

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Sezonní výskyt dvoukřídlých na kadaveru většího  
obratlovce**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Lucie Čapková**

**Vedoucí práce: prof. RNDr. Miroslav Barták, CSc.**

**Konzultantka práce: pplk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D.**

© 2013 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Sezonní výskyt dvoukřídlých na kadaveru většího obratlovce" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne: 12. 4. 2013

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, panu prof. RNDr. Miroslavu Bartákovi, CSc., a konzultantce mé práce pplk. Ing. Haně Šulákové, Ph.D., za jejich ochotu, cenné rady, připomínky, trpělivost a čas, který mi věnovali. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za podporu.

# Sezonní výskyt dvoukřídlých na kadaveru většího obratlovce

---

## The seasonal occurrence of flies (Diptera) on large vertebrate carrion

### Souhrn

Cílem této práce bylo shromáždit dostupné informace ohledně využívání dvoukřídlého hmyzu ve forenzní entomologii a vyhodnotit zadaný experiment. Ten sestával z umístění kadaveru prasete na zahradu, přičemž byly zachovány podmínky pro imitované „místo činu“ – prase bylo oblečené do lidského oděvu. Nad kadaverem byla po celou dobu umístěna emergentní past, na jejímž vrcholu se nacházela odběrová nádoba naplněná roztokem formalínu s přídatkem detergentu - jaru. Tato past zajišťovala neustálý odchyt hmyzu, který se vyskytoval na kadaveru a v jeho blízkosti. Po celou dobu pozorování jsme prováděli pravidelné odběry vzorků. Vzorky byly umístěny do 70 % etylalkoholu a následně v laboratoři odborníkem identifikovány. V průběhu celého experimentu byla prováděna fotodokumentace pokusného objektu.

Vzhledem ke skutečnosti, že pokusné zvíře bylo exponováno brzy na jaře, kdy byly vnější teploty ještě poměrně nízké, byly všechny rozkladné fáze relativně zpomaleny, tj. probíhaly v delších intervalech. Kadaver byl bez viditelných změn cca 5 dní, aktivní rozklad nastal až po 36 dnech a částečná skeletonizace se objevila po 155 dnech od zahájení pokusu. K úplnému vyskeletování nedošlo ani do ukončení pozorování pokusu.

Jelikož v našich podmínkách nenalezneme mnoho podobných experimentů, může tento simulovaný pokus sloužit v budoucnu jako modelový vzor pro forenzní praxi v České republice.

**Klíčová slova:** forenzní entomologie, dvoukřídlí, sezonní výskyt, post mortem interval, sukcesní vlny, Calliphoridae (bzučivkovití)

## **Summary**

The object of this study was to compile available information of the use of Diptera in forensic entomology and evaluate the specified experiment. It consisted of a pig cadaver location in the garden with the conditions for an imitation of a „crime scene“ – the pig was dressed in human's clothes. Above the carcass were placed emergent trap all the time. On the top was located collecting vessel filled with formalin solution with the addition of detergent – jar. This trap ensured a constant capture of insects that occurred on and around the cadaver. Throughout the observation period we did regular samplings. Samples were placed in 70 % ethyl alcohol and then identified by an expert in laboratory. During the whole experiment were taken photos of the experimental facility.

Given the fact, that the experimental animal was exposed of the very early spring, when was the outside temperature still relatively low, all of the degradation phases were slow. It means, that it took in longer intervals. Cadaver had no visible changes during about five days, active decomposition occurred after 36 days and the skeletonization appeared after 155 days of the experiment beginning. The full skeletonization wasn't even observed until the end of this experiment.

In our conditions we couldn't find many similar experimentations, so this simulated experiment could be served as a model for forensic use in the Czech Republic in future.

**Keywords:** forensic entomology, Diptera, seasonal occurrence, post mortem interval, succession, Calliphoridae (blowflies)

# Obsah

1 Úvod.....	7
2 Cíl práce .....	8
3 Přehled literatury (literární rešerše) .....	9
3.1 Od historie k současnosti .....	9
3.2 Post mortem interval (PMI) .....	15
3.3 Sukcesní vlny .....	17
3.3.1 Faktory, ovlivňující vývoj nekrosaprofágního společenstva .....	22
3.4 Současná forenzní entomologie v praxi .....	23
3.5 Calliphoridae (bzučivkovití) .....	24
4 Materiál a metody .....	25
5 Výsledky .....	26
6 Diskuze.....	29
7 Závěr .....	30
8 Seznam literatury .....	31
9 Samostatné přílohy (grafy, tabulky, fotografie aj.) .....	33

# 1 Úvod

Forenzní entomologie dříve patřila k jednomu z opomíjených vědních oborů v kriminalistice, ale v nynější době televizních krimiseriálů se již dostává do blízkého povědomí jak kriminalistů, tak i laické veřejnosti.

V této vědní disciplíně, zabývající se studiem jednotlivých řádů hmyzu a jejich vývojem na mrtvém těle, patří mezi nejčastěji využívané především dvoukřídli (Diptera), brouci (Coleoptera) a jejich larvy, ale také roztoči, hlístice, sekáči a stejnonožci. Tito živočichové se živí, množí a žijí v i na mrtvém těle, v závislosti na jejich biologických preferencích a době rozkladu.

Forenzní, nebo také soudní entomologie je vědecká disciplína, která je zařazena mezi speciální kriminalistické metody. Její největší využití spočívá především v případech, kdy soudní lékař již nemůže z různých příčin určit takzvaný post mortem interval (PMI), tedy dobu, která uplynula od smrti člověka do nálezu jeho těla. Podle okolností zevního prostředí je tedy schopen určit dobu úmrtí velmi přesně zhruba do čtyř dní. Je-li časový odstup delší, vyplatí se udělat entomologický rozbor. I tady však platí, že čím dříve je analýza provedena, tím přesnějších výsledků lze dosáhnout.

Entomologický odběr na místě nálezu se skládá ze vzorků, odebraných přímo z těla, oděvu ale také odchyčením poletujícího hmyzu a smykem z trávy do sítky a odběrem z půdy. Odebraný materiál je v laboratoři důkladně prozkoumán a jsou určeny druhy. Nevylíhlé larvy se exponují na masové tkáni při potřebné teplotě a vlhkosti, a po vylíhnutí v dospělé jedince je lze identifikovat.

Každý druh, ať už se jedná o mouchu či brouka, má svou určitou dobu vývoje od larvy až po dospěléce. Vývoj jedince se liší v závislosti na teplotě, vlhkosti, ročním období a okolním prostředí. Jelikož entomolog zná dobu vývoje a střídání různých vln hmyzu na těle při různých fázích rozkladu, s přihlédnutím k těmto okolnostem dokáže určit, jak dlouho se daný jedinec vyvíjel, a tedy jak dlouhá doba uplynula od úmrtí po nález těla.

Díky entomologickému rozboru larev a kulek lze mimo jiné zjistit, jestli mrtvola měla v těle nějaké omamné látky, či bylo s mrtvolou hýbáno.

Na těle mrtvoly se vyskytují druhy běžné, které lze nalézt kdekoliv v bezprostřední blízkosti člověka, ale také druhy, které jsou přímo specifické pro mrtvá těla.

Mezi první kolonizátory na mrtvém těle patří mouchy z čeledi Calliphoridae (bzučivkovití), na které bylo v této práci okrajově zaměřeno.

## 2 Cíl práce

Cílem této práce bylo udělat ucelený literární přehled a shromáždit dostupné informace ohledně využívání dvoukřídlého hmyzu ve forenzní entomologii.

Dalším cílem bylo podílet se na terénním experimentu s volně exponovaným pokusným zvířetem, kterým bylo mrtvé prase domácí (*Sus scrofa* f. *domestica*) při volné expozici za současné imitace reálného „místa činu“ s lidským tělem; a následně vyhodnotit zadaný experiment, který měl potvrdit literární údaje o sezonním výskytu dvoukřídlých na mrtvolách, se zaměřením na forenzní praxi.

Mezi vedlejší cíle práce patřilo zhodnotit výskyt zástupců čeledi Calliphoridae na pokusném objektu, kteří tvoří hlavní skupinu dekompozitorů v podmínkách České republiky.



## 3 Přehled literatury (literární rešerše)

### 3.1 Od historie k současnosti

První zdokumentovaný forenzně entomologický případ lze nalézt v lékařsko – právní knize z 13. století, Hsi yüan chi lu (volně překládáno do angličtiny jako „The Washing Away of Wrongs“, česky lze říci Vymýcení zla), kterou sepsal čínský právník a vyšetřovatel úmrtí Sung Tzú. Popsal zde případ ubodání muže pracujícího na rýžovém poli. Viník byl usvědčen pomocí much bzučivek, které se slétly na srp, jímž byl dotyčný pobodán. Přestože nástroj působil čistým dojmem, zůstaly na něm reziduální, nebo také latentní, stopy krve, jejíž zápach lákal mouchy. Tuto událost sice nemůžeme považovat za „pravý“ případ forenzní entomologie, ale jedná se o první zmínku využití hmyzu ve vyšetřování násilného trestného činu. Skutečnost, že mouchy jsou lákány zápachem krve, potvrdili v roce 1976 Leclercq a Lambert, když šest hodin po smrti objevili na mrtvole mouchu druhu *Calliphora vomitoria*, kladoucí vajíčka nikoliv do ran, ale do vyteklé krve zesnulého (Benecke, 2001).

Kromě zájmu lékařských či právnických expertů, nelze opomenout forenzní entomologii v umělecké tvorbě, která se vyznačovala zájmem sochařů, malířů a básníků o hmyz ve spojitosti s mrtvými těly. Jako příklad lze uvést ilustraci „Dances of the Death“ z 15. století, nebo složitou řezbu ze slonoviny „Skeleton in the Tumba“ z 16. století, případně báseň „Une Charogne“, kterou složil francouzský básník Charles Baudelaire (1821 – 1867), (Benecke, 2004).

Již v roce 1767 sledoval činnost much na mrtvolách biolog Carl von Linné a prohlásil památnou větu, že „tři mouchy sežerou mrtvolu koně stejně rychle jako lev“ (Daněk, 1980; Benecke, 2001).

Během 18. a 19. století při masových exhumacích ve Francii a Německu lékaři objevili, že v pohřbených tělech je velký výskyt mnoha druhů členovců (Benecke, 2001). Roku 1831 francouzský lékař Orfila díky četným exhumacím zjistil, že také „červi“ hrají velmi důležitou roli v rozkladu mrtvol (Orfila & Lesueur, 1831).

První moderní případ forenzní entomologie, kdy byla znalost hmyzu použita při stanovení doby, která uběhla od smrti jedince, se přisuzuje francouzskému lékaři Bergeretovi. V roce 1855 řešil případ mrtvého dítěte nalezeného v krbu jednoho domu. Podle puparií údajných masařek a housenek mūr určil dobu, kdy došlo k jeho úmrtí a následnému ukrytí do krbu. Ve své práci uvádí stručný a celkový pohled na životní cykly hmyzu, a přestože případ pomohl vyřešit, v některých věcech se značně mýlil. Například se domníval, že vývoj much

trvá obecně jeden celý rok. V závislosti na tom si myslel, že samičky kladou vajíčka pouze v létě, larvy se kuklí až následujícího jara (kukly označoval za nymfy) a v létě se vylíhnou nová imága. Při zpětném pohledu můžeme konstatovat, že ačkoli se Bergeret ve vývoji zainteresovaných druhů mýlil, přesto došel při stanovení PMI ke správnému určení doby smrti novorozence a použil entomologii jako soudní nástroj (Benecke, 2004).

Dne 6. dubna 1881 ohlásil německý doktor Reinhard, že vypracoval první systematickou studii ve forenzní entomologii. Uvedl zde, že obchodoval s exhumovanými těly ze Saxonie, a při té příležitosti shromáždil vzorky náležící převážně mouchám čeledi Phoridae (hrbilkovití), které taxonomicky identifikoval entomolog Brauner z Vídně. Brauner popsal také brouky nalezené v hrobech starších patnácti let. V některých případech objevil hmyz uvnitř zmýdelnatělých těl, které se označují latinským termínem adipocire<sup>1</sup>. Reinhard však usuzoval, že jejich přítomnost pravděpodobněji souvisela s kořeny rostlin, které prorůstaly do hrobů, než aby měli nějaké přímé spojení s mrtvolami. Výsledky Reinhardovy práce byly využívány po dlouhou dobu a ještě v roce 1928 se objevila rozsáhlá citace jeho díla v práci Schmitze, specialisty na mouchy čeledi Phoridae (Benecke, 2001).

Jinou entomologickou zprávu o exhumovaných tělech, tentokrát však z Francie, napsal v roce 1886 Hofmann. Na exhumovaných objevil také čeleď Phoridae, a identifikoval je jako druh *Conicera tibialis* Schmitz (Hofmann, 1886), odtud pochází jejich anglické označení „coffin flies“, česky „mouchy z rakví“.

Přibližně ve stejné době, šedesátiletý doktor Jean Pierre Mégnin začal rozvíjet teorii o postupném střídání hmyzu na mrtvolách. Čerpal zejména ze své patnáctileté soudně-lékařské praxe. V roce 1894 vydal pod názvem „La Faune de Cadavres“ (Fauna mrtvolná) své nejdůležitější dílo, ve kterém rozvinul svou předešlou teorii o čtyřech vývojových vlnách hmyzu u volně exponovaných mrtvých těl a zvýšil jejich počet na osm. Pro pohřbená těla ustanovil vlny dvě. Kniha popisovala jak larvy, tak dospělé jedince nekrofágních druhů hmyzu. Současně uváděla zastoupené čeledi, včetně jejich anatomie a základního popisu larev i dospělců pro jejich snazší identifikaci. Mégnin v publikaci popsal celkem devatenáct

---

<sup>1</sup> Adipocire = lehká bělavá a mazlavá hmota, na vzduchu tuhne. Vzniká saponifikací (zmýdelněním) tukových a pravděpodobně i bílkovinných složek lidských a zvířecích tkání pod vodou, za současného zamezení přístupu vzduchu. Objevuje se zejména v hrobech s jílovitým podložím, zaplavených spodní vodou (Ottův slovník naučný).

případů, na kterých pracoval v období 1879 - 1888. Jeho práce představovala stěžejní dílo pro všechny jeho následovníky. Současně nelze opomenout, že svým dílem značně zpopularizoval forenzní entomologii (Benecke, 2001).

V roce 1895 kanadští vědci Wyatt Johnston a Geoffrey Villeneuve, kteří se inspirovali Mégninem, zahájili řadu systematických studií na lidských mrtvolách. Povšimli si, že v různých podmínkách se složení nekrofágní fauny liší, a tak se snažili adaptovat Mégninovy výsledky na jiná prostředí (Johnston & Villeneuve, 1897).

Další významnou studií se zabýval Murray Galt Motter, pracovník Amerického úřadu pro hospodářský průmysl, který během letních měsíců 1896 a 1897 prozkoumal více než 150 exhumovaných těl z Washingtonu. Motter poskytuje nejen stručný popis entomologických nálezů, ale také složení půdy v okolí těl, půdní typ, hloubku hrobů atd. (Motter, 1897).

Některé forenzní studie týkající se hmyzu, například lékařů Klingelhöffera a Maschkaa a soudního patologa Stefana von Horoszkiewicza, se zabývaly také šváby a mravenci. Německý lékař Klingelhöffer, odpovědný za frankfurtskou oblast, se podílel na případu chudé rodiny, jejichž nemocné devíti měsíční dítě zemřelo 26. května 1889. Místní „doktor pro chudé“ smrt nemluvněte oznámil na policii, protože zpozoroval neidentifikovatelné „fleky“ v jeho obličejí. Podezření z násilné smrti vedlo k zatčení otce. Během pitvy, která se konala o tři dny později, „fleky“ byly pozorovány na nose a rtech a také dole pod rty. Jazyk nebyl vybledlý, ale na špičce zakrvácený. V zájmu policie bylo potvrdit jejich podezření, že otec zkusil dítě otrávit vypitím kyseliny sírové (v té době běžný prostředek otravy). Nicméně, Klingelhöffer žádné stopy po otravě nenalezl a prohlásil, že oděrky byly nejspíše způsobené šváby. Otec byl po třech týdnech propuštěn na svobodu (Benecke, 2001).

Horoszkiewicz se zabýval podobným případem v dubnu 1899. Pitva neprokázala násilnou smrt, ačkoliv byly patrné četné odřenininy na nose, tvářích, rtech a bradě, a také četné známky na povrchu krku, zadní straně levé ruky a prstů, genitáliích a vnitřní straně stehen. Matka uvedla, že když přišla domů z příprav na pohřeb, tělo dítěte vypadalo, jako kdyby bylo pokryto černým rubášem ze švábů, ale v tu chvíli žádné oděrky nezpozorovala. K ověření, jestli švábi mohli způsobit takový druh oděrků, použil Horoszkiewicz kousek čerstvé lidské tkáně, kterou vložil do sklenice se švábi. Rozhodující bylo, že známky po krmení švábů nebyly zřejmé hned, objevily se až po vysušení kůže. To vysvětlilo, proč matka neviděla žádné oděrky, ale komisař později ano (Benecke, 2001).

Další experimenty prováděl Eduard Ritter von Niezabitowski. Od května 1899 do září 1900 na zahradě volně exponoval potrácené lidské plody, také však mrtvé kočky, krysy, lišky, krtky a telata. Jeho závěry byly opravdu přínosné, protože dokázal, že lidské mrtvolky osidluje stejná nekrofágní fauna jako zvířecí kadavery (Niezabitowski, 1902).

Na přelomu 19. a 20. století ve Francii a Německu vzrostl zájem o studium zoologie, včetně zvířat bezobratlých. Vycházejí dvě úspěšné knihy, „Thierleben“ (Život zvířat) od Alfreda Brehma a „Souvenirs entomologiques“ (Památky hmyzího života), kterou napsal Jean Henri Fabre (Benecke, 2001).

V roce 1907 publikoval Claude Morley ve Velké Británii článek, který se zabýval otázkou klasifikace druhů brouků obývajících mrtvá těla. Tento článek položil rané základy pro systematické ekologické studie, které ovlivnily forenzní entomologii od roku 1920 (Benecke, 2001).

Začátkem roku 1920 vznikly seznamy se zástupci hmyzu, kteří jsou významní ve forenzní praxi, se zaměřením na ekologii, metabolismus a anatomii. Taktéž vzrůstal zájem o studium hospodářských škůdců a „červů“. Při jejich sledování bylo například objeveno, že dospělé mouchy mohou být přítomny u umírajících lidí či zvířat již před jejich smrtí. Také se stalo populárním vyšetřování starověkých mumií z entomologického pohledu (Benecke, 2001).

Profesor Karl Meixner v roce 1922 uvedl, že vlivem „červů“ se těla rozpadají velmi rychle a také, že rozklad dětských těl je rychlejší než u dospělých (Meixner, 1922).

O několik let později, profesor Hermann Merkel, rozšířil Meixnerovo pozorování, které demonstrovalo, že okolnosti smrti mohou ovlivnit pořadí hmyzu (Benecke, 2001). K případu došlo v létě 1919, kdy syn zabil a okradl rodiče. Jejich těla byla nalezena až za tři týdny. Při pitvě bylo zjištěno, že obě těla byla v různém stupni rozkladu. Obězní tělo matky, která byla střelena do srdce, bylo celé nafouklé, s očními bulvami zničenými od muších larev (v původní práci označovanými nepřesným názvem „červi“) a s četnou přítomností larev uvnitř degradované mozkové tkáně. Vnitřní orgány byly téměř nedotčené a larvy nebyly přítomny v tukových vrstvách. Naopak, otcovo štíhlé tělo bylo již zamořeno mnoha larvami ve všech dutinách, se všemi vnitřními orgány zničenými a larvy byly již vyvinuté. Důvodem zvýšené přítomnosti larev v otcově těle bylo, že nebyl pouze střelen, ale také opakovaně pobodán, takže více krvácel. Aroma krve lákalo mouchy, proto přednostně nakladly vajíčka na něj, a to nejen v oblasti obličeje, ale také přímo do zakrvácených ran (Merkel, 1925).

V roce 1929 napsal Ital G. Bianchini „příspěvek do praktické a experimentální studie fauny na mrtvolách“. Ve své zprávě se zabýval případem čtyřletého dítěte, které mělo zaschlá zranění na uších, ramenech, v oblasti břicha a na vrchní straně stehen. Členovci sesbírání

z těla zahrnovali roztoče, malé brouky, mravence a „velmi malé štíry“. Bianchini případ uzavřel s tím, že zranění byla způsobena mravenci stejného druhu, které našel na mrtvole během intervalu 24 hodin (Bianchini, 1929).

V roce 1888 Raimoni a Rossi zkoumali vliv blešivce obecného (*Gammarus pulex*) a dalších sladkovodních korýšů na mrtvoly ve vodě. Autoři zjistili, že blešivec může způsobit velké množství drobných, jakoby řezných zranění. Došli k závěru, že zkoumané mrtvé tělo bylo uloženo ve sladkovodním prostředí. V dubnu roku 1937 patolog Josef Holzer objevil, že na mrtvole ponořené do vody se mohou krmit také chrostíci (Benecke, 2001).

Roku 1948 Hubert Caspers uvedl využití schránek larev chrostíků jako nástroj pro forenzní vyšetřování. V příkopě u vodního mlýna bylo nalezeno nahé tělo mrtvé ženy, která byla zabalená v pytlí a na sobě měla jen červené ponožky. Bylo nezbytné zodpovědět otázku, zda bylo tělo na místě nálezu okamžitě po zabití, nebo bylo nejdříve někde uloženo a teprve následně na místo nálezu převezeno a vyhozeno. Součástí stěny schránky larvy chrostíka, která byla nalezena v jedné ponožce, bylo zakomponováno červené vlákno z ponožky. Vlákna však byla nalezena pouze na vrchu a vespod schránky, což znamenalo, že schránka byla postavena ještě před tím, než se chrostík dostal do pytle. Potom byla dokončena schránka (vlákna nahoře) a připevněna k ponožce (vlákna vespod). Bylo odhadnuto, že tělo bylo ve vodě minimálně po dobu jednoho týdne (Caspers, 1952).

Mezi 60. a 80. léty 20. století byla forenzní entomologie podporována především belgickým doktorem Marcelem Leclerquem a finským profesorem biologie Pekkou Nuortevou. Od té doby se využívalo základních výzkumů a pokročilého využití forenzní entomologie v USA, Rusku, Kanadě, Francii a Japonsku, ale také v Anglii a Indii (Benecke, 2001).

V současné době lze konstatovat, že se již entomologie používá celosvětově v kriminalistických vyšetřováních, včetně případů vražd.

Mezi české entomology, kteří se zabývali otázkami fauny lidských nebo zvířecích mrtvol patřili Roubal (1914), Obenberger (1953), Novák (1961 – 1977), Petruška (1965 – 1975), Likovský (1967), Špicarová (1969 – 1974), Povolný (1978 – 1982), Zuska (1983 - 1988) a Daněk (1978 – 1988).

Mezi zahraniční autory patří především Orfila (1813), Bergeret (1856), Yovanovitch (1888), Mégnin (1894), Payne (1965 – 1975), Petrov (1971), Marchenko (1975), Leclercq (1948 – 1974), Nuorteva (1952 – 1977).

V současné době je jediným odborníkem na forezní entomologii v České republice pplk. Ing. Hana Šuláková Ph.D. z Kriminálního ústavu Praha, která je členkou Evropské společnosti pro forezní entomologii.

### 3.2 Post mortem interval (PMI)

Post mortem interval, zkráceně PMI, je doba, která uplynula od úmrtí člověka do nálezů jeho mrtvoly. Jde o případy, kdy moderní entomologie může být soudnímu lékařství i vyšetřovacím týmům nejvíce prospěšná, neboť za příznivých okolností a dodržení určitých podmínek lze stanovit dobu smrti přesněji než na základě ztráty posmrtné ztuhlosti, fyzikálních, fermentativních nebo rozkladných pochodů (Daněk, 1990).

Základní princip stanovení PMI bývá poměrně jednoduchý - podle druhů hmyzu, které jsou nalezeny na těle, stadia vývoje (vajíček, larev a kukel) a střídání hmyzích zástupců, a na základě okolní teploty se vypočítá, kdy pravděpodobně započala kolonizace těla hmyzem. Vlastní analýza však je daleko složitější, nehledě na to, že každý případ je individuální. Hlavním aspektem je teplota prostředí. Aby bylo možné určit dobu úmrtí, je potřeba znát přesnou teplotu po celou dobu expozice těla. Tyto informace získávají entomologové zpětně z nejbližších meteorologických stanic, popřípadě umísťují na místo činu svůj datalogger zaznamenávající po několik dnů teplotu a porovnávají data získaná od meteorologů (Hátlová, 2012).

Z hmyzu zajištěného na mrtvém těle lze také určit přítomnost cizích látek v mrtvole, jako jsou alkohol, drogy, jedy nebo dlouhodobě užívané léky. Látky se v těle stávají součástí metabolismu oběti, kde se váží hlavně do tuku a pokožky, kterými se živí larvy. Chemická analýza je důležitá především v případech, kdy je již klasický toxikologický rozbor nemožný vzhledem k pokročilému stupni rozkladu tkání těla mrtvého (Hátlová, 2012).

Hmyzí materiál může dále napomoci k určení, zda byla oběť na místě nálezů usmrcena, nebo s ní bylo manipulováno z původního místa činu. Pokud se liší místo nálezů od místa činu, může se lišit zastoupení druhů hmyzu na těle a místě nálezů. Jiný hmyz se bude vyskytovat a nalétávat například v lesích, městských parcích, nebo v uzavřeném bytě. Stejně tak i v případě, kdy je tělo nejdříve schováno (např. ve sklepě, skladu, či jiných uzavřených prostorech), a následně zakopáno, budou se nálezy na těle lišit, díky osidlování různými druhy hmyzu (Hátlová, 2012)

Z kriminalistického hlediska se význam společenstev hmyzu na mrtvole uplatňuje tam, kde mrtvola zůstala vystavena působení vnějších faktorů, tj. u mrtvol volně exponovaných (ležících), nedostatečně zakrytých (zahrabaných, pohřbených) nebo nalezených ve vodě (Šuláková, 2006).

Stanovení PMI vychází z poznatků ekologie nekrosaprofágních (mrchožravých) organismů. Základem vazby mrtvola - nekrosaprofágní hmyz jsou zákonitosti potravních

vztahů, neboť bílkoviny mrtvého těla představují nahromaděnou potravní zásobu, která je pro hmyz snadno dostupná a lehce stravitelná. Z důvodu pachové atrakce mrtvého těla bývá hmyz jedním z prvních konzumentů nalézáných na mrtvolách. Vzápětí se začínají tvořit tzv. dílčí společenstva, která mají pouze dočasné trvání. Dobu výskytu lze uvádět ve dnech, v měsících, ojediněle v letech (Šuláková, 2006).

Z taxonomického hlediska, tj. počtu nalézáných druhů, převládají v dílčím společenstvu brouci (Coleoptera; cca 50 %), následují dvoukřídlí (Diptera; cca 35 %). Zbytek připadá na zástupce řádů motýli (Lepidoptera; např. zavíječi, moli), blanokřídlí (Hymenoptera; např. cizopasný vosy, mravenci), a v neposlední míře na škvory, roztoče, hlístice, prvoky, některé druhy bakterií, řas, plísní, hub a jiných organismů, včetně obratlovců. Z hlediska počtu jedinců na mrtvém těle dominuje dvoukřídlý hmyz, resp. larvy much (Daněk, 1990; Šuláková, 2006).

Brouci poskytují významné entomologické důkazy v lékařsko - soudních oblastech, především v souvislosti se suchými kosterními pozůstatky člověka v pozdních fázích rozkladu. Jako nejběžnější byli zaznamenáni především kožojedi (Dermestidae), kteří se na mrtvole živí kůží, a pestrokrovečníci (Cleridae), vyskytující se na kostech (Kulshrestha, 2001).

Nekrofágní druhy patří mezi významné reducenty a tím i likvidátory mrtvého těla v přírodě. Nevyskytují se však na mrtvém těle současně, ale střídají se v určitém sledu podle jednotlivých stadií hnilobného rozkladu, tj. jsou druhově specifické pro každou fázi rozkladu. Díky tomu lze sledováním druhů určit, v jaké fázi rozkladu se tělo nachází a tím pádem, jak dlouho je člověk po smrti (Daněk, 1990).



### 3.3 Sukcesní vlny

Sukcese, tedy časově zákonitý sled, ve kterém se objevují jednotlivé druhy mrchožravého hmyzu na mrtvole, není libovolná, ale podléhá zákonitostem, jejichž znalost poskytuje řadu údajů, které umožňují určit stáří mrtvol s přesností až na dny. Počátek sukcese je dán okamžikem „zpřístupnění“ mrtvol hmyzu. Podle různých autorů a hledisek probíhá samotná sukcese v 5 – 8 vývojových vlnách (časových sledech). Podle složení společenstva hmyzu a podle stupně vývoje jeho nižších vývojových stadií (vajíčka, larvy, kukly), lze určit délku post mortem intervalu (Šuláková, 2006).

V počátečním období po smrti člověka se na mrtvolu začínají slétat především druhy, které přilákal pach krve, potu a čerstvého masa. V ležícím mrtvém těle se začínají tvořit plynné látky, které tělo nadouvají a páchnou. To přiláká další druhy, které konzumují nejměkčí tkáně a mají i nejrychlejší vývoj larev. Další stadium kolonizace nastává při zmýdelnění tuků, přičemž se současně vyvíjejí mastné kyseliny – zejména kyselina máselná, která má velmi nepříjemný zásah. Krátce po fermentaci tuků nastává fermentace proteinů, nazývaná také „sýrová fermentace“, podle nalezených druhů hmyzu, které jsou lákány produkty připomínajícími zápach sýru. Dalšími druhy mají larvální vývoj delší a mrtvolu kolonizují poté, kdy dosáhla stadia čpavkové fermentace a jsou přitahovány amoniakovými parami. V poslední fázi se objevují druhy konzumující zbytky vaziv při kostech, zbytky kůže, vlasy, chlupy a jako poslední samotné kosti (Daněk, 1990).

Počet sukcesních vln u volně ložených mrtvol se podle jednotlivých autorů liší. Například již Mégnin (1894) rozlišoval osm období (kdy poslední vlna zahrnovala období delší než tři roky), Fuller (1934) rozdělil rozkladné pochody na základě studií na ovčích a kočičích kadaverech do 3 fází (výchozí fáze, která nastává těsně po smrti, druhá fáze, která je obdobím hniloby, ztekucováním tkání a tlení s převládajícím hnilobným zápachem a třetí fáze, kdy dochází k redukci zápachu a vysouší se zbytky těla), Bornemissza (1957) uznával 4 návazná společenstva (nekrofágní, vyskytující se na čerstvé mrtvole, saprofágní na biochemicky aktivní mrtvole, dermatofágní na vysychající mrtvole a keratofágní na dehydrovaných zbytcích mrtvol), Payne (1966) rozlišoval 6 postupných vln (vycházel ze stupně rozkladu mrtvol – čerstvá, nadmutá, biochemicky aktivní, pokročilý rozklad, vyschnutí a zbytky). Šest vln odlišoval také de Stefani (1921). Howden (1950) a Utsumi (1958) identifikovali vlny pouze dvě. Lord & Burger (1984) rozpoznávali pět fází rozkladu. Povolný (1978) rozlišoval 4 fáze rozkladu těla. Leclercq (1974) a Daněk (1990), stejně jako Mégnin (1894), uznávali 8 sukcesních vln (Daněk, 1990; Smith, 1986).

Jako stěžejní lze v současnosti v našich podmínkách považovat dělení na osm sukcesních vln u volně ložených mrtvol podle Šulákové (2006):

**1. vlna (stav mrtvoly: čerstvá):** Objevuje se bezprostředně po smrti, nebo když oběť krvácí a je bezmocná. V některých případech se tyto druhy objevují ještě za života oběti – jsou přilákány pachem krve, pokud bylo oběti způsobeno nějaké krvácivé zranění, a začínají klást vajíčka do způsobených ran. V případech, kdy smrt nastala jako důsledek poranění, je hmyz lákán zápachem potu, krve a čerstvého masa.

Mezi typické a nejvýznamnější zástupce nekrofágního hmyzu v této fázi patří především čeleď bzučivkovití (*Calliphoridae*), zejména bzučivka obecná (*Calliphora vicina*), bzučivka zelená (*Lucilia sericata*), bzučivka rudohlavá (*Calliphora vomitoria*) a mouchovití (*Muscidae*), s hlavním zástupcem mouchou domácí (*Musca domestica*).

**2. vlna (stav mrtvoly: nadmutá):** Začíná v okamžiku, kdy se začnou tvořit plynné látky, které tělo nadouvají a páchnou. Patří sem především amoniak ( $\text{NH}_3$ ), hydrogen sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ), oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a plynný dusík ( $\text{N}_2$ ), (Smith, 1986). Za optimálních podmínek, např. v letních měsících, nastane tato situace již druhý den po smrti. Zápach plynných látek láká typické nekrofágní druhy brouků, zejména hrobaříky (*Nicrophorus* sp.) a některé mrchožrouty, zejména mrchožrouta vrásčitého (*Thanatophilus rugosus*).

Mezitím stále pokračuje destrukční činnost larev much a nalétávání těchto much z 1. vlny. Z dalších druhů se přidávají zástupci čeledi masařkovití (*Sarcophagidae*). V důsledku ztráty chlorofylu je již po několika dnech znát odbarvení trávy pod mrtvolou, především na jaře a v létě, a nastává zpomalení jejího růstu. Pod mrtvolou začíná dočasně mizet nebo se značně měnit charakteristické složení půdní zvířeny.

**3. vlna (stav mrtvoly: biochemicky aktivní):** Tato fáze začíná poté, kdy u tuků nastává proces zmýdelnění a kdy se vyvíjejí těkavé mastné kyseliny, především kyselina máselná, která má velmi nepříjemný zápach. Mezi nové zástupce nekrofágních druhů brouků patří především kožojedi (*Dermestidae*) a pestrokrovečníci (*Cleridae*).

Na mrtvole nadále přežívají nekrofágní brouci z druhé vlny, kteří mají delší dobu výskytu, a stále pokračuje činnost larev výše zmíněných much. Mimo jiné již počátkem 3. vlny začíná na mrtvolu přilétat větší množství biofágů, kteří se živí larvami much. Jedná se především o zástupce z čeledí drabčíkovití (*Staphylinidae*) a mršníkovití (*Histeridae*).

Pod ležící mrtvolou, zejména pod neoblečenými mrtvolami, se mezitím do značné míry vyvinulo dílčí přechodné společenstvo rostlinných a živočišných druhů, tzv. merocenóza. To přilákalo řadu saprofágních druhů z čeledi drabčíkovití (Staphylinidae) a některé zástupce rodu hnojník (*Aphodius* sp.) a lejnožrout (*Onthophagus* sp.) z čeledi vrubounovití (Scarabaeidae). Pokud již nastala perforace břišní dutiny, střev a žaludku, lze nalézt též chrobáka (*Anoplotrupes stercorosus*), který byl přilákán zápachem uvolněných výkalů. Zápach žluklého tuku také přiláká malého drobného motýlka, zavíječe *Aglossa pingualis*.

**4. vlna (stav mrtvoly: biochemicky aktivní):** Krátce po fermentaci tuků nastává fermentace proteinů, takzvaná „sýrová fermentace“. Na mrtvole totiž nalézáme druhy hmyzu, které jsou lákány produkty připomínajícími zápach sýru. Jedná se zejména o sýrohloдку drobnou (*Piophilus casei*), jejíž larvy mohou smršťováním těla skákat, nebo octomilku velkou (*Drosophila funebris*), pestřenku (*Eristalis tenax*) aj.

Mezi zvláštnosti patří, že u mrtvol, které byly zachyceny pod vodní hladinou, a došlo k jejich pozdějšímu vynoření, nenalézáme typické zástupce předchozích vln, tzv. velkých much (rody *Lucilia*, *Calliphora* a *Sarcophaga*). Na takové mrtvole se již nevytváří plynné látky a také se mouchy k tělu nemohly z důvodu ponoření ve vodě dostat. Na takových mrtvolách se objevují výlučně mouchy 4. vlny – sýrohloďky, octomilky aj., které jsou příznačné pro fermentaci proteinů.

V této době také vrcholí přítomnost brouků rodu *Necrobia*. Dospělí jedinci tohoto brouka jsou přilákáni zápachem zmýdelňovacích procesů ve 3. fázi a jejich výskyt vrcholí ve 4. vlně na sušších částech mrtvoly. Jedná se o typické biofágy, kteří se živí larvami much a dalších různých drobných nekrofágů. S úbytkem svalové hmoty a jiných měkkých tkání úměrně klesá kvalitativní i kvantitativní počet typických nekrofágů, především z čeledi mrchožroutovitých (Silphidae). Zároveň probíhají na mrtvole a v jejím okolí biologické cykly larev některých druhů much a brouků s kratším vývojovým stádiem.

**5. vlna (stav mrtvoly: pokročilý rozklad):** Nastává poté, co mrtvola dosáhla stádia čpavkové fermentace. Uvolňované amoniakové páry a kaseózní substance lákají především drobné mušky hrbilky (Phoridae), které se usazují v hnílných bílkovinných látkách.

Nastává výrazný úbytek „množství potravy“, tedy se snižuje i celkový počet nalézáných druhů (biofágů). V podloží mrtvoly lze nalézt kukly brouků, čerstvě vylíhlé exempláře, ale i uhynulé starší jedince.

**6. vlna (stav mrtvoly: vysychání):** V této fázi dochází k vysychání všech zbylých tekutin na mrtvole a následně k její mumifikaci. Za příznivých podmínek lze tohoto dosáhnout koncem prvního roku a ve druhém roce stáří mrtvoly, kdy již mrtvola začíná místa vypadat jako kostra.

V této době se objevují zástupci z čeledi hlodáčovitých (Trogidae). Tyto saprofágy i nekrofágy lze nalézt pod kostmi, v dutinách velkých kostí, pod suššími částmi mrtvoly, zaschlou kůží, ve vlasové pokrývce atd. Velmi často unikají pozornosti, protože se dokáží tvářit jako, že jsou „mrtví“. Zcela ojediněle lze na těle nalézt typické nekrofágní druhy, jelikož jim současný stav mrtvoly neumožňuje obživu pro sebe ani pro své potomky. Na zbytcích mrtvoly se objevují různé druhy roztočů, které se živí proteiny živočišného původu, napadají kostní dřev a urychlují rozpad kostí.

Absorbováním všech tekutin se začíná výrazně měnit i přechodné společenstvo živočišných a rostlinných druhů (merocenóza), které mělo dočasné trvání. Původní podobu dostává pozvolna i podloží mrtvoly.

**7. vlna (stav mrtvoly: zbytky):** Mrtvola je již zcela vysušená a vyskeletovaná, na kostře je ojedinělý výskyt suchých zbytků útrob, rozrušené chrupavky, místy lze najít kousky kůže či vysušenou svalovou tkáň.

Z velké části se jedná o hmyz, který napadá sušené maso, suché mršiny, rohovinu, kosti, kůže, peří, ale i přírodovědecké sbírky. Lze se s nimi setkat i v domácnostech, kde napadají kožešiny, látky, koberce, vlnu, či různé potraviny. Ze zástupců brouků se jedná především o kožojeda obecného (*Dermestes lardarius*), rušníka muzejního (*Anthrenus museorum*) a kožešinožrouta obecného (*Attagenus pellio*), z motýlů je to především mol šatní (*Tineola biselliella*).

Tato fáze se však vyskytuje pouze v tom případě, že byla mrtvola nalezena po delší době v nějakém uzavřeném prostoru (byt, půda, sklad, sklep, garáž atpod.). Vyskytují se zde druhy suchomilné a teplomilné, tedy je nemůžeme nalézt venku, kde existují různé povětrnostní podmínky. Pokud se tedy tělo najde ve druhém roce stáří mrtvoly ve volném terénu, lze zástupce 7. vlny zcela vynechat.

**8. vlna (stav mrtvoly: zbytky):** Může se objevit na mrtvole, která zůstala v terénu ležet více jak tři roky. Jedná se zejména o různé druhy roztočů (Acarina). Pokud se objeví zástupci z čeledi vrtavcovití (Ptinidae) nebo drabčikovité (Staphylinidae) pod kostmi nebo v jejich

dutinách, jedná se především o vyhledání úkrytu před chladem, vlhkem a suchem nebo o náhodné přezimování.

U pohřbených, nebo ve vodě umístěných mrtvolách však platí jiné podmínky. Mégnin (1887, 1894) a Motter (1898) jako první zjistili, že exhumovaná těla mají svojí vlastní, specifickou hmyzí faunu. Potvrdily to i pozdější práce Schmitze (1928), Chu & Wanga (1975) a Leclercqua (1975), (Smith, 1986).

Mezi nejvýznamnější znak u pohřbených těl patří především delší doba rozkladu a úbytku hmotnosti. Payne (1986) zjistil, že u pohřbených prasečích těl je úbytek asi jen 20 % během šesti až osmi týdnů (oproti volně ložené mrtvole na povrchu, která může mít úbytek až 90 % za jeden týden). Výsledky se však budou také lišit, pokud se jedná o rozklad v zimě nebo v létě, protože v zimě je rozklad pochopitelně pomalejší a probíhá za náletu menších a méně početnějších druhů hmyzu. Dále Payne (1968) rozdělil rozklad pohřbeného těla do pěti fází – čerstvé, nafouklé, uvolnění plynů a počátek rozkladu, rozklad, skeletonizace (Smith, 1986).

Dekompozice u těl ponořených ve vodě je oproti rozkladu na vzduchu opožděná, protože teplota těla se snižuje dvakrát tak rychle. Jako první začíná rozklad na hlavě, protože ve vodě hlava klesne, a tím pádem se krev vlivem gravitace sedimentuje dolů směrem ke krku. Také zelenavé zbarvení na bocích se nemusí objevit do pěti až šesti dnů od úmrtí. V případech úmrtí ve vodě se používají pomocné druhy, jakou jsou blechy a vši. Blechy se na mrtvole udrží nejdéle 24 hodin po ponoření do vody, vši obvykle zemřou do 12 hodin od ponoření (Simpson, 1985).

Na rozkladu těla ponořeného ve vodě se podílejí i živočichové, kteří se při normálním rozkladu nevyskytují a jsou přítomni ve vodě – ryby a korýši. Studii zkoumající rozklad prasečího těla ponořeného do vody provedli Payne & King (1972) v USA. Rozpoznali šest stadií rozkladu – čerstvě ponořené tělo, časné plovoucí tělo, rozklad plovoucího těla, nafouklé poškozené tělo, plovoucí zbytky těla, potopené zbytky těla (Smith, 1986).

Pochopení procesu rozkladu mrtvoly je základem pro stanovení post mortem intervalu v každém vyšetřování, týkajícího se úmrtí, i s použitím důkazů, které podává hmyz. Sled posmrtných změn v měkkých tkáních obvykle udává hrubou představu o tom, jak dlouho byl jedinec mrtvý (Campobasso, 2011).

### 3.3.1 Faktory, ovlivňující vývoj nekrosaprofágního společenstva

Mezi nejvýznamnější faktory, které ovlivňují vývoj nekrosaprofágního společenstva, jeho složení, zastoupení jednotlivých druhů, rychlost přechodu mezi jednotlivými vlnami aj. patří „stav“ mrtvoly, teplota prostředí, vlhkostní poměry, typ prostředí a také vliv ostatních organismů (Šuláková, 2006).

**„Stav“ mrtvoly**, tzn., jaká poranění se na těle nachází, zda krvácí, jestli již došlo k perforaci střev, množství podkožního tuku, hmotnost těla mrtvoly, věk, pohlaví, zdravotní stav, stav oblečení.

**Teplota prostředí** patří mezi nejdůležitější faktor. Ovlivňuje nejen výskyt a aktivitu jednotlivých druhů nekrofágního hmyzu, ale také jejich vývoj (tzn., jestli se hmyz vyvíjí „bez přerušení“, nebo vlivem nízkých teplot dochází ke zpomalování či úplnému zastavení vývoje – tzv. diapauza). Mimo jiné probíhají na mrtvém těle enzymatické děje, což je jeden z dalších důvodů, proč je teplota důležitá. Zpomalení nebo urychlení těchto biochemických dějů velmi výrazně ovlivňuje časovou posloupnost jednotlivých sukcesních vln. Pokud se sníží teplota okolí, sníží se i teplota lidského těla, tím pádem dochází k pozdější tvorbě plynů, pozdější fermentaci tuků a následně i bílkovin.

**Vlhkostní poměry** mohou výrazně ovlivnit výskyt hmyzu, například snížením letové aktivity. Řada druhů vyhledává suché prostředí, naopak jiné druhy jsou výhradně vlhkomilní.

**Typ prostředí** ovlivňuje zejména zastoupení jednotlivých druhů hmyzu a také přístupnost mrtvoly pro hmyz. Jako příklad lze uvést otevřenou krajinu, uzavřené prostory, lesní porosty aj.

**Vliv ostatních organismů** je důležitý především z hlediska vzniku sekundárního poškození mrtvoly, rozčlenění mrtvoly, roznos jejích částí po krajině atd.

### 3.4 Současná forenzní entomologie v praxi

Velmi důležitou pomůckou pro forenzní entomology jsou tzv. sbírky, vzorky většinou odebrané přímo z mrtvého těla. Polovina odebraného materiálu je na místě usmrcena do lahvíček vyplněných octanem, které způsobí rychlou smrt. Dále jsou brouci vypreparováni a označeni štítkem. Druhá polovina bývá exponována na vepřovém mase za předem stanovených podmínek, a po vylíhnutí se určí druhy (Nejezchlebová, 2011).

Další nedílnou součástí a velkou pomocí pro forenzní entomology jsou pokusy simulované na kadaverech menších i větších obratlovců, především na králících, jelenech, hlodavcích, kuřatech a prasatech domácích (Matuszewski, 2008).

Na americké univerzitě v Tennessee byla dokonce v 70. letech zřízena profesorem Williamem Bassem takzvaná Body Farm, tedy „Farma těl“. Tento antropolog velmi často spolupracoval se soudními lékaři a vyšetřovateli, a proto se rozhodl zkoumat, co se s lidským tělem stane po smrti ve volné přírodě. V České republice nic takového neexistuje, protože to neumožňují zákony. Podobnou „farmu“ však založil v sousedním Německu antropolog Mark Benecke. Jeho pokusy ale nejsou tak rozsáhlé, jako v Americe, protože Německo má podobné zákony jako Česko. V našich podmínkách stačí provádět pokusy a testy na prasatech, jejichž výsledky jsou dostačující a při zachování určitých podmínek jsou úměrné lidskému tělu (Drahošová, 2011).

### 3.5 Calliphoridae (bzučivkovití)

Leskle modré nebo zelené podlouhlé mouchy, náležející do příbuzenstva masařek. Tělo je pokryto hojnými štětkami, hrud' šedá, zadeček leskle modrý. Délka těla přibližně 9-13 mm. Mezi nejběžnější druhy patří bzučivka zlatá (*Lucilia caesar*, *Lucilia sericata*), bzučivka obecná (*Calliphora vicina*, *Calliphora uralensis*), bzučivka rudohlavá (*Calliphora vomitoria*) a bzučivka modrá (*Protophormia terraenovae*, *Cynomya mortuorum*); (Daněk, 1990).

Samičky bzučivek kladou protáhle oválná, 1,5 mm dlouhá vajíčka na mrtvoly, mršiny, maso apod. ve shlucích v počtu 450 – 1200 kusů. V přírodě se vyvíjejí zejména na mrtvolách časně uhynulých zvířat. Larvy jsou bílé, měkké, dorůstají velikosti až 15 mm. Po 7 – 8 dnech se zakuklí. Soudečkovitá červenohnědá kukla má vzadu 12 zoubků. Za 10 – 12 dní se z kukly líhne dospělý jedinec, takže celý vývoj trvá asi 1 měsíc (Daněk, 1990).

Bzučivky jsou typické mouchy první vlny. Dospělí jedinci nalétávají na mrtvolu okamžitě, přilákáni zápachem čerstvé krve, masa a potu, a pokračuje v následujících 48 hodinách (Daněk, 1990).



## 4 Materiál a metody

K získání údajů o rozkladu těla většího obratlovce bylo využito terénního pokusu.

Dne 20. 3. 2012 byl na pozemcích univerzity v Praze-Troji volně exponován kadaver prasete domácího (*Sus scrofa f. domestica*) o hmotnosti cca 50 kg. Aby byly zachovány podmínky pro imitaci „místa činu“, bylo pokusné zvíře oblečené do oděvu – elastických kalhot a bavlněného trička (viz. Přílohy: Obr. 3, Obr. 4).

Nad kadaverem byla umístěna emergentní past, na jejímž vrcholu (hlavě pasti) se nacházela odběrová nádoba, řádově pětilitrová plastová láhev naplněná roztokem formalínu s přídavkem detergentu - jaru (Barták, 1997). Emergentní past zajišťovala neustálý (24/24, 7/7) odchyt hmyzu, který se vyskytoval na kadaveru a v jeho blízkosti. Odběrová nádoba byla pravidelně vybírána – od počátku pokusu až do podzimu každý týden, od podzimu do první třetiny zimy, a tím pádem menšího výskytu hmyzu, jednou za čtrnáct dní, a přes zimu každý měsíc, kdy odchytávala především jedince, kteří se vylíhli při náhlém zvýšení teplot nad 5 °C. Při odběru materiálu z pasti byl její obsah přelit přes (čajové) sítko, aby se oddělil hmyz od smrtícího a fixačního roztoku. Takto oddělený hmyz byl následně uložen do cca 70% denaturovaného etanolu. Po příchodu do laboratoře byl odebraný entomologický materiál překonzervován čistým 70 % denaturovaným etanolem, aby nedošlo k přílišnému ředění konzervačního roztoku, a uložen v mrazicím boxu při -18 °C až do jeho třídění. Následně byli v laboratoři z entomologického materiálu vybráni zástupci čeledi Calliphoridae, na které bylo při tomto experimentu zaměřeno.

Během celé doby pokusu byla prováděna fotodokumentace pokusného objektu, která sloužila k dokladování stupně rozkladu, zachycení jednotlivých sukcesních vln a také k zadokumentování zástupců hmyzu v jednotlivých fázích rozkladu.

Determinaci zástupců čeledi Calliphoridae do druhů provedla pplk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D., forenzní entomoložka Kriminálního ústavu Praha Policie České republiky.

## 5 Výsledky

Vzhledem ke skutečnosti, že pokusné zvíře bylo exponováno brzy na jaře, kdy byly vnější teploty ještě relativně nízké, přes den dosahovaly řádově 12 - 15 °C a přes noc kolem 0 - 5 °C (viz. Přílohy: Tab. 1). Z uvedeného důvodu byly všechny rozkladné fáze relativně zpomaleny, tj. probíhaly v delších intervalech.

Kadaver byl bez viditelných změn cca 3 – 5 dnů (viz. Přílohy: Obr. 5). V této fázi také došlo k prvnímu naklazení vajíček čeledi Calliphoridae (viz. Přílohy: Obr. 6).

K nafouknutí došlo mezi 3. – 8. dnem (viz. Přílohy: Obr. 7). Bylo také možné pozorovat první vylíhnuté larvy čeledi Calliphoridae (viz. Přílohy: Obr. 8).

K následnému uniknutí rozkladných plynů z kadaveru došlo 10. 4. 2012, tedy 22. den (viz. Přílohy: Obr. 9). V příloze (viz. Přílohy: Obr. 10) záběr na samičku rodu *Calliphora vicina* při klazení vajíček.

Počátek viditelného aktivního rozkladu byl zaznamenán až po 36 dnech (viz. Přílohy: Obr. 11). V příloze (viz. Přílohy: Obr. 12) detailní záběr na larvy čeledi Calliphoridae.

Konec aktivního rozkladu byl zaznamenán 29. 5. 2012, tedy po 71 dnech (viz. Přílohy: Obr. 13).

Vysoušení zbytků měkkých tkání započalo 19. 6. 2012, tedy 92. den (viz. Přílohy: Obr. 14), a částečná skeletonizace se objevila 21. 8. 2012, po 155 dnech od zahájení pokusu (viz. Přílohy: Obr. 15).

K samotnému úplnému vyskeletování (degradaci všech zbytků měkkých tkání) nedošlo ani do konce roku 2012, kdy bylo pozorování ukončeno.

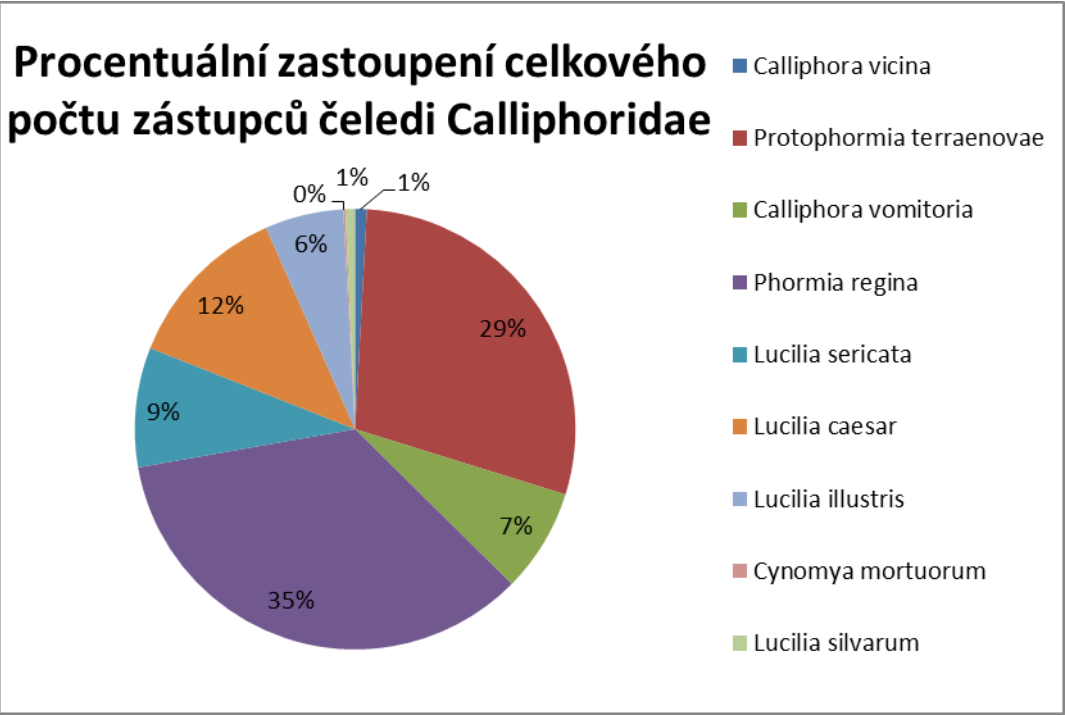
Během experimentu bylo zaznamenáno 6, resp. 7 rozkladných vln.

Další část práce byla zaměřena na zástupce čeledi Calliphoridae. V rámci experimentu byly na pokusném zvířeti zajištěny tyto druhy: *Calliphora vicina*, *Calliphora vomitoria*, *Lucilia caesar*, *Lucilia sericata*, *Lucilia illustris*, *Lucilia silvarum*, *Phormia regina*, *Protophormia terraenovae* a *Cynomya mortuorum*.

V tabulce níže (viz. Tab. 2) jsou zaznamenány všichni zástupci čeledi Calliphoridae v celkovém počtu během celého pokusu. Mezi nejčastěji a nejhojněji vyskytované patří *Phormia regina* a *Protophormia terraenovae*. V tabulce není obsažen druh *Cynomya mortuorum*, jelikož se za dobu trvání celého experimentu vyskytl pouze jednou, a to v pasti vybírané dne 9. 5. 2012 v počtu 16 kusů. Celkové procentuální zastoupení druhů je znázorněno v koláčovém grafu (viz. Obr. 1). Zobrazení jednotlivých druhů v průběhu celého experimentu je vyobrazeno v tabulce (viz. Přílohy: Tab. 3).

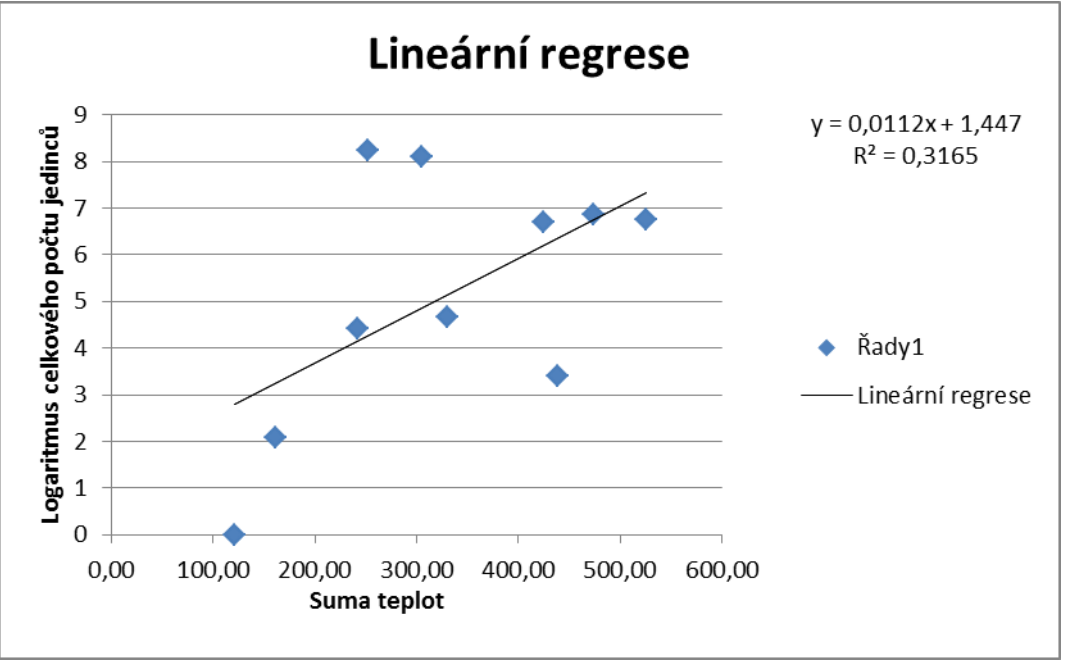
Datum sběru	Calliphora vicina	Protophormia terraenovae	Calliphora vomitoria	Phormia regina	Lucilia sericata	Lucilia caesar	Lucilia illustris	Lucilia silvarum
22. 3. 2012	1	1	0	0	0	0	0	0
3. 4. 2012	6	0	0	0	0	0	0	0
10. 4. 2012	27	0	1	0	0	0	0	0
24. 4. 2012	25	1	3	24	1	0	0	0
2. 5. 2012	0	120	96	264	32	56	128	0
9. 5. 2012	0	320	528	592	144	576	96	0
14. 5. 2012	0	136	64	168	24	216	88	32
22. 5. 2012	16	736	64	416	32	96	48	32
29. 5. 2012	0	336	16	1104	48	256	64	0
5. 6. 2012	0	128	16	240	112	16	16	0
19. 6. 2012	0	416	0	216	72	0	16	0
26. 6. 2012	4	36	0	64	28	4	4	0
3. 7. 2012	0	64	0	64	24	8	8	8
10. 7. 2012	0	56	0	88	88	16	48	0
17. 7. 2012	0	200	0	84	32	12	12	0
24. 7. 2012	0	384	0	124	68	0	0	0
31. 7. 2012	4	52	0	40	72	4	24	0
7. 8. 2012	0	0	0	88	80	8	16	0
14. 8. 2012	3	9	0	14	1	2	1	0
4. 9. 2012	2	0	0	13	47	3	12	0
11. 9. 2012	0	0	0	0	4	8	16	0
13.11.2012	1	0	0	0	0	0	0	0
součet	89	2995	788	3603	909	1281	597	72

Tab. 2: Celkový počet zástupců čeledi Calliphoridae v průběhu celého pokusu



Obr. 1: Procentuální zastoupení celkového počtu zástupců čeledi Calliphoridae

Statisticky zpracované údaje na základě závislosti počtu jedinců na sumě teplot, počítaném v pravidelném období tří týdnů mezi jednotlivými odběry, nevykazují významnou těsnost vztahu. Čím je hodnota  $R^2$  blíže k nule, tím jsou proměnné na sobě závislejší. Jelikož hodnota  $R^2 = 0,3165$ , není zde prokazatelná závislost obou proměnných (viz. Obr. 2).



Obr. 2: Graf závislosti počtu jedinců na sumě teplot v pravidelném období 3 týdnů

## 6 Diskuze

Náš terénní pokus, během kterého jsme zaznamenali 6, resp. 7 sukcesních vln, potvrdil Paynovy (1966) údaje. Payne (1966) označoval stupně rozkladu mrtvoly na čerstvou, nadmutou, biochemicky aktivní, pokročilého rozkladu, vyschnutí a zbytky. V našem pokusu bylo pouze možné pozorovat, že trvání jednotlivých fází bylo vzhledem k nízkým teplotám na počátku experimentu mnohonásobně delší. Souhlasíme s Lordem & Burgerem (1984), že by bylo možné rozpoznat o jednu fázi méně, pokud by byl experiment proveden např. v létě, v době vysokých teplot. Díky podstatně vyšším teplotám se dá předpokládat větší výskyt a kolonizace dvoukřídlých, tím pádem by nastal rychlejší proces rozkladu těla.

Fázi od počátku do konce aktivního rozkladu, která v našem případě zahrnovala 2 měsíce, by bylo možné sloučit do jedné, tak jak to pozoroval Fuller (1934).

U zástupců čeledi Calliphoridae bylo možné pozorovat, že jejich kolonizace pokusného zvířete byla značně ovlivněna nízkými teplotami na počátku experimentu. Přesto představovali, zejména v prvních třech měsících, hlavní dekompozitory kadaveru.

Jejich druhové složení odpovídalo údajům, které uvádí Smith (1986). Jejich výskyt na kadaveru, při kterém se aktivně podíleli na jeho rozkladu, tj. samičky kladly vajíčka, na konci března není v takto časných jarních měsících a v našich zeměpisných podmínkách v literatuře nikde uveden.

Různí autoři uvádí různé počty sukcesních vln při rozkladu mrtvého těla. Tyto údaje se liší, protože např. Bornemissza (1957) sledoval a popisoval samotné střídání hmyzu na mrtvole a rozdělával fáze podle potravy jednotlivých druhů hmyzu (na nekrofágní, saprofágní, dermatofágní a keratofágní).

Většina ostatních autorů sleduje a popisuje rozkladné procesy těla. Tyto údaje však mohou být při stanovení počtu sukcesních vln ovlivněny geografickými faktory, tj. že počet vln se liší v oblastech mírného pásma od oblastí na severu a v tropech, ale autoři své výsledky zevšeobecňují a tyto faktory nezohledňují.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo udělat literární přehled na zadané téma, společně s popsaným experimentem a vyhodnocením výsledků.

Výsledky našich experimentů potvrdily, že na mrtvém těle většího obratlovce při volné expozici probíhá 6 rozkladných vln. Dále jsme potvrdili, že teplota patří mezi nejdůležitější faktor při rozkladu mrtvého těla, a tím pádem počtu sukcesních vln. Vzhledem k umístění kadaveru na počátku jara, kdy byly teploty poměrně nízké, probíhaly rozkladné pochody značně pomaleji, než např. v létě.

Zaznamenali jsme také, že většina prováděných experimentů z literatury má široké zastoupení po celém světě, avšak s minimální podobou našim zeměpisným podmínkám. Proto může tento experiment sloužit i jako modelový vzor pro budoucí využití ve forenzní praxi v České republice.

Údaje o druhovém složení zástupců čeledi Calliphoridae byly překvapivé, jelikož jsme zaznamenali druhy, které se v našich podmínkách či ve forenzní praxi nevyskytují. Toto však mohlo být způsobeno faktory, které nám nebyly známy.

## 8 Seznam literatury

- Barták M., 1997. The biomonitoring of Diptera by means of yellow pan water traps. *Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Biologia*, 95: 9 - 16.
- Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. *Forensic Science International* 120 (2001), 2 - 14.
- Benecke, M. 2004. Forensic entomology: Arthropods and Corpses. Tsokos M. (ed.) *Forensic Pathology Reviews*. Vol. 2. Humana Press. Totowa (USA)., 211 – 214.
- Bianchini, G. 1929. Contributio pratico e sperimentale allo studio della faunacadaverica. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. *Forensic Science International* 120 (2001), 10.
- Campobasso, C.P., Giancarlo, D.V., Introna, F. 2001. Factors affecting decomposition and Diptera colonization. Elsevier. *Forensic Science International* (2001), 18 – 27.
- Caspers, H. 1952. Ein Köcherfliegen-Gehäuse im Dienste der Kriminalistik. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. *Forensic Science International* 120 (2001).
- Daněk, L. 1980. Možnosti využití entomologie v kriminalistice. *Čs. kriminalistika* XIII. č. 1, 44 - 55.
- Daněk, L. 1990. Možnosti využití entomologie v kriminalistice. Praha: Kriminalistický ústav VB, 21.
- Hátlová, P. 2012. Larvy, bzučivky i brouci jako pomocníci při stanovení času vraždy. *Právo*, 9.8.2012, str. 11.
- Hofmann, O. 1886. Observations de larves de Diptères sur des cadavres exhumés. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. *Forensic Science International* 120 (2001), 5.
- Johnston, W., Villeneuve, G. On the medico-legal application of entomology. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. *Forensic Science International* 120 (2001), 6 – 7.
- Kulshrestha, P., Satpathy, D.K. 2001. Use of beetles in forensic entomology. Elsevier. *Forensic Science International* 120 (2001), 15 – 17.
- Matuszewski, S., Bajerlein, D., Konwerski, S., Szpila, K. 2008. An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. Elsevier. *Forensic Science International* 180 (2008) 61 – 69.

- Meixner, K. 1922. Leichenzerstörung durch Fliegenmaden. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. Forensic Science International 120 (2001), 9.
- Merkel, H. 1925. Die Bedeutung der Art der Tötung für die Leichenzerstörung durch Madenfrass. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. Forensic Science International 120 (2001), 9 – 10.
- Motter, M. G. 1897. Underground zoology and legal medicine. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. Forensic Science International 120 (2001), 7-8.
- Nejezchlebová, L. Mrtvola jako krmné médium. Týden, 2011, XVIII, č. 7. 42 – 44.
- Niezabitowski, E. 1902. Experimentelle Beiträge zur Lehre von der Leichenfauna. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. Forensic Science International 120 (2001), 8.
- Orfila, M.J.B., Lesueur, C.A. 1831. Handbuch zum Gebrauche bei Gerichtlichen Ausgrabungen und Aufhebungen menschlicher Leichname jeden Alters in freier Luft, aus dem Wasser den Abtrittsgruben und Düngerstätern. In: Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. Elsevier. Forensic Science International 120 (2001), 3.
- Simpson, K. 1985. Forensic Medicine. In: Smith, K.G.V. 1986. Manual of forensic entomology. British Museum. Natural History. London. 13 – 27; 102 – 120.
- Smith, K.G.V. 1986. Manual of forensic entomology. British Museum. Natural History. London. 13 – 27; 102 – 120.
- Šuláková, H. 2006. Speciální biologie: Využití hmyzu při stanovení post mortem intervalu. Kriminalistický sborník 3/2006, 36 - 37.

### **Elektronické zdroje:**

- Drahošová, B. Hmyz nad mrtvým tělem pomáhá odhalovat vrahy [online]. IDNES. 15.2.2011. [cit. 2013-04-03]. Dostupné z <[http://technet.idnes.cz/hmyz-nad-mrtvym-telem-pomaha-odhalovat-vrahy-fn4-/veda.aspx?c=A110211\\_1531102\\_tec\\_technika\\_vse](http://technet.idnes.cz/hmyz-nad-mrtvym-telem-pomaha-odhalovat-vrahy-fn4-/veda.aspx?c=A110211_1531102_tec_technika_vse)>.
- Ottův slovník naučný. Adipocire [online]. Leccos. [cit. 2012-11-29]. Dostupné z <<http://leccos.com/index.php/clanky/adipocire>>.



## 9 Samostatné přílohy (grafy, tabulky, fotografie aj.)



Obr. 3: 20. 3. 2012 – Počátek pokusu, čerstvé tělo, instalace pasti (Autor: L. Čapková)



Obr. 4: 20. 3. 2012 - Počátek pokusu, čerstvý kadaver (Autor: L. Čapková)



Obr. 5: 22. 3. 2012 – Počátek nadmutí (Autor: H. Šuláková)



Obr. 6: 22. 3. 2012 – První naklazení vajíček čeledi Calliphoridae do tlamy mrtvého prasete (Autor: H. Šuláková)



Obr. 7. 27. 3. 2012 – Nadmutí (Autor: H. Šuláková)



Obr. 8: 27. 3. 2012 – První vylíhlé larvy čeledi Calliphoridae (Autor: H. Šuláková)



Obr. 9: 10. 4. 2012 – Uvolňování plynů, počátek aktivního rozkladu (Autor: H. Šuláková)



Obr. 10: 10. 4. 2012 - Samička *Calliphora vicina* při kladení vajíček (Autor: H. Šuláková)



Obr. 11: 24. 4. 2012 – První fáze aktivního rozkladu (Autor: H. Šuláková)



Obr. 12: 24. 4. 2012 – Záběr na larvy čeledi Calliphoridae (Autor: H. Šuláková)



Obr. 13: 29. 5. 2012 – Konečná fáze aktivního rozkladu (Autor: H. Šuláková)



Obr. 14: 19. 6. 2012 – Počátek vysychání měkkých tkání (Autor: H. Šuláková)



Obr. 15: 21. 8. 2012 – Počátek skeletonizace (Autor: H. Šuláková)

Tab. 1: Tabulka denních průměrných teplot na začátku experimentu

Datum	Průměrná denní teplota (°C)
20. 3. 2012	5,39
21. 3. 2012	7,74
22. 3. 2012	8,99
23. 3. 2012	10,48
24. 3. 2012	10,63
25. 3. 2012	10,48
26. 3. 2012	8,09
27. 3. 2012	9,31
28. 3. 2012	12,58
29. 3. 2012	9,75
30. 3. 2012	7,38
31. 3. 2012	6,78
1. 4. 2012	4,90
2. 4. 2012	6,91
3. 4. 2012	10,11
4. 4. 2012	11,51
5. 4. 2012	6,59
6. 4. 2012	4,72
7. 4. 2012	4,21
8. 4. 2012	0,95
9. 4. 2012	4,22

Tab. 3: Zobrazení jednotlivých druhů v průběhu celého experimentu

Druhy/datum sběru	22.3.	3.4.	10.4.	24.4.	2.5.	9.5.	14.5.	22.5.	29.5.	5.6.	19.6.
<i>Calliphora vicina</i>											
<i>Calliphora vomitoria</i>											
<i>Protophormia terraenovae</i>											
<i>Phormia regina</i>											
<i>Lucilia sericata</i>											
<i>Lucilia caesar</i>											
<i>Lucilia illustris</i>											
<i>Lucilia silvarum</i>											
<i>Cynomya mortuorum</i>											

Druhy/datum sběru	26.6.	3.7.	10.7.	17.7.	24.7.	31.7.	7.8.	14.8.	4.9.	11.9.	13.11.
<i>Calliphora vicina</i>											
<i>Calliphora vomitoria</i>											
<i>Protophormia terraenovae</i>											
<i>Phormia regina</i>											
<i>Lucilia sericata</i>											
<i>Lucilia caesar</i>											
<i>Lucilia illustris</i>											
<i>Lucilia silvarum</i>											
<i>Cynomya mortuorum</i>											