

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Vliv ohoření kadáveru na následnou kolonizaci
nekrofágním hmyzem**

Bakalářská práce

**Jana Štanderová
Speciální chovy**

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

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv ohoření kadáveru na následnou kolonizaci 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 na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 9.7.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. RNDr Miroslavu Bartákovi, CSc za jeho vstřícný přístup a ochotu. Dále bych chtěla poděkovat plk. Ing. Haně Šulákové, Ph.D. za její odborné rady, čas, který mi věnovala, a nesmírnou trpělivost. Bez její pomoci by tato práce vznikala jen velmi těžko.

Vliv ohoření kadáveru na následnou kolonizaci nekrofágním hmyzem

Souhrn

Práce se zaměřuje na oblast forezní entomologie a jejím cílem je shromáždit a shrnout základní poznatky o sukcesi, faktorech, které ji ovlivňují, a nekrofágním hmyzu kolonizujícím mrtvá těla. Největší pozornost se věnuje faktoru ohoření. Výstupem této práce je literární rešerše a terénní experiment.

Forezní entomologie je obor, který využívá a propojuje znalosti biologie hmyzu a jeho životních cyklů s rozkladným procesem těla. Tento vědní obor se využívá zejména v kriminalistické praxi, kde pomáhá určovat nejen dobu smrti, ale může objasnit i její příčinu a další okolnosti.

Klíčovou znalostí je průběh sukcese. Ta probíhá v několika vlnách. Pro každou vlnu je charakteristická určitá skupina hmyzu. Tato práce se soustředí zejména na hmyz z čeledě Calliphoridae, řádu Diptera, a jak je ovlivněn atypickým faktorem, resp. ohořením kadáveru.

Terénní experiment zkoumal vliv ohoření kadáveru na rozkladný proces a druhové složení nekrofágního hmyzu. Na experiment bylo použito šest kadáverů kura domácího (*Gallus gallus* f. *domestica* (Linnaeus, 1758)) usmrcených stejným způsobem, z nichž tři byly před experimentem opáleny na ohništi. Následně bylo všech šest kadáverů po dobu jednoho dne volně exponováno, aby bylo mouchám umožněno naklazení vajíček. Poté byly kadávery přesunuty do uzavřeného prostoru, kde byl pozorován jejich rozklad a vývin nových jedinců much.

Výsledky experimentu potvrdily nulovou hypotézu, a to, že ohoření kadáveru na začátku rozkladu ovlivňuje druhové složení nekrofágního hmyzu. U obou skupin kadáverů byly pozorovány stejné druhy, jejich početní zastoupení bylo však odlišné. Nejvíce patrný rozdíl byl u druhů *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) (Diptera, Calliphoridae) a *Hydrotaea dentipes* Fabricius, 1805 (Diptera, Muscidae). Ohoření také značně ovlivnilo rozklad kadáverů. Ohořelé kadávery se v porovnání s kontrolními kadávery téměř nerozložily.

Klíčová slova: forezní entomologie, ohoření, Calliphoridae, kadáver

Effect of carcass burning on subsequent colonization by necrophagous insects

Summary

Forensic entomology uses and connects the knowledge of insect biology and its life cycles with the decomposition of a dead body. This scientific branch is primarily used in criminalistic practice. It helps not only to estimate the time of death but also to clarify its cause and other circumstances.

The key knowledge is the process of succession which can occur in several waves. For each wave, there is a characteristic group of insects. This thesis focuses especially on the family Calliphoridae, order Diptera, and how it is influenced by the effect of burning.

The experiment studied the effects of burning on the succession and the species composition of necrophagous insects. Six cadavers of a domestic fowl (*Gallus gallus* f. *domestica* (Linnaeus, 1758)) were used, all being killed the same way with three of them burned afterwards. All carcasses were then exposed outside for a day in order to enable the flies to lay their eggs. After that, they were moved to an enclosed space where the decomposition and development of new individuals were observed.

The results confirmed the null hypothesis which claims that the burning of a cadaver at the beginning of decomposition affects the species composition of necrophagous insects. The same species were found on both carcasses groups but differed in numbers. The most visible difference was observed on *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) (Diptera, Calliphoridae) and *Hydrotaea dentipes* Fabricius, 1805 (Diptera, Muscidae). The burning also affected the decomposition. The burned cadavers stayed almost intact during the decomposition compared to the fresh ones.

Keywords: forensic entomology, burning, Calliphoridae, cadaver

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
3	Literární rešerše	9
3.1	Forenzní entomologie	9
3.2	Rozklad těla při volné expozici	9
3.2.1	Sukcese	9
3.3	Faktory ovlivňující rozklad těla	15
3.3.1	Roční období a klima	15
3.3.2	Typ prostředí	15
3.4	Čeled' Calliphoridae	17
3.5	Čeled' Muscidae	17
3.6	Čeled' Fanniidae	18
4	Metodika	19
4.1	Popis lokality	19
4.2	Příprava	19
4.2.1	Příprava zvířat	19
4.2.2	Příprava ostatního materiálu	19
4.3	Průběh experimentu	20
4.3.1	Volná expozice	20
4.3.2	Odchov larev	20
4.3.3	Líhnutí a odchyt imag	20
4.4	Dokumentace terénního pokusu	20
4.5	Determinace entomologického materiálu	21
4.6	Statistické vyhodnocení výsledků	21
5	Výsledky	22
5.1	Tafonomie	22
5.1.1	Volná expozice	22
5.1.2	Vnitřní expozice	22
5.2	Druhové složení nekrofágního hmyzu	23
6	Diskuze	26
7	Závěr	28
8	Literatura	29
9	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Když čelíme úkolu odhadnutí doby smrti, známe většinou dva časové body: dobu, kdy bylo tělo objeveno, a poslední chvíli, kdy byl dotyčný prokazatelně naživu. Smrt nastala mezi těmito body a úkolem je co nejpřesněji odhadnout, kdy se tak stalo (Amendt et al. 2010).

Rozklad mrtvého těla je z velké míry ovlivněn organizmy, které se jím živí v různých stádiích rozkladu. Znalost tohoto rozkladného procesu je ve forenzních vědách důležitým nástrojem k odhadu intervalu mezi dobou smrti a nálezem mrtvoly (Centeno et al. 2002).

U jedinců mrtvých déle než 72 hodin (Watson & Carlton 2005) jsou entomologické metody jedny z nejpřesnějších při stanovení doby smrti, protože stále pracují s hodinami a dny. Přesto i zde narážíme na jistou nepřesnost, již musí mít na paměti ten, kdo uvedené zkoumání provádí, i ten, který očekává jeho výsledky (Šuláková 2014).

Forenzní entomolog může také analýzou zastoupených druhů potvrdit, nebo vyloučit dodatečnou manipulaci s mrtvolou na místě nálezu, ve smyslu dodatečného zakopání, případně zahrabání původně volně exponované mrtvoly, nebo naopak dodatečného odkrytí původně zakopaného těla, například činností zvířat. Porovnáním druhového spektra hmyzu na těle a na lokalitě může dále poskytnout informace o transportu těla na větší vzdálenosti. Za využití kriminalistické chemie lze z hmyzu získat informace o přítomnosti omamných a psychotropních látek a jedů a jejich metabolitů v těle mrtvého, a to i v době, kdy samotné tělo je ve vysokém stupni rozkladu, nebo se jedná již jen o kosterní nález (Straus et al. 2017).

Druhové složení organismů vyskytujících se na mrtvém těle a samotný rozklad ovlivňuje řada faktorů. Mezi významné vlivy patří geografická oblast, roční období, okolní prostředí a dodatečná manipulace s tělem, pod kterou si můžeme představit zmražení či ohoření těla. Právě problematice vlivu ohoření kadáveru na rozklad a kolonizaci se tato práce zabývá.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bylo vypracování literární rešerše na téma: vliv ohoření kadáveru na následnou kolonizaci nekrofágním hmyzem. Rešerše měla shrnout některé základní poznatky týkající se průběhu sukcese a faktorů, které ji ovlivňují, a to zejména faktor ohoření.

Součástí práce byl terénní experiment, při kterém byl sledován vliv ohoření kadáverů menších obratlovců (slepíc) na následnou kolonizaci nekrofágním hmyzem, s důrazem na čeledě Calliphoridae, Sarcophagidae a Muscidae.

Nulová hypotéza: Ohoření kadáveru na začátku rozkladu ovlivňuje druhové složení nekrofágů z řádu Diptera.

3 Literární rešerše

3.1 Forenzní entomologie

Od druhé světové války se jen hrstka vědců a kriminalistických expertů zabývala forenzní entomologií. Všichni z nich museli přesvědčit místní úřady a ostatní vědce, o výhodách používání členovců v policejních vyšetřováních, což nebylo snadné. Soudci z mnoha států však konečně rozhodli, že forenzní entomologie je možný nástroj v oblasti od řešení složitých vražd až po násilí páchané v přírodě (Benecke 2001).

Forenzní entomologie je disciplína, která propojuje soudní systém s vědou (Gruner et al. 2007) a na místě činu může být velmi užitečná. Hmyz je obvykle prvním návštěvníkem mrtvého těla a mouchy jsou na něj schopné naklást vajíčka během několika hodin po smrti (Leccese 2004). Hmyz může pomoci vyšetřovateli odhadnout post mortem interval (PMI), tedy dobu mezi úmrtím jednice a nalezením jeho těla (Ames & Turner 2003). Dále může prozradit, zda bylo tělo po smrti přesunuto nebo s ním bylo jinak manipulováno, objasnit příčinu a okolnosti smrti (tj. odhalit přítomnost drog) a spojit podezřelého s místem trestného činu (Leccese 2004). V neposlední řadě se hmyz používá i při toxikologických rozborech mrtvých těl (Campobasso et al. 2004). I přes desetiletí trvající snahu odborníků není problematika spolehlivého určování post mortem intervalu vyřešena a lze se domnívat, že i nadále bude představovat téma, ke kterému se budou specialisté vracet (Laupy 1994).

Forenzní entomologie je založena na znalosti propojení určitých živočišných druhů a jejich životního cyklu se stupněm rozkladu těla. Hmyz se na kadáverech objevuje v různých vývojových stadiích a jednotlivá stadia mohou mít značně odlišnou anatomickou strukturu (Centeno et al. 2002), proto je schopnost identifikace jednotlivých druhů hmyzu tak významná (Arnaldos et al. 2004). Nejpočetnější a z vědního hlediska nejdůležitější jsou mouchy z čeledi Calliphoridae, Sarcophagidae a Muscidae (Hanski 1987).

Rozklad mrtvého těla je velmi ovlivněn organismy žijícími se na něm během jednotlivých fází dekompozice. Znalost této posloupnosti je ve forenzních vědách důležitým nástrojem, sloužícím k odhadu doby mezi smrtí a nálezem organismů na mrtvole. Nejčastější a nejpočetnější živé bytosti nalézané na mrtvolách jsou bezobratlí patřící do kmene Arthropoda, zejména do třídy Insecta (Centeno et al. 2002).

3.2 Rozklad těla při volné expozici

Rozklad těla při volné expozici představuje „učebnicovou“ ukázkou sukcese těla. Jsou nastoleny ideální podmínky: mrtvý leží ve volné přírodě, na zemském povrchu a bezobratlým nic nebrání v přístupu (Šuláková 2014).

3.2.1 Sukcese

Sukcese, jak ji v r. 1916 definoval F.E. Clements, je nesezónní, směrovaný a kontinuální proces kolonizace a zániku populací jednotlivých druhů na určitém místě. Její počátek je dán okamžikem „zpřístupnění“ mrtvolý hmyzu (Šuláková 2006). Mrtvý se stává součástí specifického biotopu a na něm se postupně objevují jednotlivé skupiny druhů (Šuláková 2014).

Jedinečným rysem je dočasné trvání celého společenstva a relativně rychlý přechod z jedné fáze do následující (Straus et al. 2017).

Sukcese postupuje tak rychle, že některé její fáze, zejména ty počáteční, zahrnují pouze jednu generaci daného druhu nebo skupiny druhů (Straus et al. 2017). Nová imaga (dospělci), která se na určité mrtvole vyvinula, ji po vylíhnutí nalézají v takovém stupni rozkladu, že již pro ně není vhodná k opětovnému kladení, a proto odlétají kolonizovat jiný objekt. V pozdějších fázích sukcese se sice rozklad zpomaluje, takže se může objevit i několik po sobě následujících generací, kdy nově vylíhlá imaga kladou na stejné tělo, přesto je jejich počet stále relativně nízký a do jisté úrovně přesnosti definovatelný (Šuláková 2014).

Během sukcese prochází zbytky těla fyzickými a chemickými změnami, které jsou často řazeny do různých fází, přestože celý proces je postupný. Z různých skupin členovců, které byly roztříděny na základě toho, jak moc jsou přitahovány tělem v odlišných fázích dekompozice, byly všeobecně akceptovány čtyři vztahy mezi tělem a členovci: nekrofágní fauna, které se živí tělem a množí se na něm; predátoři a paraziti nekrofágní fauny; všežravci; kteří se živí na těle i na ostatních kolonizátorech; a ostatní druhy, které využívají tělo příležitostně, např. pouze jako úkryt (Byrd & Castner 2010). Mrtvá těla jsou pro hmyz také důležitým zdrojem proteinů (Martínez-Sánchez 2000).

Rozhodujícím faktorem vyplývajícím z ekologických pozorování, jestli celý proces proběhne ve třech či v pěti, šesti nebo až osmi vlnách, zůstává především oblast, v níž k rozkladu dochází (např. v jižní Evropě, kde obecně panují vyšší teploty, postupuje rychleji a sukcesních vln je méně). V podmínkách České republiky zpravidla rozlišujeme šest, resp. sedm rozkladných fází (Šuláková 2014).

První vlna – čerstvé tělo

První fáze rozkladu začíná smrtí a končí prvními příznaky nadmutí. Na povrchu nemusí být znát žádné změny, ale bakterie uvnitř těla začínají trávit vnitřní orgány (Byrd & Castner 2010). Krátce po smrti se objevuje tzv. rigor mortis. Jedná se o ztuhnutí kloubních spojení (Watson & Carlton 2003).

Atraktantem, který láká první kolonizátory, je krev, zvratky, exkrementy, event. sperma na těle oběti, nebo hnilobný zápach z ran, které vznikly ještě za života (gangréna, infikované rány apod.). Mouchy kladou vajíčka do těchto ran nebo do krví nasáklého oděvu a u intaktních mrtvol (bez krvácivých poranění) na přístupné sliznice očí, úst, nosu, uší, urogenitálního traktu anebo konečníku. U intaktních mrtvol může však nastat situace, že hmyz na přítomnost mrtvého zpočátku nereaguje a v těle probíhá pouze bakteriální rozklad (Straus et al. 2017).

Dle Strause et al. (2017) je pro určení kolonizace rozhodující skupina, kterou jsou mouchy z čeledi bzučivkovití (Caliphoridae). V České republice je kriminalisticky relevantních 13 druhů. Nejčastěji nalézáme zelené bzučivky rodu *Lucilia* (z nich především *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) a *Lucilia caesar* (Linnaeus, 1758)) dále modré bzučivky rodu *Calliphora* (zejména *Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy, 1830 a *Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758)) a druhy *Protophormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy, 1830) a *Phormia regina* (Meigen, 1826). Lokálně je také zastoupen druh *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819). Na jedné mrtvole se často vyvíjí současně dva až pět druhů bzučivek, kdy jeden až dva jsou dominantní a ostatní jsou zastoupeny pouze v omezeném počtu jedinců. Zastoupení a vzájemný poměr druhů rovněž závisí na ročním období, ve kterém rozklad započal. První kolonizátoři

mrtvol nemusí čelit tak velké mezidruhové konkurenci jako hmyz vyskytující se v pozdějších vlnách (Lang et al. 2006).

Dle Daňka (1990) se v první fázi vyskytuje z čeledi moučovití (Muscidae) *Musca autumnalis* De Geer, 1776 a *Muscina stabulans* (Fallén, 1817). Z čeledi bzučivkovití (Calliphoridae) je to zejména bzučivka obecná (*Calliphora vicina*), bzučivka rudohlavá (*Calliphora vomitoria*) a *Calliphora uralensis* Villeneuve, 1922, dále *Lucilia caesar*, *Lucilia sericata* a další běžné druhy tohoto rodu (Daněk 1980). Většina z těchto druhů much se objevuje v prvních fázích sukcese. Mohou se však objevit i na téměř zcela rozložených tělech (Archer & Elgar 2003).

Významné však je, že dospělci much se samotnou mrtvolou neživí, jsou pouze nekrofilní. Zdroj jejich potravy tvoří nektar květů, medových mšic, šťávy z přezrálého ovoce atd. Na mrtvém těle sic mohou „lízat a sát“ krev a další tekutiny, jde však pouze o příležitostný zdroj potravy, jenž vyhledávají zejména samičky, aby získaly proteiny potřebné k dozrání vajíček v těle. Skutečně nekrofágní jsou jejich larvy (Šuláková 2014). Jeden gram larev dokáže během svého individuálního vývoje rozložit 3,2 g až 3,5 g masa (Laupy 1994). A zatímco dospělci mohou kdykoliv přiletět, odletět a o jejich přítomnosti nemusíme nalézt žádný důkaz, jakmile dojde k naklazení vajíček, zůstává na místě stopa, kterou lze analyzovat a hodnotit. Vysoký kriminalistický význam bzučivek tedy vychází ze skutečnosti, že vyhledávají mrtvolu primárně z důvodu kladení a že časová prodleva mezi přiletem prvních jedinců a naklazením prvních vajíček je minimální (Šuláková 2014).

Na čerstvé mrtvole se můžeme setkat se zástupci brouků z čeledi střevlíkovití (Carabidae), s některými druhy vos, škvorů a mravenců. Mravenci a škvoři zanechávají na kůži charakteristické stopy, které mohou být mylně identifikovány jako stopy kyseliny. Vosy napadají zejména oční bělmo a rozrušenou svalovou hmotu. Kusadly oddělují poměrně velké kusy rozrušené tkáně a odlétají. Protože se na těle vyskytují jen dospělci, a to jen v době, kdy přijímají potravu, nelze je zpravidla využít při výpočtu doby kolonizace (Daněk 1980).

Druhá vlna – nadmuté tělo

Rozklad těla pokračuje prostřednictvím bakteriální aktivity, jedná se též o nejlépe rozeznatelnou fázi. Plyny, které způsobují nadmutí těla, jsou produkovány metabolismem anaerobních bakterií v trávicí soustavě. Zpočátku se nafoukne jen břišní dutina, později se však celé tělo napne a vypadá jako nafouknutý balón (Byrd & Castner 2010). Krev v cévách se začne rozkládat, reagovat se sulfanem produkováným bakteriemi, což má za následek černé skvrny na stěnách cév. Na krevních cévách procházejících blíže povrchu těla je patrný mřížkovaný vzor zvaný „mramorování“ (Dix & Graham 2000).

Tato situace nastane v letních měsících za příznivých klimatických podmínek již druhý den. Mezitím pokračuje destrukční činnost larev much 1. vlny a nadále pokračuje nálet těchto much (Šuláková 2006), zejména rodu *Lucilia* (Daněk 1990). Z dalších druhů much se dle Daňka (1980) objevují zástupci čeledi masařkovití (Sarcophagidae), zejména masařky *Sarcophaga carnaria* (Linnaeus, 1758), *Sarcophaga serbica* Baranov, 1929 a *Sarcophaga subvicina* Rohdendorf, 1937. Z čeledi bzučivkovití jsou to druhy *Protophormia terraenovae* a *Cynomya mortuorum* (Linnaeus, 1761).

Dle Strause et al. (2017) se ve druhé vlně vyskytují opět bzučivky a nově mouchy z čeledi masařkovití (Sarcophagidae) a moučovití (Muscidae). Masařky jsou však v literatuře značně

přeceňovanou skupinou. Přinejmenším v oblastech mírného pásu vůbec nepředstavují běžné zástupce na lidských mrtvolách. Nejen v České republice, také na Slovensku, v Polsku, v Německu, v severní Francii a v Belgii se s jejich larvami na tělech exponovaných ve volné přírodě setkáme zcela vyjímečně. Zato jsou typické pro nálezy v bytech.

Za forenzně relevantní je možné považovat řádově 25 druhů masařek, z nichž nejběžnější je druh *Sarcophaga argyrostoma* (Robineau-Desvoidy, 1830), která může činit až 95 % nálezů masařek v bytech. Z ostatních druhů to jsou *Sarcophaga africa* (Wiedemann, 1824), *Sarcophaga albiceps* Meigen, 1826, *Sarcophaga caerulescens* Zetterstedt, 1838, *Sarcophaga carnaria*, *Sarcophaga hirticrus* Pandellé, 1896, *Sarcophaga melanura* Meigen, 1826 a *Sarcophaga similis* Meade, 1876. Larvy masařek jsou omnivorní, proto se živí nekrofágně tkáněmi mrtvého, ale také dravě, kdy loví larvy bzučivek. Z mouchovitých je pro druhou fázi typický rod *Muscina* a z něj druhy *Muscina levida* (Harris, 1780), *Muscina pascuorum* (Meigen, 1826), *Muscina prolapsa* (Harris, 1780) a *Muscina stabulans* (Straus et al. 2017).

V literatuře často uváděná moucha domácí (*Musca domestica* Linnaeus, 1758) se na mrtvolách vyskytuje velice vzácně. Její larvy se přirozeně vyvíjí v chlévském hnoji, který samičky při kladení upřednostňují před lidskou mrtvolou. Ojediněle je nalezena na tělech z urbanizovaných oblastí, resp. z mrtvol ležících v blízkosti hospodářských zařízení a uvnitř bytů, ve volné přírodě ji prakticky nezjišťujeme (Šuláková 2014; Straus et al. 2017).

Ve druhé sukcesi vlně mrtvolu kolonizují i brouci, mezi prvními reagují mrchožroutovití (Silphidae), zejména *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758), jehož larvy se na mrtvolách často a ve velkém počtu vyvíjí. Z dalších mrchožroutů to jsou zástupci rodu *Thanatophilus*, především *Thanatophilus sinuatus* (Fabricius, 1775) a *Thanatophilus rugosus* (Linnaeus, 1758) (Straus et al. 2017). Často zmiňovaní hrobařici rodu *Nicrophorus* mají v praxi minimální využití, protože se na lidském těle zrdžují pouze dospělci (Šuláková 2014).

Poslední typickou skupinou druhé sukcesi vlny jsou parazitoidní druhy z řádu blanokřídlí, z nichž největší význam mají chalcidky (Chalcidoidea), případně lumci a lumčící (Ichneumonoidea). Samičky kladou vajíčka do larev i kukel ostatního hmyzu a vylíhlé larvy cizopasí uvnitř hostitele, kterým se současně živí a následně se v něm i kuklí. Vzhledem k pevné vazbě vývojového cyklu na přítomnost mrtvého těla, resp. nekrosaprofágy, na nichž parazitují, lze tyto blanokřídlé využít při výpočtu doby kolonizace (Šuláková 2014). Dle Daňka (1980) je nejběžnější druh *Poecilochirus necrophori* Vitzthum, 1930.

Po několika dnech je již znát odbarvení trávy pod mrtvolou (především na jaře a v létě) v důsledku ztráty chlorofylu a nastává zpomalení jejího růstu. Pod mrtvolou začíná dočasně mizet nebo se značně měnit charakteristické složení půdní zvířeny (Daněk 1990).

Třetí vlna – biochemicky aktivní rozklad

Začíná poté, kdy u tuků nastává proces zmýdelnění a současně se vyvíjejí těkavé mastné kyseliny, hlavně zapáchající kyselina máselná (Šuláková 2006). Pro tuto fázi je typické praskání kůže a její následné odlupování z těla. Odlupování kůže umožňuje rozkladným plynům unikát, tudíž nadmutí kadáveru postupně opadá a hnilobný proces stále pokračuje (Gennard 2007).

Na aroma kyseliny máselné reagují mouchy rodu *Hydroatea*. V České republice je na lidských mrtvolách nejčastěji zastoupena moucha lesklá (*Hydroatea ignava* (Harris, 1780)). První samičky mohou přiletět již v prvních dnech po smrti jedince, v době, kdy se na těle vyskytují tisíce larev bzučivek. Nenakladou proto přímo na tělo, ale pod něj do tzv. lože

mrtvol. Vylíhlé larvy prvního instaru se živí v podstatě saprofágně, rozkladnou tekutinou prosakující do půdy. Od druhého instaru jsou dravé a začnou kolonizovat vlastní mrtvolu. Přesto teprve až ji většina bzučivek opustí, aby se mohly zakuklit, mouchovití tělo obsadí a plně využijí (Šuláková 2014).

Z nových nekrofágních brouků zaznamenáváme především z čeledi kožojedů brouky *Dermestes frischii* Kugelann, 1792, *Dermestes murinus* Linnaeus, 1758 a *Dermestes undulatus* Brahm, 1790. Z čeledi pestrokrovečníků (Cleridae) jsou to jednotlivé druhy rodu *Necrobia* (Daněk 1980). Kožojedi a pestrokrovečníci preferují sušší substrát, proto jejich kolonizace zpravidla začíná od okrajových, nebo již skeletovaných částí těla (Šuláková 2014).

Na mrtvole nadále přežívají nekrofágní druhy brouků 2. vlny. Mimo to již počátkem 3. vlny přilétá na mrtvolu větší množství různých biofágů, kteří se živí larvami much. Z čeledi drabčíkovití jde především o druhy *Omalium rivulare* (Paykull, 1789), *Creophilus maxillosus* (Linnaeus, 1758) a zástupce rodů *Philonthus*, *Aleochara*, *Atheta* aj. Z čeledi mršníků (Histeridae) o rod mršník (*Hister*), hnilík (*Saprinus*) aj., z čeledi lesknáčkovití (Nitidulidae) o některé druhy rodu lesknáček (*Nitidula*) a *Omosita* (Daněk 1980).

Pod ležící mrtvolou, zejména u mrtvol neoblečených, se již mezitím do značné míry vyvinulo dílčí přechodné společenství rostlinných a živočišných druhů (merocenóza), které přilákalo řadu saprofágních druhů z čeledi drabčíkovití a některé zástupce rodu hnojník (*Aphodius*) a lejnožrout (*Onthophagus*) z čeledi vrubounovití (Scarabaeidae). Pokud již nastala perforace břišní dutiny, žaludku a střev, nalezneme zde též chrobáka (*Anoplotrupes stercorosus* (Hartmann, 1791)), který byl přilákan zápachem uvolněných výkalů (Daněk 1990).

Koncem této fáze je převážná část masa z těla pryč a většina jedinců z čeledi Calliphoridae a Sarcophagidae mrtvolu opustila (Byrd & Castner 2010).

Čtvrtá vlna – biochemicky aktivní rozklad

Krátce po fermentaci tuků nastává fermentace proteinů, označovaná též jako sýrová fermentace. Během ní se vytváří kaseózní látky, které svým zápachem připomínají přezrálý sýr. Na ně reagují mušky z čeledi sýrohlodkovití (Piophilidae), z nich na lidských mrtvolách dominuje druh *Stearibia nigriceps* (Meigen, 1826). Objevují se i zástupci čeledi slunilkovití (Fanniidae) a z čeledi kmitalkovití (Sepsidae) zejména *Nemopoda nitidula* (Fallén, 1820) (Straus et al 2017).

Čtvrtá vlna se vyznačuje také čpavkovou fermentací zbytků měkkých tkání. Atraktantem lákajícím další bezobratlé jsou uvolňované amoniakální páry a nakyslý zápach kaseózních látek, na které reagují drobné mušky z čeledi hrbilkovití (Phoridae). Nadále zůstávají na těle aktivní larvy sýrohlodek, kmitalek a slunilek, z brouků larvy kožojedů a pestrokrovečníků, z dospělců menší drabčici, dále mršníci a lesknáčci, kteří se zde také příležitostně rozmnožují (Šuláková 2014).

Dle Daňka (1980) na těle též nalzáme octomilku velkou (*Drosophila funebris* (Fabricius, 1787)) a z čeledi slunilkovití (Fanniidae; v citovaném zdroji uvedeno jako čeleď Muscidae) druh *Fannia canicularis* (Linnaeus, 1761).

Mezi zvláštnosti patří mrtvol, které byly zachyceny pod vodní hladinou a došlo k jejich pozdějšímu vynoření. Na takové mrtvole se již nebudou vytvářet plynné látky, které by přilákaly typické nekrofágní druhy much druhé vlny. Na takových mrtvolách se objevují výlučně mouchy 4. vlny (Daněk 1990; Šuláková 2006).

V této době již vrcholí výskyt brouků z rodu *Necrobia*. Dospělí jedinci těchto brouků jsou přilákáni zápachem zmydelňovacích procesů ve 3. vlně a jejich výskyt vrcholí ve 4. vlně na sušších částech mrtvoly. Úměrně s úbytkem svalové hmoty a jiných měkkých tkání klesá kvalitativní a kvantitativní počet typických nekrofágů, zejména z čeledi mrchožroutovití (Silphidae). Zároveň probíhají na mrtvole, v „loží mrtvoly“ a v jejím okolí, biologické cykly larev některých druhů much a brouků s kratším vývojovým stadiem (Daněk 1990).

Na aktivní biochemický rozklad lze však nahlížet jako na jednu komplexní sukcesní fázi, protože zmydelnění tuků a sýrová fermentace mohou na různých částech těla probíhat prakticky současně. Druhy jmenované v této sukcesní vlně mohou proto tělo kolonizovat v různém pořadí (Šuláková 2014).

Pátá vlna – vysychání zbytků měkkých tkání

Na kostech zůstávají již jen zbytky měkkých tkání, které postupně vysychají. Na těchto zbytcích je možné nadále najít larvy sýrohlodek, hrbílek, kožojedů a pestrokrovečnicků (Straus et al. 2017).

Nově zbytky kolonizují brouci z čeledi hlodáčovití (Trogidae), z nich především *Trox scaber* (Linnaeus, 1767) a *T. sabulosus* (Linnaeus, 1758) (Šuláková 2014). Tyto nekrofágy i saprofágy nalézáme pod suššími částmi mrtvoly, pod kostmi, v dutinách velkých kostí, pod zaschlou kůží, ve vlasové pokrývce apod. Velmi často unikají naší pozornosti, neboť se tváří „mrtví“ a začnou lézt až po vhození do éterovými parami nasycené smrtící láhve (Daněk 1990).

Poměrově se začíná zvyšovat zastoupení roztočů (Acari) (Šuláková 2014). Ti se živí proteiny živočišného původu, napadají kostní dřev a urychlují tak rozpad kostí (Daněk 1980). Je však nutné poznamenat, že roztoče nalézáme již od počátku rozkladu těla, resp. od okamžiku, kdy se na mrtvém objeví první hmyz, protože mnoho roztočů se sem dostává pomocí forézie – přichyceno na těle hmyzu (Šuláková 2014).

Za příznivých podmínek toto údobí nastává koncem prvního roku a ve druhém roce stárí (Šuláková 2006).

Šestá vlna – kosterní zbytky

Při této fázi již z těla zbyly jen vlasy a kosti. Chrupavky žeber jsou již rozrušeny, pouze při páteři jsou suché zbytky útrobu, zejména jejich vazivových částí. (Daněk 1980). Tělo dosáhlo posledního stadia dekompozice. Další rozklad může být popisován pouze jako rozklad jednotlivých částí těla, jako jsou kosti chodidel a nohou, lebky a žeber (Gennard 2007).

Pro toto údobí je typický výskyt suchomilných a teplomilných druhů hmyzu (Šuláková 2006). Na rozkladu zbytků se podílejí roztoči a zřídka kožojedi a hlodáči. Nově se objevují vrtavci (*Ptininae*) z čeledi červotočovití (Anobiidae), někdy uváděni jako čeleď Ptinidae. Na degradaci kostí ležících na povrchu mají vliv např. i řasy (Algae) (Šuláková 2014).

Tato fáze nemá žádnou přesně určenou dobu trvání. I během dalších několika měsíců, či dokonce let, mohou být v půdní fauně pozorovány určité změny, které indikují dřívější výskyt mrtvoly (Amendt et al. 2010).

3.3 Faktory ovlivňující rozklad těla

3.3.1 Roční období a klima

Faktorem rozhodujícím o rychlosti průběhu rozkladu, resp. o délce jednotlivých fází je roční období a s ním spojené klimatické podmínky (zejména teplota) na počátku. Teplota, délka světelné části dne, souhrn srážek a vlhkost prostředí určují nejen rychlost rozkladných procesů, ale také druhy, které se na odbourávání těla budou podílet a v jakém počtu (Šuláková 2014).

Expozici mrtvého v letním období definují zpravidla vyšší teploty (Šuláková 2014) a velké množství hmyzu (Schroeder et al. 2003). Hned od počátku se na kolonizaci podílí desítky až stovky bzučivek, u kterých jediná samička naklade stovky až tisíce vajíček. Rozklad je většinou tak rychlý, že zatímco na těle jsou v měkkých tkáních stále plně aktivní bzučivky a moučovití z první a druhé fáze, tak na odhalených kostech se již vyvíjí druhy třetí fáze (Straus et al 2017). Sukcese s počátkem na konci jara a v létě má nejkratší dobu trvání (Šuláková 2014) a na těle se bude nalézat bohatější a různorodější fauna než v zimě (Smith 1986).

Pro rozklad s počátkem na podzim a v zimě je typická rozdílná dynamika degradačních procesů, které ovlivňují měnící se teploty a srážky aktuálního roku (Straus et al. 2017). Těla rozkládající se během zimy budou kolonizována méně početnou faunou, která se skládá zejména z brouků (Smith 1986). Přes mylné všeobecné mínění, však některé druhy hmyzu, nebo jejich larvy, zůstávají aktivní i přes zimu (Straus et al. 2017). Larvy sýrohlodek, slunílek, ale také kmitalek, drabčků a dalších se udržují pod degradovanou vrstvou tkání aktivní i v zimě a dokáží využít každého okamžiku, kdy se zvýší teplota řádově nad 0 °C (Šuláková 2014). Sukcese s počátkem na konci podzimu a v zimě zpravidla trvá nejdéle (Straus et al. 2017).

Teplota prostředí, v němž probíhá potravní aktivita a růst larev nekrofilních much, je jedním z rozhodujících faktorů určujících délku jejich vývoje (Laupy 1994). Ovlivňuje také jejich vývin, tj. jestli se hmyz vyvíjí „bez přerušení“, nebo vlivem nízkých teplot dochází ke zpomalování či zastavení vývoje, tzv. diapauze (Šuláková 2006). Vysoká průměrná denní teplota a malé teplotní výkyvy zkracují délku post mortem intervalu. Naopak nízká průměrná denní teplota, velké teplotní výkyvy během dne nebo delší poklesy na hodnoty pod 10 °C prodlužují délku post mortem intervalu (Laupy 1994). Teplota je důležitá také z hlediska enzymatických dějů, které probíhají v mrtvém těle. Urychlení či zpomalení těchto biochemických reakcí výrazně ovlivňuje časovou souslednost jednotlivých sukcesních stadií (Šuláková 2006).

Vlhkostní poměry mohou také výrazně ovlivnit výskyt hmyzu např. snížením jeho letové aktivity. Celá řada brouků vyhledává suché prostředí, naopak jiní zástupci jsou spíše vlhkomilní (Šuláková 2006).

3.3.2 Typ prostředí

Typ prostředí ovlivňuje zejména přístupnost mrtvolky pro hmyz a zastoupení jednotlivých druhů hmyzu, např. otevřená krajina, lesní porosty anebo uzavřené prostory (Šuláková 2006).

Mrtvoly volně exponované

Viz kapitola „Rozklad těla při volné expozici“.

Mrtvoly v uzavřených prostorách

Veřejnost a policie si často myslí, že hmyz nebude kolonizovat pozůstatky v uzavřených prostorách (Byrd & Castner 2010) jako jsou byty, půdy, sklepy, ale také zahradní domky, event. stany a jeskyně (Straus et al. 2017). To však není pravda. Hmyz kolonizuje mrtvoly v uzavřených prostorách stejně snadno jako v otevřeném terénu (Byrd & Castner 2010).

Pro uzavřené prostory je typická absence dešťových srážek, které při volné expozici mohou významným způsobem ovlivnit průběh degradačního procesu. Dalším znakem je, že uzavřené prostory mohou mít své specifické složení nekrobiotní fauny. Na rozkladu těl uvnitř bytů se podílejí druhy, které za jiných okolností řadíme do kategorie domácích a skladištních škůdců, event. škůdců potravin (Straus et al. 2017).

Mrtvoly pohřbené nebo zahrabané

Zbavení se mrtvoly je obvykle hlavní obtíží a starostí vraha. Lidského těla je však překvapivě obtížné se zbavit a často zvolenou metodou je pohřbení (Byrd & Castner 2010). Pohřbené nebo zahrabané mrtvoly zahrnují těla umístěná do ilegálních hrobů, zasypaná hlínou, nebo větším množstvím vegetace, ale také zakrytá a zabalená do různých plastových a textilních obalů. Rozkladný proces v zemi je velmi pomalý. Rozhodujícím faktorem je obsah kyslíku (Straus et al. 2017) a hloubka, ve které se tělo nachází (Smith 1986).

Na rozkladu těla se nepodílí běžné půdní druhy, ale mrtvolu kolonizují specifické nekrobiotní druhy, které k tělům pronikají několika způsoby (Straus et al. 2017). Některý hmyz klade vajíčka na povrch půdy a nově vylíhlé larvy se k tělu prohrabou. Mezi takové druhy řadíme mouchovité rodu *Muscina* (Smith 1986). V závislosti na typu zeminy, obsahu vzdušného kyslíku a vlhkosti mohou larvy kolonizovat tělo v hloubce 30 až 50 cm, ojediněle i přes jeden metr (Straus et al. 2017). U jiných druhů prolézají do půdy dospělci a kladou vajíčka přímo k tělu, jedná se o drobné mušky z čeledi hrbilkovití (Phoridae) (Smith 1986; Straus et al. 2017).

Mrtvoly ve vodním prostředí

U mrtvol nalezených ve vodním prostředí probíhala sukcese jinak než na souši. Bude ovlivněna mnoha faktory zahrnující typ vodního prostředí (např. jezero, proudící voda, oceán), teplotu vody, roční období, přítomnost oblečení a klimatický region (Byrd & Castner 2010). Rozklad ve vodě je odlišný i díky tomu, že tělesné teplo se ztrácí dvakrát rychleji než na souši (Smith 1986).

Na rozkladu mrtvého ve vodním prostředí se podílí zejména korýši (Crustacea), z nich nejčastěji blešivci (Gammaridae) (Straus et al. 2017). Jiní korýši, jako jsou krevety a pravděpodobně krabi, se budou žít na potopených tělech v mořské vodě (Smith 1986). Dále se dle Strause et al. (2017) rozkladu účastní měkkýši (Mollusca) a larvy vodního hmyzu. Nejsou ojedinělí ani hlodavci (Rodentia). Na rozkladu ve vodě se nepodílí typičtí nekrofágové, ale druhy, které se v daném prostředí vyskytují nezávisle na přítomnosti mrtvoly.

Pokud je však část těla nad hladinou, objevují se i suchozemské druhy typické pro rozklad volně exponovaných těl (Smith 1986; Straus et al. 2017).

Ohořelé mrtvoly

Informací týkajících se vlivu ohoření kadáveru na jeho následný rozklad je obecně poměrně málo (Smith 1986). Vrazi se často snaží zbavit těla oběti spálením, ale nejsou si vědomi, jak vysoké teploty a po jak dlouho dobu musí působit, aby došlo k úplnému zpopelnění těla. I v krematoriích, kde se používají extrémně vysoké teploty, zbydou rozpoznatelné kousky lidských těl (Byrd & Castner 2010).

Současné studie probíhající na prasečích kadáverech na Albertské univerzitě podporují tvrzení, že ohořelá těla se pro mouchy stávají atraktivnější. Lákají je totiž praskliny v kůži, které připomínají otevřené rány, a to vede k intenzivnímu kladení vajíček (Byrd & Castner 2010). Navzdory tomu však mouchy nekladly vajíčka na více ohořelé kadávery s popáleninami čtvrtého stupně. Tudíž vyplývá, že rozhodující je spíše stupeň popálení a přístupnost čerstvého masa než samotný faktor ohoření (Gennard 2007).

Experimenty dokazují, že i po ohoření a požáru lze získat důkazní materiál v podobě hmyzu, který bychom měli brát v potaz. Může nám pomoci odhadnout dobu smrti či napovědět, jestli bylo uhoření příčinou smrti (Byrd & Castner 2010).

3.4 Čeleď Calliphoridae

Čeleď bzučivkovití (Calliphoridae) je relativně malou čeledí kalyprátních dvoukřídlých se 115 evropskými druhy. Na území České republiky bylo dosud zjištěno 60 druhů, z toho 49 v Čechách a 57 na Moravě. Celkem 8 druhů je uvedeno v Červeném seznamu ohrožených druhů v kategorii zranitelný (Šuláková et al. 2014). Bzučivkovití patří mezi první hmyz, který je pozorován a kolonizuje lidské pozůstatky a zvířecí kadavery. Během experimentů se první jedinci na mrtvých tělech vyskytují do několika minut po jejich volné expozici (Byrd & Castner 2010).

Dospělci této čeledi jsou středně velké mouchy s délkou těla v rozmezí 4 mm až 16 mm. Barva těla může být různá, ale většina druhů žijících ve střední Evropě je černá nebo zelenomodrá s kovovým leskem, často doplněná stříbrnými či žlutými sety (Šuláková et al. 2013). Dospělci bzučivek jsou velice aktivní a dobří letci, kteří vyžadují energeticky bohatou potravu. Ve volné přírodě se živí nejčastěji nektarem, proto je běžně nalézáme na květech mnoha rostlin. Mezi další zdroje cukernatých látek patří přezrálé ovoce, popř. medovice mšic (Šuláková et al. 2014).

Řadí se mezi nejdůležitější druhy, které nám pomáhají odhadnout post mortem interval (Byrd & Castner 2010). Některé druhy jsou důležité i z hygienického hlediska, protože dospělci navštěvují výkaly (Baz et al. 2007), čerstvé i syrové maso, mléčné produkty a rány (Byrd & Castner 2010). To dělá z mnoha druhů potenciální přenašeče bakterií, virů, prvoků a parazitických červů (Šuláková & Barták 2013).

3.5 Čeleď Muscidae

Mouchovití (Muscidae) je velká, celosvětově rozšířená čeleď řádu dvoukřídlí (Diptera). Obsahuje řádově 4500 druhů v přibližně 180 rodech. V České republice se vyskytuje na 307 druhů (Klimešová et al. 2014).

Dospělci jsou malí až středně velcí jedinci s obvyklou délkou těla v rozmezí 3 mm až 10 mm (Byrd & Castner 2010). Barva těla je většinou v odstínech šedé (Gennard 2007), ale několik druhů má i metalický lesk (Byrd & Castner 2010).

Prostředí jejich výskytu se značně liší. Mohou se žít rozkládajícími se rostlinami a živočichy, exkrementy, pylem a zástupci s bodavě savým ústním ústrojím dokonce i krvi. Člověku tak snadno znepríjemňují život. Druhy životním cyklem vázané na odpadky jsou odpovědné za přenášení chorob jako je tyfus, antrax a úplavice. Při konzumování potravy vyvrhávají trávicí tekutiny přímo na lidskou stravu a tím ji infikují (Byrd & Castner 2010).

Z důvodu velkého rozšíření mouchovitých a jejich často blízkému kontaktu s člověkem se ve forenzní praxi jedná o velmi důležitou čeleď (Byrd & Castner 2010). Mouchovití přilétají na mrtvé tělo hned po bzučivkách a masařkách. Samičky kladou vajíčka do otevřených ran, na zakrvácený oděv a také do půdy pod tělem, které je nasáknutá tekutinou vznikající při rozkladu (Klimesšová et al. 2016). Larvy se živí přímo kádáverem, ale v některých případech vykazují známky predace. V takových situacích mohou larvy ovlivnit složení fauny na místech činu tím, že pojdají vajíčka a larvy ostatního, mrtvolou se živícího, hmyzu (Byrd & Castner 2010).

Mezi běžně nalézané druhy na pozůstatcích řadíme zástupce druhů *Musca domestica* a *Musca autumnalis* a také rody *Muscina* a *Hydrotaea* (Klimesšová et al. 2016).

3.6 Čeleď Fanniidae

Fanniidae je menší čeleď kalyptrátního hmyzu, které je rozšířena po celém světě (Barták et al. 2016), zejména v holarktické oblasti. Méně druhů se poté vyskytuje v afrotropické, orientální a australské oblasti (Smith 1986). Čeleď zahrnuje více jak 360 popsanych druhů. V Evropě je známo 85 druhů (Barták et al. 2016).

Někteří zástupci jsou známí především prostřednictvím jejich důležitosti ve forenzních vědách a medicíně. Význam mají také z hygienického hlediska (Barták et al. 2016). Jedinci této čeledi většinou obývají zalesněné oblasti, v otevřené krajině jsou poměrně vzácní (Domínguez & Pont 2014). Několik druhů je i synantropních (Barták et al. 2016). Samci většiny druhů se v zastíněných oblastech shlukují do rojů a samice jsou přitahovány rozkládající se organickou hmotou a exkrementy (Domínguez & Pont 2014). Larvy jsou vodní i suchozemské (Barták et al. 2016).

4 Metodika

Metodika práce se skládá z literární rešerše a terénního experimentu, který se soustředil na vliv ohoření kadáveru na následnou kolonizaci nekrofágním hmyzem.

4.1 Popis lokality

Experiment proběhl na severu Čech, ve městě Nový Bor, okres Česká Lípa, na souřadnicích 50°45'9.183" N, 14°33'25.804" E, v nadmořské výšce cca 360 m n. m. Pokus probýhal ve dvou oddělených fázích. V první fázi byly kadávery volně exponovány na zahradě rodinného domu, který se nachází na okraji města a sousedí s dalšími zahradami. Experimentální zahrada i okolní pozemky jsou osázeny ovocnými stromy a okrasnými keři. Větší část zahrady zaujímá skalka a její flóra.

V druhé fázi terénního pokusu byly kadávery přesunuty mimo přístup dalšího hmyzu, do garáže s nižším přísunem denního světla, ve které probíhal vývin larev, kuklení a líhnutí imág.

4.2 Příprava

4.2.1 Příprava zvířat

Na experiment bylo použito 6 kadáverů samic kura domácího (*Gallus gallus f. domestica* (Linnaeus, 1758)), každý o hmotnosti cca 2 kg. Všechny slepice byly usmrceny stejným způsobem, useknutím hlavy dne 15. 6. 2019.

Tři kadávery byly poté opáleny. Opálení probíhalo na ohništi, kam byl každý kadáver vložen na dobu tří minut a poté vyjmut. Zbýlé tři kadávery nebyly žádným způsobem upravovány a představovaly kontrolu.

Takto připravené slepice byly následně přesunuty do předem připravených chovných boxů.

4.2.2 Příprava ostatního materiálu

K uložení slepic bylo použito 6 plastových průhledných boxů o rozměrech 39 cm x 28 cm x 28 cm. Na dno každého z nich bylo nasypano cca 10 cm písku. Písek sloužil k regulaci vlhkosti v boxech a jako substrát k zakuklení larev. Jednotlivé boxy byly popsány variantou (ohořelé vs. kontrola) a pořadovým číslem, aby nedošlo k jejich záměně.

Pro chovnou fázi, ve které bylo nezbytné zabránit dalšímu kladení vajíček a úniku již vylíhlých larev, byla předem upravena také víka beden. K zakrytí všech boxů byla využita jemná síťovina (silonové punčochy), která se vždy přetáhla přes horní okraj bedny. K upevnění silonek bylo použito plastové víko krabice, do kterého byl vyřezán kruhový otvor, zajišťující dostatečnou výměnu vzduchu uvnitř bedny. Každé víko bylo zajištěno k bedně plastovými úchyty (zámky), které bránily uvolnění víka, a tím otevření beden a úniku migrujících larev mimo experimentální box.

Na konec chovné fáze bylo pro každou bednu sestrojeno zařízení, které umožnilo odchytní a usmrtití vylíhlá imága much, která se na daném kadáveru vyvinula. Odchytní zařízení bylo

sestrojeno z plastových trubek pro hlodavce, síťoviny, která původně zakrývala každou z beden, a plastových láhví, každá o objemu 1,5 litru. Trubka byla upevněna lepicí páskou k vyřezanému otvoru ve víku bedny a následně vzniklým „tunelem“ byla protažena nohavice silonky. Její zúžený okraj byl upevněn opět lepicí páskou k okraji odchytné láhve. Nově vylíhlá imága mohla takto vytvořeným tunelem proletět z boxů do sběrných láhví.

Láhve byly naplněny řádově do poloviny smrtícím a konzervačním roztokem kyseliny citronové. Ten byl namíchan v poměru 6 lžic kyseliny citronové na 1 litr vody. K porušení povrchového napětí bylo do vzniklého roztoku přidáno několik kapek detergentu (Jar).

Na konci experimentu byl obsah jednotlivých sběrných láhví (hmyz) přendán do zavařovacích sklenic a překonzervován 70% roztokem ethanolu. Každá zavařovací sklenice byla označena variantou (ohořelé vs. kontrola) a pořadovým číslem příslušného boxu. Takto konzervovaný hmyz byl uchován až do jeho determinace.

Během celého experimentu byla zaznamenávána teplota a vlhkost vzduchu dataloggerem VOLTCRAFT.

4.3 Průběh experimentu

4.3.1 Volná expozice

Po usmrcení a u varianty „ohořelé“ po opálení byla každá slepice vložena do jednoho chovného boxu. Následně byly všechny boxy umístěny na zahradu ve vzájemném rozestupu 3 až 4 metry od sebe a ponechány volně otevřené, aby byl umožněn nálet nekrobiontních druhů much a jejich kladení na kadávery. Takto byly všechny kadávery volně exponovány přes celý den (cca 12 hodin), poté zakryty sítí s víkem a přesunuty do garáže.

4.3.2 Odchov larev

Během odchovné fáze byl obsah boxů občasně vlhčen vodou z rozprašovače. Tím se zabránilo vyschnutí písku a úhynu larev. V období mezi migrací larev a jejich kuklením byly odebrány a vyhozeny již nepotřebné zbytky kadáverů. Obsah beden byl během chovné fáze kontrolován každý den. Průběžně byla pořizována fotodokumentace a prováděn zápis z jednotlivých pozorování.

4.3.3 Líhnutí a odchyt imág

Před líhnutím imág bylo krytí boxů předěláno na odchytné zařízení. Vylíhlí dospělí jedinci postupně nalétávali odchytným zařízením do sběrných plastových láhví se smrtícím a konzervačním roztokem. Po vylíhnutí všech imág byl obsah každé odchytné láhve přelit přes čajové sítko. Takto byly mouchy odděleny od roztoku a následně vloženy do zavařovacích sklenic se 70% roztokem ethanolu a převezeny k determinaci.

4.4 Dokumentace terénního pokusu

V době volné expozice kadáverů na zahradě byly, zhruba každou hodinu, kadávery fotograficky dokumentovány. Hlavním cílem pořizované fotodokumentace bylo zachytit

zejména rozdílné druhy much, které na kadávery nalétávaly a případně také kladly. Po přesunu experimentálních beden do garáže byly kadávery a později larvy a kukly foceny každý den. Tímto byl v rámci chovné fáze dokumentován samotný rozkladný proces, pohyb larev, jejich postupné kuklení a odchyt nově vylíhlých imág.

4.5 Determinace entomologického materiálu

Derminaci veškerého entomologického materiálu, much získaných odchovem při terénním experimentu, provedena plk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D., z Kriministického ústavu Policie České republiky.

K determinaci byly použity klíče obsažené v monografiích jednotlivých čeledí: Calliphoridae: Rognes (1991) a Draber-Moňko (2004); Muscidae: Gregor et al. (2002), Fanniidae: Rozkošný et al. (1997). Nomenklatura byla upravena podle Fauna Europaea (Rognes, 2013).

4.6 Statistické vyhodnocení výsledků

Získaná data byla statisticky zpracována a zhodnocena prostřednictvím grafů v programu MS Excel. Platnost nulové hypotézy byla ověřena chí kvadrátovým testem za pomoci open source knihovny SciPy.

5 Výsledky

5.1 Tafonomie

5.1.1 Volná expozice

Po vystavení všech kadáverů na zahradu, začaly během patnácti minut přilétat první mouchy. Největší zájem jevíly o kontrolní vzorky, na kterých se jich v jednom okamžiku pohybovalo mezi 10 až 15 jedinci. Na ohořelých kadávěrech byly pozorovány v menším zastoupení a až po delší době. Zdržovaly se zejména v oblastech pod křídly a dalšími, před sluncem krytými místy. Za tři hodiny od počátku expozice byla nalezena první vajíčka, kterých postupně přibývalo.

5.1.2 Vnitřní expozice

1. den

Na žádném z kadáverů nebyly pozorovány žádné změny. Barva sliznic byla stále původní a peří drželo na tělu pevně. Z vajíček se nevylihly žádné larvy.

2. den

Ohořelé kadávěry (O1, O2, O3) byly stále beze změny. Kontrolní kadávěry (K1, K2, K3) začínaly v oblasti otevřené rány, po useknutí hlavy, hnědnout. Peří drželo pevně. Na K1 byly pozorovány první drobné larvy vyskytující se kolem rány. Larev na K2 a K3 bylo ve stejné oblasti méně.

3. den

Sliznice ohořelých kadáverů mírně zelenala. Larvy se vylihly pouze u O2 v malém počtu (cca 5 kusů) kolem kloaky. Na kontrolních kadávěrech larev přibylo. Byly průhledné až světle bílé s tmavou tráveninou uvnitř. U 1K se jejich velikost pohybovala kolem 0,7 cm, u K2 a K3 kolem 0,4 cm. Peří drželo pevně na těle a nešlo odtrhnout.

4. den

Na kadáveru O1 a O3 nebyly znatelné žádné změny. Na zadních končetinách O2 se objevil bílý povlak, nejspíš plísně. Kontrolním kadáverům se uvolňovalo a vypadávalo peří, zejména z oblasti hrudníku a křídel. Sliznice pokrýval slizký povlak. Nejvíce larev bylo vidět u K1, larvy K2 byly pouze uvnitř kadáveru. Kadáver K3 pokrývalo menší množství larev než K1.

5. den

Plíseň se objevila již na všech ohořelých kadávěrech a postupně se rozšiřovala. Larvy se nevyskytovaly ani na jednom ohořelém kadáveru. Nejpatrnější rozklad byl zaznamenán na 3K. Kadávěry se začaly od krku rozkládat a vlivem vyskeletování se začala odhalovat kostra. Kůže se na mnoha místech potrhala. Peří se již dalo snadno oddělit od všech částí těla. Vnitřní orgány a svalovina se postupně měnily v bílou kašovitou hmotu. Kadávěry K1 a K2

se nerozkládaly tak rychle, průběh byl však podobný. U larev byla stále vidět trávenina. Nyní měřily kolem 1 cm a vyskytovaly se po celých kadáverech.

6. den

Kadávery nebyly kontrolovány.

7. až 12. den

Rozklad ohořelých kadáverů nijak nepostupoval, pouze na O2 se plíseň stále rozšiřovala. Ze všech kontrolních kadáverů zůstalo jen peří, kosti, běháky a malé množství slizké tkáně. Svalovina a orgány byly zcela zkonsumovány larvami anebo bakteriální činností a nic z nich nezbylo. Larvy již migrovaly po stěnách krabic, shlukovaly se u víka, některé zalézaly do písku. Část z nich už v sobě neměla žádnou tráveninu (postfeeding stage).

13. den

Ohořelé kadávery vypadaly, až na plíseň, téměř stejně jako na začátku rozkladu. Spolu se zbytky kontrolních kadáverů byly dnes z krabic vyjmuty a bylo nainstalováno odchyťové zařízení.

14. až 23. den

Na stěnách krabic a víku se nevyskytovaly žádné larvy. Viditelné byly pouze na písku, ale většina z nich byla již v něm zahrabaná. 18. den byla pozorovány první tři kukly. Vyskytovaly se na povrchu vrstvy písku po kontrolních kadáverech K3 a K2. Byly tmavě červené o velikosti cca 0,4 cm. V průběhu dalších dnů se jejich počet zvyšoval a objevily se i v dalších krabicích.

24. až 29. den

V krabicích se vylíhly první mouchy. Postupně přelétávaly do odchyťových zařízení, kde byly prostřednictvím umístěného smrtícího roztoku usmrceny a konzervovány až do vyjmutí.

5.2 Druhové složení nekrofágního hmyzu

Dohromady byly v odchyťových zařízeních determinovány zástupci tří čeledí – Calliphoridae, Muscidae a Fanniidae. Nejvíce byla zastoupena čeleď Calliphoridae v celkovém počtu 415 imag. Z této čeledi se zde objevily čtyři druhy – *Calliphora vomitoria* (kontrola 25 %, ohořelé 16 %), *Lucilia caesar* (kontrola 11 %, ohořelé 5 %), *Lucilia sericata* (kontrola 43 %, ohořelé 55 %) a *Protophormia terraenovae* (kontrola 21 %, ohořelé 24 %) – viz Grafy 1 a 2. Dále následovala čeleď Muscidae v celkovém počtu 179 imag a zastoupena jediným druhem – *Hydrotaea dentipes* Fabricius, 1805. Z poslední čeledi, Fanniidae, se vylíhlo 156 imag náležících jedinému druhu – *Fannia canicularis*. Množství hmyzu odebraného ze skupiny ohořelých kadáverů (389 ks) bylo o 28 dospělců vyšší než množství hmyzu odebrané ze skupiny kontrolních kadáverů (361 ks).

Skupina ohořelých kadáverů

Kadáver O1

- 5 imag *Calliphora vomitari*, 2 samci a 3 samice
- 93 imag *Lucilia sericata*, 37 samců a 56 samic
- 33 imag *Protophormia terraenovae*, 14 samců a 19 samic
- 9 imag *Hydrotaea dentipes*, 9 samic
- 6 imag *Fannia canicularis*, 1 samec a 5 samic

Kadáver O2

- 17 imag *Calliphora vomitari*, 6 samců a 11 samic
- 32 imag *Lucilia sericata*, 15 samců a 17 samic
- 26 imag *Protophormia terraenovae*, 12 samců a 14 samic
- 13 imag *Hydrotaea dentipes*, 13 samic
- 31 imag *Fannia canicularis*, 12 samců a 19 samic

Kadáver O3

- 25 imag *Calliphora vomitari*, 12 samců a 13 samic
- 14 imag *Lucilia caesar*, 5 samců a 9 samic
- 36 imag *Lucilia sericata*, 12 samců a 24 samic
- 13 imag *Protophormia terraenovae*, 7 samců a 6 samic
- 7 imag *Hydrotaea dentipes*, 1 samec a 6 samic
- 29 imag *Fannia canicularis*, 8 samců a 21 samic

Skupina kontrolních kadáverů

Kadáver K1

- 4 imaga *Calliphora vomitari*, 1 samec a 3 samice
- 9 imag *Lucilia caesar*, 1 samec a 8 samic
- 23 imag *Lucilia sericata*, 12 samců a 11 samic
- 7 imag *Protophormia terraenovae*, 1 samec a 6 samic
- 94 imag *Hydrotaea dentipes*, 41 samic a 53 samců
- 37 imag *Fannia canicularis*, 10 samic a 27 samců

Kadáver K2

- 16 imag *Calliphora vomitari*, 5 samců a 11 samic
- 2 imaga *Lucilia caesar*, 1 samec a 1 samice
- 6 imag *Lucilia sericata*, 1 samec a 5 samic
- 10 imag *Protophormia terraenovae*, 3 samice a 7 samců
- 10 imag *Hydrotaea dentipes*, 7 samců a 3 samice
- 15 imag *Fannia caniculari*, 1 samec a 14 samců

Kadáver K3

- 10 imag *Calliphora vomitari*, 1 samec a 9 samic

- 3 imaga *Lucilia caesar*, 3 samice
- 23 imag *Lucilia sericata*, 9 samcù a 14 samic
- 8 imag *Protophormia terraenovae*, 1 samec a 7 samic
- 46 imag *Hydrotaea dentipes*, 12 samcù a 34 samic
- 38 imag *Fannia canicularis*, 9 samcù a 29 samic

6 Diskuze

Výsledky experimentu podporují tvrzení Byrda a Castnera (2010), že ohořelé kadávery jsou pro hmyz stále velice atraktivní. Na ohořelých kadáverech se vylíhlo o 28 jedinců více než na kadáverech kontrolních. To lze odůvodnit prasklinami kůže vzniklými po ohoření, které dle Byrda a Castnera (2010) mouchy lákají a přítomností relativně nepoškozeného masa, kterého i po ohoření zůstalo poměrně velké množství. Na rozdíl od zjištění Avila a Goffa (1998), kteří popisují dřívější kolonizaci ohořelých kadáverů v porovnání s čerstvými, při vlastním experimentu byly první mouchy pozorovány na ohořelých kadáverech mnohem později než na kadáverech kontrolních.

Celkově bylo determinováno 6 druhů (viz Graf 3): *Calliphora vomitoria*, *Lucilia caesar*, *Lucilia sericata*, *Protophormia terraenovaea*, *Hydrotaea dentipes*, *Fannia canicularis*. Dle mnoha autorů (Daněk 1990; Klimešová et al. 2016; Smith 1986; Šuláková 2014) řadíme tyto druhy mezi běžně se vyskytující na mrtvolách, což náš experiment potvrzuje. Naopak druhy *Musca autumnalis* a *Calliphora vicina*, které jsou popisovány jako běžně zastoupené (Šuláková 2014; Smith 1986), v experimentu determinovány nebyly.

U ohořelých kadáverů značně převládal druh *Lucilia sericata* (viz Grafy 3, 4, 5, 6). Jeho dominantní zastoupení si můžeme odůvodnit vlivem teploty kadáveru na počátku rozkladu. Erzinclioglu (1996) a Povolný (1978) tvrdí, že *Lucilia sericata* klade vajíčka na mrtvoly, které mají teplotu 30 °C a vyšší. Vzhledem k opálení kadáverů, které předcházelo volné expozici, a poměrně vysoké denní teplotě v době volné expozice experimentu lze předpokládat, že ohořelé kadávery si po delší dobu uchovaly vyšší vnitřní teplotu, a tudíž byly pro druh *Lucilia sericata* mnohem atraktivnější než kadávery kontrolní.

Naopak u kontrolních kadáverů dominoval druh *Hydrotaea dentipes* (viz Grafy 3, 7, 8, 9). Výsledky experimentu tak odporují tvrzení Povolného (1978) a Šulákové (2014), že mouchy rodu *Hydrotaea* nalétávají na mrtvolu až ve druhém či třetím sledu. Dle tohoto předpokladu by *Hydrotaea dentipes* měla preferovat kadávery ohořelé, které byly v rozkladu urychleny. V našem experimentu tomu však bylo naopak. Lze souhlasit s Šulákovou (2014), která uvádí, že samičky rodu *Hydrotaea* kladou vajíčka do tzv. lože mrtvoly, kde se larvy nejprve živí rozkladnou tekutinou. Na základě tohoto tvrzení lze konstatovat, že samičky rodu *Hydrotaea* zcela zjevně preferovaly kontrolní kadávery, které nebyly tak vysušené jako kadávery ohořelé, a tudíž z nich vytékalo více rozkladné tekutiny. Lože mrtvoly u kontrolních kadáverů nebylo tak suché a larvy měly více potravy a vyšší pravděpodobnost přežití.

Celkově nejmenší zastoupení ze všech druhů, které se v našem experimentu vyskytly, vykazoval druh *Lucilia caesar* (viz Graf 3). Dle Šulákové (2014) a Strause et al. (2017) jsou na lidské mrtvole obvykle dominantní jeden, dva či tři druhy bzučivek, ostatní jsou zastoupeny pouze v omezeném počtu. Kadávery slepic jsou však výrazně menší, tudíž jejich úživnost klesá a počet dominantních druhů bude ještě nižší. Je logické, že na menších kadáverech zvířat více působí mezidruhová konkurence než na lidských mrtvolách. Na základě těchto skutečností lze předpokládat, že bzučivka *Lucilia sericata* kolonizovala kadávery první a tímto „obsadila“ pozici dominantního druhu. Samičky *Lucilia caesar*, které pravděpodobně přiletěly později, nebyly schopné klást vajíčka již v takovém množství.

Na kadáverech byl jako další zaznamenán druh *Calliphora vomitoria*. Erzinclioglu (1996) a Byrd a Castner (2010) uvádí, že tento druh preferuje kadávery o větší velikosti. Tomuto

tvrzení neodpovídají poznatky z vlastního experimentu, protože *Calliphora vomitoria* se objevila i na slepičích kadáverech (viz Grafy 1, 2). Dle Povolného (1978) je tento druh přitahován otevřenými ranami. Tak lze vysvětlit jeho větší zastoupení na ohořelých kadáverech (viz Graf 3). Kůže ohořelých kadáverů byla po opálení více popraskaná a bez peří, objevovalo se na ní větší množství otevřených ran a tím byly ohořelé kadávery pro druh *Calliphora vomitoria* více atraktivní.

Zaznamenání druhu *Protophormia terraenovae* v realizovaném experimentu je přímém v rozporu se závěry Gennardové (2007), která uvádí, že tento druh preferuje vyšší nadmořské výšky, a stejně tak Povolného (1982), který tvrdí, že *Protophormia terraenovae* se v nižších polohách na dekompozici kadáverů téměř neuplatňuje. V České republice se však dle Šulákové (2014) jedná o běžně se vyskytující a kriminalisticky relevantní druh. *Protophormia terraenovae* dle Smitha (1986) preferuje chladnější podnebí. Lokalita, na které pokus probíhal je položena severněji, tudíž zde dlouhodobě nepůsobí tak vysoké teploty a *Protophormia terraenovae* se zde objevuje.

Výskyt *Fannia canicularis* byl poměrně vysoký u obou skupin kadáverů (viz Graf 3). Výsledky experimentu potvrdily tvrzení Bartáka et al. (2016), že se v našich podmínkách jedná o druh běžně zastoupený na mrtvolách, který má velký forenzní význam. Počty zjištěných jedinců na experimentálních kadáverech v poměru k ostatním zástupcům dvoukřídlých (viz Grafy 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) potvrzují pozorování Byrda a Castnera (2010), že se v teplých měsících může jednat o relativně hojný druh.

Výsledky chí-kvadrát testu prokázaly, že v případě našeho experimentu je statisticky významný rozdíl v druhovém složení vylíhnutého hmyzu mezi skupinou ohořelých a kontrolních kadáverů (viz Obrázek 1). Aby mohly být tyto výsledky považovány za spolehlivé je však nutné provést více takovýchto experimentů.

7 Závěr

Práce se zaměřuje na oblast forezní entomologie a jejím cílem bylo shromáždit a shrnout základní poznatky o sukcesi, faktorech, které ji ovlivňují, a nekrofágním hmyzu kolonizujícím mrtvá těla. Největší pozornost byla věnována faktoru ohoření. Výstupem této práce je literární rešerše a terénní experiment.

Ohořelé a kontrolní kadávery se výrazně odlišovaly v tafonomických změnách během rozkladu. U kontrolních kadáverů byly tafonomické změny jasně viditelné a na konci experimentu byly kadávery již značně rozloženy. Ohořelé kadávery nevykazovaly téměř žádné tafonomické změny, pouze se na nich objevila plíseň, a koncem experimentu vypadaly stále stejně jako na začátku.

Náš experiment se měl zaměřovat na čeledi Calliphoridae, Sarcophagidae a Muscidae. Z čeledi Sarcophagidae však nebyl determinován žádný jedinec, ale objevily se zástupci čeledi Fanniidae.

Druhové složení mezi skupinami ohořelých a kontrolních kadáverů se významně lišilo zejména u druhů *Lucilia sericata* a *Hydrotaea dentipes*. U dalších druhů se také objevily rozdíly, ovšem nebyly tak patrné. Rozdíl v celkovém počtu much vylíhnutých na obou skupinách kadáverů nebyl tak velký. Tudíž i ohořelé kadávery jsou pro hmyz stále velice atraktivní.

Výsledky našeho experimentu potvrdily nulovou hypotézu, že ohoření kadáveru na začátku rozkladu ovlivňuje druhové složení nekrofágního hmyzu.

8 Literatura

Amendt J, Goff ML, Campobasso CP, Grassberger M. 2010. Current Concepts in Forensic Entomology. Springer, Berlín.

Ames C, Turner B. 2003. Low temperature episodes in development of blowflies: implications for post mortem interval estimation **17**:178-186.

Archer MS, Elgar MA. 2003. Effects of decomposition on carcass attendance in a guild of carrion-breeding flies. *Medical and Veterinary Entomology* **17**:263-271.

Arnaldos MI, Romera E, Presa JJ, Luna A, García MD. 2004. Studies on seasonal arthropod succession on carrion in the southeastern Iberian Peninsula. *International Journal of Legal Medicine* **118**:197-205.

Avil FA, Goff ML. 1998. Arthropod succession patterns on burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian islands. *Journal of Forensic Sciences* **43**(3): 581–586.

Barták M, Preisler J, Kubík Š, Šuláková H, Sloup V. 2016. Fanniidae (Diptera): new synonym, new records and an updated key to males of European species of *Fanniia*. *ZooKeys* **593**:91-115.

Baz A, Cifrián B, Díaz-Aranda LM, Martín-Vega D. 2007. The distribution of adult blow-flies (Diptera: Calliphoridae) along an altitudinal gradient in Central Spain. *Annales de la Société entomologique de France* **43** (3):289-296.

Benecke M. 2001. Forensic Entomology: The Next Step. *Forensic Science International* **120**:1.

Byrd JH, Castner JL. 2010. Forensic Entomology – The Utility of Arthropods in Legal Investigation. CRC Press, Boca Raton.

Campobasso CP, Gherardi M, Caligara M, Sironi L, Introna F. 2004. Drug analysis in blowfly larvae and in human tissues: a comparative study. *International Journal of Legal Medicine* **118**:210-214.

Centeno N, Maldonado M, Oliva A. 2002. Seasonal patterns of arthropods occurring on sheltered and unsheltered pig carcasses in Buenos Aires Province (Argentina). *Forensic Science International* **126**:63-70.

Daněk L. 1980. Možnosti využití entomologie v kriminalistice. *Československá kriminalistika* **1**:44-55.

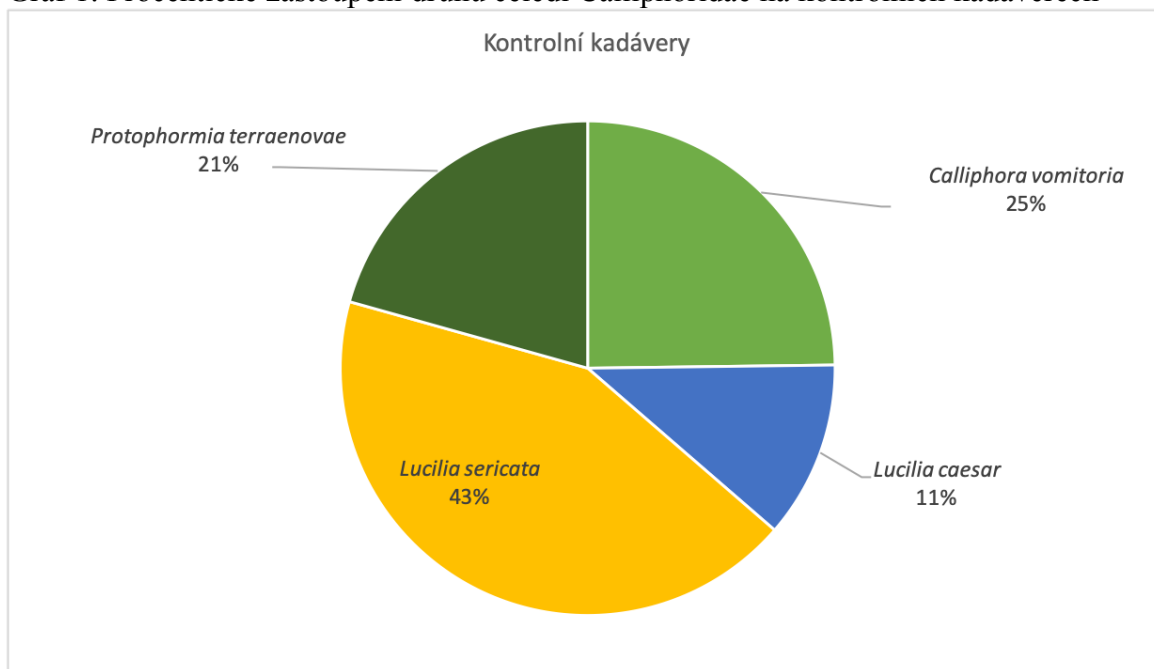
Daněk L. 1990. Možnosti využití entomologie v kriminalistice. *Kriminalistický ústav VB, Praha*.

- Dix J, Graham M. 2000. Time of Death, Decomposition and Identification: An Atlas. CRC Press, Boca Raton.
- Domínguez MC, Pont AC. 2014. Fanniidae (Insecta: Diptera). Fauna of New Zealand **71**:5-91.
- Draber-Mońko A. 2004. Calliphoridae. Plujky (Insecta: Diptera). Fauna Polski, Varšava.
- Ercinclioglu Z. 1996. Blowflies. The Richmond Publishing Co. Ltd, Slough.
- Gennard DE. 2007. Forensic Entomology – An Introduction. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Gregor F, Rozkošný R, Barták M, Vaňhara J. 2002. The Muscidae (Diptera) of Central Europe. Masaryk University, Brno.
- Gruner SV, Slone DH, Capinera JL. 2007. Forensically Important Calliphoridae (Diptera) Associated with Pig Carrion in Rural North-Central Florida. Journal of Medical Entomology **44** (3):509-515.
- Hanski I. 1987. Carrion fly community dynamics: patchiness, seasonality and coexistence. Ecological Entomology **12**:257-266.
- Klimešová V, Slobodová M, Šuláková H, Barták M. 2014. Využití čeledi Muscidae (Diptera) ve forenzní praxi. Pages 67-76 in Kubík Š, Barták M, editors. 6th Workshop on biodiversity, Jevany. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Klimešová V, Olekšáková T, Barták M, Šuláková H. 2016. Forensically important Muscidae (Diptera) associated with decomposition of carcasses and corpses in the Czech republic. Pages 784-789 in Polák O, Cerkal R, Březinová Belcredi N, Horký P, Vacek P, editors. MendelNet 2016 – Proceedings of International PhD Students Conference. Mendel University in Brno, Czech republic, Brno.
- Lang MD, Allen GR, Horton BJ. 2006. Blowfly succession from possum (*Trichosurus vulpecula*) carrion in a sheep-farming zone. Medical and Veterinary Entomology **20**:445-452.
- Laupy M. 1994. Post mortem interval a nekrofilní mouchy. Kriminalistika **27** (2):121-135.
- Leccese A. 2004. Insects as forensic indicators: methodological aspects. Aggrawal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology **5**:26-32.
- Martínez-Sánchez A, Rojo S, Marcos-García MA. 2000. Annual and spatial activity of dung flies and carrion in a Mediterranean holm-oak pasture ecosystem. Medical and Veterinary Entomology **14**:56-63.
- Povolný D. 1978. Hmyz v kriminologii. Vesmír **7**:205-208.

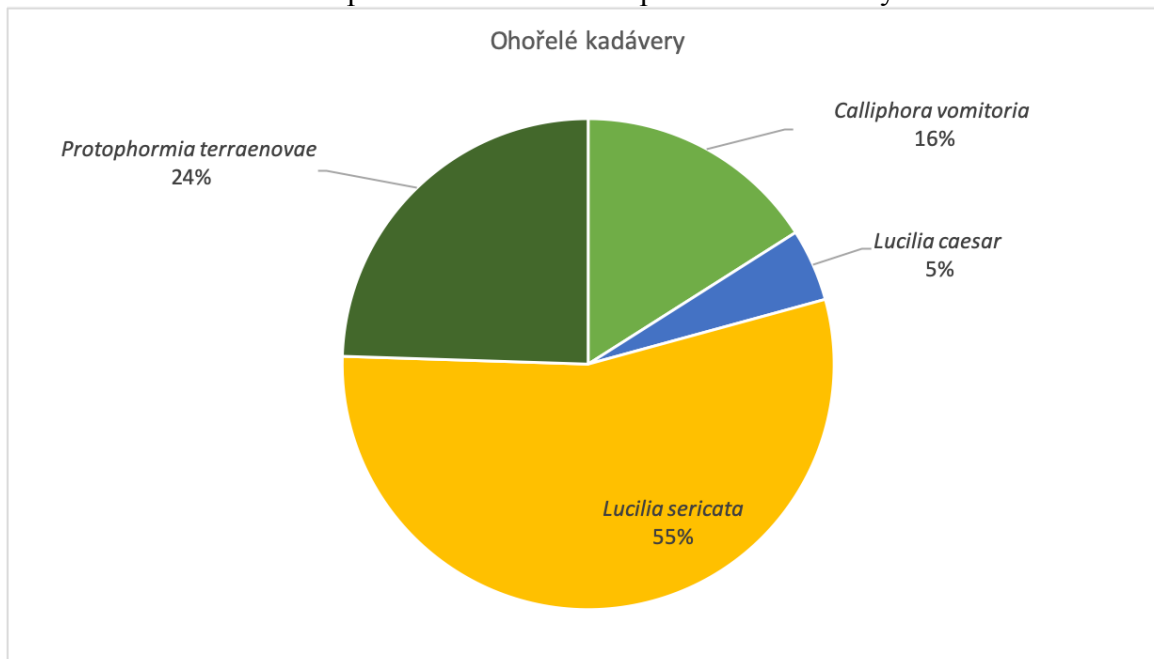
- Povolný D. 1982. Několik úvah o osudech mrtvol obratlovců v přírodě. *Živa* **1**:24-28.
- Rognes K. 1991. Blowflies (Diptera, Calliphoridae) of Fennoscandia and Denmark. *Fauna entomologica Scandinavica*, Leiden.
- Rognes K. 2013. Fauna Europaea: Calliphoridae. Fauna Europaea: Diptera, Brachycera. Fauna Europaea version 2.6.2. Available from <http://www.faunaeur.org> (accessed December 2019).
- Rozkošný R, Gregor F, Pont AC. 1997. The European Fanniidae (Diptera). *Acta Scientiarum Naturalium Academiae Scientiarum Bohemicae Brno* **31**:1-80
- Schroeder H, Klotzbach H, Püschel K. 2003. Insects' colonization of human corpses in warm and cold season. *Legal Medicine* **5**:372-374.
- Smith KGV. 1986. A Manual of Forensic Entomology. The Trustees of the British Museum (Natural History), Oxford.
- Straus J, et al. 2017. Teorie, metody a metodologie kriminalistiky. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., Plzeň.
- Šuláková H. 2006. Speciální biologie: využití hmyzu při stanovení post mortem intervalu. *Kriminalistický sborník* **3**:36-37.
- Šuláková H, Rognes K, Barták M, Kubík Š. 2013. Calliphoridae (Diptera) of Vráž nr. Písek (Czech Republic). Pages 381-388 in Kubík Š, Barták M, editors. Workshop on biodiversity, Jevany. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šuláková H, Barták M. 2013. Forensically important Calliphoridae (Diptera) associated with animal and human decomposition in the Czech Republic: preliminary results. *Čas. Slez. Muz. Opava (A)* **62**:255-266.
- Šuláková H. 2014. Forenzní entomologie – když smrt je začátek. *Živa* **5**:250-256.
- Šuláková H, Barták M, Vaněk J. 2014. Bzučivkovití (Diptera, Calliphoridae) české části Krkonoš. *Opera Corcontica* **51**:145-15.
- Watson EJ, Carlton CE. 2003. Spring Succession of Necrophilous Insects on Wildlife Carcasses in Louisiana. *Journal of Medical Entomology* **40** (3):338-347.
- Watson EJ, Carlton CE. 2005. Insect Succession and Decomposition of Wildlife Carcasses During Fall and Winter in Louisiana. *Journal of Medical Entomology* **42** (2):193

9 Samostatné přílohy

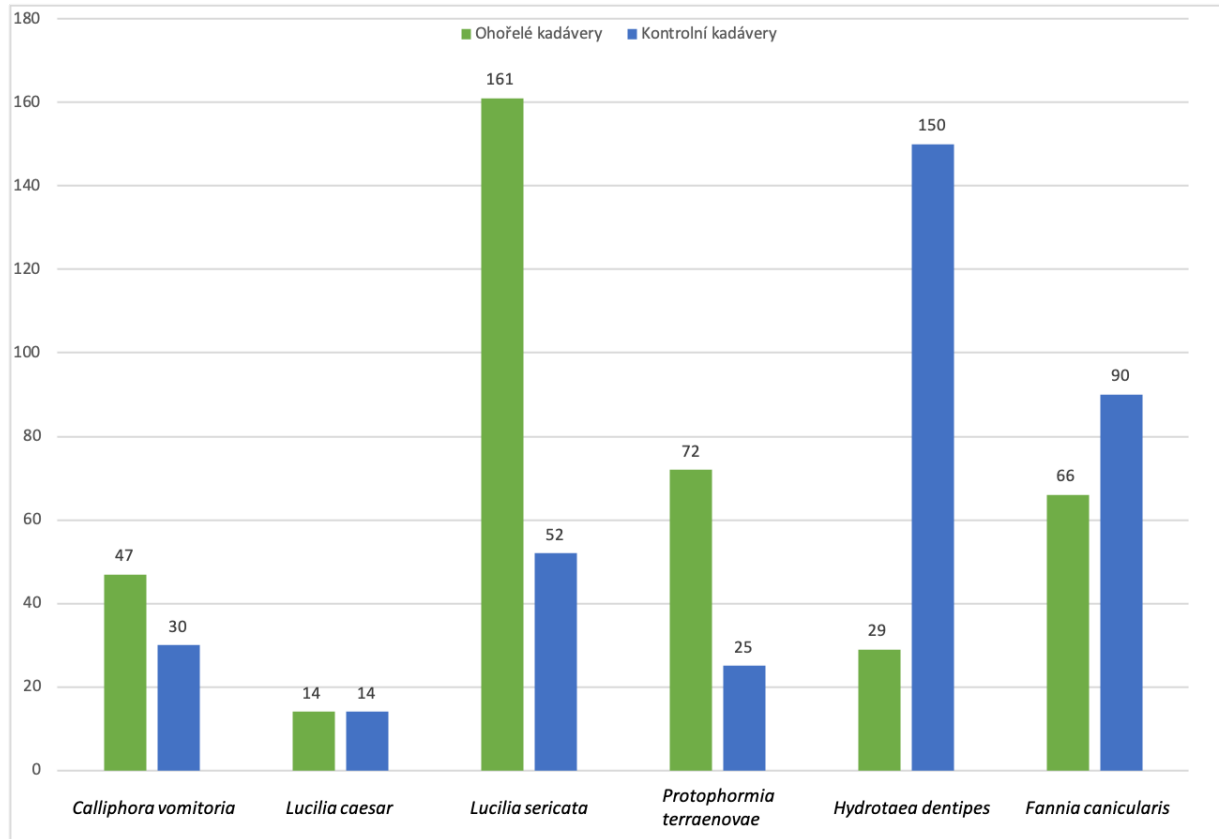
Graf 1: Procentické zastoupení druhů čeledi Calliphoridae na kontrolních kadáverech



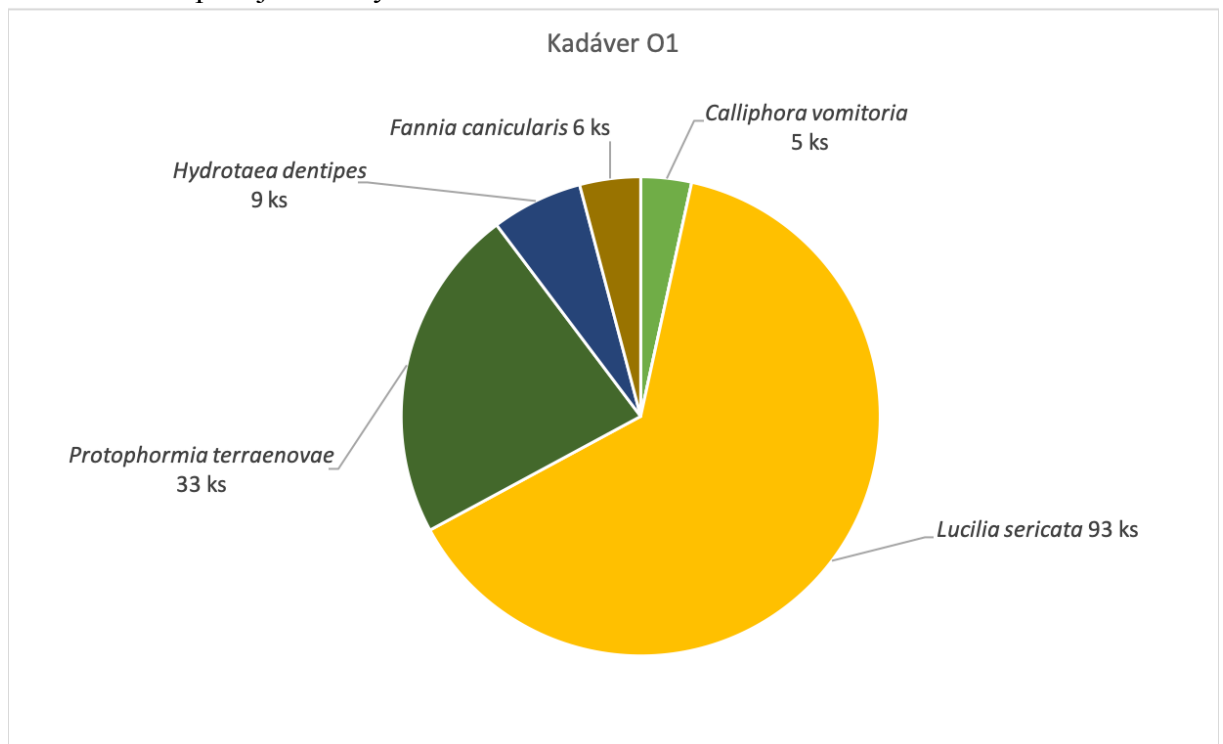
Graf 2: Procentické zastoupení druhů čeledi Calliphoridae na ohořelých kadáverech



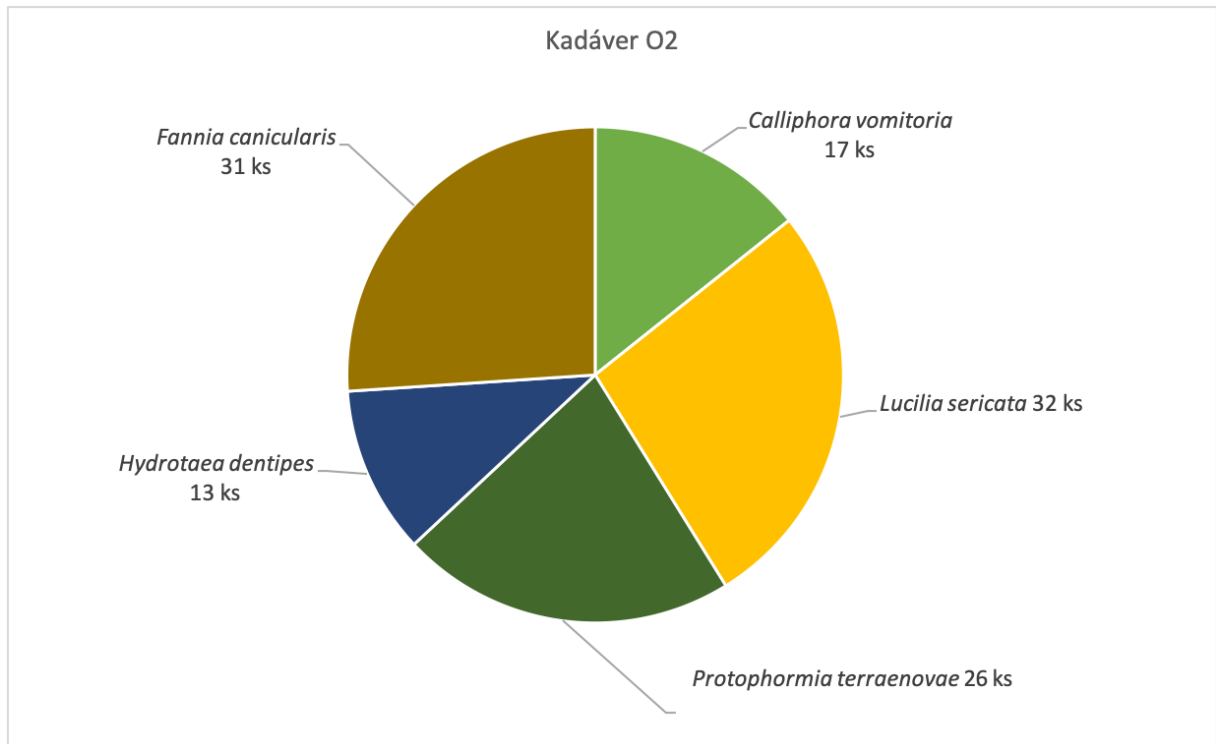
Graf 3: Množství jedinců jednotlivých druhů na kontrolních a ohořelých kadáverech



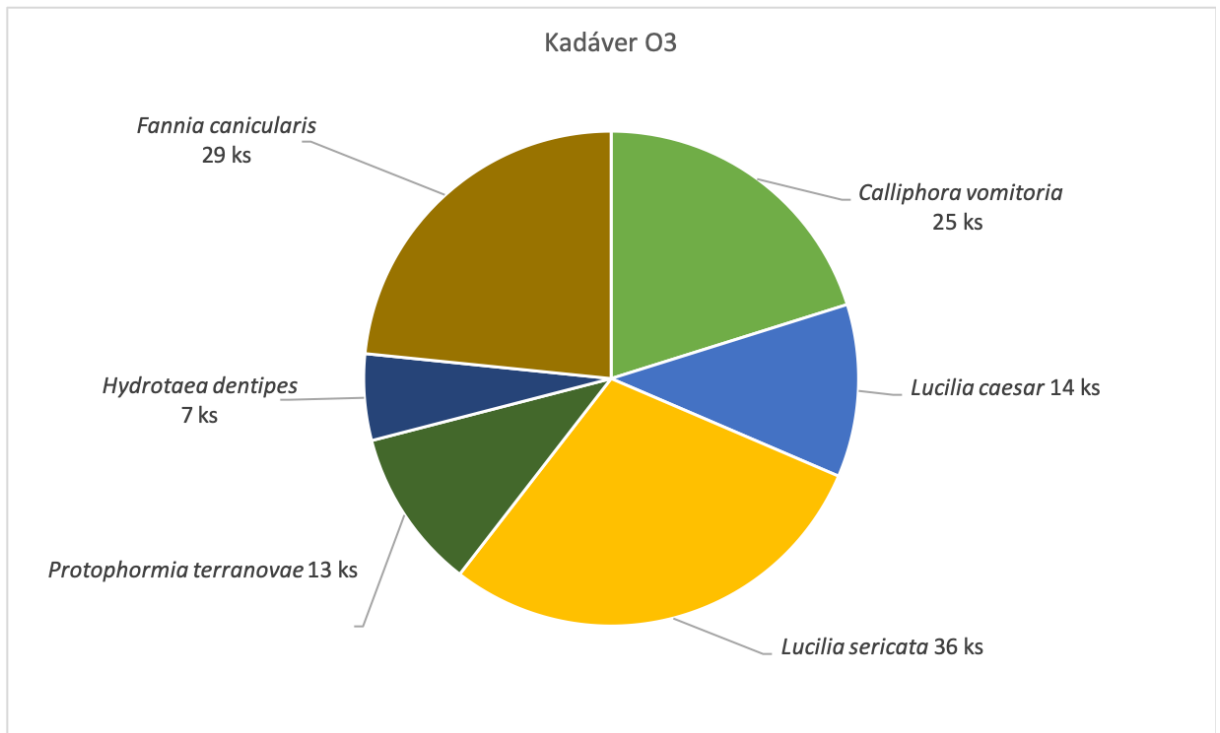
Graf 4: Zastoupení jednotlivých druhů na kadáveru O1



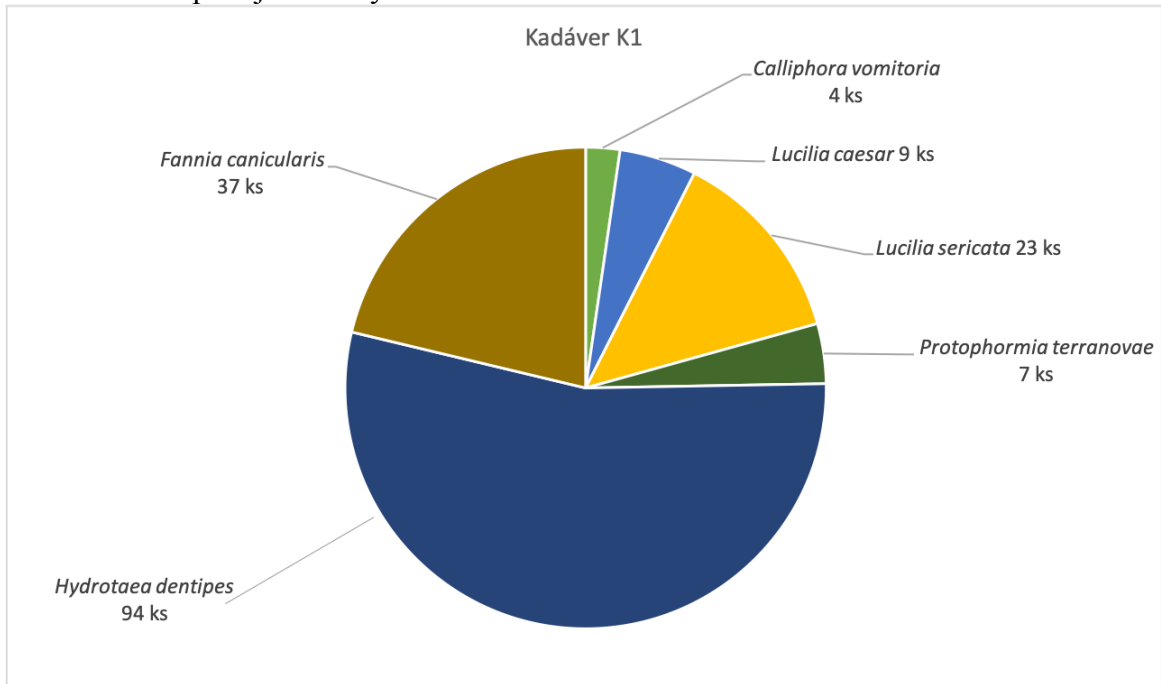
Graf 5: Zastoupení jednotlivých druhů na kadáveru O2



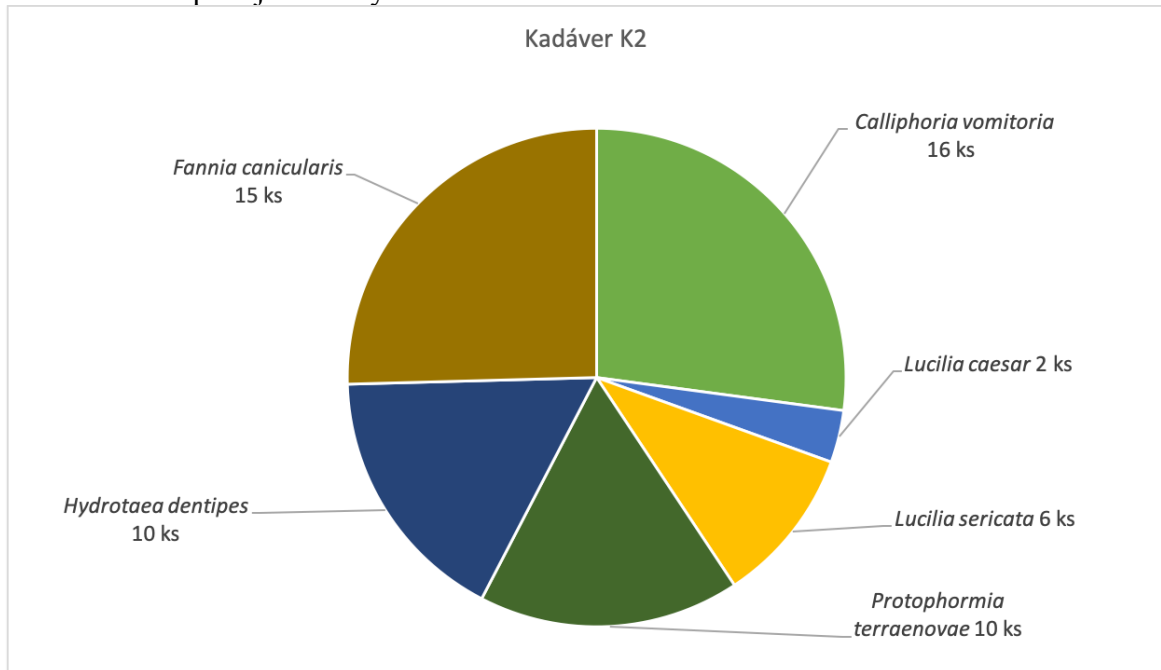
Graf 6: Zastoupení jednotlivých druhů na kadáveru O3



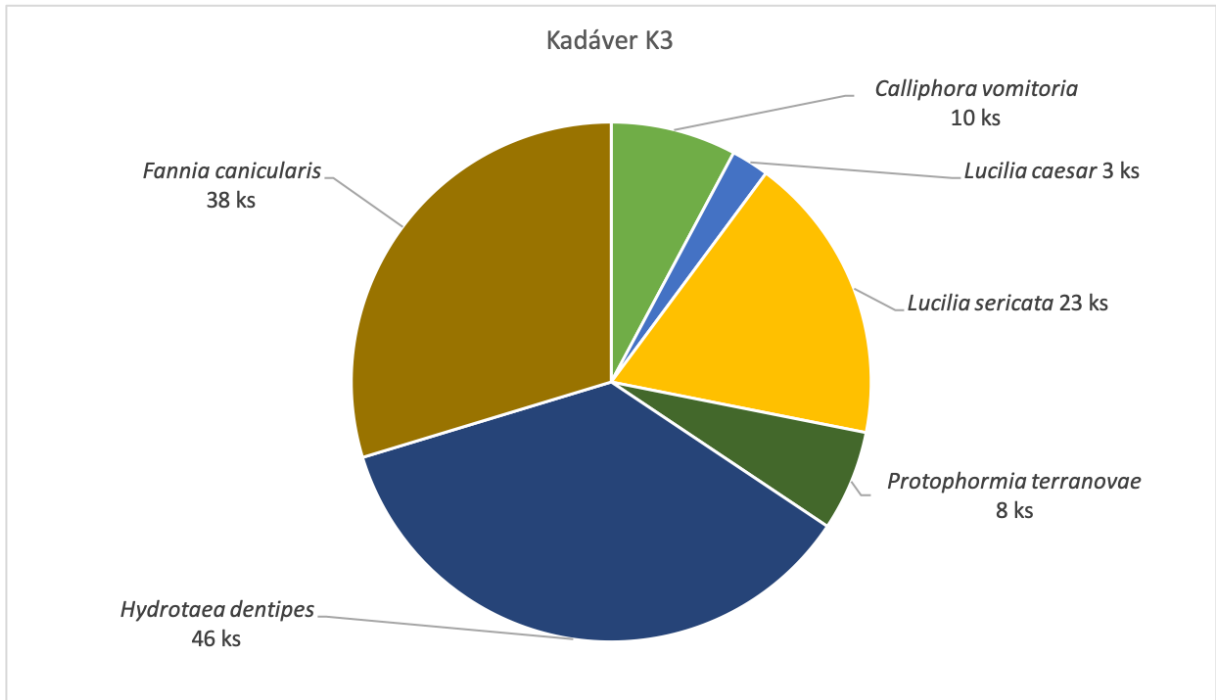
Graf 7: Zastoupení jednotlivých druhů na kadáveru K1



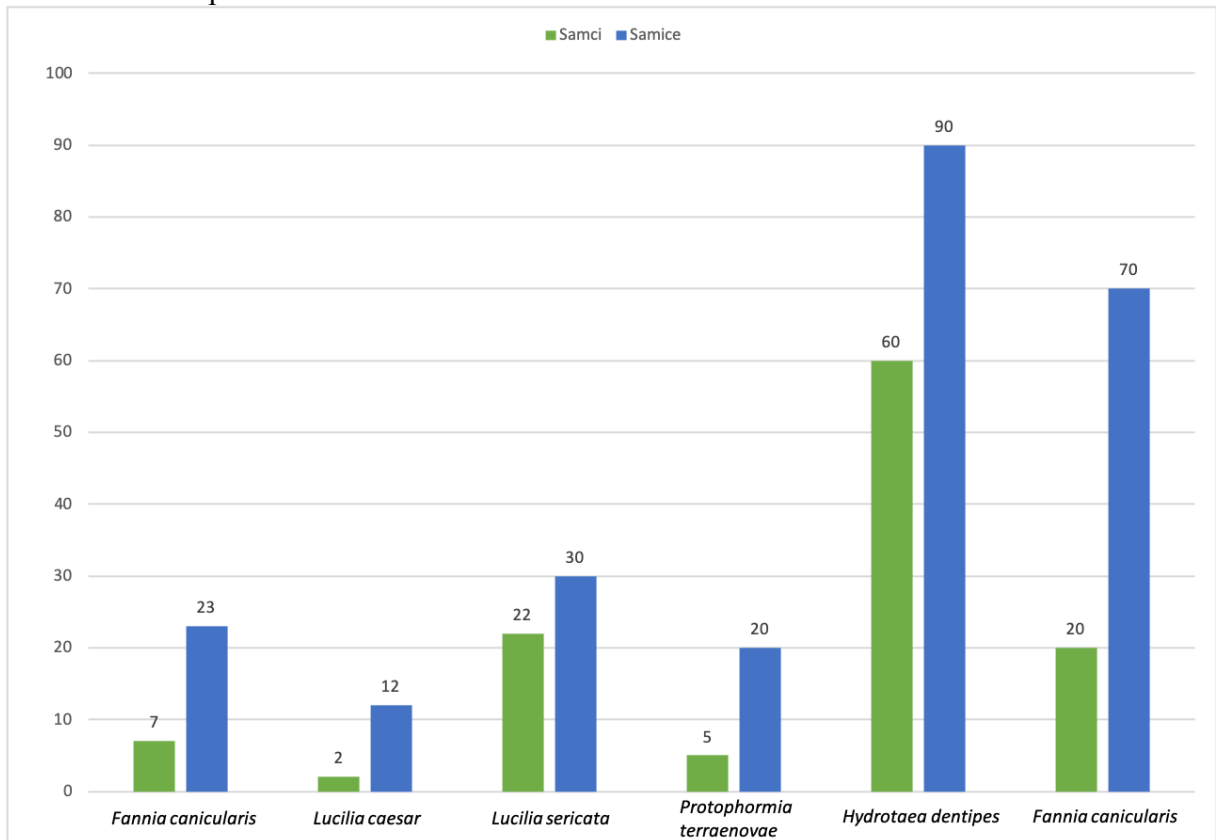
Graf 8: Zastoupení jednotlivých druhů na kadáveru K2



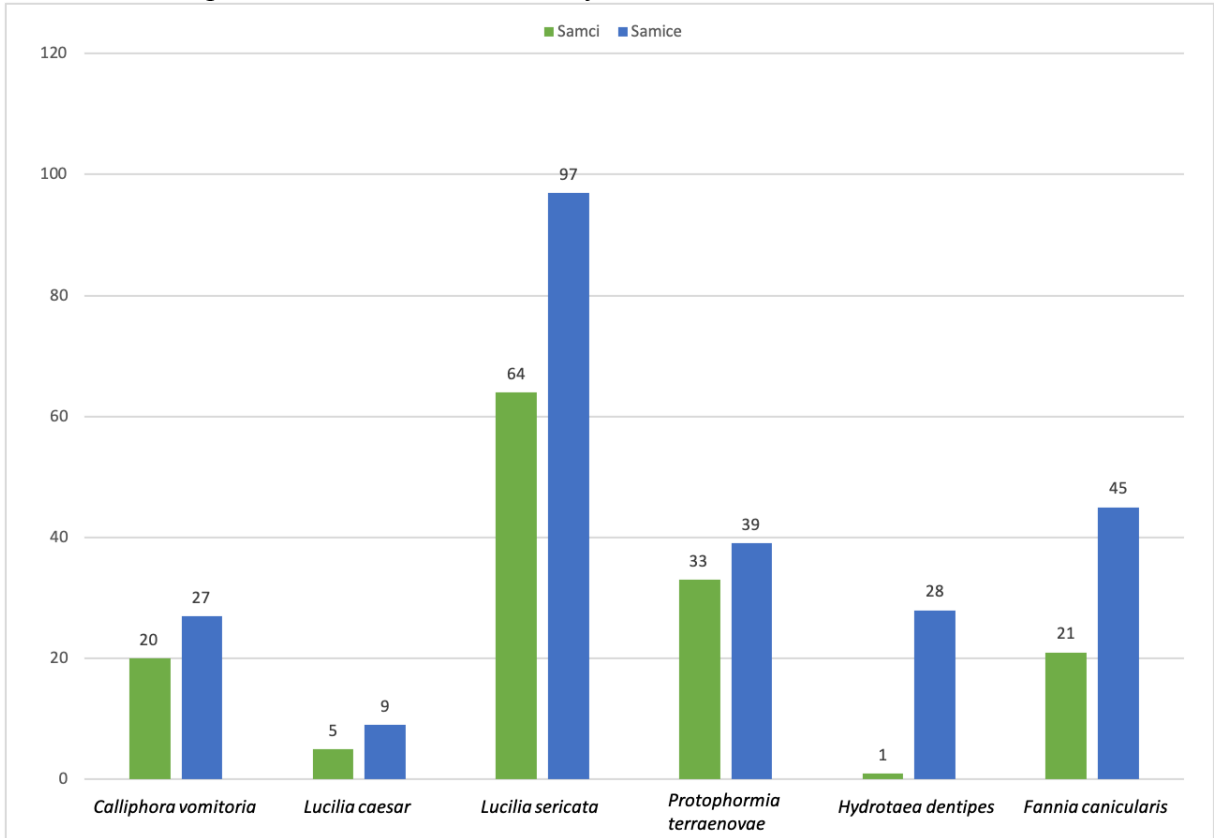
Graf 9: Zastoupení jednotlivých druhů na kadáveru K3



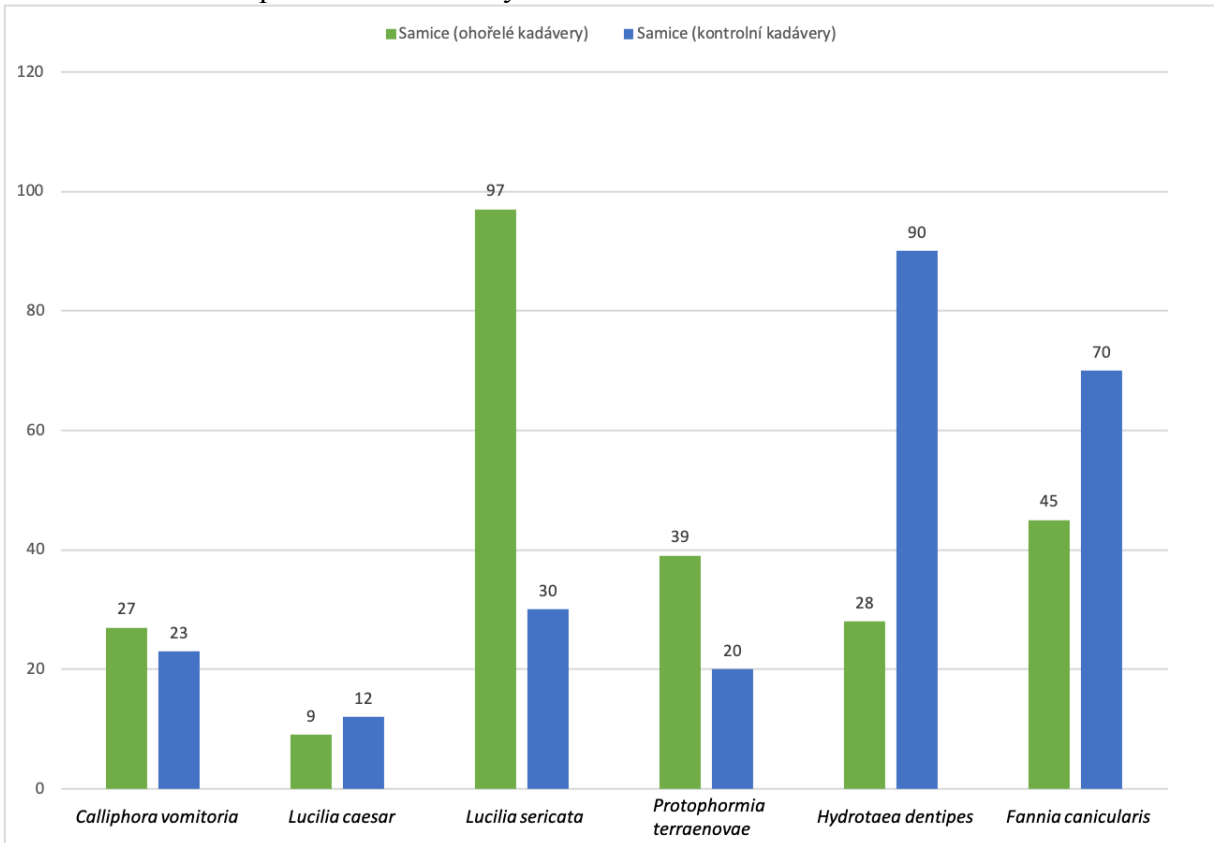
Graf 10: Zastoupení samců a samic na kontrolních kadáverech



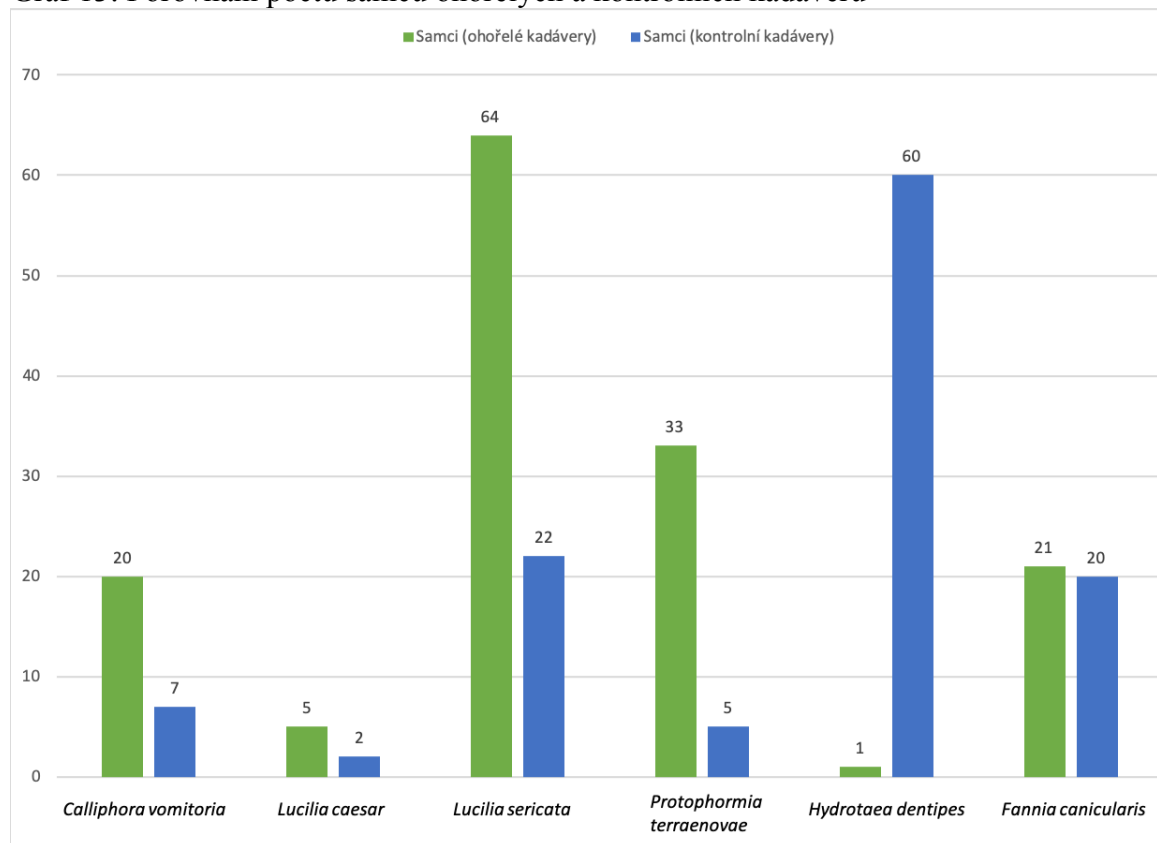
Graf 11: Zastoupení samců a samic na ohořelých kadáverech



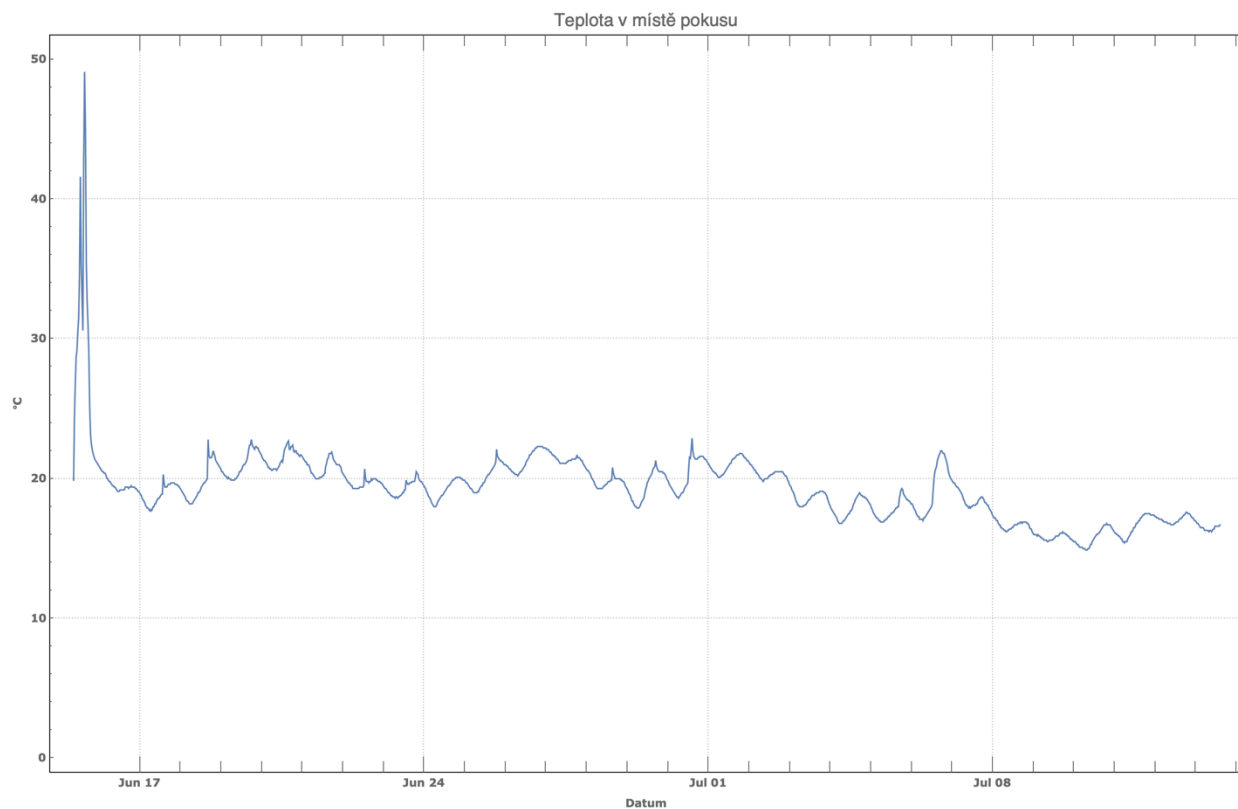
Graf 12: Porovnání počtu samic ohořelých a kontrolních kadáverů



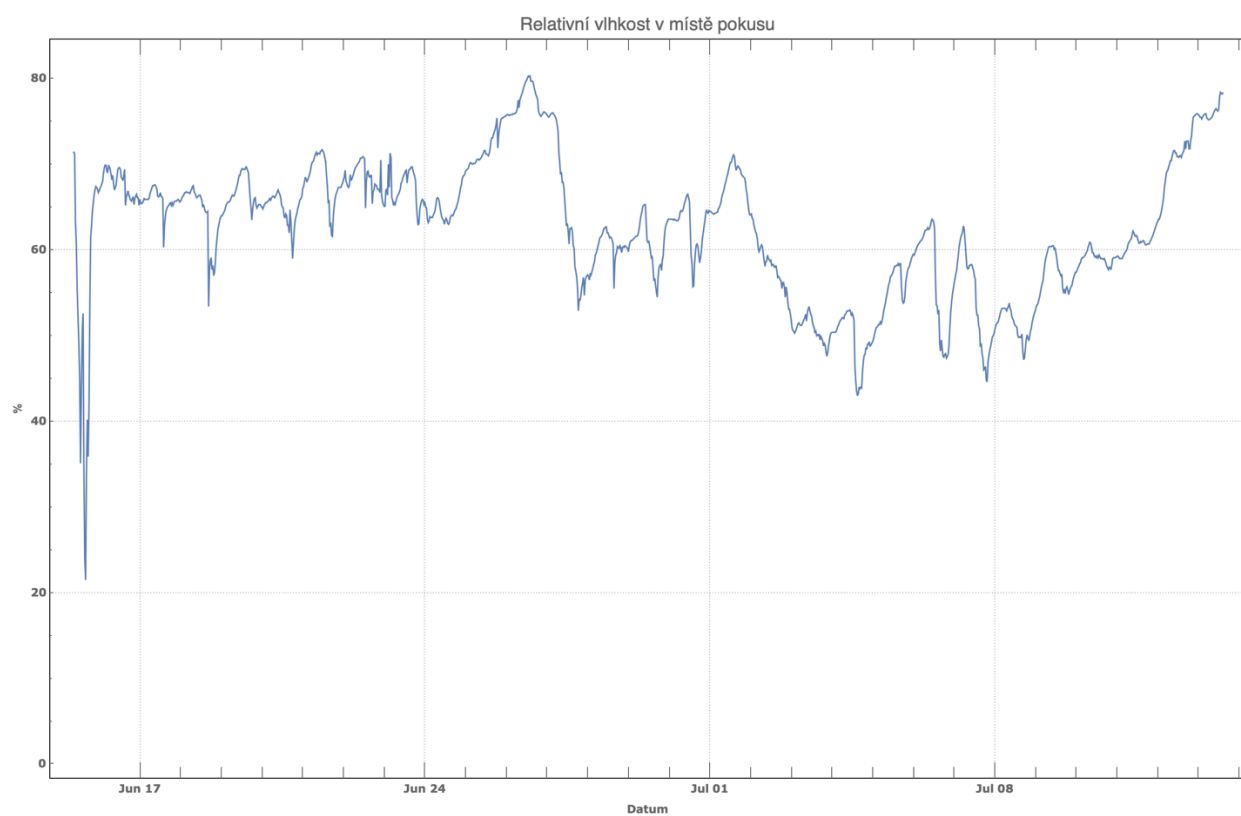
Graf 13: Porovnání počtu samců ohořelých a kontrolních kadáverů



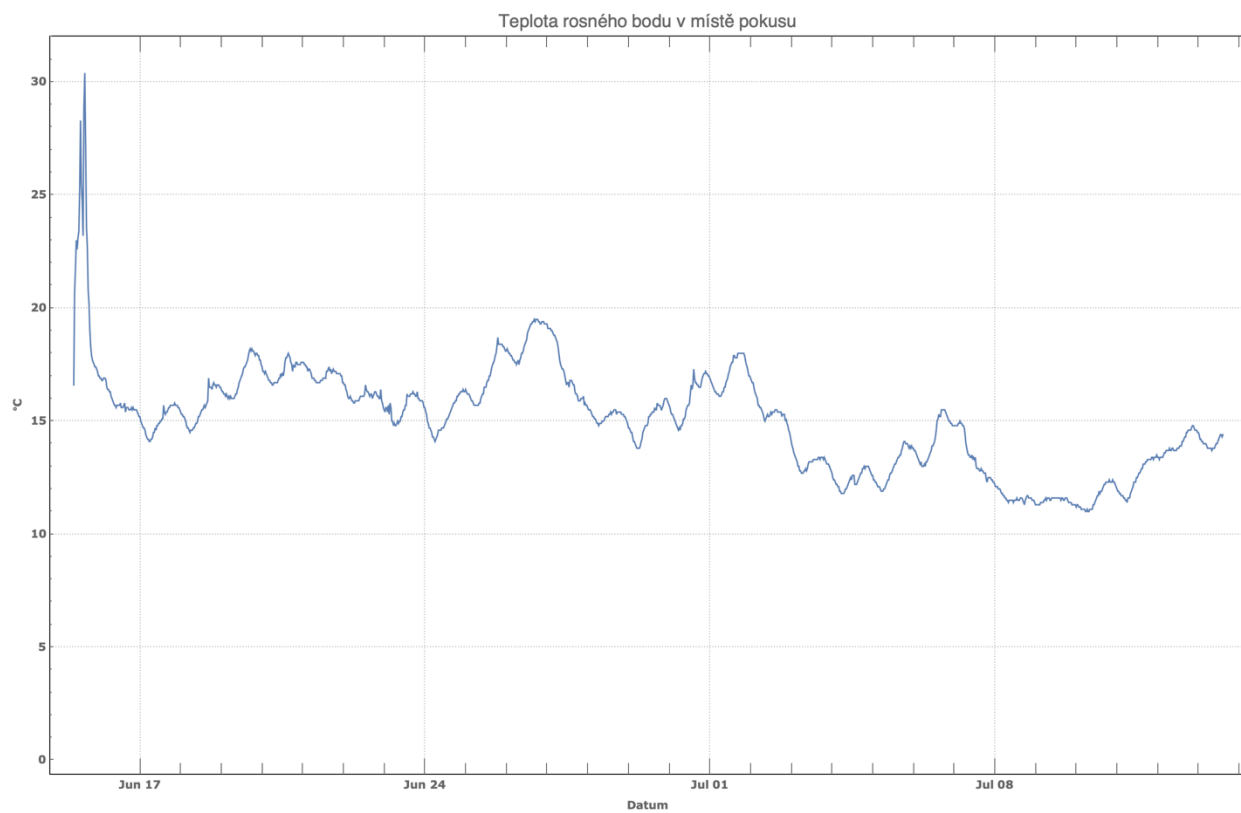
Graf 14: Teplota během experimentu



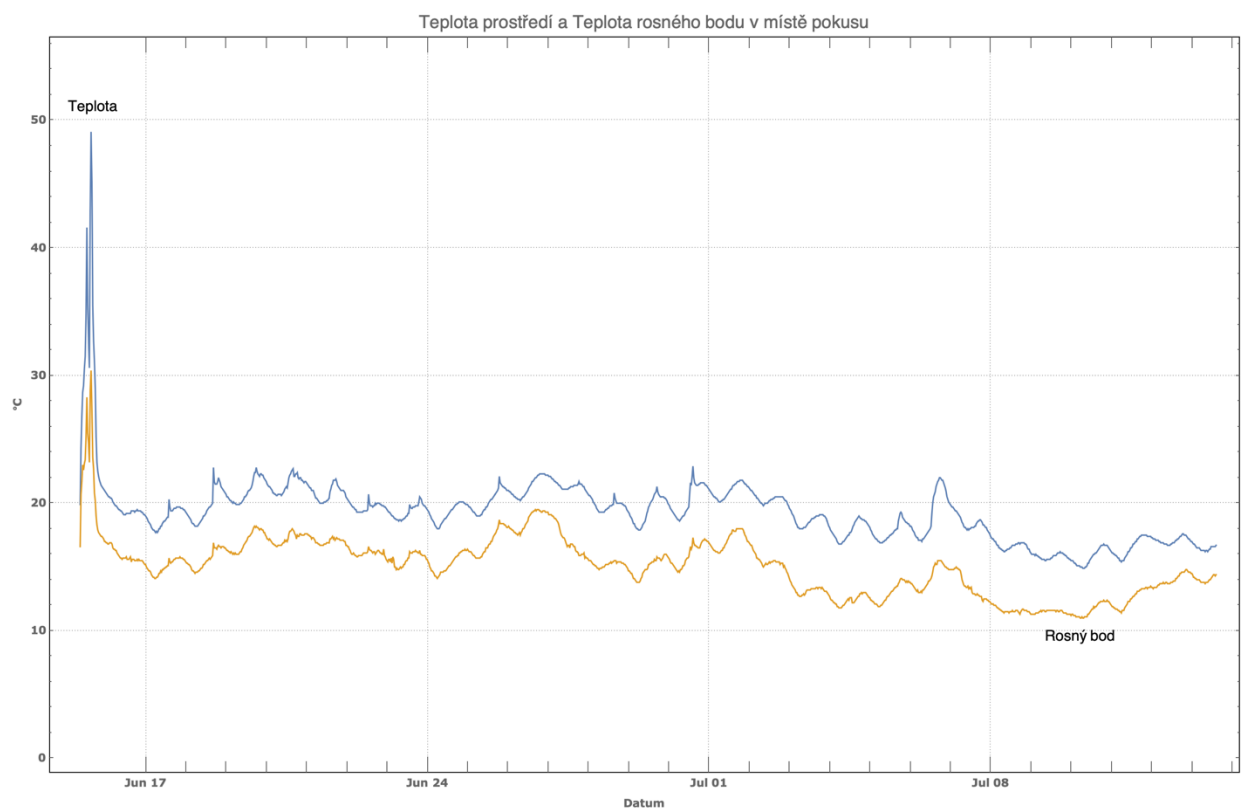
Graf 15: Relativní vlhkost během experimentu



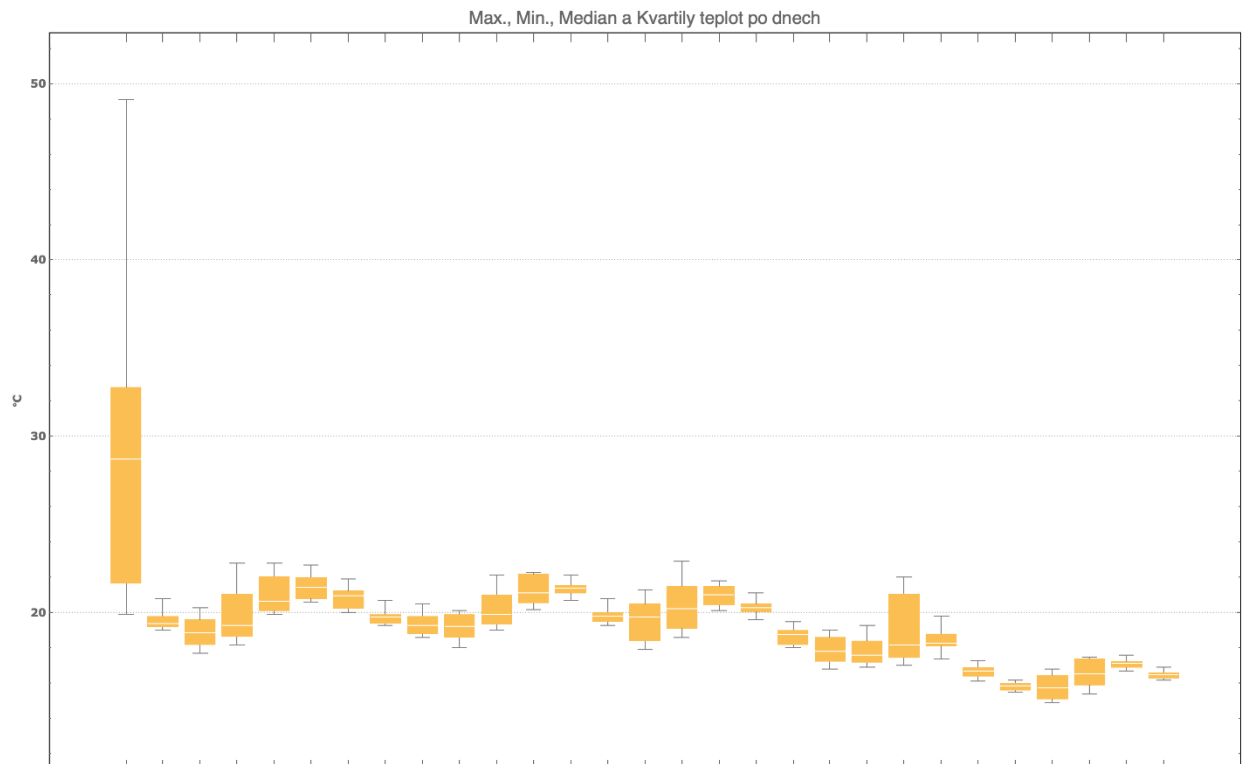
Graf 16: Teplota rosného bodu během experimentu



Graf 17: Teplota prostředí a teplota rosného bodu



Graf 18: Základní hodnoty teploty



Obrázek 1: Statistické porovnání variant pomocí chí-kvadrát testu

Pearson's chi-squared test nezávislosti druhového složení hmyzu mezi skupinou ohořelých a neohořelých kadáverů

```
In [9]: # výpočet je založen na open-source knihovně scipy
# https://www.scipy.org
```

```
import scipy.stats
```

```
In [11]: # počty jedinců v obou skupinách (data_ohorela, data_neohorela) jsou
# uvedeny v pořadí:
# Calliphora vomitoria, Lucilia caesar, Lucilia sericata, Protophormia
# terraenovae, Hydrotaea dentipes, Fannia canicularis

# počty jedinců vylíhnutého hmyzu z ohořelých kadáverů
data_ohorela = [47, 14, 161, 72, 29, 66]

# počty jedinců vylíhnutého hmyzu z neohořelých kadáverů
data_kontrolni = [30, 14, 52, 25, 150, 90]

# výpočet chi-squared statistiky a skutečné hodnoty p value (pro porovnání
# s úrovní spolehlivosti)
# počet stupňů volnosti -> 5
# úroveň spolehlivosti -> 5% (0.05)

# H0 (null hypothesis): Mezi oběma skupinami není statistický významný
# rozdíl v druhovém složení vylíhnutého hmyzu
# H1 (alternative hypothesis): Mezi oběma skupinami je statisticky
# významný rozdíl v druhovém složení vylíhnutého hmyzu

scipy.stats.chi2_contingency([data_ohorela, data_kontrolni])
```

```
Out[11]: (166.9787871237533,
3.2181545269078098e-34,
5,
array([[ 39.93733333,  14.52266667, 110.476      ,  50.31066667,
          92.84133333,  80.912       ],
       [ 37.06266667,  13.47733333, 102.524      ,  46.68933333,
          86.15866667,  75.088       ]]))
```

diskuse výsledků

```
In [12]: # chi-squared statistika: 166.98
# skutečná p value: 3.2181545269078098e-34
# protože skutečná p value (3.2181545269078098e-34) je menší než hodnota
# úrovně spolehlivosti (0.05) přijímám alternativní hypotézu H1
```

Obrázek 2: Připravené plastové boxy



Obrázek 3: Opalování kadáveru



Obrázek 4: Ohořelý kadáver



Obrázek 5: Kontrolní kadáver



Obrázek 6: Kadávery během volné expozice



Obrázek 7: Kolonizace kontrolního kadáveru



Obrázek 8: Kolonizace ohořelého kadáveru



Obrázek 9: Kadávery po přesunutí do uzavřeného prostoru



Obrázek 10: První larvy na kontrolním kadáveru



Obrázek 11: Čtvrtý den vnitřní expozice (kadáver K1)



Obrázek 12: Čtvrtý den vnitřní expozice (kadáver K3)



Obrázek 13: Objevující se plíseň na ohořelém kadáveru



Obrázek 14: Kontrolní kadáver v pokročilém rozkladu



Obrázek 15: Ohořelý kadáver během osmého dnu vnitřní expozice



Obrázek 16: Migrující larvy v písku po ohořelém kadáveru



Obrázek 17: Larvy v písku u kontrolního kadáveru



Obrázek 18: Nainstalovaná odchyťová zařízení



Obrázek 19: Vylíhnutí dospělí jedinci

