovodné druhy (Šuláková 2014, 2017, 2019). Méně významní zástupci nekrofágního hmyzu mají zřetelně menší hodnotu pro znalce při forenzním vyšetřování, zejména při stanovení doby kolonizace

[2] Patofyzilogie – jedná se o nauku o chorobných pochodech a změnách funkcí organismu v průběhu nemoci (Creative Commons).

a následném odvození post mortem intervalu. Nejvíce hodnotní jsou zástupci z řádu Diptera, obzvláště mouchy první až páté vlny (Daněk, 1990), a z brouků mrchožrouti rodu *Thanatophilus* a *Necrodes littoralis* z druhé vlny (Šuláková 2014) a z třetí vlny rod *Dermestes* (kožojed) (Daněk 1990).

Mezi forenzně významné čeledě dle Daňka (1990) náleží:

- Bzučivkovití (Calliphoridae),
- Drabčíkovití (Staphylinidae),
- Hlodáčovití (Trogidae),
- Kožojedovití (Dermestidae),
- Lesklecovití (Rhizophagidae),
- Lesknáčovití (Nitidulidae),
- Masařkovití (Sarcophagidae),
- Molovití (Tinaeidae),
- Mrchožroutovití (Silphidae),
- Mršníkovití (Histeridae),
- Octomilkovití (Drosophilidae),
- Pestrokrovečníkovití (Cleridae),
- Sýrohlodkovití (Piophylidae),
- Vrubounovití (Scarabaeidae),
- Zavíječovití (Pyralididae).

3.6.1 Nekrofágní hmyz nalézaný na kadáverech

3.6.1.1 Bzučivkovití (Calliphoridae)

Jedná se o střední až velké mouchy. Hmyz dorůstající zpravidla 9–13 mm. Tělo je hojně pokryto krátkými štětinkami, zadní část těla je zbarvena do leskle modré barvy, zatímco hruď je šedá. Jedná se o čeleď, která je typická pro 1. vlnu. Dospělci nalétávají díky pachu čerstvé krve, potu a kosterní tkáně na kadáver téměř okamžitě. Nejčastějším územím výskytu jsou země s tropickým podnebím. Často se vyskytují v blízkosti lidských příbytků a domácích zvířat. Vybrané druhy mohou sloužit jako přenašeči nebezpečných choroboplodných zárodků (Daněk 1990).

Lucilia sericata (Meigen, 1826)

Např. Popis habitu: Kmenová žilka je na horní straně křídla holá, bez štětinek. Druh má obvykle žlutavě zelenou barvu. Rozdíl mezi larvami *Calliphora* a *Lucilia sericata* spočívá v orálním skleritu v hlavové části larev. U larev *Lucilia sericata* je sklerit méně pigmentovaný, tudíž se zdá, že zcela chybí. K rozlišení druhu *Lucilia sericata* od ostatních nekrofágních druhů bzučivek lze využít také specifické výrůstky na zadním segmentu larev třetího instaru (Gennard 2007).

Phormia regina (Meigen, 1826)

Jedná se o druh dorůstající menší velikosti, v rozmezí 7–9 mm. Tělo mouchy má zelenou až olivově zelenou barvu, zatímco hlava je černá. Charakteristické pro tento druh jsou přední průduchy ohraničené oranžovými štětinkami (Gennard 2007).

Photophormia terraenovae (Robineau-Desvoidy, 1830)

Druh, jenž má zeleně až modře zbarvenou hruď pokrytou tmavými štětinkami a černé končetiny. Dorůstá délky 8-12 mm (Gennard 2007). Pupária tohoto druhu se nachází pouze v těle zemřelého, nikoli v jeho okolí. (Smith 1986)

3.6.1.2 Masařkovití (Sarcophagidae)

Jedná se o velké, celkově mohutné mouchy, které dorůstají 12–18 mm. Jejich tělo má šedé zbarvení, hruď je zbarvena tmavými pruhy, zatímco oči mají výrazně cihlovou barvu. Konec těla (zadeček) je tvarem protáhlý, pokryt leskle tmavými třpytivými skvrnami. Odlišností u tohoto druhu je, že samičky masařek nekladou vajíčka, nýbrž rodí již živé larvy. Larvy jsou saprofágy i nekrofágy, zatímco dospělci na mrtvém těle především kopulují a následně kladou larvy. Samičky zpravidla upřednostňují zakladení larev do okolí dutiny ústní, nosu a koutku očí. Samičky umisťují své larvy do volně přístupných záhybů kůže kadáveru, do okolí intimních partií či do míst, kde došlo k poradění apod. (Daněk 1990).

Sarcophaga argyrostoma (Robineau-Desvoidy, 1830)

Tato moucha je schopna přijímat širokou škálu potravy. Řadíme sem dva proti póly, a to organismy, které jsou krátce po smrti nebo naopak zbylé pozůstatky nacházející se ve vysokém stadiu rozkladu. Tento druh dokáže „vymrštit“ svá vajíčka na kadáver, který se nachází mimo dosah mouchy (např. pokud se na kadáveru nachází obvaz, je schopna naklást vajíčka skrz něj) (Gunn 2020).

3.6.1.3 Mouchovití (Muscidae)

Čeleď, která obsahuje malé ale i velké mouchy. Zbarvení je ve většině případů tmavé, ve vzácných případech se objevuje nažloutlá barva. Larvy se nejčastěji objevují v zahnívajích látkách a ve výkalech. Proto jsou častými společníky hospodářských zvířat. Na mrtvolu jsou přilákávány zejména jejími výměšky. V České republice je známo 316 druhů z této čeledi (Smith 1986).

Hydrotaea capensis (Wiedemann, 1818)

Také může být uváděna pod vědeckým názvem Ophyra capensis. Dospělci mají kovově černé zbarvení. Jejich pupária dosahují velikosti obvykle 4,8–7,3 mm (Carvalho & Couri 2002). Jedná se o velice houževnatý druh. Dospělci mají kovově černé zbarvení. Loví jiné druhy much, pokud jsou v jejich přítomnosti ve větším počtu (Skidmore 1985). Moucha začíná být aktivní,

když se průměrná teplota začně pohybovat okolo 10 °C. Nejvíce aktivní jsou od měsíce června do října (Graham-Smith 1916; Smith 1986).

Hydrotaea dentipes

Běžně se vyskytující moucha, tmavě hnědého zbarvení. Tento druh dorůstá 8 mm. Velikostí jí můžeme přirovnat k *Musce domestice* (Linnaeus, 1758), ovšem *H. dentipes* postrádá výrazné ohyby v žilnatině svých křídel. Samci jsou o poznání tmavší a mají „kouřově" zbarvená křídla, zatímco samice je mají zcela bez pigmenu. Dospělci se obvykle živí na výkalech a hnijícím ovoci. Vývoj larev probíhá v jednolitých, vysychajících lidských výkalech, hnijící zelenině či mršinách (Greenberg 1971–73, sv. 1; Ishijima 1967; Smith 1986).

Hydrotaea ignava (Harris, 1780)

Druh dorůstající u samiček zhruba 5,2–8 mm. Černé zbarvení, na přímém Slunci se zbarvuje až do leskle modré barvy. Šupinky nacházející se u báze křídel jsou hnědé a holeně končetin výrazně zakřivené. Larvy se vyskytují především jako saprofágové v mrtvých tělech, exkrementech, kuchyňských zbytcích a hnízdech ptáků. Druh, který je typický pro druhé či třetí stadium rozkladu u kadáverů, které se nachází ve venkovním prostředí. (Klimešová et al. 2016).

3.6.1.4 Slunilkovití (Fanniidae)

Mouchy, které dorůstají menšího vzrůstu a mají tmavé zbarvení. Jedná se o typické mouchy, objevující se v lidských příbytcích. Znakem této čeledi je přikrajní žilka, která se nachází v apikální polovině přímá a druhá žilka, která je anální v obloukovité poloze. Larvy, které jsou saprofágní, žijí v houbách, kompostech, lesní hrabance, hnízdech ptactva a blanokřídlých, hnoji a norách obratlovců. Dospělci jsou zejména přitahováni močí a výkaly, to má za následek častou kolonizaci v oblasti genitálií. V České republice je známo 64 druhů této čeledi (Gregor & Rozkošný 2009).

Fannia canicularis (Linnaeus, 1761)

Moucha dorůstající 4–7 mm, larvy cca8 mm. Tvarem je štíhlejší nežli *Musca domestica*, tyto druhy mají také rozdílné uspořádání křídelní žilnatiny. Hruď je zbarvena od hnědé až do šedé barvy, ve které jsou umístěny 3 světlé pruhy. Hnědý zadeček je pokryt 1–3 páry žlutých skrvn. Synatropně se tento druh vyskytuje v lidských příbytcích (byty, domy). Zejména je najdeme kolem lustrů a na toaletách – je přitahována světlem. Larvy se nejčastěji vyskytují v organických zbytcích a ve výjimečném případě byl zjištěn výskyt v lidském střevě (Smith 1986).

4 Materiál a metody

Metodika práce se skládá z literární rešerše a terénního experimentu zaměřené na vliv opaření kadáveru vařící vodou a následnou kolonizaci hmyzem.

4.1 Popis lokality

Terénní experiment proběhl ve východních Čechách v obci Staré Hrady. Lokalita se nachází v části Staré Hrady na zeměpisných souřadnicích 50.3883878 N 15.2064628 E a v nadmořské výšce 240 m n. m.

Experiment proběhl na dvou místech. Při volné expozici byla pokusná zvířata umístěna v nezastítěné části zahrady, která je běžně využívána pro seč trávy na seno. Chovná fáze proběhla v nedalekých betonových kůlnách, aby se zabránilo kladení dalšího hmyzu. Kůlny byly v době experimentu uzavřené, aby na pokusné objekty nepůsobilo ostré sluneční světlo a teplo. Z důvodu minimalizace zkreslení výsledků, byl do kůlny během chovné fáze zamezen přístup domácím zvířatům.

4.2 Přípravná fáze experimentu

4.2.1 Příprava kadáverů

Při experimentu bylo použito celkem šest kadáverů samic kura domácího (*Gallus gallus* f. *domestica* Linnaues, 1758), každý o hmotnosti cca 3 kg. Dva jedinci trpěli vápenkou. Všechna zvířata byla usmrcena 6. 7. 2019, v odpoledních hodinách krvavým způsobem, pomocí sekery. První kadáver byl usmrcen ve 12:38 h, poslední ve 12:55 h.

Po usmrcení byly tři náhodně vybrané kadávery umístěny do železných nádob, kde byly ve 12:58 h opařeny vodou o teplotě 90 °C. Zcela ponořené kadávery byly ponechány ve vřelé vodě 12 min., tzn. do 13:10 h. Po vyjmutí voda odhalila část pokožky na těle kadáverů.

4.2.2 Příprava pomocného materiálu

Boxy a odchytová zařízení

Pro experiment byly využito šest uzavíratelných plastových boxů, každý o rozměrech 56 cm x 39 cm x 42 cm a objemu 65 l. Na dno každého boxu bylo umístěno 5 cm až 7 cm betonářského písku, který plnil dvě základní funkce. Během rozkladné fáze a vývinu larev pohlcoval hnilobnou tekutinu uvolněnou z kadáverů. Na konci krmé fáze posloužil migrujícím larvám jako substrát, do kterého se zahrabaly před kuklením.

Do každého víka boxu byl vyříznut otvor o průměru cca 7 cm. V rámci chovné fáze byly pod víka boxů umístěny silonové punčochy, které bránily nechtěnému kladení vajíček dalšího hmyzu a současně bránily úniku hmyzu z prostor chovných boxů. Zároveň silonové punčochy

umožňovaly dostatečnou výměnu vzduchu nezbytnou pro vývin hmyzu uvnitř boxů.

Pro odchytové zařízení bylo použito šest stejných PET lahví, každá o objemu 1,75 l. Z nich bylo odstraněno hrdlo lahví a na ně následně izolepou připevněny silonové punčochy. Z boxů do PET lahví vedl propojovací tunel, který umožňoval průchod vylíhnutému hmyzu do odchytových zařízení.

Do každé PET lahve byl nalit smrtící a konzervační roztok namýchaný v poměru 6 lžic kyseliny citronové na 1 litr vody s přídavkem cca 1 ml detergentu, k narušení povrchového napětí.

4.3 Průběh experimentu

Terénní experiment proběhl v jedné variantě (opařené) a kontrole a vždy ve třech kusech (opakováních). Kadávery z varianty „opařené“ označeny O1, O2 a O3. Kontrolní kadávery, které sloužily pro srovnání, byly označeny K1, K2 a K3.

Samotný experiment byl rozdělen do fází: volná expozice, odchov larev, líhnutí a odchyt dospělců.

4.3.1 Volná expozice

Na začátku volné expozice byly všechny kadávery ve 13:20 h po jednom umístěny do připravených plastových boxů. Následně byly boxy i s kadávery umístěny otevřené na louce. Datalogger naměřil průměrnou denní teplotu 33,87 °C. Při umístění posledního kadáveru byli zaznamenání již první kolonizátoři (Calliphoridae). V průběhu volné expozice proběhla 3x kontrola a zápis změn, které se u kadáverů objevily. Fáze volné expozice byla ukončena téhož dne ve 20:53 h, po zjištění, že u všech kadáverů došlo k nakladení vajíček. Všechny boxy byly v rozmezí několika minut přesunuty společně s dataloggerem na kryté místo (kůlny).

Obrázek 1 Volná expozice (foto Magdaléna Hálová)

4.3.2 Odchov larev

Fáze odchovu larev započala po přesunu boxů do kůlny, tedy 6. 7. 2019 řádově v 21:00 h. a trvala u každého z kadáverů rozdílnou dobu. Oblasti kloaky či sečné rány na krku byly prvním viditelným místem výskytu larev. Kontrola kadáverů probíhala jednou denně, pokud možno ve stejnou denní dobu. V rámci kontrol bylo sledováno, zda nedochází k vysychání vnitřních prostor plastových boxů a v případě potřeby byly kadávery vlhčeny prostřednictvím rozprašovače na rostliny naplněném kohoutkovou vodou.

Jakmile došlo k vylíhnutí larev, okamžitě započaly krmnou fázy. Krmná fáze trvala v řádech dnů nejdéle.

Larvy, které ukončily krmnou fázy, započaly migrovat po plastových boxech a hledaly vhodné místo ke kuklení. Migrační fáze započala u každého z kadáverů v rozdílnou dobu. U některých s odstupem i několika dní.

Po zakuklení larev bylo na boxy instalováno odchytové zařízení. Z důvodu rozdílného nástupu migrační fáze a kuklení u jednotlivých kadáverů byla odchytová zařízení u kadáverů ozn. O1, O2 O3, K1 a K2 umístěna dne 21. 7. 2019. Poslední odchytové zařízení bylo umístěno u kadáveru ozn. K3 31. 7. 2019.

4.3.3 Líhnutí a odchyt imág

Líhnutí dospělců much začalo v průběhu třetího týdne od zahájení experimentu. Vyjímkou byl kontrolní kadáver 3, u kterého zůstalo odchytové zařízení prázdné. Kvůli této skutečnosti byl experiment prodloužen do 19. 8. 2019. U kadáverů ozn. O1, O2, O3, K1 a K2 započalo líhnutí ve dnech od 25. 7. 2019 do 6. 8. 2019.

Po ukončení experimentu, dne 19. 8. 2019, byl veškerý odchovaný hmyz přesunut z odchytového zařízení. Nejdříve přelitím přes sítko byly odděleny mouchy od konzervačního roztoku, následně byl hmyz umístěn do plastových zkumavek a přelit 70% ethanolem. Z důvodu velkého množství odchovaného hmyzu u varianty K3, byl entomologický materiál umístěn do dvou samostatných zkumavek –do jedné zkumavky byl umístěn hmyz z odchytového zařízení, do druhé hmyz, který po vylíhnutí uhynul přímo v chovném boxu tohoto kadáveru. Celkem byl materiál v sedmi zkumavkách.

Každá ze zkumavek byla náležitě označena datem sběru, variantou a pořadovým číslem (O1, O2, O3, K1, K2 a K3), případně místem sběru.

Po celý průběh experimentu byly kadávery ponechány uvnitř boxů, tj, nebyly z nich odstraněny ani po zakuklení všech larev.

4.4 Sledované parametry

V rámci celého průběhu experimentu byly u všech kadáverů sledovány a hodnoceny různé parametry.

Během volné expozice bylo zjišťováno, kdy se uskutečnil první nálet much na kadávery, jaká byla první kontaktní místa, na kterých docházelo ke kladení vajíček, četnost a chování much, popř. jaké druhy se na kadáverech objevily v roli prvních kolonizátorů.

Během chovné fáze byla sledována četnost a postupný vývin larev během krmné fáze, místa, na kterých docházelo ke kumulaci larev (maggot mass), chování larev v migrační fázi (postfeeding stage) a při kuklení.

Současně byly na samotných kadáverech sledovány tafonomické změny, především první známky degradace vyznačující se uvolňováním peří, rupturou kůže, tvorbou plynných látek a nadouvání kadáverů, sesycháním částí těla, hnitím, uvolňováním hnilobné tekutiny a postupné vyskeletování. V souvislosti s aktivitou larev byl sledován první viditelný ožer a degradace jednotlivých částí měkkých tkání.

4.5 Dokumentace terénního experimentu

Po celou dobu trvání byl terénní experiment a jeho jednotlivé fáze pečlivě kontrolovány a dokumentovány. V rámci přípravné fáze a jednotlivých pravidelných kontrol byla prováděna fotodokumentace (viz průběh experimentu zachycený na fotografiích v Příloze bakalářské

práce). Současně byly prováděny písemné záznamy zjištěných skutečností, které se staly podkladem pro sepsání Výsledků této práce.

4.6 Meteorologická data

Po celou dobu experimentu, resp. přes volnou expozici na louce i během chovné fáze uvnitř kůlny, byl u experimentálních boxů umístěn multifunkční datalloger Voltcraft DL-141 TH2K, který průběžně zaznamenával v třicetiminutových intervalech k aktuálnímu datu a času okamžitou teplotu a vlhkost prostředí.

Datalogger byl po celou dobu experimentu připevněn izolepou k boxu u opařeného kadáveru 2 (varianta O2).

Od počátku volné expozice do ukončení experimetnu, resp. přesunutí entomologického materiálu do přepravních zkumavek se u kadáverů zvýšila vlhkost cca o 65 %. Nejvyšší naměřená teplota za celou dobu experimentu dosáhla 43,6 °C (6. 7. 2019) a nejnižší 13,5 °C (8. 7. 2019).

4.7 Určení entomologického materiálu

Veškerý entomologický materiál získaný v rámci terénního experimentu do druhů určila plk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D., z Kriminalistického ústavu Policie České republiky.

K determinaci byly použity klíče obsažené v monografiích jednotlivých čeledí: Calliphoridae: Rognes (1991) a Draber-Mońko (2004); Sarcophagidae: Richet et al. (2011); Muscidae: Gregor et al. (2002), Fanniidae: Rozkošný et al. (1997). Zařazení a pojmenování druhů bylo upraveno podle Fauna Europaea (Rognes 2013).

5 Výsledky

Pokus započal 6. 7. 2019 a byl ukončen 19. 8. 2019. Celková délka experimentu byla 45 dní. V rámci experimentu byla sledována reakce hmyzu, především prvních kolonizátorů na opařené kadávery (n = 3) ve srovnání s kontrolní skupinou (n = 3). Při volné expozici byly zaznamenáni druhy hmyzu, které se na kadáverech pohybovaly a případně i kladly Následným odchovem, při kterém bylo zabráněno náletu hmyzu z dalších sukcesních vln přesunutím do uzavřené místnosti, byly získáni zástupci jednotlivých čeledí řádu Diptera. Na základě porovnání druhového složení byly učiněny patřičné závěry.

Současně byly v rámci celého pokusu sledovány tafonomické změny na kadáverech.

5.1 Druhové složení

Odchovem nakladených vajíček bylo celkem získáno 1233 kusů hmyzu z řádu Diptera, z toho na opařených kadáverech se celkem vylíhlo 717 kusů (58 %) a na kontrolních kadáverech celkem 516 kusů (42 %).

U opařených kadáverů shodně dominovaly čeledě Muscidae (50 %, n = 359) a Calliphoridae (49 %, n = 350). U kontrolních kadáverů byla dominantní skupinou čeled Calliphoridae (63 %, n = 327), zatímco zástupci čeledi Muscidae se vyskytovaly v nižší četnosti (35 %, n = 182).

Při experimentu byly zaznamenáni celkem tři zástupci čeledi Calliphoridae, konkrétně druhy: *Protophormia terraenovae* (46 %, n = 314), *Phormia regin*a (29 %, n = 193) a *Lucia sericata* (25 %, n = 170). Z čeledi Sarcophagidae byl zastoupen pouze druh *Sarcophaga argyrostoma*, a to na dvou kadáverech (O3 a K3) v celkovém počtu 10 ks. U čeledi Muscidae byly v rámci všech kadáverů zaznamenáy tři druhy, konkrétně *Hydrotaea capensis* (54 %, n = 293), *Hydrotaea ignava* (26 %, n = 141) a *Hydrotaea dentipes* (20 %, n = 107). Z čeledi Fanniidae byl odchován pouze jeden druh, *Fannia canicularis*, a to v počtu 5 ks na opařeném kadáveru (O1). Celkový přehled odchovaných druhů viz Přílohy č. 3. Rozdělení druhů dle variant (O vs. K) viz Přílohy č. 1 a 2.

Druhy *Hydrotaea dentipes* a *Fannia canicularis* byly nalezeny pouze na opařených kadáverech, u kontrolní skupiny se vůbec nevyskytovaly.

5.1.1 Opařený kadáver 1 vs. Kontrolní kadáver 1

Při sběru dat 6. 7. 2019 (první den) byly v rámci počáteční kolonizace zaznamenány další různí zástupci hmyzu. U O1 byli zaznamenáni mravencovití, pravděpodobně mravenec obecný (*Lasius niger*) a sršňovití (*Paravespula vulgaris, Paravespula germanica*). Z čeledi bzučivkovití byl převážně viděn druh *Lucilia sericata,* i přes skutečnost, že odchovem larev byli u tohoto kadáveru zajištěni pouze dva jedinci. V 17:07 h bylo zcela prvotní zaznamenání zakladených vajíček, a to v oblasti sečné rány. U K1 byli zaznamenáni z čeledi mravencovití,

bzučivkovití (nerozlišeno, zda *Lucilia sericata*, *Phormia regina*, nebo *Protophormia terraenovae*) a mouchovití (*Hydrotaea capensis).*

7. 7. 2019 O1 bylo velké množství larev v oblasti kloaky, ale větší množství bylo nalezeno v sečné ráně (bílá/krémová barva). U K1 byly zaznamenány malé tmavé larvy v sečné ráně.

9. 7. 2019 O1 larvy se nacházely v místě kloaky i sečné rány. Na larvách bylo již dobře vidět zažívací ústrojí vyplněné tráveninou. Larvy, které se nacházely v sečné ráně, tvořily svou činností bílou pěnu (mimotělní trávení). Nacházely se zde dvě velikosti larev, které se pravděpodobně vylíhly v rozdílnou dobu. Slyšeno „šustění" larev, vznikající pohybem velkého množství larev. Larvy u K1, byly v oblasti kloaky výrazně menší velikosti, světlejšího zbarvení a počtu. Larvy šedé barvy, které se nacházely v sečné ráně a v oblasti pod křídlem měly dobře viditelný vyplněný trávicí systém. Z důvodu velkému množství larev v této oblasti, při manipulaci odpadávaly.

11. 7. 2019 u O1 se larvy nacházely po celém těle. Larvy měly bílou až krémovou barvu, s velikostí řádově od 5 mm do 10 mm. Na K1 začaly migrovat desítky larev (10 mm, bílé až krémové barvy).

12. 7. 2019 u opařeného i kontrolního kadáveru byly larvy již bez viditelné tráveniny v těle.

15. 7. 2019 u O1 se larvy menší velikosti (cca 4 mm) nacházely v oblasti hrudní části. Pár desítek larev migrovalo. Vně K1 se nacházelo tisíce larev. Larvy rostly spíše do šířky, velikost cca 5 mm do délky. Větší larvy migrovaly po boxu.

17. 7. 2019 u O1 se velké množství larev dostalo do prohlubně silonové punčochy, která se nacházela pod víkem boxu (larvy cca 2 mm). Cca 100 jedinců větších larev (10 mm) migrovalo po boxu. U K1 velké i malé larvy (5–10 mm) se nacházely pod víkem. Na kadáveru větší množsví malých larev (5 mm).

20. 7. 2019 O1 stovky až tisíce larev migrovalo po boxu (cca 5–10 mm). Značná část larev nalezena vně i na kadáveru. U K1 nalezena na víku jedna kukla tmavší barvy. Larvy nebyly příliš k vidění, malé množství z nich migrovalo po boxu (cca 6–7 mm, desítky jedinců).

21. 7. 2019 u K1 nalezena druhá kukla (obě kukly menší velikosti, rudé barvy).

25. 7. 2019 u O1 nazelena pod víkem jedna světle hnědá kukla. Nacházely se zde stovky migrujících larev (cca 10 mm). K1 pár desítek jedinců se nacházelo pod víkem (cca 8 mm). Ostatní larvy se nacházely převážně v substrátu (písku).

28. 7. 2019 u O1 byly na víku viděny tři kukly (dvě tmavší a jedna světlejší hnědé barvy). Pár jedinců larev je viděno v substrátu. K1 kukly ani larvy nebyly k vidění. V odchytovém zařízení zaznamenáno osm jedinců much.

2. 8. 2019 u O1 v odchytovém zařízení zaznamenána jedna moucha. Na víku se nacházela tmavá kukla. Nebyly pozorovány žádné larvy. U K1 se v odchytovém zařízení nacházelo velké množství much. Larvy a kukly neviděny.

5.1.2 Opařený kadáver 2 vs. Kontrolní kadáver 2

6. 7. 2019 na O2 se nacházeli kolonizátoři z čeledi bzučivkovití (nerozlišeno, zda *Lucilia sericata, Phormia regina*, nebo *Protophormia terraenovae*), dále mravencovití a sršňovití. Na K2 byli viděni kolonizátoři z čeledi bzučivkovití (opět bez rozlišení) a sršňovití.

7. 7. 2019 u O2 se nacházelo velké množství larev v oblastni kloaky, o poznání menší množství v sečné ráně. U K2 stejné jako u O2.

9. 7. 2019 u O2 nebyla zaznamenána aktivita larev, krom místa v oblasti kloaky. Zde bylo velké množství světlých larev. Na K2 byla zachycena první aktivita migrujících larev. Odhadem se jednalo o ¼ až ½ larev. Současně se část larev, stále nacházela v oblasti sečné rány a v oblasti kloaky. Ve směru od kloaky je prožírána vrchní část kadáveru. Na opeření se nacházelo malé množství bílých teček.

11. 7. 2019 u O2 na vrchní straně viděna larva o velikosti 10 mm. V sečné ráně a v kloace aktivita nezaznamenána. U K2 se larvy nacházely zejména v horní polovině, jedná se cca o 1000 jedinců (7 mm, krémového zbarvení).

12. 7. 2019 u O2 larvy o velikosti cca 10 mm byly bez viditelného trávícího ústrojí a migrovaly. U K2 na horní straně viděno pouze pár jedinců (cca 8 mm).

15. 7. 2019 na O2 larvy migrovaly jak po boxu, tak i po kadáveru (cca 7–8 mm). U K2 se nacházelo velké množství larev v substrátu (cca 10–15 mm).

18. 7. 2019 u O2 se nacházely stovky migrujících larev (cca 3-5 mm). Pod víkem byly nalezeny tři kukly, přičemž jedna již v pokročilejším stadiu vývinu (tmavší). U K2 se larvy nacházely pouze pod kadáverem a část z nich v substrátu. Byla nalezena jedna kukla pod víkem.

20. 7. 2019 u O2 se nacházely kukly pod víkem i na víku boxu (dvě již v pokročilejším stadiu). Šest dalších larev se začínalo kuklit. Přibližně 100 jedinců migrovalo po kadáveru a boxu (cca 5 mm). U K2 se nacházela jedna tmavě červená kukla na víku boxu. Larvy viděny v poměrně malém množství.

23. 7. 2019 u O2 desítky larev migrovaly (cca 10 mm). Pod víkem se nacházely tři dospělí jedinci much (pravděpodobně dva *Lucilia sericata* a jeden *Hydrotaea ignava).* U K2 se do 100 jedinců larev nacházelo v substrátu či volně migrovalo po boxu.

25. 7. 2019 u O2 se larvy nacházely převážně v substrátu. V lapači nalezen první jedinec (větší velikosti s tmavě zeleným zbarvením, pravděpodobně *Lucilia sericata* či *Phormia regina).* U K2 se nacházely tři kukly s hnědočerveným zbarvením. Larvy v množství do jedné desítky jedinců.

6. 8. u O2 se nacházeli v odchytovém zařízení čtyři jedinci much. Na víku boxu bylo osm kukel, spíše menší velikosti. V odchytovém zařízení K2 se nacházel jeden jedinec.

5.1.3 Opařený kadáver 3 vs. Kontrolní kadáver 3

6. 7. 2019 na O3 se mezi prvními kolonizátory se objevily z čeledi bzučivkovití, druhy *Lucilia sericata* a *Phormia regina.* Dále zástupci z čeledi sršňovití. Na K3 byli zaznamenáni jako první kolonizátoři z čeledě bzučivkovití, druhy *Lucilia sericata*, *Phormia regina* a *Hydrotaea ignava*. Ovšem druh *Hydrotaea ignava* se na konci experimentu v odchovaných jedincích na variantě K3 nenacházel. Kolem tohoto kadáveru se také pohybovali brouci z čeledí slunéčkovití a kožojedovití.

7. 7. 2019 u O3 se nacházely malé tmavší larvy vně kloaky. Zbývající část kadáveru byla čistá a beze změny. Na K3 nebylo nic zaznamenáno.

9. 7. 2019 u O3 se nacházelo v oblasti kloaky malé množství larev větší velikosti. U K3 jak v oblasti kloaky, tak sečné rány se nacházelo malé množství larev. Na opeření se nacházelo malé množství bílých teček.

11. 7. 2019 na O3 byly larvy menšího vzrůstu (cca 5 mm) pouze v oblasti kloaky v množství pouze několika desítek jedinců. U K3 larvy viděny pouze v oblasti sečné rány, opět pouze v počtu několika desítek jedinců o velikosti cca 8 mm (krémového zbarvení).

12. 7. 2019 na O3 se larvy nacházely na horní části (záda) a boku, kterým byl kadáver umístěn k substrátu. Po manipulaci s kadáverem larvy odpadávaly a vytvářely okolo sebe pěnu. Celkově byly larvy většího vzrůstu (cca 10 mm, s krmnou skvrnou, v počtu pouze desítek jedinců). U K3 se nacházeli desítky jedinců larev s krmnou skrvnou (cca 7 mm). Při manipulaci s kadáverem docházelo k odpadávání larev.

14. 7. 2019 na O3 došlo k nakladení vajíček přes silonovou punčochu. Larvy se nacházely zejména na straně kadáveru, která byla v kontaktu se substrátem. Byly zde larvy dvou různých velikostí (2–3mm a 8–9 mm). Na K3 žádné larvy neviděny.

16. 7. 2019 na O3 se nacházelo větší množství larev pouze v oblasti kloaky (2–3 mm). Na víku boxu byla objevena první kukla červenohnědého zbarvení. Na K3 se nacházelo maximálně do jedné desítky jedinců larev (cca 6 mm, světlého zbarvení).

17. 7. 2019 u O3 viděno pár stovek jedinců malé velikosti (do 1 mm). Na K3 se nacházelo do 100 jedinců larev menší velikosti (2–3 mm), které se pohybovaly volně po kadáveru a několik stovek jedinců larev, nacházející se pod levým křídlem a části zad (3–5 mm; 10–15 mm). Pod pravým křídlem bylo pár stovek jedinců larev (cca 5 mm). Tisíce larev (3-5 mm) také pod peřím kadáveru. Objevena v opeření první kukla červeného zbarvení.

19. 7. 2019 na O3 desítky larev migrovaly (cca 10 mm). Nicméně v oblasti sečné rány bylo velké množství menších larev (cca 3-10 mm). Pod víkem boxu byla zaznamenána jedna kukla. U K3 se nacházely pod víkem stovky larev o velikostech 2–10 mm, přičemž mezi nimi

byly zaznamenány dvě larvy, které se začínaly zakuklovat. Velké množství larev se nacházelo v substrátu. Tisíce jedinců larev nalezeno pod pravým křídlem (5–9 mm), podobné množství pod peřím (3–8 mm). Na spodní straně kadáveru (umístěna na substrátu) se nacházelo tisíce larev různých velikostí (cca 5–10 mm; 20 mm).

20. 7. 2019 u O3 desítky jedinců larev (4–8 mm) migrovali po boxu. Larvy se zde nenacházely pod kadáverem ani v substrátu. Nalezeny dvě kukly umístěné na víku. U K3 bylo v sečné ráně velké množství larev (tisíce jedinců, 10–15 mm). Larvy různých velikostí migrovaly (tisíce jedinců, 1–4 mm; 10 mm). Na víku objeveny dvě larvy chystající se k zakuklení.

22. 7. 2019 u O3 bez větších změn. U K3 stovky migrujících larev spíše větších velikostí (8-10 mm). Další tisíce larev pokrývalo kadáver.

23. 7. 2019 u O3 byl jeden dospělec z čeledi bzučivkovití. Nacházející se larvy migrovaly po boxu (7–10 mm). U K3 byly stovky migrujících larev (8–15 mm). Tisíce larev na kadáveru (4–15 mm). Pod víkem umístěny dvě kukly (světle hnědého zbarvení, velikostí spíše delší a užší).

25. 7. 2019 u O3 byly larvy převážně v substrátu. Desítky jedinců larev pod víkem (10 mm). Některé nacházející se kukly na víku seschly. U kadáveru se objevili dospělci bzučivkovitých. U K3 tisíce larev s viditelnou krmnou skrvnou migrovalo. Tisíce larev bylo volně na kadáveru (8 mm).

28. 7. 2019 u O3 na víku byly tři kukly hnědého zbarvení. Pár desítek larev se nacházelo na víku a v substrátu. U K3 na víku objeveny tři kukly, přičemž jedna v pokročilejším stadiu vývoje (tmavší červené zbarvení). Pod víkem se nacházely stovky larev s viditelným vyplněným trávicím ústrojím, o velikosti cca 10 mm. Pár desítek larev se pohybovalo volně po kadáveru, o velikosti cca 8 mm.

31. 7. 2019 u O3 vše bezezměny. U K3 bylo umístěno odchytové zařízení. Při manipulaci byla zjištěna přítomnost 40 kukel, které byly skryty v silonové punčoše. Jedna z kukel byla 2x větší a tmavší nežli ostatní. Patrně náležela čeledi Sarcophagidae.

6. 8. u O3 v odchytovém zařízení byla chycena jedna moucha. Na víku objeveny tři kukly menší velikosti, ale tmavé barvy. U K3 byly objeveny tři kukly.

Z důvodu prázdného odchytového zařízení u K3 byl experiment prodloužen do 19. 8. 2019. I přes toto opatření ke konci experimentu ochytové zařízení K3, obsahovalo mnohem menší množství odchycených much než vnitřní prostor boxu. Pro zcela jisté zkreslení konečných výsledků pro tento kadáver, byly vytvořeny dvě zkumavky se vzorkem z odchytového zařízení a z vnitřního prostoru boxu.

5.2 Tafonomické změny

První den experimentu (6. 7. 2019) nastal po vychladnutí těl významný rozdíl v pohyblivosti kontrolních i opařených kadáverů. Opařené kadávery byly znatelně ztuhlejší a manipulace byla komplikovanější. Kontrolní kadávery byly vláčné, ačkoli přibývajícími dny znatelněji ztuhly, patrně nejdříve vlivem poklesu hladiny ATP ve svalech a následně z důvodu úbytku vody ve tkáních a vysychání kadáverů. Přes to byly relativně dobře pohyblivé pro manipulaci po celou dobu experimentu.

Druhý den (7. 7. 2019) se začal objevovat rozdílný zápach mezi opařenými a kontrolními kadávery. U opařených kadáverů připomínal zápach „zpocené nohy“, zatímco u kontrolních kadáverů byla cítit zejména trávenina. Celkově v této počáteční fázy byl výraznější zápach „zpocených nohou“ u opařených kadáverů. Tyto poznatky byly u všech kadáverů shodné.

5.2.1 Opařený kadáver 1 vs. kontrolní kadáver 1

7. 7. 2019 u O1 vznikala pěna z důvodu velkému množství larev (maggot mass).

9. 7. 2019 vznikaly na těle O1 kapky tmavé tekutiny (hnědá a červená barva). U K1 probíhal již větší ožer, a to v přední polovině těla (viz Příloha 15). Při mírném tahu se začínalo uvolňovat peří a docházelo k tmavnutí tekutiny pod kůží.

11. 7. 2019 O1 larvy oddělily celé křídlo kadáveru od středu těla. Pokožka pokryta slizem. K1 se v tuto dobu nacházel v 80 % až 90 % rozkladu. Velice výrazný zápach (v tu chvíli nejsilnější ze všech kadáverů). Peří pokryto slizem.

15. 7. 2019 u O1 se nacházely tělesné tekutiny, stěny boxu byly pokryty tekutinou, zdálo se, že kadáver „explodoval“. Kůže a maso začali získávat tmavě hnědou barvu. Nicméně kůže a kosterní svaloviny zůstávalo minimum. K1 se nacházel v největším rozkladu oproti ostatním kadáverům. Došlo zde k vyskeletování hrudní kosti kadáveru. Okolo v loži mrtvoly bylo k vidění mnoho různých tekutin.

16. 7. 2019 u K1 se začala odchlipovat pokožka na pařátech, viditelně zejména na pravém. Toto mohlo být způsobeno vápenkou, kterou tento jedinec trpěl (viz Přílohač. 4).

20. 7. 2019 O1 byl již téměř bez svaloviny a kůže (viz Příloha 16). Zbylá kůže se třpytila a šla až do zlatavé barvy. K1 kosti byli pokryté hnědou slizskou blankou (pružná a měkká). Výraznější „pocení“ kadáveru.

Nadcházející dny experimentu zpravidla nedošlo k otevření ani jedné z boxů. Kadávery se v těchto dnech nacházely v podobném stavu. A to s velice pokročilou či kompletní skeletací.

5.2.2 Opařený kadáver 2 vs. kontrolní kadáver 2

8. 7. 2019 O2 při manipulaci vydával zvuky, které by se daly přirovnat k běžnému „kvokání“. Na částech, kde, již byla odkryta pokožka dochází k jejímu lesknutí. U K2 byla narušena větší oblast u kloaky.

9. 7. 2019 u O2 došlo k viditelně většímu výtoku střev. Docházelo zde k větší míře vlhkosti. Z pórů pokožky byly vytlačovány hnědé kapky. U K2 došlo k narušení první třetiny hřbetu (viz Příloha 17).

11. 7. 2019 na O2 pokožka pokryta slizem a části s peřím byli vlhké až mokré. Tělo v cca 65% stádiu rozkladu. Nacházelo se zde větší množství kosterní svaloviny v hrudní oblasti než jinde na kadáveru. Docházelo k samovolnému uvolňování peří. Odhalená zbývající svalovina měla podobné zbarvení, které by se nejlépe dalo přirovnat ke grilovanému kuřecímu masu. Barva pokožky K2 byla modro-šedá. Zde nedocházelo k uvolňování peří.

12. 7. 2019 u K2 nalezeno vejce, které se pomocí ožeru, provedeným larvami, dostalo mimo kadáver. Vejce neporušeno.

14. 7. 2019 u O2 byla již zcela viditelná hrudní kost. Vně kadáveru se nacházela hnědo-béžová pěna. Došlo k částečnému rozpadnutí kůže na pařátech. Toto mohlo být způsobeno vápenkou, kterou tento jedinec trpěl (viz Příloha 7).

15. 7. 2019 u O2 část kostí začali dostávat načervenalou barvu. Mezi kostmi se nacházela hnědo-béžová pěna. K2 se nacházel ve vysokém stadiu rozkladu, nicméně stále nedošlo ke skeletaci na kost. Zbývající svalovina a kůže měly tmavě hnědou barvu.

20. 7. 2019 u O2 na pařátech byla odstraněna larvami z 95 % kůže. Na kostech se nacházela pouze zelená blána. Z kadáveru zbývalo zejména peří a kosti. U K2 v porovnání s O2 zbývá poměrně dost svaloviny a kůže. Zbývající kůže a svalovina měla tmavě hnědou barvu (viz Příloha 18). Paráty byly bez jakéhokoliv porušení.

5.2.3 Opařený kadáver 3 vs. Kontrolní kadáver 3

9. 7. 2019 u O3 docházelo k většímu výtoku z kloaky než u ostatních kadáverů. Tělo bylo dobře protučnělé. U K3 při manipulaci odpadla letka. Objevena plíseň v sečné ráně.

11. 7. 2019 O3 stále dobře zachovalý, nejmenší zápach oproti ostatním opařeným kadáverům. K3 také dobře zachovalý, bez ztuhlosti těla. Peří bylo suché, pokožka nebyla pokryta slizem. Zápach pocházel zejména z vylučovací soustavy. Na kloace byla vytvořena nahnědlá „bublina“. Plíseň v sečné ráně přetrvávala (viz Příloha 19).

12. 7. 2019 O3 stále dobře zachovalý. Pokožka v oblasti křídel se začala zbarvovat do modré až šedé barvy. Na sečné ráně byla již z 1/3 plíseň. Pravděpodobně došlo k vybřednutí kloaky. Zápach byl mírný. K3 byl relativně zachovalý. Jediné porušené místo se nacházelo

směrem od kloaky ke hřbetu (cca 5 cm). Docházelo k uvolňování peří ze hřbetní části. V téměř nepatrném množství se na pokožce kadáveru začal objevovat sliz.

14. 7. 2019 O3 stále v dobrém stavu, peří se neuvolňuje. Bez výrazných změn. K3 dobře zachovalý, žádné viditelné rány navíc. Vně kadáveru docházelo k nahromaďování plynů. Ihned pod sečnou ránou byla zřetelně nafouklá malá část pokožky. Pokožka v tomto místě byla nažloutlá, ovšem zbytek pokožky kadáveru začínal mít modrou až šedou barvu.

15. 7. 2019 O3 oproti ostatním dobře zachovalý. Docházelo ke skeletaci hřbetu, levého boku i křídla. K3 byl zachovalý, ovšem došlo k výraznému zvětšení „nafouknutí“. Docházelo k samovolnému uvolňování peří, ačkoli na některých částech pevně drželo i při silnějším potažení.

16. 7. 2019 u O3 byla nalezena plíseň bílé barvy v sečné ráně. Po silnějším potáhnutí docházelo k uvolňování peří. Při manipulaci se začalo uvoňovat levé křídlo (v kloubu u trupu). K3 byl „nafouklý“, podobně jako při minulé kontrole. Ovšem pokožka ztmavla do tmavě šedé barvy. Stále nejvíce nápadně „nafouklé“ místo se nachází pod sečnou ránou, které má nažloutlou barvu. Spodní strana kadáveru, která se nachází u substrátu je pokrytá slizem. Na levém pařátu byla objevena bílá plíseň.

Díky dobrým stavům obou kadáverů šla porovnat ztuhlost. Kontrolní kadáver 3 byl mnohem pružnější a vláčnější nežli opařený kadáver 3.

17. 7. 2019 O3 byl stále dobře zachován. Bez větších změn. U K3 došlo opět k většímu „nafouknutí“ (viz Příloha 20). V oblasti dolních končetin došlo k výraznějšímu ztmavnutí pokožky do tmavě šedé. Na levém pařátu došlo k odchlipování pokožky, zde se jednalo o jedince, který netrpěl vápenkou. Na celém kadáveru docházelo k odchlipování pokožky.

20. 7. 2019 u O3 byla oblast břišní dutiny značně naměklá. Docházelo k odchlipování pokožky z pařátů. U K3 došlo k uvolnění nahromaděných tělních tekutin. Na povrchu písku se objevila zeleno-hnědá tekutina.

Kadávery další dny neprocházely většími tafonomickými změnami. Zůstala v převážné většině zachovaná kůže. Svalovina byla z převážné části zkonzumována. Celé prostory boxů byly pokryty uvolněným peřím. Tato dvojice byla i při likvidování experimentu nejvíce zachovalá oproti ostatním kadáverům (zůstalo zde nejvíce kůže a velké množství tekutin).

6 Diskuze

Terénní experiment trval u všech kadáverů shodnou dobu, 45 dnů, a na všechny varianty a opakování (n = 6) byly aplikovány stejné podmínky. Průměr denních teplot po během celé dobu trvání experimentu byl 21,7 °C. Za dobu od nakladení do prvního zaznamenaného vylíhnutí larev byla průměrná denní teplota 19,8 °C. Což je teplota mírně nižší, než uvádí Saunders (1999) pro aktivitu much z čeledi Calliphoridae, resp. prvních kolonizátorů kadáverů v podmínkách České republiky (Šuláková 2019). Saunders (1999) považuje ideální teplotu pro nakladení a vylíhnutí hmyzu, včetně zástupců čeledi Calliphoriae, při 25 °C. Přes průměrnou nižší teplotu během volné expozice, nebylo pozorováno výraznější potlačení aktivity much čeledi Calliphoridae. Aktivita u všech kadáverů potvrdila tvrzení mnoha autorů (např. Eliášová & Šuláková 2006; Erzinçlioğlova 1996; Nuorteva 1987; Povolný 1979; Smith 1986; Šuláková 2017), že Calliphoridae představují první kolonizátory volně exponovaných kadáverů.

V rámci terénního experimentu bylo odchovem získáno celkem 1233 jedinců řádu Diptera, a to z čeledí Calliphoridae, Muscidae a Sarcophagidea. Z toho 58 % (n = 717) bylo odchováno na opařených kadáverech. Výsledky terénního experimentu tímto vyvrátily tvrzení Smithe (1986), že čerstvě tepelně opracované maso (uvařené, upečené apod.) není pro bzučivky a další hmyz atraktivní a nekladou na něj. Z celkem osmi zastoupených druhů (náležících do všech tří čeledí), všechny byly nalezeny alespoň na jednom opařeném kadáveru, zatímco na kontrolních (čerstvých) kadáverech bylo jen šest druhů, resp. nebyl dochován žádný jedinec druhů *Hydrotaea dentipes* a *Fannia canicularis*.Výsledky odchovu potvrdily, že bzučivky kladly na všechny kadávery. Nižší teplota na počátku experimentu se však projevila na jejich druhovém složení. Oproti očekávání byly v rámci výsledků celého experimentu dominantními druhy *Protophormia terraenovae* a *Phormia regina* a doprovodným druhem byl *Lucila sericata*. Potvrdilo se tím tvrzení Šulákové (2014), že na jedné mrtvole se zpravidla vyvíjí tři až pět druhů bzučivek, ze kterých jsou zpravidla jeden až dva v dominantním postavení a ostatní bzučivky představují pouze tzv. doprovodné zástupce, kteří se vyvíjí pouze v počtu několika kusů či desítek až stovek kusů (v závislosti na velikosti kadáveru).

Druh *Protophormia terraenovae* je dle Smithe (1986) relativně chladnomilný zástupce, který spolu s *Phormia regina* představují typické jarní zástupce bzučivek (Robinson 2005), jejichž četnost na mrtvých tělech přes letní měsíce klesá (Šuláková 2017, 2019). Vysoké zastoupení, resp. četnost výstkytu a dominanci obou druhů lze přisoudit teplotám pod 20 °C, které panovaly během volné expozice kadáverů dne 6. 7. 2019. Menší zastoupení druhu *Lucilia sericata* lze také vysvětlit nižší denní teplotou v době volné expozice, protože *Lucilia* představují v našich podmínkách teplomilný rod bzučivek (Erzinçlioğlova 1996; Povolný 1978). Povolný (1979 uvádí, že *Lucilia sericata* klade pouze na substráty, jejichž teplota je rovna nebo vyšší 30 °C. Erzinçlioğlova (1996) tento údaj zpřesňuje tvrzením, že uvedený druh pouze „preferuje“ substráty nad 30 °C, ovšem kladení na chladnější substrát nevylučuje. Dle výsledků terénního experimentu není jednoznačně zřejmé, zda byla teplota kadáveru pro uvedený druh při kladení rozhodující, protože bzučivka *Lucilia sericata* kladla přednostně na kontrolní kadávery (82 % ze všech odchovaných zástupců uvedeného druhu, n = 140) než

na kadávery opařené (18 %, n = 30). Problematické rozhodnutí o vhodnější teplotě kadáveru vychází z předpokladu, že opařené kadávery měly na počátku expozice mnohem vyšší teplotu než kadáver kontrolní (z důvodu ponoření do vody o teplotě cca 90 °C). Preferenci pro kontrolní kadávery lze však vysvětlit dle Povolného (1978), který uvádí, že neporušený (kontrolní) kadáver je schopný vlivem bakteriální činnosti v degradujícím organismu tzv. samozahřátí, které u opařeného kadáveru se nemusí natolik projevit, protože bakteriální činnost může být narušena působením extrémních teplot během opaření (cca 90 °C).

Druh *Phormia regina* preferoval kadávery opařené (71 %, n = 137), oproti kontrolním (29 %, n = 56). Pouze u druhu *Protophormia terraenovae* se projevila jen nepatrně zvýšená preference pro opařené kadávery (58 %, n = 183) při porovnání s kontrolními (42 %, n = 131). Vyšší zastoupení obou druhů na opařených kadáverech lze vysvětlit jak skutečností, že opařený kadáver byl pro obě bzučivky pachově více atraktivní, nebo větší tolerancí larev na „kvalitativní" složení krmného substrátu. Kvalitou krmného substrátu lze vysvětlit i nižší zastoupení druhu *Lucilia sericata* na opařených kadáverech, kdy opařené maso nemuselo larvám tohoto druhu vyhovovat a tato skutenočnost se mohla projevit jejich vyšší mortalitou již během vývinu.

U čeledi Sarcophagidae byl na opařených i kontrolních kadáverech zjištěn pouze jeden druh, a to *Sarcophaga argyrostoma*. Vzhledem ke skutečnosti, že uvedený druh byl odchován pouze na dvou kadáverech (O3 a K3) a v celkovém počtu 10 kusů (3 ks a 7 ks) nelze vyloučit, že uvedení jedinci představují potomky jediné samice. Potvrdilo se tvrzení Povolného (1978, 1979), že masařky nalétávají na kadávery kráce po bzučivkách. Současně výsledky odpovídají tvrzení Šulákové (2014, 2017, 2019), že druh *Sarcophaga argyrostoma* je nejběžnějším zástupcem na lidských mrtvolách v podmínkách České republiky.

Dle Klimešové et al. (2014), Povolného (1978) a Šulákové (2014, 2017, 2019) představují mouchy rodu *Hydrotaea* (Muscidae) zástupce tzv. druhého sledu (druhé sukcesní vlny). Při tak krátké volné expozici, která byla použita v terénním experimentu (pouze jeden den, a to 6. 7. 2019), nebyl jejich výskyt vůbec předpokládán, přesto u opařených kadáverů představovaly dominantní skupinu společně s bzučivkami (50 %, resp. 49 %) a u kontrolních kadáverů druhou hlavní skupinu hned po bzučivkách (63 %, resp. 35 %). Při vzájemném porovnání pouze zástupců čeledi Muscidae bylo zjištěno, že na opařených kadáverech bylo nalezeno 66 % (n = 359) všech mouchovitých odchovaných v rámci experimentu. Možným vysvětlením rychlejší kolonizace u opařených kadáverů může být skutečnost, že vlivem vysokých teplot proběhly v mrtvém těle takové procesy, které začaly uvolňovat vhodné pachové látky, které přilákaly zástupce čeledi mouchovití již v první den expozice.

Upřednostnění pro opařené kadávery u čeledi Muscidae ukazuje i samotné druhové složení mouchovitých. Zatímco na kontrolních kadáverech byly zjištěny pouze dva druhy, konkrténě *Hydrotaea ignava* a *Hydrotaea capensis*, na opařených kadáverch byly zaznamenány všechny tři odchované druhy, tzn. včetně *Hydrotaea dentipes*. Možnou souvislost s vyšším zastoupením všech tří druhů na opařených kadáverech lze spojit s tvrzením Klimešové et al. (2014) a Šulákové (2014, 2017, 2019), že samice rodu *Hydrotaea* kladou primárně pod kadáver larvy se z počátku živí pouze hnilobnou tekutinou, která vytéká z kadáveru. U všech opařených

kadáverů vykazovalo „lože“ vyšší vlhkost než u kadáverů kontrolních. Zmíněná vyšší vlhkost mohla stimulovat samice k přednostnímu kladení.

Slunilka *Fannia canicularis* (Fanniidae) byla zjištěna pouze na opařených kadáverech, tedy na jediném zvířeti (O1), přestože Byrd a Castner (2010) uvádí, že v letních měsících představuje hojný druh, který je dle Šulákové (2014) běžně zastoupený na mrtvolách. Dle počtu odchovaných jedinců (n = 5) je možné usoudit, že se jedná o potomky jediné kladoucí samice. Možným vysvětlením nízké početnosti uvedeného druhu lze nalézt u Smithe (1986) a Šulákové (2014, 2019), podle kterých se jedná o zástupce tzv. třetího sledu, který se na mrtvolách objevuje až během aktivní fáze rozkladu. Z uvedeného důvodu volná expozice pokusných kadáverů, která trvala pouze jeden den, nemusela být dostatečně dlouhá k tomu, aby na kadávery mohlo reagovat více slunilek. Výsledky experimentu potvrzují tvrzení Šulákové (2014), že larvy *Fannia canicularis* (obecně rodu *Fannia*) preferují vlhčí prostředí, protože byly nalezeny pouze na opařeném kadáveru, který se i během rozkladu vykazoval vyšším obsahem vody. Je vysoce pravděpodobné, že zapařený kadáver (O1) poskytl přítomné samici druhu *Fannia canicularis* vhodný vlhký substrát, který ji motivoval ke kladení. To by odpovídalo poznatkům Šulákové (2014), která uvádí, že samice rodu *Fannia* kladou vajíčka přímo do hnijících tkání.

U některých našich kadáverů byl nízký počet odchycených druhů much. V některých případech dokonce nulový. Tato příčina mohla být způsobena dravostí některých druhů much. Jak uvádí Šuláková (2014), mouchy rodu *Hydrotaea* (Muscidae), přesněji larvy, se v prvním instaru živí nekrofágně či saprofágně (vytékající hnilobnou tekutinou). Od druhého, nebo třetího instaru se mohou stát dravými a živit se larvami ostatních druhů much, nebo může dokonce dojít ke vzájemnému kanibalismu. Ovšem při porovnání počtu much rodu *Hydrotea* ostatních zástupců řádu Diptera na jednotlivých kadáverech je možné konstatovat, že tento rod nezpůsobil nijak výrazný úbytek ostatních druhů much, resp. že počty ostatních druhů nebyly přímo závislé na počtu larev rodu *Hydrotea*.

7 Závěr

- Na základě literární rešerše bylo zjištěno, že kadávery, které byly vystaveny vysoké teplotě, mohou stále být kolonizovány nekrofágními druhy. Rozhodujícím faktorem je míra ohoření. Většina autorů popisuje především vliv ohoření (Anderson 2005; Avila & Goff 1998; Byrd & Castner 2010, Gennard 2007); Introna et al. 1998), vlivem opaření se ovšem nezabýval žádný z uvedených autorů. Pouze Smith (1986) uvádí, že na čerstvě uvařené maso nemá hmyz tendenci klást.
- V rámci terénního experimentu, který měl ověřit získané informace a předpoklady, bylo použito šest kadáverů samic kura domácího (*Gallus gallus* f. *domestica* Linnaues, 1758), každý o hmotnosti cca 3 kg. Tři kusy byly opařeny vodou o teplotě 90 °C a další tři kusy byly kontrolní. Při volné expozici bylo pozorováno kladení na všech šest kadáverů.
- Při rozkladu se u opařených kadáverů projevila vyšší vlhkost uvnitř boxů.
- Odchovem bylo získáno celkem 1233 zástupců řádu Diptera, kteří náleželi do čtyř čeledí, jmenovitě Calliphoridae, Sacrophagidae, Muscidae a Fanniidae. Celkem kadávery kolonizovalo osm druhů nekrofágního hmyzu.
- Na opařených kadáverch se vyvinulo 58 % všech odchovaných jedinců a byly zastoupeny všechny druhy. Na kontrolních kadáverech se vyvinulo 42 % všech odchovaných jedinců a bylo na nich zastoupeno jen šest druhů.
- Výsledky experimentu potvrdily, že opaření kadáverů má vliv na následnou dekompozici těla a kolonizaci hmyzem. Z důvodu jiného zápachu těla po opaření, vytvoření možných ran a popálenin, které jsou lákavější a přístupnější pro kolonizující hmyz.
- Výsledky experimentu potvrdily nulovou hypotézu, že opaření kadáveru vařící vodou na počátku rozkladu ovlivňuje druhové spektrum nekrofágních druhů z řádu dvoukřídlí.

8 Seznam literatury

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

Anderson GS. 1995. The use of Insects in Death Investigations: An Analysis of Cases in British Columbia over a Five Year Period. Canadian Society of Forensic Science Journal **28**:277–292.

Anderson GS. 2005. Effects of arson on forensic entomology evidence. Canadian Society of Forensic Science Journal **38**:49–67.

Arnaldos MI, Romera E, Presa JJ, Luna A, Garcí MD. 2004. Studies on seasonal arthropod succesion on carrion in the southeastern Iberian Peninsula. International Journey of Legal Medicine **118**:197–205.

Avila FW, Goff ML. 1998. Arthropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands. Journal of forensic science **3**:581–586.

Begon M, Harper JL, Townsend CR. 1999. Ekologie: jedinci, populace a společenstva. Univerzita Palackého, Olomouc.

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

Benecke M. 2004. Forensic Entomology: Arthropods and Corpes. Forensic Pathology Reviews **2**:207–240.

Bergeret M. 1855. Infanticide: Momification naturelle du cadaver. Annuals of Hygiene and Legal Medicine **4**:433–452.

Bornemissza GF. (1957) An analysis of arthropod succession in carrion and the effect of its decomoposition on the soil fauna. Australian Journal of Zoology **5**:1.

Byrd JH, Castner JL. 2010. Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations. Taylor and Francis Group, Boca Raton.

Campobasso CP, Di Vella G, Introna F. 2001. Factors affecting decomposition and Diptera colonization. Forensic Science International **120**:18–27.

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

De Carvalho CJB, Couri MS. 2002. Muscidae (Diptera) of the Neotropical Region: taxonomy. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Dobiáš V. 2007. Přednemocniční urgentní medicína. Osveta, spol., Slovensko **21**:168.

Draber-Mońko A. 2004. Calliphoridae. Plujky (Insecta: Diptera). Fauna Polski 23, Warszawa **23**:1–662.

Eliášová H, Šuláková H. 2012. Forenzní biologie. Pages 281-325 in:Štefan J, Hladík J, et al., editors. Soudní lékařství a jeho moderní trendy. Grada Publishing, Praha.

Erzinçlioğlu YZ. 1996. Blowflies: Naturalists' Handbooks No. 23. Slough, Richmond.

Erzinçlioğlu YZ. 2000. Maggots: Murder and Men. Harley Press, Colchester.

Gennard DE. 2007. Forensic entomology: an introduction. NJ: John Wiley, Hoboken.

Graham-Smith GS. 1916. Parasitology: Observations on the habits and parasites of common flies. 440 s.

Greenberg B. 1973. Forensic Entomology: case studies. Bulletin of the Entomological Society of America, America **4**:25–28.

Greenberg B, Kunich JC. 2002. Entomology and the Law: Flies as Forensic Indicators. Cambridge University, Cambridge.

Gunn A. 2020. The colonisation of remains by the sarcophagid fly Sarcophaga argyrostoma (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Sarcophagidae). Forensic Science International **315**:1–10.

Hirt M, Zelený M, Vojtíšek T, Krejsa J, Matějů E, Brzobohatá A. 2008: Soudní lékařství. Masarykova univerzita, Brno.

Hobischak NR, Anderson GS. 2002. Time of submergence using aquatic invertebrate succession and decompositional changes. Journal of Forensic Sciences **47**:142–151.

Chalupský J. 1998. Ani nebyl zapotřebí inspektor Colombo. Vesmír **77**:144.

Introna FJ, Campobasso CP, Di-Fazio A. 1998. Three case studies in forensic entomology from southern Italy. Journal of Forensic Sciences **43**:210–14.

Ishijima H. 1967. Revision of the third stage larvae of synanthropic flies of Japan (Diptera: Anthomyiidae, Muscidae, Calliphoridae and Sarcophagidae). Japanese Journal of Sanitary Zoology **18**:47–100.

Keiper JB, Casamatta DA. 2001. Benthic organisms as forensic indicators. Journal of the North American Benthological Society **20**:311–324.

Klimešová V, Olekšáková T, Barták M, Šuláková H. 2016. Sborník mezinárodní konference doktorantů: Kriminalisticky významné Muscidae (Diptera) spojené s rozkladem jatečně upravených těl a mrtvol v České republice. Pages 784–789. Sborník mezinárodní konference doktorantů. Mendelova universita v Brně, Brno.

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. Česká zemědělská univerzita v Praze, Jevany.

Kočárek P. 2003. Decomposition and Coleoptera succession on exposed carrion of small mammal in Opava, the Czech Republic. European Journal of Soil Biology **39**:31–45.

Likovský Z. 1967. Příspěvek k poznání fauny mršin (Insecta, Coleoptera). Acta Musei Reginaehradecensis. S.A.: Scientiae Naturales **8**:97–116.

Matuszewski S. 2011. Estimating the pre-appearance interval from temperature in Necrodes littoralis L. (Coleoptera: Silphidae). Forensic Science International **212**:180–188.

Matuszewski S. 2012. Estimating the preappearance interval from temperature in Creophilus maxillosus L. (Coleoptera: Staphylinidae). Journal of Forensic Sciences **57**:136–45.

Matuszewski S, Szafałowicz M. 2013. Temperature-dependent appearance of forensically useful beetles on carcasses. Forensic Science International **229**:92–99.

Matuszewski S, Szafałowicz M, Grzywacz A. 2013. Temperature-dependent appearance of forensically useful flies on carcasses. International Journal of Legal Medicine **128**:1013–1020.

Mégnin JP. 1894. La faune de cadavres. Application de l'entomologie a la médicine légale. Encyclopdie scientifique des Aides-Mémoire. Masson. Paris Gauthier-Villars, Paris.

Nuorteva P. 1987. Empty puparia of Phormia terraenovae R–D (Diptera, Calliphoridae) as forensic indicators. Annales Entomologici Fennici **53**:53–56.

Oliveira-Costa J, de Mello-Patiu CA. 2004. Application of forensic entomology to estimate of the post-mortem interval (PMI) in homicide investigations by the Rio de Janeiro Police Department in Brazil. Aggrawal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology 5 **1**:40–44.

Payne JA. 1965. A summer carrion study of the baby pig Sus scrofa Linnaeus. Ecology **46**:592–602.

Payne JA, Crossley DA. 1966. Animal species associated with pig carrion. U. S. Atomic Energy Commission, Tennessee.

Pitr K. 1989. Soudní lékařství: Prohlídka zemřelých a diagnostika náhlé a násilné smrti. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Povolný D. 1978. Hmyz v kriminologii. Vesmír **57**: 205–208.

Povolný D. 1979. Některá hlediska praktického využití hmyzu v kriminalistice. Kriminalistický Sborník. Mendelova univerzita v Brně, Brno: 620–632

Povolný D. 1982. Několik úvah o osudech mrtvol obratlovců v přírodě. Živa **1**:24–28.

Richet R, Blackith RM , Pape T. 2011. *Sarcophaga* of France (Diptera: Sarcophagidae). Pensoft Publishers, Sofia.

Robinson WH. 2005. Urban Insect and Arachnids: A Hand Book of Urban Entomology. Cambridge University Press, Cambridge.

Rognes K. 1991. Blowflies (Diptera, Calliphoridae) of Fennoscandia and Denmark. Fauna entomologica Scandinavica **24**:1–272.

Rozkošný R, Gregor F, Pont AC. 1997. The European Fanniidae (Diptera). Acta Scientiarum Naturalium Academiae Scientiarum Bohemicae **2**:1–80.

Saunders DS, Wheeler I, Kerr A. 1999. Survival and reproduction of small blow flies (*Calliphora vicina*; Diptera: Calliphoridae) produced in severely overcrowded short-day larval cultures. European Journal of Entomology **96**:19–22.

Skidmore P. 1985. The biology of the Muscidae of the world: Series Entomologica 29. Dordrecht Kunk Publishers, Dordrecht.

Smith KG. 1986. A Manual of Forensic Entomology: The Trustees of the British Museum (Natural History), London.

Šuláková H. 2014. Živa: Forenzní entomologie-když smrt je začátek. Academia, SSČ AV ČR **5**:250–256.

Šuláková H. 2017. Kap. 10: Forenzní entomologie. Pages 292-316 in Straus J, Porada V, et al., editors. Teorie, metody a metodologie kriminalistiky. Aleš Čeněk, Plzeň.

Šuláková H. 2019. Kap. 14.7: Forenzní entomologie. Pages 678-692 in Porada V, et al., editors. Kriminalistika – Technické, forenzní a kybernetické aspekty. Aleš Čeněk, Plzeň.

Šuláková H, Gregor F, Ježek J, Tkoč M. 2014. Nová invaze do našich obcí a měst: koutule *Clogmia albipunctata* a problematika myiáz. Živa **1**:29–32.

Tomberlin JK, Benbow ME. 2015. Forensic Entomology: International dimensions and frontiers. CRC Press, USA.

Vaništa J, Manďáková Z. 2003. Zdravotnictví a medicína: příloha Lékařské listy 27. E15 **27**:8.

Vass AA. 2001. Beyond the grave – understanding human decomposition. Microbibology Today **28**:190–192.

Elektronické zdroje:

Creative Commons. 2005-2021 *CSC.ABZ.CZ:* Slovník cizích slov. Česká republika: Česko. Available from: https://slovnik-cizich-slov.abz.cz (accessed June 2005).

Gregor F, Rozkošný R. 2009. Checklist of Diptera of the Czech Republic and Slovakia: Fanniidae Schnabl, 1911. Jedlička L, Kúdela M, Stloukalová V. Available from: http://zoology.fns.uniba.sk/diptera2009 (accessed November 2006).

Rognes K. 2013. Fauna Europaea: Calliphoridae, Diptera, Brachycera. Musem of Natural History. Available from: http://www.faunaeur.org (accessed September 2019).

Sant J. 2019. Scientus: Francesco Redi and Controlled Experiments. Available from: http://scientus.org/Redi-Galileo.html (accessed April 2019).

Seznam použitých zkratek a symbolů

O1 – Opařený kadáver 1

O2 – Opařený kadáver 2

O3 – Opařený kadáver 3

K1 – Kontrolní kadáver 1

K2 – Kontrolní kadáver 2

K3 – Kontrolní kadáver 3

Samostatné přílohy

Seznam obrázků

Obrázek 1 Volná expozice (foto Magdaléna Hálová) 24

Seznam příloh

Příloha 1 Jednotlivé druhy hmyzu na opařených kadáverech [ks] 47

Příloha 2 Jednotlivé druhy hmyzu na kontrolních kadáverech [ks].....47

Příloha 3 Výsledky determinace druhů hmyzu u všech kadáverů [ks].....48

Příloha 4 Počet much u opařených a kontrolních kadáverů [%].....49

Příloha 5 Počet much u opařeného kadáveru 1 [%].....49

Příloha 6 Počet much u kontrolního kadáveru 1 [%].....50

Příloha 7 Nakažení jedinci vápenkou 50

Příloha 8 Volná expozice z druhého pohledu Boxy s kadávery byly umístěny do obdélníkového tvaru. Kontrolní kadávery se na fotografii nachází na straně levé a opařené kadávery na straně pravé (foto Magdaléna Hálová) 51

Příloha 9 Opařený kadáver 3. Krátce po umístění kadáverů do volné expozice se objevili první kolonizátoři (*Lucilia sericata*) (foto Magdaléna Hálová).....51

Příloha 10 Opařený kadáver 2 s připevněným datalogerrem ze dne 7. 7. 2019. Na fotografii se nachází uzavřený box se silonovou punčochou. Silonová punčocha vyčnívá vyříznutým otvorem tak, aby ji později bylo možné připojit k odchytovému zařízení (foto Magdaléna Hálová).....52

Příloha 11 Detailní pohled na sečnou ránu opařeného kadáveru 1, ze dne 9. 7. 2019. Zpočátku, komulace larev probíhala převážně v sečné ráně a v oblasti kloaky. Na těchto částech kadáveru byl nejsnažší přístup k potravě. Larvy jsou zachyceny v krmé fázy (foto Magdaléna Hálová) 52

Příloha 12 Kontrolní kadáver 1 ze dne 9. 7. 2019, trpící vápenkou, která je způsobena roztočem *Sarcoptes scabiei* (Linnaeus, 1758). Při dekompozici těla, toto onemocnění způsobilo předčasné odpadávání pokožky v napadené části pařátů (foto Magdaléna Hálová) 53

Příloha 13 Detailní pohled na víko boxu opařeného kadáveru 2, ze dne 19. 7. 2019. Na vyříznutý otvor musel být izolepou připevněn látkový kapesník. Z důvodu nekontrolovatelného kladení „cizích“ much přes silonovou punčochu. Umístěním látkového kapesníku se zvýšila vlhkost

v boxech, a tím i větší snaha úniku larev z boxu ven. Na fotografii je také zachycena larva a kukla umístěná mezi izolepou a plastovým víkem (foto Magdaléna Hálová).....53

Příloha 14 Na fotografii ze dne 20. 7. 2019, je zobrazen uniklý dospělec. Při manipulaci s opařeným kadávem 3 dokázal uniknout. Z tohoto důvodu některé dny (zejména poslední dny experimentu) nebyly boxy s kadávery otevírány (foto Magdaléna Hálová) 54

Příloha 15 Kontrolní kadáver 1 vs. opařený kadáver 1. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 6. 7., 9. 7., 12. 7. (foto Magdaléna Hálová) 55

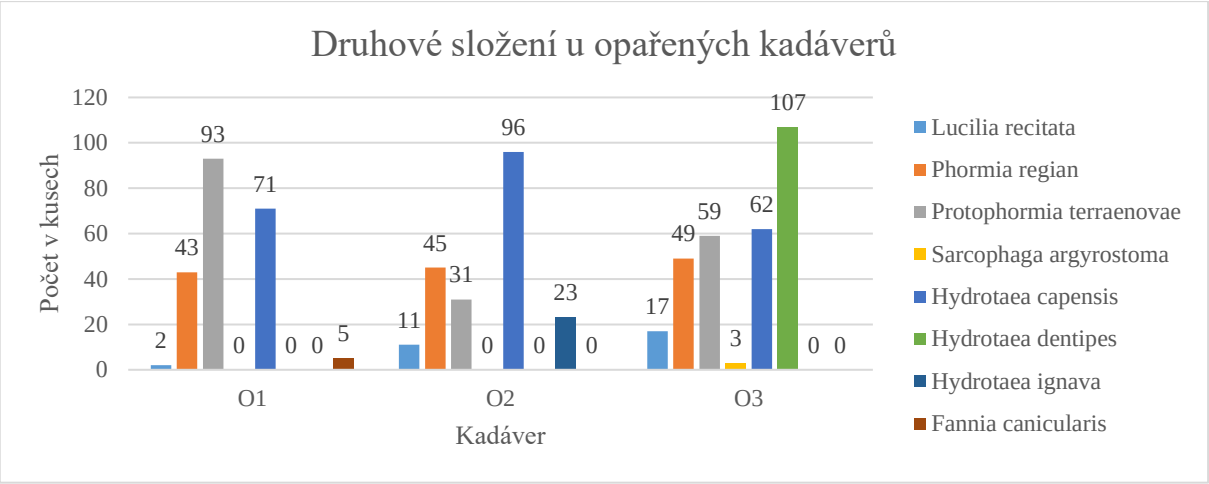
Příloha 16 Kontrolní kadáver 1 vs. opařený kadáver 1. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 15. 7., 19. 7, 20. 7. (foto Magdaléna Hálová) 56

Příloha 17 Kontrolní kadáver 2 vs. opařený kadáver 2. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 6. 7, 9. 7., 12. 7. (foto Magdaléna Hálová) 57

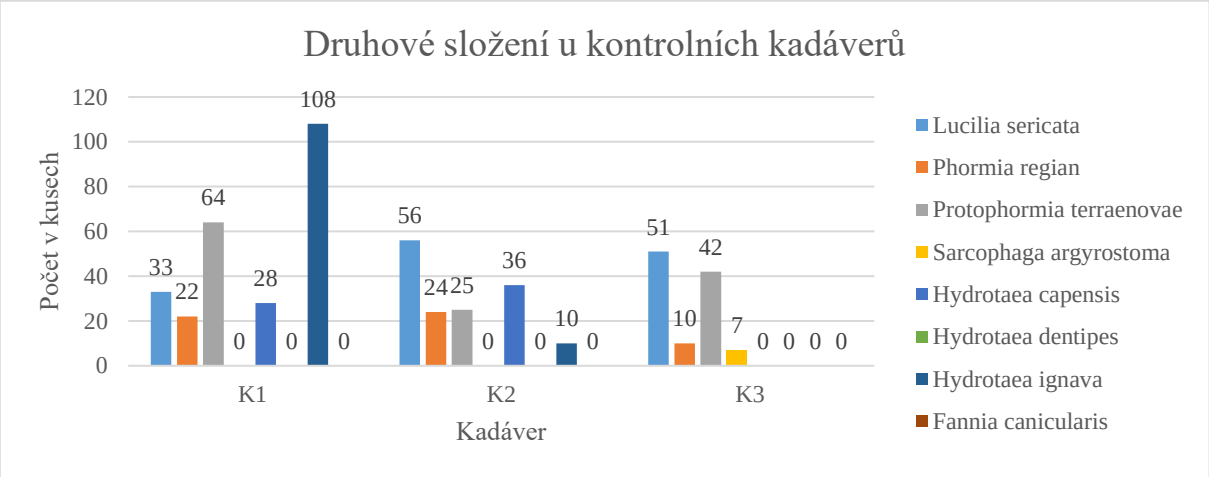
Příloha 18 Kontrolní kadáver 2 vs. opařený kadáver 2. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 14. 7., 19. 7., 20. 7. (foto Magdaléna Hálová) 58

Příloha 19 Kontrolní kadáver 3 vs. opařený kadáver 3. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 6. 7., 9. 7., 12. 7. (foto Magdaléna Hálová) 59

Příloha 20 Kontrolní kadáver 3 vs. opařený kadáver 3. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 15. 7., 19. 7. 20. 7. (foto Magdaléna Hálová) 60



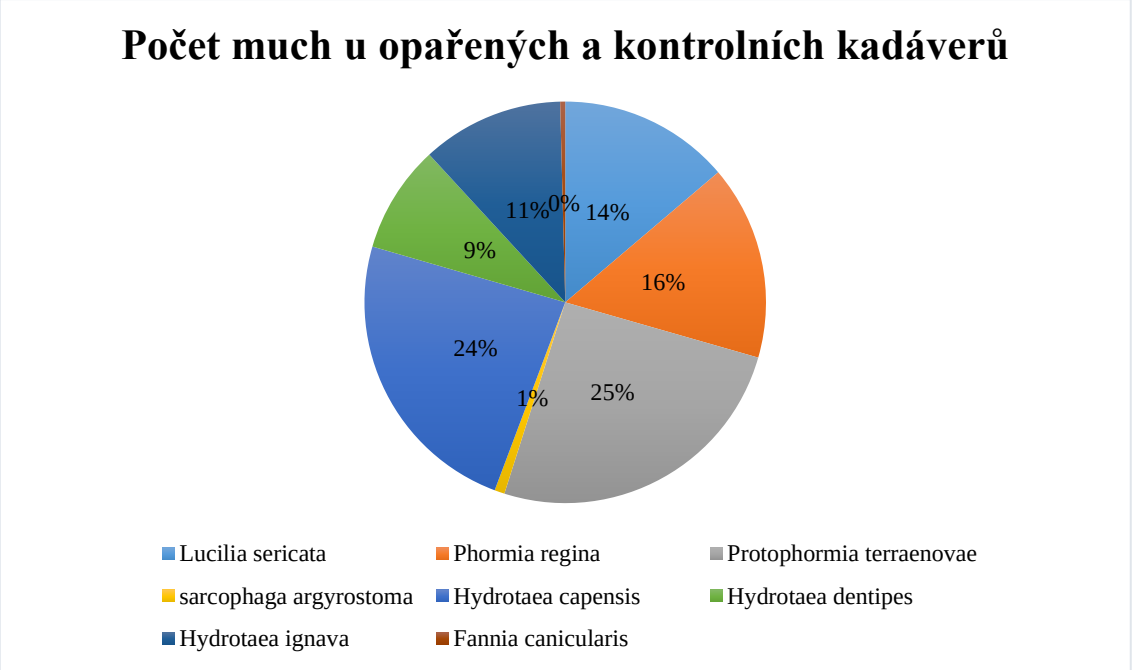
Příloha 1 Jednotlivé druhy hmyzu na opařených kadáverech [ks]



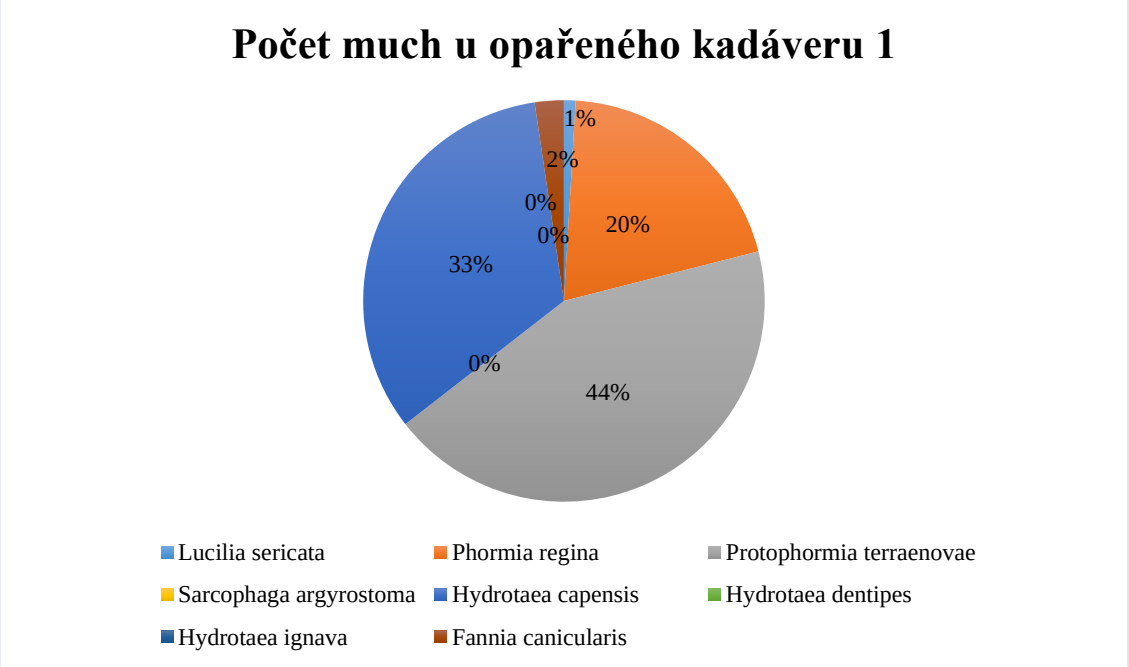
Příloha 2 Jednotlivé druhy hmyzu na kontrolních kadáverech [ks]

Příloha 3 Výsledky determinace druhů hmyzu u všech kadáverů [ks]

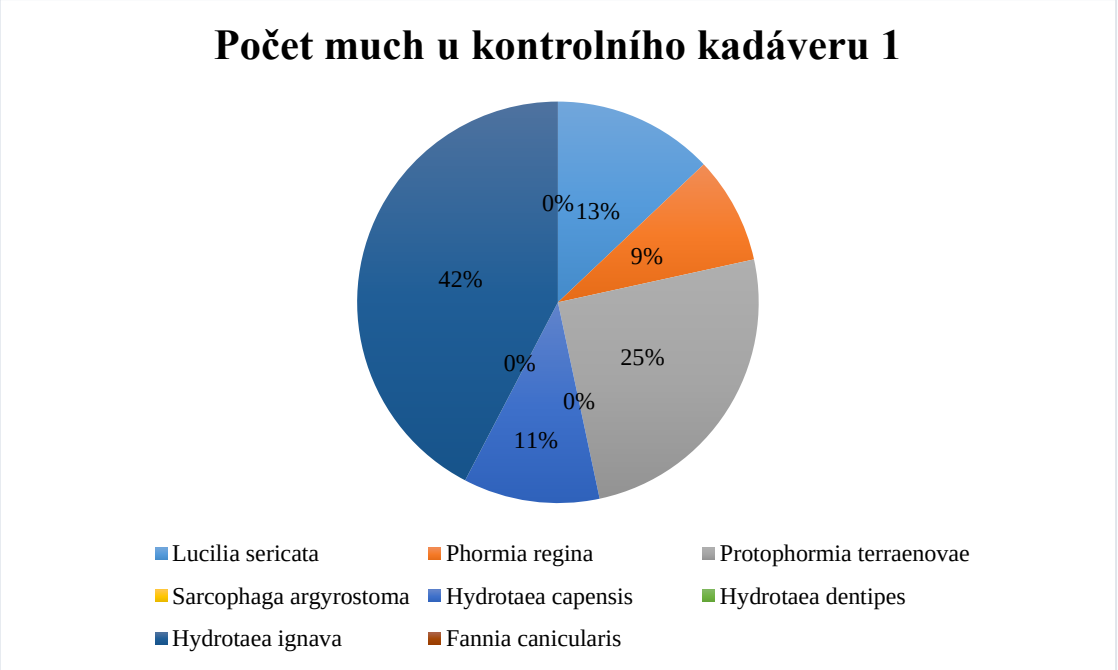
Druh	Pohlaví	Kadáver					
		O1	O2	O3	K1	K2	K3
Lucilia sericata	Samec	1	3	5	15	21	17
	Samice	1	8	12	18	35	34
Phormia regina	Samec	16	8	12	7	6	1
	Samice	27	37	37	15	18	9
Protophormia terraenovae	Samec	36	12	21	21	5	23
	Samice	57	19	38	43	20	19
Sarcophaga argyrostoma	Samec	0	0	2	0	0	5
	Samice	0	0	1	0	0	2
Hydrotaea capensis	Samec	24	35	24	10	15	0
	Samice	47	61	38	18	21	0
Hydrotaea dentipes	Samec	0	0	43	0	0	0
	Samice	0	0	64	0	0	0
Hydrotaea ignava	Samec	0	9	0	37	6	0
	Samice	0	14	0	71	4	0
Fannia canicularis	Samec	1	0	0	0	0	0
	Samice	4	0	0	0	0	0



Příloha 4 Počet much u opařených a kontrolních kadáverů [%]



Příloha 5 Počet much u opařeného kadáveru 1 [%]



Příloha 6 Počet much u kontrolního kadáveru 1 [%]

Příloha 7 Nakažení jedinci vápenkou

Kadáver	Přítomnost roztoče zákožky svrabové
Opařený 1	-
Opařený 2	+
Opařený 3	-
Kontrolní 1	+
Kontrolní 2	-
Kontrolní 3	+

Příloha 8 Volná expozice z druhého pohledu Boxy s kadávery byly umístěny do obdélníkového tvaru. Kontrolní kadávery se na fotografii nachází na straně levé a opařené kadávery na straně pravé (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 9 Opařený kadáver 3. Krátce po umístění kadáverů do volné expozice se objevili první kolonizátoři (*Lucilia sericata*) (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 10 Opařený kadáver 2 s připevněným datalogerrem ze dne 7. 7. 2019. Na fotografii se nachází uzavřený box se silonovou punčochou. Silonová punčocha vyčnívá vyříznutým otvorem tak, aby ji později bylo možné připojit k odchytovému zařízení (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 11 Detailní pohled na sečnou ránu opařeného kadáveru 1, ze dne 9. 7. 2019. Zpočátku, komulace larev probíhala převážně v sečné ráně a v oblasti kloaky. Na těchto částech kadáveru byl nejsnažší přístup k potravě. Larvy jsou zachyceny v krmé fázy (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 12 Kontrolní kadáver 1 ze dne 9. 7. 2019, trpící vápenkou, která je způsobena roztočem *Sarcoptes scabiei* (Linnaeus, 1758). Při dekompozici těla, toto onemocnění způsobilo předčasné odpadávání pokožky v napadené části pařátů (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 13 Detailní pohled na víko boxu opařeného kadáveru 2, ze dne 19. 7. 2019. Na vyříznutý otvor musel být izolepou připevněn látkový kapesník. Z důvodu nekontrolovatelného kladení „cizích“ much přes silonovou punčochu. Umístěním látkového kapesníku se zvýšila vlhkost v boxech, a tím i větší snaha úniku larev z boxu ven. Na fotografii je také zachycena larva a kukla umístěná mezi izolepou a plastovým víkem (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 14 Na fotografii ze dne 20. 7. 2019, je zobrazen uniklý dospělec. Při manipulaci s opařeným kadávem 3 dokázal uniknout. Z tohoto důvodu některé dny (zejména poslední dny experimentu) nebyly boxy s kadávery otevírány (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 15 Kontrolní kadáver 1 vs. opařený kadáver 1. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 6. 7., 9. 7., 12. 7. (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 16 Kontrolní kadáver 1 vs. opařený kadáver 1. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 15. 7., 19. 7, 20. 7. (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 17 Kontrolní kadáver 2 vs. opařený kadáver 2. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 6. 7, 9. 7., 12. 7. (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 18 Kontrolní kadáver 2 vs. opařený kadáver 2. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 14. 7., 19. 7., 20. 7. (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 19 Kontrolní kadáver 3 vs. opařený kadáver 3. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 6. 7., 9. 7., 12. 7. (foto Magdaléna Hálová)

Příloha 20 Kontrolní kadáver 3 vs. opařený kadáver 3. Snímky postupně zaznamenávány z následujících dat: 15. 7., 19. 7. 20. 7. (foto Magdaléna Hálová)