

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Vliv hloubky půdního profilu a času na parametry rozkladu kadáverů**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Jana Tichá**

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

**Konzultantka: plk. Ing. Hana Šuláková, PhD.**

**© 2016/17 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv hloubky půdního profilu a času na parametry rozkladu kadáverů" 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 18.4.2017\_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala RNDr. Miroslavu Bartákovi, CSc. a konzultantce plk. Ing. Haně Šulákové, Ph.D. za odborné vedení práce, a ochotu a čas, které mi věnovali. Dále také Ing. Miroslavu Férovi, Ph.D., který mi pomohl s rozbořem půdy.

## Vliv hloubky půdního profilu a času na parametry rozkladu kadáverů

### Souhrn

Tato práce shrnuje poznatky o forenzní entomologii, rozkladu volně exponovaného a pohřbeného kadáveru. Forenzní entomologie je odvětví kriminalistiky, ve kterém se využívají informace o osídlování kadáveru hmyzem k určení doby smrti. Počátky forenzní entomologie sahají již do 10. století, kdy Číňané používali mouchy a jiný hmyz jako důležitou součást při vyšetřování mrtvých těl.

Volně exponované mrtvoly jsou v prvních fázích rozkladu kolonizovány nejdříve bzučivkami rodů *Lucilia* Robineau-Desvoidy, 1830 a *Calliphora* Robineau-Desvoidy, 1830, dále pak čeledí Sarcophagidae a zástupcem mrchožroutů *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758). V dalších fázích rozkladu se objevují mouchovití rodu *Hydrotaea* Robineau-Desvoidy, 1830, čeledě Staphylinidae, Phoridae a Trogidae.

Pohřbení mrtvoly významně zpomaluje rozkladný proces. Omezená a odlišná fauna se dostává k mrtvole v různém čase v závislosti na složení půdy a hloubce pohřbení. Osídlení pohřbené mrtvoly je méně hojné než u volně exponovaných mrtvol. Mezi nejdůležitější hmyz, který se vyskytuje na pohřbených mrtvolách, řadíme čeled' Muscidae, Phoridae a Staphylinidae. Osídlování pohřbených mrtvol hmyzem je ovlivněno několika hlavními prvky, mezi které řadíme především hloubku pohřbení, složení půdy, teplotu a vlhkost.

Experiment, který se zabýval zakopáním kadáverů do hloubek 10 cm a 30 cm, byl proveden v letních měsících 2016. Cílem bylo zjistit vliv hloubky pohřbení a času na parametry rozkladu. Dále byly sledovány tafonomické změny kadáverů. Bylo zjištěno, že hloubka pohřbení úzce souvisí se sukcesí hmyzem, přičemž mělké hroby se od hlubších lišily jak druhovým zastoupením, tak množstvím hmyzu. Zástupci čeledí Carabidae a Muscidae byli nalezeni pouze v mělkých hrobech. Naopak hluboké hroby byly osídleny větším množstvím jedinců s menší druhovou pestrostí, nejčetnější byla čeled' Staphylinidae. V mělkých hrobech převažoval řád Acari. Celkově bylo nalezeno nejvíce zástupců čeledi Staphylinidae.

**Klíčová slova:** kadáver, rozklad pod zemí, hmyz, Muscidae, Phoridae, Staphylinidae

## **The influence of the depth of the soil profile and time parameters on decomposition of carcasses**

### **Summary**

This thesis summarizes findings about forensic entomology, the decomposition of freely exposed and buried cadavers. Forensic entomology is a subdivision of criminology in which the insect habitation within the cadaver is used to determine the time of death. The beginnings of forensic entomology were already documented in the 10<sup>th</sup> century when the Chinese used flies and other insects as an important part of the examination of the deceased.

In the first phases of disintegration, the freely exposed carcasses are colonized by bottle flies (Calliphoridae), genus *Lucilia* Robineau-Desvoidy, 1830 and *Calliphora* Robineau-Desvoidy, 1830, following later by Sarcophagidae family and by a member of the silphid beetles, *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758). In the next phases of decay, the muscids of the genus *Hydrotaea* Robineau-Desvoidy, 1830, appear as well as Staphylinidae, Phoridae and Trogidae.

The burial of the carcass significantly slows down the decomposition process. Limited and varied fauna reaches the carcass in various times depending on the composition of the soil and the depth of the burial. The insect colonization of the buried carcass is not as abundant as on freely exposed carcasses. Among the most important insects, which colonizes buried carcasses, the family of Muscidae, Phoridae and Staphylinidae are included.

The colonization of buried carcasses by insect is affected by a few crucial factors, mainly the depth of the burial, soil composition, temperature and humidity.

The experiment concentrating on burial of cadavers in the depth of 10 cm and 30 cm was conducted in the summer months in 2016. The main aim of the study was to determine the influence of the burial depth and time upon the parameters of the decomposition as well as observe the tafonomy changes of the cadavers. It was discovered that the depth of the burial is closely linked to succession of the insect, shallow graves differentiated from the deeper ones not only by the insect composition but also by its quantity. Species of the Carabidae and Muscidae families were found only in the shallow graves. In contrast, the deeper graves were colonized by a larger number of specimens with smaller species diversity, while Staphylinidae family was the most abundant. The family Acari dominated in shallow graves. In summary, the specimens of Staphylinidae family were found in the largest quantity.

**Keywords:** cadaver, underground decomposition, insects, Muscidae, Phoridae, Staphylinidae

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Forenzní entomologie</b> .....	<b>3</b>
3.1.1	Historie forenzní entomologie.....	3
<b>3.2</b>	<b>Sukcese</b> .....	<b>4</b>
3.2.1	Sukcesní vlny.....	5
3.2.1.1	Volně exponované mrtvoly.....	5
3.2.1.2	Pohřbené a zahrabané mrtvoly.....	9
3.2.2	Faktory ovlivňující sukcesi.....	12
3.2.2.1	Hloubka pohřbení.....	12
3.2.2.2	Teplota a vlhkost.....	12
3.2.2.3	Hmotnost a oděv.....	13
<b>3.3</b>	<b>Hmyz vyskytující se na pohřbených kadáverech</b> .....	<b>13</b>
3.3.1	Muscidae (mouchovití).....	13
3.3.1.1	Kolonizace ostatků mouchami Muscidae.....	14
3.3.2	Phoridae (hrbilkovití).....	14
3.3.3	Staphylinidae (drabčíkovití).....	15
3.3.4	Elateridae (kovaříkovití).....	15
3.3.5	Carabidae (střevlíkovití).....	16
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Popis lokality</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Experiment</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3</b>	<b>Příprava</b> .....	<b>17</b>
<b>4.4</b>	<b>Odběr vzorků</b> .....	<b>18</b>
<b>4.5</b>	<b>Hodnocení vzorků</b> .....	<b>18</b>
4.5.1	Vzorky hmyzu.....	18
4.5.2	Tafonomické změny na kadáverech.....	18
<b>4.6</b>	<b>Půdní profil</b> .....	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>Tafonomické změny</b> .....	<b>21</b>
<b>5.2</b>	<b>Hmyz na kadáveru</b> .....	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze</b> .....	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>28</b>

<b>8 Seznam použité literatury.....</b>	<b>29</b>
<b>9 Seznam příloh .....</b>	<b>33</b>
<b>10 Přílohy.....</b>	<b>34</b>

## 1 Úvod

Forenzní entomologie je odvětví forenzní vědy, ve kterém se využívají informace o hmyzu k vytvoření závěru (Gennard, 2007). Hmyz může být použit při vyšetřování činu, a to jak na souši, tak i ve vodě (Andersenem, 1995; Hobischak a Anderson, 2002). Většina případů, kdy jsou použity důkazy z odvětví entomologie, se týkají nezákonných činností (Gennard, 2007).

Hmyz, který může pomoci forenzní entomologii při vyšetřování, zahrnuje hlavně čeledi Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae, Piophilidae, Trogidae, Dermestidae, Staphylinidae a Histeridae.

V některých z těchto čeledí jsou nekrofágní pouze juvenilní stadia a krmí se na mrtvém těle.

U jiných se nekrofágně živí juvenilní jedinci i dospělci. Také jsou přitahovány k tělu další skupiny hmyzu zejména entomofágové, kteří se živí na kadáveru zastoupenými mrchožrouty (Gennard, 2007).

Tato práce se zabývá zastoupením fauny na pohřbených kadáverech, především vlivem hloubky a času na jejich osídlování a na parametry rozkladu kadáveru. V experimentální části práce jsou vyhodnoceny jednotlivé pokusy a rozbory.



## **2 Cíl práce**

Cílem práce je vypracovat literární rešerši na téma: Vliv hloubky půdního profilu a času na rozklad kadáverů a sukcesi hmyzu na rozkládajících se tělech pokusných zvířat.

Součástí je experiment, spočívající v zakopání kadáverů slepic, nebo králíků do různých hloubek. Při vykopání kadáverů po předem definované době se vyhodnotí jejich kolonizace nekrofágním hmyzem.

Hypotéza: Hloubka půdního profilu a interval pohřbení ovlivňují parametry rozkladu kadáverů hmyzem.

### 3 Literární řešerše

#### 3.1 Forenzní entomologie

Forenzní entomologie je kriminalistická disciplína, která využívá znalosti sukcese hmyzu na mrtvolách. Důležité pro tuto disciplínu je, že hmyz, který je vybaven vysoce vnímavými smysly, obvykle bývá na místě výskytu mrtvoly první (Hrdinová a kol., 2013).

Forenzní entomologie je oblast aplikované biologie, která propojuje přírodní vědy a právní systém. Lze ji rozdělit na tři hlavní oblasti. První je problematika škůdců potravin a zemědělských produktů, dále oblast parazitů lidí a zvířat a poslední oblastí je nejznámější a nejčastěji využívané stanovení doby smrti člověka (*post mortem interval*, PMI). Jeho základem je znalost přirozeného procesu degradace mrtvých obratlovců v přírodě. Během sukcese mrtvé tělo postupně kolonizují mouchy, brouci a další bezobratlí. Prostřednictvím znalosti všech procesů máme možnost určit dobu kolonizace, a tím i PMI s přesností na den i několik týdnů po smrti člověka (Šuláková, 2014).

##### 3.1.1 Historie forenzní entomologie

Hmyz byl využíván při odhalování trestných činů už v minulosti. Mnoho výzkumných pracovníků psalo o historii forenzní entomologie. Již Číňané v polovině 10. století používali mouchy a jiný hmyz jako důležitou součást při vyšetřování mrtvých těl (Gennard, 2007).

Egypťané a indiánské kmeny z jihozápadní části Severní Ameriky též přispěli svými poznatky k rozvoji oboru entomologie. Dokázali vysušit tělo, aniž by bylo později osídleno hmyzem. Mrtvola byla dokonale impregnována a konzervována tak, že se hmyzí škůdci jakéhokoliv druhu tomuto tělu vyhýbali (Obenberger, 1953).

Forenzní entomologie, jako obor, má počátky ve 13. století. První případ byl řešen v Číně. Vraždu muže, který byl ubodán, vyšetřoval Sung Tz'u. Ten nechal zabavit všechny srpy podezřelých. Vycházel z toho, že ačkoliv pachatel vražednou zbraň, srp, umyl, musely na něm zůstat zbytkové částičky krve. Srpy nechal na volném prostranství, přičemž na jeden z nich začaly nalétávat mouchy čeledi Calliphoridae, takto vyšetřovatel poznal vražedný srp i pachatele vraždy (Benecke, 2001).

Značným přínosem pro forenzní entomologii byly experimenty, které v roce 1768 prováděli výzkumníci v Itálii. Bylo použito maso různých živočišných druhů, které předkládali hmyzu ke kladení. V tomto experimentu bylo prokázáno, že se z vajíček nakladených mouchou vyvinuly larvy, které poté identifikovali. V mase byly nalezeny

mouchy velice důležité pro forenzní entomologii, a to *Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758) (Gennard, 2007), která je v dnešní době často používána k určení PMI (Turner and Wiltshire, 1999). Tyto pokusy posloužily jako základ, ze kterého se vypracovaly životní cykly hmyzu a ukazatele doby úmrtí (Gennard, 2007).

Forenzní entomologii v tradičním pojetí pak nacházíme hlavně ve Francii od roku 1850 a o třicet let později v Kanadě. Po vydání knihy *La faune de cadavers* (soudně-lékařská studie), kterou napsal Mégnin roku 1894, se koncept forenzní entomologie rychle rozšířil do Kanady a USA. V té době vědci ztroskotali na tom, že neměli dostatek systematických pozorování forenzně důležitého hmyzu. Tento fakt jim stál v cestě, aby použili hmyz jako přesný ukazatel posmrtného intervalu. Následné pokroky v taxonomii hmyzu a ekologii pomohly tyto mezery zaplnit (Benecke, 2001).

Po druhé světové válce bylo několik případů s tematikou forenzní entomologie vydáno jako vědecká literatura. Od roku 1960 do 1980 byly ve střední Evropě vykonány různé pokusy na toto téma. Poté pokračoval výzkum v USA, Rusku a Kanadě. Tím se otevřela cesta k běžnému používání entomologie ve forenzních vyšetřování (Benecke, 2001).

Za největší rozmach forenzní entomologie jsou považována sedmdesátá léta 20. století v USA, kdy se založilo velké množství entomologických škol. Také se začala entomologie využívat v procesu vyšetřování a začala být uznávána při soudních procesech (Benecke, 2001).

### **3.2 Sukcese**

Povolný (1982) uvádí, že sukcese je zákonitý časový sled hmyzu a jiných organismů. Je natolik charakteristický pro každé období rozkladu mrtvoly, že pokud je dostatečné množství teoretických podkladů a praktických zkušeností, lze zjistit, jak dlouhý časový odstup dělí mrtvolu od počátku jejího rozkladu.

Dle ekologické definice je sukcese nesezónní, směrovaný a kontinuální proces kolonizace a také zániku populací druhů na určitém místě (Clements, 1916). Nejdříve se objeví prázdné místo, v tomto případě mrtvé lidské tělo, které je následně obsazeno. Mrtvola se stává součástí biotopu. Objevují se na ní postupně jednotlivé skupiny druhů. Sukcese postupuje velice rychle. V prvních fázích je dokonce zahrnuta pouze jedna generace daného druhu nebo skupiny druhů. Imaga, která se na mrtvole vyvinou, ji nalézají v takovém stupni rozkladu, že pro ně není již vhodná k opětovné kolonizaci, a tak si hledají pro osídlení jinou. V pozdějších fázích se proces zpomaluje. Může se tedy objevit i několik generací daného

druhu za sebou, kdy imaga po vylíhnutí kladou na stejnou mrtvolu. Přesto je počet generací relativně nízký. Výjimku tvoří např. těla zahrabaná či mumifikovaná. Rozklad v těchto podmínkách je natolik zpomalený, že zde daný druh zůstává po dobu desítek generací. Konečné stadium sukcese (klimax) představují kosterní zbytky, které nejsou pro nekrobionty nadále již atraktivní (Šuláková, 2014).

### 3.2.1 Sukcesní vlny

Mégnin (1894) rozeznával celkem osm sukcesních vln hmyzu podle stupně rozkladu mrtvoly: hmyz na čerstvé mrtvole, na počátku rozkladu, při tvorbě mastných kyselin, sýrovatění, amoniakální fermentaci, při počátečním a konečném vysychání a posléze při trouchnivění. Pozdější výzkumy vedly k nutnému omezení počtu sukcesních vln, aby biocenologické synúzie (společenstva) koprofágů bylo možné přesněji charakterizovat, a tak je využít v kriminalistice (Povolný, 1978).

Dle Eliášové a Šulákové (2012) rozlišujeme mrtvoly v uzavřených prostorech, pohřbené, ve vodním prostředí a volně exponované. Pro každé prostředí platí jiné podmínky rozkladu a často také různé zastoupení hmyzu na mrtvém těle.

Postupný rozklad těla za pomoci bezobratlých označujeme jako sukcesi nekrobiontních organismů na mrtvém těle. Tyto organismy se na mrtvole střídají v tzv. sukcesních vlnách. Podle různých autorů se uvádí 3 až 8 sukcesních vln, nebo též fází (Mégnin, 1894; Fuller, 1934; Bornemissza, 1957; Daněk, 1990). V podmínkách České republiky se zpravidla uvádí 6, resp. 7 vln (Eliášová a Šuláková, 2012; Šuláková, 2014).

#### 3.2.1.1 Volně exponované mrtvoly

Následující rozdělení vln je typické pro mrtvoly volně ležící v terénu a pro klimatickou oblast střední Evropy (Daněk, 1990; Šuláková, 2014):

##### 1.vlna: čerstvé tělo

Tato vlna se objevuje bezprostředně po smrti (Daněk, 1990), avšak Šuláková (2014) uvádí, že může ojediněle nastat již během umírání člověka. Také Daněk (1990) zmiňuje, že pokud smrt nastala v důsledku poranění (krvácení), tak kladou mouchy vajíčka již na živé tělo. Jestliže je mrtvola volně přístupná mouchám, dojde rychleji k její kolonizaci.

V tomto období se na mrtvole vyskytují dvě skupiny bezobratlých. Do první řadíme například zástupce blanokřídlých Hymenoptera (vosy a mravenci), kteří se živí přímo tkáněmi

a na těle setrvávají jen nezbytně nutnou dobu pro nakrmení (Šuláková, 2004). Dle Daňka (1990) zde můžeme nalézt i škvory, kteří spolu s mravenci zanechávají na mrtvole charakteristické stopy, které se často mylně určují jako stopy po kyselině.

Druhá skupina hmyzu, která se vyskytuje v první sukcesní vlně, jsou mouchy z čeledi bzučivkovití. V našich podmínkách jsou nejčastěji zastoupené zelené bzučivky rodu *Lucilia*, modré rodu *Calliphora* a také druhy *Protophormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy, 1830) a *Phormia regina* (Meigen, 1826) (Šuláková, 2014). Na jedné mrtvole se současně vyvíjí běžně dva až pět druhů bzučivek, s tím, že jeden až dva druhy jsou v dominantním zastoupení, zatímco ostatní v omezeném počtu (Šuláková, 2014).

Mezi důležité poznatky řadíme fakt, že dospělci much se mrtvolou neživí (jsou nekrofilní). Mohou sice sát a lízat krev a další tekutiny, ale hlavní složkou jejich potravy je nektar květů, šťávy z přezrálého ovoce a medovice mšic (Šuláková, 2014; Šuláková et al., 2014). Důvodem příjmu krve a jiných tekutin s dostatkem proteinů je dozrávání vajíček v těle samice. Mezi skutečné nekrofágy řadíme jejich larvy (Šuláková, 2014).

Dle Daňka (1990) je první vlna zastoupena hlavně mouchami, které láká zápach čerstvého masa, krve a potu, přičemž Šuláková (2014) ještě dodává různé výměšky, sperma či zápach, např. tráveniny, z ran.

Z kriminalistického hlediska je kladení vajíček na tělo velice důležité, protože se jedná o jednoznačný akt, kterým vzniká časově definovatelná kriminalistická stopa, kterou lze následně hodnotit (Šuláková, 2014).

Šuláková (2014) uvádí, že vysoký forenzní význam much, primárně bzučivek, vychází ze skutečnosti, že prvotně vyhledávají mrtvolu z důvodu kladení, a tím je časová prodleva mezi příletem prvních jedinců a naklazením prvních vajíček minimální.

## 2. vlna: nadmuté tělo

V těle se tvoří plynné látky, které ho nadouvají (Daněk, 1990; Šuláková, 2014). Za optimálních podmínek může tento stav nastat již za několik hodin (Šuláková, 2014).

Pro hmyz je atraktivní právě uvolňovaný plyn. V druhé vlně můžeme stále nalézt mouchy čeledi bzučivkovití (Calliphoridae) a nově čeled' masařkovití (Sarcophagidae) (Daněk, 1990) a v některých případech také čeled' mouchovití (Muscidae) (Šuláková, 2014).

Šuláková (2014) uvádí, že jsou masařkovití přeceňovanou skupinou hlavně v oblastech mírného pásu, kde nepředstavují běžné zástupce na lidských mrtvolách, protože jejich nález na volně exponovaných tělech je zcela výjimečný, zato jsou typické pro těla v bytech.

Z čeledi moučovití to jsou zejména mouchy rodu *Muscina* Robineau-Desvoidy, 1830, které mohou být za specifických podmínek i prvními kolonizátory těla (Šuláková, 2014). Z ostatních zástupců čeledi moučovití se může vyskytovat *Musca domestica* (Linnaeus, 1758), který je dle Daňka (1990) typickým zástupcem této vlny, ale Šuláková (2014) tento druh hodnotí jako vzácný až ojedinělý.

Mezi dalšími tělo osídlují první druhy brouků, kteří jsou méně přesnými indikátory pro stanovení počátku kolonizace, protože se na mrtvole objevují později než mouchy. Zpravidla je u nich delší časový rozdíl mezi smrtí člověka a začátkem kolonizace (Šuláková, 2014).

Na hnilobný plyn reagují jako první mrchožroutovití (Silphidae) (Elišková a Šuláková, 2012), přičemž pro forenzní praxi je nejvýznamnější *Necrodes littoralis*, jehož larvy se na mrtvolách vyskytují pravidelně a v hojném počtu, proto se může zahrnout do určování doby kolonizace (Šuláková, 2014). Další častými zástupci jsou mrchožrouti rodu *Thanatophilus* Leach, 1815 (Daněk, 1990; Šuláková, 2014), ale také parazitoidní druhy z řádu blanokřídlí, hlavně chalcidky (Chalcidoidea), lumci a lumčící (Ichneumonoidea). Samičky těchto parazitoidních druhů kladou vajíčka do larev i kukel jiného hmyzu a vylíhlé larvy cizopasí uvnitř hostitele (živí se jím). Blanokřídlé lze též využít pro výpočet doby kolonizace (Šuláková, 2014).

Na některých druzích brouků, kteří se vyskytují na mrtvolách, parazitují různí roztoči. Z uvedeného důvodu se setkáváme se zástupci tohoto řádu již ve druhé vlně. Nejběžnější je *Poecilochirus necrophori* (Vitzthum, 1930). Vegetace pod mrtvolou se začíná měnit tím, že ztrácí chlorofyl. Dochází také ke změnám charakteristického složení edafonu (Daněk, 1990).

### 3. vlna: biochemicky aktivní rozklad

Tato fáze zahrnuje dva procesy: zmýdelnění tuků a fermentaci proteinů (Šuláková, 2014), někteří autoři je uvádí jako dvě samostatné vlny (Daněk, 1990). Začínají se uvolňovat mastné kyseliny, hlavně silně zapáchající kyselina máselná (Daněk, 1990), která je atraktantem zejména pro moučovité rodu *Hydrotaea*, v České republice je pak nejčastěji zastoupen druh *Hydrotaea ignava* (Harris, 1780). Samičky rodu *Hydrotaea* se mohou na mrtvole objevit již v prvních dnech po smrti jedince (Šuláková, 2014). V té době se na těle vyskytuje ještě tisíce larev bzučivek, a proto samičky much kladou pod tělo do tzv. lože mrtvoly. Larvy prvního instaru se živí rozkladnou tekutinou prosakující z těla do půdy, v druhém instaru jsou již dravé a kolonizují samotnou mrtvolu (Šuláková, 2014).

Z řádu brouci reagují na mastné kyseliny zástupci čeledi drabčíkovití (Staphylinidae), hlavně *Creophilus maxillosus* (Linnaeus, 1758), který se na mrtvolách pravidelně rozmnožuje (Šuláková, 2014). Dále zde najdeme rody *Ontholestes* Ganglbauer, 1895 a *Philonthus* Stephens, 1829 a také první mršníkovic (Histeridae), z nichž zejména druhy *Margarinotus brunneus* (Fabricius, 1775) a *Saprinus semistriatus* (Scriba, 1790) (Šuláková, 2014).

Fermentace proteinů se někdy označuje také termínem sýrová, protože se při ní vytváří kaseózní látky, které svým zápachem připomínají přezrálý sýr. Na kaseózní látky reagují mouchy čeledi sýrohloďkovití (Piophilidae), kmitalkovití (Sepsidae) a slunilkovití (Fanniidae) (Šuláková, 2014). Daněk (1990) popisuje sýrovou fermentaci až ve čtvrté vlně, kde zmiňuje, že je nejběžnějším zástupcem sýrohloďka *Piophila casei* (Linnaeus, 1758), ale dle Šulákové (2014) se jedná o chybnou determinaci druhu *Stearibia nigriceps* (Meigen, 1826), který je v podmínkách České republiky nejčastějším druhem sýrohloďky na mrtvolách.

U sýrohloďek jsou známé především jejich larvy, které skárají tím, že se stočí a ústními háčky cephalopharyngeálního skeletu se zachytí v zadečkové části těla. Poté uvolní úchop a prudce narovnájí tělo, které se tímto vymrští do vzduchu (Šuláková, 2014).

Z kmitalkovitých a slunilkovitých v této vlně najdeme zástupce *Nemopoda nitidula* (Fallen, 1820) a *Fannia canicularis* (Linnaeus, 1761) (Šuláková, 2014).

Objevují se kožojedi (Dermestidae) a pestrokrovečníci rodu *Necrobia* Olivier, 1795 (Cleridae) (Eliášová a Šuláková, 2012). Typickými zástupci kožojedů jsou *Dermestes frischii* (Kugelann, 1792), *Dermestes undulatus* (Brahm, 1790) a *Dermestes murinus* (Linnaeus, 1758). Mezi pestrokrovečníky, které se u nás vyskytují na mrtvole řadíme *Necrobia violacea* (Linnaeus, 1758) a *Necrobia rufipes* (De Geer, 1775) (Šuláková, 2014).

Dále zde přežívají nekrofágní druhy brouků druhé vlny, jež mají delší dobu výskytu (Daněk, 1990).

#### 4. vlna: pokročilý rozklad

Nastává čpavková fermentace zbytků měkkých tkání. Atraktantem pro hmyz jsou amoniakální páry a nakyslý pach kaseózních látek. Na ty reagují drobné mušky čeledi hrbilkovití (Phoridae). Z předešlé vlny jsou stále na mrtvole larvy sýrohloďek, kmitalek a slunilek. Z brouků to jsou pak larvy pestrokrovečníků a kožojedů. Z dospělců zde můžeme najít drobné drabčíky, mršníky a lesknáčky (Šuláková, 2014).

#### 5. vlna: vysychání zbytků měkkých tkání

V této vlně z měkkých tkání zůstávají pouze zbytky, které vysychají. Zde nalezneme larvy sýrohlodek a hrbilek, dále jsou zde přítomni kožojedi a pestrokrovečníci. Nově kolonizují brouci a to hlodáčovití, hlavně *Trox scaber* (Linnaeus, 1767) a *Trox sabulosus* (Linnaeus, 1758) (Šuláková, 2014).

Významní jsou i roztoči, kteří se na mrtvole vyskytují od okamžiku, kdy se na těle objeví první hmyz, protože jsou často přichyceni na jejich těle. Jejich způsob života je takový, že přežívají na mrtvole do té doby než se na těle vylíhnou noví dospělci, na které se přichytí a nechají se přenést na jinou mrtvolu (Šuláková, 2014).

#### 6. vlna: kosterní zbytky

Měkké tkáně jsou již rozložené a zůstávají pouze kosti, někdy chrupavky, vazivo, vlasy a tělní ochlupení. Na rozkladu se podílejí roztoči a zřídka kožojedi a hlodáči. Mezi nové zástupce řadíme vrtavce Ptininae z čeledi červotočovití (Ptinidae) (Šuláková, 2014).

#### 3.2.1.2 Pohřbené a zahrabané mrtvoly

Dle Eliášové a Šulákové (2012) do této skupiny řadíme mrtvá těla v ilegálních hrobech, které se označují jako mrtvoly v mělkých hrobech, a také těla zakrytá a zabalená do různých obalů, např. igelitových pytlů, spacích pytlů, koberců atd. Patří sem i bezobratlí, kteří se nalézají v legálních hrobech v rakvích. Na mrtvolách volně zahrabaných či pohřbených může vzniknout fauna z vajíček nakladených mouchami v márnici, z larev vyvinutých z vajíček nakladených na povrch půdy či na rakev (Daněk, 1990).

Smith (1986) uvádí, že pohřbení zpomaluje rozkladný proces. Omezená a odlišná fauna se dostává k mrtvole v různém čase v závislosti na složení půdy a hloubce pohřbení (Rodriguez and Bass, 1985; Smith, 1986). Krycí materiál půdy inhibuje některé mrchožravé druhy, které jsou přitahované k exponované mrtvole (Smith, 1986).

Fauna na pohřbených mrtvolách je méně hojná než u volně exponovaných těl (Daněk, 1990; Laupy, 1994) a k pohřbeným tělům se dostává různým způsobem (Eliášová a Šuláková, 2012). Mouchy rodu *Muscina* (Muscidae) kolonizují pohřbená těla tak, že samičky nakladou na povrchu vajíčka, příp. larvy, a následně larvy prolézají půdním profilem k pohřbenému tělu (Mariani et.al., 2014). Naproti tomu Phoridae mají odlišnou strategii kolonizace, půdním profilem prolézají přímo samičky a kladou až na tělo (Eliášová a Šuláková, 2012) a dle Smitha (1986) také čeledi Rhizophagidae a Staphylinidae.



Dále se na pohřbených tělech objevují Braconidae a Proctotrupidae, jejichž zástupci byli nalezeni v hloubce cca 50 cm (Lundt, 1964). Calliphoridae je hlavním kolonizátorem exponovaných mrtvol, avšak zakopáním těla pod vrstvu větší jak 2,5 cm může být z rozkladného procesu zcela vyloučena. Ostatní zástupci mrchožravé fauny mohou být méně četnější a nebo se objevují později (Smith, 1986).

Lundt (1964) zjistil, že vrchní vrstvě půdy dominovaly larvy rodu *Muscina*. Ve větších hloubkách našel hrbilky (Phoridae) rodů *Conicera* Meigen, 1830 a *Metopina* Macquart, 1835, a také drabčičky (Staphylinidae), jmenovitě rodu *Atheta* Thomson, 1858. *Conicera* se můžou objevit na povrchu půdy až 12 měsíců po smrti, slouží tak jako indikátor místa uložení mrtvoly.

Zeměpisná oblast, typ půdy, ale také zda jsou po smrti narušeny ostatky, a uplynulý čas od smrti před pohřbením, jsou důležité faktory, které ovlivňují rozklad pohřbeného kadáveru (Haglund et. al., 1996).

Payne et. al. (1968) v USA ve svém výzkumu objevili jinou faunu na zahrabaných prasatech, kde dominovali mravenci hlavně *Prenolepis imparis* (Say, 1836), rod *Dohrniphora* Dahl, 1898, rod *Metopina* a drabčičci rodů *Aleochara* Gavenhorst, 1802 a *Oxytelus* Gavenhorst, 1802. Dále rozdělili rozklad a osídlování pohřbeného kadáveru do pěti vln:

#### 1. Čerstvé tělo

Toto období mezi smrtí a počátečním nadýmáním trvá asi tři dny. Mravenci se aktivně krmí zejména krví a exponovanou vlhkou pokožkou u úst, břicha a uší (Payne et. al., 1968).

#### 2. Nadýmání

Vyskytují se zde mravenci a také z dvoukřídlých zástupci mrvnatkovitých (Sphaeroceridae). Dominantní je rod *Leptocera* Olivier, 1813 a *Metopina subarcuata* Borgmeier, 1963. Pátý až sedmý den, poté, co začala deflace, byli pozorováni zástupci čeledi koutulovití (Psychodidae). Larvy mrvnatek a hrbilek se na mrtvolách aktivně krmí (Payne et. al., 1968).

#### 3. Deflace a rozklad

Krmení mravenců a larev určuje čas a rychlost deflace. Zápach je velmi silný. Kolem desátého dne je přítomno hodně much a larev. V této fázi se brouci *Oxytelus insignitus* Gravenhorst, 1806 a *Aleochara* spp. živí malými červy. Parazité čeledi Cynipidae a Diapriidae (Hymenoptera) se dostávají k tělu. Kolonie plísní a bakterií se objevují na vysrážených tekutinách (Payne et. al., 1968).

#### 4. Dezintegrace

Mouchy a larvy čeledi Psychodidae, Phoridae a Sphaeroceridae, jsou aktivní v oblasti zbylé měkké tkániny. Objevují se zde roztoči (Acari), chvostoscoci (Collembola), z brouků čeled' maločlencovití (Cryptophagidae), z dvoukřídých čeled' smutnicovití (Sciaridae) a z mnohonožek (Diplopoda) *Cambala annulata* (Say, 1821). Rozkládající se tělo je pokryté koloniemi plísní a bakterií. Na konci této fáze migrují larvy z mrtvoly. Mezi 30. a 60. dnem jsou hlavními mrchožrouty roztoči rodu *Caloglyphus* Berlese, 1923, chvostoscoci *Folsomia fimetaria* (Linnaeus, 1758) a *Hypogastrura armata* (Nicolet, 1842) (Payne et. al., 1968).

#### 5. Skeletonizace

Nastává proces rozložení zbytku těla. V této fázi jsou dominantní faunou mravenci, mouchy, chvostoscoci a roztoči (Payne et. al., 1968). Přítomni jsou také pavouci, stonožky a mnohonožky (Smith, 1986).

## 3.2.2 Faktory ovlivňující sukcesí

### 3.2.2.1 Hloubka pohřbení

Odbourávání hmotnosti mrtvoly hmyzem je ovlivněno půdním pokryvem, zejména jeho složením. Velice důležitá pro druhové spektrum hmyzu je výška půdní vrstvy (Daněk, 1990).

Zakrytí půdou má za následek vyřazení bzučivek (Calliphoridae) z kolonizace těla. Je nezbytné zmínit, že po pokrytí mrtvoly půdní vrstvou se mnohonásobně snižuje rychlost rozkladu těla. Také činnost hmyzu je pomalejší (Daněk, 1990).

Při průměrné teplotě 20 °C je u volně exponované mrtvoly odbouráno téměř 90 % původní váhy během jednoho týdne, naopak, u zahrabané mrtvoly se při stejné teplotě odbourá pouze 20 % původní váhy až za šest týdnů (Povolný, 1978; Smith 1986; Daněk, 1990).

Na mrtvolách, které jsou přikryté tenkou vrstvou, nalézáme pestrý rejstřík zejména much, protože se jejich larvy dostanou přes vrstvu samy (Povolný 1978; Daněk, 1990).

Do hloubky 15-20 cm se dostávají larvy larviparních, poměrně velkých mouchovitých (Muscidae), které samy proniknou vrstvou půdy. Do hloubky 30-50 cm pronikají dospělci hrbílek (Phoridae), zejména rody *Conicera* a *Metopina* Macquart, 1835 (Povolný, 1978; Daněk, 1990).

Dle Daňka (1990) se zde dále vyskytují drabčící rodů *Aleochara*, *Philonthus*, *Oxytelus* a mravenci rodu *Prenolepis* Mayr, 1861.

### 3.2.2.2 Teplota a vlhkost

Hlavními faktory ovlivňující sukcesí jsou teplota a vlhkost. Studené počasí a déšť inhibují činnost hmyzu (Smith, 1986). Bylo zjištěno, že při vyšších teplotách dosáhla larva své maximální délky dříve než při nižších teplotách. Jakmile se teplota snížila, velikost larvy byla menší a opět při vyšších teplotách rostla larva rychleji (Reiter, 1984).

Bylo též zjištěno, že konstantní teplota 30 °C způsobila zakrnělé formy, kterým se nepodařilo zakuklit a uhynuly. Při teplotě pod 16 °C byl vyvolán stav diapazy (přerušeni vývinu) (Reiter, 1984).

Teplotní hodnoty vedoucí k smrti hmyzu jsou pod -15 °C a nad 60 °C, ale existují značné rozdíly mezi druhy (Knipling a Sullivan, 1957).

### 3.2.2.3 Hmotnost a oděv

Rychlost rozkladu do značné míry ovlivňuje hmotnost kadáveru a případné oblečení. Byl proveden pokus s různě těžkými jatečně opracovanými trupy prasat. Malá těla o hmotnosti 5 kg – 15 kg, středně velká těla 15,1 kg – 30 kg a velká těla 35 kg – 50 kg. Dále byla prasata rozdělena na oblečená a neoblečená. Jatečně upravená těla prasat byla uspořádána do různých bloků: jaro, začátek léta a konec léta. Vzorok hmyzu se odebíraly vždy ručně z pastí v zemi. Výsledky ukázaly, že hmyzí společenstva byla druhově bohatší, složitější a déletrvající na větších tělech. Oblečení v tomto mělo menší význam. Pouze velké či střední mrtvoly byly kolonizovány mnoha druhy mrchožravého hmyzu, zatímco malá těla prokázala nedostatečné zastoupení kolonizátorů (hmyzu), jako jsou např. Cleridae nebo Nitidulidae. Přítomnost všech forenzně významných skupin hmyzu byla zřetelná na velkých tělech, což naznačuje, že hmotnost mrtvoly je faktorem, který je významný pro forenzní entomologii. Bylo zjištěno, že post mortem interval úzce souvisí s hmotností, ale také s oblečením či teplotou. Oblečené mrtvoly byly více osídlené než neoblečené, což dokazuje, že oblečení ovlivňuje entomofaunu, která osídlí mrtvolu, avšak neklade se tomu tak velký význam, jako hmotnosti (Matuszewski et al., 2016).

## 3.3 Hmyz vyskytující se na pohřbených kadáverech

### 3.3.1 Muscidae (mouchovití)

Zástupci čeledi mouchovití (Muscidae) se vyskytují po celém světě. Jen v Severní Americe jich je přes 700 druhů (Byrd, 2010). V České republice je zastoupeno 307 druhů (Barták a kol., 2013). Mouchovití jsou synantropní a všudypřítomní, nalézáme je tedy často u lidských obydlí (Barták a kol., 2013). Následkem toho docházelo k neúmyslnému přepravování zástupců této čeledi, a tím i k jejich šíření mimo přirozené území. Muscidae se stala forenzně významnou právě vzhledem k jejich širokému rozšíření a úzkému spojení s člověkem (Byrd, 2010).

Muscidae jsou malé až středně velké mouchy. Samice často kladou vajíčka do tělních otvorů, do ran nebo na oblečení, které je nasáklé tekutinou (např. krví, močí a exkrementy). Larvy se vyskytují v substrátu půdy, kde se živí hnilobnou tekutinou, která vytéká z těla. Některé jsou dravé a živí se vajíčky a larvami jiných druhů hmyzu (Byrd, 2010).

### 3.3.1.1 Kolonizace ostatků mouchami Muscidae

Studie, která se zabývala druhy Muscidae, jmenovitě *Muscina stabulans* (Fallén, 1817) a *Muscina prolapsa* (Harris, 1780), proběhla v letních měsících (červen, červenec, srpen) roku 2016. V experimentu byly volně exponovány a zakopány návnady v podobě jater v hloubce pět a deset centimetrů, poslední návnada byla ponechána na povrchu půdy. *Muscina prolapsa* kolonizovala návnadu v deseti centimetrech avšak i na povrchu půdy. Jiné hmyzí druhy se objevili zřídka na pohřbených návnadách bez ohledu na přítomnost nebo absenci larev rodu *Muscina* (Gunn, 2016).

V laboratorních podmínkách se zjistilo, že *Muscina stabulans* i *Muscina prolapsa* přednostně kolonizovali návnadu jater na povrchu půdy. Návnada pohřbená pod suchou půdou nebyla obsazena ani jedním druhem, zatímco ve vodou zmáčené půdě jejich přítomnost zjištěna byla, ale v malém množství (Gunn, 2016).

Suchá játra, která byla umístěna na povrchu půdy, byla kolonizována a podporovala růst hmyzu až do dospělosti. V případě, že v okolí nebylo vhodné prostředí pro zahrabání larev před kuklením, hynuly do jednoho dne (Gunn, 2016).

Druh *Muscina stabulans* upřednostňoval při kladení vajec rozpadající se játra před čerstvými (Gunn, 2016).

*Muscina prolapsa* oproti tomu kladl vajíčka na játra obou konzistencí, ale upřednostňoval též rozpadající se játra, která se za 41 dní rozložila úplně (i poté je upřednostňoval) (Gunn, 2016).

Krví nasáklá půda, mrtví slimácci a hlemýždi stimulovali kladení vajíček u obou druhů a podporovali larvální růst do dospělosti. Také byly použity houby, meloun a banány, které stimulovali též kladení vajec, i když v mnohem menší míře a jen velmi málo zástupců přežilo do dospělosti. Koňský trus stimuloval snášení, avšak larvy zemřely během prvního nebo druhého instaru, žádná nepřežila stadium puparia. Tyto informace jsou užitečné při určování forenzního významu larev rodu *Muscina* získaných z mrtvých těl (Gunn, 2016).

### 3.3.2 Phoridae (hrbilkovítí)

Phoridae je čeleď, která má více než 2500 zástupců. V České republice se vyskytuje přibližně 230 druhů (Mocek, 2009). Zástupci této čeledi dosahují velikost až 6 mm. Jsou snadno rozpoznatelní kvůli jejich charakteristickému znaku, kterým je hrud'. Mají ji výrazně vyhrbenou (thorax), což je vidět hlavně při pohledu z profilu. Dalším důležitým

determinačním znakem jsou zploštělá stehna zadního páru končetin, která jsou zároveň výrazně velká a štětinatá. Zbarvení může být černé, hnědé či žluté barvy (Byrd, 2010).

Phoridae se vyskytují téměř ve všech biotopech. Můžeme je nalézt např. v lesích, stepích či na loukách. Larvy se vyvíjí v omezeném prostředí. Živí se rozkládajícími se organickými látkami a houbami. Mohou také lovit nebo parazitovat na jiném hmyzu, plžích nebo červech. Jsou snadno rozpoznatelné podle jejich dorzoventrální zploštělosti a páru dýchacích trubic (Byrd, 2010).

### **3.3.3 Staphylinidae (drabčíkovití)**

Zástupci této čeledi jsou v České republice zastoupeny v hojném počtu. Na našem území se jich vyskytuje na 1398 druhů. Jedná se o nejpočetnější skupinu brouků v České republice. Jsou štíhlí, mají zkrácené krovky a jejich velikost dosahuje 4 mm (Boháč a kol., 2007).

Vyskytují se téměř ve všech terestrických ekosystémech a jsou důležitou součástí půdní fauny. Zástupci této čeledi jsou významnými citlivými bioindikátory antropogenních změn prostředí (Boháč, 1999).

Drabčíkovití se dostávají na tělo ve fázi „nafouknutí“, někdy i dříve. Jsou to predátoři jiných kolonizátorů mrtvoly. Přítomnost drabčíkovitých se mění v závislosti na ročním období (Boháč, 1999). Centeno a kol. (2002) zaznamenali na jaře přítomnost Staphylinidae na nezakryté mrtvole v různých stadiích rozkladu. V létě hmyz na nezakryté mrtvole chyběl, výjimečně se vyskytl na zakryté mrtvole. Oproti tomu na podzim byla jejich přítomnost zjištěna jak na mrtvole, která byla v pokročilém stadiu rozkladu, tak i ve fázích, kdy je kadáver již bez tekutin. Musí se také brát ohled na teplotu a sluneční svit, které ovlivňují osdílování kadáveru (Gennard, 2007).

### **3.3.4 Elateridae (kovaříkovití)**

Kosmopolitně rozšířená čeleď brouků, která čítá cca 10 000 druhů. Mají podlouhlé, úzké tělo s velkým a volným prothoraxem. Název kovaříkovití je odvozen od lupnutí, které vydávají při obratu. Jestliže dopadnou na záda, jsou schopni se prudkým pohybem hlavy a hrudi obrátit zpět na nohy. Dospělci jsou býložravci, kteří se živí rostlinnými šťávami. Larvy jsou dravé nebo býložravé. Tělo mají podlouhlé a zploštělé. Kovaříkovití žijí na travinách, ve shnilých dřevěch a v podestýlce (Costa and Rosa, 2011).

### 3.3.5 Carabidae (střevlíkovití)

Střevlíkovití mají charakteristický tvar brouka (Gennard, 2007) s různým zbarvením, které může být černé až zelené s kovovým leskem (Smith, 1986). Jejich velikost je od 1 mm do 8 cm (Smith, 1986) a lze je nalézt v celé řadě stanovišť, včetně pastvin a lesů (Gennard, 2007). Mají malou hlavu s vysunutou čelistí (Gennard, 2007), dlouhá tykadla a nohy, které mají přizpůsobené běhu (Smith, 1986).

Larvy jsou dlouhé a mají protáhlý tvar. Larva má pár ostrých kusadel a nohy jsou zakončeny drápkou (Gennard, 2007).

Dle Gennard (2007) a Smitha (1986) jsou larvy Střevlíkovitých ve svých pohybech velmi rychlé a mají tendenci být noční, což znamená, že nemusí být na kadáveru zřejmé.

Zástupci této čeledi mohou být přítomni na mršině jako dravci, ale celkově je jejich význam menší než u čeledí Silphidae, Staphylinidae a Histeridae (Smith, 1986).

## 4 Metodika

Metodika práce byla rozdělena na dvě části, a to: rešeršní činnost a experiment, jehož cílem bylo zjistit, jaký vliv má hloubka a čas na pohřbené kadávery. Experiment proběhl v letních měsících (červen až srpen) roku 2016.

### 4.1 Popis lokality

Experiment byl proveden v Nové Pace. Kraj středočeský. GPS souřadnice 50°29'04,8"S, 15°31'16,4"V. Nadmořská výška 449 m n. m. Hroby byly vykopány na zahradě rodinného domu. V okolí zahrady je několik ovocných stromů a keřů. V bezprostřední vzdálenosti od vytvořených mělkých hrobů se však žádné stromy nevyskytují.

### 4.2 Experiment

Experiment zahrnoval dvě základní hloubky zakopání kadáverů. Polovina byla zakopána do hloubky 10 cm a druhá do 30 cm. Celý pokus se třikrát opakoval a bylo použito celkem šest kadáverů kura domácího (*Gallus gallus f. domestica* Linnaeus, 1758). Experiment byl založen formou samostatného bloku po třech kusech pro každou variantu. Všechna pokusná zvířata byla usmrcena stejnou metodou (zlomením vazy), aby byly minimalizovány rozdíly mezi variantami a opakováním pokusu. Hmotnost pokusných zvířat se pohybovala okolo 4 kg. Všech šest kadáverů bylo zakopáno ve stejném termínu (začátek května). Vykopání bylo provedeno vždy v měsíčním intervalu, z obou hloubek, po jednom kadáveru.

### 4.3 Příprava

Dne 2. května 2016 bylo vybráno vhodné místo pro uskutečnění experimentu a zároveň vykopáno šest hrobů. Tři do hloubky 10 cm a tři do 30 cm. Vzdálenost mezi jednotlivými hroby byla cca 1 metr. Dále bylo zajištěno šest kusů kadáverů, usmrcených v den zahájení experimentu. Následně byl do každého hrobu vložen jeden kadáver a zasypan zeminou. Na střed každého zakopaného hrobu byly umístěny tři menší kameny pro lepší lokalizaci hrobu. Jednotlivé hroby byly zakryty kusy pletiva, které zamezovaly přístupu různým obratlovcům (kočky, kuny, psi apod.) k postupně se rozkládajícímu kadáveru.



## **4.4 Odběr vzorků**

Dne 3. června 2016 bylo provedeno první vykopání dvou kadáverů, po jednom z hloubky 10 cm a 30 cm. Dne 6. července druhé a dne 14. srpna třetí vykopání, vždy stejným způsobem.

Odběr vzorků hmyzu byl proveden ve dvou fázích. Celý proces byl fotograficky dokumentován. V první fázi se vyhledával a následně třídil hmyz a jeho nižší vývojová stadia v půdním profilu nad kadáverem. Ve druhé fázi byl odebírán a tříděn hmyz a jeho nižší vývojová stadia přímo na těle a uvnitř kadáveru. Po vykopání kadáveru byly popsány tafonomické změny (stupeň rozkladu). Z každého vykopání byly zajištěny čtyři odběrové nádoby se vzorky hmyzu (dvě z půdy nad kadáverem a dvě přímo z těla). Odběrové nádoby, do kterých byli odebíráni dospělci a larvy hmyzu s výjimkou larev řádu Diptera, byly naplněny 70% denaturovaným etanolem ( $C_2H_5OH$ ). Nalezená puparia byla odebrána do samostatných odběrových nádob s děrovaným víčkem (zajišťující výměnu vzduchu), a ponechána živá pro následný laboratorní odchov. Veškerý zajištěný materiál byl do dvou až tří dnů převezen do Kriminologického ústavu v Praze, kde proběhl odchov živých vzorků do stadia imaga. Hmyz byl odchován v klimatické komoře Panasonic MLR-352H při teplotě 21 °C až 25 °C, relativní vlhkosti 50 % a světelném režimu 15:9 (světlo v intervalu 6.00–21.00).

Zajištěný i odchovaný entomologický materiál byl následně determinován. Determinaci zajištěného hmyzu a jeho vývojových stadií provedla plk. Ing. Hana Šuláková, Ph.D.

## **4.5 Hodnocení vzorků**

### **4.5.1 Vzorky hmyzu**

Hmyz byl statisticky vyhodnocen pomocí tabulek a grafů. Dále byl hmyz taxonomicky rozdělen a spočten.

### **4.5.2 Tafonomické změny na kadáverech**

V průběhu pokusu se zaznamenávaly tafonomické změny, které byly poté sepsány a rozděleny do skupin (celkový stav, stav peří, stav běháků, atd.).

## 4.6 Půdní profil

Dle získaných informací se na území, kde probíhal pokus (viz obrázek 1) zjistilo, že typologicky půda zapadá do kambizemě, přesněji do kategorie KAa (kambizem mesobazická) (viz obrázek 2).

Kambizem zapadá do referenční třídy Kambisoly. Kambisoly jsou nejrozšířenější referenční třídou půd České republiky. Jedná se o velice pestrou polymorfní skupinu půd, jejichž společným znakem je tzv. kambický horizont (horizont hnědnutí a tvorby jílu, který leží pod povrchovými organominerálními horizonty) (Cílek a kol., 2003).

Kambizem se vyskytuje v širokém rozpětí nadmořských výšek (od 300 do 1000 mn.m.). Jedná se o nejrozšířenější půdní typ, se kterým se můžeme setkat od nížin až po hory (Hladký, 2012).

Výskyt půd v takto širokém rozmezí klimatických a vegetačních podmínek určuje diference v akumulaci humusu a jeho kvalitě, ve vyluhování půdního profilu, zvětrávání, braunifikaci a v interakci s vlastnostmi substrátů (Němeček, 2001).

Široká škála substrátů a klimatických podmínek se odráží v nasycenosti sorpčního komplexu. Podle nasycenosti  $V_M$  v horizontu Bv můžeme půdy zařadit k eu- ( $V_M > 60\%$ ), meso- (60-35%) až oligobázickému ( $< 35\%$ ) stadiu. V diagnostice těchto stadií nám pomáhá nasycenost sorpčního komplexu výměnným hliníkem. Acidifikace se odráží i v nárůstu amorfního Feo a na pH závislé KVK (Němeček, 2001).

V tomto typu půdy dochází k silnému vnitřnímu zvětrávání, kdy se primární minerály v půdě mění na minerály sekundární. Tímto procesem je půda obohacena o velké množství jílu. Typické je také hnědnutí, kdy jsou půdní částice obarveny do odstínu hnědé v důsledku sloučenin železa, které jsou uvolňovány chemickými procesy (Hladký, 2012).

Rozbor půdy byl uskutečněn odebráním vzorků speciálními válečky v hloubce 10 cm a 30 cm, vždy v místě, kde byl uložen kadáver. Jednotlivé vlastnosti půdy (pH půdy, salinita, specifická hmotnost) vyhodnotil pomocí dat, která byla zajištěna z odebraných vzorků Ing. Miroslav Fér, Ph.d. Pro lepší orientaci ve výsledných datech, byla použita označení pro jednotlivá vykopání, a to TA (první vykopání), TB (druhé vykopání) a TC (třetí vykopání). Všechna tři vykopání se liší v různých vlastnostech půdy.

Půdní reakce se liší. U vody ( $H_2O$ ) se výrazně odlišuje vzorek TA s hodnotou 7,24 %, který spadá do skupiny reakce půdy slabě alkalická (viz Tabulka 1 Půdní reakce).

Naopak u chloridu sodného ( $KCl$ ) je diferentní TC s hodnotou 6,44 %, který řadíme do skupiny reakce půdy slabě kyselá (viz Tabulka č. 4 Půdní reakce).

Specifická hmotnost se u jednotlivých vzorků lišila minimálně. Výsledky se pohybují v rozmezí 2,57-2,62 g/cm<sup>3</sup> (viz Tabulka č. 5 Specifická hmotnost).

Z výsledků měření salinity vyplývá, že všechny tři naměřené hodnoty zapadají do třetího stupně zatížení půd solemi. Nejvyšší hodnota salinity byla naměřena u vzorku TC, a to (85,2 μS.cm<sup>-1</sup>), naopak nejnižší byla zjištěna u vzorku TA (74 μS.cm<sup>-1</sup>) (viz Tabulka č. 6 Salinita).

## 5 Výsledky

### 5.1 Tafonomické změny

#### 3.6. 2016-první vykopání (32 dní)

##### 1. hrob –10 cm

**Stav peří**– Obrysové peří lze snadno odtrhnout, prapory odpadávají

**Stav kůže** – Nepozměněný stav, pevná

**Stav běháků**– Nepozměněný stav

**Stav svalů**–Nepozměněný stav, normální zbarvení, kompaktní

**Celkový stav**–Kadáver soudržný, nerozpadá se, orgány v původním stavu

##### 2. hrob–30cm

**Stav peří**–Obrysové peří jde odtrhnout snadno, prapory uvolněné, samovolně odpadávají

**Stav kůže**–Nepozměněný stav, pevná

**Stav běháků**– Nepozměněný stav

**Stav svalů**– Nepozměněný stav, normální zbarvení, pevné

**Celkový stav**– Kadáver drží pohromadě, nerozpadá se, orgány v původním stavu

#### 6.7. 2016-druhé vykopání (33 dní)

##### 3. hrob–10 cm

**Stav peří**– Obrysové peří odpadá při manipulaci snadno, je velmi poškozené

**Stav kůže**– Lze ji roztrhnout, není pevná, rozpadá se

**Stav běháků**– Šupiny již odpadané, velmi poškozené, zaklazené, s již pohyblivými jedinci

**Stav svalů**– Nejsou pevné, změna konzistence na tekutou, svalovina je řidší, změna barvy na nazelenalou, oddělená od kosti

**Celkový stav**– Kadáver ztrácí soudržnost, končetiny uvolněné, odpadávají, přítomné tkáně vysušené

##### 4. hrob– 30cm

**Stav peří**–Obrysové peří odpadá při manipulaci snadno, je velmi poškozené, zaklazené

**Stav kůže**–Lze ji roztrhnout, není pevná, rozpadá se

**Stav běháků**– Šupiny již odpadané, velmi poškozené, zaklazené, s již pohyblivými jedinci

**Stav svalů**–Nejsou pevné, změna konzistence-tekuté, svalovina je řidší, změna barvy-nazelenalá, oddělená od kosti

**Celkový stav**– Kadáver není již kompaktní, končetiny jsou uvolněné a odpadávají, rozpadá se, bez tekutin

#### **14. 8. 2016 třetí vykopání (39 dní)**

5. hrob –10 cm

**Stav peří**– Obrysové peří již oddělené od kůže, je velmi poškozené, zaklazené i pohyblivými jedinci

**Stav kůže**–Lze ji roztrhnout, není pevná, často bez peří

**Stav běháků**– Kadáver bez běháků, pouze holé kosti

**Stav svalů**– Nejsou pevné, řídká tekutina, která již svaly nepřipomíná, oddělené od kostí

**Celkový stav**– Kadáver není kompaktní, končetiny bez svaloviny a peří, bez tekutin

6. hrob –30 cm

**Stav peří**– Obrysové peří již oddělení od kůže, je velmi poškozené, zaklazené i pohyblivými jedinci

**Stav kůže**–Lze ji roztrhnout, není pevná, často bez peří

**Stav běháků**– Kadáver bez běháků, pouze holé kosti

**Stav svalů**– Nejsou pevné, řídká tekutina, která již svaly nepřipomíná, oddělené od kostí

**Celkový stav** – Kadáver není již kompaktní, končetiny bez svaloviny a peří, nedrží u těla, rozpadá se, bez tekutin

## 5.2 Hmyz na kadáveru

Tabulka 1 3.6. 2016 - první vykopání

32 dní	3.6. 2016-první vykopání			
	1. Hrob (10 cm)		2. Hrob (30 cm)	
	Nad kadáverem	Na kadáveru	Nad kadáverem	Na kadáveru
<i>Muscina prolapsa</i>	1	1	0	0
Elateridae larvy	4	0	1	6
Staphylinidae imaga	1	0	0	0
Phoridae imaga	0	0	1	0

Tabulka 2 6.7. 2016 – druhé vykopání

33 dní	6.7. 2016-druhé vykopání			
	3. Hrob (10 cm)		4. Hrob (30 cm)	
	Nad kadáverem	Na kadáveru	Nad kadáverem	Na kadáveru
Acari	0	53	0	49
Staphylinidae imaga	2	0	4	0
Phoridae larvy	0	8	0	12
Phoridae imaga	5	0	0	0

Tabulka 3 14.8. 2016 – třetí vykopání

39 dní	14.8. 2016-třetí vykopání			
	5. Hrob (10 cm)		6. Hrob (30 cm)	
	Nad kadáverem	Na kadáveru	Nad kadáverem	Na kadáveru
<i>Hydrotaea</i> sp. puparium	1	0	0	0
Elateridae larvy	0	3	0	4
Staphylinidae larvy	1	16	1	9
Staphylinidae imaga	7	26	21	19
Phoridae larvy	0	22	2	32
Phoridae puparia	0	0	0	6
Phoridae imaga	4	5	3	9
Carabidae	1	0	0	0

Celkem bylo zajištěno 330 zástupců čeledi Staphylinidae (32,42 %), řádu Acari (30,91 %) a čeledí Phoridae (30 %), Elateridae (5,45 %), Muscidae (0,91 %) a Carabidae (0,3 %). Největší podíl tvoří čeleď Staphylinidae s počtem zástupců 107 ( 32,42 %), naopak nejnižší zastoupení můžeme vidět u čeledi Carabidae s 1 zástupcem ( 0,3 %).

V prvním hrobu o hloubce 10 cm byli nalezeni zástupci Elateridae (4 zástupci), Staphylinidae (1 zástupce) a Muscidae, konkrétně *Muscina prolapsa* (2 zástupci). Na kadáveru se vyskytoval pouze *Muscina prolapsa* (1 zástupce), zatímco nad kadáverem byly nalezeny početnější skupiny hmyzu a to Elateridae, Staphylinidae a *Muscina prolapsa*. Celkově převládala čeleď Elateridae (4 zástupci). Při vykopávání druhého hrobu o hloubce 30 cm se na rozdíl od 10 cm našli zástupci pouze dvou čeledí Elateridae (7 zástupců) a Phoridae (1 zástupce). Nad kadáverem byly objeveny Elateridae (1 zástupce) a Phoridae (1 zástupce) a na kadáveru pouze Elateridae (6 zástupců). Oproti prvnímu hrobu se ve druhém nevyskytuje žádný zástupce čeledi Muscidae. Celkově převládá čeleď Elateridae.

V druhém vykopávání bylo více nekroufauny než v prvním, také je znatelný rozdíl ve fauně, která osídlila kadáver nad i přímo na něm. Hmyz nalezený nad kadáverem je zastoupen

v menším počtu než zástupci hmyzu na kadáveru. Ve třetím hrobu o hloubce 10 cm se objevuje čeleď Phoridae (13 zástupců), Staphylinidae (2 zástupci) a oproti prvnímu vykopávání se zde vyskytuje i řád Acari (53 zástupců), který byl nalezen pouze na kadáveru. Také Phoridae (8 zástupců) byla nalezena na kadáveru, zatímco čeleď Staphylinidae se na kadáveru nevyskytovala. Naopak nad kadáverem nebyli nalezeni zástupci roztočů.

Ve čtvrtém hrobu o hloubce 30 cm byla nalezena téměř stejná fauna jako v hrobu třetím. Výjimku tvoří čeleď Staphylinidae, jejichž zástupci se vyskytovali na kadáveru (12 zástupců). Řád Acari je zastoupen pouze v tomto vykopávání.

Největší zastoupení čeledí je viditelné ve třetím vykopávání, kde převažuje Staphylinidae (100 zástupců), dále Phoridae (83 zástupců), Elateridae (7 zástupců), Muscidae (1 zástupce) a Carabidae (1 zástupce). V pátém hrobu s hloubkou 10 cm byl nalezen větší podíl fauny na kadáveru, ve které převažuje Staphylinidae (42 zástupců). Dále byla přítomna také čeleď Phoridae (27 zástupců) a Elateridae (3 zástupci). Nad kadáverem se fauna lišila o podčeleď Cicindelinae (Carabidae) (1 zástupce). Nalezen byl také *Hydrotaea* sp. (1 zástupce) z čeledi Muscidae, která se objevila již v prvním hrobu avšak s jiným zástupcem. Šestý hrob s hloubkou 30 cm se lišil od pátého větším zastoupením na i nad kadáverem. Na kadáveru se u obou hrobů vyskytovala podobná nekrofauna. Čeledi Staphylinidae (47 zástupců), Phoridae (28 zástupců) a Elateridae (4 zástupci). Nad kadáverem převažovala Staphylinidae (22 zástupců) a Phoridae (5 zástupců).

Čeleď Phoridae se vyskytovala v každém z vykopávání, nejvíce potom v pátém a šestém hrobu, tedy ve třetím vykopávání. Také zástupci Staphylinidae se vyskytovali ve všech vykopávání. Výjimku tvoří čtvrtý hrob na kadáveru, kde se jedinci Staphylinidae nevyskytovali. Naopak v šestém hrobu jich bylo nejvíce. Čeleď Elateridae byla zastoupena v druhém a šestém hrobu na kadáveru. Minimálně zastoupena byla čeleď Muscidae, kde se zástupci vyskytovali pouze v prvním vykopávání nad i na kadáveru a v pátém hrobu nad kadáverem.

Mělké a hluboké hroby se lišily zastoupením a množstvím hmyzu. Čeledi Staphylinidae (30,2 %), Elateridae (6,1 %), Phoridae (36,3 %) a řád Acari (27,4 %) se nacházeli v hlubokých hrobech, naopak fauna mělkých hrobů byla zastoupena čeleděmi Muscidae (2 %), Staphylinidae (35,1 %), Elateridae (4,6 %), Phoridae (22,5 %), Carabidae (0,7 %) a řád Acari (35,1 %). Celkový počet jedinců v mělkých hrobech byl 151 zástupců (45,75 %), naopak v hlubokých hrobech 179 zástupců (54,24 %).



## 6 Diskuze

Nejdůležitější hypotézou, kterou jsme dokazovali, bylo zda hloubka pohřbení a čas souvisí s parametry rozkladu kadáverů. Dle Šulákové (2014) je rozklad zahrabaného kadáveru zpomalený a hmyz zde zůstává po dobu až desítek generací. To, že je rozklad zahrabaného kadáveru pomalejší než volně exponovaného potvrzují i autoři Smith (1986) a Daňek (1990), který dodává, že i činnost hmyzu je pomalejší.

Potvrdilo se tvrzení Eliášové a Šulákové (2012) a Smitha (1986), že je možné na pohřbeném kadáveru nalézt čeledi Muscidae, Phoridae a Staphylinidae, která v experimentu představovala dominantní faunu (32,42 %). Nepotvrdilo se tvrzení Smitha (1986), že součástí nekrofauny na pohřbených kadáverech se vyskytují zástupci čeledi Rhizophagidae, protože v našem pokusu nalezeni nebyli. Vysvětlením může být skutečnost, že Smith (1986) uvádí vyšší četnost této čeledě řádově po půl roce až roce rozkladu, zatímco realizovaný experiment byl ukončen po třech měsících expozice. Přítomnost čeledi Rhizophagidae se s ohledem na tuto skutečnost nemusela v takto krátkém časovém horizontu projevit.

Na základě výsledků experimentu se potvrdil výrok Smithe (1986) a Daňka (1990), že Calliphoridae, kteří jsou hlavním dekompozítorem volně exponovaných mrtvol, mohou být zcela vyloučeny u zakopaných mrtvol. V hloubkách zakopání, které byly použity v experimentu (10 cm a 30 cm), nebyli zaznamenáni žádní zástupci této čeledi.

V experimentu byli nalezeni jedinci čeledi Muscidae (larvy *Muscina prolapsa* a puparium *Hydrotaea* sp.) pouze nad kadáverem, tedy v povrchové vrstvě. Tento fakt indikuje skutečnost, že v době vykopání byl vývin jedinců této čeledi na kadáveru již ukončen a larvy migrovaly k povrchu za účelem kuklení (*Muscina prolapsa*), nebo byly již zaklukleny (*Hydrotaea* sp.). Tento fakt se shoduje s tvrzením Lundta (1964), který ve svých výsledcích z pokusu zmiňuje nález čeledi Muscidae ve vrchní vrstvě. Nelze potvrdit tvrzení Eliášové a Šulákové (2012), že na pohřbených kadáverech jsou Muscidae hlavními dekompozitory a dominantní čeledí ze všech členovců, protože v experimentu byly zachyceny pouze dvě larvy *Muscina prolapsa* a jedno puparium *Hydrotaea* sp., zatímco převažoval řád Acari a čeleď Staphylinidae se stejným procentuálním zastoupením (35,1 %). Čeledě Phoridae a Staphylinidae se vyskytovaly ve větších hloubkách, což odpovídá údajům, které uvádí Lundt (1964). Experimentem bylo potvrzeno tvrzení Povolného (1978) a Daňka (1990), kteří zmiňují, že se čeleď Phoridae dokáže prohrabat přes půdu a tím se dostat do hloubky 30-50 cm. V hrobech, které byly hluboké 30 cm převládala právě čeleď Phoridae (36,3 %). Výskyt čeledi Carabidae, která byla v experimentu nalezena v zastoupení 0,3 %, což je nejméně ze

všech nalezených čeledí, odpovídá tvzření Smithe (1986), který uvádí, že zástupci této čeledi mohou být přítomni na mršině, ale celkově je jejich význam menší než např. u Staphylinidae. Lze předpokládat větší zastoupení larev této skupiny brouků při delším trvání experimentu.

V experimentu bylo nalezeno mnoho zástupců řádu Acari, ale pouze při druhém vykopání (expozice dva měsíce). V tomto případě se výsledky shodují s tvrzením Daňka (1990), který uvádí, že Acari jsou zastoupeni na mrtvole již druhý den, poté co se začínají vytvářet páchnoucí plynné látky (Daněk, 1990).

Důležitým aspektem při pokusu bylo také počasí. Reiter (1984) udává, že při vyšších teplotách rostou larvy rychleji, naopak při nízkých jsou larvy menší. Toto tvrzení nebylo možné experimentem potvrdit, ani vyvrátit, protože teploty se pohybovaly v relativně optimálním rozmezí potřebném k vývinu hmyzu.

Dominantní čeledí v experimentu byla Staphylinidae. Čeď Phoridae byla až na druhé vykopávání zastoupena v hojném počtu v hloubce 10 cm i 30 cm, což se shoduje s tvrzením Bourela (2004), který ve své práci udává, že je tato čeď typickým kolonizátorem pohřbených kadáverů.

## 7 Závěr

- Poznatky o rozkladu kadáveru pohřbeného v různých hloubkách půdy zjištěné studiem literatury byly ověřeny terénním experimentem, při kterém byly zakopány kadávery slepic do dvou rozdílných hloubek, 10 cm a 30 cm, a ve třech měsíčních intervalech byl zhodnocen jejich rozklad.
- V provedeném experimentu byla nejpočetněji zastoupena čeleď Staphylinidae.
- Experiment nám pomohl popsat tafonomické změny na kadáverech.
- Potvrdilo se, že hloubka půdního profilu, je velice důležitá pro sukcesi hmyzu a také, že vrstva půdy zpomeluje rozklad.
- Nejvíce nekrofauny bylo zaznamenáno v hrobech o hloubce 30 cm, kde převládala čeleď Phoridae (65 zástupců).
- V hrobech o hloubce 10 cm se vyskytovalo méně hmyzu. Nejpočetněji byl zastoupen řád Acari (53 zástupců) a čeleď Staphylinidae (53 zástupců).
- Vykopávání kadáverů v různých měsících nezaznamenalo značné odlišení fauny. Pro tuto skutečnost by bylo nutné provést experiment v delším časovém úseku.
- Literární rešerší a terénním experimentem byla potvrzena hypotéza, že hloubka půdního profilu a interval pohřbení ovlivňují parametry rozkladu kadáverů hmyzem.

## 8 Seznam použité literatury

- Barták, M., Vaněk, J., Hlavová, A., Hlava, J. 2013. Moučovítí (Diptera, Muscidae) české části Krkonoš. *Opera Corcontica*. 50 (4). 151-170.
- Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International*. 120. 2-14.
- Boháč, J. 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 74. 357-372.
- Boháč, J., Matějček, J., Rous, R. 2007. Check-list of staphylinid beetles (Coleoptera, Staphylinidae) of the Czech Republic and the division of species according to their ecological characteristics and sensitivity to human influence. *Časopis Slezského Zemského muzea (A)*. 56. 227-276.
- Bornemissza, G. F. 1957. An analysis of arthropod succession in carrion and the effect of its decomposition on the soil fauna. *Australian Journal of Zoology*. 5. 1-12.
- Bourel, B., Tournel, G., Hédouin, V., Gosset, D. 2004. Entomofauna of buried bodies in northern France. *International Journal of Legal Medicine*. 118. 215-220.
- Byrd, J. H., Castner J. L. 2009. *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. 2nd ed. CRC Press. 705 p.
- Centeno, N., Maldonado, M., Oliva, A. 2002. Seasonal patterns of arthropods occurring on sheltered and unsheltered pig carcasse in Buenos Aires Province. *Forensic Science International*. 126 (1). 63-70.
- Cílek, V., Kubíková, J., Ložek, V. 2003. *Střední Čechy: Příroda, člověk, krajina. Dokořán. Střední Čechy*. 127 s. ISBN: 8086569403.
- Clements, F. E. 1916. *Plant Succession, An Analysis of the Development of Vegetation*. Carnegie Institute. 242. 512 pp.

- Costa, C., Rosa, S. P. Elateridae [online]. Tree of life. 26. Února 2011. [cit. 2017-3-21].
- Daněk, L. 1990. Možnosti využití entomologie v kriminalistice. Kriminalistický ústav VB. Praha. 1-144.
- Eliášová, H., Šuláková, H. 2012. Forezní biologie. In: Štefan, J., Hladík, J. a kol. Soudní lékařství a jeho moderní trendy. Grada Publishing. Praha. 281-325. ISBN: 9788024735948.
- Fuller, M.E. 1934. The insect inhabitants of carrion: a study in animal ecology. Bulletin of the Council for Scientific and Industrial Research. 82. 1-62.
- Gennard, E. D. 2007. Forensic Entomology: An Introduction. Wiley. 23-25.
- Gunn, A. 2016. The colonisation of remains by the muscid flies *Muscina stabulans* (Fallen) and *Muscina prolapsa* (Harris) (Diptera: Muscidae). Forensic science international. 266. 349-356.
- Haglund, W. D., Sorg, M. H. 1996. Forensic taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains. CRC Press. USA. 668 s. ISBN: 9780849394348.
- Hladký, J. Typy půd [online]. Příroda. 13. února 2012 [cit. 2017-3-11].
- Hrdinová, M., Šuláková, H., Barták, M. 2013. Využití čeledi Piophilidae (Diptera) ve forezní praxi. In: Kubík, Š., Barták, M., (eds): Workshop on biodiversity, Jevany. Česká zemědělská univerzita v Praze. 170-184.
- Knipling, E. B., Sullivan, W. N. 1957. Insect mortality at low temperatures. Journal of Economic Entomology. 50. 368-369.
- Laupy, M. 1994. Post mortem interval a nekrofilní mouchy. Kriminalistika. 27 (2). 121 – 135.
- Lundt, H. 1964. Ecological observations about the invasion of insect into carcasses buried in soil. Pedobiologia. 4. 158-180.

- Mariani, R., García-Mancuso, R., Varela, G. L., Inda A. M. 2014. Entomofauna of a buried body: study of the exhumation a human cadaver in Buenos Aires, Argentina. *Forensic Science International*. 237 (2014). 19-26.
- Matuszewski, S., Fraczak, K., Konwerski, S., Bajerlein, D., Szpila, K., Jarmusz, M., Szafalowicz, M., Grzywacz, A., Madra, A. 2016. Effect of body mass and clothing on carrion entomofauna. *International Journal of Legal Medicine*. 130 (1). 221-232.
- Mégnin, P. 1894. La faune de cadavres. Application de l'entomologie a la médecine légale. *Encyclopedie scientifique des Aides-Mémoire*. 215 pp.
- Mocek, H. 2009. Phoridae Latreille, 1796. In: Jedlička, L., Kúdela, M. & Stloukalová V. (eds.): Checklist of Diptera of the Czech Republic and Slovakia. Electronic version 2 <http://www.edvis.sk/diptera2009/families/phoridae.htm>.
- Němeček, J. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita. Praha. 79 s. ISBN: 8023880616.
- Obenberger, J. 1953. Hmyz a kriminalistika. *Knihnice snb pro kriminalistiku*. 2 (3).70-81.
- Payne, J. A., King, E. W., Beinhart, G. 1968. Anthropol succession and decomposition of buried pigs. *Nature*. 219 (5159). 1180-1181.
- Povolný, D. 1978. Hmyz v kriminologii. *Vesmír*. 57 (7). 205-208.
- Povolný, D. 1982. Několik úvah o osudech mrtvol obratlovců v přírodě. *Živa*. 24-28.
- Reiter, C. 1984. Zum Wachstumsverhalten der Maden der blauen Schmeissfliege *Calliphora vicina*. *Zeitschrift fur Rechtsmedizin*. 91. 295-308.
- Rodriguez, W. C., Bass, W. M. 1985. Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. *Journal of Forensic Sciences*. 30 (3). 836-852.

Smith, K. G. V. 1986. A Manual of Forensic Entomology. The Trustees of British Museum (Natural History). London. 196 p. ISBN: 0565009907.

Šuláková, H. 2014. Forezní entomologie - když smrt je začátek. *Živa*, 5. 250-256.

Šuláková, H., Barták, M., Vaněk, J. 2014. Bzučivkovití (Diptera, Calliphoridae) české části Krkonoš. *Opera Corcontica*. 51. 165-176.

Turner, B., Wiltshire, P. 1999. Experimental validation of forensic evidence: a study of decomposition of buried pigs in heavy clay soil. *Forensic Science International*. 101 (2). 113-122.

## 9 Seznam příloh

Obrázek 1 Poloha pokusu

Obrázek 2 Mapa půdního profilu v okolí, kde probíhal experiment

Obrázek 3 Nález na kadáveru: Samice *Calliphora vicina* (Calliphoridae, Diptera)

Obrázek 4 Nález na kadáveru: *Philonthus spinipes* (Staphylinidae, Coleoptera) a larvy drabčičků (Staphylinidae sp., Coleoptera)

Obrázek 5 Nález na kadáveru: Larvy hrbílek (Phoridae sp., Diptera) a *Philonthus spiripes* (Staphylinidae, Coleoptera)

Obrázek 6 Nález na kadáveru: *Philonthus spiripes* (Staphylinidae, Coleoptera), larvy hrbílek (Phoridae sp., Diptera) a roztoči (Acarina)

Graf č. 1 Celkové zastoupení čeledí, které byly během experimentu nalezeny

Graf č. 2 Přehled čeledí nalezených v hrobech o hloubce 10 cm ve všech třech opakování

Graf č. 3 Přehled čeledí nalezených v hrobech o hloubce 30 cm ve všech třech opakování

Graf č. 4 Přehled čeledí nalezených při prvním vykopávání kadáveru v hloubce 10 cm

Graf č. 5 Přehled čeledí nalezených při prvním vykopávání kadáveru v hloubce 30 cm

Graf č. 6 Přehled čeledí nalezených při druhém vykopávání kadáveru v hloubce 10 cm

Graf č. 7 Přehled čeledí nalezených při druhém vykopávání kadáveru v hloubce 30 cm

Graf č. 8 Přehled čeledí nalezených při třetím vykopávání kadáveru v hloubce 10 cm

Graf č. 9 Přehled čeledí nalezených při třetím vykopávání kadáveru v hloubce 30 cm

Graf č.10 Půdní reakce (%)

Graf č.11 Specifická hmotnost ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Graf č.12 Salinita ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

Tabulka č. 4 Půdní reakce (%)

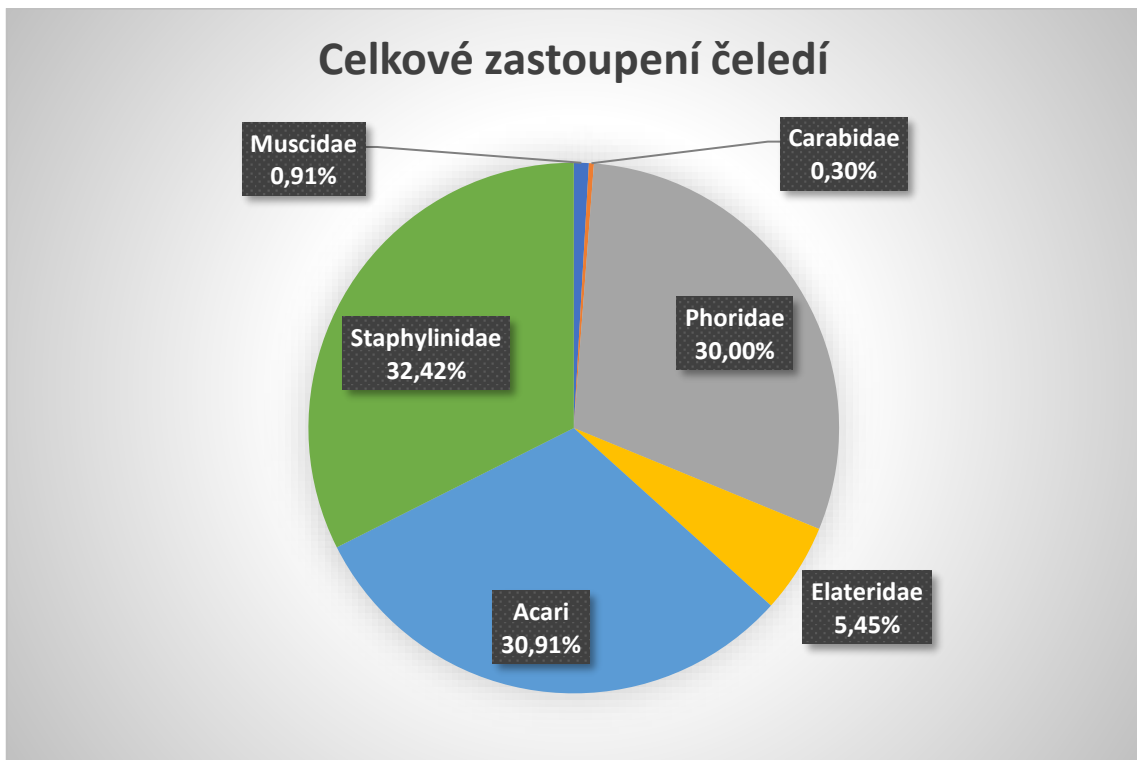
Tabulka č. 5 Specifická hmotnost ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Tabulka č. 6 Salinita ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

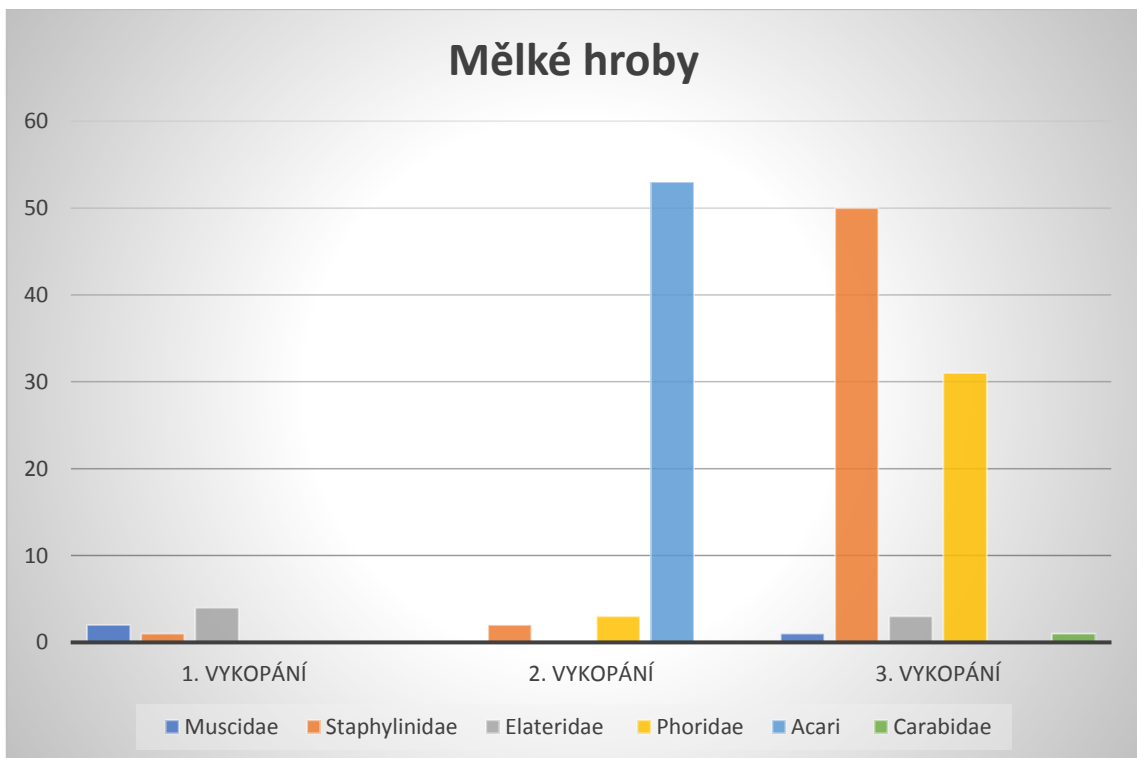




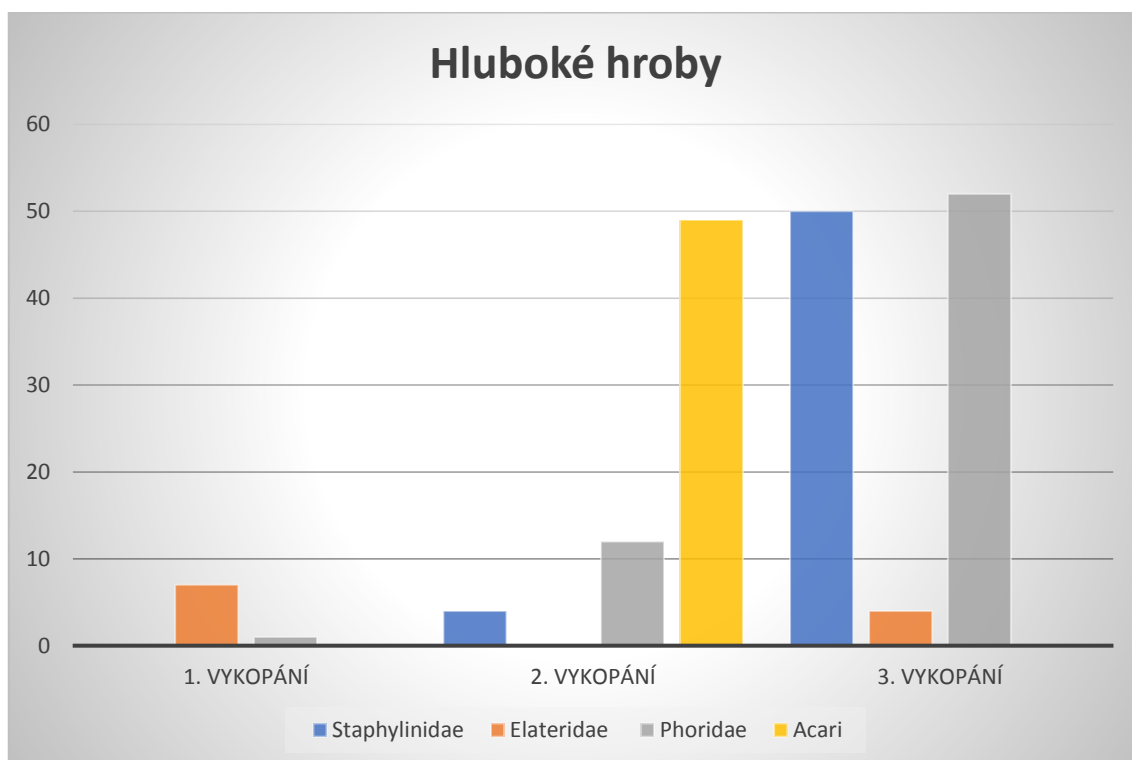
Graf č. 1 Celkové zastoupení čeledí a řádu, které byly během experimentu nalezeny



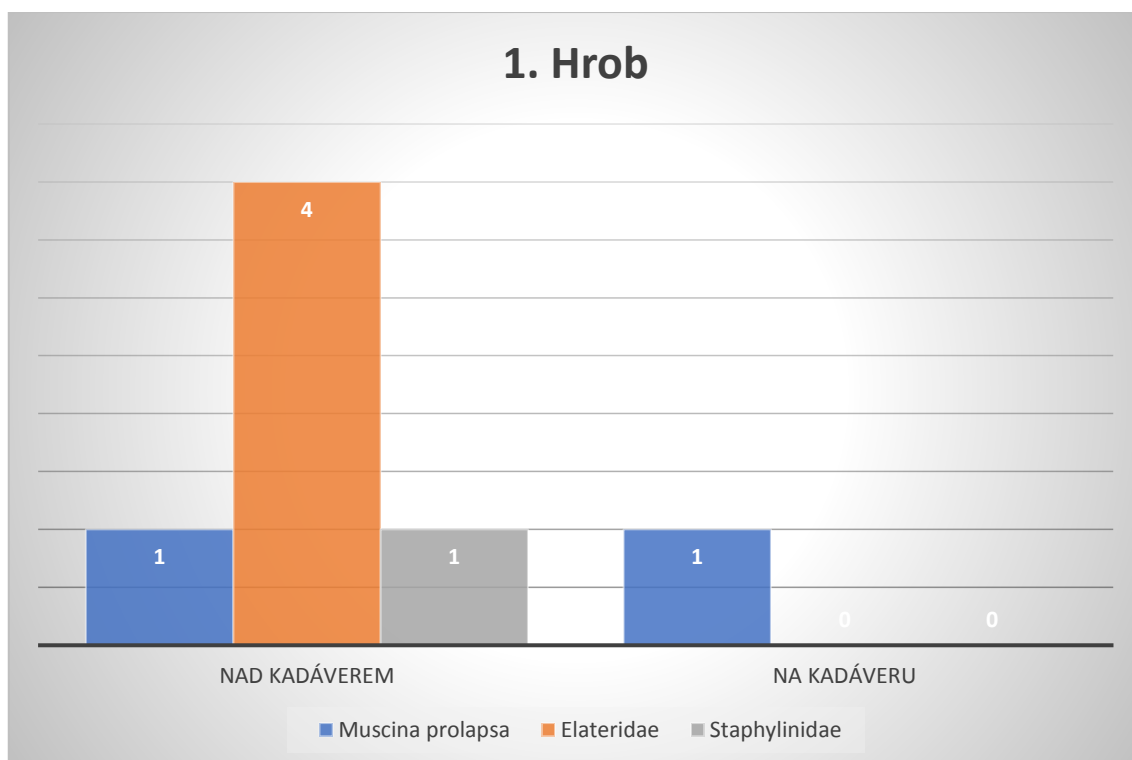
Graf č. 2 Přehled čeledí nelezenců v hrobech o hloubce 10 cm ve všech třech opakování



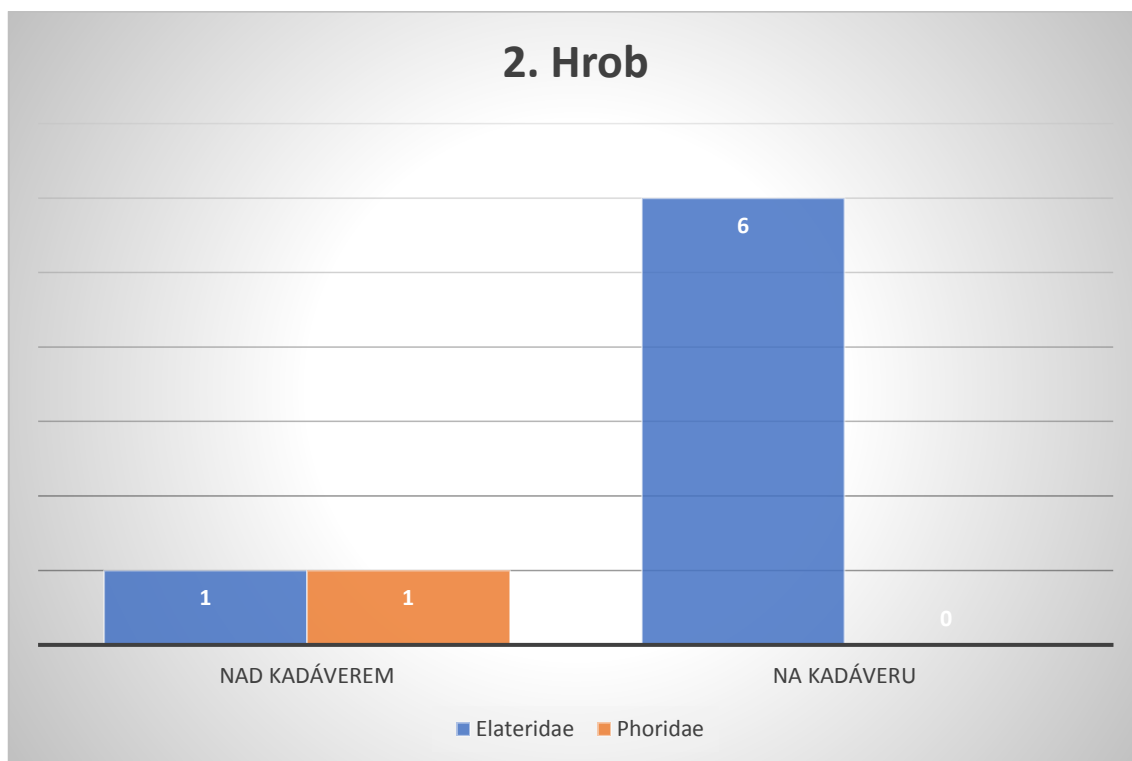
Graf č. 3 Přehled řádu a čeledí nezezených v hrobech o hloubce 30 cm ve všech třech opakování



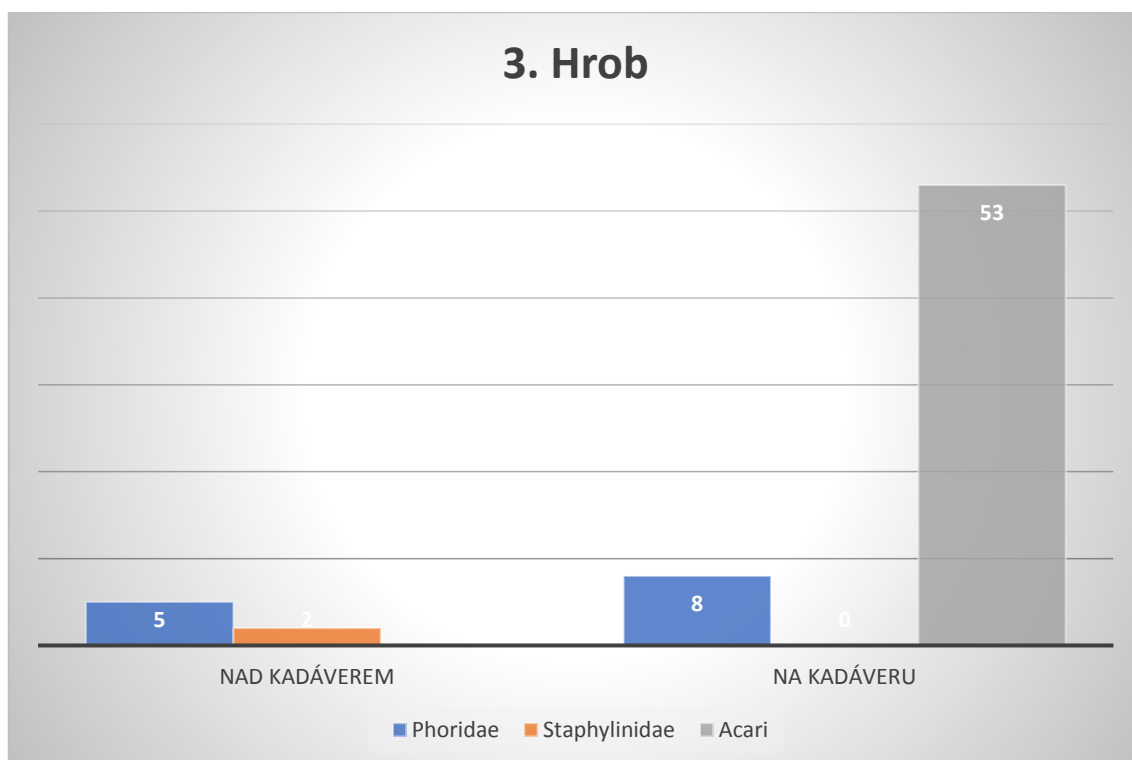
Graf č. 4 Přehled čeledí nalezených při prvním vykopávání kadáveru v hloubce 10 cm



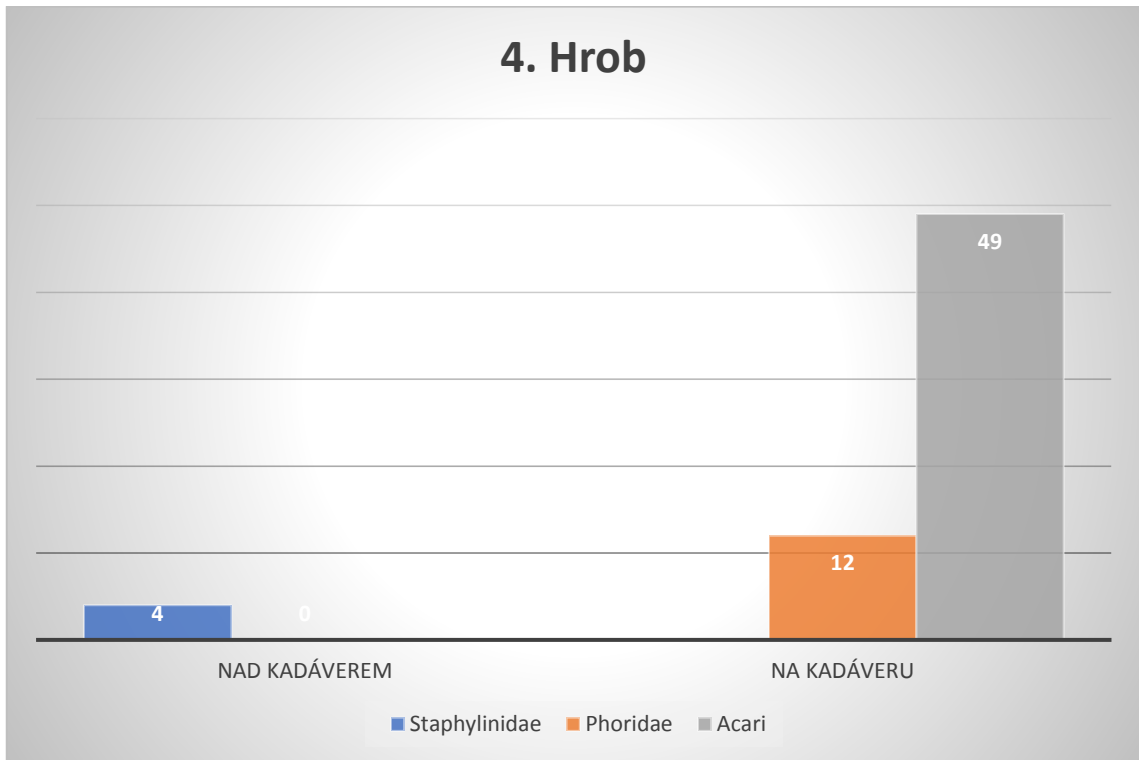
Graf č. 5 Přehled čeledí nalezených při prvním vykopávání kadáveru v hloubce 30 cm



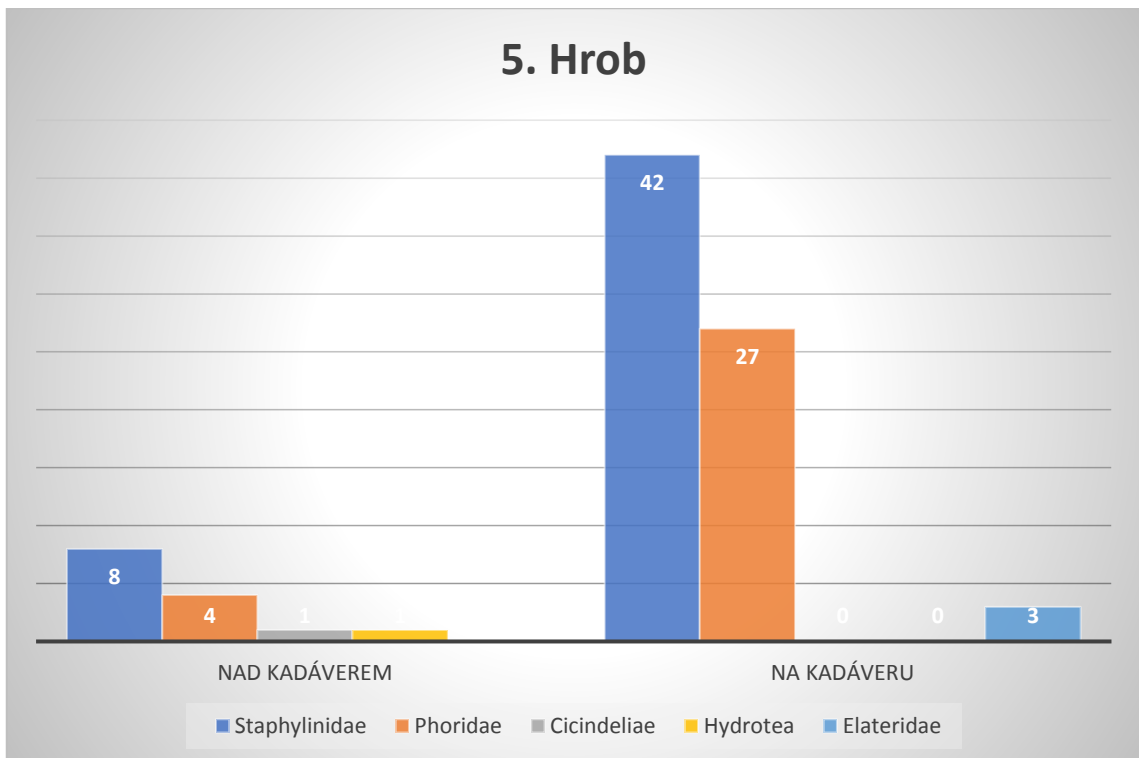
Graf č. 6 Přehled řádu a čeledí nalezených ve druhém vykopávání kadáveru v hloubce 10 cm



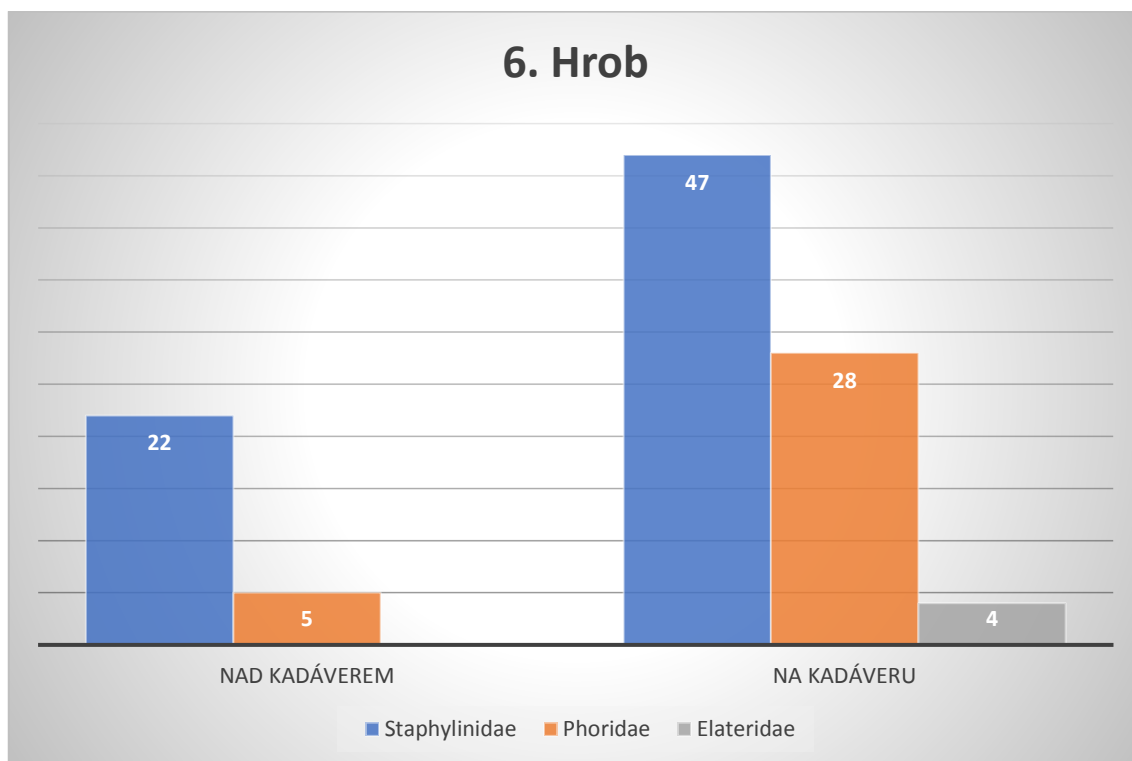
Graf č. 7 Přehled řádu a čeledí nalezených ve druhém vykopávání kadáveru v hloubce 30 cm



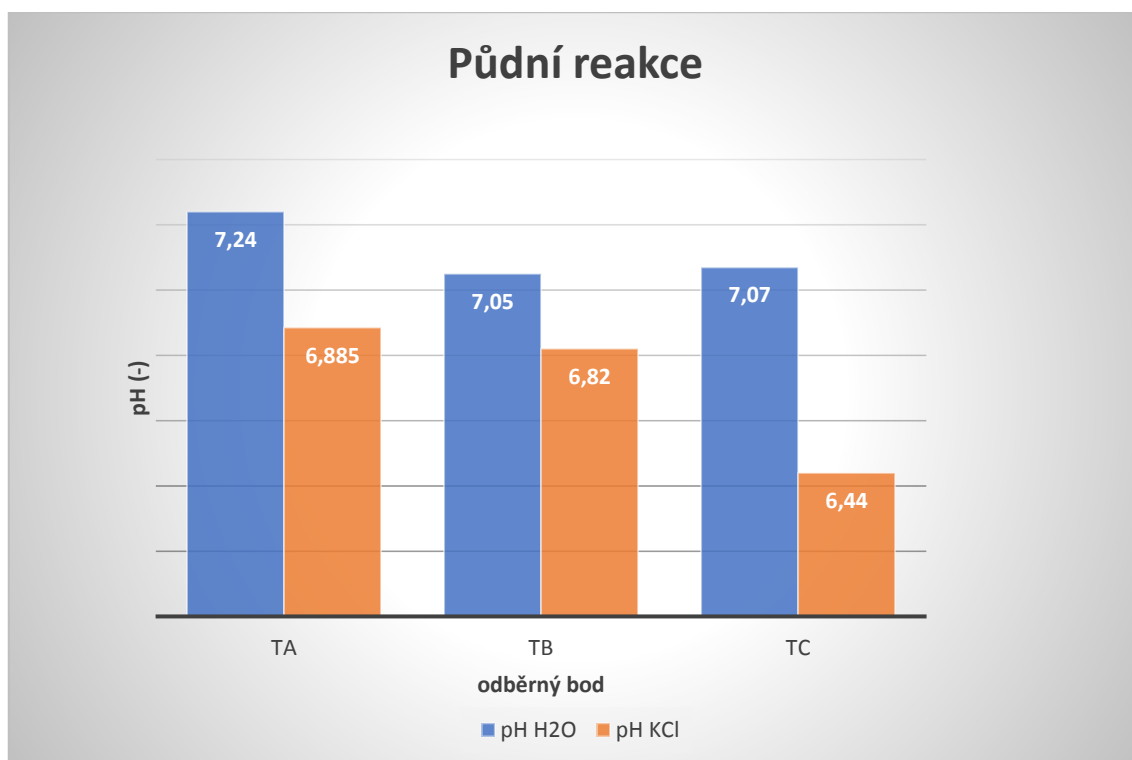
Graf č. 8 Přehled čeledí nalezených ve třetím vykopávání kadáveru v hloubce 10 cm



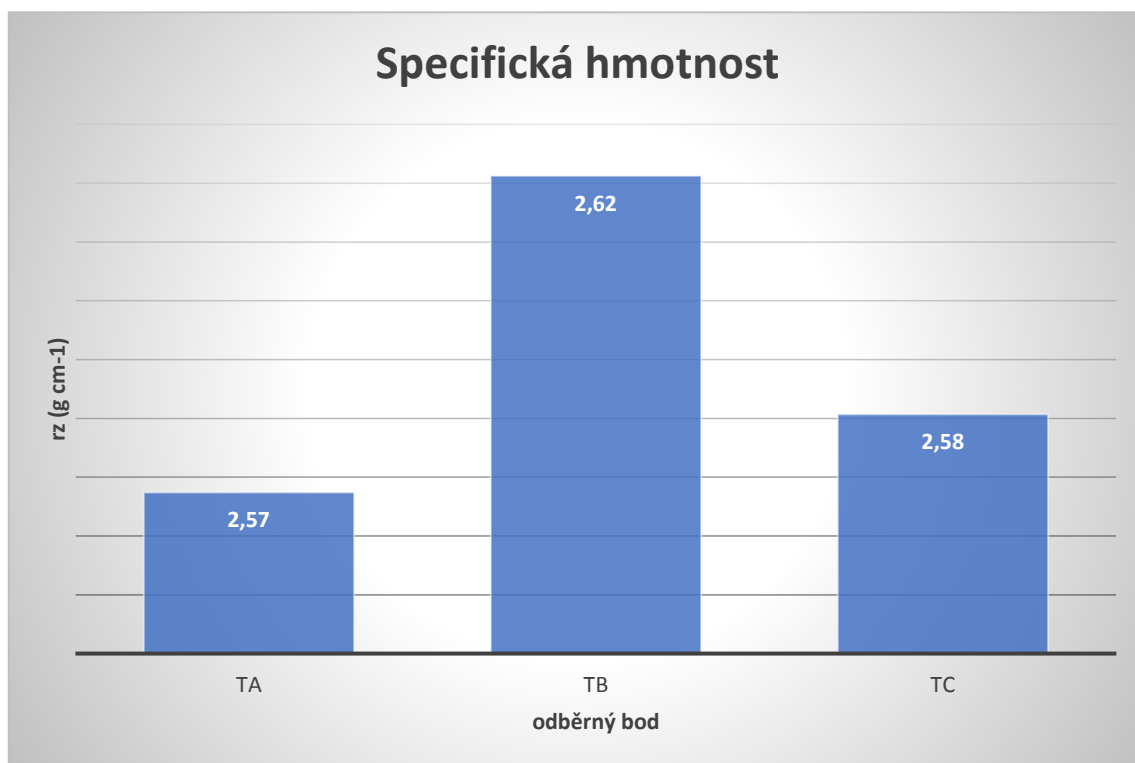
Graf č. 9 Přehled čeledí nalezených ve třetím vykopávání kadáveru v hloubce 30 cm



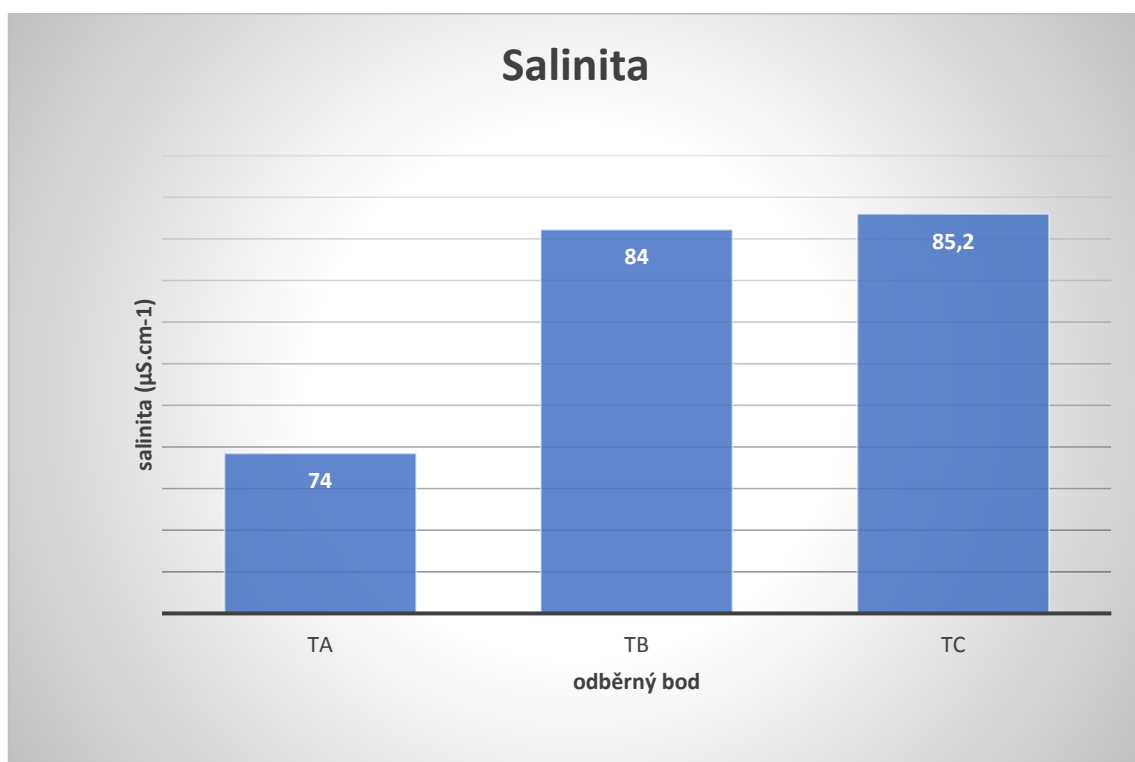
Graf č. 10 Půdní reakce (%)



Graf č. 11 Specifická hmotnost ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )



Graf č. 12 Salinita ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )



*Tabulka 4 Půdní reakce*

Vzorek/Odběrný bod	H <sub>2</sub> O	KCl
<b>TA</b>	7,24	6,885
<b>TB</b>	7,05	6,82
<b>TC</b>	7,07	6,44

*Tabulka 5 Specifická hmotnost*

Vzorek/Odběrný bod	Specifická hmotnost
<b>TA</b>	2,57
<b>TB</b>	2,62
<b>TC</b>	2,58

*Tabulka 6 Salinita*

Vzorek/Odběrný bod	Salinita
<b>TA</b>	74
<b>TB</b>	84
<b>TC</b>	85,2



Obrázek 3 Nález na kadáveru: Samice *Calliphora vicina* (*Calliphoridae*, *Diptera*)



Obrázek 4 Nález na kadáveru: *Philonthus spinipes* (*Staphylinidae*, *Coleoptera*) a larvy drabčků (*Staphylinidae* sp., *Coleoptera*)



Obrázek 5 Nález na kadáveru: Larvy hrbilek (*Phoridae* sp., *Diptera*) a *Philonthus spinipes* (*Staphylinidae*, *Coleoptera*)



Obrázek 6 Nález na kadáveru: *Philonthus spinipes* (*Staphylinidae*, *Coleoptera*), larvy hrbilek (*Phoridae* sp., *Diptera*) a roztoči (*Acarina*)

