

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra ekologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Využití hmyzu ve forenzní entomologii**

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

Zpracoval: Ladislav Červenka

2018



Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: Ladislav Červenka  
Studijní program: Krajinářství  
Obor: Územní technická a správní služba

Vedoucí práce: Ing. Pavel Jakubec, Ph.D.  
Garantující pracoviště: Katedra ekologie  
Jazyk práce: Čeština

Název práce: **Využití hmyzu ve forenzní entomologii**

Název anglicky: **Utility of insect in forensic entomology**

Cíle práce: - Popsat způsoby využití hmyzu jako bioindikátoru ve forenzní entomologii

- Shrnout nejpoužívanější metody využívané v tomto oboru a popsat jejich výhody a nevýhody se zaměřením především na odhad post mortem intervalu.

- Shrnout skupiny bezobratlých, kteří se využívají nebo mají potencionální využití ve forenzní entomologii.

- Sumarizovat potravní a ekologické vazby těchto organismů na mrtvých tělech velkých obratlovců.

- Navrhnout vhodnou metodiku pro zjišťování termálně sumačních modelů dosud nezkoumaných nekrobiontních organismů.

Metodika: Zpracovat literární rešerši na dané téma.

Doporučený rozsah práce: 30

Klíčová slova: rychlost vývoje, hmyz, teplota, forenzní entomologie, vývoj

Doporučené zdroje informací:

1. AMENDT, J , KRETTEK, R, ZEHNER, R. Forensic entomology . Naturwissenschaften. 2004. 91. 51 – 65 p.
2. AMENDT, J, RICHARDS, CS , CAMPOBASSO, CP, ZEHNER, R, HALL, MJR. Forensic entomology: applications and limitations . Forensic Science, Medicine and Pathology. 2011 . 7 (4). 379 – 392 p.
3. Daněk L. 1990: Možnosti využití entomologie v kriminalistice. Čs. Kriminalistika. č. 1. 47- 49.
4. POVOLNÝ, D. Některá hlediska praktického využití hmyzu v kriminalistice . Kriminalistický sborník. 1979. 10. 620 – 632 s.
5. ŠULÁKOVÁ, H. Speciální biologie: Využití hmyzu při stanovení post mortem intervalu. Kriminalistický sborník. 2006. 3. 36 – 37 s.

Předběžný termín obhajoby: 2017/18 LS - FŽP

Elektronicky schváleno: 14. 3. 2018  
**doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 14. 3. 2018  
**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**  
Děkan

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Využití hmyzu ve forenzní entomologii " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Kaňkově dne 23.4.2018 \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Pavlu Jakubcovi, Ph.D. za jeho ochotu, trpělivost, připomínky a zejména za jeho cenné rady, které mi věnoval.

## Abstrakt

Forenzní entomologie napomáhá ke zjištění post mortem intervalu a k okolnostem úmrtí. V této bakalářské práci, která se nazývá Využití hmyzu ve forenzní entomologii se seznámíte s významnou čeledí hmyzu, která se vyskytuje na mrtvém těle. Stopy hmyzu na mrtvém těle jsou zajišťovány dle dané metodiky. Je zde nastíněn vývoj forenzní entomologie jako vědy od jejího počátku do současnosti. Základem šetření je identifikace jednotlivých druhů hmyzu zajištěných na mrtvém těle v určité fázi jeho rozkladu. Jedním z nejdůležitějších faktorů je teplota, která významně ovlivňuje jak rozkladné procesy, tak samotný vývoj hmyzu. V této práci porovnávám mimo jiné sukcesní vlny podle Ladislava Daňka a současný pohled na danou problematiku dle Hany Šulákové. V první řadě práce uvádí informace o různých metodách určování věku hmyzu, které napomáhají určit post mortem interval. Dále se snažím o seznámení s hlavními zástupci hmyzu ve forenzní entomologii.

**Klíčová slova:** forenzní entomologie, vývoj hmyzu, sukcesní vlny, metody pro určení věku hmyzu

## Abstract

Forensic entomology helps detect post-mortem intervals and the circumstances of death. In this bachelor thesis, called Insect Use in Forensic Entomology, you get to know a significant insect family that is found on the dead body. Traces of insects on the dead body are provided according to the given methodology. The development of forensic entomology as a science from its beginning to the present is outlined here. The basis of the survey is the identification of individual insect species secured on the dead body at a certain stage of its decomposition. One of the most important factors is the temperature that significantly affects both decomposing processes and insect development itself. In this work I compare, among others, the succession waves according to Ladislav Daňka and the current view of the issue according to Hana Šuláková. In the first part of the paper, it provides information on the different insect aging methods that help determine the post mortem interval. I also try to get acquainted with the main insects in forensic entomology.

**Keywords:** Forensic Entomology, Insect development, succession waves, methods for insect aggression

# Obsah

1. Úvod.....	8
2. Cíle práce .....	9
3. Forenzní entomologie jako věda .....	10
3.1 Průkopníci v entomologii.....	11
3.2 Zajišťování entomologických stop na mrtvém těle.....	13
3.2.1 Odběr vzorků hmyzu.....	14
4. Vývoj hmyzu na mrtvém těle.....	17
5. Entomologické postupy pro stanovení stádia hmyzu.....	21
5.1. Isomorphen a isomegalen diagram .....	21
5.2 Termálně sumační model.....	21
5.3 Nelineární modely / ExLAC .....	22
5.4 Hyperspektrální zobrazování .....	23
5.8 Aktuální problémy při určování věku hmyzu .....	24
5.9 Nejnovější pokroky v metodologii odhadování věku .....	25
6. Hlavní zástupci hmyzu na mrtvém těle.....	26
7. Práce JUDr. Ladislava Daňka .....	34
7.1 Sukcesní vlny podle Ladislava Daňka .....	36
8. Práce Ing. Hany Šulákové, Ph. D.....	39
8.1 Sukcesní vlny dle Hany Šulákové.....	40
9. Diskuse: Forenzní entomologie a metody pro určení věku hmyzu .....	44
9.1 Porovnání prací našich nejvýznamnějších představitelů forenzní entomologie .....	45
10. Závěr .....	46
11. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	47
12. Seznam obrázků, grafů a tabulek .....	52

## 1. Úvod

Forenzní věda se rozvíjí ruku v ruce se všeobecným pokrokem na poli vědeckého zkoumání. Forenzní vědci jsou hledači pravdy, kteří při zjišťování odpovědí na otázky kriminalistů nepoužívají výslechy osob, ale vědu. Forenzní věda je v současné době významným vědním oborem, přestože má za sebou stěží dvoustetletou historii. V raných dobách forenzního zkoumání, kdy se například objasňovaly okolnosti úmrtí osob, vyšetřovatelé mohli zpravidla počítat jen s tím, že se dozvědí příčinu a přibližnou dobu úmrtí člověka (Heng-Moss et al. 2006). Jedněmi z prvních forenzních odborníků byli lékaři a chirurgové, jejichž zkoumání se dnes říká soudní lékařství. V podstatě platí, že jakékoli vědní nebo technické odvětví dnes může být přizváno k pomoci při vyšetřování zločinů a prezentaci zjištěných faktů před soudem (Amendt et al. 2004).

Mimořádná pozornost je věnována zjišťování doby smrti podle sukcesních vln jednotlivých druhů nekrofágního hmyzu a podle údajů o rychlosti generačního vývoje tohoto hmyzu. Základy vědecky podložené aplikace entomologických poznatků pro jejich využití v kriminalistice poprvé uveřejnil Mégnin. Přestože jeho metoda byla v praxi několikrát ověřena, nebyla v následujících desetiletí dále rozvíjena (Catts et. Goff, 1992).

Kriminalistická entomologie vychází z poznatku, že sukcese mrchožravého hmyzu na mrtvém těle je zákonitým procesem. Se stářím mrtvoly je spjaté jednotlivé vývojové stadium daného hmyzu. Předvídatelný sled hmyzu kolonizující mrtvé tělo se ve forenzní entomologii využívá pro stanovení doby smrti. Zároveň musíme upozornit na faktory, které mohou časovou následnost na mrtvole ovlivnit (teplo, vlhko, místo nálezu těla apod.) (Catts et. Goff, 1992).



## 2. Cíle práce

- Shromáždit a popsat informace o způsobu využití hmyzu jako bioindikátoru ve forenzní entomologii.
- Shrnout nejpoužívanější metody využívané v tomto oboru a popsat jejich výhody a nevýhody se zaměřením především na odhad post mortem intervalu.
- Shrnout skupiny bezobratlých, kteří se využívají nebo mají potenciální využití ve forenzní entomologii a stručně je představit.

### 3. Forezní entomologie jako věda

Forezní entomologie je studiem hmyzu v trestním vyšetřování. Ihned od raných stádií je hmyz přitahován k rozkládajícímu se tělu a může do něj naklást svá vajíčka. Studiem populace hmyzu a rozvíjejících se larválních stupňů forezní vědci mohou odhadnout post mortem interval, jakoukoli změnu polohy mrtvého i možnou příčinu smrti (Byrd, 2001).

Forezní věda se rozvíjí ruku v ruce se všeobecným pokrokem na poli vědeckého zkoumání. Věda využívající forezních metod je použitelná daleko za hranicemi vykonávání trestního práva, neboť její techniky a myšlenkové postupy se běžně využívají při interpretaci faktů – stop, které máme k dispozici. Úkolem není pouze stopy najít, ale rovněž je správně interpretovat a přiřadit stopám jejich skutečný význam. Forezní vědci jsou hledači pravdy, kteří při zjišťování odpovědí na otázky kriminalistů nepoužívají výslechy osob, ale vědu (Amendt et al. 2004).

Forezní entomologie je jednou z věd využívaných v kriminalistice. Na základě poznatků o hmyzu a jeho vývojových stádiích pomáhá určit dobu uplynulou od smrti či konkrétního zranění, nebo stanovit, zda bylo s tělem manipulováno z původního místa činu. Forezní entomologie se zabývá zkoumáním jednotlivých druhů hmyzu. V kontextu kriminalistické entomologie se jedná především o saprofágní organismy a z nich zejména o mrchožrouty (nekrofágy) (Benbow et al. 2011).

Hmyz, který se podílí na procesu rozkladu mrtvého těla, se souhrnně nazývá nekrobiontí (z řeckého nekros – mrtvola a bios – život). Nekrobionté kolonizují tělo z různých důvodů – např. jako zdroj potravy, úkryt či jako místo pro rozmnožování. Rychlost kolonizace mrtvol hmyzem závisí na prostředí, ve kterém se nachází a na dalších důležitých faktorech (Greenberg, Wells, 1992).

Dr. Edmond Locard studoval medicínu a právo na Lyonské universitě a nakonec se stal asistentem profesora Alexandra Lacassagne shrnul základ kriminalistického bádání do jedné krátké věty: „Každý kontakt zanechá stopu. “Každý zločinec nechává nevědomky na místě činu něco svého a něco si také nevědomky z místa činu odnáší. Tomuto poznatku se říká Locardův princip. Jedním z jeho objevů bylo zjištění, že počet drobných pórů, které leží podél papilárních linií na otiscích prstů, je stejně individuální jako otisky prstů samotné (Innes, 2010).

Locard přispěl k vyřešení celé řady složitých případů. Jeho princip spočívá v poznatku, že každý kontakt zanechá nějakou stopu. Jako zloděj, když se dotkne okenní tabulky, zanechá otisk prstů. Na zemi v hlíně zanechá pachatel otisk boty. Locardův princip zůstává v platnosti i v případě, že nejsme schopni stopu najít. Stopa tam je, ale pravděpodobnost, že ji najdeme, je omezena našimi schopnostmi, znalostmi a také stupněm dokonalosti technického pokroku a vybavení, které máme k dispozici. Důležité je stopy nejen najít, ale zejména správně interpretovat (Erzinçlioglu, 2008).

Velmi brzy po smrti, někdy dokonce ještě dříve než se definitivně zastaví tlukot srdce, se na mrtvém či umírajícím těle začne slétávat hmyz, který je k tělu přilákan prvotním slabým hnilobným zápachem. V dalších vlnách postupně následují další druhy hmyzu – brouci, parazitující vosy, roztoči, svinky, a dokonce i můry – podle toho, jak lákavě jim rozkládající tkáň voní. Postupná kolonizace mrtvol různými druhy hmyzu je z časového hlediska předvídatelná a lze podle ní poměrně přesně předpovědět čas úmrtí. V raných stádiích rozkladu lze podle výskytu hmyzu určit den,

někdy dokonce i část dne, kdy došlo ke smrti. Dokonce i u těla, které je nalezeno po několika letech, lze na základě výskytu hmyzu určit dobu, po kterou zůstalo ukryto. Hmyz podle stádia, ve kterém je na těle oběti objeven, nám pomůže určit dobu smrti. Hmyz, který zamoří tělo po smrti, může představovat také cenná vodítka o místě, kde ke smrti došlo. U hmyzu je známo, jakému prostředí dává přednost a kde se vyskytuje z geografického hlediska (Bajerlein et al. 2010).

### 3.1 Průkopníci v entomologii

První případ forenzní entomologie byl spatřen v čínské knize „Hsi yuan chi lu“, čínský právník a vyšetřovatel úmrtí Sung Tzu, ve 13. století zmínili pravděpodobně první případ, kdy hmyz dovedl vyšetřovatele k pachateli zločinu. V tomto případě byla oběť ubodána a neležela poblíž rýžového pole. Druhý den po nalezení těla byly stanoveny krevní vzorky. Neviditelné krvavé skvrny přilákaly hmyz. Následně byl pachatel zatčen a k vraždě se přiznal (Benecke, 2001).

Další zaznamenaný případ využití entomologických poznatků ve forenzním bádání pochází z roku 1850. Když se v jednom domě ve francouzském městě Arbois opravoval krb, našel zedník v komíně za krbem mumifikovanou dětskou tělíčko. Přivolaný lékař na místo nálezu Dr. Marcel Bergeret byl i přírodovědec amatér. Bergeret zjistil, že se jedná o tělíčko potraceného nebo předčasně narozeného dítěte. Vystala tu otázka, jak dlouho byla mrtvolka v komíně ukryta. V uplynulých třech letech žily v domě čtyři různé rodiny, a bylo tedy nutné zjistit, která dům obývala v době smrti nalezeného dítěte. Dr. Bergeret soustředil svou pozornost k různým stopám hmyzu, které na těle našel. Napsal: „Vajíčka larev, které jsme na těle našli v březnu 1850, zde musela být nakladena v polovině roku (v létě) 1849...Kromě mnoha živých larev jsme našli řadu kukel. Nepochybně pocházely z vajíček nakladených dříve čili v roce 1848...z těchto kukel se vylíhly mouchy druhu masařka obecná (*Sarcophaga carnaria*). Tento druh klade svá vajíčka na maso před jeho vyschnutím. Nalezené larvy patřily malým nočním můrám, které vyhledávají těla, která již vyschla...V souhrnu lze konstatovat, že na těle byly nalezeny dvě generace hmyzu, reprezentující dva roky po smrti: na čerstvé mrtvole masařky nakladly svá vajíčka v roce 1848, a na vysušené tělo nakladly můry svá vajíčka v roce 1849.“ Zjištění Dr. Bergereta stačilo k tomu, aby příslušnou městskou policejní správu přesvědčil k vydání zatykače na manželský pár, který dům obýval v roce 1848.

Bohužel však úvahy Dr. Bergereta nebyly úplně přesné. Druhy hmyzu, které v tomto případě zkoumal, nemají jednoletý životní cyklus, jak se mylně domníval. Za teplého slunečného počasí, čehož si Bergeret všiml, hmyz dospívá v průběhu několika dní nebo týdnů. Uvedený případ představuje klasický příklad uplatnění vědy označované jako forenzní entomologie. Neexistují žádné důkazy toho, že by v průkopnickém díle Dr. Bergereta v následujících třiceti letech někdo pokračoval (Innes, 2010).

V roce 1878 bylo na opuštěném místě v Paříži nalezeno mumifikované tělo novorozeného dítěte. Tělo zkoumal forenzní patolog Paul – Camille Brouadel. Když si všiml hemžení drobných roztočů v hnědém prachu, který pokrýval tělo, ihned si vzpomněl na případ Dr. Bergereta z Arbois. Proto požádal o spolupráci Jean – Pierre Mégnina, uznávaného badatele v oboru entomologie, pracujícího v té době v Muzeu dějin přírody v Paříži. Při prohlídce těla v městské márnici Mégnin zjistil, že hnědý prášek na povrchu těla je tvořen výkaly brouků stravujících vysušené ostatky těla.

Roztoči na těle patřili k druhu, který znehodnocuje sušené maso a zvířecí vyčíněné kůže. Mégnin dokázal přibližně odhadnout čas smrti, k níž podle něj došlo pravděpodobně v době před šesti až dvanácti měsíci před nálezem těla. Zkoumání mrtvoly ho fascinovalo. Stal se potom pravidelným návštěvníkem márnice a v roce 1894 vydal knihu *La Faune des Cadavres* (Fauna mrtvolná). Kniha představovala podrobnou studii o hmyzu, který zamořuje mrtvá těla (Innes, 2010).

Mégnin zjistil, že jako první k mrtvole spěchají bzučivky (*Calliphoridae*), které mrtvé tělo najdou již první den, někdy jen několik hodin po smrti. Byly zaznamenány i případy, kdy první bzučivky usedaly na mrtvolné tělo jen několik minut po smrti. Tyto mouchy kladou svá vajíčka do otevřených ran, dále do očí, na rty a do dalších tělních otvorů, jako jsou ústa nebo pochva. V závislosti na denní době a klimatických poměrech začínají mouchy klást svá vajíčka již několik hodin po smrti, nebo prakticky v okamžiku smrti. V závislosti na okolní teplotě se z nakladených vajíček po osmi až čtrnácti hodinách líhnou první drobné larvy. Jejich první vývojové stádium neboli první instar, trvá dalších osm až čtrnáct hodin. Po této době larvy svlékají svoji pokožku. Druhý instar trvá od dvou do tří dní. Během třetího instaru, který trvá šest dní, se velké smetanově bílé larvy intenzivně živí rozkládajícími se tkáněmi (Innes, 2010). Mégnin dobu sukcese, která trvá zpravidla 3 roky, rozdělil do 8 fází: čerstvé tělo, počátek rozkladu, zmýdelnění, sýrovatění, ztekuování zbytků, vysychání zbytků, vysušené zbytky a trouchnivění (Innes, 2010).

V pozdějších letech byla Mégninova stupnice různě upravována. Např. M. E. Fuller navrhl pouze tři fáze: fáze čerstvého těla, fáze hniloby a fáze vysoušení zbytků. Obecně platí, že v oblastech, kde je tepleji, postupuje sukcese rychleji a počet vln klesá. G. F. Bornemissza rozdělil rozklad podle společenstev, která se na mrtvém těle vyvíjejí. Na mrtvole se postupně střídá společenstvo nekrofágní (čerstvé tělo), saprofágní (biochemicky aktivní), dermatofágní (vysychající zbytky) a keratofágní (dehydrované zbytky) (Innes, 2010).

Druhý nebo třetí den se k postupně rozkládajícímu se tělu vydají mouchy z čeledi mouchovitých (*Muscidae*). Svá vajíčka většinou nekladou na mrtvé tělo, spíše dávají přednost organickým odpadům, jako jsou hromady hnoje. Přesto rozkládající se tkáně těla jsou pro ně hojným zdrojem potravy. Potom je následují brouci, kteří požírají jak rozkládající se tkáně, tak i larvy much. Zatímco parazitické vosy kladou svá vajíčka do muších kulek. Drobné mušky a larvy hrbilek (*Phoridae*) a sýrohlodek (*Piophilidae*) se živí rozloženými bílkovinami těla v pozdním stádiu rozkladu. Hrbilky se na těle objevují dva až tři týdny po smrti, sýrohlodky asi po dvou měsících. Čas roztočů nastává až teprve poté, co se z mrtvého těla uvolní poslední zbytky tekutin a zbydou už jen vysušené ostatky, což bývá po šesti až dvanácti měsících. V druhém roce od smrti na mrtvém těle následují výše popsány hmyz také brouci kožojedi (*Dermestidae*). Nakonec se do posledních zbytků měkkých tkání pustí moli (*Tineidae*), zavíječi (*Pyralidae*) a brouci vrtavci (*Ptinidae*). Mégnin k tomuto tématu píše: „nakonec z těla zbudou jen bílé kosti a hmota připomínající hnědou zem...přesně to odpovídá podobenství, prach jsi a v prach se obrátíš“ (Innes, 2010).

Hlavní Mégninovy poznatky se týkají těl nalezených pod otevřeným nebem. Také se zabýval výskytem hmyzu na tělech uložených v rakvích. Zjistil, že za teplého počasí v létě v podmínkách mírného klimatického pásu, pokud není tělo pohřbeno ihned po smrti, jsou v pohřbívaném těle už nakladena vajíčka. Z nich se uvnitř rakve vyvine šest nebo i více generací hmyzu. U těl, která jsou pohřbena v zimním období, nepřipadá výskyt muších vajíček v úvahu. U těla v rakvi totiž nedochází k tomu, že by

byly mouchy vystřídány dalšími druhy hmyzu, s výjimkou hrbílek (*Phoridae*). Tyto jsou v angličtině označovány jako „rakvové mouchy“. Jejich larvy se aktivně zahrabávají do půdy a pronikají až do uzavřených rakví (Heng-Moss et al. 2006).

Brain Innes ve své práci z roku 2010 poukázal na Ménéguinův poznatek, že chování určitého druhu hmyzu se může lišit v závislosti a životních podmínkách konkrétního regionu. Na světě existují tisíce druhů hmyzu a entomologové dosud identifikovali jen malou část z nich. I přesto se již v první polovině 20. století mohla entomologie příležitostně uplatnit při vyšetřování kriminalistických případů.

### 3.2 Zajišťování entomologických stop na mrtvém těle

Při vyšetřování zločinu je nutné hledat stopy všude, kde se dají nalézt. Jisté změny, které se odehrávají při uložení mrtvého v určitém prostředí, se dají využít ke zjištění, nejen zda s tělem bylo hýbáno, ale také odkud bylo přeneseno. Larvy mohou představovat nanejvýš důležitou stopu. Mouchy masařky kladou vajíčka na mrtvé maso. Podle stáří vylíhlých larev se dá určit minimální doba smrti. Vzorec zamoření může napovědět, v jakých místech byla otevřená zranění (Erzinçlioglu, 2008).

Entomologické stopy se zajišťují na místě činu, respektive na místě nálezu mrtvolky, případně na místě jejího původního uložení. Zajištěné stopy se následně odesílají ke zkoumání do biologické laboratoře Kriminalistického ústavu Praha. V ústavech soudního lékařství se dodatečně zajistí entomologické stopy z těla, z tělních dutin a z oděvu mrtvého. Tyto stopy se předkládají ke znaleckému zkoumání v co nejkratší době. V době mezi zajištěním stop a jejich znaleckým zkoumáním musí být stopy uloženy v chladu při teplotě 2–6 °C (Štefan et Hladík, 2012).



Obrázek 1: Odběr vzorků (, 2011)

Způsob předání objektů expertízy znalci musí zajistit jejich neporušitelnost a zabránit jejich poškození nebo záměně. Je nutné dbát na dodržování požadavků kriminalistické techniky a jiných vědních oborů, které se týkají zejména manipulace s těmito objekty, jejich balení, konzervace a způsob přepravy. Zejména proto jsou na



vyšetřovatele kladeny požadavky při zajišťování entomologického materiálu, neboť jde o živý biologický materiál, podléhající rychlým změnám a následné zkáze (Daněk, 1990).

### 3.2.1 Odběr vzorků hmyzu

Zajištěné stopy z mrtvého těla nám pomohou určit post mortem interval. Skutečnou dobu smrti je obtížné u každého případu přesně stanovit. Proto se spíše hovoří o minimální době, která od smrti uplynula. Přesto může mít informace získaná díky entomologické analýze velký význam pro vyšetřování. Entomolog může na základě znalosti druhu mouchy, stádia vývoje larev a povahy přírodních podmínek určit dobu, kdy larvy na mrtvém těle přebývaly. Při analýze v laboratoři mohou entomologické stopy vést ke zjištění přítomnosti drog či léků v těle mrtvého. Larvy díky konzumaci měkkých tkání vstřebávají i veškeré léky a drogy, které mohou být v ostatcích přítomny (Ferllini, 2007).

Poté, co se larvy na mrtvém těle vykrmí, přesunou se zpravidla nedaleko od těla, kde se zahrabou do země a přibližně na dvanáct dní se zakuklí, než se z nich vylíhnou nové mouchy. Pokud se vyšetřuje vražda na volném prostranství, je nutné zajistit vzorky půdy v určité vzdálenosti od těla. Najde-li se mrtvola v uzavřeném prostoru, je třeba prozkoumat i prostor všemi koberci nebo nízkou posazeným nábytkem. Vzhledem k tomu, že tyto mouchy upřednostňují čerstvé maso, není pravděpodobné, že se budou k mrtvému tělu dále vracet (Ferllini, 2007).

S ohledem na jejich původ se rozdělují na stopy:

- hnilobné – týkající se rozkladu živočišných tkání
- biologické – většinou je představují lidské tkáně, vlasy, chlupy, nehty, krev anebo jsou to produkty funkce tělesných orgánů. Mezi nejdůležitější řadíme biologické stopy z oblasti entomologie, což jsou různé druhy hmyzu, jako vajíčka, larvy, kukly, prázdné kokony, části mrtvého hmyzu a pot. Důležité jsou i biologické stopy z oblasti botaniky, hlavně druh rostlinného krytu v místě nálezu mrtvého těla.
- pachové stopy – zejména zápach hniloby, zápach sírové fermentace, vytvoření amoniakových par, štiplavý následný zápach lipoidních sekretů, a podobně (Daněk, 1990).

Dále podle místa odběru vzorků rozdělujeme čtyři základní skupiny. Vzorky se odebírají z těla mrtvého, z lože mrtvého a z okolí mrtvolky a další při pitvě. Každá skupina vykazuje určitá specifika.

1. Entomologické stopy z těla mrtvého – z těla se zajišťují veškeré nalezené druhy a zjistitelná vývojová stádia, tj. vajíčka, larvy, kukly a dospělí jedinci. Zároveň platí, že na mrtvém těle se zpravidla vyvíjí hned několik druhů much z jedné čeledi.
2. Entomologické stopy z lože mrtvolky. Z místa pod mrtvým tělem se na třech až čtyřech místech odebere vzorek půdy i s případnou vegetací. Každý vzorek o objemu 250 až 500 ml, tj. celkem 1–2 litry. Vzorek z lože mrtvého se uloží do plastové, skleněné či kovové nádoby či do pevného igelitového sáčku.
3. Entomologické stopy z širšího okolí. Širší okolí představuje okruh kolem mrtvého těla do vzdálenosti 2–10 metrů. Vzdálenost je závislá na podkladu, na kterém bylo tělo puparia.
4. Entomologické stopy zajištěné při pitvě. Při pitvě se odebírá hmyz z těla, tělních dutin i oděvů mrtvého. Hmyz se zajišťuje obdobně jako z těla mrtvolky, živý i usmrcený vzorek (Hirt, 2015).

K zajištění entomologických stop je potřeba 3–4 nádob. Vajíčka much mají vzhled bílých až nažloutlých pilin. Odebírají se seškrábnutím za pomoci pinzety, skalpelu, špachtle, plastové lžice či jiného vhodného nástroje z několika míst na těle a v minimálním množství 100 kusů. Z tohoto množství je třetina až polovina usmrcena a následně se uloží do etanolu. Zbylá vajíčka se ponechají živá a umístí se do společné nádoby. Larvy much jsou apodní = beznohé, bílé až nažloutlé. Taktéž se odebírají v množství 100 kusů pinzetou či plastovou lžicí. Opět se odebírají z několika míst na mrtvém těle a opět se jedna třetina až jedna polovina usmrtí a uloží do etanolu, zbylé živé larvy se umístí do společné nádoby. Jen larvy s různými tělními výrůstky, které jsou na první pohled od jiných odlišné, umístíme do nádoby samostatně. Tyto larvy bývají dravé a živí se larvami ostatních druhů (Byrd, 2001)

Puparia much jsou soudečkovité útvary světle hnědé až černé barvy. Puparium se tvoří z pokožky posledního larválního stupně s kuklou uvnitř. Pomocí pinzety se odebírají jak puparia plná, která obsahují vyvíjecí se imago, tak i puparia prázdná, tj. již po vylíhnutí imaga. Puparia se zajišťují malá i velká, světlá i tmavá, a to z těla, oděvu i z okolí mrtvého těla. Pokud je to možné, tak v minimálním počtu 50 kusů. Všechna zajištěná puparia se ponechávají živá a uloží se do jedné společné nádoby (Byrd, 2001).

Imaga much = dospělí jedinci jsou nezaměnitelní s jinou skupinou hmyzu. Zpravidla létají, a tak se k jejich zajištění používá entomologická síť. Odchyt živých much není nezbytný, jen doporučený. Při nález mrtvých imag na mrtvém těle a v jeho okolí (uhynulé samičky po vykladení vajíček), eventuálně na okenních parapetech bytu (nově vylíhlé mouchy), se tyto jedinci odeberou pinzetou a mrtvá imaga se skladují v 70–80 % etanolu.

Vajíčka brouků se na mrtvole vyskytují v malém počtu a z tohoto důvodu se zpravidla nezajišťují. Pokud se tak stane je možné je přidat do nádoby s vajíčky much. Larvy brouků mají šest nohou a někdy bývají pokryté štětinami a výrůstky. Všechny larvy brouků se usmrtí v 80 % etanolu. Kukly brouků se mrtvole zpravidla nevyskytují. Mohou však být součástí půdy odebrané pod mrtvým tělem. V ojedinělých případech se mohou na mrtvém těle například v bytě vyskytovat kukly kožojedů a pestrokrovečníků. Kukly se ponechají živé a uloží se do samostatné nádoby. Imaga brouků jsou značně pohyblivá a ukrývají se pod tělem nebo v oděvu mrtvého, zajišťují se pevnější pinzetou a usmrcují se ve výparu octanu etylnatého, případně v 70–80 % etanolu, ve kterém se také uchovávají (Greenberg, 2002)

Ostatní zástupci hmyzu, respektive bezobratlých, tj. vosy, mravenci, roztoči apod. se zajišťují, usmrcují a uchovávají stejným způsobem jako brouci (Hirt, 2015).

Veškerý entomologický materiál na místě nálezu musí být zajištěn a včas předán příslušnému znalci. Jedině tak může znalec zrekonstruovat přesný průběh kolonizace těla oběti hmyzem a vypracovat znalecký posudek (Daněk, 1990).

Nejdůležitější je pro kriminalistu dokonalé ohledání místa, kde bylo mrtvé tělo nalezeno. O tom, zda se skutečně jedná o místo úmrtí, rozhodují často právě forenzní entomologové. Přestože je tělo přirozeně nejdůležitějším zdrojem informací, nemůže se entomolog spokojit pouze s ohledáním těla. Dalším důležitým krokem je prohledání okolí, kde byla mrtvola nalezena. Nejdříve se prohlédne bezprostřední okolí těla včetně jeho podloží. Následujícím krokem je prohledání širšího okolí a nakonec pitva. Důležitou stopou nejsou jen larvy či dospělí jedinci hmyzu, ale také nepohyblivé kukly, které jsou u dvoukřídlého hmyzu (např. much) obaleny ještě tzv. pupariem. Larvy spousty much se nekuklí přímo na mrtvém těle, ale odlézají kvůli tomuto 3–6

metrů od něj. Hana Šuláková zastává názor, že přítomnost kukel v okolí je důležitým zdrojem informací o časovém průběhu kolonizace mrtvého těla (Greenberg, 2002).

Entomolog na místě nálezu mrtvoly zajistí zejména exempláře hmyzu v nejrůznějších vývojových fázích. Jelikož jde většinou o hmyz s proměnou dokonalou, jedná se nejčastěji o larvy, které jsou velmi podobné dospělým jedincům. Samotné larvy však také procházejí skokovitým vývojem, přičemž jednotlivé fáze se od sebe také liší. Délka vývoje jednotlivých instarů je většinou přesně známá a larvy tak mohou sloužit jako biologické hodinky. Přesto je s larvami spojen i jeden důležitý problém. Pro správné stanovení jejich stáří je třeba co nejpřesněji znát konkrétní druh mouchy. Ty jsou si v larválním stadiu (zejména v 1. a 2. instaru) tak neuvěřitelně podobné, že se dají od sebe těžko rozlišit. Hana Šuláková vysvětluje postup, který následuje se zajištěným materiálem v laboratoři. V ideálním případě se polovina zajištěného materiálu usmrtí a druhá polovina se ponechá živá. V laboratoři jsou larvy krmeny vepřovým masem. Tam mají i inkubátor, kde se udržuje potřebná vlhkost a teplota. Larvy se tam zakuklí, a když se vylihne dospělá moucha, určí se její druh. Entomologové vědí, jak dlouho se který druh vyvíjí (Byrd, 2001)

Forenzní entomolog, než podá závěrečnou zprávu vyšetřovateli, musí dohromady poskládat co nejkompletnější obrázek. Ten je výsledkem kombinace zajištěných stop a poznatků o bionomii nalezeného hmyzu. Jako důležitý doplněk tu slouží i data o počasí v průběhu poslední doby, získané z Českého hydrometeorologického ústavu. Přihlíží se k údajům o srážkách a průměrné teplotě. Rychlost vývoje souvisí s množstvím tepla. Aplikací vzorečků platných pro konkrétní druhy lze dojít k určení času úmrtí s přesností +- 1–2 dny (Šuláková, 2014).

K úbytku hmyzích druhů či k redukci jejich počtu dochází jakoukoliv manipulací s mrtvým tělem. Hmyz se na místě nálezu mrtvoly zajišťuje současně s ohledáním mrtvého těla lékařem. Z toho vyplývá, že zajistí-li se entomologické stopy pouze při pitvě, mohou v odebraných vzorcích celé skupiny hmyzu, stejně tak chybí hmyz z lože a z okolí mrtvého těla. Při následném stanovení post mortem intervalu tak může dojít k jeho zkreslení (Hirt, 2015).

V některých případech se teplota vzduchu může pohybovat kolem obvyklých 20 °C, zatímco tělo zamořené larvami může mít teplotu až 40 °C. Zatímco je snadné změřit teplotu larev i teplotu vzduchu na místě činu, odhadnout však teplotu převažující ve dnech předcházejících nálezu těla je mnohem obtížnější. Jedním ze zdrojů jsou meteorologické stanice. Nutné je však provést nejméně dvě sady měření teplot z místa činu, aby bylo možné stanovit vztah mezi nimi. Místní podmínky totiž nemohou odrážet podmínky laboratorní, za nichž se výzkumy provádějí. Pro forenzní metody vyšetřování stojí v popředí zájmu právě teploty blízko povrchu země. Přesto teploty vysoko nad zemí pomáhají zrekonstruovat teploty v přízemní vrstvě. Na základě toho se pak dají také zrekonstruovat teploty v těle zamořené larvami. Následuje krok vyjmutí larvy a určení jejího stádia. Stadium vývoje larvy a její stáří nejsou jedno a totéž. Stadium je stupeň jejího vývoje, zatímco stáří udává, jak dlouho na světě je. Při nízkých teplotách se larvy obecně vyvíjejí pomaleji než při teplotách vyšších, protože při nižších teplotách déle žijí. Teprve vezmeme-li v úvahu stadium vývoje larev ve spojení s teplotou, můžeme určit stáří larev. Kdybychom objevili zbytky kukel mouchy, která je aktivní pouze na jaře, pak nám tato skutečnost pomůže zúžit dobu úmrtí (Hall, 2001).

Poznatky forenzní entomologie vycházejí ze studia klasické entomologie aplikované na mrtvé tělo. Tyto poznatky se uplatňují zejména při určování doby smrti



na základě vývojového stádia larev, zjišťování geografických informací a pak i k možným toxikologickým expertízám. (Hall., 2001).

Hana Šuláková je forenzní entomoložkou kriminalistického ústavu a sama umí analýzou hmyzu z mrtvoly určit okolnosti smrti. V rozhovoru pro článek novinářky Nejezchlebové dotazovaná Šuláková uvedla, že na každém mrtvém těle se po určité době začne vyskytovat hmyz. Nejdříve mouchy, následně brouci. V laboratoři se mouchy a brouci nalezení na mrtvole usmrtí, vypreparují se a prozkoumají se. Tímto zkoumáním následně dokáží vědci odpovědět na otázky, jak dlouho tělo na místě leželo, či v jakém prostředí ten člověk zemřel. V laboratoři je nalezený hmyz usmrcen výparů octanu, stačí kapička. Hana Šuláková dále dodává, že kolegy z kriminálky je přizvána k vyšetřování, když je nutné zjistit, jak dlouho je daný člověk mrtvý. Čili se určuje post mortem interval – doba, která uplynula od smrti. Nejpresněji se tento interval určí podle much. Na otázku novinářky, zda když se zjistí, že vajíčka byla nakladena před 17 dní, znamená to, že ten člověk před 17 dny zemřel, odpověděla Hana Šuláková, že pravděpodobně. Zároveň dodala, že je to ovlivněno i tím, zda měl daný člověk v době smrti nějaká krvácivá zranění. V tomto případě mohou mouchy nalétat na tělo ještě za života. Pokud mrtvý člověk zranění nemá, jedná se o den až dva navíc. Podle much lze určit post mortem interval zpravidla do jednoho měsíce. U starších nálezů pak význam much klesá a do popředí se dostávají brouci. U brouků se zajišťují především dospělí jedinci, larvy pouze u některých druhů. Navíc klesá přesnost určení intervalu. Už se nestanovuje přesný den úmrtí, ale spíše přibližná doba smrti s přesností na týden či měsíc. Každý zástupce hmyzu upřednostňuje jinou fázi rozkladu mrtvého těla. Někteří na mrtvolu nalétávají v prvních dnech, jiní po měsíci a další i později. Některé druhy se také vyskytují pouze v určitou roční dobu. Pokud určitý druh hmyzu žije jen v konkrétních podmínkách, může tak entomolog určit, zda místo nálezu je i místem smrti, či zda bylo tělo přemístěno. Dále v rozhovoru Šuláková uvádí, že z hmyzu nalezeného na mrtvém těle lze určit, zda mrtvý měl v těle drogy nebo jed. Jak se larvy živí na těle mrtvého, který před smrtí požil drogy, léky jedy nebo alkohol, přijímají tyto látky také a ukládají si je v těle. Když jsou na těle nebo v těle látky, které hmyz odpuzují, když je tělo třeba otrávené, tak se na mrtvém těle najde značně menší počet larev. Biochemické látky v rozkládajícím se těle jsou totiž pro hmyz tak atraktivní, že většina překoná odpor i k těmto odpuzujícím látkám. Běžná doba, za kterou hmyz zlikviduje tělo člověka je asi měsíc. (Nejezchlebová, 2017).

#### **4. Vývoj hmyzu na mrtvém těle**

Mouchy začnou ihned po přiletu na mrtvé tělo klást vajíčka do otvorů těla, kde je vlhko, jako jsou místa kolem očí, nosní dírký a ústa. Zejména nos a ústa se těší oblíbeně much, neboť se z nich linou různé pachy. Je-li tělo nahé, kladou mouchy svá vajíčka i do oblasti genitálií a řitního otvoru. Nacházejí-li se na těle rány způsobené nějakou zbraní a měkké tkáně jsou alespoň částečně obnaženy, nacházejí se vajíčka i zde. Larvy se po vylíhnutí shromažďují a živí se v těchto oblastech. Jejich počet dosahuje takové výše, že se používá pojem „hmota larev“. Tato hmota dokáže pokrýt celé mrtvé tělo dospělého člověka a zkonzumovat ho neuvěřitelnou rychlostí. Larvy se živí tkáně těla, a přitom procházejí několika stádii vývoje, které se nazývají instar, a během kterých svlékají při svém vývoji pokožku (Ferllini, 2007).

Velmi brzy po smrti, někdy dokonce ještě dříve, než se definitivně zastaví tlukot srdce, se na mrtvém či umírajícím těle začne slétávat hmyz, který je k tělu přilákan prvotním slabým hnilobným zápachem. V dalších vlnách postupně následují další

druhy hmyzu – brouci, parazitující vosy, roztoči, svinky, a dokonce i mýry – podle toho, jak lákavě jim rozkládající tkáň voní. Postupná kolonizace mrtvol různými druhy hmyzu je z časového hlediska předvídatelná a lze podle ní poměrně přesně předpovědět čas úmrtí. V raných stádiích rozkladu lze podle výskytu hmyzu určit den, někdy dokonce i část dne, kdy došlo ke smrti. Dokonce i u těla, které je nalezeno po několika letech, lze na základě výskytu hmyzu určit dobu, po kterou zůstalo ukryto (Innes, 2010).

Základní otázka, kterou nám larvy pomáhají zodpovědět, zní: „Jaká je minimální doba, která uběhla od okamžiku smrti?“ Například dokážeme-li odhadnout stáří larvy, např. na pět dnů, můžeme pak říci, že ke smrti nemohlo dojít později než pět dní před nálezem těla. Znalosti stáří larev nám sice nepomůže určit přesnou dobu smrti, protože nemůžeme vědět, kdy se moucha k tělu dostala, určí nám však dobu, která minimálně uplynula od chvíle, kdy byl zločin spáchán.

Domníváme – li se, že mouchy se na tělo soustředily téměř okamžitě po úmrtí, můžeme potom i říci, že minimální doba od úmrtí určují i skutečnou dobu smrti. Mouchy mají tak dobře vyvinutou schopnost najít po pachu mrtvého těla v nejranějším stádiu. Dokážou se k tělu dostat za necelou hodinu od doby, co nastala smrt.

U většiny živých tvorů kromě ptáků a savců, je rychlost vývoje jejich zárodků určována teplotou okolí, neboť svou tělesnou teplotu nemohou ovládat vnitřními fyziologickými mechanismy, jako to dokáže člověk. Z tohoto důvodu je k určení stáří larev much nutné mít velmi dobrý přehled o teplotách, které převažovaly v průběhu jejich vývoje.

Hmyz prodělává vývojovou proměnu. Z vajíčka se vylíhne larva, ta postupně roste, mění se v kuklu a z ní se líhne dospělý hmyz. Oplodněná samička opět klade vajíčka a celý proces se opakuje. Jednotlivá stádia vývoje jsou závislá na druhu hmyzu, teplotě, roční době a jiných činitelích. Je známo, že určité druhy hmyzu kladou vajíčka na mrtvé tělo v určitém stádiu rozkladu podle postupných vln. Další metodou je využití poznatků o jednotlivých druzích nekrofágní fauny, především údajů o rychlosti jejich generačního vývoje a o vazbě tohoto vývoje na jednotlivá roční období. Po uvážení jistých okolností lze určit, kdy na mrtvém těle byla nakladena vejce čili kdy byl již mrtev, a to na základě posouzení druhové příslušnosti a stupně vývoje hmyzu nalezeného na mrtvole (Daněk, 1990).

Rychlost vývoje všech druhů hmyzu je přímo závislá na okolních podmínkách, zejména na teplotě. Při vyšších teplotách jsou rozkladné plochy kratší a při nižších teplotách naopak doba rozkladu trvá déle. Teplota působí nejen na rozkladné pochody, ale i na vývoj hmyzu, který je schopný se vyvíjet jen v rozmezí tzv. efektivních teplot. Tyto teploty nejsou u každého druhu shodné. Nepříznivé teploty mohou zpomalit nebo dokonce zastavit vývin vajíček, larev i puparií. A proto je zastoupení hmyzu v jednotlivých geografických oblastech rozdílné v závislosti na teplotních vlivech (Hall, 2017).

Rozklad mrtvol podléhá přirozeným procesům degradace velkých obratlovců v přírodě. Z tohoto důvodu se i mrtvé lidské tělo stává součástí daného biotopu a v procesu sukcese je postupně kolonizováno jednotlivými skupinami bezobratlých. Zhodnocení všech zákonitostí degradačního procesu umožňuje zpětně sestavit časovou osu. Hmyz je k mrtvému tělu přitahován a aktivně se podílí na jeho rozkladu. K. G. Smith – rozdělil organismy na mrtvolách do 4 ekologických skupin:

1) hlavní kategorii tvoří nekrofágové, kteří se živí tkáněmi.

- 2) predátoři a paraziti nekrofágních druhů
- 3) omnivorní druhy – vosy, mravenci a někteří brouci
- 4) druhy využívající mrtvé tělo náhodně či příležitostně – chvostoskok a pavouci

Rozdělení do uvedených kategorií není přesné, některé druhy představují přechodový stupeň mezi skupinami. Larvy *Calliphora* se v prvním instaru živí nekrofágně, případně saprofágně vytékající rozkladnou tekutinou. Od druhého či třetího instaru se stávají dravými a loví larvy ostatních much (Šuláková, 2014)

Podle hmyzu, který se nalezne na mrtvém těle, dále podle specifických podmínek prostředí a postupu rozkladu rozlišujeme mrtvolky volně exponované, v uzavřených prostorách, pohřbené a ve vodním prostředí. Pro každé z těchto 4 uvedených prostředí platí jiné podmínky rozkladu čili jiné zastoupení hmyzu na mrtvém těle. Tyto organismy na těle střídají v tzv. sukcesních vlnách. Konečným stavem jsou v takovémto případě kosterní zbytky, na jejichž rozkladu se živočichové již nepodílejí. Podle různých autorů se uvádí 4–8 sukcesních vln (Štefan et Hladík, 2012).

Na mrtvolách pohřbených v rakvích nebo volně zahrabaných – exhumované mrtvolky nesou často stopy činnosti hmyzu. Buď došlo k naklazení vajíček na mrtvém těle před pohřbením (zahrabáním) nebo jde o půdní hmyz. Velmi důležitá pro pestrý výskyt hmyzu je výška půdní vrstvy. Zakrytí těla půdou zcela vyřadí bzučivky z procesu rozkladu mrtvého těla. Po přikrytí těla půdou se několikanásobně prodlužuje rozklad těla činností hmyzu (Štefan et Hladík, 2012).

K mrtvolám, které jsou přikryty tenčí vrstvou půdy, a do hrobů proniká často brouk lesklec rovnoštitý (*Rhizophagus parallellocollis*) z čeledi lesklecovití (*Rhizophagidae*). Na mrtvých tělech zakrytých tenkou vrstvou půdy lze najít při pokročilejším rozkladu larvy větších druhů much, neboť tyto larvy nakladly vajíčka na povrch půdy a larvy pak migrovaly k mrtvému tělu. Do hloubky 15–20 cm pronikají hlavně larvy živorodých much, které samy proniknou vrstvou půdy. Do hloubky 30–50 cm pronikají dospělí jedinci hrbílek (*Phoridae*), zejména rody *Conicera*, *Metipona* a *Leptocera* z čeledi *Sphaeroceridae*. Z drabčků jde o rody *Aleochara*, *Philontus*, *Oxytelus*, *Atheta* aj. a mravenci rodu *Prenolepis* (Šuláková, 2014).

Pokud dojde k nálezům larev bzučivek na mrtvém těle, je zřejmé, že mrtvola byla pohřbena až druhý den, pokud zjistíme přítomnost brouků z čeledi mršníkovic (*Histeridae*), došlo k zahrabání mrtvolky až po třech dnech. Mršníci kladou vajíčka až ve druhé vlně, kdy se začínají vytvářet páchnoucí plynné látky, a když na mrtvém těle rozvíjejí činnost muší strusky, jimiž se larvy mršníků živí. Obdobně můžeme usuzovat při nálezů larev sýrohlodek, že k zahrabání těla došlo až po vzniku sýrové fermentace (Daněk, 1990).

Do této skupiny řadíme jak mrtvá těla ukrytá v ilegálních hrobech, která se označují vzhledem k hloubce pohřbení jako mrtvolky v mělkých hrobech, tak také těla zakrytá či zabalená do různých obalů. Hmyz se k mělce pohřbeným tělům dostává různým způsobem. Například samičky much *Muscina* (*Muscidae*) kladou vajíčka na povrch půdy a larvičky prolézají půdním profilem k pohřbenému tělu. Naproti tomu například hrbilky (*Phoridae*) prolézají samičky půdou a vajíčka kladou přímo na tělo (Štefan et Hladík, 2012).

Ve vodě narušují mrtvé tělo zejména dravé ryby. Ve stojatých vodách vodní hraboš, potkan nebo krysa. Mrtvé tělo, které leží u vodního dna, napadají též různí

blešivci, zejména druh *Gammarus pulex* a larvy chrostíků (Trichoptera). Z brouků jsou to převážně larvy a dospělí jedinci velkých druhů čeledi potápníků (Dytiscidae) a vodomilů (Hydrophilidae). Tito dravci mohou již po několika dnech narušit obnažené části mrtvol v ve vodě, zejména obličej (Daněk, 1990).

V tomto prostředí se na rozkladu mrtvého těla podílejí také korýši (Crustacea) a ryby (Pisces). Často se nejedná o typické nekrofágy, neboť jejich výskyt v prostředí není závislý na přítomnosti mrtvého těla. Tyto zástupce lze využít jen k orientačnímu stanovení post mortem intervalu – například na základě výskytu zachyceného uhynulého vývojového stupně typického jen pro určité roční období. Komparací živočichů zachycených na těle a v oděvu mrtvého s faunou na místě nálezů je možné určit, zda došlo k utopení či vhození do vody. Na částech těla, která jsou nad vodní hladinou, se na rozkladu může podílet i hmyz typický pro volně exponované mrtvol. Obdobně u těl, která dodatečně vyplavou na břeh nebo se zachytí o vegetaci na vodní hladině, i u těchto těl začíná rozklad pomocí hmyzu volné expozice, a to odpovídající sukcesní vlny (Štefan et Hladík, 2012).

Doba, za kterou vyplave tělo na hladinu, se různě liší. Rozhodující úlohu v tomto má nejen roční období, ale i prameny rozkladných hnilobných pochodů konkrétního mrtvého těla. V letních měsících vystoupí tělo z mělké prohráté vody během 2–3 dnů. V hluboké nádrži, kde je u dna teplota vody velmi nízká, vystoupí mrtvola na hladinu mnohem později. Záleží také na tom, jaká měl utonulý na sobě oděv, jakou měl hmotnost, jak byl starý apod. Například utonulý, který měl na sobě vysoké boty, zůstane pod vodní hladinou déle.

Jsou možné i případy, kdy mrtvé tělo na hladinu nevypluje vůbec, a to převážně tehdy, když se dostalo pod jez. Nejdříve tělo klesá ke dnu, kde se o něj odírá a poté ho voda vynese, ovšem ne až nahoru na hladinu, odkud ho zvrtný proud stáhne opět k jezu. Tento koloběh může trvat i týden, pokud se nevytvoří dostatečné množství hnilobných plynů a mrtvola pak v jejich důsledku vypluje na hladinu. Zejména nahé mrtvé tělo je hnáno proudem po dně řeky, kde ho napadají dravé ryby i jiní živočichové. Postupně tělo ztrácí takto svou hmotnost i končetiny a již nikdy se na hladinu nevynoří. Hodnotnější důkazní materiál se získá na mrtvém těle nalezeném v mělčině a zejména na mrtvole vyplavené na břeh (Daněk, 1990).

Mrtvol v uzavřených prostorách se vyznačují následujícími znaky. Jedná se o mrtvá těla v bytech, na půdách, ve sklepech, ale také např. v jeskyních. Každý uzavřený prostor má svá specifika, zejména co se jedná složení fauny. V bytech to jsou často synantropní druhy, které žijí celoročně v blízkosti člověka, nebo hemisynantropní druhy, které v blízkosti lidí např. přezimují. V tomto případě se na mrtvém těle můžeme setkat s takovými zástupci jako je například mol šatní (*Tineola biselliella*), moucha domácí (*Musca domestica*) nebo kožojed obecný (*Dermestes lardarius*) (Štefan et Hladík, 2012).

Není náhodou, že se různé druhy larev staly předmětem intenzivního bádání, a to nejen kvůli významu pro forenzní kriminalistiku, ale také kvůli roli ve vztahu k problémům lékařským a veterinárním. Rovněž se již využívá při studiu vývoje a genetiky, a to z důvodu jejich chování v laboratorních koloniích. Získané znalosti se dobře využívají při forenzních metodách vyšetřování (Innes, 2010).

## 5. Entomologické postupy pro stanovení stádia hmyzu

Současné postupy k odhadu věku vycházejí z doby specifické pro daný druh, který je zapotřebí k tomu, aby nedospělý hmyz mohl postupovat prostřednictvím vývojových orientačních bodů, jako je délka, hmotnost a životní cyklus ve vztahu k teplotě. Zatímco měřítka trvání vývoje založená na délce a hmotnosti jsou cenná, fáze životního cyklu je preferovaným orientačním bodem pro odhad věku kvůli neslučitelným otázkám různých metod uchování forenzních vzorků na hmotnost a délku (Dadour et al. 2001; Richards et al. 2008). Určení věku vzorku je proto založeno především na předem stanovených vývojových datech, které popisují prognózovatelný vztah mezi teplotou a růstem hmyzu pro počátek a ukončení každého životního stádia vývoje hmyzu (Greenberg et al. 2002; Heng-Moss et al. 2006). Použitelné referenční údaje uvádějí dobu trvání vývoje specifických životních stádií nezralého hmyzu v rozsahu konstantních nebo kolísavých teplot (Amendt et al. 2015). Použití dat podrobně popisujících vztah mezi vývojem hmyzu a teplotou se pak používá v několika modelovacích postupech k předpovědi věku vzorků hmyzu na základě tepelné historie shromážděných forenzních vzorků.

### 5.1. Isomorphen a isomegalen diagram

Nejjednodušší postup je nazýván "isomorphen diagram". Přidružené chybové pruhy poskytují 95 % interval spolehlivosti pro každou vývojovou událost. Mírná varianta, nazývaná "isomegalen diagram", vykresluje velikost larvy od vylíhnutí (délka, hmotnost nebo šířka) spíše než životních stupňů proti teplotě (Grassberger et Reiter, 2001). Použití velikosti jako součásti v isomegalenovém diagramu má výhodu větších časových bodů ve srovnání s orientačními událostmi životního cyklu pro odhad věku. Nicméně, velikostní opatření byla hlášena jako špatné ukazatele věku (LaMotte et Wells, 1995; Dadour et al. 2001).

Odhadu věku vzorku se dosahuje se značnou přesností, kdy tepelná historie zkoumaných vzorků je v souladu s konstantními teplotami použitými pro generování referenčních dat diagramu. Značná chyba se však vyskytuje v odvozeném odhadu věku za použití tohoto postupu, když okolní teploty, při kterých vznikají vzorky při rozkladu se v průběhu času mění (Grassberger et Reiter, 2001). Vzhledem k tomu, že většina kriminálních scén, v nichž se objevují rozložené zbytky, jsou zjištěny kolísání teplotních podmínek, byla vytvořena řada matematických modelů, které jsou obecně použitelnější a široce využívané.

### 5.2 Termálně sumační model

Nejčastěji používanou metodou pro modelování rychlostí vývoje hmyzu ve forenzním kontextu je termálně sumační model, který aplikuje lineární regresní analýzu na pozitivní vztah mezi teplotou a vývojem (Amendt et al. 2011). Vývoj hmyzu lze měřit v úzkých intervalech v rozmezí teplot a v případě, kdy je vykreslena rychlost růstu (měřená jako reciproká doba vývoje,  $1/D$ ) proti teplotě, vzniká křivka ve tvaru sigmoidu (Coulson et al. 1984). Při extrémních teplotách se vývoj hmyzu zpomaluje nebo úplně zastaví, což odpovídá hornímu a dolnímu vývojovému prahu (Campbell et al. 1974). Velká část vztahu mezi teplotou a vývojem je lineární mezi horní a dolní vývojovou prahovou hodnotou (druhově specifický). Lineární regrese tak mohou být použity pro stanovení  $x$ -intercept (nižší vývojový práh,  $T_L$ ) a inverzního sklonu lineární regrese (tepelná sumace konstanta,  $K$ ), které umožňují predikci doby vývoje od tepelné historie vzorku



(Amendt et al. 2011). V tomto modelu lineární regrese se vývoj měří jako fyziologický čas s jednotkami "stupňových dnů" nebo "stupňových hodin", přičemž jeden denní stupeň se rovná jednomu stupni nad dolní vývojovou prahovou hodnotou v průběhu 24 hodin nebo 1 hodiny. Každá fáze života (vejce, první instar nebo kuklení) vyžaduje určité množství akumulovaných hodin, aby se vyvinul do další životní fáze, až po kompletní vývoj, což odpovídá  $K$  (Campbell et al. 1974). Standardní praxe by podle této metody spočívala v hmyzu shromážděném ze scény při konstantní, řízené teplotě, záznamovém času uplynulém v bodě odklonu a odečetl by se fyziologický čas potřebný pro laboratorní vývoj z celkového fyziologického času potřebného pro vývoj daného druhu. Když se použije ve spojení s teplotami na místě činu, může se vypočítat doba, která uplynula mezi ovipozicí a sběrem hmyzu na scéně.

I když lineární modely mají výhodu jednoduchosti a dovolují odhadnout nižší vývojové prahy a tepelné součtové konstanty, nezahrnují nelinearitu pozorovanou při vývoji hmyzu při nízkých a vysokých teplotách (Briere et al. 1999). Bylo navrženo několik alternativních modelů včetně revidovaného lineárního modelu (Ikemoto et Takai, 2000), který vypočítává lepší přizpůsobení pro  $T_L$  a  $K$  tím, že zohledňuje vysokou variabilitu u extrémů lineárního rozsahu a několik nelineárních přístupů (Craigien et al. 1995; Madea et Reibe-Pal, 2015) zahrnujících nedávný "nový simulační model" nazvaný "ExLAC" (Doetinchem et al. 2010).

### 5.3 Nelineární modely / ExLAC

Nelineární modely mohou přesněji popsat vztah mezi vývojem a teplotou populace hmyzu. Začleněním nelineárnosti pozorované při horních a dolních teplotních poměrech mezi vývojovou rychlostí a teplotou (Hoyt et al. 1976). Zatímco nabízejí lepší parametry pro odhad, složitost těchto modelů však snižuje praktičnost aplikace k forenznímu odhadu post mortem intervalu. Kromě toho nebyl zjištěn žádný nelineární model, který by přesvědčivě překonal lineární modely napříč relevantními daty o druzích (Fathipour et al. 2010).

Nedávno navržený nelineární model známý jako ExLAC byl ukázán jako alternativa k modelování lineární tepelné sumace (Madea et Reibe-Pal, 2015). Opět platí, že vývojový model je založen na délce každé životní etapy během vývoje a teplotě (Doetinchem et al. 2010). Každá životní exponenciální funkce se však uplatní v každém životním stadiu a do modelu jsou zahrnuty další parametry, které odpovídají změnám v měření vstupních hodnot, jako jsou data tepelné historie a pevnost vztahu mezi trvanlivostí životnosti a teplotou (Madea et Reibe-Pal, 2015). Příložené měření chyb pro vstupní data o teplotě nabízí výraznou výhodu oproti současně používanému termálně sumačnímu modelu. Standardní praxe zahrnuje použití údajů o teplotě shromážděných na meteorologické stanici nejbližší místu činu jako míru tepelné historie vzorků hmyzu před sběrem (Amendt et al. 2007). Tato data jsou opravena pro případné odchylky mezi místy pomocí regresního modelování zahrnujícího údaje získané na místě činu po zjištění rozloženého zbytku. Zatímco tento aspekt navrhovaného modelu nabízí míru potenciální chyby v odhadech post mortem intervalu, výkonnost modelu je jen nepatrně lepší než metoda lineární tepelné sumy pro stanovení věku vzorku (Madea et Reibe-Pal, 2015). K dnešnímu datu musí být model ExLAC důkladně vyhodnocen a hodnocen před zavedením do forenzní praxe a

model lineárního tepelného součtu je stále preferovanou metodou odhadu věku vzorku, a tedy post mortem intervalu.

## 5.4 Hyperspektrální zobrazování

Schopnost analyzovat vzorky nedestruktivně je také poskytována za použití hyperspektrálního zobrazování, techniky používané v jiných oblastech (Aalders et al. 2012; Daeid et al. 2014). Tato metoda umožňuje analyzovat vzorky buď živě nebo konzervovat neinvazivně, využívat techniku k poskytnutí prostorových a spektrálních informací týkajících se vzorku. Předběžná práce, která hodnotí platnost tohoto přístupu k analýze entomologických vzorků, byla provedena za použití pupárií *Chrysomyarufifacies* a *Calliphoradubia*. Vzorky chované při 24° C a 30° C byly zobrazeny denně, aby poskytly údaje pro odhad věku ve spojení s morfologickými změnami. Hyperspektrální zobrazování umožnilo určení věku pupárií s přesností > 82 % a spolehlivým rozlišováním mezi těmito dvěma druhy založenými pouze na spektrálních datech (Dadour et al. 2015). Tato technika má zřetelné výhody, včetně přenositelnosti požadovaného vybavení, které po rozvinutí umožní analýzu vzorků na místě činu. Navíc nedestruktivní a neinvazivní výhody techniky umožňují alternativní anebo pozdější reanalýzu důkazů. Tyto výhody přinášejí hyperspektrální zobrazování v popředí budoucího vývoje forenzního pole a existuje značný potenciál pro to, aby byl tento přístup vyvinut jako běžný nástroj v soudní praxi (Aalders et al. 2012). Problémem je, že technika vyžaduje vypracování referenční databáze pro příslušné druhy před implementací v analýze případů. Předpokládá se však, že při dalším vývoji bude hyperspektrální zobrazování poskytovat cenný přístup k odhadům věku všech životních fází vývoje hmyzu.

## 5.5 Morfologie

Calliphorids jsou primární kolonizátory mrtvého těla a jako takové obecně představují nejstarší hmyz přítomný na mrtvolu a vnímali nejlepší ukazatele post mortem intervalu. Vykazují holometabolický vývoj, což znamená úplnou metamorfózu ve vývoji vajíčka, larvy, pupária a dospělých. Tyto životní stadia jsou od sebe navzájem morfologicky odlišné. V každém životním stádiu mohou být relativní stupně vývoje založené na velikosti nebo relativní úrovni vývoje určitých vlastností užitečné při charakterizaci hmyzu jako u určitého množství fyziologického času. Ve stádiu vajíček, který je poměrně krátký, jsou fyzikální značky, které rafinují odhady věku, méně důležité než v delších přetrvávajících stádiích larvy nebo pupária. Samotná fáze pupária může obsahovat > 50% celkového životního cyklu hmyzu (Brown et al. 2015, Foran et al. 2011), takže je velmi žádoucí zpřesnit odhad věku z dvoutýdenního okna, až na 24 až 48 hodinové okno.

## 5.6 Externí morfologie

Opatření velikosti jsou často nabízena jako užitečné metody pro určení věku hmyzu v larválním stádiu s využitím šířky, délky nebo hmotnosti larvy, jako ukazatele relativního období vývoje (Day, 2006). Tato opatření podléhají četným vlivům, které vhodně shrnují Villet a Amendt, včetně léků a dalších. Tyto faktory umožňují použití měřicích veličin, které se používají v metodách založených na isomegalen a isomorphen diagramu, které jsou náchylné k významným chybám. Alternativou je soustředit se na rozpoznatelné vývojové změny v životní fázi.

Vejce, pupária a dospělí nevykazují žádné zjevné měřitelné změny velikosti, které mohou být využity pro vylepšení věku. Vejce jsou obecně chovány k vylíhnutí a potom je věk odvozen pomocí zpětného výpočtu fyziologického času potřebného pro vývoj. V larvách jsou změny, které nejsou závislé na velikosti a z velké části jsou omezeny na morfologii, přičemž instar je určen na základě počtu šterbinovitých otvorů do průdušnice (Gennard, 2007). Tyto instary jsou jasné události v průběhu života, které mohou být použity k dalšímu vylepšení larválního věku.

Odhad věku dospělých je obecně omezen na období bezprostředně následující po fázi, kdy se křídla postupně rozvíjejí, když se hemolymf pohybuje do žil a vyvíjí se celkové zbarvení těla mouchy (Gennard, 2007).

## **5.7 Molekulární metody**

Molekulární metody tvoří užitečný základ pro odhad věku hmyzu, protože jsou založeny na objektivních, kvantitativních datech, které nejsou předmětem chyby spojené s morfologickými metodami. Teoreticky by měly být spolehlivějšími ukazateli věku hmyzu. Stejně jako u morfologických metod se zaměřujeme převážně na dlouhodobou fázi záků (Day, 2006).

## **5.8 Aktuální problémy při určování věku hmyzu**

Bez ohledu na vývojový modelovací postup, který byl použit k určení věku, vzniká v souvislosti s dostupnými vývojovými daty používanými v těchto modelech řada problémů. Dostupné referenční údaje pro použití ve forenzní praxi jsou typicky zaměřeny na vývoj časných kolonizačních druhů hmyzu. Existuje značná část referenční literatury, která dokumentuje vývoj forenzně významných druhů mouchy při různých konstantních teplotách v laboratoři (Linhares et al. 2014; Cook et al. 2014). Problémem je, že referenční data nejsou k dispozici u všech druhů hlášených v souvislosti se scénami kriminality, zejména v případě alternativních indikátorů post mortem intervalu, jako jsou brouci a parazitické vosy. Aspekty životních dějin a vývoj ve vztahu k teplotě jsou často neznámé u vzorků získaných zbytků nebo v omezeném rozsahu pro použití ve vývojových modelech.

Navíc výzkum ukázal, že populace stejného druhu se mohou lišit fyziologicky podle geografického původu (Greenberg, 1991; Honek, 1996). Například jsou často zaznamenány značné nesrovnalosti ve vykazovaném vývojovém čase populací hmyzu z různých geografických původů při chovu a stejné vývojové teplotě (Hu Y et al. 2010; Gallagher et al. 2010). Takovéto rozdíly byly připisovány regionálním genetickým rozdílům mezi populacemi, ačkoli vliv rozdílných environmentálních faktorů mezi jednotlivými regiony nelze vyloučit. Možnost, že přirozená biogeografická variace existuje mezi populacemi druhů ve vztahu k vývojovému času, má značné důsledky, pokud jde o přesnost odhadu post mortem intervalu. V současné době se vývojové údaje o druhu z místa jednoho zdroje používají u stejných druhů z různých geografických oblastí, přestože existuje jen málo důkazů, které dokládají platnost takových postupů a značný důkaz o opaku (Paterson et al. 2008; Gallagher et al. 2010). V současné době je pravděpodobné, že v průběhu soudního řízení bude zpochybněna použitelnost extrapolace vývojových údajů na populaci z jiného zeměpisného původu než na zdrojové údaje. Je proto naléhavě zapotřebí další práce k řešení a kvantifikaci této otázky.



Další chyba v přesnosti post mortem intervalu může nastat v souvislosti s druhovou fyziologickou odpovědí na kolísavé teplotní režimy, což je běžný výskyt na scénách zločinu. Termální součet předpokládá, že druhová rychlost vývoje při dané konstantní teplotě je nezávislá na celkovém tepelném režimu (Liu et al. 1995). Řada studií však naznačuje, že rychlost vývoje za kolísání teplot neodpovídá vývoji v rámci výsledné střední konstantní teplotě (Niederegger et al. 2010; Anderson et. Warren, 2013). Jako referenční data, která podrobně popisují vztah mezi teplotou a vývojem hmyzu, jsou obvykle generovány použitím konstantních teplot, použití těchto dat k modelování věku vzorků pro forenzní odhad post mortem intervalu může vést k chybným odhadům, kdy denní okolní teploty na scénách kriminality kolísají. Je potřeba rozvinutého výzkumu vývoje specifického pro daný druh za variabilních i konstantních teplot, aby byly poskytnuty komplexní referenční údaje.

Kromě toho se teplota použití ve forenzním případě považuje za primární faktor ovlivňující vývoj hmyzu; avšak různé abiotické a biotické faktory navíc ovlivňují rychlost vývoje včetně vlhkosti (Aldrich et al. 1996), fotoperiody (Heng-Moss et al. 2007) a výživy (Clark et al. 2006; Ahmad et al. 2012). Tyto faktory jsou většinou ignorovány ve většině studií, které dokumentují vývojové časové rámce pro použití ve forenzní praxi, avšak pravděpodobně budou mít dopad na vývojovou rychlost, a tudíž na přesnost jakýchkoli souvisejících odhadů post mortem intervalu. Další omezení v aktuálně dostupných referenčních datech zahrnují nedostatek standardizované metodologie chovu mezi výzkumnými studii. Tam, kde se vyvíjejí data o vývoji pomocí různých potravinových substrátů, fotoperiod, vzorkovacích protokolů (tj. intervalu odběru vzorků) a podmínek chovu, které nesouvisí s teplotou, vykazují vývojové rychlosti pro určitý druh často odlišné hodnoty (Blaney et al. 2003; Richards et Villet, 2008). Nekonzistence v metodice tvorby dat o vývoji pro použití při odhadování věku forenzního vzorku může přispět k nepřesnostem v souvisejícím odhadu post mortem intervalu.

Odhady post mortem intervalu založené na modelování vztahu mezi vývojem hmyzu a teplotou jsou obecně akceptovány u trestních soudů po celém světě; nicméně existují podstatné problémy týkající se vhodnosti referenčních údajů, které jsou k dispozici v literatuře a používají se k formulování těchto odhadů. Jako takový je třeba další výzkum aspektů relevantního růstu hmyzu a historie života za účelem vytvoření komplexní globální referenční databáze příslušných vývojových dat pro použití v lineárních i nelineárních modelech.

## **5.9 Nejnovější pokroky v metodologii odhadování věku**

Současné postupy k odhadu věku hmyzu jsou obecně založeny na měření časových rámců spojených se začátkem a koncem shromážděného stadia života, jako je nástup instaru nebo puparia. Doba trvání fáze života může být značně dlouhá, a proto použití samotných orientačních bodů v životním stádiu jako indikátorů věku vzorků může zavést významné chyby do souvisejících odhadů post mortem intervalu (Foran et. Tarone, 2011; Brown et al. 2015).

Několik postupů bylo navrženo k řešení této problematiky a poskytlo vylepšené postupy k omezení možného věkového rozmezí vzorku. Ty se pohybují od pozorování morfologických znaků hmyzu jako indikace věku ke kvantitativním přístupům založených na genové expresi nebo hladinách hormonu. Tyto postupy se liší jejich užitečností, objektivitou a spolehlivostí. Je také potřeba připomenout, že jinak se určuje stáří u larev much a jinak u brouků.

## 6. Hlavní zástupci hmyzu na mrtvém těle

Převážná většina hmyzu klade oplozená vajíčka. Oplozením vajíčka začíná embryonální vývoj, který je zakončen vylíhnutím mladé larvy. Pak začíná složitý pochod proměny, který závisí na řadě faktorů, jako jsou např. teplota, vlhkost či kvalita prostředí. Z posledního stádia larvy se vylíhne imago. Od larvy se liší především vyvinutými křídly, přítomností pohlavních orgánů a velikostí. Tento vývoj probíhá v podstatě bez přerušení. Dokonalá proměna se od nedokonalé liší přítomností kukly (pupa). Ta je klidovým stádiem mezi dorostlou larvou a dospělým jedincem. Jednotlivá stádia proměny se od sebe liší. K hmyzu s proměnou dokonalou patří zejména brouci, motýli, blanokřídlí a dvoukřídlí. Samice nakladou vajíčka v různém počtu, z kterých se vylíhnou larvy. Larva již brzy po narození přijímá potravu. Svléká se a roste. Larva je klidovým stádiem. Nepřijímá potravu a neroste. Z kukly se po určitém čase zrodí imago, dospělý jedinec (Zahradník, 2007).

ČELEĎ (latinský název)	ČELEĎ	STAV MRTVOLY
Calliphoridae	Bzučivkovití	ČERSTVÁ MRTVOLA
Formicidae	Mravencovití	
Muscidae	Mouchovití	
Sphaeroceridae	Mrvnavkovití	
Silphidae	Mrchožroutovití	POČÁTEČNÍ ROZKLAD
Lepidoptera	Motýli	
Hymenoptera	Blanokřídlí	
Sarcophagidae	Masařkovití	
Histeridae	Mršníkovití	POKROČILÝ ROZKLAD
Staphylinidae	Drabčikovití	
Phalangidae	Sekáčovití	
Piophilidae	Sýrohloďkovití	
Araneida	Pavouci	VYSCHLÁ MRTVOLA
Sepsidae	Kmitalkovití	
Phoridae	Hrbilkovití	
Acari	Roztoči	
Nitidulidae	Lesknáčkovití	

Cleridae	Pestrokrovečnickoví	
Dermestidae	Kožojedoví	
Trogidae	Hlodáčoví	

Tabulka 1: Přehled čeledí nekrofágní fauny řazené dle fází, ve kterých kolonizují mrtvé tělo (Daněk, 1990)

## Dvoukřídlí (*Diptera*)

Patří mezi nejčastěji se vyskytující hmyz nalezený na místě smrti a jsou jistě jedním z prvních, kteří dorazí, přičemž některé druhy přilétají již během několika minut po smrti. Snad nejvíce prospěšným hmyzem při výpočtu doby od smrti je hmyz (*Calliphoridae*).

Mouchy podléhají specifickému vývojovému cyklu, který je poměrně předvídatelný. Když dospělý jedinec zpočátku dorazí na místo smrti, obecně naklade stovky vajec v dávkách kolem přirozených tělesných otvorů, jako jsou nosní dírky, ústa a uši, stejně jako kolem jakékoli otevřené rány. Tato vejce se často vylíhnou přibližně během 24 hodin. Larvy procházejí třemi stadii vývoje známými jako instar, konkrétněji označované jako první, druhý a třetí instar (Rojo et al. 2010). Larvy mohou existovat ve velkých masách, které vytvářejí teplo a urychlují jejich vývoj. Jak se larvy krmí na mrtvole, rychle rostou, nakonec dosáhnou třetího a posledního instaru, kdy budou larvy migrovat pryč od pozůstatků, aby našly bezpečné místo. V tomto okamžiku se může přeměňují na vytvrzenou kapsli známou jako puparium, která je určena k ochraně hmyzu prostřednictvím metamorfózy, dokud se nestane dospělým. Přestože samotný nálezu pupária nemusí být pro forenzního entomologa nejdůležitější, přítomnost prázdných pupárií může alespoň naznačovat, že uplynula dostatečná doba, aby alespoň jedna generace druhu mohla projít úplným vývojovým cyklem. Sama dospělá muška je pro určení přítomného druhu prospěšná, ale má omezenou použitelnost při odhadování post mortem intervalu (Grzywacz et al. 2014).

Přesná morfologická identifikace je nezbytná, ale velmi obtížná nebo dokonce někdy nemožná. Molekulární identifikace poskytuje rychlou a spolehlivou metodu, kterou je možné provádět ve všech fázích vývoje. Identifikace entomologického materiálu na úrovni druhů je předpokladem pro smysluplné použití entomologických metod pro účely odhadu PMI (Greenberg et al. 2002)

U tohoto řádu je plně vyvinutý pouze první pár křídel. Druhý pár je zakrnělý a přeměněný v kyvadélka – haltery. Tykadla jsou mnohočláneková nebo tříčláneková. Ústní orgány jsou bodavě nebo lízavě savé. Larvy jsou bez končetin (apodní) a podle stupně redukce hlavové schránky mohou být eucefalní, hemicefalní či acefalní. Kukla tohoto řádu je mumiová i volná, potom ale obalená pupariem. V České republice se vyskytuje přes 6600 druhů ve 110 čeledích (Sedlák, 2005).

- bzučivkoví (*Calliphoridae*)

Imaga této čeledi kladou vajíčka na rozkládající se živočišné tkáni. Jejich larvy se tímto živí (Sedlák, 2005).

Tato čeleď patří do 1. vlny, která je vábena zápachem čerstvé krve, masa a také potu. Ve forenzní entomologii jsou významným hmyzem, který při pečlivém měření teploty prostředí udává velmi přesný výsledek pro určení post mortem intervalu (Daněk, 1990).

Do této čeledi patří z rodu *Lucilia* zlatozeleně nebo zlatomodře zbarvené mouchy, které vidáme na mršinách a hniječím masu. Tyto kladou vajíčka do dutin či do ran zvířat i lidí. Muší larvy vrtají v živé tkáni a živí se z ní (Staněk, 1970).

Bzučivka obecná (*Calliphora vicina*) je 5–12 mm dlouhá. Kromě zimy se vyskytuje celý rok v několika pokoleních. Během jednoho měsíce života naklade až 700 vajíček do masa, do tlejících vegetálií, fekálií a do rozmanitého odpadu. Jsou známy i případy o kladení vajíček do ran zvířat i lidí. Larva dorůstá do délky 15 mm a kuklí se v hnědém soudečkovitém pupavu v zemi (Zahradník, 2011).

Bzučivka zlatá (*Lucilia caesar*) je 6–11 mm dlouhá. V naší zvířeně má ještě několik podobných druhů, kterým se říká „zlaté mouchy“. Obývají převážně listnaté lesy a často se zdržují v okolí domů. Bzučivka zlatá přilétá na hnůj, exkrementy a na mrtvolu drobných živočichů, kam samice kladou vajíčka (Zahradník, 2011).



Obrázek 2: Bzučivka zelená (Krhovský)

- masařkovití (*Sarcophagidae*)

Tato čeleď klade většinou živé larvy, které pak žijí saprofágně nebo paraziticky (Sedlák, 2005). Masařky mají krátkou dobu vývoje a z tohoto důvodu jsou velice důležitým důkazním materiálem při určení post mortem intervalu. Podle jejich růstových křivek jsme schopni určit dobu smrti v prvních 14 dnech s přesností na 1 den, tedy pokud nedošlo v jejich vývojovém cyklu k diapauze (Daněk, 1990).

Masařka obecná (*Sarcophaga carnaria*) je 13–15 mm velká. Od března do října létá často kolem člověka. Zdržuje se i na květech, ale sedá i na exkrementy. V době kladení hledají samice nejraději maso, ale i různé zbytky potravin, kam své larvy nakladou (Zahradník, 2007).

- hrbilkovití (*Phoridae*)
- mouchovití (*Muscidae*)

Larvy této čeledi žijí v rozkládajících se organických substrátech (Sedlák, 2005). Opět se jedná o nekrofágní faunu 1. vlny. Vajíčka jsou kladena do přirozených tělních otvorů jako jsou ústa, uši a jiné. Dále jsou kladeny do otevřených ran či míst které jsou prosáklé například krví (Byrd, 2001).

Moucha domácí (*Musca domestica*) se zdržuje v blízkosti člověka. Už v březnu opouští svůj zimní úkryt a létá až do pozdního podzimu. Její ústní ústrojí je lízací, nebodá. Přijímá tekutou potravu, tuhé látky před požitím slinami rozpouští. Samice klade asi 150 vajíček na tlející a páchnoucí látky. Vývoj larvy a kukly probíhá rychle čili se během roku může vytvořit několik generací. Je obtížná lidem i zvířatům a může přenášet různá onemocnění. Larvy mouchy žerou všechny zbytky. Jsou dlouhé asi 1,5 cm. Tmavohnědá pupava much měří kolem 8 mm a můžeme je najít v odpadcích a ve všech hniјících látkách, i pod zemí (Zahradník, 2007).

- sýrohlodkovití (*Piophilidae*)

Sýrohlodka drobná je velká 2 – 5 mm. Její larva žije v sýru, masu apod. a je škůdcem ve skladu potravin (Zahradník, 2007). Z hlediska forenzní entomologie jsou řazeny do 4. vlny. Na tělo jsou přitahovány produkty takzvané sýrové fermentace (Byrd, 2001).

- octomilkovití (*Drosophilidae*)

Larvy této čeledi většinou žijí v kvasných rostlinných substrátech (nahnilé ovoce). Zástupcem této čeledi je Octomilka obecná (*Drosophila melanogaster*), která je také zachycena na přiloženém obrázku (Sedlák, 2005). Zde jako u čeledi sýrohlodkovitých se jedná o nekrofágní faunu 4. vlny, která je přitahována taktéž díky sýrové fermentaci (Daněk, 1990).

- koutulovití (*Psychodidae*)
- mrvnatkovití (*Sphaeroceridae*)
- lanýžkovití (*Heleomyzidae*)
- kmitalkovití (*Sepsidae*) a řada dalších

## **Brouci (*Coleoptera*)**

Brouci se nacházejí v blízkosti mrtvoly ve formě dospělých, larvy nebo pupárií. Nejdůležitějšími druhy broků jsou Staphylinidae, Scarabaeidae, Carabidae, Histeridae,



Silphidae a Dermestidae. Tyto druhy mohou kolonizovat mrtvolu z různých důvodů, včetně vyhledávání potravy na těle mohou tělo také využívat jen jako hnízdiště nebo prostě jako rozšíření jejich stávajícího prostředí. Na rozdíl od mušek, které dorazí na mřšinu v časnějších fázích rozkladu, mnoho druhů brouků preferuje mrtvolu v pozdějším rozkladovém procesu. Tito brouci budou požírat kůži, vysušené části těla a vazy (Kulshrestha et. Satpathy, 2001).

Tělo brouků je většinou sklerotizované. Přední pár křídel je přeměněn v krovky (elytry), druhý pár je blanitý, někdy zakrnělý. Brouci mají ústní ústrojí kousací. Tento hmyzí řád zahrnuje asi 450 000 druhů. U nás v ČR žije asi 6000 druhů rozdělených do 108 čeledí (Sedlák, 2005).

- mrchožroutoví (*Silphidae*)

Do této čeledi patří asi 190 druhů brouků rozšířených především v chladnějších zemích mírných pásem. Živí se mrtvými těly, houbami či tlejícími zbytky rostlin. Jejich larvy se vyvíjí v prostředí, kde se něco rozkládá (Staněk, 1970). Jedná se o nevelkou, zato potravně velmi různorodou čeleď. Jedná se o pestře zbarvené brouky. Tělo mají ploché, krovky často nekryjí zadeček (Hůrka, 1980). Z hlediska forenzní entomologie se jedná o méně významný druh (Daněk, 1990).

Silphidae jsou jednou z několika forem forenzní rodiny v řádu Coleoptera. Jsou velmi důležitým nástrojem při určování postmortálního intervalu shromažďováním potomstva Silphida z mrtvého těla a stanovením vývojové rychlosti. Na základě počtu přítomných instarů a v jaké fázi vývoje se nacházejí, může být odhadnut čas smrti (Byrd et al. 2001).

Hrobařík obecný (*Nicrophorus vespillo*) je velký 12–22 mm. Vyskytuje se od jara do podzimu v lesích, na polích i na mezích. Brouci zde vyhledávají mrtvolky zvířat. Přilétají k nim a pohřbívají je. Poddolují ji, až se postupně propadá do země a mění se v masitou kouli. Kolem koule samička vytváří kryptu, od níž vede krátká chodba. V ní samička naklade malý počet vajíček. Larvy se líhnou za pět dnů a přilézají do krypty, kde je očekává matka. Krmí se z úst do úst a po každém svlékání je dokrmuje. Ke konci vývoje larvy vlezou do potravní koule a už se samy živí jejím obsahem. Nakonec prokousnou její stěnu a v zemi se zakuklí. Během roku vzniknou dvě pokolení (Zahradník, 2011).

Hrobařík malý (*Necrophorus vespilloides*) je 10–18 mm velký a patří do skupiny hrobaříků, kteří mají na krovkách svítivě oranžové skvrny. Od velmi podobného hrobaříka obecného se liší především černě zbarvenou tykadlovou paličkou, která bývá u hrobaříka obecného červená. Podobně jako jeho příbuzné druhy přilétává k mrtvolkám i k tlejícím houbám. K mrtvolce přilétá více druhů, kteří o ni mezi sebou zápasí, až zůstane jediný pár. Jeho úkolem je pak mrtvolku pohřbít. Podhrabují ji, až zmizí v zemi. Ztrácí svůj tvar a mění se v kouli (Zahradník, 2007). Samice má vyvinutý smysl pro výchovu potomstva. Potravní kouli upravuje a vpouští do ní látky, které ji postupně přeměňují v tekutinu. V blízkosti této potravní koule vybuduje chodbu, do níž také naklade několik vajíček. Již o několik dní později se líhnou larvy, které přilézají k potravní kouli. Matka prokousne její obal, nasytí se a do kusadel nabere trochu tekutiny a nakrmí i své larvy. Takto činí po každém svlékání. Vývoj probíhá rychle a dorostlá larva se v zemi zakuklí (Zahradník, 2011).

Hrobařík velký (*Necrophorus humator*) a hrobařík největší (*Necrophorus germanicus*) jsou podobní, jen se liší zbarvením a velikostí. Největší je velký až 3 cm a jak název napovídá, je opravdu největší mezi hrobaříky. Vyhledává již větší mrtvoly.

Mrchožrout znamenavý (*Oiceoptoma thoracicum*) vyhledává exkrementy, mrtvoly, kvasící mízu dřevin i staré houby. Samice klade vajíčka pod tlející tkáň, kde se larvy vylíhnou (Zahradník, 2007). Brouk je 12 – 16 mm dlouhý. Vyskytuje se v lesích, zahradách i na loukách od jara do podzimu na drobnějších mrtvolkách, v exkrementech savců i na hnijících rostlinných pletivech (Zahradník, 2011).

- mršníkovití (*Histeridae*)

Zástupce této čeledi můžeme na mrtvole nejčastěji spatřit od 2. do 11. dne stáří mrtvoly. Výskyt těchto zástupců nám může opět poskytnou získání důležitých informací z hlediska forenzní entomologie, protože jejich výskyt a výskyt jejich larev je především v době kdy se v mrtvole rozvíjí činnost muších larev, kterými se živí (Byrd, 2001; Daněk, 1990).

Do této čeledi patří *Hister fimetarius*, který má černé zbarvení a je skoro 1 cm dlouhý. Tito broučci se živí tlíci organickými látkami. Při nebezpečí strnou, přitáhnou nohy k tělu a podobají se tak kulovitým semínkům. (Staněk, 1970)

Mršník mrvový (*Margarinotus bipustulatus*) se zdržuje především na suchých místech s dostatkem trusu. Někdy se vyskytuje i na zdechlinách. Má denní aktivitu a létá za slunečných dnů (Zahradník, 2011).

Mršník obecný (*Hister cadaverinus*) je nejhojnějším druhem dané čeledi. Vyskytuje se především na otevřených, písčítých stanovištích zejména pod mrtvolami zvířat. Samice klade vajíčka v těsném sousedství zdechliny. Larvy jsou dravé, živí se larvami dvoukřídlých, které se nacházejí v mrtvých tělech (Zahradník, 2007).

- drabčíkovití (*Staphylinidae*)

Tato čeleď má přes 20 000 druhů a je rozšířena po celém světě. Drabčáci mají prodloužené tělo a zkrácené krovky. Všichni jsou draví (Staněk, 1970). Drabčáci mají pravidelně jedinou generaci do roka. Přezimují imaga nebo larvy (Hůrka, 1980). Sem se řadí *Philonthus politus* česky nazývaný lejnomil. Jak samo rodové jméno tohoto druhu naznačuje, rád se zdržuje v prostředí exkrementů. V naší fauně je více jak 70 příbuzných druhů. Zejména se vyskytuje na tlejícím hnoji, starém listí, na mrtvolkách či exkrementech. Na mrtvém těle je lze pozorovat zejména od března do října.

Drabčík zdobený (*Staphylinus caesareus*) nebo je někdy také označován jako drabčík císařský. Je rozšířen hlavně v otevřeném terénu. Za potravu mu slouží zejména tlející látky, zvířecí exkrementy a mrtvoly. Loví často v okolí výkalů a mršin, hlavně muší larvy (Daněk, 1990).

Drabčík páskovitý (*Creophilus maxillosus L.*) se vyskytuje na rozmanitých organických hnijících látkách – na hnoji, exkrementech i mrtvolách větších zvířat. Loví na nich svou potravu, hmyz a různé larvy. (Zahradník, 2007)

Černožrout kostkovaný (*Ontholestes tessellatus*) je 14–19 mm dlouhý. Tito brouci vyhledávají tlející organismy, ke kterým patří staré houby a exkrementy. Také

navštěvují pařezy ronící mízu, v nichž se vyskytuje různý hmyz, který se stává jejich kořistí. (Zahradník, 2011)

- pestrokrovečnickovití (*Cleridae*)

Tato čeleď obsahuje asi 3000 druhů dravých brouků. Dosahují délky od 3 do 12 mm. Většinou jsou pestře zbarveni. Mnohé druhy i jejich larvy se živí xylofágním hmyzem (Staněk, 1970). Z hlediska forenzních věd jsou důležité zástupci rodu *Necrobia*. Jejich tvar tykadlových článků je velice charakteristický. Tyto články končí viditelnou plochou paličkou tykadla.

- kožojedovití (*Dermestidae*)

Jsou malí ovální broučci, ochlupení nebo pokrytí jemnými šupinkami. Často bývají na květech. Svá vajíčka však kladou do vyschlých zbytků zvířat, které pak larvy vyžírají (Staněk, 1970). Samice kladou vajíčka zejména na suché látky živočišného původu, a to jak v přírodě (mumifikované mrtvoly, hnízda zvířat apod.), tak i v lidských provozovnách, skladech a provozovnách. Škodí především larvy (Hůrka, 1980). Tato čeleď patří z kriminalistického hlediska mezi jednu z nejdůležitějších. Zejména pak rod *Dermestes*, nekrofágní a saprofágní druhy *Dermetes frischi*, *Dermetes murinus* a *Dermetes undulatus* (Byrd, 2001).

Kožojed obecný (*Dermestes lardarius*) je do značné míry synantropní, zdržuje se v blízkosti člověka a jeho výtvorů. Ve volné přírodě se vyskytuje především v tlejícím listnatém dřevu, v hnízdech apod. Brouk sám je převážně neškodný, avšak jeho všežravá larva způsobuje značnou škodu. Požírá živočišné i rostlinné produkty. Je nebezpečným škůdcem muzejních exponátů, vyžírá suché maso, sýry, vlněné tkaniny, kožichy, ale i např. čokoládu. Za potravu jí slouží také mrtvý hmyz, který najde v koutech bytů. Dorostlá larva se přestává živit a hledá vhodný úkryt k zakuklení. Vlézá do předmětů z korku či ze dřeva. Přezimuje jako larva. V roce vytvoří jedno pokolení (Zahradník, 2011).

Kožojed šedý (*Dermestes murinus*) v přírodě patří k hojným druhům. Nalézt ho můžeme na zdechlínách, starých kostech apod. (Zahradník, 2007).

- lesknáčkovití (*Nitidulidae*)

Do této čeledi patří asi 2500 druhů malých brouků. Můžeme je najít ve starých kůžích, ale i v některých potravinách, či na květech. Jsou mezi nimi i nežádoucí škůdci polních kultur (Staněk, 1970). Vesměs jsou to malí, kovově lesklí brouci. Žijí buď v květech, kde se živí nektarem, nebo jsou draví a pronásledují podkorní hmyz. Využití ve forenzní entomologii mají pouze rody *Nitidula* a *Omosita*. Jedná se o druh, který se vyskytuje na mrtvém těle od 3. vlny, kdy dochází k procesu zmýdelnění a vyvíjení těkavých mastných kyselin. Při fázi mezi 6. a 7. vlnou z těla mizí, toto je způsobeno nepřítomností tekutin a tuků na mrtvole. Absencí těchto zdrojů ztrácejí obživu (Daněk, 1990).

- chrobákovití (*Geotrupidae*)



Jsou pověstní svou péčí o potomstvo. Jedná se o robustní, klenuté brouky tmavě zbarvené s kovovým leskem. Živí se převážně výkaly. Samice za pomoci samce vyhrabává v zemi chodbu s postranními štolami, kam vloží jedno vajíčko a zeminou uzavře vchod. Generační cyklus je dvouletý (Hůrka, 1980).

Chrobák hladký (*Trypocopris vernalis*) je 12–20 mm dlouhý. Potravou těchto brouků i larev jsou exkrementy dobytka. Brouci v zemi budují hnízdo pod hromádkou trusu. Páří se v srpnu až září. Samička klade vajíčka do země. Jejich vývoj trvá asi 10 měsíců (Zahradník, 2011).

- střevlíkovití (*Carabidae*)

Jedná se o jednu z nejpočetnějších čeledí brouků. Má více než 25 000 druhů a jsou rozšířeni po celém světě. Jedná se převážně o masožravce, často predátory bezobratlých. Hrají důležitou roli v zachování rovnováhy v přírodě. Lze je rozdělit do 3 skupin. Nejpočetnější jsou formy geofilní, které žijí na povrchu a ve svrchních vrstvách půdy. Hydrofilní žijí na březích toků, stojatých vod i bažin. A poslední jsou arborikolní střevlíci, kteří žijí na kmenech a v korunách stromů. Většina druhů se rozmnožuje na jaře, larvy se vyvíjí v časném létě, imaga nové generace se líhnou na podzim a přezimují (Hůrka, 1980).

Střevlík zrnitý (*Carabus granulatus*) je 16–23 mm dlouhý. Zbarven bývá od bronzového, zelenavého až téměř k černému. Živí se larvami a kuklami hmyzu, drobnými měkkýši, žížalami apod. Samička klade vajíčka v pozdním jaru do země (Zahradník, 2011).

Střevlík kožitý (*Carabus coriaceus*) je 33–40 mm dlouhý. Vyskytuje se převážně v listnatých lesech, příležitostně na zahradách a v parcích. V noci se vydává na lov. Jedná se o dravé brouky, jejichž potravou je rozmanitý hmyz (Zahradník, 2011).

Střevlík fialový (*Carabus violaceus*) je 22–35 mm dlouhý. Má černé až černomodré krovky a štít má po obvodu opatřen zářivým lemem. Jedná se o dravce, který loví drobné živočichy. Příležitostně ho najdeme na lesních houbách a drobnějších mrtvolkách (Zahradník, 2011).

- vrubounovití (*Scarabaeidae*)

Tato čeleď má více jak 20 000 zástupců po celém světě. Proslulým příslušníkem je také skarabeus (Staněk, 1970). Jedná se o tvarově, barevně, velikostně i bionomicky velmi mnohotvárnou čeleď. Potravně se řadí mezi saprofágy nebo býložravce, a to jak imaga, tak larvy (Hůrka, 1980).

Lejnožrout zlomenorohý (*Onthophagus fracticornis*) žije v exkrementech různého původu. Pro potomstvo buduje podzemní hnízdo. Tato stavitelská činnost stojí především na bedrech samičky. Hnízdo tvoří systém chodbiček a komůrek. Každá

komůrka obsahuje vajíčko a trus, jako potravu budoucí larvě. Imago přezimuje (Zahradník, 2007).

## 7. Práce JUDr. Ladislava Daňka

I když byla Mégninova metoda v praxi mnohokrát ověřena, nebyla v následujících desetiletích dále rozvíjena. Entomologie se začala rozvíjet od roku 1948, zejména zásluhou belgického lékaře a vědce M. Leclercqa a finského profesora p. Nuortevy. Kdyby bylo možno určit stáří mrtvého těla klasickými metodami přesněji než pomocí entomologie (nekrofágního hmyzu), pak by se ve vyspělých zemích této metody nevyužívalo a kriminalisté by se na entomology neobraceli.

Ladislav Daněk se problematikou využití entomologie v kriminalistické praxi zabývá od roku 1940. Od roku 1945 byl členem Československé entomologické společnosti při ČSAV v Praze. Při svém výzkumu fauny se do značné míry zabýval také ekologií nekrofágní fauny. Daněk dospěl po prostudování chudé literatury u nás v souvislosti se svou prací pracovníka vojenské prokuratury k závěru, že v naší kriminalistice nebyly doceněny možnosti využití entomologie právě pro potřebu kriminalistiky (Daněk, 1990).

Dospěl k závěru, že organická hmota živých těl je potravou pro řadu dalších živočichů. Najdeme zde zákonitosti potravních vztahů. Bílkoviny mrtvého těla představují potravní zásobu, která je snadno dostupná, lehce stravitelná a nemusí s mrtvým živočichem nijak bojovat. Nekrofágové z řad členovců se na mrtvém těle seskupují ve velkém počtu, neboť mrtvé tělo představuje zdroj potravy pro ně i pro jejich potomstvo. Je známo, že hmyz se na mrtvém těle nevyskytuje současně. Podle jednotlivých stádií rozkladu napadá tělo různý hmyz.

Larvy much jsou výluční konzumenti. Jejich dospělí jedinci se na mrtvém těle objevují pouze dočasně, to je po dobu kopulace a u samiček po dobu kladení vajíček. U brouků jsou potravní vztahy složitější. Objevují se na mrtvém těle jak dospělí jedinci, tak i larvy, neboť pro obě tato stádia je mrtvé tělo zdrojem potravy. Některé druhy patří mezi obligatorní nekrofágy (hrobařiči, mrchožrouti) jiné mezi biofágy, kteří pronásledují hlavně larvy dvoukřídlého hmyzu (drabčiči, mršníci a jednotlivé druhy rodu *Necrobia* aj.).

Pojem sukcese – to je časově zákonitého sledu, respektive nástupu určité charakteristické fauny či flóry v rámci klimatických cyklů a změn v prostředí. Tento pojem byl prvně teoreticky objasněn právě v souvislosti s rozkladem nepohřbených mrtvol. Rozumíme tím, zákonitý sled hmyzu a jiných organismů, který je natolik charakteristický pro jednotlivá období rozkladu mrtvol, že při dostatku teoretických podkladů a praktických zkušeností lze usuzovat, jak dlouhý časový odstup dělí mrtvé tělo od začátku jeho rozkladu. V prvních období po smrti se na mrtvolu slétají druhy, které přiláká zápach potu, krve a čerstvého masa. Po té mrtvé tělo přiláká tvořícími se plynnými látkami, které tělo nadouvají a páchnou. Tyto druhy hmyzu konzumují nejměkčí tkáň a mají i nejrychlejší vývoj larev. Další vlna kolonizuje mrtvé tělo poté, kdy u tuků nastal proces zmýdelnění a kdy se vyvíjí těkavé mastné kyseliny, hlavně kyselina máselná, která má velmi nepříjemný zápach. Po fermentaci tuků nastává fermentace proteinů, která se nazývá „sýrová fermentace“. Hmyz je na mrtvolu lákán produkty připomínající zápach sýru. Dalším stádiem je čpavková fermentace, ta láká amoniakovými parami a kaseozními substancemi. Zástupci této fauny mají delší larvální vývoj. V poslední fázi se na mrtvém těle objevují druhy, které konzumují zbytky kůže, zbytky vaziv, vlasy, chlupy, a nakonec i samotné kosti. Složitost této

sukcese a její posloupnost vychází především fyzikálně – biochemického stavu mrtvol. Jednotlivá hmyzí společenstva se liší také podle spektra místní entomologické fauny na různých místech země. Jiné spektrum návštěvníků mrtvol bude na mrtvém těle v centru města, jiné v zahradě, horském lese či na alpské louce. V polopoušti a poušti nastává rozklad mrtvého těla rychleji a začne převládat mumifikace vlivem nedostatku vlhkosti v ovzduší. V normálním klimatu střední Evropy se uplatňuje nejvíce teplota. Čím je denní teploty vyšší, tím jsou rozkladné pochody kratší. Při nízkých teplotách, hlavně ve vysokohorských polohách, trvají jednotlivé fáze pochodů déle.

Aktivita mrchožravých much u nás spadá do období zhruba šest měsíců, a to od konce dubna do konce října. V tomto období rozeznáváme dvě fáze. V první (období jara a podzimu) probíhá rozklad mrtvého těla při nižších teplotách a opoždí se oproti rozkladu za letních měsíců (polovina června až polovina září) asi o polovinu. Zatím co při průměrných teplotách kolem 20 stupňů Celsia dochází k likvidaci měkkých částí mrtvého těla během 5–7 dnů, při průměrné teplotě kolem 15 stupňů Celsia se doba prodlužuje zejména likvidace škáry, svaloviny, útroby a dalších měkkých částí na 14 dní. Při poklesu průměrných denních teplot o další dva stupně se doba rozkladu prodlouží až na tři týdny. V této souvislosti je třeba zvážit, že rozklad mrtvého těla je spojen také s jeho samozáhřevem, přičemž na tepelném režimu se podílí i činnost početné populace larev konzumujících mrtvé tělo a podřizuje se mu i lokalizace larev za nižších teplot. Proto například pokles noční teploty k dolní hranici aktivity larev obvykle nevede k významnějšímu pozastavení jejich činnosti. Jinak je tomu však při delších obdobích deštivého chladna, kdy v povrchových vrstvách mrtvého těla rozklad činností menších larev ustává. Období pozdního léta a podzimu se také liší od období počátku aktivity nekrofágů na jaře tím, že kromě postupného ochlazování se do jejich fyziologie podepisuje i zkracující se den. Letová aktivita dospělých jedinců sice neustává, dochází však k výraznému početnímu úbytku much. To je vyvoláno následujícími okolnostmi. Jednak postupnou přeměnou larev v kukly, zvýšenou mortalitou much, celkovým chladem a zejména nočními mrazíky. Dalším činitelem je také ubývání zdrojů cukru a bílkovin, což má za následek zpomalování nebo zastavení činnosti letově aktivních much v kladení čerstvých vajíček na mrtvá těla (Daněk, 1990).

Poznatky a zkušenosti z oblasti soudní entomologie vycházejí z klasického entomologického poznatku, že tento časově zákonitý sled nekrofágního hmyzu na mrtvém těle je zákonitým pochodem, dále s délkou doby pobytu mrtvého těla v terénu je zákonitě spjato i vývojové stádium každého hmyzu a každý nekrofágní hmyz nalezený na mrtvole má svůj identifikační význam. Nejlépe těmto požadavkům vyhovují mouchy. Obecně lze říci, že čím rychleji probíhala jednotlivá vývojová stadia nekrofágního hmyzu nalezeného na mrtvole, tím přesněji lze určit datum smrti, respektive délku doby výskytu mrtvého těla v terénu. Toto pravidlo platí zejména v prvních dnech a týdnech pobytu mrtvol v terénu při náletu nekrofágního hmyzu první a druhé vlny (Daněk, 1990).

Názor na třídění mrtvolné fauny dle jednotlivých sukcesních vln se liší. Mégnin rozeznával osm období sukcesních vln. Postupem doby byl tento výčet redukován. Například Fuller rozdělil rozkladové pochody pouze do tří fází. První fázi klade do doby následující těsně po smrti. Druhou klade do doby hniloby, ztekucování tkání a tlení. Třetí fázi pak charakterizuje vysoušením zbytků těla a mísením zápachu.

Bornemissza uznává návazná společenstva:

- Nekrofágní – na čerstvé mrtvole
- Saprofágní – na biochemicky aktivní mrtvole
- Dermatofágní – na vysychající mrtvole
- Heratofágní – na dehydrovaných zbytcích mrtvoly

V současné době se akceptuje přístup, který navrhl Payne. Ten doporučuje rozlišit šest postupných vln, které vycházejí z rozkladu mrtvoly (čerstvá, nadmutá, biochemicky aktivní, pokročilý rozklad, vyschnutí a zbytky).

V souladu s Leclercqem, který učinil podrobnější charakteristiku těchto nekrofágů a saprofágů a rozeznával osm vln, ve kterých tato fauna útočí na mrtvé tělo, toto uznával i Daněk. To se shodovalo také s názorem Mégninovým.

Chyby, ke kterým dochází v důsledku toho, že soudní lékaři nekonzultují problematiku s entomology, a naopak entomologové postrádají znalosti z kriminalistiky. Například i v posledních pracích Bornemissza, Leclercq a Nuorteva se tvrdí, že zástupci rodu *Nicrophorus*, *Necrodes* a *Silpha* (hrobařík mrchožrout) z čeledi *Silphidae* (Hrobaříkovití), *Hister* a *Saprinus* (mršník a hnílík) z čeledi *Histeridae* (Mršníkovití) se na mrtvém těle vyskytují v páté vlně, to je v údobí čtyři až osm měsíců. Přitom zejména u většiny hrobaříků jde o typické nekrofágy, kteří v důsledku svých čidel, založených na primárních smyslových buňkách (pachová atrakce) se objevují jako jedni z prvních na mrtvole. Výskyt hrobaříků sám Daněk několikrát zaevidoval na pokusných polích již v průběhu druhého dne stáří mrtvoly, kdy se začínají tvořit páchnoucí plynné látky. Daněk nesouhlasil s tvrzením, že ve třetí vlně, kdy se vytvářejí těkavé mastné kyseliny, se na mrtvole vyskytuje brouk *Dermestes lardarius* L. (kožojed obecný), jak mylně uvádí Leclercq. Tento host ze skladů potravin, kožešin a nepořádných domácností se vyskytuje na mrtvole až v sedmé vlně. Jeho výskyt je možný na těch mrtvolách, které byly objeveny po delší době v opuštěném bytě, na půdě či skladišti. Stejně tak Daněk nesouhlasil ani s tím, že za tři dny se zavrtává do krví provlhlé hlíny pod mršinou chrobák *Geotrupes stercorarius* L., jak uvádí Obenberger. V daném případě totiž nejde o druh *G. Stercorarius* L., ale o *anoplatrupes stercororus* (Scriba) – chrobák lesní. Jde o druh, který žije převážně v lesích a má odlišnou bionomii. (Daněk, 1990)

## 7.1 Sukcesní vlny podle Ladislava Daňka

Ladislav Daněk ve své práci rozlišuje 8 sukcesních vln:

### 1. Sukcesní vlna

Nastává bezprostředně po smrti a je charakterizována zejména mouchami, které láká zápach krve, potu a čerstvého masa. Pokud oběť má krvácející zranění, kladou mouchy vajíčka ještě na živé tělo. Z řádu brouků se v této fázi na těle objevují zástupci čeledi střevlíkovití (*Carabidae*), dále některé druhy vos, škvorů a mravenců. Mravenci a škvorů zanechávají na těle charakteristické stopy, které lze zaměnit za stopy kyseliny. Vosy napadají zejména oční bělmo a narušenou svalovou hmotu. Kusadly dokážou oddělit poměrně velké části tkáně.

### 2. Sukcesní vlna

Zástupci této vlny napadají mrtvé tělo, jakmile se začnou tvořit plynné látky, které tělo nadouvají a páchnou. Pokračuje činnost larev much z první vlny. Nadále

pokračuje nálet těchto much, zejména z čeledi masařkovití (*Sarcophagidae*). Z řádu brouků jsou typickými zástupci této fáze hrobařici (*Nicrophorus*), dále někteří mrchožrouti, zejména mrchožrout vrásčitý (*Thanatophilus rugosus*), mrchžroud rudopesý (*Oicoptoma thoracica*) a drobní brouci rodu *Catops* a *Sciodrepoides watsoni*. Protože na některých nekrofágních druzích brouků parazitují různí roztoči, lze zástupce tohoto řádu najít na mrtvém těle v druhé sukcesní vlně. Nejběžnějším druhem bývá *Poecilochirus necrophori*. Po několika dnech je také znát odbarvení trávy pod mrtvým tělem v důsledku ztráty chlorofylu a nastává zpomalení jejího růstu. Pod mrtvolou v tomto stádiu začíná mizet nebo se značně měnit charakteristické složení půdní zvířeny.

### 3. Sukcesní vlna

U tuků nastává proces zmýdelnění a vyvíjí se těkavé mastné kyseliny, zejména kyselina máselná, která má velmi nepříjemný zápach. V této fázi zaznamenáme na mrtvém těle z brouků především zástupce kožojedů *Dermestidae*, zejména druhy *Dermestes frischi*, *Dermestes murinus* a *Dermestes undulatus*. Z čeledi pestrokrovečníků (*Cleridae*) jsou to jednotlivé druhy rodu *Necrobia*. Pokračuje činnost larev výše uvedených druhů much, které zejména u nahých mrtvol mohou za 2–3 týdny strávit převážnou část mrtvoly. Počátkem této fáze na mrtvé tělo přilétá také množství různých biofágů, kteří se živí larvami těchto much. Z čeledi drabčikovití (*Staphylinidae*) jsou to zejména druhy *Omalium rivulare*, *Ontholestes tessellatus*, *Onthonestes murinus*, *Creophilus maxillosus*. Z čeledi mršníkovic (*Histeridae*) rod mršník (*Hister*), hnilík (*Saprinus*).

Pod ležící mrtvým tělem, zejména u mrtvol neoblečených, se mezitím do značné míry vyvinulo dílčí přechodné společenství rostlinných a živočišných druhů (merocenóza), které přilákalo řadu saprofágních druhů z čeledi drabčikovití a některé zástupce rodu hnojník (*Aphodius*) a lejnožrout (*Onthophagus*) z čeledi vrubounovití (*Scarabaeidae*). Pokud již nastala perforace břišní dutiny, žaludku a střev, může na mrtvole v této fázi nalézt také chrobáka (*Anoplotrupes stercorosus*), kterého přilákal zápach uvolněných výkalů. Zápachem žluklého tuku bývá přilákan také drobný motýlek, zavíječ *Aglossa pinguinalis*.

### 4. Sukcesní vlna

Po fermentaci tuků nastává fermentace proteinů, která se nazývá „sýrová fermentace“. K mrtvole je hmyz přilákan produkty připomínajícími zápach sýru. Z much jde především o sýrohloдку drobnou (*Piophilus casei*), jejíž larvy skáčou. Dále můžeme na mrtvém těle najít octomilku velkou (*Drosophila funebris*), kmitalku (*Sepsis fulgens*), zavalitku (*Madisa glabra*), pestřenku (*Eristalis tenax*), z čeledi březnicovití (*Ephydriidae*) druh *Teichomyza fusca* a z čeledi *Fanniidae* druh *Fannia canicularis*. Někdy nalézáme i květilku (*Anthomyia* ssp.).

Sýrohloдка drobná a příbuzné druhy mohou za určitých okolností výlučně kolonizovat mrtvé tělo, a to zejména tehdy, když se velké mouchy rodu *Lucilia*, *Calliphora* a *Sarcophaga* nemohly dostat k mrtvole. Taková situace může nastat např. tehdy, když se mrtvé tělo delší dobu nacházelo pod vodou a teprve po několika měsících bylo vyplaveno na břeh. Na takové mrtvole se již nevytvářejí plynné látky, které by přilákaly typické nekrofágní druhy much druhé vlny. Na vyplavené mrtvé tělo bude útočit nekrofágní fauna příznačná pro fermentaci proteinů.

V této době také vrcholí výskyt brouků z rodu *Necrobia*. Nejčastěji se vyskytuje *Necrobia violacea*, méně pak zejména v teplých biotopech *Necrobia ruficollis* a



*Necrobia rufipes*. Dospělé jedinci těchto brouků láká hlavně zápach zmýdelňovacích procesů ve 3. vlně a jejich výskyt vrcholí ve 4. vlně na sušších částech mrtvoly. Jde o biofágy, kteří se živí larvami much a jiných drobných nekrofágů. Kvalitativní i kvantitativní počet typických nekrofágů, zejména z čeledi mrchožroutovití (*Silphidae*), klesá úměrně s úbytkem svalové hmoty a jiných měkkých tkání mrtvoly.

#### 5. Sukcesní vlna

Pro tuto fázi je typická čpavková fermentace. Fauna je přitahována amoniakovými parami a kaseózními substancemi. Tato vlna u nás zahrnuje především mouchu *Hydrotaea ignava*, z čeledi hrbolkovití (*Phoridae*) hrbilku *Phora aterrima* a *Megaselia rufipes*, které se usazují v hnilobných bílkovinných látkách. Dospělé jedince typických nekrofágů v této fázi nalézáme jen v malém počtu. Výrazně se zmenšil i počet biofágů, a to zejména v důsledku úbytku jejich potravy – larev různé velikosti. V loži mrtvoly můžeme nalézt kukly brouků, čerstvě vylíhlé exempláře i uhynulé přestarlé jedince, kteří již splnili svou biologickou funkci.

#### 6. Sukcesní vlna

V této vlně se absorbují všechny tekutiny zbývající na mrtvole a dochází k jejímu vysušení. K tomuto dochází zpravidla koncem prvního roku a ve druhém roce stárí mrtvoly, kdy se mrtvola místy přeměňuje na kostru. V této době a někdy již dříve přilétají nemrtvé tělo zástupci rodu hlodáč (*Trox*) z čeledi hlodáčovití (*Trogidae*). Mezi nejčastější zástupce patří hlodáč písečný (*Trox sabulosus*), dále *Trox hispidus* a *Trox scaber*. Tyto zástupce šesté vlny nalézáme zejména pod suššími částmi mrtvoly, pod kostmi, v dutinách kostí, pod zaschlou kůží, ve vlasové pokrývce apod. Mrtvé tělo v tomto stadiu neposkytuje obživu nekrofágům ani jejich potomstvu.

Na zbytcích mrtvoly působí také různé druhy roztočů, kteří se živí proteiny živočišného původu, napadají kostní dřev a urychlují rozpad kostí. Jde především o čeledi *Uropodidae*, *Acaridae*, *Epidermoptidae* a *Anoetidae*.

#### 7. Sukcesní vlna

V této fázi je mrtvola již zcela vysušena a jeví se jako kostra. Chrupavky žeber jsou porušeny, jen při páteři jsou suché zbytky útrov. Typickými zástupci této fáze je hmyz napadající suché mršiny, sušené maso, kosti, rohovinu, kůži a peří. Z brouků se v této fázi nejčastěji setkáváme s kožejedem obecným (*Dermestes lardarium*), vzácněji pak *Dermestes atomarius*, *Dermestes maculatus* a *Dermestes haemorrhoidalis*, dále s kožešinožroutem obecným (*Attagenus pellio*), s rušníkem muzejním (*Anthrenus museorum*). Z drobných motýlků jsou to zejména moli, převážně mol šatní (*Tineola biselliella*), mol pérový (*Monopis rusticella*), mol kožešinový (*Tinea pellionella*) a zavíječ *Aglossa caprealis*.

#### 8. Sukcesní vlna

Pokud mrtvé tělo leželo v terénu déle než tři roky, můžeme na něm objevit především různé druhy roztočů (*Acarina*). Možný je též výskyt vrtavce (*Ptinus clavipes*) z čeledi vrtavcovití (*Ptinidae*), který tráví organické zbytky.

Při vyhodnocování nálezů fauny v jednotlivých vlnách je třeba uvážit, že časově nelze tyto fáze sukcese přesněji ohraničit. Uplatňují se zde stanovištní i klimatiční činitelé (roční období, počasí, vlhkost, teplota, proudění a přístup vzduchu, vlastnosti podkladu, zastínění apod.). Sukcese je také ovlivněna vlastnostmi mrtvého těla (stárí,

velikost, váha, tučnost, příčina smrti, zdravotní stav, oblečení, hustota vlasové pokrývky a ochlupení apod.). Všechny tyto faktory mohou urychlit, či naopak zastavit některé rozkladné pochody.

## 8. Práce Ing. Hany Šulákové, Ph. D.

Hana Šuláková je rodačka z Olomouce. Vystudovala zoologii na Mendelově zemědělské a lesnické universitě v Brně. Od roku 2002 působí v pražském kriminalistickém ústavu. V laboratoři analyzuje lidský biologický materiál z místa činu. Její druhou specializací je forenzní entomologie. Je členkou České zoologické společnosti a Evropské společnosti pro forenzní entomologii. Jak sama uvádí, k forenzní entomologii se dostala oklikou. Měla rozjednáno, že po škole nastoupí na Akademii věd, ale místo by se uvolnilo časem. Neměla tedy zrovna práci a kamarád jí řekl, aby šla k policii. Našla si tedy inzerát, že k policii hledají muže s právnickým vzděláním, a tak se rozhodla zkusit štěstí. Následně ji bylo doporučeno místo v kriminalistickém ústavu, kam nastoupila jako forenzní bioložka. V ústavu pak chyběl entomolog, a tak jí nabídli tuto specializaci. Zaškolila se na zahraničních stážích a je členkou Evropské společnosti pro forenzní entomologii (Nejezchlebová, 2017).

Forenzní entomologie není jednoduchou disciplínou. Forenzní entomologové mění obecné poznatky v důležitá vodítka, která kriminalistům pomáhají v případech, kde jsou soudní lékaři již krátkí. V kriminalistickém ústavu v Praze působí i Ing. Hana Šuláková, Ph. D., zároveň je i jednou ze dvou českých členek Evropské společnosti pro forenzní entomologii (EAFE).

„Celosvětově se počet druhů významných pro forenzní entomologii pohybuje okolo 200. V našich podmínkách analyzujeme přítomnost 50–100 druhů,“ upřesňuje Šuláková. Zajímavé také je, že většinu významných druhů tvoří ty s proměnou dokonalou, jejichž larvy se od dospělých jedinců liší nejen vzhledem, ale i způsobem života. V počtu jedinců mají prim dvoukřídlí (zejména mouchy z čeledi bzučivkovitých, mouchovitých, masařkovitých a sýrohloďkovitých), na počty druhů je porážejí brouci (hrobaříci, mrchožrouti, mršníci a kožojedi). Z dalších hmyzích skupin, které jsou k nalezení na mrtvém těle, lze jmenovat také motýli (moli, zavíječi), případně nějací blanokřídlí (chalcidky, vosy a mravenci).

Po 20–45 dnech, kdy tělo leží volně v přírodě, z něho už pro hmyz mnoho nezbyvá. Jednak je tělo z velké části rozloženo a zkonsumováno, jednak je částečně mumifikováno díky slunečnímu záření, proto se k němu zástupci hmyzu hůře dostávají. V pokročilém stadiu rozkladu se z těla uvolňuje další látka nevábné vůně, a to čpavek (amoniak). Po více než jednom roce zbydou z mrtvého těla jen části velmi odolné tkáně, jako jsou kosti, vlasy, chrupavky či zaschlé (mumifikované) zbytky kůže. Na tyto zbytky těla se také specializuje řada druhů hmyzu, zejména larvy brouků (kožojedi, rušníci apod.). Z takového „zkonsumovaného“ těla nelze už ani moc vyčíst, snad jen to, že ke smrti došlo již před dlouhou dobou (tj. více než před rokem).

Název saprofágové vychází z řeckého slova *saprotés* = hniloba. Saprofágové hledají uhynulý organismus, na němž si mohou začít pochutnávat. Z hlediska kriminalistů je nejdůležitější podskupina saprofágů, kterou odborníci nazývají nekrofágové. Jejich název znamená „pojídači mrtvol“. Druhotně nejpočetnějšími zástupci mezi nimi je hmyz (Šuláková, 2014).

## 8.1 Sukcesní vlny dle Hany Šulákové

Jednotliví organismy kolonizují tělo postupně v tzv. sukcesních vlnách. Sukcese postupuje tak rychle, že některé její fáze zahrnují pouze jednu generaci daného druhu. Nová imaga, která se na mrtvém těle vyvinula, ho po vylíhnutí nacházejí v takovém stupni rozkladu, že již pro ně není vhodné k opětovnému kladení vajíček, a tak odlétají kolonizovat jiný objekt. V pozdějších fázích sukcese se sice rozklad zpomaluje, takže se může objevit i několik po sobě následujících generací, kdy nová imaga kladou na stejné tělo, přesto je jejich počet nízký. Výjimku představují těla ve specifických podmínkách, kdy je tělo pohřbené nebo mumifikované, kdy proces dekompozice je natolik pomalý, že jeden konkrétní druh či skupina druhů setrvává i několik generací. Zejména proto, že podmínky blokují přístup jiným druhům. Konečným stádiem sukcese je tzv. klimax, který představují už jen kosterní zbytky, které již nejsou pro nekrofágy atraktivní. (Adlerová, 2011)

Aby vědci získali co nejpřesnější obrázek o tom, jakou historii má za sebou mrtvé tělo, musí co nejlépe vědět, jaký je proces jeho rozkladu. V každé jednotlivé fázi totiž tělo „chutná“ odlišným skupinám hmyzu a celý ekosystém se tak zákonitě vyvíjí v čase. Odborníci rozlišují zpravidla 6 až 7 vln kolonizace mrtvého těla (Šuláková, 2014).

Výhodou pro kriminalistickou praxi je dlouhodobé zachování chitinu v přírodě. Chitin tvoří součást kutikuly hmyzu, a to jak dospělých jedinců, tak i larev, kukel a puparií. Díky chininu jsou tyto části odolné vůči klimatickým podmínkám. Prázdňá pupária, pupária s nedokončeným vývinem, svlečky larev nebo uhynulí jedinci mohou na těle setrvat několik měsíců. Z tohoto důvodu může forenzní entomolog při nálezů těla získat informace jak o právě zastoupených druzích, tak o těch, jejichž fáze již skončila, a učinit si tak ucelený obraz o průběhu sukcese. (© 2017 , )

Šuláková ve své práci rozlišuje 6 sukcesních vln. V oblastech mírného pásu, tedy i v České republice, zpravidla rozlišujeme 6 stádií. Základem je stupnice, kterou navrhli J. A. Payne a D. A. Crossley v roce 1966. Jednotlivé fáze definuje stupeň rozkladu a dané druhy, které na něj reagují.

### 1. Sukcesní vlna – čerstvé tělo

Tato vlna zachycuje stav těla bezprostředně po smrti člověka, ojedinele již během umírání. V tomto období se na těle vyskytují zejména dvě skupiny bezobratlých. Do první náležejí např. z blanokřídlých (*Hymenoptera*) vosy a mravenci, kteří se živí tkáněmi mrtvého těla. Ti na těle setrvávají jen dokud přijímají potravu, následně tělo opouštějí. Zástupci tohoto hmyzu se k tělu opakovaně vrací. Nemají však z hlediska kolonizace těla téměř žádný význam pro stanovení doby smrti.

Rozhodující je druhá skupina tvořená mouchami z čeledi bzučivkovití. Ze známých 61 druhů čeledi, které známe v ČR, je pro kriminalisty důležitých 13 druhů. V našich podmínkách mají největší zastoupení z nekrofágních druhů s typickým kovovým leskem zelené bzučivky rodu *Lucilia*, modré rodu *Calliphora* a dále *Protophormia terraenovae* a *Phormia regina*. Na mrtvém těle se zpravidla současně vyvíjejí 2 až 5 druhů, jeden až dva druhy mívají dominantní postavení, ostatní druhy mají jen omezený počet jedinců.

Dospělí jedinci much se mrtvým tělem neživí, jsou nekrofilní. Zdrojem jejich potravy je nektar z květů, šťáva z přezrálého ovoce apod. Na mrtvém těle občas lížou a sají krev a další tekutinu. To je však jen příležitostným zdrojem potravy, který vyhledávají především samičky, aby získaly proteiny potřebné k dozrání vajíček



v těle. Skutečně nektofágní jsou jejich larvy. Důležitý význam pro kriminalisty mají bzučivky, které vyhledávají mrtvolu primárně z důvodu kladení a časová prodleva mezi přiletem prvních jedinců a nakladením prvních vajíček je minimální. První kolonizátory v této fázi láká krev a také různé výměšky, sperma, zápach z ran apod. Vajíčka jsou kladena na sliznice očí, úst, nosu, uší, urogenitálního traktu anebo konečníku, ale i do ran a krví nasáklého oděvu.

## 2. Sukcesní vlna – nadmuté tělo

Činností bakteriálního rozkladu v trávicím traktu vznikají plynné látky a za optimálních podmínek může tento stav nastat do několika hodin. Atraktantem lákajícím další skupinu kolonizátorů je právě rozkladný plyn uvolňovaný z těla. Opět na něj reagují bzučivky a nově mouchy čeledi masařkovití (*Sarcophagidae*) a mouchovití. Masařky jsou v literatuře podle Šulákové přeceňovanou skupinou. Přinejmenším v oblastech mírného pásu vůbec nepředstavují běžné zástupce na lidských mrtvolách. Výzkum posledních let zpochybňuje přímou vazbu masařky na mrtvole. Za forenzně relevantní se považuje řádově 25 druhů masařek, přesto u nás i v okolních státech patří přes 95 % zajištěných larev z této čeledi pouze druhu *S. (Liopygia) argyrostoma*. Z mouchovitých jde zejména o rod *Muscina*, jehož zástupci mohou v některých případech nahradit bzučivky v roli prvních kolonizátorů. V literatuře často zmiňovaná moucha domácí (*Musca domestica*) se ve skutečnosti podle Šulákové na mrtvolách vyskytuje vzácně. Její larvy se přirozeně vyvíjejí v chlévském hnoji. Proto když samičky mají možnost výběru, kladou vajíčka na tento substrát, i když je k dispozici lidské tělo. Ojedinele můžeme mouchu domácí potkat ve volné přírodě v blízkosti chlévů nebo stájí. Mouchu domácí můžeme nalézt i v Mégninově práci, kde je uvedena spolu s dalšími synantropními zástupci hmyzu mezi typickými nekrofágy. Mégnin vycházel z mrtvých těl, které měl k dispozici. Mnoho z jeho uváděných nekrofágů dnes řadíme mezi domácí a skladištní škůdce, které nalézáme především v bytech a jiných uzavřených prostorách. V současnosti přeceňovaný význam mnohých nekrofágů vznikl nekritickým přepisováním údajů z jedné práce do druhé. V této souvislosti Hana Šuláková kritizuje i slepé přebírání neověřených dat ze zahraniční literatury.

V druhé sukcesní vlně osidluje tělo i první zástupci druhů brouků. Pro stanovení počátku kolonizace představují brouci méně přesný indikátor, neboť se objevují až po mouchách. Vzniká u nich delší časový rozdíl mezi smrtí člověka a začátkem kolonizace. Dospělý brouk se na mrtvém těle živí tkáněmi nebo loví ostatní hmyz. Může na mrtvole setrvat i několik dní, než dojde ke kladení.

Na uvolňovaný rozkladný plyn mezi prvními reagují mrchožrouti (*Silphidae*). Pro forenzní praxi je nejvýznamnější mrchožrout pobřežní (*Necrodes littoralis*), jehož larvy se na mrtvém těle vyskytují v hojném počtu. V této fázi můžeme na mrtvém těle najít i larvy rodu *Thanatophilus*, z hrobařů rodu *Nicrophorus* se na těle vyskytují jen dospělí jedinci. Dále e na těle v této vlně vyskytují parazitoidní druhy z řádu blanokřídlí, z nich zejména chalcidky (*Chalcidoidea*), případně lumci a lumčiči (*Ichneumonoidae*). Samičky těchto zástupců kladou vajíčka do larev i kukel ostatního hmyzu a vylíhlé larvy cizopasí uvnitř hostitele, kterým se živí a následně se v něm i zakuklí.

## 3. sukcesní vlna – biochemicky aktivní rozklad

Tato fáze je charakteristická ztekucováním substrátu a zahrnuje dva procesy: zmýdelnění tuků a fermentaci proteinů. Při procesu zmýdelnění vznikají těkavé mastné kyseliny. Zapáchající kyselina máselná se stává lákadlem pro další skupinu hmyzu. Na

její aroma reagují mouchy rodu *Hydrotaea*. V České republice je nejčastějším zástupcem na lidských mrtvolách moucha lesklá (*Hydrotaea ignava*). První samičky tohoto druhu přilétají na mrtvé tělo již v prvních dnech po smrti, v době, kdy se na těle nacházejí tisíce larev bzučivky. Vajíčka kladou zpravidla pod tělo do tzv. lože mrtvol. Vylíhlé larvy prvního instaru se živí rozkladnou tekutinou, která prosakuje pod tělem do půdy. Od druhého instaru jsou dravé a začnou kolonizovat mrtvé tělo. Většinou když tělo opustí bzučivka, aby se mohly zakuklit, mouchovití tělo plně obsadí. Těkavé mastné kyseliny přilákají z řad brouků především drabčíkovité (*Staphylinidae*). Zejména drabčík páskovaný (*Creophilus maxillosus*) se na mrtvém těle pravidelně rozmnožuje. Dalšími zástupci této fáze jsou především rody *Ontholestes*, *Philonthus* a výslunník (*Aleochara*). Objevují se i první mršníkovití (*Histeridae*), zejména *Margarinotus brunneus* a *Saprinus semistriatus*, a lesknáčkovití (*Nitidulidae*), především *Omosita Discoidae* a *Glischrochilus quadrisignatus*.

Fermentace proteinů se označuje jako sýrová fermentace, protože se při ní vytvářejí kaseózní látky svým zápachem připomínající přezrálý sýr. Toto aroma láká malé mušky z čeledi sýrohlodkovití (*Piophilidae*), kmitalkovití (*Sepsidae*) a slunilkovití (*Fanniidae*). Larvy sýrohlodek umějí skákat. Larva se stočí a ústními háčky se zachytí v zadečkové části těla. Náhlým uvolněním takového úchopu a prudkým narovnáním těla dojde k vymrštění do vzduchu. Takto může larva překonat délku i výšku až několika desítek centimetrů. V ČR je typickým zástupcem sýrohlodek *Stearibia nigriceps*. Zde upozorňuje Hana Šuláková na další rozpor. Sýrohločka drobná (*Piophila casei*), která je uvedena i v Mégninově práci, se často vyskytuje i v zahraničních publikacích. Patří mezi typické zástupce nekrofauny v jižních evropských státech, např. Portugalsko, Španělsko a Itálie. Proti tomu u nás v ČR ve volné přírodě prakticky nežije. Na našem území představuje skladištního škůdce lokálním výskytem, který se vzácně objevuje na mrtvolách v domácnosti. Z ostatních zástupců dvoukřídlých se na mrtvém těle vyskytují kmitalka *Nemopoda nitidula* a dále slunilky *Fannia canicularis*, *Fannia scalaris* a *Fannia manicata*, kterým vyhovuje polotekutý substrát biochemicky aktivního těla.

Z brouků nalézáme na mrtvém těle zástupce čeledi kožojedovití *Dermestidae* a pestrokrovečnickovití *Cleridae*. U nás jsou typickými zástupci kožojedů *Dermestes frischii*, *Dermestes undulatus* a *Dermestes murinus*. A opět v literatuře často zmiňovaný kožojed obecný *Dermestes lardarius* se u nás objevuje pouze ojediněle na mrtvolách v bytech, na půdách či ve sklepech. Z pestrokrovečníků to jsou druhy rodu *Necrobia*, zejména *Necrobia violacea*, *Necrobia rufipes* a vzácně *Necrobia ruficollis*. Zástupci kožojedů a pestrokrovečníků preferují sušší substrát, proto jejich kolonizace zpravidla začíná od okrajových nebo skeletových částí těla s odkrytými kostmi.

#### 4. sukcesní vlna – pokročilý rozklad

Toto stádium se vyznačuje čpavkovou fermentací zbytků měkkých tkání. Uvolňované amoniakální páry a nakyslý zápach kaseózních látek jsou atraktantem lákajícím další bezobratlé jako mušky z čeledi hrbolkovití *Phoridae*. Nadále zůstávají na mrtvém těle i aktivní larvy sýrohlodek, kmitalek a slunilek, z brouků larvy kožojedů a pestrokrovečníků, z dospělců menší drabčiči, dále mršníci a lesknáčci, kteří se na těle také příležitostně rozmnožují.

#### 5. Sukcesní vlna – vysychání zbytků měkkých tkání

V této fázi zůstávají z měkkých tkání pouhé zbytky, které postupně vysychají. Na rozkladu těla se dále podílejí larvy sýrohlodek a hrbilek, kožojedi a pestrokrovečníci. Nové zbytky kolonizují brouci z čeledi hlodáčovití *Trogidae*, z nich

především *Trox scaber* a *Trox sabulosus*. Začíná se zvyšovat zastoupení roztočů *Acari*. Měli bychom zde poznamenat, že roztoči jsou na mrtvém těle k nalezení již od počátku rozkladu těla, respektive od okamžiku, kdy se na mrtvém těle objeví první hmyz. Neboť spousta roztočů se na tělo dostává pomocí forézie, přichyceno na těle hmyzu. Roztoči na mrtvole na nějakou dobu setrvávají a rozmnožují se. Po vylíhnutí nových jedinců much a brouků se přichytí zase na ně a nechají se přenést na další mrtvé tělo.

## 6. Sukcesní vlna – kosterní zbytky

V této fázi je již většina měkkých tkání rozložena a na místě zůstávají pouze kosti a ojediněle vyschlé chrupavky a vazivo. Na rozkladu těchto zbytků společně s vlasy a tělním ochlupením se podílejí roztoči a zřídka také kožojedi a hlodáči. Nově se v této fázi na mrtvém těle objevují vrtavci *Ptininae* z čeledi červotočovití *Anobiidae*. Na degradaci kostí ležících na povrchu mají vliv také řasy *Algae*.

Druhy, které jsme nyní uvedli v jednotlivých sukcesních vlnách, jsou zpravidla zastoupeny na všech volně exponovaných mrtvolách, pokud zůstanou v terénu dostatečně dlouho. Nepředstavují však výčet všech druhů jmenovaných čeledí ani všech skupin bezobratlých, s nimiž se můžeme v takových případech setkat. Kromě výše zmíněných nalézáme na mrtvém těle z dvoukřídlých také zástupce čeledi lanýžkovití *Heleomyzidae*, octomilkovití *Drosophilidae*, kopulovití *Psychodae*, smutnicovití *Sciaridae*, pestřenkovití *Syrphidae*, stružilkovití *Anisopodidae* a mrvnatkovití *Sphaeroceridae*. Z brouků jde o čeledi chrobákovití *Geotrupidae*, vrubounovití *Scarabaeidae* a lanýžovníkovití *Leiodidae*. Z řádu motýli je možné nalézt na mrtvém těle housenky z čeledi zaviječovití *Pyrallidae*, molovití *Tineidae* a vzácně některých krásněnkovitých *Oecophoridae*. U mrtvých těl nalezených ve vodě lze očekávat vodní korýše *Crustacea* a měkkýše *Mollusca*. Podíl těchto organismů na dekompozici mrtvého těla se často váže na specifický biotop, roční období, mikroklimatické podmínky a další okolnosti jako například stav mrtvého, množství a stav oblečení, která měl mrtvý na sobě, či místo uložení mrtvého těla.

Oproti výše popsaným sukcesním vlnám při volné expozici mrtvého těla se liší úspěchy mrtvoly v uzavřených prostorách či ve vodě, nebo na pohřbených či zahrabaných tělech.

Je znám poznatek, že činností mravenců na kůži, tedy spíše působením kyseliny mravenčí, vznikají posmrtně na těle malá okrouhlá nebo nepravidelná splývající zahnědlá místa, často připomínající oděrky, která mohou být zaměněna za poleptání vzniklá ještě před smrtí. Podobná poškození většího rozsahu dokáží způsobit také plži z čeledi slimákovití *Limacidae* a plzákovití *Arionidae*. Plži hrají při dekompozici ještě jednu zajímavou roli, a to, když larvy bzučivek, prvních kolonizátorů mrtvoly, nejsou schopny pronikat přes nepoškozenou kůži člověka. Samičky proto kladou vajíčka do přirozených tělních otvorů nebo otevřených ran. Když jsou pak všechna taková místa obsazena, samičky se uchylují i ke kladení na oděv mrtvoly v naději, že se vylíhlé larvy dostanou přes látku do těla dříve, než vyschnou. Bzučivky ke kladení využívají i místa narušená právě plzáky, čímž se rozkladný proces urychluje.

Na přelomu druhé a třetí sukcesní fáze dochází k odbarvení vegetace pod mrtvým tělem a důvodu ztráty chlorofylu a rostliny začnou hnít. Současně do lože mrtvoly proniká množství tekutiny bohaté na organické látky a na tento stav reagují žížaly, které se k místu slézají a rozmnožují se tam. Spoustu dospělých i juvenilních žížal lze na těle zaznamenat zejména v letních měsících kolem třetího až čtvrtého

týdne expozice. Když je oděv mrtvého z přírodních materiálů a k tomu ještě nasáklý hnilobnou tekutinou, žížaly jsou schopny ho zcela rozložit. Již po roce nemusíme na místě najít žádné oblečení.

Celý proces rozkladu těla probíhá plynule a relativně rychle. Protože vývin každého druhu trvá dny, až týdny na těle téměř vždy nalezneme zástupce několika sukcesních vln současně, a to v podobě prvních dospělců, vajíček, larev různých instarů, puparií a kukel, případně nově vylíhlých jedinců. Vlastní průběh sukcese nelze jednoznačně časově definovat. Na její celkovou délku, tedy od první až do poslední fáze, je nezbytné nahlížet jako na plastický model, který se prodlužuje i zkracuje. Faktorem rozhodujícím o délce jednotlivých fází je roční období a s ním spojené klimatické podmínky. Teplota, délka světelné části dne, srážky, vlhkost prostředí, to jsou faktory, které určují nejen rychlost rozkladných procesů, ale také druhy, které se na odbourávání těla podílejí a v jakém počtu.

Aktivita a četnost hmyzu závisí na způsobu přezimování a toleranci vůči nízkým teplotám. Například *bzučivky Calliphora vicina* a *Calliphora vomitoria* jsou odolné vůči nízkým teplotám, a proto lze jejich aktivitu zaznamenat již na konci zimy. Skutečnost, že bzučivky tak mají na jaře na začátku expozice poměrně nízké zastoupení, celkově zpomaluje proces odbourávání měkkých tkání a sukcese se prodlužuje.

## **9.Diskuse: Forenzní entomologie a metody pro určení věku hmyzu**

Forenzní entomologie se stala integrální technikou forenzních věd a poskytuje důležitou informaci pro vyšetřovatele o době smrti. To závisí zpočátku na zkoumání a shromáždění přítomného hmyzu, následované přesným určením a následným zpřesněním minimálního věku hmyzu na základě znalosti vývojových rychlostí a okolních teplot pro výpočet fyziologického času. Celý tento proces je značně omezen nedostatkem údajů o vývojových rychlostech v množství přírodních situací, které se mohou vyskytnout, jako jsou například pohřby, těla uložena například ve vozidle, těla, která se nacházejí pod vodou a dalších četných komplikujících, včetně přítomnosti drog ve zbytcích těl, oblečení, dešťové srážky a vlhkosti. Ze všech proměnných vyžadujících úvahu v odhadu post mortem intervalu, teplota je fundamentální a je nejlépe studovaným faktorem, ale přetrvává potřeba významné studie vlivu jiných proměnných.

Největšímu forenznímu zájmu se těší hmyz Diptera. V běžném životě jsou mouchy považovány za pouhý hmyz obtěžující člověka, ale ve forenzní entomologii jsou považovány za jedny z nejdůležitějších článků při určování post mortem intervalu (Anderson, 2000). Díky zkoumání hmyzu na místě činu můžeme získat nejen určení post mortem intervalu, ale také další důležité informace, jako je například propojení podezřelého s místem činu. Dále nám také může napomoci k poskytnutí informace ohledně denní doby a povětrnostním podmínkám u času kolonizace hmyzu (Carvalho et al. 2004). Věk larev lze vypočítat na základě měření morfologických znaků. Po dobu krmení se larvy rozptylují po celém zdroji krmiva. Jejich kmenová etapa může trvat

až 50% celého mladistvého vývoje, což nám stěžuje odhad věku při této fázi, protože délka se například během metamorfózy významně nezmění. Změna barvy v pupáriu také není spolehlivou metodou pro odhad post mortem intervalu. Několik různých opatření vzniklo k odhadnutí věku z kukly, jako je například vnitřní morfologická analýza pupárií histologickými technikami, uhlovodíkových profilů a studiem genových expresí.

Aktuální metody používané pro odhady post mortem intervalu, jako je termálně sumační model a schémata isomegalen / isomorphen, trpí omezeními a jako taková byla navržena řada nových postupů. V konečném důsledku je však entomologie místně specifickou vědou a techniky musí být důkladně prozkoumány pro spolehlivost a užitečnost ve všech geografických oblastech použití se všemi potenciálně se vyskytujícími druhy. V současné době se práce zaměřuje, jak již bylo zmíněno převážně na hmyz Diptera jako na první kolonizátory, ale i údaje shromážděné pro tyto druhy vyžadují zvážení četných biotických a abiotických faktorů, aby se zajistila jejich spolehlivost a opakovatelnost, a proto jsou vhodné pro použití v soudních řízeních.

V nedávné době bylo v předběžných validačních studiích navrženo a zhodnoceno množství postupů k odhadu věku důkazů o hmyzích látkách, které zjevně nabízejí značný pokrok v přesnosti stanovení věku. Nicméně všechny vyžadují značný rozvoj před použitím ve standardní vyšetřovací praxi forenzních případů. Další výzkum a stanovení příslušných referenčních údajů pro použití je vyžadováno a zaručeno v případě technik, jako je hyperspektrální zobrazování, exprese genů a ExLAC.

Existují četné faktory, které způsobí chybu ve výpočtech post mortem intervalu. A základem všech závěrů je vědomí a uznání, že biologické údaje a samotné organismy jsou předmětem variability. Je nepravděpodobné, že se použije jednoduchý přístup s jednoduchou odpovědí, neboť každá životní etapa má různé rysy a každý případ představuje novou řadu výzev, ať jde o faktory ovlivňující vývoj hmyzu na místě činu, pozměněné posloupnosti nástupnictví nebo chyby způsobené lidmi, jako jsou chyby při uchování nebo poškození vzorků.

## **9.1 Porovnání prací našich nejvýznamnějších představitelů forenzní entomologie**

Šuláková oproti Daňkovi rozlišuje jen 6 sukcesních vln. Základem jí je stupnice, kterou navrhl J. A. Payne a D. A. Crossley v roce 1966. Jednotlivé fáze definuje stupeň rozkladu a dané druhy, které na něj reagují. Šuláková ve svém rozdělení vln sloučila oproti Daňkovi jeho 3. a 4. fázi, neboť zmýdelnění tuků a sýrová fermentace mohou na různých částech těla probíhat prakticky současně. Z tohoto důvodu lze na aktivní biochemický rozklad nahlížet jako na jednu komplexní sukcesní fázi. Druhy jmenované v této fázi sukcese mohou tělo kolonizovat v různém pořadí.

Dalším rozdílem v jejich práci je i dle Šulákové přeceňování masařek v literatuře. Přinejmenším v oblastech mírného pásu vůbec nepředstavují běžné zástupce na lidských mrtvolách. Výzkum posledních let zpochybňuje přímou vazbu masařky na mrtvole.

V literatuře často zmiňovaná moucha domácí (*Musca domestica*) se ve skutečnosti podle Šulákové na mrtvolách vyskytuje vzácně. Její larvy se přirozeně vyvíjejí v chlévském hnoji. Proto když samičky mají možnost výběru, kladou vajíčka na tento substrát, i když je k dispozici lidské tělo. Ojediněle můžeme mouchu domácí



potkat ve volné přírodě v blízkosti chlévů nebo stájí. Mouchu domácí můžeme nalézt i v Mégninově práci, kde je uvedena spolu s dalšími synantropními zástupci hmyzu mezi typickými nekrofágy. Mégnin vycházel z mrtvých těl, které měl k dispozici. Mnoho z jeho uváděných nekrofágů dnes řadíme mezi domácí a skladištní škůdce, které nalézáme především v bytech a jiných uzavřených prostorech. V současnosti přeceňovaný význam mnohých nekrofágů vznikl nekritickým přepisování údajů z jedné práce do druhé.

Postupným vývojem došlo ke zjednodušení jednotlivých sukcesních vln, kdy došlo ke sloučení některých z nich. Je tak zřejmé, že pokrok lze vnímat i v tomto odvětví, kdy srovnáme práci Ladislava Daňka z roku 1990 s novějším výzkumem Hany Šulákové.

## **10. Závěr**

Zvýšená pozornost problematice kriminalistiky se odráží i v lidové kultuře. Ve Spojených státech se na univerzitách běžně pořádají kurzy forenzní vědy, problematika kriminalistiky je předmětem univerzitních přednášek. Tato tematika je také tématem mnoha seriálů a filmů. Množství informací, které lze vytěžit ze stop zajištěných na místě činu, prudce roste, což s sebou přináší zvýšení požadavků na forenzní vědce. Během několika let se v běžné praxi začnou uplatňovat metody, které se dnes teprve vyvíjejí. Forenzní věda bude zkrátka stále dokonalejší a její výstupy přesnější. Nejčastěji se tato věda užívá k určení post mortem intervalu.

Od dob Mégnina doznala forenzní entomologie podstatných změn. Byly doplněny jak poznatky o hmyzu, průběhu sukcese tak i o faktorech, které ovlivňují degradační procesy. V návaznosti na to se i zpřesnily výstupy znaleckých zkoumání. Každý další experiment a další případ přináší něco nového, neočekávaného nebo výjimku potvrzující pravidlo. A tak přes všechny znalosti a chápání zákonitostí přírody, máme stále, co objevovat. Čím větší jsou pokroky, tím více se rodí nových otázek o možnosti využití forenzní entomologie.

Vyhrazené cíle v bakalářské práci dle mého názoru byly splněny, co se týče metod určení věku hmyzu je tu stále hodně neznámých, které se musí ještě zaevidovat a prozkoumat mnoho výzkumů a metod ohledně určení věku hmyzu. Nové metody jsou stále navrhovány a zdokonalovány. Je logické, že postupem času se metody neustále zlepšují a zlepšovat se stále budou.



## 11. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Aalders M., Edelman G., van Leeuwen T., 2012: Hyperspectral imaging for the age estimation of blood stains at the crime scene. *Forensic Science International*. 223: 72–77 s.
- Ahmad N., Omar B., Razak T., Zuha R., 2012: Interaction effects of temperature and food on the development of forensically important fly, *Megaselia scalaris* (Loew) (Diptera Phoridae). *Parasitology Research*. 111 (5): 2179–2187 s.
- Aldrich J., Al-Saffar Z., Grainger J., 1996: Temperature and humidity affecting development, survival and weight loss of the pupal stage of *Drosophila melanogaster*, and the influence of alternating temperature on the larvae. *Journal of Thermal Biology*. 389–396 s.
- Amendt J., Krettek R., Zehner R., 2004: Forensic entomology: *Naturwissenschaften*. 91: 51-65 s.
- Amendt J., Campobasso C., Gaudry E., Reiter C., LeBlanc H., Hall M., 2007: Best practice in forensic entomology – standards and guidelines. *International Journal of Legal Medicine*. 121(2): 90–104 s.
- Amendt J., Campobasso C., Hall M., Richards C., Zehner R., 2011: Forensic entomology: applications and limitations. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 379–392 s.
- Amendt J., Baque M., Filmann N., Verhoff M., 2015: Establishment of developmental charts for the larvae of the blow fly *Calliphora vicina* using quantile regression. *Forensic Science International*. 248: 1–9 s.
- Anderson G., 2000: Minimum and maximum development rates of some forensically important Calliphoridae (Diptera). *Journal of Forensic Sciences*. 824–832 s.
- Anderson G., Warren J., 2013: Effect of fluctuating temperatures on the development of a forensically important blow fly, *Protophormia terraenovae* (Diptera: Calliphoridae). *Environmental Entomology*. 167–172 s.

- Bailey W., Cook D., Dadour., Fissioli N., 2001: I Forensic entomology: application, education and research in Western Australia. *Forensic Science International*.120: 48–52 s.
- Bajerlein D., Konwerski S., Matuszewski S., Szpila K., 2010: Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 2: Composition and residency patterns of carrion fauna. *Forensic Science International*. 195:42–51 s.
- Benbow M., Mohr R., Tarone A., Tomberlin J., 2011: VanLaerhoven SL. A road map for bridging basic and applied research in forensic entomology. *Annual Review of Entomology*. 56:401–421 s.
- Benecke, M., 2001: A brief history of forensic entomolgy. *Forensic Science International*. 120: 2–14 s.
- Blaney W., Green P., Simmonds M., 2003: Diet nutriment and rearing density affect the growth of black blowfly larvae, *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae). *European Journal of Entomology*. 100:39–42 s.
- Brown K., Thorne A., Harvey M., 2015: *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) pupae: a timeline of external morphological development and a new age and PMI estimation tool. *International Journal of Legal Medicine*. 129:835–850 s.
- Briere J-F., Pracros P., Le Roux A-Y., Pierre J-S., 1999: A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environmental Entomology*. 28:22–29 s.
- Brown K., Harvey M., Thorne A., 2015: *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) pupae: a timeline of external morphological development and a new age and PMI estimation tool. *International Journal of Legal Medicine*. 129(4):835–850.
- Byrd J., 2001: Forensic entomology. 56-58 s.
- Byrd J., Jason H., James L., 2001: Forezní entomologie: užitečnost článkonožců v soudních vyšetřováních. Boca Raton: CRC Press LLC. 10, 37: 189-199 s.
- Campbell A., Frazer B., Gilbert N., Gutierrez A., Mackauer M., 1974: Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology*. 11:431–438 s.

- Catts E., Goff M., 1992: Forensic entomology in criminal investigations. *Annu Rev Entomol.* 37: 253-272 s.
- Clark K., Evans L., Wall R., 2006: Growth rates of the blowfly, *Lucilia sericata*, on different body tissues. *Forensic Science International.* 156:145–149 s.
- Cook D., Dadour I., Wirth N., 2001: Rate of development of *Hydrotaea rostrata* under summer and winter (cyclic and constant) temperature regimes. *Medical and Veterinary Entomology.* 15(2):177–182 s.
- Cook D., Dadour I., Voss S., Wei-Feng H., 2014: Survival and development of the forensically important blow fly, *Calliphora varifrons* (Diptera: Calliphoridae) at constant temperatures. *Forensic Science, Medicine, and Pathology.* 10:314–321 s.
- Coulson R., Sharpe P., Schoolfield R., Wagner T., Wu H-I., 1984: Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America.* 77:208–225 s.
- Craigen R., Holliday D., Johnson L., Lactin D., 1995: Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environmental Entomology.* 24:68–75 s.
- Daeid N., Edwards D., Reed G., Savage K., 2014: Hyperspectral imaging of gel pen inks: an emerging tool in document analysis. *Science and Justice.* 54:71–80 s.
- Daněk L., 1990: Možnosti využití entomologie v kriminalistice, Kriminologický ústav, Praha,
- Dadour I., Flematti G., Nansen C., Magni P., Voss S., 2015: Aging Blowfly Pupae Using Hyperspectral Imaging: Another Tool in the Forensic Toolbox. Orlando, FL: American Academy for Forensic Sciences.
- Day D., Wallman J., 2006: Width as an alternative measurement to length for post-mortem interval estimations using *Calliphora augur* (Diptera: Calliphoridae) larvae. *Forensic Science International.* 159(2–3):158–167.
- Doetinchem P., Madea B., Reibe S., 2010: A new simulation-based model for calculating post-mortem intervals using developmental data for *Lucilia sericata* (Dipt.: Calliphoridae). *Parasitology Research.* 107:9–16 s.

- Erzinçlioglu Z., 2008: Forenzní metody vyšetřování, Nakladatelství Fortuna Libri, Praha
- Fathipour Y., Khanjani M., Moharramipour S., Zahiri B., Zalucki MP., 2010: Preimaginal development response to constant temperatures in *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae): picking the best model. *Environmental Entomology*. 39:177–189 s.
- Ferlini R., 2007: Němý svědek, Mladá fronta, Praha
- Foran D., Tarone A., 2011: Gene expression during blow fly development: improving the precision of age estimates in forensic entomology. *Journal of Forensic Sciences*. 56: 112–122 s.
- Gail S., Anderson, 2000: Forensic entomology: The use of insect in death investigations
- Gallagher M., Kimsey R., Sandhu S., 2010: Variation in developmental time for geographically distinct populations of the common green bottle fly, *Lucilia sericata* (Meigen). *Journal of Forensic Sciences*. 55:438–442 s.
- Gennard D., 2007 *Forensic Entomology: An Introduction*. Chichester: Wiley.
- Greenberg B., 1991: Flies as forensic indicators. *Journal of Medical Entomology*. 28:565–577 s.
- Greenberg B., Wells JD., 1992: Interaction between *Chrysomya rufifacies* and *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae): the possible consequences of an invasion. *Bulletin of Entomological Research*. 82:133–137 s.
- Grassberger M., Reiter C., 2001: Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen and isomorphen-diagram. *Forensic Science International*. 120:32–36 s.
- Greenberg B., Kunich JC., 2002: *Entomology and the Law: Flies as Forensic Indicators*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Grzywacz A., Hall M., Lindström A., 2014 *Hydrotaea similis* Meade (Diptera: Muscidae) newly reported from a human cadaver: a case report and larval morphology. *Forensic Sci Int*. 242:34–43 s.
- Hall G., 2001: Biology, History and World status of *D. citri*. *International Journal of Pest Management*. 52 (4): 343-352.

- Heng-Moss T., Higley L., Nability P., 2006: Effects of temperature on development of *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae) and use of developmental data in determining time intervals in forensic entomology. *Journal of Medical Entomology*. 43:1276–1286 s.
- Heng-Moss T., Higley L., Nability P., 2007: Light-induced variability in development of forensically important blow fly *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology*. 44:351–358 s.
- Hirt M. et kol., 2015: *Soudní lékařství 1. díl*, Nakladatelství Grada Publishing, Praha
- Honek A., 1996: Geographical variation in thermal requirements for insect development. *European Journal of Entomology*. 93:303–312 s.
- Hoyt S., Logan J., Tanigoshi L., Woolkind D., 1976: An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environmental Entomology*. 5:1133–1140 s.
- Hůrka K., 1980: *Rozmnožování a vývoj hmyzu*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha
- Hu Y., Lei C., Yuan X., Zhu F., 2010: Development time and size-related traits in the oriental blowfly, *Chrysomya megacephala* along a latitudinal gradient from China. *Journal of Thermal Biology*. 35:366–371 s.
- Ikemoto T., Takai K., 2000: A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology*. 29:671–682 s.
- Innes B., 2010: *Vědci proti zločinu: svět moderní forenzní vědy*, Nakladatelství Naše vojsko, Praha
- LaMotte L., Wells J., 1995: Estimating maggot age from weight using inverse prediction. *Journal of Forensic Sciences*. 40:585–590 s.
- Linhares A., Nassu M., Thyssen P., 2014: Developmental rate of immatures of two fly species of forensic importance: *Sarcophaga (Liopygia) ruficornis* and *Microcerella halli* (Diptera: Sarcophagidae). *Parasitology Research*. 113:217–222 s.
- Liu S-S., Zhang G-M., Zuh J., 1995: Influence of temperature variations on rate of development in insects: analysis of case studies from entomological literature. *Annals of the Entomological Society of America*. 88:107–119 s.

- Madea B., Reibe-Pal S., 2015: Calculating time since death in a mock crime case comparing a new computational method (ExLAC) with the ADH method. *Forensic Science International*. 248:78–81 s.
- Niederegger S., Pastuschek J., Mall G., 2010: Preliminary studies of the influence of fluctuating temperatures on the development of various forensically relevant flies. *Forensic Science International*. 199:72–78 s.
- Richards C., Paterson I., Villet M., 2008: Estimating the age of immature *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae), correcting for temperature and geographic latitude. *International Journal of Legal Medicine*. 122: 271–279 s.
- Rojo S., Velásquez Y., Magaña C., Martínez-Sánchez A., 2010: Diptera of forensic importance in the Iberian Peninsula: larval identification key. *Med Vet Entomol*. 24:293–308 s.
- Sedlák, E., 2005: *Zoologie bezobratlých*, Masarykova univerzita, Přírodovědná fakulta, Brno
- Staněk V. J., 1970: *Velký obrazový atlas hmyzu*, Nakladatelství Artia, Praha
- Štefan J., Hladík J. et al., 2012: *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*, Nakladatelství Grada Publishing, Praha
- Šuláková H., 2014: *Forenzní entomologie: Když smrt je začátek*, Živa 5: 250-256 s. Nakladatelství Academia
- Zahradník J., 2007: *Hmyz*, Nakladatelství Aventinum, Praha
- Zahradník J., 2011: *Šestinožci*, Nakladatelství Aventinum s. r. o., Praha

### **Elektronické zdroje**

- Adlerová I., 2011: *Když hmyz usvědčuje pachatele* (online) [cit. 2018.04.04] dostupné z<<https://21stoleti.cz/2011/09/21/kdyz-hmyz-usvedcuje-pachatele/>>.
- Nejezchlebová L., 2011: *Mrtvola jako krmné médium* (online) [cit. 2011.04.14] dostupné z<<http://www.policie.cz/clanek/mrtvola-jako-krmne-medium.aspx>>



- 12. Seznam obrázků, grafů a tabulek
- **Tabulka 1:** Přehled čeledí nekrofágní fauny řazené dle fází, ve kterých kolonizují mrtvé tělo (Daněk, 1990)
- **Obrázek 1:** Odběr vzorků (, 2011)
- **Obrázek 2:** Bzučivka zelená (Krhovský, 2009)