ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE

Využití ekologických stop pro odhad post mortem intervalu (PMI)

Usage of ecological evidence for post mortem interval estimation (PMI)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bakalant: Michaela Kalátová

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

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michaela Kalátová

Územní technická a správní služba

Název práce

Využití ekologických stop pro odhad post mortem intervalu (PMI)

Název anglicky

Usage of ecological evidence for post mortem interval estimation (PMI)

Cíle práce

1. Vysvětlit co je to PMI, k čemu se využívá a jak se zjišťuje. Zvláštní pozornost věnovat metodám založených na zkoumání ekologických stop.

2. Zjistit, které základní informace musíme znát, aby taxon mohl být využit při odhadu PMI. Popsat jakým způsobem se tyto informace zjišťují a upozornit na limity těchto metod.

3. Diskutovat výhodnost a nevýhodnost ekologických vlastností druhů a vyšších taxonů (aktivita, preferovaná potrava, rozšíření, habitatové preference, ...) pro praktické využití ve forenzní entomologii.

4. Vytvořit komentovaný seznam taxonů, které mohou být využity při odhadu PMI. Zvláštní pozornost věnovat komentářům u taxonů s velkým praktickým významem. Zároveň vyznačit v seznamu ty, u kterých nejsou známy všechny informace nutné k jejich využití v praxi.

Metodika

Zpracovat literární rešerši na základě prostudovaných zdrojů.

Doporučený rozsah práce
25

Klíčová slova
forenzní entomologie, post mortem interval, ekologie, hmyz, kriminalistika

Doporučené zdroje informací
Anderson, G.S. 2000: Minimum and maximum development rates of some forensically important Calliphoridae (Diptera). Journal of forensic sciences, 45, 824–832.
Coombs, C.W. 1978: The effect of temperature and relative humidity upon the development and fecundity of Dermestes lardarius L. (Coleoptera, Dermestidae). Journal of Stored Products Research, 14, 111–119.
Kamal, A.S. 1958: Comparative study of thirteen species of sarcosaprophagous Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera). I. Bionomics. Annals Entomological Society of America, 51, 261–271.
Matuszewski, S. & Szafałowicz, M. 2013: Temperature-dependent appearance of forensically useful beetles on carcasses. Forensic Science International, 229, 92–99.
Midgley, J.M., Richards, C.S. & Villet, M.H. 2010: The Utility of Coleoptera in Forensic Investigations. In Current Concepts in Forensic Entomology (ed. by Amendt, J., Goff, M.L., Campobasso, C.P. & Grassberger, M.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 57–68.
Picard, C.J., Deblois, K., Tovar, F., Bradley, J.L., Johnston, J.S. & Tarone, A.M. 2013: Increasing Precision in Development-Based Postmortem Interval Estimates: What's Sex Got to Do With It? Journal of Medical Entomology, 50, 425–431.
Ridgeway, J. a., Midgley, J.M., Colleti, I.J. & Villet, M.H. 2014: Advantages of using development models of the carrion beetles Thanatophilus micans (Fabricius) and T. mu□latus (Castelneau) (Coleoptera: Silphidae) for estimating minimum post mortem intervals, verified with case data. International Journal of Legal Medicine, 128, 207–220.
Roe, A. & Higley, L.G. 2015: Development modeling of Lucilia sericata (Diptera: Calliphoridae). PeerJ, 3, e803.
Villet, M.H., Richards, C.S. & Midgley, J.M. 2010: Contemporary Precision, Bias and Accuracy of Minimum Post-Mortem Intervals Estimated Using Development of Carrion-Feeding Insects. In Current Concepts in Forensic Entomology (ed. by Amendt, J., Goff, M.L., Campobasso, C.P. & Grassberger, M.). Springer Science+Business Media B.V., London, pp. 109–138.

Předběžný termín obhajoby
2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce
Ing. Pavel Jakubec, Ph.D.

Garantující pracoviště
Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2017

Ing. Jiří Vojar, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

V Praze dne 18. 02. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití ekologických stop pro odhad post mortem intervalu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Pavel Jakubec, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne … … … … … … …

Abstrakt

Forenzní entomologie je speciální obor kriminalistiky, který využívá znalosti o hmyzu ke stanovení post mortem intervalu (PMI). Pomocí forenzní entomologie, lze však odpovědět na další důležité otázky, které vzejdou na základě znalostí hmyzu, jeho ekologie, druhových i mezidruhových vazeb, během forenzních výzkumů. Zda došlo k přesunu ostatků, v jakém prostředí byly uchovávány a dále lze identifikovat výskyt traumat na těle. Používá se ke zjišťování geografických informací, například k tomu, zda bylo s tělem manipulováno. Hmyz se nevyskytuje na mrtvém těle současně, ale kolonizuje ho v určitém sledu podle stadií hnilobného rozkladu. Práce se zabývá zjištěním a využitím odhadu PMI v praxi a uvádí komentovaný seznam taxonů, které mohou mít velký praktický význam při tomto odhadu.

Klíčová slova:

Forenzní entomologie, post mortem interval, ekologie, hmyz, kriminalistika

Abstract:

Forensic entomology is a special field of criminology, which uses knowledge of insects for post-mortem intervals (PMI). Thanks to forensic entomology, it is possible to answer other important questions, which are based on knowledge of insects, their ecology, species and interspecies bonds, during forensic research. Whether the remains were moved, in what circumstance they were kept, and it is possible to identify the occurrence of trauma on the body. It's used to find geographic information, for example if there were any movements with body. Insects don't occur on the dead body at the same time, but colonize its exactly according to stages of rotting decay. The work is aimed at identifying and using the estimation PMI in practice and provides a commented list of taxa, which can be of great practical significance in this estimation.

Keywords:

Forensic entomology, post mortem interval, ecology, insects, criminalistics

Obsah

1. Úvod ... 3
2. Cíle práce ... 4
3. Literální rešerše ... 5
3.1 Historie forenzní entomologie ... 5
3.2 Post mortem interval ... 5
3.2.1 Význam PMI ... 6
3.2.2 Okolnosti důležité pro odhad PMI ... 6
3.2.3 Odhady založené na stáří jedinců ... 7
3.2.4 Průběh kolonizace mrtvého jedince ... 7
3.2.5 Farma těl ... 8
3.3 Podmínky důležité k určení PMI ... 8
3.3.1 Závislost vývoje na okolní teplotě ... 9
3.3.2 Modelové vztahy mezi růstem a teplotou ... 10
3.3.3 Matematické modely vlivu teploty na vývoj ... 11
3.3.4 Entomologická metoda ... 13
3.3.5 Nahromaděné počty dnů / hodin (ADD / ADH) ... 13
3.3.6 Zbývající informace pro odhad PMI ... 14
3.4 Využití taxonu pro odhad PMI ... 14
3.4.1 Nekrofágní hmyz ... 15
3.4.2 Parazité a predátoři ... 15
3.4.3 Omnivoři ... 16
3.4.4 Adventivní druhy ... 16
3.5 Taxony vhodné k určení PMI ... 17
3.5.1 Coleoptera (brouci) ... 17
3.5.2 Diptera (dvoukřídlí) ... 21
3.5.3 Hymenoptera (blanokřídlí) ... 23

3.5.4 Formicidae (mravencovití) 24
3.5.5 Vespoidea (vosy) 24
3.5.6 Acari (roztoči) 25
4. Diskuse 26
5. Závěr 30
6. Přehled literatury a použitých zdrojů 31
7. Přílohy 36

1. Úvod

Aplikace entomologické metody vyžaduje rozsáhlou znalost faktorů, které zasahují do procesů kolonizace, doby vývoje a rozkladu mrtvol hmyzem. Ve své práci jsem se zaměřila na odhad post mortem intervalu (PMI) nebo doby od úmrtí, který byl výzkumnou prioritou forenzní vědy již před více než sto lety od průkopnické práce Mégnina v roce 1894, která poprvé definovala stavy rozkladu mrtvol (Mégnin 1894, Szelecz et al. 2018). Znalost distribuce, biologie, ekologie a chování hmyzu zjištěných na místě činu, může poskytnout informace o tom, kdy, kde a jak byl trestný čin spáchán (Foran 2007). Při vyšetřování úmyslného úmrtí je jednou z nejkritičtějších otázek: "Kdy došlo k úmrtí?". Přesný odhad PMI má zvláštní význam v případu úmrtí, protože tato informace může zúžit pole možných podezřelých (Byrd 2010).

Nekrofágní fauna, zejména čeleď dvoukřídlí a brouci, se podílejí na rozkladu tkáně obratlovců. Jsou lákání na mrtvé tělo, které kolonizují v postupných vlnách. Nejdůležitějšími kolonizátory jsou nejstarší jedinci, kteří se vylíhli z prvních vajíček, které samičky nakladly na tělo. Stáří nejstarších larev poskytuje přesný odhad PMI. S pokrokem v technologií vědci vyvinuli různé nové metody, které umožňují důkladné používání údajů pro odhad PMI (Byrd 2010).

V poslední kapitole rešeršní části práce se zaměřuji na jednotlivé taxony, které mohou sloužit k PMI. Pozornost je převedším věnovaná u taxonů s velkým praktickým významem. Nejdůležitější skupiny vhodné pro účely forenzní entomologie jsou Diptera (dvoukřídlí) a Coleoptera (brouci) (Joseph et al. 2011).

2. Cíle práce

- Vysvětlit co je to PMI, k čemu se využívá a jak se zjišťuje. Zvláštní pozornost věnovat metodám založených na zkoumání ekologických stop.
- Zjistit, které základní informace musíme znát, aby taxon mohl být využit při odhadu PMI. Popsat jakým způsobem se tyto informace zjišťují a upozornit na limity těchto metod.
- Diskutovat výhodnost a nevýhodnost ekologických vlastností druhů a vyšších taxonů (aktivita, preferovaná potrava, rozšíření, habitatové preference, ...) pro praktické využití ve forenzní entomologii.
- Vytvořit komentovaný seznam taxonů, které mohou být využity při odhadu PMI. Zvláštní pozornost věnovat komentářům u taxonů s velkým praktickým významem. Zároveň vyznačit v seznamu ty, u kterých nejsou známy všechny informace nutné k jejich využití v praxi.

3. Literální rešerše

3.1 Historie forenzní entomologie

Entomologie je věda, která se zabývá studiem hmyzu a příbuzných členovců. Při použití této vědy k pomoci během soudního vyšetřování, stává se z ní forenzní entomologie (Sharma et al. 2015). Počátky pozorování hmyzu a jiných členovců jako forenzních ukazatelů byly dokumentovány v Německu a Francii během masových exhumací kolem roku 1880 Reinhardem a Hofmannem, kteří jsou spoluzakladateli této disciplíny. Po francouzském vydání populární knihy Megnina o aplikovaných aspektech forenzní entomologie, se koncept rychle rozšířil do Kanady a USA. V té době vědci zjistili, že nedostatek systematických pozorování forenzně důležitého hmyzu stojí v cestě jejich použití jako indikátorů PMI. Obecné pokroky v oblasti taxonomie hmyzu a ekologie, pomohly tento rozdíl odstranit během následujících desetiletí (Benecke 2001).

Po světových válkách se do vědecké literatury zapsalo několik případů forenzní entomologie. Od šedesátých let do osmdesátých let byli Leclercq a Nuorteva primárně odpovědní za rozšíření techniky ve střední Evropě. Od té doby základní výzkum v dalších zemích jako je USA, Rusko a Kanada otevřel cestu k rutinnímu používání entomologie ve forenzním vyšetřování (Gomes a Zuben 2006).

3.2 Post mortem interval

Stanovení času od úmrtí je významným prvkem při řešení kriminálních případů. Vzory posmrtné posloupnosti a vývoje hmyzu jsou běžnými nástroji, které pomohou zúžit odhadovaný čas od úmrtí. Tento časový rozsah označujeme jako PMI (Weatherbee et al. 2017). Úkolem forenzního entomologa při vyšetřování kriminality je shromažďovat a identifikovat exempláře členovců a poté interpretovat nálezy ve vztahu k environmentálním proměnným. Forenzní entomologové mohou poskytnout objektivní odhad času od úmrtí, stejně jako další cenné informace. Například okolnosti úmrtí oběti včetně místa úmrtí, pohybu nebo skladování ostatků, specifická zranění na těle, užívání drog a ještě více (Sharma et al. 2013). Například ve spolupráci s chemickým oddělením je možné prokázat přítomnost léků, omamných látek a těžkých kovů z larev a kukel hmyzu, který se živil kadaverem (Klimešová et al. 2015).

3.2.1 Význam PMI

Pro stanovení doby úmrtí u případů starších více než 72 hodin jsou nejpřesnějším nástrojem metody forenzní entomologie. I přes to narážíme na určitou nepřesnost. Forenzní entomolog může stanovit jen dobu, po kterou Invertebrata (bezobratlí) kolonizovali mrtvého a v tom může být problém, jelikož úmrtí a začátek kolonizace se mohou, ale nemusejí shodovat (Šuláková 2014). Například mezi časem úmrtí a vystavením těla hmyzu bude zpoždění, pokud by byla oběť usmrcena v domácím prostředí, uložena v domě po určitou dobu a poté umístěna ven (Wallman 2017). PMI má obrovský význam nejen v kriminalistice při vyšetřování trestních činů proti životu, ale i v občanském životě, kdy je doba smrti rozhodující pro ukončení občanskoprávních úkonů. Přikladem je soudní jednání proti osobě, řešení dědictví a zánik manželství. Důležitá je doba smrti z hlediska medicínsko-právního, kvůli možnému odběru orgánů a tkání pro transplantaci (Hirt et al. 2015).

3.2.2 Okolnosti důležité pro odhad PMI

Za normálních podmínek mohou nastat tři základní situace. Při první situaci je přítomna otevřená (krvácivá) rána vzniklá při střelbě, autonehodě, pobodání a nebo pádu z výšky. Do okolního prostředí se začne následně uvolňovat aroma krve, které přiláká bezobratlé z celého okolního. Hmyz na tyto podměty reaguje takřka okamžitě. V takovém případě je stanovená doba kolonizace téměř totožná s dobou úmrtí nebo je rozdíl minimální (Šuláková 2014).

V druhé situaci u mrtvého jedince došlo např. k infarktu, mrtvici, uškrcení nebo otravě plynem. Hmyz na počátku o potenciálním zdroji potravy neví. Signálem jsou pro ně až uvolňující se plyny vzniklé bakteriálním rozkladem v trávicí soustavě mrtvého. V tomto případě i teplota prostředí ovlivňuje tento proces, jelikož při vyšší teplotě se rozkladný plyn uvolňuje dříve (Šuláková 2014). Dalším faktorem může být oděv a typ použitého materiálu, který také může ovlivnit rozkladné procesy (Whitaker 2017). Během zjištění PMI nastává problém a to z důvodu, že se hmyz ke zdroji potravy nedostává ihned po úmrtí člověka, ale v průběhu několika hodin až dní v závislosti na teplotě (Šuláková 2014).

Další situace může nastat, trvá-li déle kolonizace hmyzem na těle než samotný PMI. Důvodem jsou otevřené rány na jedincích, kteří jsou například v kómatu nebo nepohyblivý. Nejčastěji se jedná o lidi bez domova s neléčenou ránou, bércovými vředy a nebo případně s exkrementy na těle. Samičky Muscidae (mouchovití) začnou nalétávat a klást vajíčka během

umírání jedince. Vylíhlé larvy mohou být v počtu desítek, ale i tisíců a vyvíjejí se v tkáních žijícího jedince i několik dní. V takovém případě dochází ke smrti zpravidla na celkovou sepsi organismu. Ke zjištění doby úmrtí slouží analýza zajištěného hmyzu a určení generačního cyklu jednoho druhu (Šuláková 2014).

3.2.3 Odhady založené na stáří jedinců

Během řešení případů vyšetřovatelé využívají historické údaje o teplotě, vývojových stupních a velikosti těl larev (Foran 2007). Existuje několik metod odhadu PMI. Nejčastěji se odhaduje na základě stáří nedospělých jedinců odebraných z mrtvého těla. Laboratorní růstové experimenty larev u známých druhů v kontrolovaných teplotních režimech ukázaly, že věk koleruje s délkou těla zvířat. Přestože larvy různých druhů vypadají velmi podobně, mohou mít odlišnou délku těla ve stejnou dobu a za stejných podmínek. Určení druhů a stáří může být proto velkou výzvou, když se odebírají neidentifikované larvy z těl v terénu (Niederegger et al. 2017).

Stáří hmyzu se vypočítá metodou založenou na předem určeném vývoji, který se liší dokonce i u blízkých příbuzných druhů. Hmyz je poikilotermní, což znamená, že rychlost vývoje je závislá na venkovní teplotě. Čím je teplota chladnější, tím pomaleji se vyvíjí a naopak. (Ames a Turner 2003). Určení PMI se u krátkodobých post mortem intervalů zhruba do 3 - 5 týdnů, pohybuje v rozmezí 1 - 5 dnů. Výpočet je udáván na určitý den ± 1- 2 dny. U starších nálezů přesnost klesá na týden, měsíc až čtvrtletí. U nálezů odpovídajících 1 - 2 rokům je možné určit, zda se jedná o mrtvého z letošního nebo z loňského roku. U nálezů nad dva roky často nelze stanovit přesnější počet uplynulých let (Klimešová et al. 2015).

3.2.4 Průběh kolonizace mrtvého jedince

Některé hmyzí druhy kolonizují mrtvé tělo v předvídatelné sekvenci (Moffatt et al. 2015). Ve většině případů je prvním kolonizujícím hmyzem Diptera: Calliphoridae. Samci i samice se živí mrtvým tělem na kterém se i páří. Následně samička naklade vajíčka (oviposty) kolem otvorů a otevřených ran. Z vajíčka se v další vývojové fázi stane larva 1. instaru, která se živí měkkými tkáněmi těla a dále projde dalšími vývojovými fázemi jako je instar 2. a 3. (Foran 2007). Larvy během třetího instaru přestávají požírat mrtvého jedince a rozptylují se od těla, aby našly vhodné místo pro zakuklení. Z toho důvodu se musí do určité vzdálenosti ve volném prostranství zajistit vzorky půdy (Whitaker 2017).

S postupným rozkladem těla začnou přilétat mouchy z čeledi Muscidae. Následují Coleoptera (brouci), kteří se živí larvami much a rozkládajícím se tělem. Dalším hmyzem, který nalétá na kadaver jsou Vespoidea (vosy), které jsou zde kvůli kladení vajíček do muších kukel. Larvy Phoridae (hrbilky) a Phiophilidae (sýrohlodek) se živý rozloženými bílkovinami těla v pozdním stádiu rozkladu. Po uvolnění posledních tekutin z mrtvého těla, kdy zbydou jen vysušené ostatky, přichází roztoči. Obvyklé rozmezí je 6-12 měsíců. V druhém roce po smrti je následují Dermastidae (kožojedi). Nakonec se do posledních zbytků měkkých tkání pustí Tineidae (molotiví) a Pyralidae (zavíječi) (Innes 2010).

3.2.5 Farma těl

Výzkumná zařízení antropologie tzv. Farmy těl jsou vědeckými místy, ve kterých jsou studovány rozkladné procesy za různých podmínek. Farmy těl jsou cenná vzdělávací střediska, která vědecky dokumentují posmrtné změny lidského těla za různých kontrolovaných a sledovaných podmínek (Gill 2017).

Založení první "Farmy těl" v roce 1981 dr. Williamem Bassem, forenzním antropologem na univerzitě v Tennessee Knoxville (UTK), představovalo ve forenzních vědách jedinečnou příležitost ke studiu rozkladu těl pomocí kadaverů v kontrolovaném výzkumném prostředí (Forbes 2017). Počet těchto výzkumných zařízení může i nadále růst, pokud budou lidé souhlasit s darováním svých těl pro výzkumné a vzdělávací účely (Gill 2017).

Před otevřením farmy těl, kontrolovaný výzkum typicky využíval analogy zvířat (zejména prasečí pozůstatky) k simulaci lidského rozkladu. Nedávná studie srovnávající rozklad prasat a člověka ve Forenzním antropologickém centru u UTK poukazuje na rozdíly pozorované mezi rozkladem člověka a jiných zvířat a důvodem, proč jsou lidské subjekty doporučeny pro forenzní studium. Výzkumný tým zjistil, že se prase rozkládá rychleji než lidské pozůstatky, což je také potvrzeno (ale dosud nezveřejněno). Vzhledem k tomu, že jsme všichni jedineční během života, možná není překvapující, že se po smrti rozkládáme jinak, zvláště když zvažujeme rozsah fyziologických proměnných, které mohou na člověka ovlivnit (např. dieta, tělesná hmotnost, genetika, léky, atd.) (Forbes 2017).

3.3 Podmínky důležité k určení PMI

Pro možný odhad PMI je využíván nekrofágní hmyz. Existuje pět základních předpokladů, které musí být splněny. Nesplnění některého z předpokladů by mohlo vést k

významným chybám ve formě nadhodnocení nebo podhodnocení času úmrtí (Rivers a Dahlem 2014).

Předpoklady jsou následující:

- hmyz používaný pro odhady PMI se živí tělem, aby splnil potřeby růstu a vývoje
- dospělé samičky nekladly na živého hostitele vajíčka
- hmyz je poikilotermický
- existuje lineární vztah mezi teplotou a růstem hmyzu, pokud jde o nedospělá stádia, přinejmenším pro teploty ležící v pásmu tolerance daného druhu a vývojové fáze
- stupeň vývoje hmyzu lze přesně stanovit

Předpokladem je identifikovaní fáze vývoje a zároveň totožnost rodu a druhu. Není-li možné určit identitu druhu, nelze PMI odhadnout. Pouze hmyz, jehož vývoj je zcela závislý na mrtvole, je užitečný pro výpočet PMI, neboť to znamená nepřetržité spojení mezi zemřelým a hmyzem (Rivers a Dahlem 2014).

3.3.1 Závislost vývoje na okolní teplotě

Hmyz je poikilotermní ektoterm- vnitřní tělesná teplota nemůže být udržovaná metabolickým teplem a tak je řízena podmínkami okolního prostředí. Znamená to, že zvýšení nebo poklesy teploty prostředí mají za následek odpovídající (proporcionální) změny vnitřní teploty hmyzu, který je přímo vystaven vnějšímu prostředí (Rivers a Dahlem 2014).

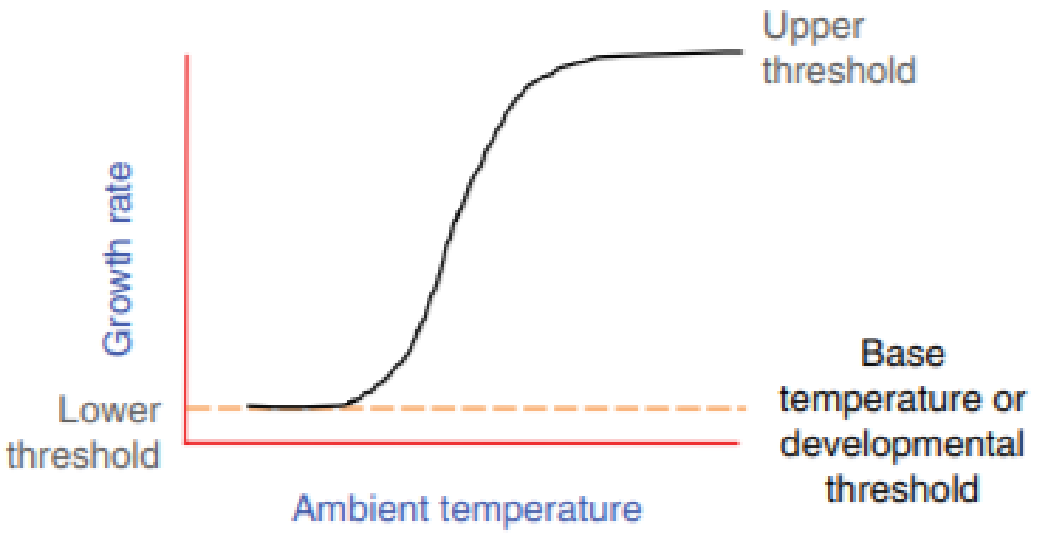
Rozmezí teplot, přes které hmyz může udržovat metabolické procesy nebo přežít v neomezeném čase, se označuje jako oblast tolerance nebo tepelné tolerance. Teploty, které stoupnou k hodnotám kritického teplotního maxima nebo klesnou pod dolní mez kritického minima, jsou podmínky, které zpočátku vyvolávají inhibici buněčných reakcí, čímž zpomalují růstu a vývoje. Pokud není u nekrofágních druhů dostatečně dlouhé období nebo pokud se vyskytnou neočekávaně nebo rychle mimo rozsah teplotní tolerance, může dojít k poranění nebo smrti (Rivers a Dahlem 2014).

Ačkoli existují různé postupy pro měření rychlostí vývoje, nejjednodušší a nejběžnější je regrese (buď lineární nebo křivočará). Data pro použití v regresích však musí splňovat konkrétní kritéria. Nezávislé proměnné (teploty v regresech vývoje) musí být rovnoměrně rozloženy, jinak hodnoty na konci zkoumaného rozsahu budou mít nepříznivý vliv na vztah. Navíc se

předpokládá, že nezávislé proměnné mají nulovou nebo zanedbatelnou odchylku, jinak může ve vypočteném vztahu docházet k systematické chybě (Roe a Higley 2015).

3.3.2 Modelové vztahy mezi růstem a teplotou

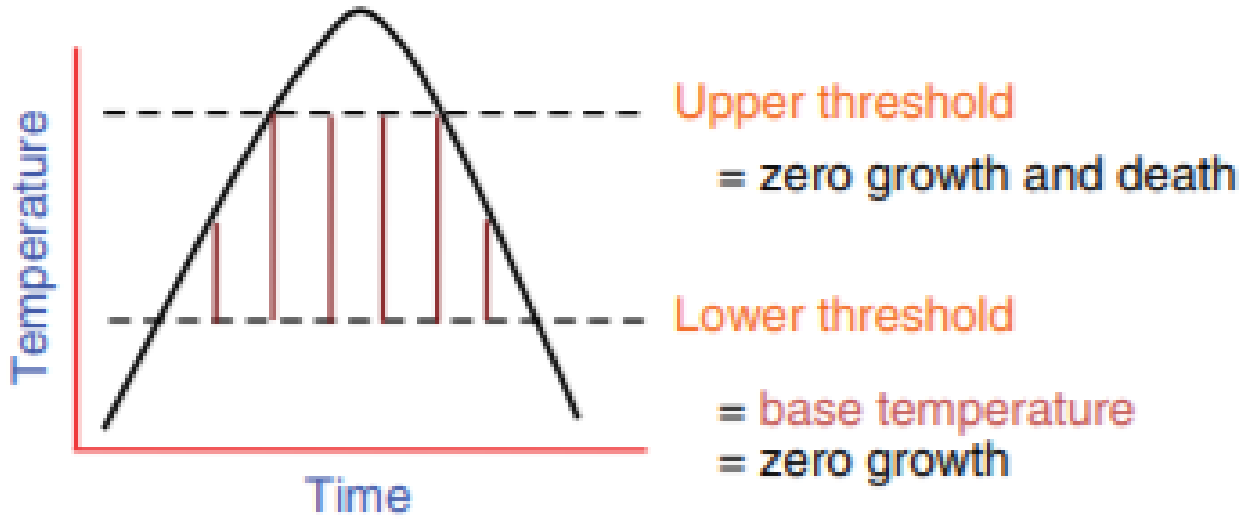
Teploty vzduchu, mrtvoly a půdy se mohou lišit v průběhu času a mohou potenciálně ovlivnit rychlost vývoje pro daný druh, během specifických fází vývoje (Rivers a Dahlem 2014). Jednou z nejdůležitějších forem závislosti ektotermických organismů na tepelných podmínkách prostředí je popisován vztahem teploty a rychlosti vývoje, který je převrácenou hodnotou délky vývoje (Kipyatkov a Lopatina 2010). Tento vztah lze vyjádřit sigmoidní křivkou znázorněnou níže na obrázku 1 (Rivers a Dahlem 2014).



Obr. 1: Sigmoidní křivka znázorňující křivočarý vztah mezi rychlostí vývoje hmyzu a okolními teplotami (Rivers a Dahlem 2014).

V závislosti na vztahu rychlosti vývoje a teplotě platí, že s klesající teplotou dochází ke zpomalení růstu vývoje až do bodu, kdy se vývoj zastaví. Naopak s rostoucí teplotou se vývoj zrychluje do tzv. optimální teploty, kdy je vývoj jedince nejrychlejší. Mezi těmito prahovými hodnotami je rychlost vývoje linearní, jak lze vyčíst z obrázku 2. Po překročení této teploty, linearita přestane platit a rychlost vývoje klesne k teplotě na které se zastaví (Rivers a Dahlem 2014). Dále je lineární část také nejužitečnější a platí pro interpolaci a předpovědi související s

aplikací zemědělské a forenzní entomologie. U druhu Diptera: Calliphoridae *Protophormia terraenovae* je vývoj larev lineární mezi teplotami 15-35 ° C, pokud jsou teploty během pozorování konstantní. S jemnými rozdíly na dolním konci je rozpětí u *P. terraenovae* poměrně shodné s řadou dalších druhů Diptera: Calliphoridae nacházejících se v Evropě a Severní Americe, zatímco horní konec rozmezí je vyšší (blízké nebo vyšší než 45 ° C) u druhů studovaných z částí Afriky a Austrálie (Rivers a Dahlem 2014).



Obr. 2: Model sinusových vln s vývojem v závislosti na teplotě a čase. Růst hmyzu je mezi prahy považován za lineární (Rives a Dahlem 2014).

3.3.3 Matematické modely vlivu teploty na vývoj

Jednou z nejdůležitějších forem závislosti ektotermických organismů na tepelných podmínkách prostředí je účinek teploty na rychlost růstu a času vývoje. K nejpoužívanějším matematickým modelům řadíme ty, které využívají linearitu vztahu teploty a vývoje v rozsahu ekologicky významných teplot (Kipyatkov a Lopatina 2010).

V kvantitativní analýze experimentálních dat týkajících se vývoje závislého na teplotě je tzv. zákon o celkové efektivní teplotě někdy vyjádřen v linearním vzorcem 1:

$$D\,(T - t) = k,$$

vzorec 1

kdy D udává délku trvání vývojového stádia vyjádřena ve dnech nebo v hodinách; T je teplota prostředí nejčastěji vyjádřena ve °C; t je odhadovaná nulová teplota vývoje - LDT a k je konstanta vyjadřující sumu teplot potřebných k vývoji určitého stádia - SET (Ikemoto a Takai 2000, Kipyakov a Lopatika 2010)

Důležité jsou dve tepelní konstanty, nižší práh LDT (teplota při ukončení vývoje) a součet efektivních teplot SET (počet denostupňů (dd) nad LDT pro dokončení fáze vývoje). Obě odrážejí teplotní závislost rychlosti ontogenetického vývoje. Nicméně LDT a SET jsou dobrými prediktory načasování událostí v životních dějinách, zejména u vajíček a kukel, jejichž vývoj závisí pouze na rychlosti vnitřních procesů. Velká pozornost byla věnována predátorům Alphidoidea (mšic), které vykazují širokou inter- a intraspecifickou (geografickou) změnu tepelných konstant (Honěk a Kocourek 1988)

Pro odhad LDT a SET lze využít hyperbolický vztah (model lineární regrese):

$$R = aT + b$$

vzorec 2

kde R je rychlost vývoje vyjadřující proměnou část vývoje za určitou dobu (den, hodina), a je koeficient sklonu lineární regrese a a je koeficient lineární regrese rychlosti vývoje teurčující bod, ve kterém protne regresní křivka osu y (Kipyatkov a Lopatika 2010).

Ovšem Ikemoto a Takai shrnuli problémy spojené s použitím vzorce 2. Konstatovali, že detekce optimálních teplot je často obtížná a při použití nevhodných hodnot vede k nespolehlivému odhadu potřebných parametrů. Druhým problémem je dodržený předpoklad, že se ve všech teplotách rychlost vývoje konstantně zvyšuje, což ale vede k nižšímu odhadu LDT a vyššímu odhadu SET. Posledním pozorovaným problémem ve většině dat je neuvedení chyb měření proměnné. Druhý a třetí problém by ve většině případů vedl ke snížení sklonu linky, menší t a větší k (Ikemoto a Takai 2000).

Proto navrhli nový lineární vzorec 3:

$$(DT) = k + tD$$

vzorec 3

Při použití této metody se LDT a SET nemusejí dopočítávat. Hodnota D je vynesena jako nezávislá proměnná na osu x a hodnota DT na osu y (Ikemoto a Takai 2000).

3.3.4 Entomologická metoda

Je statisticky spolehlivější a lepší než jiné běžné metody. Čas od úmrtí lze také vypočítat z fáze hmyzu přítomného na mrtvole pomocí vzorce 4:

$$T = A + B \times C$$

vzorec 4

Kde "A" je stupeň invaze, "B" je etapa životního cyklu a "C" představuje korekci klimatického faktoru (Sharma et al. 2015).

Mnoho faktorů ovšem ovlivňuje růst larev na mrtvole, jako je klima, podmínky okolního ovzduší, okolní prostředí a stav rány na těle. Dále může dojít ke změně teploty mrtvého těla a okolní teploty. Důvodem je aktivita drobného hmyzu, který se vyskytují na těle. Vysoká aktivita může vést ke zvýšení teploty přibližně o 1 až 3 ° C nad teplotu okolí. Toto zvýšení teploty může vést ke zrychlení vývoje larev, proto může mít negativní účinky na přesnost PMI (Sharma et al 2015).

3.3.5 Nahromaděné počty dnů / hodin (ADD / ADH)

Další metoda výpočtu PMI zahrnuje odhad nahromaděných dnů nebo hodin (ADD nebo ADH). Hodnoty ADH představují určitý počet "energetických hodin", které jsou nezbytné pro vývoj larev hmyzu. Koncepce denního nebo hodinového stupně předpokládá, že vývojová rychlost je úměrná teplotě v rámci určitého teplotního rozsahu specifického pro daný druh. Avšak vztah mezi teplotou a vývojovou rychlostí je typicky křivočarý při vysokých a nízkých teplotách a lineární jen mezi nimi.

Vzorec 5 pro výpočet ADH je dán vztahem:

$$ADH = T \,.\, (\theta - \theta°)$$

vzorec 5

Kde T je doba vývoje, θ je teplota okolí a minimální vývojová prahová teplota je θ °, hodnota specifická pro druh, tzv. vývojová nula, která je x zachycením a je vypočtena metodou lineární aproximace (Sharma et al. 2015).

Použití ADH v odhadech PMI má nedostatky, zejména v zimním období, kdy dochází k nízkým teplotám nebo kde dochází během letního období k náhlým poklesům teploty (Sharma et al. 2015)

3.3.6 Zbývající informace pro odhad PMI

Pokud je k dispozici vytvořený model, který lze použít k souvisejícímu vývoji hmyzu, může začít zjišťování všech zbývajících informací potřebných k výpočtu PMI.
Potřebné informace zahrnují:

- identifikace rodu, druhu a stáří fáze vývoje jedince
- údaje o experimentálním vývoji při příslušných teplotách pro zájmový druh
- základní teplota nebo vývojový práh pro každý zájmový druh
- údaje o teplotě z místa činu
- údaje o teplotě z blízké meteorologické stanice
- výpočet nahromaděných denostupňů představujících příslušné stadia vývoje hmyzu (Rivers a Dahlem 2014).

3.4 Využití taxonu pro odhad PMI

Zatímco rychlost vývoje larev a kukel je určována hlavně druhem a okolní teplotou, přítomnost nebo nepřítomnost jednotlivých druhů na těle je ovlivněna jejich roční fenologií, mikroklimatickými podmínkami místa činu a teplotními prahovými hodnotami jejich činnosti, stejně jako náhodné faktory (např. otevřené okno). Roční fenologie popisuje vrcholy sezónní aktivity a fluktuace hmyzu v průběhu roku. Proto jsou na tělech nalezeny různé druhy v závislosti na ročním období a meteorologických podmínkách v době smrti (Bernhardt et al. 2018). Po provedeném sběru larev se určují druhové morfologické znaky imaga. To je velmi časově náročné a vyžaduje živé larvy. Jiné metody založené na světelné mikroskopii se opírají o morfologické charakteristiky larev, jako je tvar cephalopharyngiálního skeletu (CPS) (Niederegger et al. 2017).
Na mrtvém jedinci se mohou nacházet čtyři různé ekologické skupiny hmyzu:

- nekrofágní druhy, které se přímo živí mrtvou organickou hmotou
- predátoři a paraziti hmyzu a jiných členovců
- omnivoři
- adventivní druhy (Szelecz et al. 2018)

První dvě kategorie jsou nejvíce užitečné pro soudní účely. Nicméně v rámci těchto dvou skupin nejsou všechny druhy stejně vhodné. Aby se zajistilo, že taxon může být použit pro

odhad PMI, měl by být hojný a jeho výskyt v daném stanovišti by měl být předvídatelný. (Szelecz et al. 2018).

3.4.1 Nekrofágní hmyz

Hmyz, který je nejužitečnější pro stanovení PMI, je ten, který využívá rozkládající se mrtvé tělo jako larvální potravní zdroj (Amendt et al. 2008). Jejich nedospělá stadia jsou úzce spjaty s tělem, proto jejich růst a vývoj nastává v předvídatelném vzoru, který může být použit k stanovení minimální doby úmrtí. Dospělci mohou přilétat a odlétat, ale larvy zůstávají po celou dobu vývoje na mrtvole (Rivers a Dahlem 2014).

Nejméně 27 druhů Diptera využívá mršinu jako potravu nebo jako místo pro páření a kladení vajíček. Rod Calliphoridae má 1522 druhů ve 109 generech po celém světě. Muscidae: Sarcophagidae je rozmanitý a široce rozšířený rod s 3073 popsanými druhy ve 355 generech na světě. Některé druhy Calliphoridae a Sarcophagidae jsou ve společném prostředí vystaveny antropogenním účinkům. Takové soužití se nazývá synantropie (Carmo a Vasconcelos 2016).

3.4.2 Parazité a predátoři

Predátoři jsou specificky přitahováni k mršině, aniž by se jí samotnou krmili. Jde jim hlavně o dočasný zdroj zejména larev, které mohou být v počáteční fázi rozkladu přítomny v obrovských množstvích (Amendt et al. 2010). U druhu *Creophilus maxillosus* se dospělci obou pohlaví a jejich larvy živí ostatními larvami, ale i kadaverem. Aleochara (Coleoptera: Staphylinidae) využívá larvy Diptera jako larvální zdroj potravy. Brouci tohoto rodu mají parazitoidní životní styl, jelikož se larvy živí hostitelem během jeho vývoje (Rivers a Dahlem 2014).

Dalším z parazitonoidů jsou různé malé Pteromalidae, které přilétají k mršině, aby se rozmnožovaly a jak bylo popsáno výše se Staphylinidy rodu Aleochara, tyto samičky infikují larvy Diptera svým potomstvem. Larva nejprve pomalu roste a po skončení vývoje larvy požírají základní orgány a tkáně hostitele, což způsobuje jeho smrt. Jedním z nejběžnějších a nejdůležitějších parazitů je malá vosa čeledi Pteromalidae, rod *Nasonia vitripennis.* Jedná se o jeden z nejintenzivněji studovaných druhů hmyzu, často označovaných jako "laboratorní krysy" (Rivers a Dahlem 2014).

3.4.3 Omnivoři

Pojem všežraví v tomto případě znamená zdroj potravy ve formě mrtvého těla, ale i hmyzu, který se na mrtvole živí. Mezi všežravé druhy hmyzu patří mrchožravý brouci, mravenci, vosy a řada dalších (Amendt et al. 2010). Velká populace těchto omnivorů může zpomalit míru rozkladu. Některé z těchto druhů mohou být užitečné pro stanovení PMI, jiné však mají nepředvídatelný vývoj na mrtvém těle, což je činí nevhodnými pro použití (Rivers a Dahlem 2014). Všežravci, se objevují prakticky ve stejné době jako nekrofágové a zůstávají ve všech fázích dekompozice. Mohou poskytovat velké množství informací o samotném těle a možných manipulacích (Arnaldos et al. 2004).

3.4.4 Adventivní druhy

Tato kategorie zahrnuje taxony, kteří využívají kadaver jako rozšíření svého prostředí Příkladem jsou Collembola (chvostoskoci), Arachnida (pavoukovci) a Chilopoda (stonožky) (Amendt et al. 2010). Ovšem některé druhy Arachnida mohou požírat Muscidae, což z nich dělá predátory. Vztahy jednotlivých skupin jsou uvedeny níže na obrázku 3. (Klimešová et al. 2015).

Obr. 3: Vzájemné vztahy organismů při sukcesi (Klimešová et al. 2015)

3.5 Taxony vhodné k určení PMI

Taxony nekrofágní fauny lze seřadit dle fáze rozkladu, ve kterých kolonizují mrtvé tělo. V tabulce 1 jsou uvedené konkrétní čeledi a řády (Daněk 1990).

ŘÁD	ČELEĎ	STAV MRTVOLY
Calliphoridae	Bzučivkovití	ČERSTVÁ MRTVOLA
Formicidae	Mravencovití	
Muscidae	Mouchovití	
Sphaeroceridae	Mrvnavkovití	
Silphidae	Mrchožroutovití	ROZKLAD POČÁTEČNÍ
Lepidoptera	Motýli	
Hymenoptera	Blanokřídlí	
Sarcophagidae	Masařkovití	
Histeridae	Mršníkovití	ROZKLAD POKROČILÝ
Staphylinidae	Drabčíkovití	
Phalangidae	Sekáčovití	
Piophilidae	Sýrohlodkovití	
Araneida	Pavouci	VYSCHLÁ MRTVOLA
Sepsidae	Kmitalkovití	
Phoridae	Hrbilkovití	
Acari	Roztoči	
Nitidulidae	Lesknáčkovití	
Cleridae	Pestrokrovečníkovití	
Dermestidae	Kožojedovití	
Trogidae	Hlodáčovití	

Tab. 1: Přehled nekrofágní fauny. Seřazení je dle fáze rozkladu, ve kterých kolonizují mrtvé tělo (Daněk 1990)

3.5.1 Coleoptera (brouci)

Silphidae (mrchožroutovití)

Necrodes littoralis (Coleoptera: Silphidae)

Pro forenzní praxi je nejvýznamnějším zástupcem (Šuláková 2015). Jedná o se nekrofága i predátora zároveň. *Necrodes littoralis* je velký (15 až 25 mm) a dospělí jedinci jsou leskle černí. Larvy mají podélnou světle zbarvenou čáru, která je po celé délce hřbetu. Dospělci se většinou živí mrtvým tělem a larvami Diptera. Stejně jako u mnoha druhů hmyzu je vývoj silně závislý na teplotě. (Charabidze et al. 2016).

Pro *Necrodes littoralis* je známa studie, kdy byly použity larvy třetího instaru shromážděných přímo z mrtvoly spolu s kuklami *Phormia regina* pro odhad minimálního PMI (minPMI). Pro kuklu *P. regina* byla použita metoda tepelného sčítání, aby se mohl určit odhad celkového larválního vývoje tohoto druhu. V případě larvy *N. littoralis* byl interval předběžného vzhledu (PAI) odhadnut pomocí teplotní metody. Jedná se o první zprávu, kdy PMI byl odhadnut podle odhadů stáří v kombinaci s odhady PAI. Tento případ navíc demonstruje výhody používání různých entomologických ukazatelů a naléhavou potřebu robustnějšího vývojového modelu pro *N. littoralis*, protože se ukázalo jako velmi užitečné pro odhad PMI (Bajerlein et al. 2018).

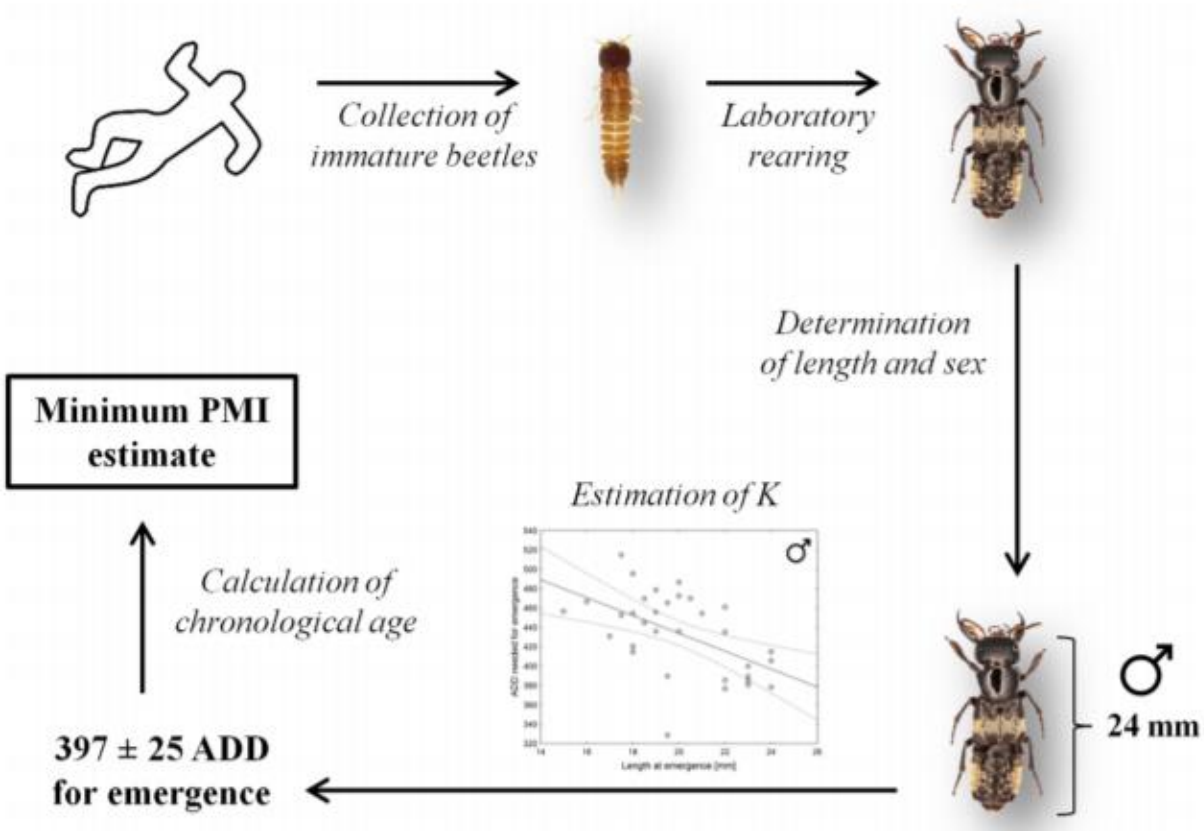
Staphylinidae (drabčíkovití)

Necrodes littoralis (Coleoptera: Silphidae) a *Creophilus maxillosus* patří mezi nejlépe rozeznatelné druhy brouků evropské entomofauny. Sdílejí podobné rysy, díky kterým jsou velmi užiteční ve forenzní entomologii. Dospělí jedinci jsou predátoři larev a patří mezi největší hmyz, který navštěvuje mrtvé tělo (Mądra-Bielewicz et al. 2016).

Creophilus maxillosus (Coleoptera: Staphylinidae)

Při výpočtu doby kolonizace hraje důležitou roli, jelikož se na mrtvolách pravidelně rozmnožuje (Šuláková 2014). Dospělý hmyz může být použit k odhadu PMI za použití metod postupnosti a PAI (čas předchozího výskytu taxonu hmyzu na mrtvém těle). Způsob je založen na předvídatelnosti výskytu hmyzu na mrtvolách (Midgley a Villet 2009).

Laboratorní studie *Creophilus maxillosus* (Staphylinidae) prokázala, že velikost objeveného jedince může být použita k odhadu fyziologického stáří hmyzu, Ve validační studii bylo zjištěno, že K (hodnota tepelného součtu), odhadnutá na základě velikosti dospělého hmyzu, byla významně blíže ke skutečnému K ve srovnání s K z obecného modelu. Použití délky nalezených brouků a určení jejich pohlaví slouží k nejpřesnější odhadu stáří. Schematické znázornění je na obrázku 4 (Matuszewski a Frątczak-Łagiewska 2018).



Obr. 4: Schematické znázornění implementace metody ve forenzní entomologii (Anna Mądra-Bielewicz 2018)

Cleridae (pestrokrovečníkovití)

Cleridae jsou známí jako "kostní brouci", protože se většinou nacházejí na mrtvole po odstranění tkání (Kulshresthap a Satpathy 2001). Cleridae jsou považovány za druhy, které napadají lidské pozůstatky a tím poskytují informace potřebné pro odhad minPMI. Třemi nejznámějšími druhy rodu Necrobia jsou *Necrobia violacea* a *Necrobia rufipes* a *Necrobia ruficollis* (Šuláková 2014).

Histeridae (mršníkovití)

Histeridae je rozsáhlá čeleď s více než 3 502 identifikovanými druhy. Převážně se vyskytují v tropickém a subtropickém podnebí (Fakoorziba et al. 2017). Histeridae jsou běžní predátoři, kteří se živí hlavně hmyzem, kadaverem a některé druhy se živí specificky například larvami Diptera (Szelecz et al. 2018).

Saprinus semistriatus (Histeridae, Coleoptera)

Dle studie provedené za účelem shromáždění informací o forenzně důležitých hmyzích zástupcích bylo zjištěno, že je přítomen na mrtvolách během relativně krátkého časového období (přibližně dva týdny) a to zejména během aktivní fáze rozpadu. Z toho důvodu je považován za vhodný forenzní indikátor pro odhad PMI. (Szelecz et al. 2018).

Dermestidae (kožojedovití)

Dermestidae jsou obecně menšího vzrůstu, kdy největší druhy mají délku 0,8 mm. Pokud nastane situace, kdy se cítí ohroženi, přetočí se na záda a předstírají smrt. Samičky nakladou až 150 vajíček, z nichž se během asi 3 týdnů vylíhnou malé chlupaté larvy (Kulshresthap a Satpathy 2001). Jelikož víme, že vývoj larev Dermestidae trvá přibližně 22 dní při 28-30 ° C a 40-50 dní při nižších teplotách, patří mezi vhodné indikátory pro odhad PMI (Arnolds et al. 2005).

Dermestes maculatus (Coleoptera: Dermestidae)

Můžeme nalézt jak na rozkládajících se zvířecích tělech, tak i na lidských. Živí se larvami i dospělými jedinci. Z toho důvodu jsou důležití, pro forenzní entomologické otázky, týkající se vývojových stavů jejich larev a mohou být použity k výpočtu PMI (Szelecz et al. 2018).

Leiodidae (lanýžovníkovití)

Leiodidae jsou velká a rozmanitá rodina brouků, zahrnující přibližně 4140 druhů (Yamamoto a Takahasi 2018). Leiodidae: Cholevinae se živí mrtvými těly, hnilobnými houbami a organickým materiálem v hnízdech obratlovců (Kočárek 2003).

Sciodrepoides watsoni

Je nejrozšířenějším druhem, který se nachází v 35 evropských a šesti asijských zemích. V některých studiích se uvádí, že *Sciodrepoides watsoni* byl zařazen do několika studií týkajících se entomofauny mrtvých jedinců (Kočárek 2003) a forenzní entomologie (Matuszewski et al. 2008). Příkladem jsou vytvořené modely pro každý vývojový stupeň (vajíčko, larva a kukla), které lze použít k odhadu minPMI (Jakubec 2016).

Nitidulidae (lesknáčkovití)

Do čeledi Nitidulidae patří více než 2000 různých druhů, kteří se živí převážně šťávami ze stromů nebo plodů. Charakteristiku čeledi Nitidulidae a jejich nových druhů poprvé popsal Erichson. Některé druhy kolonizují zvířecí pozůstatky spolu s druhy Dermestidae v pozdních fázích rozkladu. *Carpophilus stephens, Omosita erichson* a *Nitidula fabricius* jsou druhy užitečné ve forenzním výzkumu (Ortloff et al. 2014).

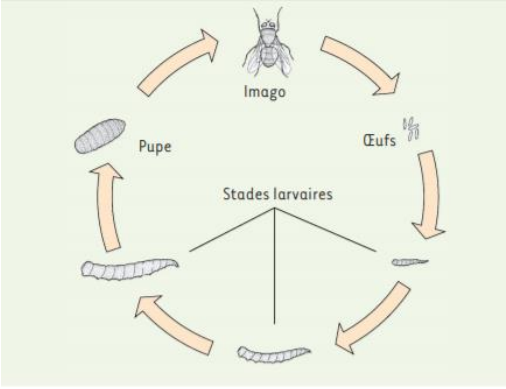
Omosita spp. (Coleoptera: Nitidulidae)

Tento druh byl v jedné studii použit při antropologickém vyšetřování. Analýza mitochondriální DNA byla použita při vyšetřování lidských pozůstatků, na nichž se krmily larvy. Pomocí sekventační techniky byla určena shoda larev s hostitelskou lidskou kostí (DiZino et al. 2002).

3.5.2 Diptera (dvoukřídlí)

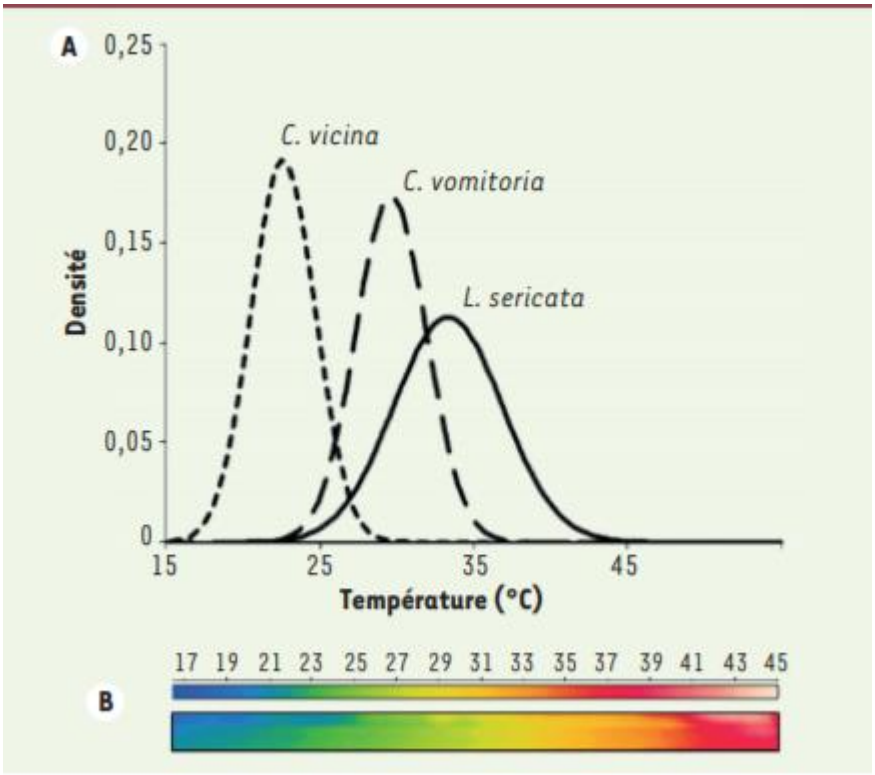
Calliphoridae (bzučivkovití)

Calliphoridae je taxonem největšího významu forenzní entomologie). Bzučivky (Diptera: Calliphoridae) jsou první organismy, které kolonizují na mrtvé tělo. Stáří larev lze vypočítat na základě měření morfologických znaků. Během larvální fáze je odhad stáří stále obtížnější, jelikož se délka nemusí během metamorfózy podstatně změnit (Sharma et al. 2015). Jejich vývoj znázorněný na obrázku 5 je primárně ovlivněn teplotou: čím je vyšší teplota tím je vývoj rychlejší. Doba trvání cyklu je také závislá na druhu. Tento vztah mezi teplotou, vývojovým časem a druhem je dobře známý. Umožňuje určit procento vývoje za jednotku času (Aubernon et al. 2017).



Obr. 5: Vývojový cyklus druhu Diptera Calliphoridae (Charabidzé 2017)

Studie založená na použití inovativního přístroje nazvaného Thermograde odhalila preferenční výběr teploty u Diptera: Calliphoridae. Tato analýza, která se zaměřila na třetí larvální stadia tří hlavních druhů *Lucilia sericata, Calliphora vomitoria* a *Calliphora vicina* ukazuje, že skupina hmyzu při dané teplotě u jednotlivých druhů, s výběrem 33,3 ± 1,5 ° C pro *L. sericata*, 29,6 ± 1,6 ° C pro *C. vomitoria* a 22,4 ± 1,5 ° C pro *C. vicina* viz. obrázek 6. Přestože jsou tyto teploty v našich oblastech vzácné a sezónní, je oprávněné si myslet, že larvy mohou neustále hledat tuto teplotu na mrtvém těle (Aubernon et al. 2017). Vysoká aktivita může vést ke zvýšení teploty přibližně o 1 až 3 ° C nad teplotu okolí. Toto zvýšení teploty může vést ke zrychlení vývoje larev; proto může mít negativní účinky na přesnost PMI (Sharma et al. 2015).



Obr. 6: Reprezentativní křivka funkce hustoty. A. Distribuce larev tří druhů podél termogradu. V důsledku experimentálních výsledků představuje plocha pod křivkou součet (rovný 1) pravděpodobnosti pozorování larvy při vybraných teplotách v intervalu 15-45 stupňů. V budoucích testech bude v rámci termogradu větší pravděpodobnost, že larva L. sericata bude pozorovat přibližně 33 stupňů než u jiné teploty. B. Tepelná fotografie termogradu v horním pohledu (Aubernon et al. 2017)

Sarcophagidae (masařkovití)

Ve forenzní entomologii existují dva základní přístupy k aplikaci entomologických dat pro odhad PMI. Jeden z nich je založen na vývojovém vzoru hmyzu a druhý je založen na posloupnosti hmyzu na těle. První přístup je obvykle vhodný pro počáteční fázi rozkladu těla a PMI se odhaduje hlavně podle stáří hmyzu, který se vyskytuje na mrtvole. Nejvíce zástupců tvoří Calliphoridae a Sarcophagidae. Analýza tohoto hmyzu může poskytnout relativně přesný odhad min PMI, což to je nejrozšířenější přístup na světě. Při použití tohoto přístupu je důležité stanovit věk hmyzu v době objevení (Li et al. 2016).

Nejčastější druhy v Evropě a Severní Americe jsou *Calliphora vicina, Calliphora vomitoria* a *Lucilia sericata,* zatímco *Chrysomya megacephala* a *Chrysomya rufifacies* jsou častější v Jižní Americe a jižní Asii. Vzhledem k tomu, že jejich délka života je relativně krátká, objevují se především v počátečním stádiu úmrtí jedince (Li et al. 2016).

Phoridae (hrbilkovití)

V oblasti forenzní entomologie se často vyskytují Phoridae, zejména na pohřbených pozůstatcích (Karapazarlioglu a Disney 2015). Pokud dojde k úmrtí jedince například v uzavřeném pokoji, mezi prvními kolonizátory se objeví Phoridae. Určení stáří larev *Megaselia scalaris* (Diptera: Phoridae) dává mnohem přesnější odhady minimálního PMI než larvy Calliphoridae. Odhady PMI pomocí vývojových časů Phoridae mohou být dobrou alternativou ke stanovení larvového věku, neboť Phoridae se nacházejí uvnitř uzavřeného prostředí (uzavřených plastových sáčků nebo místností se zavřenými dveřmi a okny) (Reibe a Madea 2010).

3.5.3 Hymenoptera (blanokřídlí)

Většina zpráv publikovaných v oblasti forenzní entomologie je zaměřena na Diptera a zanedbává komunitu Hymenoptera. Hymenoptera jsou však součástí kolonizace mrtvého těla. Mohou hrát důležitou roli v odhadu PMI, protože jejich přítomnost je často zaměřena na krátké, dobře definované časové období ve vývoji hostitelského hmyzu. (Frederickx et al. 2013).

Ichneumonidae (lumkovití)

Samičky kladou vajíčka do larev i kukel ostatního hmyzu. Vylíhlé larvy cizopasí uvnitř hostitele, kterým se současně živí a následně se v něm i kuklí. Vzhledem k pevné vazbě vývojového cyklu na přítomnost mrtvého těla, resp. nekrosaprofágy, na nichž parazitují, lze tyto Hymenoptera využít při výpočtu doby kolonizace (Šuláková 2014).

3.5.4 Formicidae (mravencovití)

Hymenoptera: Formicidae (mravencovití) jsou důležitou složkou biologické rozmanitosti hmyzu a jejich studie může pomoci forenzním entomologům vyřešit trestní případy. Vzhledem k tomu, že Hymenoptera jsou nejvyššími predátory v prostředí kadaveru, mohou jejich činností ovlivnit rozkladné procesy a mít vliv na odhad PMI.

Formicidae se mohou živit mršinou obratlovců a i na jiných členovcích, kteří obývají mrtvoly. Jako nekrofágní mravenci mohou vedle své úlohy při konzumaci kadaveru také poškozovat oděvy a způsobovat další otevřené rány, které mohou přitahovat jiné druhy hmyzu, a tím urychlit proces rozkladu. Navíc tyto léze mohou být považovány jako předsmrtné mrzačení, které může vést k závažným chybám ve forenzních analýzách. Formicidae se nacházejí během celého procesu rozkladu a jsou mnohem důležitější v rozkladu mrtvoli v tropických než v mírném prostředí. Forenzní význam mravenců stále není obvykle oceňován kriminalistickými analytiky a forenzními patology (Morreti et al. 2013).

3.5.5 Vespoidea (vosy)

Nasonia vitripennis (Hymenoptera: Pteromalidae)

Drobná vosa *Nasonia vitripennis*, je parazitem nefrofágů (Charabidze a Hedouin 2014). První známá studie byla zaměřena na rychlost vývoje od vylíhnutí larvy po dospělce a k následnému nakladení vajíček do hostitelských kukel *Protophormia terraenovae* (Diptera: Calliphoridae). Během studie byla zjištěna celková teplotní konstanta pro *N. vitripinnes*. Tato studie napomohla k možnému odhadu PMI v rámci vlivu teploty a rychlosti na vývoj *N. vitripennis* v kontrolovaných laboratorních podmínkách (Grassberg a Frank 2003).

3.5.6 Acari (roztoči)

První akarolog, který použil akari při odhadování doby smrti, byl Mégnin (Acikgoz 2012). Navzdory skutečnosti, že roztoči byli používání na počátku forenzní entomologie k objasnění PMI, jejich použití v současných případech zůstává poměrně nízké kvůli nedostatečné znalosti taxonů (Medina et al. 2012). Tyto malé organismy lze nalézt antemortem i postmortem na těle. Nejvíce nápadné skupiny roztočů na mrtvolách patří do podřádů Astigmata a Mesostigmata (Acikgoz 2012). Roztoči mohou být přeneseni na mrtvé tělo pomocí forézie, což znamená přichyceno na tělě hmyzu (Šuláková 2014.). Nalézají se ve všech fázích rozkladu od začátek rozkladu do suché fáze, kdy jsou mrtvoly zcela skeletonovány (Acikgoz 2012).

Roztoči jsou přítomni i v mumifikovaných mrtvolách nebo v prostředí s nízkými teplotami. Ve skutečnosti jsou nalezeni téměř všude od našich koberců až po póry v našich tvářích (Acikgoz 2012).

4. Diskuse

Kromě první zprávy z Číny (13. století) bylo první pozorování hmyzu a jiných členovců jako forenzních ukazatelů dokumentováno v Německu a Francii během masových exhumací v 80. letech 20. století Reinhardem, který je považován za spoluzakladatele disciplíny. Avšak po francouzském vydání populární knihy Mégnin o aplikovaných aspektech forenzní entomologie se koncept rychle rozšířil do Kanady a Spojených států. V té době výzkumníci poznali, že nedostatek systematických pozorování hmyzu forenzního významu ohrožuje jejich použití jako ukazatele post mortem intervalu (PMI) (Gomes a Zuben 2006). S tímto tvrzením se ztotožnilo i mnoho autorů během uplynulých let. Dle mého názoru je učení doby od úmrtí velmi důležitou informací pro forenzní vyšetřování. V dnešní době už existuje mnoho kvalitativních ukazatelů pro odhad post mortem intervalu lidských nebo zvířecích mrtvol (Matuszewski 2017). Musíme ale počítat s tím, že odhad závisí na mnoha interakčních faktorech, které zasahují do procesů kolonizace, doby vývoje a rozkladu mrtvol hmyzem. Znalost distribuce, biologie, ekologie a chování hmyzu zjištěných na místě činu může poskytnout informace o tom, kdy, kde a jak byl trestný čin spáchán (Sharma a kol., 2015).

Rivers a Dahlem uvádí, že existuje pět základních předpokladů, které musí být splněny, aby jsme mohli přesně určit PMI. Pokud nesplníme některý z nich, může dojít k významným chybám ve formě nadhodnocení a podhodnocení. Důležité je, aby se hmyz určený pro odhad na mtvém těle živil, z důvodu splnění potřeby růstu a vývoje. Dospělé samičky nekladly vajíčka na hostitele. Existuje linearní vztah mezi teplotou a růstem. Přesné určení stupně vývoje hmyzu a v neposlední řadě musí být hmyz poikilotermický (Rivers a Dahlem 2014). Při řešení případů využívají vyšetřovatelé historické údaje o teplotě, vývojových stupních a velikosti těl larev (Foran 2007). K dispozici máme několik metod odhadu PMI. Například využití hmotnosti larev. Hmotnost larvy u které neznáme stáří může být porovnán s modelem pomocí inverzní predikce a může být vytvořen interval spolehlivosti věku larvy. Avšak určení stáří dle hmotnosti není vhodné použít u larev, které se přemisťují do okolí k jejich následnému zakuklení. Dalším nepříznivým faktorem pro určení je nedostatek potravy a konkurence mezi ostatními druhy (Sharma et al. 2015).

O něco lepší metoda je stanovení PMI pomocí parametrů růstu a délky larev jako "biologických hodin". Larvy hmyzu nalezené na mrtvém jedinci musí být shromážděny a

přeneseny do laboratoře v životních podmínkách za účelem identifikace a odhadu PMI. Tato metoda spočívá v tom, že v závislosti na teplotě je nejstarší larva zároveň i nejdelší a může poskytnout potřebné údaje pro určení PMI (Sharma et al. 2015). Další metoda je výpočet nahromaděných dnů nebo hodin (ADD nebo ADH), která zahrnuje koncepci minimální prahové teploty, pod níž se vývoj zastaví (Ames a Turner 2003). Hodnoty ADH představují určitý počet "energetických hodin", které jsou nezbytné pro vývoj larev hmyzu. Musím ale podotknout na nedostatky této metody zejména v zimním období, kdy dochází k nízkým teplotám nebo kde dochází během letního období k náhlým poklesům teploty (Sharma et al. 2015). Ve studiích spojených s výpočtem PMI je nutné brát potaz na rozmezí teplot, přes které hmyz může udržovat metabolické procesy nebo přežít v neomezeném čase, se označuje jako oblast tolerance nebo tepelné tolerance (Rivers a Dahlem 2014). Jednou z nejdůležitějších forem závislosti ektotermických organismů na tepelných podmínkách prostředí je popisován vztahem teploty a rychlosti vývoje, který je převrácenou hodnotou délky vývoje (Kipyatkov a Lopatina 2010). Takový vztah lze vyjádřit sigmoidní křivkou, ale matematickým modelem (Ikemoto a Takai 2000). Právě Ikemoto a Takai přišli s novým lineárním vzorcem pro zákon o celkové efektivní teplotě. Během své studie se zaměřili na nedostatky rovnice $R = aT + b$. Konstatovali, že detekce optimálních teplot je často obtížná a při použití nevhodných hodnot vede k nespolehlivému odhadu potřebných parametrů. Druhým problémem je dodržený předpoklad, že se ve všech teplotách rychlost vývoje konstaantně zvyšuje, což ale vede k nižšímu odhadu LDT a vyššímu odhadu SET. Posledním pozorovaným problémem ve většině dat je neuvedení chyb měření proměnné. Oba při své studii dokázali, že většina výše uvedených problémů by mohla být rozdělena podle jejich nového přístupu založeného na statistické analýze (Ikemoto a Takai 2000).

Ovšem nesmím zapomenout na problémy, které se běžně vyskytují při odhadu PMI. Během kolonizace těla může dojít ke změně teploty mrtvého těla a okolní teploty. Důvodem je aktivita drobného hmyzu, který se vyskytují na těle. Vysoká aktivita může vést ke zvýšení teploty přibližně o 1 až 3 ° C nad teplotu okolí. Tím pádem toto zvýšení teploty může vést ke zrychlení vývoje larev. Přestože hrubé povětrnostní podmínky mohou být docela podobné, podmínky mikrohabitatu se mohou značně lišit a nemusí být srovnatelné. Vegetační krytí, odvodnění vzduchu a vystavení svahu mají velký vliv na podmínky mikrohabitu, což může také ovlivnit vývoj forenzně důležitých druhů (Sharma et al. 2015).

Na mrtvém jedinci se mohou nacházet čtyři různé ekologické skupiny hmyzu. Nekrofágní druhy, které se přímo živí mrtvou organickou hmotou. Predátoři a parazité hmyzu a jiných členovců. Omnivoři a jako poslední adventivní druhy. První dvě kategorie jsou nejvíce užitečné pro soudní účely. Nicméně v rámci těchto dvou skupin nejsou všechny druhy stejně vhodné. Abychom zajistili, vhodnost taxonu pro použití k odhadu PMI, měl by být hojný a jeho výskyt v daném stanovišti by měl být předvídatelný. Pravděpodobně každý z nás se během života setkal s s výrazem nekrofág nebo parazit či predátor. Tyto dvě skupiny jsou nejvíce užitečné pro forenzní entomologii. Pojem omnivoři „všežraví" v tomto případě znamená zdroj potravy ve formě mrtvého těla, ale i hmyzu, který se na mrtvole živí (Szelecz et al. 2018).

Jak jsem již zmínila, pro určení odhadu PMI je jednou z důležitých podmínek identifikovat zájmový druh určený k odhadu intervalu. Stav mrtvoly se dělí na čtyři části: čerstvá mrtvola, rozklad počáteční, rozklad pokročilý a vyschlá mrtvola (Daněk 1990). K jednotlivým stavům mrtvoly nyní dokážeme přiřadit čeledi i řády, což si myslím, že je velice praktické pro rychlou orientaci. Diptera: Calliphoridae jsou typickými kolonizátory pozůstatků během několika hodin po smrti. Kladou na mrtvolu vajíčka, která se rozptýlí a podstoupí řadu předvídatelných vývojových změn. Kvůli rychlé kolonizaci a spolehlivému postupu vývoje mohou vyšetřovatelé využívat historické údaje o teplotě, vývojové stavy, zavedené vývojové tabulky a velikost těl larev, aby se vrátily od okamžiku sběru důkazů až po dobu kolonizace - minimální odhad PMI. Tento přímý proces je komplikován řadou faktorů. Během vývoje se čas strávený v jednotlivých fázích postupně zvětšuje. Samotný stupeň kukly zahrnuje přibližně polovinu délky vývoje larvy a při nízkých teplotách může trvat déle než týden. Rozsáhlý vývojový čas znamená, že odhady PMI se provádějí s Diptera u pokročilejší vývojové fáze.Velikost těla může být užitečná pro lepší odhad stáří v rámci vývojové fáze (Foran 2007).Většina zpráv publikovaných v oblasti forenzní entomologie je zaměřena na Diptera a zanedbává komunitu Hymenoptera. Hymenoptera jsou však součástí entomofaunální kolonizace mrtvého těla. Použití parazitoidů Hymenoptera ve forenzní entomologii může být relevantní pro vyhodnocení doby smrti. Hymenopterové parazitoidy larev a kukel Diptera mohou hrát důležitou roli při odhadu postmortálního období, protože jejich čas útoku je často omezen na malé, dobře definované časové období ve vývoji hostitelského hmyzu. Tyto parazitoidy však mohou zasahovat do vývojových časů kolonizace Diptera, a proto je zapotřebí lepšího pochopení jejich ekologie (Frederickx et al. 2018).

Nelze nesouhlasit s názorem, že nekrofagní brouci jsou ve studiích forenzní entomologie nedostatečně zastoupeni navzdory jejich nepopiratelnosti pro obor (Jakubec 2016). Mezi nejlépe rozeznatelné druhy brouků evropské entomofauny patří *Necrodes littoralis* (Coleoptera: Silphidae) a *Creophilus maxillosus* (Coleoptera: Staphylinidae). Sdílejí podobné rysy, díky kterým jsou velmi užiteční ve forenzní entomologii. Dospělí jedinci jsou predátoři larev a patří mezi největší hmyz, který navštěvuje mrtvé tělo (Mądra-Bielewicz et al. 2016). Bohužel pro osvětu veřejnosti a rozšíření jejich povědomí o forenzní entomologii není dostatek publikací a je stále na čem pracovat.

5. Závěr

V posledních desetiletích začala forenzní entomologie hrát důležitou roli jako vyšetřovací postup pro případy vražd po celém světě, zejména pro určení chronologie úmrtí (PMI). Vzory posmrtné posloupnosti a vývoje hmyzu jsou běžnými nástroji, které pomohou zúžit odhadovaný čas od úmrtí.

Ve své bakalářské práci jsem se z počátku zaměřila na pojem post mortem interval a snažila se nastínit všechny důležité informace potřebné k jeho odhadu. Věnovala jsem pozornost metodám založených na zkoumání ekologických stop a nevynechala jsem ani vzájemný vztah mezi růstem a teplotou a možné metody k jeho zjištění.

Poslední fázi rešeršní části byla věnovaná jednotlivým taxonům, které jsou vhodné pro určení PMI. Větší pozornost jsem však věnovala u taxonu, které mají velký praktický význam v oboru forenzní entomologie.

6. Přehled literatury a použitých zdrojů

Literární zdroje

ACIKGOZ H. N., 2012: Role of Acari in Forensic Medicine: Review. Turkiye Klinikleri Journal Forensic Medicine, 42-44.

AMENDT J., GOFF M. L., CAMPOBASSO C. O., EDITORS M. G., 2010: Current Concepts in Forensic Entomology. Springer, 11-15

AMENDT J., ZEHNER R., RECKEL F., 2008: The nocturnal oviposition behaviour of blowflies (Diptera: Calliphoridae) in Central Europe and its forensic implications. Forensic Science International, 175, 61-64.

AMES, C., TURNER B., 2003: Low temperature episodes in development of blowflies: implications for postmortem interval estimation. Medicine vet. Entomology, 17, 178–186.

ARNALDOS M. S., PASCAL N. U., GARCIA R., TOLRA M. C., PRESA J. J., GARCIA M. D., 2014: The first report of *Telomerina flavipes* (Meigen 1830) (Diptera: Sphaeroceridae) in a forensic case, with redescription of its pupa. Forensic Science International, 242, 22-30.

ARNOLDS M. I., GARCIA M. D., ROMERA E., PRESA J. J., LINA A., 2005: Estimation of postmortem interval in real cases based on experimentally obtained entomological evidence. Forensic science International, 149, 57-65.

AUBERNON C., HÉDOUIN C., CHARABIDZÉ D., 2017: Thermoregulation behavior in necrophagus depteran larvae. Medicine Sciences, 33, 779-783.

BAJERLEIN D., TABERSKI D., MATUSZEWSKI S., 2018: Estimation of postmortem interval PMI) based on empty puparia of *Phormia regina* (Meigen) (Diptera: Calliphoridae) and third stage of *Necrodes littorales* (Coleoptera: Silphidae)- Advantages of using different PMI indicators. Journal of Forensic and Legal Medicine, 55, 95-98.

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

BERNHARDT V., BÁLINT M., VERHOFF M. A., AMENDT J., 2018: Species diversity and tissue specific dispersal of necrophagous Diptera on human bodies. Forensic Science, Medicine and Pathology, 14, 76- 84.

BYRD J. H., 2010: FORENSIC ENTOMOLOGY: Insects in legal investigations.

CARMO R.F., VASCONCELOS S. D., 2016: Assemblage of Necrophagous Diptera in Atlantic Insular Environments and Response to Different Levels of Human Presence. Neotrop Entomology, 45, 471-481.
CHARABIDZE D., HEDOUIN V., 2014: A safe, free and efficient way to control *Nasonia vitripennis*, a common pest in forensic entomology laboratories. Forensic Science International, 120, 15-17.
CHARABIDZE D., VINCENT B., PASQUERAULT T., HEDOUIN V., 2016: The biology and ecology of *Necrodes littoralis*, a species of forensic interest in Europe. Journal of Legal Medicine, 130, 273-280.
DANĚK L., 1990: Možnost využití entomologie v kriminalistice. Kriminalistický ústav, Praha.
DIZINNO J. A., LORD W. D., COLLINS- MORTON M. B., WILSON M. R., GOFF M. L., 2002: Mitochondrial DNA sequencing of beetle larvae (Nitidulidae: Omosita) recovered from human bone. Journal of Forensic Sciences, 47, 1337-1339.
FAKOORZIBA M. R., ASSAREH M., KESHAVARZI D., SOLTANI A., MOEMENBELLAH-FARD M. D., ZARENEZHAD M., 2017: *Saprinus planiusculus* (Motschulsky 1849) (Coleoptera: Histeridae), a beetle species of forensic importance in Khuzetan Province, Iran. Egyptian Journal of Forensic Sciences, 7, 11.
FORAN D., 2007: Generating More Precise Post Mortem Interval Estimates with Entomological Evidence: Reliable Patterns of Gene Expression Throughout Calliphorid Larval and Pupal Development. Michigan State University, 189s.
FORBES S., 2017: Body farms. Forensic Science, Medicine and Pathology 13, 477-479.
FREDERICKX C., DEKEIRSSCHIETER J., VERHEGGEN J. F., HAUBRUGE E., 2013: The Community of Hymenoptera Parasitizing Necrophagous Diptera in an Urban Biotope. Journal of insect Science, 13, 31-32.
GILL J., 2017: Body Farms. Forensic Science, Medicine and pathology, 13, 482-483.
GOMES L., VON ZUBEN C. J., 2006: Forensic entomology and mail challenges in Brazil. Neotrop Entomology, 35, 1-11.
GRASSBERGER M., FRANK., 2003: Temperature-related development of the parasitoid wasp *Nasonia vitripennis* as forensic indicator. Medical and Veterinary Entomology, 17, 3.
HIRT M., ADÁMEK T., BERAN M., DVOŘÁČEK I., DVOŘÁK M., FIALKA J., HEJNA P., HLADÍK J., JANÍK M., KLÍR P., KRAJČOVIČ J., KRAJSA J., KUBIŠTA P., MACHÁČEK

R., MAZURA I., NOVOMESKÝ F., ONDRA P., PILIN A., ŘEHULKA H., SOKOL M., STRAKA L., STREJC P., ŠAŇKOVÁ M., TOMÁŠEK P., TOUPALÍK P., TOUŠEK F., VOJTÍŠEK T., VOREL F., 2015: Soudní lékařství. Grada publishing, Praha, 272 s.

HOŇĚK A., KOCOUREK F., 1988: Thermal requirements for development of aphidophagous Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae, Hemerobiidae (Neuroptera), and Syrphidae (Diptera): some general trends. Oecologia, 76, 455-460.

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 Variales Subject to Error. Environmental Entomology, 29, 691-682.

INNES B., 2010: Body in Question: Exploring the Cutting Edge in Forensic Science. Naše vojsko, Praha, 256s.

JAKUBEC P., 2016: Thermal summation model and instar determination of all developmental stages of necrophagus beetle, *Sciodrepoides watsoni* (Spence) (Coleoptera: Leiodidae: Cholevinae). PeerJ, 2016.

JOSEPH I., MATHEW D. G., SATHYAN P., VARGHEESE G., 2011: The use of insects in forensic investigations: An overview on the scope of forensic entomology. Journal of Forensic Dental Sciences, 3 (2), 89-91.

KARAPAZARLIOGLU E., DISNEY R. H. L., 2015: First record of forensic species *Conicera similis* (Haliday, 1833) (Diptera: Phoridae) on exhumed rabbit carcasses in Turkey. European Scientific Journal, 11.

KIPYATKOV V. E., LOPATINA E. B., 2010: Intraspecific variation of thermal reaction norms for develompent in insects: New approaches and prospects. Entomological Review, 90, 163-184.

KLIMEŠOVÁ V., BARTÁK M., ŠULÁKOVÁ H., 2015: Forenzní entomologie a její využití v kriminalistické praxi. JuFoS, 2015.

KOČÁREK P., 2003: Small carrion beetles (Coleoptera: Leiodidae: Cholevinae) in Central European lowland ecosystem: seasonality and habitat preference. Acta Soc. Zool. Bohem., 66, 37-45.

KULSHRESTHAP., SATPATHY D. K., 2001: Use of beetles in forensic entomology. Forensic Science International, 120, 15-17.

LI L., WANG Y., WANG J., MA M., LAI Y., 2016: Temperature-dependent development and the significance for estimating postmortem interval of *Chrysomya nigripes* Aubertin, a new forensically important species in China. Journal of Legal Medicine, 130, 1363-1370.
MADRA-BIELEWICZ A., FRĄTCZAK-ŁAGIEWSKA K., MATUSZEWSKI S., 2016: Sex- and Size-Related Patterns of Carrion Visitation in *Necrodes littoralis* (Coleoptera: Silphidae) and Creophilus maxillosus (Coleoptera: Staphylinidae). Journal of Forensic Science, 62, 5.
MATUSZEWSKI S., 2017: A general approach of postmortem interval based on uniformly distributed and interconnected qualitative indicators. International Journal of Legal Medicine, 131, 877-884.
MATUSZEWSKI S., FRĄTCZAK-ŁAGIEWSKA K., 2018: Size at emergence improves accuracy of age estimates in forensically-useful beetle *Creophilus maxillosus* L. (Staphylinidae). Laboratory of Criminalistics, Adam Mickiewicz University, Św. Marcin, 90, 761-809.
MEDINA A. G., GONZALES L., PEROTTI A., RIOS G. J., 2012: Occurrence of *Poecilochirus austroasiaticus* (Acari: Parasitidae) in forensic autopsies and its application on postmortem interval estimation. Experimental and Applied Acarology, 56.
MÉGNIN J. P., 1894: La faune des cadavres: Application de L'Entomologie a la Medecine Legale. Hachette Livre-Bnf, Paris, 226 s.
MIDGLEY J. M., VILLET M. H., 2009: Development of *Thanatophilus micans* (Fabricius 1794) (Coleoptera: Silphidae) at constant temperatures. Journal of Legal Medicine, 123, 285-292.
MOFFATT C., HEATON V., HAAN D. D., 2015: The distribution of blow fly (Diptera: Calliphoridae) larval lengths and its implications for estimating post mortem intervals. Journal of Legal Medicine, 130, 287–297.
MORETTI T. C., SOLIS D. R., GODOY W. A. C., 2013: Ants (Hymenoptera: Formicidae) Collected with Carrion-Baited Traps in Southeast Brazil. Forensic Science Journal, 6, 1-5.
NIEDEREGGER S., DÖGE K. P., PETER M., EICKHÖLTER T., MALL G., 2017: Connecting the Dots: From an Easy Method to Computerized Species Determination. Insects 2017, 8, 52.
ORTLOFF A., ZANETTI N., CENTENO N., SILVA R., BUSTAMANTE F., OLAVE Á., 2014: Ultra morphological characteristics of mature larvae of *Nitidula carnaria* (Schaller 1783)

(Coleoptera: Nitidulidae), a beetle species of forensic importance. Forensic Science International, 239, 1-9.
RAMOS-POSTRANA Y., WOLFF M., 2017: Postportem interval estimation based on *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae) in a forensic case in the Andean Amazon, Caquetá, Colombia. Acta Amazonica, 47, 4.
REIBE S., MADEA B., 2010: Use of *Megaselia scalaris* (Diptera: Phoridae) for post-mortem interval estimation indoors. Parasitology research, 106, 637-640.
RIVERS D.B., DAHLEM G. A., 2014: The Science of Forensic Entomology. John Wiley & Sons, Ltd., 174-220.
ROE, A. & HIGLEY, L.G., 2015: Development modeling of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). PeerJ, 3, 803.
SHARMA R., GARG R. K., GAUR J. R., 2013: Contribution of various measures for estimation of post mortem interval from Calliphoridae: A review. Egyptian Journal of Forensic Sciences (2013).
SHARMA R., GARG R. K., GAUR J. R., 2015: Various methods for the estimation of the post mortem interval from Calliphoridae: A review. Egyptian Journal of Forensic Sciences, 5, 1-5.
ŠULÁKOVÁ H., 2014: Forenzní entomologie- když smrt je začátek. Nakladatelství Academia, SSČ AV ČR, Živa 5/2014, 250.
SZELECZ I., FEDDERN N., SEPPEY C. V. W., AMENDT J., MITCHELL E. A. D., 2018: The importance of *Saprinus semistriatus* (Coleoptera: Histeridae) for estimating the minimum post-mortem interval. Journal of Legal Medicine, 30, 21–27.
WALLMAN J. F., 2017: Body farms. Forensic Science, Medicine and Pathology,13, 487-489.
WEATHERBEE C. R., PECHAL J. L., STAMPER T., BENBOW M. E., 2017: Post-Colonization Interval Estimates Using Multi-Species Calliphoridae Larval Masses and Spatially Distinct Temperature Data Sets: A Case Study. Insects, 2017, 8, 40.
WHITAKER A. P., 2017: Effect of Burning on Minimum Post-Mortem Interval (minPMI) Estimation from an Entomological Perspective. Archaeological and Environmental Forensic Science 1.1, 2017, 17-31.
YAMAMOTO S., TAKAHASHI Y., 2018: First discovery of fossil Coloninae in Cretaceous Burmese amber (Coleoptera, Staphylinoidea, Leiodidae). PalZ, 1-7.

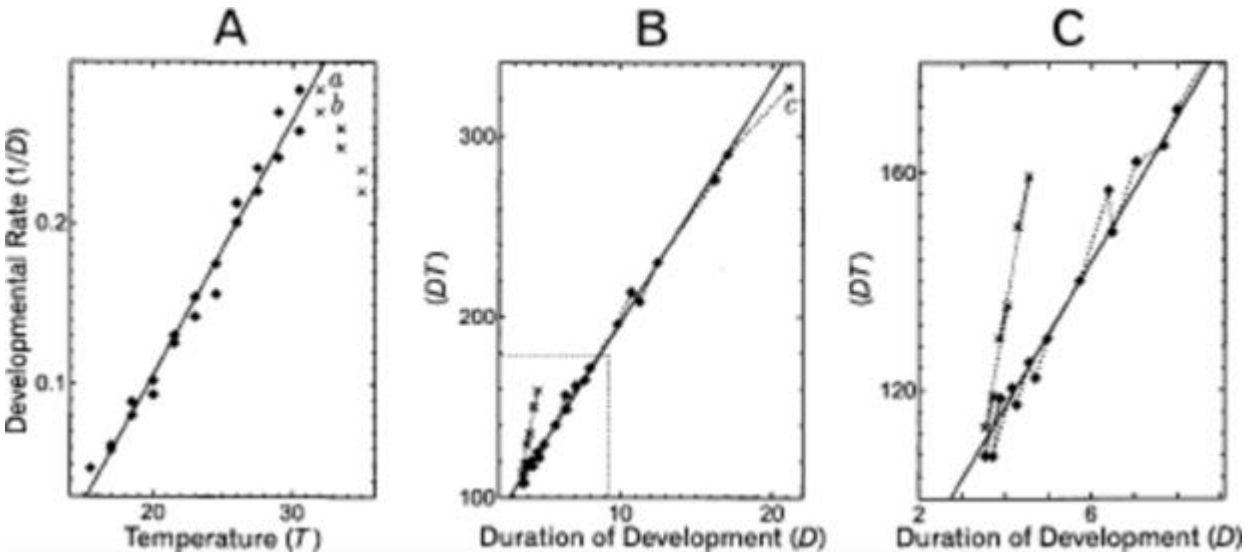
7. Přílohy

Seznam příloh:

Obrázek 1: Teplotně závislý vývoj larvy komárů A. aegypti (Ikemoto a Takai 2000).

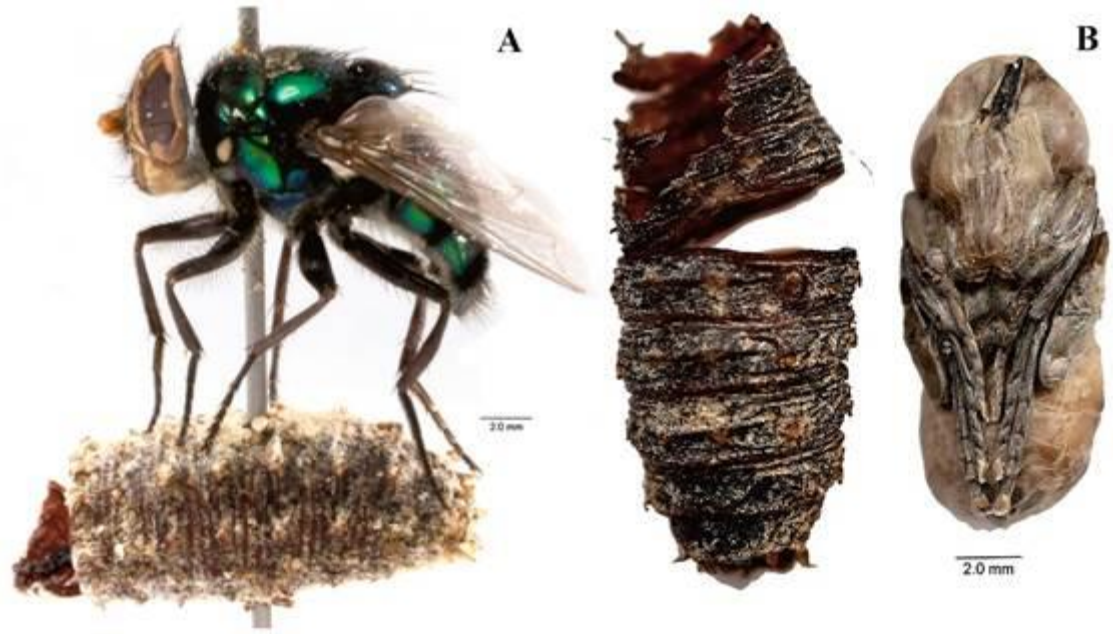
Obrázek 2: Coleoptera: Dermestidae (Charabadze et al.2015).

Obrázek 3: *Chrysomya albicep*s (Ramos-Postrana a Wolff 2017).



Obr. 1: Teplotně závislý vývoj larvy komárů *A. aegypti*. (A) regresní čára y na x je přiřazena datům vývojové rychlosti (metoda 1). Body, které ukazují × byly vyloučeny při montáži čáry v původní analýze. Pro symboly a až c viz text. (B) Zmenšená hlavní osa nového vzorce je namontována na stejné údaje podle obr. 1A, ale na různých souřadnicových osách (metoda 2). Body označené × byly vyloučeny z analýzy. (C) Oblast s vysokou teplotou v (B) je zvětšena (Ikemoto a Takai 2000).

Obr. 2: Coleoptera: Dermestidae (Charabadze et al.2015).



Obr. 3: Chrisomya albiceps (Ramos-Postrana a Wolff 2017).