

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Sukcese hmyzu na mršinách velkých obratlovců

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Jakubec, Ph.D.

Autor práce: Aneta Volfová

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Aneta Volfová

Územní technická a správní služba

Název práce

Sukcese hmyzu na mršinách velkých obratlovců

Název anglicky

Insect succession on cadavers of large vertebrates

Cíle práce

- Popsat co je sukcese a jakým způsobem je ovlivňována vnějšími podmínkami.
- Popsat stádia rozkladu velkých obratlovců a porovnat s rozkladem menších mršin (rychlost, druhové složení, ...).
- Vytvořit komentovaný seznam druhů, které běžně kolonizují mršiny velkých obratlovců ve střední Evropě. V komentářích k jednotlivým kolonizátorům pak především zhodnotit dostupné informace o jejich ekologii a roli v potravním řetězci (predátor, parazit, nekrofág,...).
- Diskutovat využití znalostí o sukcesi hmyzu ve forenzní entomologii. Zaměřit se zejména na odhalování posmrtné manipulace s tělem a odhadu post-mortem intervalu.
- Nastínit oblasti výzkumu sukcese hmyzu na velkých obratlovcích, s možným využitím ve forenzní entomologii a připravit teoretický návrh metodiky, která by mohla být využita při studiu jednoho z těchto témat.

Metodika

Zpracovat bakalářskou práci na základě literární rešerše.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

forenzní entomologie, ekologie, posmrtná manipulace s tělem, hmyz

Doporučené zdroje informací

- AMENDT, J., CAMPOBASSO, C.P., GAUDRY, E., REITER, C., LEBLANC, H.N. & J. R. HALL, M. 2007: Best practice in forensic entomology – Standards and guidelines. *International Journal of Legal Medicine*, 121, 90–104.
- AMENDT, J., RICHARDS, C.S., CAMPOBASSO, C.P., ZEHNER, R. & HALL, M.J.R. 2011: Forensic entomology: Applications and limitations. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 7, 379–392.
- KALINOVÁ, B., PODSKALSKÁ, H., RŮŽICKA, J. & HOSKOVEC, M. 2009: Irresistible bouquet of death—how are burying beetles (Coleoptera: Silphidae: *Nicrophorus*) attracted by carcasses. *Die Naturwissenschaften*, 96, 889–99.
- KOČÁREK, P. 2001: Diurnal activity rhythms and niche differentiation in a carrion beetle assemblage (Coleoptera: Silphidae) in Opava, the Czech Republic. *Biological Rhythm Research*, 32, 431–438.
- MATUSZEWSKI, S., BAJERLEIN, D., KONWERSKI, S. & SZPILA, K. 2011: Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 3: Succession of carrion fauna. *Forensic Science International*, 207, 150–163.
- TOPP, W. 2003: Phenotypic plasticity and development of cold-season insects (Coleoptera: Leiodidae) and their response to climatic change. *European Journal of Entomology*, 100, 233–243.
- VILLET, M. 2011: African carrion ecosystems and their insect communities in relation to forensic entomology. *Pest Technol*, 5, 1–15.
- ZANETTI, N.I., VISCIARELLI, E.C. & CENTENO, N.D. 2015: Trophic roles of scavenger beetles in relation to decomposition stages and seasons. *Revista Brasileira de Entomologia*, 59, 132–137.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Pavel Jakubec, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2017

Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Sukcese hmyzu na mršinách velkých obratlovců“ vypracovala samostatně pod vedením, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů. Všechny zdroje, které jsem použila, jsou citovány v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne:

.....

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala především vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Jakubcovi, Ph.D. za trpělivost, odborné vedení, ochotu a cenné rady při zpracování práce. Poděkování patří také mé rodině za jejich podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale za celé studium.

V Praze dne:

.....

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá sukcesí hmyzu na mrtvých tělech velkých obratlovců. V rešeršní části je popsán samotný pojem sukcese, vnější vlivy, jež ji ovlivňují a modely sukcese. Dále se práce zabývá fázemi rozkladu mršin velkých obratlovců v porovnání s rozkladem menších obratlovců. Rovněž je v práci zahrnuta detailní charakteristika jednotlivých druhů hmyzu, jež se na kolonizaci mrtvých těl podílí. S kolonizací mrtvých těl souvisí oblast, ve které se hmyz využívá - forenzní entomologie a s ní související post mortem interval a posmrtná manipulace s tělem. Závěrem práce pojednává o návrhu jednoduchého experimentu na ověření vnějších vlivů na larvální vývoj.

Klíčová slova: forenzní entomologie, ekologie, posmrtná manipulace s tělem, hmyz

Abstract

The bachelor thesis deals with the succession of insects on the dead bodies of large vertebrates. The research part describes the concept of succession, the external influences and the succession models. Furthermore, the thesis deals with phases of decomposition of large vertebrate carrions in comparison with the decomposition of smaller vertebrates. A detailed description of the insect species involved in the colonization of dead bodies is also included in the thesis. Colonization of dead bodies is related to the area in which insects are used - the forensic entomology and its associated post-mortem interval and post-mortem manipulation of the body. The conclusion of the thesis deals with the design of a simple experiment to verify the external effects on the larval development.

Key words: forensic entomology, ecology, post-mortem manipulation of the body, insect

Obsah

1.	Úvod	11
2.	Cíl práce	12
3.	Literární rešerše	13
3.1	Sukcese	13
3.1.1	Vnější podmínky ovlivňující sukcesi	13
3.2	Modely sukcese	16
3.2.1	Facilitace.....	16
3.2.2	Inhibiční model.....	16
3.2.3	Toleranční model	17
3.3	Entomologie.....	17
3.4	Forenzní entomologie	17
3.4.1	Zajišťování entomologických stop	18
3.4.2	Laboratorní zpracování entomologických stop	20
3.5	Post mortem interval	21
3.5.1	Výpočet PMI	22
3.5.2	Příčiny chyb v odhadech výpočtu PMI.....	23
3.6	Posmrtná manipulace s tělem	24
3.7	Stádia rozkladu velkých obratlovců	24
3.7.1	Čerstvé tělo.....	27
3.7.2	Nadmuté tělo	27
3.7.3	Tělo biochemicky aktivní/fermentace tuků.....	28
3.7.4	Pokročilý rozklad.....	29
3.7.5	Vysychání zbytků měkkých tkání	29
3.7.6	Kosterní zbytky	29
3.8	Stádia rozkladu malých obratlovců.....	30
3.8.1	Čerstvá mršina.....	30
3.8.2	Nadýmání	30

3.8.3	Aktivní hnití	30
3.8.4	Pokročilé hnití	30
3.8.5	Vyschnutí	30
3.9	Hmyz kolonizující mršiny	31
3.9.1	Nekrofágní druhy	31
3.9.2	Predátoři, parazité a parazitoidi	32
3.9.3	Omnivorní druhy hmyzu	32
3.9.4	Adventivní druhy hmyzu	32
3.10	Dvoukřídlí (<i>Diptera</i>)	33
3.10.1	Bzučivkovití (<i>Calliphoridae</i>)	33
3.10.2	Masařkovití (<i>Sarcophagidae</i>)	34
3.10.3	Mouchovití (<i>Muscidae</i>)	35
3.10.4	Hrbilkovití (<i>Phoridae</i>)	35
3.10.5	Sýrohlodkovití (<i>Piophilidae</i>)	36
3.11	Brouci (<i>Coleoptera</i>)	36
3.11.1	Drabčíkovití (<i>Staphylinidae</i>)	37
3.11.2	Mršníkovití (<i>Histeridae</i>)	37
3.11.3	Kožojedovití (<i>Dermestidae</i>)	37
3.11.4	Pestrokrovečnickovití (<i>Cleridae</i>)	38
3.11.5	Mrchožroutovití (<i>Silphidae</i>)	38
3.12	Motýli (<i>Lepidoptera</i>)	39
3.12.1	Molovití (<i>Tinaeidae</i>)	39
3.12.2	Zavíječovití (<i>Pyralididae</i>)	40
3.13	Roztoči (<i>Acarí</i>)	40
4.	Ověření vnějších vlivů na larvální vývoj	41
5.	Diskuze	43
6.	Závěr	47
7.	Zdroje	48

8.	Přílohy	55
----	---------------	----

1. Úvod

Sukcese je souvislý proces, při kterém dochází ke změnám populace určitého druhu žijícího v určitém ekosystému. Pokud probíhá na mrtvém těle, můžeme ji označovat jako sukcesi saprofágní. Původní druhy jsou přitom vytlačovány a nahrazovány druhy novými (Milne a Milne, 1976; Štefan a kol., 2012).

V případě sukcese hmyzu probíhá tento proces na mrtvém těle za přirozených i nepřirozených podmínek. Populace hmyzu, která na mrtvém těle přežívá, zaniká po době potřebné pro její vývoj (Šuláková, 2006). Činnost bezobratlých na mrtvém těle způsobuje jeho rozklad. Tento jev je označován jako sukcese saprofágních organismů (Eliášová a Šuláková, 2012). Za saprofágní organismy tedy označujeme ty živočichy, kteří se živí masem jiných odumřelých živočichů (Novotná a kol., 2001).

Rozklad lidského těla a následné sukcesní vlny výrazně ovlivňují vnější faktory. Jedná se o podmínky prostředí, ve kterém proces probíhá. Mezi tyto faktory řadíme například roční období, klima, sluneční záření, zeměpisnou polohu (Zanetti a kol., 2015).

Jevem, při kterém na mršině dochází k vzájemnému ovlivňování mezi jednotlivými druhy hmyzu, se zabývají modely sukcese. Tyto modely popisují vliv současných kolonizátorů na kolonizátory následující (Connel a Slatyer, 1977).

Využití nachází sukcese hmyzu v entomologii, což je věda, zabývající se studiem hmyzu, vztahu hmyzu k lidem, prostředí a jiným organismům (Laštůvka, 2004). Ve forenzní entomologii, jejímž základem jsou forenzní vědy, je sukcese popisována jako zákonitý sled hmyzu a dalších organismů. Tato věda uplatňuje postupy využívané při vyšetřování trestných činů, identifikace osob a padělání nejrůznějších děl (Platt, 2005).

2. Cíl práce

Záměrem této bakalářské práce je:

- popsání sukcese a způsobů ovlivnění vnějšími podmínkami,
- popsání jednotlivých stádií rozkladu velkých obratlovců a porovnání s rozkladem menších mršin z hlediska rychlosti, druhového složení a dalších faktorů,
- vytvoření komentovaného seznamu druhů, které běžně kolonizují mršiny velkých obratlovců ve střední Evropě (v komentářích k jednotlivým kolonizátorům pak především zhodnocení dostupných informací o jejich ekologii a roli v potravním řetězci – predátor, parazit, nekrofág),
- zaměření na využití znalostí o sukcesi hmyzu ve forenzní entomologii, zejména na odhalování posmrtné manipulace s tělem a odhadem post-mortem intervalu,
- nastínění oblastí výzkumu sukcese hmyzu na velkých obratlovcích, s možným využitím ve forenzní entomologii a přípravě teoretického návrhu metodiky, která by mohla být využita při studiu jednoho z těchto témat.

3. Literární rešerše

3.1 Sukcese

Jako první popsal rozklad lidského těla v důsledku činnosti hmyzu Mégnin (1894) v knize *La faune des cadavres* (v překladu *Fauna mrtvolná*). Podle něj sukcese trvá tři roky a má osm fází: čerstvé tělo, počátek rozkladu, zmýdelnění, sýrovatění, ztekucování zbytků, vysychání zbytků, vysušené zbytky a ztrouchnivění. V průběhu let byla tato teorie měněna a počet fází snižován. M. E. Fuller (1934) navrhl jen 3 etapy rozkladu, které zahrnovaly čerstvé tělo, hnilobu a vysoušení zbytků. Z ekologických pozorování však jasně vyplývá, že počet fází rozkladu je závislý na místě, na kterém proces probíhá, např. jižní Evropa má teplejší klima a rozklad tedy probíhá rychleji a s tím je spojený nižší počet sukcesních vln.

Clementse (1916) definoval pojem sukcese jako nesezónní, směřovaný a kontinuální proces kolonizace, během kterého dochází k zániku populace určitého druhu na konkrétním místě.

Jako zákonitý sled hmyzu a dalších organismů je sukcese popisována i ve forenzní entomologii. Tento sled je pro jednotlivá období rozkladu mrtvoly charakteristický natolik, že je díky němu možné usuzovat, jak dlouhý je interval rozkladu mrtvoly od úplného počátku tohoto procesu (Šuláková, 2006).

Jak tvrdí Braniš a kolektiv (1999), uspořádaný sled vývoje společenstva, který zahrnuje změny druhového složení a procesů v časovém období, je možné do určité míry předvídat. Postupně při něm dochází k přizpůsobení jednotlivých druhů na měnící se prostředí. Tato změna je však z časového hlediska změnou dlouhodobou a nezvratnou.

V případě sukcese hmyzu probíhá tento proces na mrtvém těle za přirozených i nepřirozených podmínek (Šuláková, 2006). V určitém stadiu rozkladu uhybnutého těla přebírá klíčovou úlohu jiný druh hmyzu (Šuláková, 2014).

Konzumace masa na mršinách probíhá až do úplného rozložení mršiny. Během toho postupně dochází ke změně společenstva živočichů, jež čerstvé maso konzumují (Novotná a kol., 2001).

3.1.1 Vnější podmínky ovlivňující sukcesí

Vliv na vývoj hmyzu na mrtvých tělech má čas, roční období, množství srážek, teplota vzduchu, ale také jeho vlhkost, proudění, množství přístupu a kvalita povrchu (např. struktura půdy). Pokud dojde ke změně těchto vnějších podmínek,

může dojít k pozastavení nebo k úplnému zastavení některých rozkladných procesů (Likovský, 1967).

Zeměpisná poloha - V každém regionu je možno nalézt jiné množství a druhové složení bezobratlých a obratlovců. Toto složení má vliv na rychlost, jakou je tělo kolonizováno a rozkládáno. K mnohem rychlejšímu rozkladu dochází v tropech. Naopak pomaleji tam, kde je chladno a sucho. Lepším místem pro rozklad mrtvého těla jsou tedy tropy, kde proces, který zde trvá 24 hodin, může v Evropě trvat i několik dní (Gunn, 2008). Nicméně rozdílné složení nekrofágních organismů je nejen v regionech, ale také na otevřených prostranstvích, v lesních, lučních a polních stanovištích (habitatech), poněvadž některé druhy jsou na tato prostřední striktně fixované (Růžička, 1994).

Roční období - Nauka, která se zabývá časovým průběhem základních životních projevů v závislosti na změnách střídání ročního období a s tím spojené změny počasí se nazývá fenologie. Tato věda zkoumá periodicky se opakující jevy, kterým se říká fenofáze, ve vývoji živých organismů (fenologické fáze hub, rostlin i živočichů) (Hájková, 2012). Zástupce hmyzu, jenž je nejvíce aktivní z jara, bychom našli mezi mrchožrouty (*Thanatophilus sinuatus*) (Růžička, 1994). Aktivita většiny hrobaříků probíhá od jara do podzimu, a to převážně v květnu, srpnu a září (Scott, 1998). Jak již bylo zmíněno, k rychlejšímu rozkladu dochází v teplejším a vlhčím prostředí. Typickým příkladem je Velká Británie, kde k nejrychlejšímu rozkladu dochází během letních měsíců a nejpomalejší průběh má rozklad v zimě (Gunn, 2008). Teplota prostředí ovlivňuje výskyt a aktivitu nekrofágního hmyzu. Kromě jeho výskytu je teplotou ovlivněn i jeho samotný vývoj. Za příznivých teplot je vývoj nepřerušen, za nízkých teplot může dojít nejen ke zpomalení procesu, ale také k jeho pozastavení (diapauze) (Šuláková, 2006). Podle Novotné a kol. (2001) je diapauza podmíněný stav, při kterém dochází k pozdržení vývoje. Je to fyziologický stav, ve kterém živočich překonává pravidelně se opakující nepříznivé podmínky vnějšího prostředí (nízké teploty).

Denní doba - Jedním z důležitých faktorů pro sukcesi hmyzu je konkurence. Konkurenci druhů reguluje rozdílná denní aktivita bezobratlých. Díky této odlišnosti může několik druhů hmyzu se stejnou preferencí potravy fungovat na stejném místě. Aktivitu především ve dne vykazují mouchy, zatímco v noci patří mezi aktivní druhy brouci z čeledi *Silphidae* (např. *Nicrophorus humator*), přesto zde najdeme i druhy, které jsou denní nebo aktivní až za soumraku (*Thanatophilus*) (Scott, 1998).

Sluneční záření - Pokud na tělo působí sluneční paprsky a zahřejí tak mrtvolu, dochází k bakteriálnímu rozkladu. Tento rozklad zaznamenávají jak obratlovci, tak i bezobratlí, a to nejen zrakem, ale i čichem. Tím dochází k velmi rychlému rozkladu nebo kolonizaci. Na těchto mrtvolách ale bezobratlí nekladou svá vajíčka, poněvadž sluneční paprsky a vysychání mršiny zabijí vajíčka i larvy. Výjimkou je naklazení vajíček na spodní straně těla, tam jsou chráněna před UV zářením a suchým mikroprostředím (Gunn, 2008).

Typy okolního prostředí - V každém typu prostředí probíhá sukcese odlišně. Rozdílný průběh má v normálním prostředí, uzavřeném prostoru, ve vodním prostředí, nebo pokud je tělo pohřbeno (Šuláková, 2006).

Normální prostředí - za normální prostředí považujeme prostředí venkovní (Štefan a kol., 2012).

Uzavřený prostor – za uzavřený prostor považujeme byty, domy, sklepy, půdy či jeskyně. Každý prostor má specifické složení fauny, která později kolonizuje mrtvé tělo. V bytech můžeme najít synantropní či hemisynantropní druhy hmyzu. Zatímco synantropní hmyz celoročně žije v blízkosti člověka, hmyz hemisynantropní v jeho blízkosti pouze přezimuje. Nejčastěji se v těchto prostorech můžeme setkat s masařkou domácí (*Musca domestica*), molem šatním (*Tineola biselliella*) či kožojedem obecným (*Dermestes lardarius*) (Štefan a kol., 2012).

Vodní prostředí – na rozkladu mrtvého těla se ve vodním prostředí nejvíce podílejí ryby (*Pisces*) a korýši (*Crustacea*). Tito nekrofágové se ve vodě vyskytují, aniž by ke své přítomnosti vyžadovali přítomnost mrtvého těla. Často jsou využíváni ke stanovení PMI (post-mortem intervalu). V tomto případě je možno PMI vypočítat na základě existence zachyceného uhynulého vývojového stádia, které je typické jen pro konkrétní roční dobu. Za pomoci živočichů, kteří jsou odebráni z oblečení mrtvého, a těch, kteří jsou přímo na místě nálezů těla, se určuje, kde ke smrti člověka došlo – zda na místě, kde byl jedinec nalezen, či nikoli. Pokud nějaká část mrtvého těla plave nad hladinou, je možné, že se na jeho rozkladu podílí i hmyz, jenž se běžně podílí na rozkladu volně exponované mrtvoly (Štefan a kol., 2012).

Zahrabání, pohřbení – do této kategorie se řadí mrtvoly, které jsou ukryté v ilegálních hrobech, jenž jsou často označovány jako mělké hroby, mrtvoly, které jsou zabaleny do různých obalů, ať už plastových nebo jiných. Nicméně do již zmíněné skupiny patří i bezobratlí, které je možno nalézt v rakvích legálních hrobů. Je několik způsobů, jakými se hmyz k mrtvole, jež je uložena v mělkém hrobě, dostane. Některý hmyz naklade vajíčka na povrch a k tělu prolézají larvičky, zatímco

u jiného prolézají k mrtvému již samičky a ty poté kladou svá vajíčka přímo na mrtvolu (Štefan a kol., 2012).

Stav mrtvol - Dalším faktorem, který bezpochyby ovlivňuje vývoj hmyzu na mrtvých tělech, jsou vlastnosti mrtvého těla, tedy samotný stav mrtvol. Zde velmi záleží nejen na samotném způsobu smrti, ale také je nutné brát v úvahu hmotnost mrtvého těla, tučnost, věk, pohlaví, zdravotní stav před smrtí, ochlupení a stav oblečení. Opomenout nesmíme ani vliv ostatních organismů, kdy může dojít k druhotnému poškození mrtvého těla, ať už jeho rozčleněním či roznosem jeho částic po krajině (Šuláková, 2006).

3.2 Modely sukcese

Na každé mršině mezi jednotlivými druhy hmyzu dochází ke vzájemnému ovlivňování. Tímto jevem se zabývají modely sukcese, které popisují vliv současných kolonizátorů na kolonizátory následující. Za nejběžnější model považujeme facilitaci, která je také navržena jako základní princip, dále je inhibice a tolerance (Connel a Slatyer, 1977). I přesto nesmíme zapomenout, že průběh sukcese může být daleko složitější, než se na první pohled zdá, a tak se nemusí řídit zcela podle těchto modelů (Shean a kol., 1993).

3.2.1 Facilitace

Pokud určitý druh kolonizátorů svou činností, při které přetváří kolonizované stanoviště, usnadňuje osídlení mršiny druhům novým, nazýváme tento model facilitace. K fungování tohoto modelu je tato činnost hmyzu nezbytná. V případě, že kolonizátor přestane usnadňovat přístup novým druhům, tento model zaniká (Clements, 1916). Příkladem takových kolonizátorů jsou larvy dvoukřídlého hmyzu, které zlehčují přístup penetrací dutiny břišní či kůže mrtvého těla (Amendt a kol., 2004).

3.2.2 Inhibiční model

Inhibiční model je založený na sukcesi, při níž prvotní kolonizátor svou aktivitou brání přístupu novým druhům. Primární kolonizátor monopolizuje zdroj a zvyšuje množstevní zastoupení svého druhu tak, aby nedošlo k následné kolonizaci druhem jiným. Často také dochází k situaci, kdy následuje rychlá konzumace zdroje hmyzem. Inhibiční model může ovlivnit disturbance, jež má za následek snížení počtu prvotních dominantních kolonizátorů. Díky tomu se uvolní přístup k mršině, jakožto zdroji potravy, i jiným druhům hmyzu (Connel a Slatyer, 1977).

3.2.3 Toleranční model

Kombinací modelu facilitačního a inhibičního vznikne model toleranční. Činnost primárního kolonizátora nemá žádný vliv na kolonizátora následujícího. Nový druh tedy dokáže zcela bez problémů tolerovat a fungovat v podmínkách, jež vytvořil druh předchozí. Stejně tak může nastat situace, kdy jeden z druhů bude lépe využívat zdroj a rychleji se množit, a stane se tak druhem dominantním a vytlačí jiný druh. Je tedy zřejmé, že tento model zachovává princip konkurenční dominance a náhodné kolonizace (Connell a Slatyer, 1977) .

3.3 Entomologie

Věda zabývající se studiem hmyzu, vztahu hmyzu k lidem, prostředí i jiným organismům. Zemědělství, biologie, chemie, molekulární biologie, kriminologie, forenzní biologie – to všechno jsou obory, v nichž uplatňují své znalosti entomologové. Entomologie se využívá při vývoji chemických a biologických přípravků proti škůdcům, výrobě léčiv a dalších oblastech (Laštůvka, 2004).

3.4 Forenzní entomologie

Forenzní (kriminalistická) entomologie je vědní obor, jenž se zabývá zkoumáním jednotlivých řádů hmyzu a ostatních bezobratlých při vyšetřování. Tyto poznatky poté využívá při ověřování důkazních materiálů v oblasti občanského a trestního práva (Eliášová a Šuláková, 2012; Šuláková, 2014). V oblasti kriminalistické entomologie hovoříme zejména o zkoumání nekrofágů (Štefan a kol., 2012). Díky tomuto hmyzu, jenž rozkládá mrtvé tělo, je možné určit dobu smrti, tedy časový horizont, který uplynul od doby smrti do doby nálezů těla. Nedílnou součástí je rovněž využití hmyzu při zjišťování místa úmrtí. Identifikace hmyzu odhalí, zda místo, na němž se mršina v danou chvíli nachází, je původním místem smrti (těchto poznatků se nevyužívá jen u vražd, ale také i sebevražd, nevysvětlených úmrtí nebo různých nehod v přírodě). K tomu slouží zařazení hmyzu do biotopu. Neboť jak již bylo zmíněno při rozdělení jednotlivých kolonizátorů (v zeměpisné poloze), nacházejí se nejen v České republice druhy, jež jsou vázány na specifická stanoviště, a je tedy nemožné je na určitých místech nalézt. Takové druhy nazýváme endemity (Furbach, 2008; Šuláková, 2014).

K úspěšnosti je nutná kombinace vědomostí, zkušeností a intuice jak samotných vyšetřovatelů, tak i znalců, policie a dalších osob (Platt, 2005).

Platt (2005) uvádí následující rozdělení forenzních věd:

- daktyloskopie – identifikace pomocí otisků prstů,
- forenzní antropologie – identifikace biologického materiálu (lidských ostatků),
- forenzní psychologie – vypracovávání znaleckých posudků, psychické charakteristiky podezřelého,
- forenzní genetika – identifikace osob analýzou DNA,
- forenzní medicína – stanovení času a příčiny smrti (soudní lékařství),
- forenzní balistika – identifikace zbraní, dráhy střely,
- forenzní chemie – identifikace látek,
- forenzní entomologie – identifikace nekrofágního hmyzu.

Kromě určení místa smrti a přesunu ostatků je také možné dokázat, v jakém prostředí byly popřípadě ostatky uchovávány a identifikovat traumata na mrtvém těle. Nalezený hmyz díky toxikologickému a molekulárnímu vyšetřování odhalí příčinu úmrtí jedince a mnohdy také samotnou totožnost v případech, kdy není známa. K tomu dochází v situaci, kdy je tělo v takové fázi rozkladu, že již není možné identifikaci ostatků provést (Amendt a kol., 2011). Dle Martins a kol. (2013) je forenzní entomologie považována za velmi účinný a často rozhodující nástroj sloužící k objasnění kriminálních případů. Nelze však opomenout fakt, že je využívána rovněž jako usvědčující důkaz v případech, kdy se jedná o zanedbání péče ať už u člověka, nebo zvířete (Anderson a kol., 2004). Na neléčených nebo špatně ošetřených ranách, myiázách, vředech a proleženinách totiž může dojít ke kladení vajíček hmyzem (Šuláková, 2014).

3.4.1 Zajišťování entomologických stop

Při vyšetřování dochází k zajištění a odběru entomologických stop, které mohou pomoci k objasnění mnoha okolností. Na místě činu se odebírají čtyři základní skupiny vzorků, a to: z těla mrtvého, z lože a okolí mrtvého a vzorky odebrané při pitvě (Štefan a kol., 2012). Vzorky hmyzu jsou považovány za fyzický důkaz úplně stejně jako například otisky prstů, vlasy, skvrny nebo jiný biologický materiál. Proto by měl být kladen velký důraz na zajištění kvality při shromažďování, konzervaci, balení, ale i samotné přepravy entomologických vzorků, ať už z důvodu zabránění zničení důkazů, ale také proto, že se forenzní entomologie zabývá živými organismy, se kterými je nutné zacházet opatrně (Amendt a kol., 2007).

Vyšetřovatelé využívají pro sběr entomologických stop nejrůznější nástroje, vždy podle toho, o jaký vzorek se jedná. U zajištění sběru dospělců a křehkého hmyzu používají jemné pinzety, u červů lžíce a při sběru vajec jemný štětec. Ukládání se také liší podle jednotlivého druhu vzorků. Hmyz se uchovává v lahvičkách nebo boxech, vzorky půdy a listů se ukládají do plastových nebo papírových pytlů. Při odběru mrtvého vzorku se uchovávají jedinci v 70-95% etanolu. Ten zajistí zachování vzorků pro další zpracování (Amendt a kol., 2007).

Entomologické stopy se většinou odebírají alespoň do 3-4 nádob (plastové a skleněné zkumavky), z nichž má každá objem do cca 100 ml. Uložení vzorků se liší podle jednotlivých druhů hmyzu a jejich vývojových stádií (Štefan a kol., 2012).

Entomologické vzorky z těla mrtvoly – při ohledání těla se na těle mrtvoly zajišťují veškeré dostupné entomologické stopy, tedy vajíčka, larvy, kukly i dospělí jedinci (Štefan a kol., 2012). Vzorky se na těle odebírají z očí, traumat, ze záhybů oděvu a bot. Pokud byla mrtvola uložena například v pytli, probíhá odběr i z toho (Amendt a kol., 2007).

Entomologické vzorky z lože mrtvoly – odběr probíhá zpod mrtvého těla. Dochází k zajištění tří až čtyř vzorků půdy (vždy o objemu 250-500 ml). Poté se ukládají do plastových, kovových nebo skleněných nádob nebo pevného igelitového sáčku (Štefan a kol., 2012).

Entomologické vzorky z okolí mrtvoly – jak uvádí Amendt a kol. (2007), doporučuje se odebírat vzorky z okolí nálezu těla jak před odstraněním pozůstatků, tak i po jejich odstranění. Vzdálenost pro odběr se pohybuje v rozmezí 2 až 10 m od těla (liší se podle podkladu, na kterém se našlo).

Entomologické vzorky zajištěné při pitvě – odebírají se jak živé, tak i mrtvé z těla, tělních dutin a oděvu mrtvoly (Štefan a kol., 2012).

Vajíčka much – vypadají jako bílé až nažloutlé piliny. Na odběr se používá skalpel, špachtle, pinzeta či lžíce a jejich minimální množství je 100 ks.

Larvy much – bílé až nažloutlé barvy. Stejně jako vajíčka se odebírají pinzetou v množství alespoň 100 ks.

Puparia much – světle hnědé až černé barvy, soudečkovitého tvaru. Tvoří je pokožka posledního stupně larvy s kuklou uvnitř. Odebírají se pinzetou v minimálním počtu 50 ks. Zatímco vajíčka a larvy se odebírají pouze z těla mrtvoly, puparia se sbírají i v jejím okolí.

Imaga much – k odběru se používá síť, neboť dospělci létají. Pokud dochází k zajištění mrtvých imag, využívá se pinzeta.

Vajíčka brouků – většinou se nezajišťují z důvodu jejich množství na mrtvole (několik kusů až desítek kusů).

Larvy brouků – mají šest nohou a mohou být pokryté štětinami nebo výrůstky a v mnoha případech jsou velmi dobře pohyblivé. Odběr se uskutečňuje za pomoci pinzety či plastové lžice.

Kukly brouků – zajišťují se z půdy z lože mrtvoly, přímo na mrtvém těle se většinou nevyskytují. Z toho důvodu se odebírají až v laboratoři. Výjimečně se na těle vyskytují kukly kožojedů a pestrokrovečníků.

Imaga brouků – jsou velmi pohyblivá. Nacházejí se pod tělem nebo v oděvu mrtvoly. Odebírají se pinzetou.

Bezobratlí – vedle hlavních zájmových skupin bezobratlých do této skupiny řadíme mravence, vosy, roztoče.

Ve forenzní entomologii jsou velmi důležitým faktorem též doplňkové údaje z místa nálezu mrtvého, které určují, jak byla kolonizace těla ovlivněna. Mezi takové faktory řadíme uložení těla mrtvého, oděv, zda byla mrtvola uložena na slunci nebo ve stínu, vegetaci na místě nálezu, meteorologické podmínky. Na vývoj hmyzu má také vliv požití drog. Je tedy třeba brát zřetel i na tuto skutečnost (Štefan a kol., 2012; Amendt, 2007).

3.4.2 Laboratorní zpracování entomologických stop

Živý materiál – řadíme mezi něj polovinu až dvě třetiny vajíček, larvy a puparia much, kukly brouků, a to zajištěné jednak na mrtvole, i v jejím okolí. Patří sem i nižší vývojová stádia brouků zajištěná v půdě z lože mrtvého. Výhodou těchto vzorků je přesné určení druhu a délky jeho vývoje, díky čemuž dochází k přesnějšímu stanovení post mortem intervalu. Nevýhodou je neodkladné zkoumání, neboť delší skladování způsobuje úhyn materiálu.

Mrtvý materiál – do této skupiny patří třetina až polovina vajíček a larev much, veškeré larvy brouků a imag much, brouků a bezobratlých z těla mrtvoly, okolí nálezu a vzorků odebraných z půdy z lože mrtvého. Výhodou je možnost dlouhého skladování, aniž by došlo ke ztrátě vypovídající hodnoty. Nevýhodou je náročnost zařazení ke konkrétnímu druhu a čeledi, neboť larvy jsou si velmi podobné (Štefan a kol, 2012).

3.5 Post mortem interval

Při vyšetřování smrti je zásadní přesný odhad PMI (Amendt a kol., 2007). Za post mortem interval (PMI) je označována doba mezi smrtí jedince a nálezem jeho těla (Rivers a Dahlem, 2014). Entomologické metody jsou u mrtvol starších 72 hodin jedny z nejvíce přesných při stanovení doby úmrtí (Goff, 2010). Přesto není možné opomenout fakt, že forenzní entomolog nestanovuje, kdy došlo k úmrtí, ani nezkoumá mrtvé tělo, pouze provádí analýzu hmyzu, jenž se na mršině nachází. Z toho důvodu určuje pouze dobu, po kterou dochází ke kolonizaci hmyzem (Šuláková, 2014). V trestním právu slouží výpočet PMI ke stanovení času vraždy, ověřuje výpovědi svědků a podezřelých a také zmenšuje okruh podezřelých osob (Salam a kol., 2012).

Ke správnému výpočtu post mortem intervalu (PMI) je zásadní správná identifikace vzorků (Magni a kol., 2012). Nezbytnou součástí je dokonalé poznání biologie a ekologie jednotlivých druhů, doba, kdy začíná hmyz nalétávat na mrtvolu a posloupnost kolonizace, která je ovlivněna sezónní proměnlivostí prostředí a místní geografii (Matuszewski a kol., 2008; Reed, 1958; Michaud a Moreau, 2009). Právě na místní geografii je třeba brát zřetel, neboť informace sloužící ke stanovení času smrti v jednom regionu nemusí platit pro určení času v regionu jiném. Je s tím spojená charakteristika místa nálezu, jeho stanovištní podmínky a množství dopadajícího slunce. Vše může vést ke změně sukcese kolonizujícího hmyzu (Smith, 1986). Stanovení PMI je dáno dvěma druhy informací. Jedním je znalost délky vývoje konkrétního druhu hmyzu, druhým je zastoupení druhů, jež se na mrtvole zajistily. Druhovému složení odpovídá konkrétnímu stádiu rozkladu.

Délka post mortem intervalu je za optimálních podmínek (situace, kdy hmyzu není nijak bráněno v přístupu k tělu) ovlivněna několika faktory, které se musí brát v potaz při jeho stanovení. Tyto faktory rozdělil (Laupy, 1994) do tří kategorií:

Faktory zkracující délku PMI – do této skupiny patří výskyt krvácejících traumat na těle, ať už je to následkem bodnutí, řezného nebo střelného poranění, pádem z výšky, autonehodou. Do okolí mrtvoly se uvolňuje pach krve nebo jiných látek, např. exkrementů, spermatu, zvratků a zápach těchto poté láká bezobratlé. Reakce živočichů je téměř okamžitá (Šuláková, 2014). Dalším vlivem je v této kategorii vysoká průměrná denní teplota a s ní spojené malé teplotní výkyvy. U těla, jež je vystavené slunečnímu záření nebo jinému zdroji tepla, dochází ke zvýšení teploty konzumovaných tkání (Laupy, 1994). Doba kolonizace většinou odpovídá době úmrtí nebo je mezi nimi pouze minimální rozdíl (Šuláková, 2014).

Faktory prodlužující délku PMI – tato situace nastává u přirozené smrti (např. infarkt, mrtvice, věk), udušení se plynem, nebo pokud došlo k násilné smrti uškrcením či udušením. U takovýchto těl hmyz z počátku netuší, že by mohla být zdrojem potravy. Hmyz není lákán pachem krve, ale uvolňovanými plyny v důsledku bakteriálního rozkladu, jenž začíná v trávicím traktu (Šuláková, 2014). Dalším vlivem je nižší průměrná denní teplota, velké teplotní rozdíly v průběhu dne a také dlouhodobější poklesy teplot pod 10°C. V důsledku takového teplotního poklesu dochází k zastavení růstové a potravní aktivity, nebo dokonce k diapauze. Neméně důležitým faktorem, jenž prodlužuje délku PMI, je pokles obsahu vody, který je následkem mumifikace těla, časový posun, balzamizace či intoxikace mrtvoly (Laupy, 1994).

Faktory měnící délku PMI nekontrolovatelným způsobem – k této situaci dochází oproti dvěma předchozím méně často. Kolonizace hmyzem je delší než PMI. Řádově může dojít k rozdílu až v několika dnech. První vajíčka jsou nakladena v rozmezí minut až hodin předtím, než dojde k samotné smrti člověka (v případě smrti vykrváčením, u lidí, jež jsou v kómatu nebo nepohybliví), specifickým případem jako bezdomovci (Šuláková, 2014). Změna lokality, na níž se nachází mrtvola v průběhu post mortem intervalu, je také významným faktorem. Kromě přesunu mrtvoly na jiné místo sem spadá i pohřbení mrtvoly či naopak její odkrytí (Laupy, 1994).

3.5.1 Výpočet PMI

Pro samotný výpočet PMI jsou důležité tyto informace:

- identifikace druhu, rodu a věk vývojových stádií,
- experimentálně stanovená data teplot vývoje jednotlivých druhů,
- základní teploty nebo vývojová stádia pro jednotlivé druhy v oblasti zájmu,
- údaje o teplotě z místa činu,
- údaje o teplotě z blízké meteorologické stanice,
- vypočítání kumulativní teploty ve dnech reprezentujících relevantní stádia vývoje hmyzu,
- kalkulace kumulativních stupňů ve dnech na místě činu (Rivers a Dahlem, 2014).

3.5.2 Příčiny chyb v odhadech výpočtu PMI

Přesnost stanovení post mortem intervalu se liší podle stáří mrtvoly. U krátkodobých PMI intervalů v horizontu 3-5 týdnů hovoříme o přesnosti v rozmezí 1-5 dnů. Se staršími nálezy se přesnost postupně snižuje na týdny, měsíce a čtvrtletí. V případě nálezů starých 1-2 roky dochází k určení, zda je mrtvola z letošního nebo loňského roku. Nad 2 roky v mnoha případech není možné stanovit počet uplynulých let (Eliášová a Šuláková, 2012). Platí však, že přesnost stanovení PMI je ovlivněna hned několika faktory, a to biotickými a abiotickými. Ty mají vliv nejen na samotný počátek kolonizace, ale i na jeho vývoj (Tomberlin a kol., 2012).

Možné komplikace při stanovení PMI:

Odhad larválního věku – je jedním z pěti předpokladů správného stanovení věku. V současnosti nejčastější praxe pro odhadování larválního věku závisí na měření délky larvy a její hmotnosti, které se provádí jako vyšetření posteriorních průduchů - počítání počtu štěrbin v každém průduchu (Tarone a Foran, 2008). Problémem, který se na tuto metodu váže, je fakt, že vývoj je v tomto případě brán jako lineární mezi vývojovou prahovou hodnotou a vývojovým maximem. Vývoj larev je však z hlediska rozměrů (šířky, délky a hmotnosti) nelineární (Wells a LaMotte, 1995). Významnou roli zde hraje výskyt larev různé velikosti za přírodních podmínek na mršině, jež je přeplněná larvami. To znemožňuje použití růstových křivek, jež byly vytvořené pro přiblížení larválního věku podle délky u určitých druhů hmyzu (Anderson, 2000).

Pravá teplota prostředí ovlivňující larvální vývoj – je považována za dominantní faktor, který ovlivňuje rychlost vývoje hmyzu. Pro výpočet se používají teploty prostředí na místě činu. Ty je potřeba znát buď přímo měřením, nebo odhadem za pomoci jiných zdrojů, jako jsou meteorologické údaje. Při stanovení teploty se ale mohou vyskytnout následující problémy: teploty na místě činu nejsou konstantní, experimentální vývojová data jsou odvozená od konstantních teplotních podmínek, teplota červí masy je výrazně vyšší než běžná teplota prostředí (Rivers a Dahlem, 2014).

Vliv fotoperiody na larvální vývoj – kontrola fotoperiody během chovu larev je často zanedbávanou součástí vývojových stádií much. Délka fotoperiody má vliv na rychlost vývoje larválních stádií. Některé studie ukazují, že různá délka fotoperiody může prodlužovat nebo naopak zkracovat larvální vývoj (Nabity a kol., 2007).

Larvální výživa – množství a kvalita potravy má přímý vliv na vývoj nekrofágních much. Nutriční rozdíly jsou u larev živících se na mrtvolách. Rozdílné tkáně mají různou nutriční hodnotu, což může mít za následek ovlivnění vývoje larev (Clark a kol., 2006; Day a Wallman, 2006).

3.6 Posmrtná manipulace s tělem

Jedním z projevů manipulace s mrtvým tělem je změna mrtvolných skvrn. Po smrti člověka se první mrtvolné skvrny objevují již po 20-30 minutách. Pokud dojde k posmrtné manipulaci do 60 minut od úmrtí, původní skvrny se zcela vytrácí a objevují se nové, a to zpravidla na nejnižších částech těla. Pokud dojde k manipulaci s tělem v rozmezí 6-12 hodin od smrti, zůstanou na těle původní posmrtné skvrny zachovalé a navíc se objeví nové na místě gravitace. U posmrtné manipulace po více jak 12 hodinách jsou mrtvolné skvrny na těle již neměnné (Beran a Lysenková, 1999).

Z hlediska forenzní entomologie určujeme posmrtnou manipulaci s tělem pomocí výskytu určitých druhů hmyzu na mrtvole. Porovnáváním zajištěného hmyzu, který je nebo není typický pro daný biotop, na mrtvých tělech nám dává přehled o tom, zda se mrtvola na daném místě nacházela v době úmrtí, či jestli byla na konkrétní místo přemístěna až poté. U hmyzu, jež je typický pro volnou expozici u pohřbených těl, můžeme uvažovat nad dodatečným pohřbením. V opačném případě u těl dodatečně odkrytých, ať už sesuvem půdy, nebo vyhrabaných zvířaty, dokážeme podle zastoupeného hmyzu určit, kdy k odkrytí těla došlo (Eliášová a Šuláková, 2012; Štefan a kol., 2012).

3.7 Stádia rozkladu velkých obratlovců

Na počátku sukcese hmyzu na mršinách se mrtvé tělo stává součástí specifického biotopu a postupně se na něm objevuje vždy jen jedna skupina určitého druhu. Tyto skupiny se většinou rychle mění v důsledku poměrně rychlého přechodu z jedné fáze do následující. Sukcese je relativně rychlý proces a tím dochází k tomu, že některé fáze (nejčastěji ty počáteční) zahrnují jen jednu generaci druhu. Noví dospělci, kteří se na mrtvém těle vyvinuli v době, kdy je již tělo v takovém stádiu rozkladu, že pro ně není další kladení vhodné, odlétají na jiný objekt (Šuláková, 2014).

Mrtvé tělo je zdroj nutričně bohatý, zároveň však pouze dočasný a dynamický (Rozen a kol., 2008). Jak uvádí Villet (2011), je tento zdroj prostorově

a časově vymezen a tím dochází k častému vytváření vlastního mikroklimatu, jenž je vhodný pro vývoj nekrofágů.

V pozdějších fázích dochází ke zpomalování rozkladu, může se tak na těle vyskytovat i několik po sobě jdoucích generací, jelikož nově vylíhnutí dospělci kladou na stejné tělo (Šuláková, 2014).

Specifickým příkladem rozkladu jsou mumifikovaná těla. K tomuto druhu rozkladu dochází v suchém a teplém prostředí, kde proudí vzduch a zároveň je v tkáních nedostatek vody, ale může k ní dojít i vymrznutím. Pokud jsou podmínky příznivé, může k úplné mumifikaci dojít již za 2-3 měsíce (Hirt a kol., 2015). Proces dekompozice probíhá za zvláštních podmínek a je velmi pomalý. Rozklad trvá mnohdy několik stovek až tisíc let. Díky tomu je možné, aby jedna skupina druhu obývala mrtvolu až po několik desítek generací. Kvůli specifickým podmínkám je také značně omezená konkurence druhu, poněvadž omezují přístup jiným druhům (Šuláková, 2014). V konečném stádiu má tělo vyschlou, svraštělou, tmavě hnědou barvu kůže (Gennard, 2007). Jak uvádí Likovský (1967), nejčastěji dochází pouze k mumifikaci částečné, mumifikace celého těla je vzácná.

Mezi další atypický příklad posmrtné změny patří zmydelnění. K tomuto procesu dochází v případě, že se mrtvé tělo nachází ve vodě nebo ve velmi vlhkém prostředí za nepřístupu vzduchu. Základem je přeměněná tuková tkáň v mazlavou hmotu bělavě žluté barvy. V důsledku činnosti biochemických procesů vznikají sloučeniny, které impregnují kůži, svaly a nakonec i vnitřní orgány (Kvapilová a Dogoši, 2007). Úplné zmydelnění u člověka nastane v rozmezí 2 – 3 let (Štefan, 2005).

Výše zmíněné atypické posmrtné změny nazýváme přírodní konzervací těla, dochází zde k přerušení rozkladných procesů (Tesař, 1958).

G. F. Bornemissza (1957) rozdělil sukcesi nikoli podle stupně rozkladu těla, ale podle hmyzího společenstva, jež mrtvé tělo kolonizuje. Období rozkladu jsou rozděleny postupně dle toho, jak se na těle střídá společenstvo. Fáze jsou následující: nekrofágní (čerstvé tělo), saprofágní (biochemicky aktivní), dermatofágní (vysychající zbytky) a keratofágní (dehydrované zbytky).

Podle (Štefan a kol., 2012) není možné přesně časově ohraničit jednotlivé sukcesní vlny. Zároveň je nutné mít na paměti, že přechod fází jedné na druhou je plynulý proces a zástupci hmyzu se tak objevují ve více současně.

Rozdělení, které jako první navrhl Mégnin, však nebylo uspokojivé (Kočárek, 2001). Jak již bylo zmíněno, co autor, to se liší počet fází, při nichž dochází k rozkladu mrtvého těla.

Podle dostupných zdrojů se dnes hojně používá rozdělení na 4 stádia: fresh (čerstvá mršina), bloated (nadýmání), decay (hnutí), dry (vysychání) (Reed, 1958).

Další z možných variant nabízí Michaud a Moreau (2009), jež rozdělují rozklad na 6 stádií: fresh, bloated, active decay (aktivní rozklad), advanced decay (pokročilý rozklad), dry, remains (zbytky).

Štefan a kol. (2012) popisují sedm sukcesních vln: čerstvé tělo, tělo nadmuté, tělo biochemicky aktivní/fermentace tuků, tělo biochemicky aktivní/fermentace proteinů, tělo v pokročilém rozkladu, vysychání zbytků měkkých tkání, kosterní zbytky.

V dostupné literatuře je několik verzí rozkladných fází mršiny (viz Tabulka č. 1). Nejčastěji se autoři pohybují v rozmezí 4 – 8 sukcesních vln, jinak také označovaných jako fáze. Za optimální rozdělení rozkladu mršiny je považováno 7 fází (Šuláková, 2014). V oblastech mírného pásu, kde se nachází i Česká republika, rozlišujeme 6 sukcesních vln (čerstvé tělo, nadmuté tělo, tělo biochemicky aktivní/fermentace tuků, pokročilý rozklad, vysychání zbytků měkkých tkání, kosterní zbytky). Jednotlivá stádia definuje fáze rozkladu mrtvého těla. Na tyto fáze vždy reagují specifické druhy (Payne a Crossley, 1966).

Autor	Počet fází rozkladu	Fáze rozkladu							
Bornemissza (1957)	4	nekrofágní		saprofágní		dermatofágní		keratofágní	
Mégnin (1894)	8	čerstvé tělo	počátek rozkladu	zmýdelnění	sýrovatění	ztekucování zbytků	vysychání zbytků	vysušené zbytky	ztrouchnivění
Reed (1958)	4	čerstvá mršina		nadýmání		hnutí		vysychání	
Michaud a Moreau (2009)	6	čerstvá mršina	nadýmání	aktivní rozklad		pokročilý rozklad		vysychání	zbytky
Štefan a kol (2012)	7	čerstvé tělo	tělo nadmuté	tělo biochemicky aktivní/fermentace tuků	tělo biochemicky aktivní/fermentace proteinů	tělo v pokročilém rozkladu	vysychání zbytků měkkých tkání	kosterní zbytky	
Payne a Crossley (1966)	6	čerstvé tělo	nadmuté tělo	tělo biochemicky aktivní/fermentace tuků	pokročilý rozklad		vysychání zbytků měkkých tkání	kosterní zbytky	

Tabulka č. 1: Srovnání počtů a typů fází uvedených autorů

3.7.1 Čerstvé tělo

První fáze rozkladu zahrnuje úplný počátek sukcese, tedy od okamžiku zastavení srdce - smrti člověka. V tuto chvíli nedochází k žádným viditelným změnám těla, ani ke vzniku zápachu (Reed, 1958), ale dochází k vyčerpání kyslíku z těla (Carter a kol., 2007). U mrtvol, jež jsou intaktní, ke kolonizaci hmyzem nedochází (Štefan a kol., 2012).

Prvních z nich je řád blanokřídlých (*Hymenoptera*), z nichž je to především čeleď mravencovití (*Formicidae*) a sršňovití (*Vespidae*). Tito kolonizátoři se živí přímo tkáněmi. Na mršině stráví jen nezbytně nutnou dobu, po kterou přijímají potravu, a poté zdroj opouštějí (Gunn, 2008). Sice se na tělo opakovaně vrací, nelze z toho ale určit, jak dlouho mrtvolu využívají. Ke stanovení doby kolonizace těla jsou tedy bezvýznamní. Důležitou skupinou pro toto stanovení je čeleď bzučivkovitých (*Calliphoridae*). Z celkem 61 druhů, které se v České republice nacházejí, jich v kriminalistice využíváme 13 (Šuláková, 2014).

Tyto bzučivky zelené barvy rodu *Lucilia* a modré rodu *Calliphora* jsou přitahovány silným pachem krve, potu a jinými tělními výměšky (Daněk, 1990). Na jedné mršině může najednou přežít dva až pět druhů, ovšem maximálně dva druhy mohou mít dominantní postavení a s tím spojený vyšší počet jedinců (Šuláková, 2014). Přesto se dospělci mrtvým tělem neživí. Krev a další tekutiny, které využívají, mají jen jako příležitostný zdroj potravy (především samičkám dodává proteiny, nezbytné k dozrání jejich vajíček v těle), poněvadž se živí nektarem z květů, šťávou z přezrálého ovoce atd. (Erzinclioglu, 1996).

3.7.2 Nadmuté tělo

Rozkladnou bakteriální činností v trávicím traktu je uvolňován plyn, který láká kolonizátory (Štefan a kol., 2012). Za optimálních podmínek, kterými jsou vysoké teploty v létě, stačí pár hodin a nastává tak druhá fáze rozkladu. Tato fáze je tedy podmíněna teplotami. Čím tepleji, tím rychleji rozklad probíhá (Daněk, 1990).

Mršina svým zápachem láká opět bzučivky a nově také čeleď masařkovitých (*Sarcophagidae*). Nejznámějším druhem z této čeledi je masařka obecná (*Sarcophaga carnaria*) (Martins a kol., 2013). V oblastech mírného pásu, kde se nachází Česká republika, nemají masařky pro forenzní entomologii příliš velký význam, jelikož zde nepředstavují běžné zástupce na mrtvých tělech. Ve forenzní entomologii se využívá 25 druhů masařek. V ČR je 95% zastoupeno pouze jediným druhem, a tím je druh *Sarcophaga argyrostoma* (Šuláková, 2014).

Další druh hmyzu v 2. sukcesní vlně je z čeledi moučovitých (*Muscidae*). Mouchy se živí jak pylem, tak i na tlejícím rostlinném a živočišném zdroji (exkrementy a krev nevyjímaje). Zde rovněž kladou svá vajíčka. Druhy, kteří se živí na odpadcích nebo ve stokách, se stávají přenašeči nemocí, např. tyfu (Byrd a Castner, 2010).

Ze zástupců nekrofágních brouků se v tomto stádiu rozkladu na těle objevuje čeleď mrchožroutovitých (*Silphidae*), konkrétně hrobařici (*Nicrophorus*) (Klimešová a kol., 2015). Pro forenzní entomologii je z mrchožroutů nejvýznamnější mrchožrout pobřežní (*Necrodes littoralis*), a to z důvodu pravidelně a hojně se vyskytujícího počtu jeho larev na mrtvolách. Díky tomu je možné ho zahrnout do výpočtu doby kolonizace. Jediným problémem je fakt, že se přesně neví, jak dlouho se vyvíjí (Šuláková, 2014).

Je nezbytné v této fázi rozkladu zmínit i parazitoidní druh z řádu blanokřídlých, jež se také využívá pro stanovení doby kolonizace, a to konkrétně chalcidky (*Chalcidoidea*), lumky a lumčíky (*Ichneumonoidea*). Samičky těchto druhů kladou svá vajíčka do larev nebo kukel ostatního hmyzu a larvy, které se poté vylíhnou, tak cizopasí uvnitř hostitele. To jim umožňuje se z hostitele nejen žít, ale následně se v něm i kuklit (Šuláková, 2014).

3.7.3 Tělo biochemicky aktivní/fermentace tuků

V této fázi dochází činností mikroorganismů a nekrofágního hmyzu k rozsáhlému rozkladu měkkých tkání (Payne, 1965). Tato fáze zahrnuje dva procesy, a to zmýdelnění tuků a fermentaci proteinů. Výsledkem zmýdelnění tuků je vznik těkavých mastných kyselin (především kyseliny máselné), která se stává silným atraktantem pro hmyz (Byrd a Castner, 2010).

V České republice bychom z hmyzu našli nejčetnější zastoupení u mouchy rodu *Hydrotaea*, konkrétně u mouchy lesklé (*H. ignava*). Na mršině se první samičky objeví až několik dní od okamžiku smrti. V tuto chvíli už je na mrtvém těle velké množství larev bzučivky. Z důvodu přítomnosti těchto larev klade moucha lesklá své larvy pod tělo, nikoli na něj. První vylíhnuté larvy se živí prosáknutou tekutinou z těla do půdy. Teprve druhá vlna vylíhnutých larev začne kolonizovat mrtvolu. Mrtvé tělo úplně využijí až po zakuklení bzučivek. Nejvýznamnější zastoupení z řad brouků má drabčík páskovaný (*Creophilus maxillosus*), který se pravidelně rozmnožuje a využívá se při stanovení doby kolonizace. Dále můžeme v této fázi rozkladu nalézt brouky rodu mršníkovitých (*Histeridae*) a lesknáčovitých (*Nitidulidae*) (Šuláková, 2014).

Při sýrové fermentaci neboli fermentaci tuků se uvolňují látky připomínající zápach přezrálého sýru. Tento zápach láká převážně mušky čeledi sýrohladkovití (*Piophilidae*), kmitalkovití (*Sepsidae*) a slunilkovití (*Fanniidae*) (Daněk, 1990). Z brouků jsou zde aktivní zástupci z čeledi kožojedovitých (*Dermestidae*) a pestrokrovečnickovitých (*Cleridae*). Oba druhy dávají přednost suššímu substrátu, a tak jejich kolonizace mrtvého těla začíná u okrajových částí nebo na částech těla s již odkrytými kostmi (Štefan a kol., 2012).

3.7.4 Pokročilý rozklad

V tomto stadiu dochází u mrtvoly k čpavkové fermentaci zbylých měkkých tkání, při níž se uvolňují amoniální plyny a páry (Payne, 1965). Rozkladem mršiny se v půdě zvyšuje množství dusíku a uhlíku (Carter a kol., 2007). Na zápach z par a plynů reagují drobné mušky čeledi hrbilkovitých (*Phoridae*), které se usazují v hnilobných bílkovinných látkách (Daněk, 1990). V této fázi však neustává aktivita larev z předchozích sukcesních fází, např. larvy sýrohlodek, slunilek, kožojedů a dalších (Šuláková, 2014). Dospělci jsou v danou chvíli na mršině vyskytují pouze v malém počtu (Klimešová a kol., 2015).

3.7.5 Vysychání zbytků měkkých tkání

Dochází k absorpci tekutin a zbytky měkkých tkání tak postupně vysychají (Štefan a kol., 2012). Jak uvádí Daněk (1990), nastává toto období zhruba koncem prvního nebo v průběhu druhého roku rozkladu (v letních měsících může v České republice toto období nastat již do čtrnácti dnů). Z mrtvého těla se tak postupně stává pouze kostra. Tělo stále kolonizují larvy sýrohlodek a hrbilek, které se vyvíjejí na vlhčích místech těla a v kostech (Štefan a kol., 2012). Dále jsou aktivní larvy kožojedů a pestrokrovečníků. Mezi nové kolonizátory řadíme brouky čeledi hlodáčovitých (*Trogidae*). Zaznamenáváme zde také zvyšující se počet zastoupení roztočů (*Acarí*), jež napadají kostní dřev, což způsobuje rychlejší rozpad kostí (Eliášová a Šuláková, 2012). Roztoči se na mrtvolu dostávají pomocí jiného hmyzu, na který se přichytí a ten je přenesou (Šuláková, 2014).

3.7.6 Kosterní zbytky

Převážná část měkkých tkání je již zcela rozložena a mrtvola vysušena. Na místě zůstávají pouze kosti, vyschlé chrupavky, vazivo, vlasy a chlupy (Gennard, 2007). Největší podíl na rozkladu mají roztoči a červotočiví (*Anobiidae*). Mezi nový kolonizátorský druh brouků řadíme vrtavce (*Ptininae*), kteří se živí sušeným masem,

kůží, peřím atd. (Štefan a kol., 2012). Na degradaci kostí ležících na povrchu se podílejí řasy (*Algae*) (Šuláková, 2014).

3.8 Stádia rozkladu malých obratlovců

Při rozboru rozkladných fází malých obratlovců se nejčastěji využívá 5 sukcesních vln (fresh, bloated, active decay, advanced decay, dry). Fáze jsou od sebe odděleny podle průběhu rozkladu mrtvého těla ve spojitosti s hmyzem (Ferllini, 1994). Oproti velkým obratlovcům se mršina liší především v hmotnosti, což vede ke snížení doby rozkladu.

3.8.1 Čerstvá mršina

Jedná se o stádium rozkladu jinak také označované jako Fresh stage. Stejně jako u velkých obratlovců i u těch malých je počátek daný smrtí jedince. Toto stádium trvá poměrně krátce. Je však závislé na počasí. I zde platí, že čím vyšší teplota, tím rychlejší rozklad (Payne, 1965). Vajíčka začínají klást dvoukřídle a to do otevřených ran, blízkosti tělních otvorů nebo do srsti. Mezi první kolonizátory kromě much řadíme hrobaříky (Gennard, 2007).

3.8.2 Nadýmání

Druhá fáze rozkladu mršiny trvá stejně jako fáze první, zhruba dva dny (Kočárek, 2003). Druhy hmyzu se rozšiřují o brouky čeledi drabčíkovitých a mršníkovitých. Tento hmyz se živí vajíčky a larvami dvoukřídle (Gennard, 2007).

3.8.3 Aktivní hnití

Třetí stádium probíhá několik dní. Tělo kolonizují především larvy bzučivek, mrchožroutovití a větší druhy mršníkovitých (Gennard, 2007).

3.8.4 Pokročilé hnití

Mršinu kolonizují především brouci, neboť pro dvoukřídle už zde v této fázi není dostatek vhodné potravy. Kromě stávajících druhů mrchožroutovitých, drabčíkovitých a mršníkovitých se nově objevují lesknáčkovití a kožojedi (Byrd a Castner, 2009).

3.8.5 Vyschnutí

Dry stage je poslední fáze rozkladu (Gennard, 2007). Délku trvání řadíme mezi nejdelší, může trvat i týden (Kočárek, 2003). Na těle jsou stále lesknáčkovití a kožojedi. Tekutinou z těla, jež se nachází v půdě, se živí brouci drobných druhů (Gennard, 2007).

3.9 Hmyz kolonizující mršiny

Mrtvé tělo je v přírodě bráno jako konečná fáze v potravním řetězci. Je zásobárnou snadno stravitelných látek, jež jsou bohaté na živiny (Klimešová a kol., 2015). Na kadaveru (mrtvém těle), jež se nachází na určitém biotopu, se objevují různá dílčí společenstva druhů celé biocenózy. Tato dílčí společenstva, která osidlují jen vyhraněnou část stanoviště, se nazývají merocenózy. Mezi základní znaky patří potravní vztahy, čas, stanoviště a velikost kadaveru. Ze zástupců hmyzu se zde nejčastěji vyskytují brouci (cca 50%) a dvoukřídlí (cca 35%). Mezi ostatní řadíme například roztoče, motýly nebo některé druhy bakterií (Daněk, 1990). Jak uvádí Lang a kol. (2006), i přes druhovou konkurenci se současně vyskytuje na kadaveru až 10 různých druhů much. Tato existence je možná díky drobným mezidruhovým rozdílům.

Rychlost kolonizace kadaveru je rozdílná. Některé druhy se objeví na mrtvole prakticky ihned, zatímco jiné řadíme do skupin pozdních kolonizátorů nebo nemrchožravých druhů (Amendt a kol., 2004). Hmyz kolonizující mršinu je rozdělen podle preference potravy do následujících ekologických guild (viz obrázek č. 1)

3.9.1 Nekrofágní druhy

Jako nekrofágní druhy označujeme ty, jež se živí přímo mrtvým tělem. Zdrojem potravy je pro ně buď celá mršina, část nebo odumřelá tkáň v důsledku zranění u mrtvoly (Ambrozek a kol., 2001). Přítomnost nekrofágních obratlovců na mrtvole je možné zaznamenat jak jednotlivě, tak i v malém množství a vždy po nasycení mrtvolu opouští. Oproti tomu nekrofágní druhy členovců se na kadaveru zdržují, jelikož je zdrojem potravy nejen pro ně, ale i pro jejich potomstvo (Daněk, 1990). Z hlediska forenzní entomologie jsou nekrofágní druhy nejdůležitějším hmyzem při stanovování post-mortem intervalu (Smith, 1986).

Nekrofágní druhy se rozdělují do čtyř skupin podle stavu, v jakém se nachází konzumovaná mrtvá tkáň: nekrofágové, saprofágové, dermatofágové, keratofágové (Povolný, 1978).

Nekrofágové – vyskytují se na čerstvé mrtvole, neboť se živí čerstvou nebo málo rozloženou tkání.

Saprofágové – živočichové živící se částečně rozloženou až odumřelou hmotou.

Dermatofágové – začínají konzumovat mršinu až ve fázi vysychání. Typickým příkladem dermatofágů a keratofágů jsou brouci čeledi kožojedovitých (*Dermestidae*) a dvoukřídlí čeledi sýrohlodkovitých (*Piophilidae*).

Keratofágové – vyskytují se na kostech, srsti nebo peří (Kočárek, 2003).

3.9.2 Predátoři, parazité a parazitoidi

Druhá nejdůležitější skupina pro forezní praxi. Živočichové spadající do této kategorie se živí ostatním hmyzem a členovci, kteří se nacházejí na mršině. Jedním ze zástupců brouků je čeleď drabčíkovitých (*Staphylinidae*) a mršníkovitých (*Histeridae*) (Klimešová a kol., 2015).

Parazitoidi jsou druhy, které se vyvíjejí na úkor svého hostitele. V průběhu vývoje svůj zdroj zkonsumují celý nebo způsobí jeho předčasnou smrt důsledkem poškození jeho těla (Ambrozek a kol., 2001). Do skupiny parazitů patří především blanokřídlí (*Hymenoptera*) (Prins, 1984).

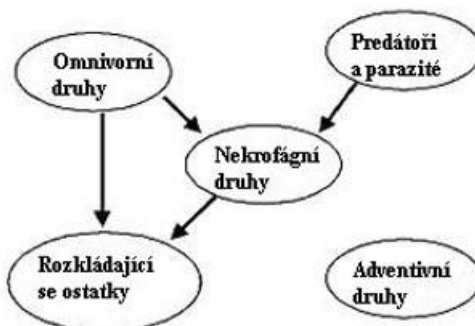
3.9.3 Omnivorní druhy hmyzu

Tito živočichové jsou nejen predátoři, ale živí se také nekrofágně (Smith, 1986).

Jako omnivorní druhy označujeme vosy (*Vespoidea*), mravencovité (*Formicidae*) a brouky (*Coleoptera*). Ti se živí nejen samotnou mrtvolou, ale i ostatními druhy, jež mršinu kolonizují (Klimešová a kol., 2015).

3.9.4 Adventivní druhy hmyzu

Zástupcem této kategorie jsou chvostokové (*Collembola*) a pavouci (*Araneae*). Ti se mohou stát predátorem a žít se tak přítomnými mouchami.



Obrázek č. 1 Vzájemné vztahy jednotlivých druhů na mršině (Smith, 1986)

U některých druhů ale není úplně možné přesné zařazení jen do jedné kategorie. V průběhu jejich vývoje se totiž postavení v potravním řetězci mění. Typickým příkladem jsou larvy hrobaříků, jež jsou nekrofágní. Dospělci se ale živí kromě mrtvé tkáně také vajíčky a larvami dvoukřídlých, což z nich dělá predátory (Amendt a kol., 2004).

3.10 Dvoukřídlí (*Diptera*)

Základním znakem je přítomnost jen předního páru křídel. Zadní pár je přeměněn na tzv. kyvadélka (haltery). Dvoukřídlé řadíme do skupiny s proměnou dokonalou. Druhově se jedná o velmi bohatý druh hmyzu. Počet jedinců se odhaduje na více než 100 000 druhů (Doskočil, 1977). Vyskytují se téměř po celém světě kromě polárních oblastí (Gennard, 2007). V České republice je známo cca 6 530 druhů ze 110 čeledí (Křístek a Urban, 2013). Mezi dvoukřídlými je možno nalézt druhy dravé, ektoparasity (vnější parazity) nebo druhy, jež sají tělní tekutiny živočichům. Hmyz je taktéž významným aktivním i pasivním přenašečem chorob – virová encefalitida, malárie. Dvoukřídlí se také liší v larválním stádiu, kdy někteří se vyvíjí jako endoparasiti (vnitřní parazité), někteří jsou fytofágní (požírající jakoukoli rostlinnou hmotu). Existují ovšem i druhy, jež se dají označit jako užitečné, a to jsou především druhy, které v larválním stádiu hubí hmyzí škůdce, např. kuklice a pestřenky a druhy s vodními larvami (Doskočil, 1977).

Velikost jedinců se pohybuje v rozmezí 0,5-26 mm. Rozmnožování probíhá oplodněnými vajíčky. Dospělí jedinci se živí dravě i cizopasně a to rostlinnými a živočišnými šťávami. Larvy žijí ve vodním prostředí, v hničících částech rostlin a živých rostlinách. Parazitoidní a dravé druhy slouží k udržení biologické rovnováhy. Druhy saprofágní se podílejí na rozkladu organických látek a jejich následnou přeměnu v humus. Při opylování rostlin jsou užitečné druhy navštěvující květy (Křístek a Urban, 2013).

Mezi nejčastější zástupce dvoukřídlých vyskytujících se na mršině patří čeleď bzučivkovitých (*Calliphoridae*), masařkovitých (*Sarcophagidae*), moučovitých (*Muscidae*), hrbilkovitých (*Phoridae*) a sýrohlodkovitých (*Piophilidae*) (Daněk, 1990).

3.10.1 Bzučivkovití (*Calliphoridae*)

Mouchy, které jsou u středoevropských druhů modré nebo kovově zelené barvy (McGavin, 2005). Svá vajíčka kladou do hničících látek rostlinného nebo živočišného původu (např. maso, fekálie), zde se také vyvíjejí larvy. Některé druhy

jsou příležitostnými nebo trvalými parazity a také přenašeči patogenních mikroorganismů na lidi a zvířata. Jedná se o první kolonizátory mrtvého těla (Gennard, 2007). Z hlediska forenzní entomologie jsou velmi významní z důvodu minimální časové prodlevy mezi výskytem prvního jedince a kladením vajíček (Daněk, 1990). Tvoří tedy rozhodující skupinu dvoukřídlých z hlediska stanovení doby kolonizace (Šuláková, 2014).

Zástupci: Bzučivka obecná (*Calliphoridae vicina*), bzučivka zlatá (*Lucilia caesar*), bzučivka zední (*Pollenia rudis*), bzučivka zelená (*Lucilia serricata*), bzučivka modrá (*Protophormia terraenovae*) (Šuláková, 2014).

Bzučivka obecná (*Calliphoridae vicina*) – nejvýznamnější zástupce z kategorie bzučivkovitých. Hmyz modré barvy, jehož velikost se pohybuje mezi 5 až 12 mm. Nejčastěji se vyskytuje na okoličnatých rostlinách. Vývoj larev probíhá v zahnívajícím mase, v drobných mrtvolkách a ranách zvířat a lidí (Křístek a Urban, 2013). Aktivní je od března do listopadu (Bellmann, 2015).

Bzučivka zelená (*Lucilia serricata*) – druh kovově lesklé barvy, jenž je kosmopolitně rozšířený. Vývoj probíhá velmi rychle, v případě příznivých podmínek do dvou týdnů. Pokud nejsou podmínky dobré, může u jedinců nastat diapauza (částečné pozastavení vývoje). Vajíčka klade v průběhu jednoho až tří dnů.

Bzučivka modrá (*Photophormia terraenovae*) – nachází se na šatech mrtvolky a záhybech a švech (Daněk, 1990).

3.10.2 Masařkovití (*Sarcophagidae*)

Patří mezi synantropní druh hmyzu, který žije v blízkosti člověka (Roháček a kol., 2013). Zatímco v Evropě se vyskytuje přes 300 druhů, v České republice je to přibližně jen 100. Dospělci u nás patří k nejhojnějším dvoukřídlým. Larvy se vyvíjí v mršinách a fekáliích. Stejně jako bzučivkovití i některé druhy masařkovitých přešly k příležitostnému až trvalému cizopasnictví, a to nejen u hmyzu a korýšů, ale napadají i vyšší živočichy a člověka. Obývají převážně místa osvětlená sluncem, cesty, kameny a listy okrajových stromů (Doskočil, 1977). Jejich význam je hygienický a zdravotní (Křístek a Urban, 2013).

Zástupci: Masařka obecná (*Sarcophaga carnaria*), masařka obávaná (*Wohlfahrtia meigeni*), masařka mnišková (*Kramerea schuetzei*).

Masařka obecná (*Sarcophaga carnaria*) – šedivě a černě skvrnitý hmyz, jehož velikost je 10 – 16 mm. Žije na květech, kamenech nebo v bytech (Křístek a Urban, 2013). Larvy masařky se vyvíjejí především v žížalách. Zahlédnout se dají

od dubna do října (Bellmann, 2015). Nejčastější výskyt larev masařek obecných je na různých mrtvolách a výkalech v nízké vegetaci (Zahradník, 2011).

3.10.3 Mouchovití (*Muscidae*)

Celosvětově se jedná o poměrně rozšířenou čeleď. Jen v České republice se nachází cca 307 druhů (Barták a Kubík, 2005). Velký význam mají z hlediska hospodářského a zdravotnického (Doskočil, 1977). Je to 3 až 14 mm velký hmyz šedě až černě zbarvený. Larvy jsou saprofágní, koprofágní (živící se převážně výkaly jiných živočichů) a dravé (Křístek a Urban, 2013). Dospělci napadají zvířata a obtěžují člověka sáním potu a jiných tělních výměšků (Doskočil, 1977). Mouchovití jsou kolonizátory i pohřbených mrtvol (Štefan a kol., 2012).

Zástupci: Moucha domácí (*Musca domestica*) a bodalka stájová (*Stomoxys calcitrans*).

Moucha domácí (*Musca domestica*) – hmyz velikosti 7 – 8 mm, šedočerné barvy s 4 podélnými černými proužky. Vývoj larev probíhá v hniјících látkách, na hnojistiách a v odpadních jímkách. V případě příznivých podmínek trvá cca 2 týdny. Díky rychlému vývoji má moucha během roku i několik generací (Křístek a Urban, 2013). Je přenašečem střevních a hnisaných onemocnění člověka a zvířat. Aktivita much domácích je celoroční (Bellmann, 2015).

3.10.4 Hrbilkovití (*Phoridae*)

V České republice se jedná o poměrně rozšířený druh, jehož počet skýtá asi 250 druhů. Jedinci jsou drobní 0,5 – 6 mm velcí. Černé mušky jsou charakteristické vyklenutou hrudí. Některé druhy jsou bezkřídle. Mají velmi svižné a trhavé pohyby (Křístek a Urban, 2013). Larvy žijí na mrtvých tělech, cizopasně a v tlejících rostlinných zbytcích. Živí se jako parazité, saprofágně a fytofágně. Dospělci se vyskytují na listech stromů, květech, v jeskyních a na oknech domů (Doskočil, 1977).

Zástupci: Hrbilka červenonohá (*Megaselia rufipes*), *Megaselia giraudii*, *Megaselia plurispinulosa*.

Hrbilka červenonohá (*Megaselia rufipes*) – černá muška velká 1,5 – 3 mm, jejíž výskyt je velmi hojný. Larvy se vyvíjejí na hniјících látkách. Negativní vliv mají na klíčící semena a semenáčky lesních dřevin (např. borovice), neboť je poškozují (Křístek a Urban, 2013).

3.10.5 Sýrohlodkovití (*Piophilidae*)

Malý, tmavě zbarvený hmyz. Vývoj larev probíhá v látkách, které jsou bohaté na bílkoviny (Doskočil, 1977). Preferují mršiny v pokročilém stádiu rozkladu (Gunn, 2008). Nejčastější výskyt je na kadaveru, výkalech a odpadcích (Barták a Kubík, 2005). Část druhů je synantropní. Objevují se zde ale i jedinci, kteří jsou z hlediska potravinářského průmyslu závažnými škůdci (Doskočil, 1977).

Zástupci: Sýrohlodka drobná (*Piophila casei*) a *Stearibia nigriceps* (Šuláková, 2014).

Sýrohlodka drobná (*Piophila casei*) – muška tmavé barvy o velikosti 4 – 5 mm. Živí se zbytky masa, sýrů a zbytky živočišného původu. Působí škodlivě v masném a mlékárenském průmyslu. Jedná se o kosmopolitní eusynantropní druh hmyzu (Doskočil, 1977).

3.11 Brouci (*Coleoptera*)

Jedná se o jeden z nejpočetnějších (více než 350 tisíc popsaných druhů) a nejlépe prozkoumaných řádů hmyzu, a to i přes velmi bohatou tvarovou a velikostní různorodost. Hojný počet tohoto řádu, je z důvodu schopnosti přizpůsobit se životu na nejrůznějších stanovištích na souši, v podzemních prostorech a ve sladké vodě. Dalším faktorem ovlivňujícím jejich výskyt je schopnost letu, což umožňuje jednak rozšiřování populace, ale také přelet na vhodnější stanoviště a přesun při změně podmínek (ať už se jedná o změnu náhlou, nebo postupnou) (Hůrka, 2005). Velikostní rozpětí je poměrně velké od 5 do 85 mm. Část druhů je vodních, přesto převážná většina patří mezi suchozemské. Brouci se svým tvarem přizpůsobují prostředí, které obývají. Ti, kteří žijí pod kůrou, mají ploché tělo, částečně žijící pod kůrou (napůl pod kůrou a zčásti ve dřevě) mají válcovitý tvar. Vodní druhy jsou člunkovité a půdní druhy podlouhlé a štíhlé. Až na pár výjimek nejsou nijak barevně výrazní. Co se týče křídel, někteří mají jen pahýly nebo je nemají vůbec (Křístek a Urban, 2013). Stejně jako dvoukřídlí i brouci jsou hmyzem s proměnou dokonalou (Byrd a Castner, 2010).

Vývoj brouků trvá převážně okolo jednoho roku. U některých druhů se během jednoho roku nevyvine pouze jedna generace, ale mnohdy i dvě nebo tři a naopak u některých trvá vývoj jedné generace i pět nebo dvanáct let.

První kolonizátoři (zpravidla živící se larvami much) se na mrtvole vyskytují již v počátcích hnilobné fáze (Daněk, 1990).

Mezi nejvýznamnější skupiny vyskytující se na kadaveru patří čeleď drabčíkovitých (*Staphylinidae*), mršníkovitých (*Histeridae*), kožojedovitých (*Dermestidae*), pestrokrovečnickovitých (*Cleridae*) a mrchožroutovitých (*Silphidae*) (Daněk, 1990).

3.11.1 Drabčíkovití (*Staphylinidae*)

V České republice se vyskytuje zhruba 1270 druhů drabčíkovitých. Hmyz je středně velký do 30 mm, žluté až černé barvy. Má silná kusadla a výborně vyvinuté běhací nohy. Larvy i dospělí jedinci jsou spíše karvinorní, ale část z nich je saprofágní a někteří býložraví (Křístek a Urban, 2013). Zdržují se pod kameny, kůrou, v norách obratlovců a opadaném listí (Zahradník, 2011). Na mrtvých tělech a hnojištích se vyskytují za účelem hledání larev dvoukřídlých a lovení drobného hmyzu (Gill, 2005). Na kadaveru se začínají objevovat druhý nebo třetí den, nejhojnější výskyt je však od 2. do 3. týdne (Daněk, 1990).

Zástupci: Drabčík zdobený (*Staphylinus caesarues*), drabčík páskovaný (*Creophilus maxillosus*), drabčík smrdutý (*Staphylinus olens*) (Byrd a Castner, 2010).

Drabčík páskovaný (*Creophilus maxillosus*) – nejnápadnější a největší druh, velikosti 20-23 mm široce rozšířený. Vyskytuje se na rozkládajících se živočišných i rostlinných látkách, kde pronásleduje jiné drobné druhy (Hůrka, 2005). Na mrtvolách se pravidelně rozmnožuje a z hlediska forenzní entomologie se využívá k výpočtu doby kolonizace (Šuláková, 2014).

3.11.2 Mršníkovití (*Histeridae*)

Zastoupení v České republice je kolem 96 druhů. Čeleď drobných jedinců, lesklé barvy a oválného tvaru. Živí se larvami dvoukřídlých na mršinách, výkalech a pod kůrou starých stromů (Křístek a Urban, 2013) Vyskytují se na mršinách, výkalech, hnojících materiálech, kůži a kostech (Daněk, 1990).

Zástupci: Mršník lesklý (*Saprinus semistriatus*), mršník mrvový (Šuláková, 2014).

3.11.3 Kožojedovití (*Dermestidae*)

Počet druhů v České republice je cca 40. V této čeledi jsou drobní brouci dorůstající délky maximálně 1 cm, leskle černého, šedého nebo hnědého zbarvení (Zahradník, 2011). Mají dobře vyvinutá přední křídla, vhodná k letu. Vývoj larev probíhá na suchých zbytcích mršin, poté žijí pod kůrou listnatých stromů. Živí se

semeny ve skladištích, zbytky hmyzu a larvy jiných druhů. Dospělci se vyskytují na květech rostlin a zbytcích zvířat (Háva, 2011). Kožojedovití jsou významnými škůdci v oblasti skladového hospodářství, v domácnostech a muzeích (Křístek a Urban, 2013). Na mršině se objevují až v okamžiku, kdy dochází k zasychání (Háva, 2011). Kriminalistům tento hmyz slouží při zjišťování informací o době smrti (Daněk, 1990)

Zástupci: Kožojed obecný (*Dermestes lardarius*) (Šuláková, 2014).

Kožojed obecný (*Dermestes lardarius*) – černý s šedobílým pruhem na přední části krovek, velikost 7 – 9 mm. Ničí kožešiny, vycpaniny atd. (Křístek a Urban, 2013). Životní cyklus trvá od 56 dní do dvou let. Během dvou let mohou mít až dvě generace. Je přenašečem choroboplodných zárodků (Háva, 2011). Výskyt hmyzu je celoroční. Tento druh je užitečný při preparaci jemných zvířecích koster, neboť larvy i dospělci mají schopnost očistit od zbytků masa i nejjemnější kosti (Bellmann, 2015).

3.11.4 Pestrokrovečnickovití (*Cleridae*)

V České republice je 21 druhů. Většina druhů je středně velkých. Tělo mají zploštělé a pestře zbarvené – modrou, zelenou či červenou barvou. Brouci i larvy jsou draví, pronásledují podkorní a dřevokazný hmyz (Křístek a Urban, 2013) Pestrokrovečnickovití se vyskytují především na starých a již tlejících kostech a kůži. Na mršině je láká pach, který je uvolňován při procesu zmýdelnění (Daněk, 1990).

Zástupci: Paličnick rudonohý (*Necrobia rufipes*), paličnick pestrý (*Necrobia ruficollis*) (Šuláková, 2014).

3.11.5 Mrchožroutovití (*Silphidae*)

Zastoupení v České republice není tak početné, pouze cca 24 druhů. Velikosti jsou různé, od drobných druhů až po velké (Křístek a Urban, 2013). Mají dobře vyvinuté krovky. Žijí v mrtvolách obratlovců nebo hnilých houbách, a to nekrofágně a saprofágně. Zatímco někteří jsou draví – živí se vajíčky, larvami much a ostatním hmyzem, jiní jsou býložraví a škodliví v zemědělství (Křístek a Urban, 2013).

Na mršině se jako první objevuje samička. Ta klade svá vajíčka vždy v okolí mrtvol. Pro hrobařiky je důležitý povrch pod mrtvolou. Není-li dostatečně měkký, snaží se mrtvolu buď přenést, nebo přesunout na vhodnější stanoviště. Snaha o přesun způsobuje postupný pokles mrtvol pod povrch půdy, jelikož se pod ni hrobařici podvrstávají a tím ji postupně podkopávají. Výskyt hrobařiků je možno

zachytit již ve druhé sukcesní fázi rozkladu (Daněk, 1990). Hrobařici vynikají svou užitečností, neboť jsou významnou součástí zdravotní policie (Křístek a Urban, 2013).

Zástupci: Mrchožrout housenkář (*Xylodrepa quadripunctata*), hrobařík obecný (*Nicrophorus vespillo*), hrobařík velký (*Nicrophorus germanicus*), mrchožrout znamenavý (*Oiceoptoma thoracica*) (Šuláková, 2014).

Hrobařík obecný (*Nicrophorus vespillo*) – 12 – 22 mm velký, černý brouk. Má zkrácené, červené pruhované krovky. Základním znakem je instinkt v péči o potomstvo. Jeho vývoj probíhá v mršinách drobných zvířat (Křístek a Urban, 2013). Tuto mršinu brouci společně zahrabávají do půdy až do 30 cm. Larvy jsou krmeny natrávenou potravou od samic (Von Brandt, 2016).

3.12 Motýli (*Lepidoptera*)

Po celém světě velmi rozsáhlý řád hmyzu jak početně, tak druhově - cca 150 000 tisíc (Obenberger, 1964). V České republice je zastoupený asi 3 330 druhů (Křístek a Urban, 2013). Jedná se výhradně o suchozemský hmyz. Velikostně se jednotlivé druhy liší, poněvadž druhy mají od 3 mm až do 30 cm. Charakteristickým znakem jsou dva páry blanitých křídel, které jsou pokryté šupinami (Laštůvka, 2004). Vajíčka kladou samičky na rostliny, počet závisí na jejím druhu a velikosti (Křístek a Urban, 2013). Vývoj larvy (housenky) trvá několik dní i pár let. Živí se rostlinnou a výjimečně i živočišnou potravou (Obenberger, 1964; Křístek a Urban, 2013). Zimní období přečkávají motýli ve stádiu kukly, housenky, vajíčka a imaga. Během jednoho roku mají i více jak dvě generace. Motýli jsou obávaným fyziologickým a technickým škůdcem rostlin (Křístek a Urban, 2013). Proměna je dokonalá. Na kadaveru se vyskytují v pozdějších stádiích rozkladu, a to převážně v uzavřených prostorech – půdy, skladiště (Daněk, 1990).

3.12.1 Molovití (*Tinaeidae*)

Drobný hmyz o velikosti 6 – 30 mm. Zkráceně se označují jako moli. Housenky žijí v látkách rostlinného a živočišného původu. Vidět je můžeme v lesích, na pasekách, v domech a skladech. Některé druhy považujeme za významné škůdce (Obenberger, 1964; Křístek a Urban, 2013).

Zástupci: Mol šatní (*Tineola bisselliella*), mol kožišinový (*Tinea pellionella*), mol obilní (*Nemapogon granellus*) (Šuláková, 2014).

Mol šatní (*Tineola bisselliella*) – slámově žlutý, 12 mm velký. Patří k jednomu z nejvýznamnějších hospodářských škůdců. Vyskytuje se na mrtvolách, které jsou v uzavřených prostorech (Daněk, 1990).

3.12.2 Zavíječovití (*Pyralididae*)

Čeď se štíhlým tělem a širokými křídly (Obenberger, 1964). Druhově se jedná o velmi početnou skupinu. Aktivní jsou 24 hodin denně (Křístek a Urban, 2013). Využívají se ve skladech a zbytcích rostlin a živočichů. Na mršině se vyskytují ve třetí rozkladné fázi. Pro kriminalistické účely se nejedná o nijak významný druh, jelikož slouží pouze pro doplnění informací (Daněk, 1990). Jsou škůdci kulturních rostlin a zásob (Obenberger, 1964).

Zástupci: Zavíječ smrkový (*Dioryctria abietella*), zavíječ pryskyřičný (*Dioryctria sylvestrella*), zavíječ skladištní (*Ephestia elutella*), zavíječ moučný (*Ephestia kuehniella*), zavíječ paprikový (*Plodia interpunctella*) (Šuláková, 2014).

3.13 Roztoči (*Acarī*)

Velmi drobní živočichové, kteří jsou rozšíření v každém prostředí. V domácnostech jsou téměř trvalými obyvateli (v kobercích, péřových příkrývkách). Živí se tekutou potravou prostředí nebo tělními tekutinami organismů. Roztoči jsou škůdci rostlin a zásob, někteří jsou půdní a draví, což má pozitivní význam v hospodářství (Laštůvka, 2004).

V minulosti nebyli z hlediska kriminalistiky a určení doby smrti nijak užiteční z důvodu velkého rozšíření. V současnosti již však dochází k přehodnocení tohoto stanoviska. Na kadaver se dostanou coby cizopasníci na jiném hmyzu nebo se vyvíjejí přímo v těle svého hostitele. Využívají se jako biologické mikrostopy – jejich přítomnost prokazuje kontakt s pachatelem nebo přítomnost pachatele na místě činu (Daněk, 1990).

4. Ověření vnějších vlivů na larvální vývoj

Úvod

Jak již bylo zmíněno u chyb v odhadech výpočtu post mortem intervalu, je vliv fotoperiody na larvální vývoj často zanedbávaným faktorem v důsledku nedostatečných kontrol fotoperiod během chovu larev. Jak uvádí Nabity (2007), většina studií zabývajících se larválním vývojem závislým na vztahu teploty a rychlosti vývoje využívá konstantní fotoperiody v poměru 24:0 (světlo:tma). Některé studie poukazují na fakt, že různá délka fotoperiody má za následek prodloužení či zkrácení samotného larválního vývoje.

Cíl

V návrhu jednoduchého experimentu se zaměříme na sledování larválního vývoje určitých hmyzích druhů za určitých teplotních a světelných podmínek. Experiment se bude provádět na konkrétních vybraných druzích hmyzu a, ..., y. Konkrétní druhy hmyzu budou vždy vybrány podle potřeb. Pro tento návrh bude využit konkrétní zdroj potravy, jímž bude kuřecí prso.

Metodika

Místem, kde bude návrh prováděn, je laboratoř a nezbytnou součástí jsou doporučené pomůcky: inkubátor, do kterého budou jednotlivé druhy hmyzu umístěny, pinzeta, rukavice, ochranný oděv, chovné nádoby.

Pro účel experimentu budeme sledovat vývoj v pěti světelných podmínkách: světlo 24 hodin, tma 24 hodin, střídání světla a tmy po 12 hodinách, střídání světla a tmy 16/8 (světlo/tma), střídání světla a tmy 8/16 (světlo/tma).

Délka sledování bude stanovena na pět dnů a poté až do vývojového stádia larvy v dospělce. Tím, že bude sledován celý vývoj, bude možné vyhodnotit, zda za určitých podmínek, ať už teplotních nebo světelných, dojde k urychlení vývoje, či naopak růstové deprivaci.

Do jedné laboratoře umístíme celkem 10 inkubátorů – klimaboxů (na experiment je jich potřeba 5, ale pro kvalitnější výstup budeme vše opakovat, tedy provádět dvakrát). V každém budou nastavené jiné podmínky. Všechny jsou vypsány v navržené tabulce (viz Příloha č. 1), do které bude vždy zapisován vývoj hmyzího druhu a na základě doplněné tabulky bude možné vyhodnotit, jak vývoj postupoval. Při kterých světelných podmínkách postupoval vývoj rychleji, pomaleji nebo zda bude u některých druhů postupovat stejnou rychlostí. Záměrem bude také

sledování, zda bude vývoj hmyzích druhů probíhat stejně rychle jen u každého druhu za jiných podmínek. Obdobou vývoje samostatných larválních druhů může být sledování více skupin hmyzu (např. tří skupin) v jednom inkubátoru (klimaboxu) na jednom kusu masa.

Vyhodnocení

Výsledkem kolonizace více druhů hmyzu na jednom místě bude zjištění, zda se jednotlivé druhy budou měnícími světelnými podmínkami nějak výrazně ovlivňovat, či nikoli a u kterých druhů k tomu bude docházet. Faktorem, který bude jednotlivé druhy hmyzu ovlivňovat, může být kromě světla také umístění více druhů v jedné chovné nádobě. S tím souvisí také rozdíly, jež může způsobit v jednotlivých klimaboxech druh použité nádoby (tvar, materiál, umístění), ve kterých bude hmyz umístěn. Výstupem experimentu tedy bude kromě působení jednotlivých výše zmíněných faktorů i působení kombinací všech faktorů dohromady (fotoperioda + klimabox + chovná nádoba).

5. Diskuze

Mégnin (1894), který se jako první zabýval rozkladem lidského těla v důsledku činnosti hmyzích organismů, tvrdí, že rozklad těla má několik fází a trvá určitou dobu. S tímto tvrzením se ztotožňuje v průběhu let mnoho autorů, avšak postupně přichází s jinými tvrzeními, co se týče počtu fází nebo vlastní délky rozkladu. Do dnešní doby bylo navrženo od 4 do 8 fází (Bornemissza, 1957; Reed, 1958, Michaud a Moreau, 2009; Štefan a kol., 2012); Payne a Crossley, 1966). Rozdělení podle Bornemissza (1957) na nekrofágní, saprofágní, dermatofágní a keratofágní mi nepřijde jako úplně správný směr. Tyto fáze jsou rozděleny podle jednotlivého hmyzu, jenž mršinu kolonizuje. Avšak dochází k situacím, kdy se na mrtvole objevuje více druhů zároveň a rozdělení na tyto fáze pak není jednoznačné. Také fáze rozkladu, které popisuje Reed (1958), čerstvá mršina, nadýmání, hnití a vysychání, ač jsou v dnešní době poměrně hojně využívané, není dle mého názoru úplně optimální. Přeci jenom pokud hovoříme o rozkladu velkých mršin, tak si myslím, že shrnutí do pouhých čtyř etap není úplně adekvátní. Poměrně podobné rozdělení, jež se využívá u sukcese hmyzu na mršinách velkých obratlovců v České republice, popisuje Štefan a kol. (2012). V obou případech nalezneme fáze: čerstvé tělo, nadmuté tělo, tělo biochemicky aktivní, vysychání zbytků měkkých tkání a kosterní zbytky. K rozlišným názorům dochází pouze ve fázi pokročilého rozkladu, kdy tomu dle Štefan a kol. (2012) předchází ještě tělo biochemicky aktivní/fermentace proteinů. Osobně se přikláním k rozdělení, jež uvádí Payne a Crossley (1966) i Šuláková (2014) a používá se v České republice, a to šest rozkladných fází. Tento počet mi přijde zcela optimální, pokud vezmeme v úvahu velikosti zkoumané mršiny a působení vnějších podmínek, které rozklad ovlivňují (např. zeměpisná poloha České republiky). Nacházíme se v mírném pásu, samotný rozklad mršiny neovlivňuje nijak extrémně slunce ani mráz, a tudíž v případě navržených teorií, které se pohybují mezi 4-8 fázemi, je číslo šest kompromisem. O menším počtu fází hovoří Ferllini (2007) ve spojitosti s rozkladnými fázemi malých obratlovců. V některých stádiích se shodují s rozkladem velkých mršin: čerstvé tělo, nadýmání, aktivní hnití, pokročilé hnití a vysychání. Pouze o jednu fázi je tento rozklad kratší a to jsou kosterní zbytky. Myslím si, že s tímto chybějícím stádiem souvisí právě velikost mršiny, která je kolonizována. Logicky je s velikostí podle Gennard (2007) také spjata délka rozkladu, která je u malých mršin kratší.

Jak již bylo zmíněno, velký vliv na rozklad mrtvých těl ať už velkých či malých obratlovců mají vnější faktory. Řadíme mezi ně podmínky prostředí

(zeměpisnou polohu, roční období, denní dobu, množství dopadajícího slunečního světla, samotný typ okolního prostředí a stav mrtvoly) (Zanetti a kol., 2015). Na tomto tvrzení se shodují i další autoři, již se působením vnějších podmínek zabývali. Jak tvrdí Likovský (1967), vliv na rozklad má samotný vzduch. Konkrétně jeho vlhkost, proudění a množství, jež je při rozkladu přítomno. S tím dle mého názoru úzce souvisí vliv konkrétního typu okolního prostředí. Je rozdíl mezi tělem ve vodním prostředí, na volném prostranství či u těla, jež je zahrabáno (Šuláková, 2006). Částečně musí, ať už více či méně, s tvrzeními o jednotlivých vnějších vlivech souhlasit každý, kdo se alespoň jednou prošel v přírodě a narazil na mršinu, která byla v rozkladné fázi. Již na první pohled člověka upoutá rozdíl mezi mrtvolou, která leží zakrytá v lesním stínu pod stromem, a tou, která je vystavena na širém poli přímému slunci. To samé platí i v případě zeměpisné polohy, kdy je znát rozdíl při rozkladu na místech teplejších a chladnějších (Gunn, 2008; Scott, 1998). Je však jasné, že ne všechny rozdíly jsou vidět na první pohled.

Sukcese hmyzu vychází z nauky, jež se samotným hmyzem zabývá, a to je entomologie (Laštůvka, 2004). Tato nauka je dnes využívána v mnoha odvětvích. Dle Platta (2005) je jedním z nejvýznamnějších forenzních věd forenzní entomologie. Ta využívá kombinace zkušeností, znalostí a dovedností k dosažení co největší úspěšnosti v tomto oboru. Díky znalostem o hmyzu, jenž kolonizuje mršiny, jsou dnes odborníci schopní určit dobu smrti, místo smrti a posmrtnou manipulaci s tělem. Anderson a kol. (2004) však uvádí, že forenzní entomologie slouží nejenom k objasnění kriminálních případů, jako je usvědčení pachatele z vraždy, ale také v případech týkajících se zanedbání péče. Dle mého názoru je toto stanovisko více než správné, vzhledem k tomu, že zanedbání péče je v dnešní době velmi aktuální téma, ať už se to týká lidí nebo zvířat. Dalším využitím forenzní entomologie je stanovení post mortem interval (Amendt a kol., 2007; Rivers a Dahlem, 2014). Nezbytným faktorem, který slouží k jeho stanovení, je dokonalé poznání biologie a ekologie jednotlivých kolonizujících druhů (Reed, 1958; Michaud a Moreau, 2009; Matuszewski a kol., 2012). Podle Magnin a kol. (2012) je ale zásadním pilířem při stanovení post mortem intervalu správná identifikace vzorků. Z načtené literatury usuzuji, že při stanovení post mortem intervalu je třeba skloubit všechny poznatky dohromady. Je na tom totiž založená správná vypovídající hodnota. Bez správné identifikace nalezených vzorků totiž nikdy nemůže dojít k dokonalému poznání biologie a ekologie jednotlivých druhů, jež se podílí na kolonizaci mršiny. Obě tvrzení ještě doplňuje Smith (1986), podle kterého závisí také na místní geografii. I s tímto není možné nesouhlasit, poněvadž každé místo

nálezu má své stanovištní podmínky a ne na každém místě se vyskytují všechny druhy hmyzu. Částečně se tímto zabývá Eliášová a Šuláková (2012) a Štefan a kol. (2012), kteří uvádí, že právě díky specifickým podmínkám jednotlivých druhů hmyzu u konkrétní biotop je možné určit, zda došlo k posmrtné manipulaci s tělem, či nikoli.

Mezi hmyzem, jenž se přímo podílí na kolonizaci mršiny, mají největší zastoupení brouci (50%), dvoukřídlí (35%) (Klimešová a kol., 2015). I s tímto tvrzením se ztotožňuji. Příkladem je opět mrtvé tělo obratlovce v přírodě. Pokud se někdy zadíváme například na mrtvou srnku, na první pohled si všimneme právě brouků a dvoukřídých, jež se na mršině vyskytují. Jednak vzhledem k počtu těchto jedinců, ale také vzhledem ke znalostem, které člověk běžně o těchto živočiších má, a je tak schopný jednotlivé druhy kolonizující mršinu rozpoznat. Jedním z důvodů, proč se na těle z hmyzu v největší míře vyskytují právě brouci a dvoukřídlí, může být fakt, že se jedná o nejpočetnější řády hmyzu. Zatímco dvoukřídých je cca 100 000 druhů (Doskočil, 1977), u brouků se odhaduje počet až na 350 000 druhů (Hůrka, 2005). Podle Daňka (1990) mezi ostatní hmyz, jenž se na kolonizaci podílí, řadíme roztoče, motýly a bakterie. V každé fázi rozkladu mrtvého těla se na těle objevuje jiný druh hmyzu a také se jiné druhy objevují na konkrétních biotopech. Je však nutné mít na paměti, že mrtvé tělo nerovná se výskyt jednoho kolonizujícího druhu hmyzu, ale dochází k situacím, kdy se na kadaveru vyskytuje až 10 různých druhů hmyzu naráz (Lang a kol., 2006) Faktem však zůstává, že ne všechny druhy vyskytující se na mrtvém těle a podílející se na kolonizaci jsou pro nás podstatní z hlediska dalšího forenzního využití. Typickým příkladem je výskyt drabčikovitých. Přestože je možné na mrtvole nalézt jak drabčika páskovaného, tak drabčika zdobeného, je pro nás forezně daleko významnější drabčik páskovaný, neboť se využívá k výpočtu doby kolonizace (Šuláková, 2014).

Existují mnohé studie, které se zabývají výskytem a vývojem hmyzu na mršinách velkých obratlovců. Některé uvádějí, že vliv na vývoj larev má množství a kvalita výživy (Clark a kol., 2006; Day a Wallman, 2006). Nejvýraznějším faktorem je dle Riverse a Dahlema (2014) však pravá teplota prostředí. Opět je potřeba souhlasit se všemi autory, poněvadž částečný vliv mají na vývoj larev všechny výše zmíněné faktory. Mezi další patří fotoperioda (Nabity, 2007). Vzhledem k tomu, že není tento jev ovlivňující vývoj tak úplně prozkoumanou oblastí, byl připraven návrh jednoduchého experimentu, který by se mohl provést na vybraných druzích hmyzu k objasnění rychlosti vývoje, ale také k odhalení faktorů, jež samotný vývoj mohou ovlivnit. Tento experiment bude možné provádět na jakémkoli druhu hmyzu, jenž se

podílí na kolonizaci mršín. Jako jedinou překážkou v provedení experimentu by se mohlo jevit optimální místo (laboratoř). Myslím si, že studium vývoje hmyzu je běh na dlouhou trať, poněvadž je to poměrně komplikovaný proces, který ovlivňuje stále mnoho faktorů.

6. Závěr

Sukcese hmyzu, ať už na mršinách velkých nebo malých obratlovců, je z hlediska ekologie nezanedbatelný pojem. Studium hmyzu, jeho vztahu k lidem, prostředí nebo organismům se zabývá entomologie.

Ve své bakalářské práci jsem se pokusila nastínit pojem sukcese hmyzu a s ním související vnější vlivy, jež ji ovlivňují, jednotlivé sukcesní modely. Do práce jsem zahrнула rozdělení jednotlivých stádií rozkladu mršin velkých obratlovců, které v průběhu let popsalo hned několik autorů, a také současné rozdělení těchto fází, které se využívá v České republice.

Součástí práce byl dále podrobný rozbor jednotlivých skupin hmyzu (dvoukřídlí, brouci, motýli, roztoči), jež se podílí na kolonizaci mrtvých těl velkých obratlovců. V souvislosti s podrobným popisem těchto kolonizátorů byla nastíněna oblast, ve které se hmyz hojně využívá – forenzní entomologie, jež je spolu s forenzní medicínou, psychologií, antropologií a dalšími obory řazena mezi forenzní vědy. S touto forenzní vědou jsou úzce spjaty stanovení post mortem intervalu a posmrtná manipulace s tělem.

Práce obsahuje návrh jednoduchého experimentu, který popisuje vliv vnějších vlivů (teplotních a světelných) na larvální vývoj. Popisuje způsob provedení, možné výsledky a také tabulku potřebnou k zápisu dat, zjištěných při tomto pokusu.

7. Zdroje

Literární zdroje:

ADÁMEK T., DOBISÍKOVÁ M., ELIÁŠOVÁ H., FIŠER J., HLADÍK J., ŠTEFAN J., ŠULÁKOVÁ H., VANĚK D., VILÍMEK M., 2012: Soudní lékařství a jeho moderní trendy. Grada Publishing, Praha, 448 s + CD.

AMBROZEK L., BRANŽOVSKÝ A., GERGEL J., HÁJEK M., JÍLKOVÁ J., KENDER J., KESLOVÁ J., NOVOTNÁ D., PAŘÍZEK P., VANĚK J., VOPÁLKA J., 2001: Úvod do pojmosloví v ekologii krajiny. Ministerstvo životního prostředí České republiky; Enigma, Praha, 399 s.

AMENDT J., KRETTEK R., ZEHNER R., 2004: Forensic entomology. *Naturwissenschaften*, 91, 51-65.

AMENDT J., CAMPOBASSO C. P., GAUDRY E., REITER C., LEBLANC H. N., HALL M., 2007: Best practice in forensic entomology – Standards and guidelines. *International Journal of Legal Medicine*, 121, 90-104.

AMENDT J., RICHARDS C. S., CAMPOBASSO C. P., ZEHNER R., HALL M. J. R., 2011: Forensic entomology: Applications and limitations. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 7, 379-392.

ANDERSON G. S., 2000: Minimum and maximum development rates of some forensically important Calliphoridae (Diptera). *Journal of Forensic Sciences*, 45, 824–832.

ANDERSON G. S., HUITSON N. R., 2004: Myiasis in pet animals in British Columbia: The potential of forensic entomology for determining duration of possible neglect. *The Canadian veterinary journal*, 45, 993-998.

BARTÁK M., KUBÍK Š., 2005: Diptera of Podyjí National Park and Its Environs. *Česká zemědělská univerzita*, 432.

BELLMANN H., 2015: Hmyz. Knižní klub, Praha, 256 s.

BERAN M., LYSENKOVÁ A., 1999: Smrt. In: VLADIMÍR A., BERAN M., BOUŠKA I., BRZOBOHATÁ A., ČERNÁ I., ĎATKO M., DOBIÁŠ M., FARKAŠOVÁ IANNACCONNE S., GROSSOVÁ I., HEJNA P., HIRT M., HORÁK V., HRUBÁ K., HRUŠKOVÁ L., JANÍK M., KITKA M., KOMÁRENKOVÁ I., KRAJSKA J., MAZURA I., ONDRA P., PILIN A., REJTAR P., RYBA L., SOKOL M., STAŇKOVÁ M., STRAKA L., ŠAFR M., ŠIDLO J., ŠPATENKOVÁ N., TOMÁŠEK P., TOMKOVÁ J.,

VÉMOLA A., VOJTÍŠEK T., VOREL F., VRÁNA D., ZÁTOPKOVÁ L., ZELENÝ M.: Soudní lékařství II. díl. Grada Publishing, Praha, 240 s.

BORNEMISSZA G. F., 1957: An analysis of Arthropod succession in Carrion and the effect of its decomposition on the soil fauna. Australian Journal of Zoology, 5, 1-12.

BRANIŠ M., BENEŠOVÁ L., HOVORKA J., PIVNIČKA K., PUŠOVÁ R., TONIKA J., 1999. Výkladový slovník vybraných termínů z oblasti ochrany životního prostředí a ekologie. Karolinum, Praha, 46 s.

BYRD J. H., CASTNER J. L., 2001: Forensic Entomology: The utility of arthropods in legal investigations. Wiley, London, 418 s.

BYRD J. H., CASTNER J. L., 2010: Forensic entomology: the utility of arthropods in legal investigations. CRC Press, Boca Raton, 682 s.

CARTER D. O., YELLOWLEES D., TIBBETT M., 2007: Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. Naturwissenschaften, 94, 12-24.

CLARK K., EVANS L., WALL R., 2006: Growth rates of the blowfly, *Lucilia sericata*, on different body tissues. Forensic science international, 156, 145-149.

CLEMENTS F. E., 1916: Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie institution of Washington, Washington, 658 s.

CONNELL J. H., SLATYER R. O., 1977: Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. American naturalist, 111, 1119-1144.

DANĚK L., 1990: Možnost využití entomologie v kriminalistice. Kriminalistický ústav VB, Brno, 142 s.

DAY D. M., WALLMAN J. F., 2006: A comparison of frozen/thawed and fresh food substrates in development of *Calliphora augur* (Diptera Calliphoridae) larvae. International journal of legal medicine, 120, 391-394.

DOSKOČIL J., 1977: Klíč zvířeny ČSSR. Díl V: Dvoukřídlí. ČSAV, Praha, 373 s.

ELIÁŠOVÁ H., ŠULÁKOVÁ H., 2012: Forezní biologie. In: ADÁMEK T., DOBISÍKOVÁ M., ELIÁŠOVÁ H., FIŠER J., HLADÍK J., ŠTEFAN J., ŠULÁKOVÁ H., VANĚK D., VILÍMEK M.: Soudní lékařství a jeho moderní trendy. Grada Publishing, Praha, 281-325.

- ERZINÇLIOĞLU Z., 1996: Blowflies (Naturalist Handbooks No. 23). Richmond Publishing, 71 s.
- FERLLINI R., 1994: Determinación del tiempo de muerte en cadáveres putrefactos, momificados y saponificados. *Medicina Legal de Costa Rica*, 10, 17-21.
- FULLER M. E., 1934: The insect inhabitants of carrion: a study in animal ecology. H. J. Green, government printer, Melbourne, 62 s.
- GENNARD D. E., 2007: Forensic entomology: An introduction. Wiley London, 224 s.
- GILL G. J., 2005: Decomposition and arthropod succession on above ground pig carrion in rural Manitoba. University of Manitoba, 199 s.
- GOFF L. M., CAMPOBASSO C. P., GHERARDI M., 2010: Forensic implications of myiasis. In: AMENDT J., CAMPOBASSO C. P., GOFF L. M., GRASSBERGER M.: Current concepts in forensic entomology. Springer, Dordrecht, 313-325.
- GUNN A., 2008: Essential forensic biology. Wiley-Blackwell, New Jersey, 436 s.
- HÁJKOVÁ L., 2012: Atlas fenologických poměrů Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 311 s.
- HÁVA J., 2011: Brouci čeledi kožojedovití (Dermestidae) České a Slovenské republiky. Academia, Praha, 104 s.
- HIRT M., ADÁMEK T., BERAN M., DVOŘÁČEK I., DVOŘÁK M., FIALKA J., HEJNA P., HLADÍK J., JANÍK M., KLÍR P., KRAJČOVIČ J., KRAJSA J., KUBIŠTA P., MACHÁČEK R., MAZURA I., NOVOMESKÝ F., ONDRA P., PILIN A., ŘEHULKA H., SOKOL M., STRAKA L., STREJC P., ŠAŇKOVÁ M., TOMÁŠEK P., TOUPALÍK P., TOUŠEK F., VOJTÍŠEK T., VOREL F., 2015: Soudní lékařství. Grada publishing, Praha, 272 s.
- HŮRKA K., 2005: Brouci České a Slovenské republiky. Nakladatelství Kabourek, Zlín, 390 s.
- KALINOVÁ B., PODSKALSKÁ H., RŮŽIČKA J., HOSKOVEC M., 2009: Irresistible bouquet of death-how are burying beetles (Coleoptera: Silphidae: Nicrophorus) attracted by carcasses. *Die Naturwissenschaften*, 96, 889-899.
- KLIMEŠOVÁ V., BARTÁK M., ŠULÁKOVÁ H., 2015: Forezní entomologie a její využití v kriminalistické praxi. 4. *Kriminalistika*, 1-5.

KOČÁREK P., 2001: Diurnal activity rhythms and niche differentiation in a carrion beetle assemblage (Coleoptera: Silphidae) in Opava, the Czech Republic. *Biological Rhythm Research*, 32, 431-438.

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.

KŘÍSTEK J., URBAN J., 2013: *Lesnická entomologie*. Academia, Praha, 445 s.

KVAPILOVÁ H., DOGOŠI M., 2007: *Soudní lékařství pro právníky a policisty*. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, Praha, 248 s.

LAŠTŮVKA Z., 2004: *Zoologie pro zemědělce a lesníky*. Konvoj, Brno, 264 s.

LAUPY M., 1994: Post mortem interval a nekrofilní mouchy. *Kriminalistika*, 27, 121-135.

LIKOVSKÝ Z., 1967: Příspěvek k poznání fauny mršin (Insecta, Coleoptera). *Acta Musei Reginaehradecensis s. A*, 8, 97-116.

MAGNI P. A., HARVEY M. L., SARAVO L., DADOUR I. R., 2012: Entomological evidence: Lessons to be learnt from a cold case review. *Forensic science international*, 223, 31-34.

MARTINS G., DOS SANTOS W. E., CREA-DUARTE A. J., DA SILVA L. B. G., OLIVEIRA A. A. F., 2013: Estimate of postmortem interval through forensic entomology in a canine (*Canis lupus familiaris* Linnaeus 1758) in Cabedelo-PB, Brazil: case report, *Arquivo brasileiro de medicina veterinaria e zootecnia*, 65, 1107-1110.

MATUSZEWSKI S., BAJERLEIN D., KONWERSKI S., SZPILA K., 2008: An initial study of insect succession and carrion decomposition in variol forest habitat of Central Europe. *Forensic science international*, 180, 61-69.

MCGAVIN G., 2005: *Hmyz, pavoukovci a jiní suchozemští členovci*. Knižní klub, Praha, 256 s.

MÉGNIN J. P., 1984: *La faune des cadavres: Application de L'Entomologie a la Medecine Legale*. Hachette Livre-Bnf, Paris, 226 s.

MICHAUD J. P., MOREAU G., 2009: Predicting the visitation of carcasses by carrion-related insects under different rates of degree-day accumulation. *Forensic Sci Int*, 185, 78-83.

- MILNE L. J., MILNE M., 1976: Social behaviour of burying beetles. *Scientific American*, 43, 84-89.
- NABITY P. D., HIGLEY L. G., HENG-MOSS T. M., 2007: Light-induced variability in the development of the forensically important blow fly, *Phormia regina* (Meigen) (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology*, 44, 351–358.
- OBENBERGER J., 1964: *Entomologie*, 1. Vydání. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 775 s.
- PAYNE J. A., 1965: A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology*, 46, 592-602.
- PAYNE J. A., CROSSLEY D. A., 1966: Animal species associated with pig carrion. The United States atomic energy commission, 1–70.
- PLATT R., 2005: *Místo činu*. Slovart, Praha, 144 s.
- POVOLNÝ D., 1978: Hmyz v kriminologii. *Vesmír*, 57, 205–208.
- PRINS A. J., 1984: Morphological and biological notes on some South African arthropods associated with decaying organic matter. The predatory families Carabidae, Hydrophilidae, Histeridae, Staphylinidae and Silphidae (Coleoptera). *Ann S Afr Mus*, 94, 203-304.
- REED Jr. H. B., 1958: A study of dog carcass communities in Tennessee, with special reference to the insects. *American Midland Naturalist*, 59, 213-245.
- RIVERS D. B., DAHLEM A. G., 2014: *The science of forensic entomology*, First edition. Wiley-Blackwell, London, 400 s.
- ROHÁČEK J., ŠEVČÍK J., VLK P., 2013: Dvoukřídlí. In: ROHÁČEK J., ŠEVČÍK J., VLK P. *Příroda Slezska*. Slezské zemské muzeum, Opava, 262-283.
- ROZEN D. E., ENGELMOER D. J. P., SMISETH P. T., 2008: Antimicrobial strategies in burying beetles breeding on carrion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 17890–17895.
- RŮŽIČKA J., 1994: Seasonal activity and habitat associations of Silphidae and Leiodidae: Cholevinae (Coleoptera) in central Bohemia. *Acta Societatis Zoologicae Bohemoslovicae*, 58, 67-78.
- SALAM H. A., SHAAT E. A., AZIZ M. H. A., MONEIMSHETA A. A., HUSSEIN H. A. S. M., 2012: Estimation of postmortem interval using thanatochemistry and postmortem changes. *Alexandria journal of medicine*, 151, 335-344.

- SCOTT M. P., 1998: The Ecology and Behavior of Burying Beetles. *Annual Review of Entomology*, 43, 595–618.
- SHEAN B. S., MESSINGER L., PAPWORTH M., 1993: Observations of differential decomposition on sun exposed v. shaded pig carrion in coastal Washington State. *Journal of Forensic Sciences*, 38, 938-949.
- SMITH K. G. V., 1986: A manual of forensic entomology. Cornell University Press, New York, 205 s.
- ŠULÁKOVÁ H., 2006: Speciální biologie: Využití hmyzu při stanovení post mortem intervalu. *Kriminalistický sborník*, 36-37.
- ŠULÁKOVÁ H., 2014: Forenzní entomologie – když smrt je začátek. *Živa* 5/2014, 250.
- ŠTEFAN, J. 2005: Soudně lékařská a medicínsko-právní problematika v praxi. Grada, Praha, 247 s.
- TARONE A. M., FORAN D. R., 2008: Components of development plasticity in a Michigan population of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *J Forensic Sci*, 53, 942-948.
- TESAŘ J., 1958: Soudní lékařství pro právníky. Orbis, Praha, 561 s.
- TOMBERLIN J. K., BYRD J. H., WALLACE J. R., BENBOW M. E., 2012: Assessment of decomposition studies indicates need for standardized and repeatable research methods in forensic entomology. *Journal of forensic research*, 3, 147.
- VILLET M. H., 2011: African Carrion Ecosystems and Their Insect Communities in Relation to Forensic Entomology. *Pest Technology*, 5, 1–15.
- VON BRANDT I., 2016: Hmyz – pozorování a určování nejdůležitějších druhů našeho hmyzu. Svojtka & Co, Praha, 256 s.
- WELLS J. D., LAMOTTE L. R., 1995: Estimating maggot age from weight using inverse prediction. *Journal of Forensic Sciences*, 40, 585–590.
- ZAHRADNÍK J., 2011: Šestinožci (Hexapoda). Aventinum, Praha, 224 s.
- ZANETTI N. I., VISCIARELLI E. C., CENTENO N. D., 2015: Trophic role of scavenger beetles in relation to decomposition stages and seasons. *Revista Brasileira de Entomologia*, 59, 132-137.

Internetové zdroje:

FURBACH M., 2008: Farma na mrtvoly – podívejte se, co dokáží brouci a slunce s lidským tělem (online) [cit. 2018-03-18], dostupné z <
https://technet.idnes.cz/farma-na-mrtvoly-podivejte-se-co-dokazi-brouci-a-slunce-s-lidskym-telem-1mp-/tec_technika.aspx?c=A080610_170447_tec_technika_fur>.

8. Přílohy

Vliv konkrétních světelných a tepelných podmínek na larvální vývoj určitých druhů hmyzu - zdroj potravy: kuřecí maso																	
Subjekt	Světlo 24 hodin			Tma 24 hodin			Střídání světla a tmy 12/12			Střídání světla a tmy 16/8			Střídání světla a tmy 8/16				
A																	
B																	
C																	
D																	
E																	
F																	
G																	
H																	
I																	
J																	
K																	
L																	
M																	
:																	
Y																	

Příloha č. 1: Tabulka pro zapisování dat z experimentu