

WYDZIAŁ BIOLOGII
UNIwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

MATEUSZ JARMUSZ

**ROZKŁAD ZWŁOK I SUKCESJA OWADÓW (DIPTERA, COLEOPTERA)
NA POWIESZONYCH ZWŁOKACH ŚWINI DOMOWEJ (*SUS SCROFA*
DOMESTICA L.) W ŚRODOWISKU LEŚNYM WIELKOPOLSKI**

PRACA DOKTORSKA

PROMOTOR: PROF. DR HAB. WOJCIECH NIEDBAŁA

PROMOTOR POMOCNICZY: DR HAB. DARIA BAJERLEIN

PRACA WYKONANA W ZAKŁADZIE TAKSONOMII I EKOLOGII ZWIERZĄT

INSTYTUTU BIOLOGII ŚRODOWISKA, WYDZIAŁU BIOLOGII

UNIwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

POZNAŃ, 2018 ROK

Spis treści

Streszczenie w języku polskim	6
Streszczenie w języku angielskim (Abstract)	7
Wstęp	8
1. Stan poznania procesu rozkładu zwłok oraz zjawiska sukcesji owadów na zwłokach	11
1.1. Badania na świecie.....	11
1.2. Badania w Polsce	12
2. Cele badań.....	14
3. Materiał i metody	15
3.1. Charakterystyka terenu badań.....	15
3.2. Plan eksperymentu	16
3.2.1. Okres badawczy	16
3.2.2. Sposób postępowania ze zwłokami.....	17
3.2.3. Odłów owadów	19
3.2.4. Procedura oględzin zwłok.....	20
3.2.5. Identyfikacja zebranego materiału entomologicznego	22
3.3. Badanie procesu rozkładu zwłok	23
3.3.1. Procesy rozkładu oraz tempo rozkładu zwłok	23
3.3.2. Metoda TBS (Total Body Score)	25
3.4. Dane temperaturowe	26
3.5. Metody analizy danych	28
3.5.1. Procesy rozkładu oraz tempo rozkładu zwłok	28
3.5.2. Skład gatunkowy entomofauny zwłok powieszonych	28
3.5.3. Gatunki wskaźnikowe czasu śmierci dla zwłok powieszonych.....	29
3.5.4. Modele sukcesji owadów na zwłokach powieszonych	32

4. Wyniki – Rozkład zwłok powieszonych.....	33
4.1. Przebieg rozkładu zwłok powieszonych	33
4.1.1. Wzdęcie zwłok.....	33
4.1.2. Aktywny rozkład zwłok	36
4.1.3. Zaawansowany rozkład zwłok	40
4.1.4. Matryce rozkładu zwłok powieszonych.....	43
4.2. Wartości TBS (Total Body Score)	47
4.3. Wpływ temperatury powietrza na rozkład zwłok	49
5. Dyskusja – Rozkład zwłok powieszonych.....	51
6. Wyniki – Sukcesja owadów na zwłokach powieszonych.....	57
6.1. Entomofauna zwłok powieszonych	57
6.2. Porównanie liczebności oraz czasu pojawu owadów nekrofilnych na zwłokach powieszonych oraz na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi.....	62
6.3. Gatunki wskaźnikowe czasu śmierci dla zwłok powieszonych.....	68
6.3.1. Czas obecności (CO) gatunków owadów na zwłokach powieszonych	68
6.3.2. Przerwy w czasie przebywania (LP) gatunków owadów na zwłokach powieszonych.....	69
6.3.3. Najdłuższy nieprzerwany czas obecności (NNCO) gatunków owadów na zwłokach powieszonych.....	71
6.3.4. Zależność między pierwszym dniem pojawu gatunków nekrofilnych i rozpoczęciem poszczególnych procesów rozkładu.....	72
6.4. Modele sukcesji owadów na zwłokach powieszonych	76
7. Dyskusja – Sukcesja owadów na zwłokach powieszonych	80
8. Podsumowanie	89
9. Podziękowania	93
10. Bibliografia	94

11. Dodatek	103
11.1. Wykaz gatunków muchówek oraz chrząszczy odłowionych przy pomocy pułapek ziemnych.....	103
11.2. Wykaz gatunków muchówek oraz chrząszczy odłowionych manualnie oraz przy pomocy siatki entomologicznej.....	114
11.3. Przebieg procesu rozkładu zwłok powieszonych oraz zwłok kontrolnych w poszczególnych porach roku oraz w poszczególnych latach	114

Dla Mamy

Streszczenie w języku polskim

Badanie zjawisk zachodzących na padlinie może zarówno dostarczyć informacji na temat biologii i ekologii bezkręgowców, jak i mieć charakter aplikacyjny pozwalający na ocenę możliwości wykorzystania tej wiedzy do szacowania czasu zgonu. Do tej pory na świecie przeprowadzono nieliczne eksperymenty nad rozkładem i sukcesją owadów na zwłokach powieszonych. Nie prowadzono tego typu badań na obszarze klimatu umiarkowanego.

Celem pracy było poznanie rozkładu zwłok oraz sukcesji owadów na powieszonych zwłokach świni domowej (*Sus scrofa domestica* L.) w różnych porach roku w warunkach leśnych Wielkopolski. Cel ten osiągnięty został poprzez: 1) poznanie czasu rozpoczęcia oraz długości trwania procesów rozkładu zwłok powieszonych, 2) scharakteryzowanie entomofauny zwłok powieszonych - poznanie składu gatunkowego owadów nekrofilnych, ich liczebności oraz wzorca ich występowania na zwłokach (czas i kolejność pojawu, długość przebywania), 3) opracowanie matrycy dziennej obecności owadów na zwłokach i określenie możliwości wykorzystania stwierdzonych gatunków owadów jako wskaźników czasu zgonu. Przebieg procesów rozkładu oraz sukcesji owadów na zwłokach powieszonych został także porównany z przebiegiem tych procesów na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi.

Przeprowadzone badania wykazały, że rozkład zwłok powieszonych przebiega mozaikowo i odnotowano trzy procesy rozkładu: wzdęcie zwłok, aktywny oraz zaawansowany rozkład. Wyniki badań pokazały, że największe różnice w rozkładzie oraz w sukcesji owadów na zwłokach powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi można zaobserwować wiosną. W tej porze roku rozpoczęcie wzdęcia i aktywnego rozkładu oraz pojawienie się osobników wielu gatunków owadów obserwowano wcześniej na zwłokach powieszonych. Stwierdzono również, że różnice w rozkładzie oraz czasie pojawu owadów między zwłokami powieszonymi i eksponowanymi na powierzchni ziemi są mniejsze im wyższa jest temperatura otoczenia. Zwłoki powieszone przyciągały więcej gatunków oraz większą liczbę owadów niż zwłoki eksponowane na powierzchni ziemi. Ustalono, że gatunkami najbardziej przydatnymi do szacowania czasu zgonu w przypadku zwłok powieszonych są larwy muchówek *Phormia regina* Meigen, 1826, *Lucilia caesar* (Linnaeus, 1758) i *Hydrotaea similis* Meade, 1887 oraz chrząszcza *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758).

Otrzymane wyniki mają znaczenie zarówno podstawowe, ponieważ dostarczają nowych informacji na temat ekologii nekrofilnych gatunków owadów, jak również aplikacyjne, z uwagi na to, że mogą być w przyszłości wykorzystywane w kryminalistyce do szacowania czasu zgonu.

Streszczenie w języku angielskim (Abstract)

Research carried out on carcasses can provide plenty information on the biology and ecology of invertebrates. This knowledge could also be applied in forensic sciences for estimation of time of death. So far, only few experiments on decomposition and insect succession on hanged carcasses have been conducted worldwide and none of them have been carried out in temperate climate conditions.

The aim of the research was to study decomposition and insect succession on hanged pig carcasses (*Sus scrofa domestica* L.) according to season in forest habitat of Wielkopolska region. This aim has been achieved by: 1) studying onset and duration of decomposition processes which can be observed on hanged carcasses, 2) studying entomofauna of hanged carcasses including species composition, number of insects and patterns of insect occurrence on carcasses (time and sequence of appearance, time of residency), 3) creation of insect daily presence matrices and evaluation of the possibility of using insects as indicator species of time of death. Comparison of decomposition and insect succession between hanged and exposed carcasses was also made.

Conducted research have shown that decomposition of hanged carcasses has a mosaic nature and three processes of decomposition were noted: bloating, active decay, advanced decay. The results revealed that the most significant differences between hanged and exposed carcasses can be observed during spring. In this season bloating, active decay and individuals of numerous insect species were observed earlier on hanged carcasses. Differences in carcass decomposition and insect succession between these two types of carcasses were less significant when ambient temperature was higher. Hanged carcasses attracted more species and more insects individuals than carcasses exposed on the ground. It was found that for hanged carcasses the most suitable forensic indicators of time of death were larvae of flies *Phormia regina* Meigen, 1826, *Lucilia caesar* (Linnaeus, 1758), *Hydrotaea similis* Meade, 1887 and beetle *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758).

Results of this study have fundamental significance as they provide new information about ecology of necrophilous species of insects, as well as applied significance because of their potential future use in forensic sciences for estimating the time of death.

Wstęp

Trwanie życia na Ziemi jest uzależnione od dostępności pierwiastków biogennych, których ilość w biosferze jest ograniczona. W związku z tym, jednym z najważniejszych procesów zachodzących w ekosystemach jest odzyskiwanie tych pierwiastków z martwej materii organicznej (Weiner 1999). Proces ten możliwy jest dzięki organizmom rozkładającym złożone związki organiczne na proste związki nieorganiczne. Udział organizmów żywych w rozkładzie martwej materii organicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego jest jednym z często poruszanych problemów badawczych w ekologii. Obiektem tego typu badań mogą być organizmy występujące zarówno w rozkładającym się drewnie (Swift 1977, Ulyshen 2016), w pryzmach kompostowych (Ødegaard & Tømmerås 2000, Sommer & Møller 2000), w odchodach (Koskela & Hanski 1977, Dormont i in. 2007), jak i na padlinie (DeVault i in. 2003, Barton i in. 2013).

Rozkład oraz sukcesja owadów na padlinie mogą przebiegać odmiennie w zależności od tego w jakim środowisku się ona znajduje. Procesy takie jak gnicie czy autoliza, którym podlegają rozkładające się zwłoki oraz aktywność zwierząt nekrofagicznych pozostają pod wpływem wielu czynników np. wilgotności czy temperatury powietrza (Anderson 2009). W związku z tym, zarówno tempo rozkładu zwłok, jak i entomofauna nekrofilna, mogą różnić się w zależności od obszaru geograficznego. Bezkręgowce są grupą zwierząt wśród których znajduje się najwięcej obligatoryjnych nekrofagów oraz mają one największy udział w rozkładzie martwej materii organicznej pochodzenia zwierzęcego (Campobasso i in. 2001, DeVault i in. 2003). Dla nekrofilnych owadów padlina jest zarówno źródłem pokarmu, jak i środowiskiem koniecznym do rozwoju. Wiele gatunków owadów nekrofilnych składa jaja bezpośrednio na padlinie, podczas gdy inne składają jaja w glebie pod padliną i w związku z tym istotny dla ich rozwoju jest kontakt zwłok z ziemią. Prowadzenie badań nad entomofauną zwłok powieszonych daje możliwość zbadania ekologii owadów w nietypowych warunkach, w których zasiedlane przez nie zwłoki są ze wszystkich stron otoczone powietrzem. Badania prowadzone nad mikrośrodowiskiem padliny mogą mieć różnorodny charakter. Interakcje między organizmami nekrofilnymi oraz ich środowiskiem były dotychczas przedmiotem badań z zakresu ekologii zgrupowań (np. Dekeirsschieter i in. 2011, Jarmusz & Bajerlein 2015), chemoekologii (np. Von Hoermann i in. 2011), sukcesji ekologicznej (np. Matuszewski i in. 2011), biologii rozwoju (np. Charabidze i in. 2016), lub też mogą mieć

charakter aplikacyjny na użytek wymiaru sprawiedliwości np. w wyjaśnianiu okoliczności zgonów (np. Benecke 1998, Marchenko 2001, Villet 2011).

Entomologia sądowa jest dziedziną nauki wykorzystującą wiedzę na temat owadów pod kątem możliwości jej zastosowania na potrzeby wymiaru sprawiedliwości. Wiedza ta może m.in. pomóc przy określaniu przyczyny zgonu, jak i w ocenie czy zwłoki były przenoszone. Jednak głównym zadaniem entomologii sądowej jest określenie czasu jaki upłynął od zgonu do momentu ujawnienia zwłok (PMI- postmortem interval). Pomimo tego, że metody entomologii sądowej mogą być bardzo pomocne w pracy organów śledczych, a badania w tym zakresie są coraz częściej podejmowane przez polskich naukowców, to wiedza ta nie jest wykorzystywana w Polsce tak często jak np. w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej, czy w krajach Europy Zachodniej (Matuszewski i in. 2008a). Wynika to przede wszystkim z niskiej świadomości osób zaangażowanych w proces śledczy na temat możliwości wykorzystania entomologicznych metod szacowania czasu zgonu. Do tej pory w Polsce w tym zakresie prowadzono jedynie eksperymenty nad rozkładem oraz sukcesją owadów na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi w różnych typach środowisk leśnych oraz na terenach otwartych (Matuszewski i in. 2008b, Matuszewski i in. 2010a, Matuszewski i in. 2010b, Matuszewski i in. 2011, Matuszewski & Szafałowicz 2013, Matuszewski i in. 2013, Matuszewski i in. 2014a, Matuszewski i in. 2014b, Matuszewski i in. 2016). Jednak zwłoki mogą być odnajdywane w innych, czasami nietypowych, okolicznościach. Przykładem są zwłoki powieszane, których przebieg rozkładu i entomofauna mogą być odmienne od entomofauny i rozkładu zwłok rozkładających się na powierzchni ziemi.

Według statystyk policyjnych w latach 2013-2016 prawie 84% samobójstw stanowiły zgony przez powieszenie (dane za www.statystyka.policja.pl). Większość takich przypadków miała miejsce w zamkniętych pomieszczeniach, ale część z nich odnotowano w parkach oraz w lasach. Jak do tej pory na świecie przeprowadzono nieliczne badania nad rozkładem zwłok powieszonych oraz sukcesją owadów na zwłokach powieszonych poza zamkniętymi budynkami, a ponadto badania te dotyczyły tylko poznania procesów rozkładu zwłok (Lynch-Aird i in. 2015) lub były prowadzone poza Europą (Shalaby i in. 2000, Chin i in. 2010). W literaturze można znaleźć opis przypadków dochodzeń dotyczących ustalania czasu zgonu w przypadku zwłok powieszonych, ale z powodu braku badań nad sukcesją owadów na zwłokach tego typu korzystano z opracowań dla zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi, co mogło doprowadzić do błędnego oszacowania PMI (Cherix i in. 2012, Saloña-Bordas & Perotti 2014).

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy doktorskiej są pierwszymi z terenu Europy badaniami nad rozkładem i sukcesją owadów na zwłokach powieszonych prowadzonymi na

obszarze klimatu umiarkowanego. Badania te miały na celu dostarczenie podstawowych informacji na temat rozkładu zwłok powieszonych, sukcesji owadów nekrofilnych na zwłokach tego typu w środowisku leśnym Europy Środkowej oraz ekologii gatunków owadów nekrofilnych zasiedlających zwłoki powieszzone. Ponadto uzyskane wyniki oprócz charakteru czysto poznawczego mają również aspekt aplikacyjny i w przyszłości mogą być wykorzystane do rozwiązywania spraw kryminalnych związanych z samobójstwami i morderstwami.

1. Stan poznania procesu rozkładu zwłok oraz zjawiska sukcesji owadów na zwłokach

1.1. Badania na świecie

Na przestrzeni lat prowadzenie badań nad rozkładem padliny i sukcesją owadów nekrofilnych związane było z rozwojem entomologii sądowej. Pomimo tego, że rozwój ten przypada przede wszystkim na wiek XX to pierwszy udokumentowany przypadek wykorzystania wiedzy na temat owadów do rozwiązania okoliczności morderstwa pochodzi z XIII wieku z Chin (Benecke 2001). Pierwsze badania z zakresu entomologii sądowej przeprowadzono w XIX wieku, kiedy to naukowcy rozpoczęli poszukiwania możliwości zastosowania wybranych aspektów z biologii i ekologii owadów nekrofilnych na potrzeby wymiaru sprawiedliwości (Benecke 2001). Jednak sam proces rozkładu zwłok także był istotnym tematem badań naukowych. Jak do tej pory rozkład zwłok badano z wykorzystaniem różnych modeli zwierzęcych, począwszy od gadów i małych ssaków, aż po zwłoki słoni (Goff 1993). W wybranych stanach USA działają jednostki naukowe prowadzące tego typu badania na zwłokach ludzkich. Najsłynniejszy z tych ośrodków badawczych znajduje się na terenie Uniwersytetu w Tennessee (University of Tennessee) (Bass 1996). Przez lata jednym z głównych problemów w zakresie badań rozkładu zwłok była klasyfikacja stadiów rozkładu zwłok i ustalenie cech charakterystycznych dla danego stadium. Naukowcy prezentowali bardzo różne podejścia do tego tematu i klasyfikowano od jednego do aż dziewięciu stadiów rozkładu (Goff 2009). Obecnie opisując rozkład zwłok określa się jakimi procesami rozkładu (wzdęcie, aktywny rozkład, zaawansowany rozkład) są one objęte, a nie wydziela się etapów rozkładu. Wynika to z faktu, że rozkład zwłok ma najczęściej charakter mozaikowy. Oznacza to, że w tym samym czasie różne części ciała poddawane są różnym procesom rozkładu (Matuszewski 2010a).

Częściej podejmowanym problemem badawczym była sukcesja owadów na zwłokach. W przypadku badań nad entomofauną zwłok początkowo prowadzono podstawowe eksperymenty faunistyczne i ekologiczne, a z biegiem czasu zaczęło pojawiać się coraz więcej wielkoskalowych badań o charakterze aplikacyjnym. Analizując liczbę publikacji dotyczących sukcesji owadów na zwłokach można ocenić, że rozwój entomologii sądowej był najbardziej dynamiczny w Europie, Ameryce Północnej i Australii. Jak już zostało wspomniane, na skład gatunkowy entomofauny zwłok bardzo duży wpływ ma położenie geograficzne oraz klimat. Ze względu na tak dużą

różnorodność gatunkową badania nad sukcesją owadów na zwłokach bardzo często ograniczają się do niewielkich powierzchniowo regionów. W obrębie niektórych kontynentów, np. Afryki, dopiero w ostatnich latach podjęto próbę skatalogowania owadów nekrofilnych (Villet 2011). Większość aktualnie prowadzonych badań z zakresu sukcesji entomofauny na padlinie różnych gatunków zwierząt skupia się na wybranych rodzinach owadów (Dekeirsschietter i in. 2011, Martin-Vega & Baz 2012, Prado e Castro i in. 2012, Dekeirsschietter i in. 2013, Martin-Vega & Baz 2013, Martin-Vega i in. 2015, Firat & Sert 2016, Mashaly 2017) lub badania prowadzone są z nastawieniem na aplikacyjne wykorzystanie otrzymanych wyników (Anton i in. 2011, Aballay i in. 2012, Benbow i in. 2013, Myburgh i in. 2013, Archer 2014, Caballero & Leon-Cortés 2014). Dostępne są także wyniki licznych badań nad wpływem różnego rodzaju czynników na przebieg procesu rozkładu zwłok i sukcesji owadów nekrofilnych. Badania tego typu dotyczą m.in. sposobu postępowania ze zwłokami np. zakopanie zwłok (Simmons i in. 2010b, Rysavy & Goff 2015), podtopienie zwłok (Heaton i in. 2010, Anderson & Bell 2017), powieszenie zwłok (Shalaby i in. 2000, Chin i in. 2010, Lynch-Aird i in. 2015) lub nadpalenie zwłok (Gruenthal i in. 2012, McIntosh i in. 2016). Badania te mogą także dotyczyć wpływu innych czynników na przebieg rozkładu zwłok oraz sukcesji owadów na zwłokach np. obecności lub braku ubioru, wpływu masy ciała czy rozkładu w zamkniętym pojeździe (Kelly i in. 2009, Voss i in. 2011, Card i in. 2015).

1.2. Badania w Polsce

Pierwsze w Polsce badania nad sukcesją owadów na zwłokach oraz z zakresu entomologii sądowej pochodzą z przełomu XIX i XX wieku (Wajgel 1889, Horoszkiewicz 1902, Niezabitowski 1902). Szczególną uwagę zwraca praca Niezabitowskiego (1902), w której wykazano, że zwłoki ludzkie i zwłoki drobnych zwierząt są zasiedlane przez taką samą entomofaunę. Nieliczne badania prowadzone w XX wieku skupiały się przede wszystkim na poznaniu krajowych gatunków owadów nekrofilnych, tempa rozkładu zwłok oraz sukcesji owadów, głównie chrząszczy, na zwłokach różnych zwierząt (Kopyłówna 1935, Mroczkowski 1949, Błażejewski 1956, Nabagło 1973). W XX wieku oraz na początku XXI wieku powstało także kilka prac przeglądowych z zakresu entomologii sądowej (Żółtowski 1953, Piotrowski 1981, Piotrowski 1990, Kaczorowska i in. 2002, Matuszewski 2004a, Matuszewski 2004b, Matuszewski i in. 2008a, Skowronek & Chowaniec 2010).

W latach 2006-2007 w Polsce przeprowadzono pierwsze wielkoskalowe eksperymenty nad sukcesją owadów na zwłokach, w których wykorzystywano zwłoki świnii domowej. W tym zakresie zbadano m.in. rozkład zwłok oraz sukcesję owadów na zwłokach eksponowanych na powierzchni

ziemi w środowisku leśnym (Matuszewski i in. 2008b), wpływ typu lasu oraz pory roku na rozkład zwłok (Matuszewski i in. 2010a) oraz na sukcesję owadów (Matuszewski i in. 2010b). Wyniki tych badań pokazały, że pora roku, w przeciwieństwie do typu lasu, ma duży wpływ na rozkład zwłok oraz skład entomofauny. Efektem tych badań było opublikowanie pierwszych modeli sukcesji owadów na zwłokach z terenu Polski (Matuszewski i in. 2011). Kolejnym krokiem w krajowych badaniach nad sukcesją owadów na zwłokach było opublikowanie szeregu prac, w których pokazano wpływ temperatury powietrza na czas poprzedzający pojawienie się dorosłych osobników wybranych gatunków muchówek i chrząszczy na zwłokach (PAI, ang. pre-appearance interval) (Matuszewski 2011, Matuszewski 2012, Matuszewski & Szafałowicz 2013, Matuszewski i in. 2014a). Wykazano, że w przypadku niektórych gatunków czas pojawu postaci dorosłych na padlinie jest bezpośrednio związany z temperaturą otoczenia i wraz ze wzrostem tej temperatury owady pojawiają się na zwłokach wcześniej. Równocześnie okazało się, że zmiany temperatury otoczenia mają o wiele większy wpływ na czas pojawienia się na zwłokach chrząszczy niż muchówek (Matuszewski i in. 2014a). W późniejszych latach prowadzono badania nad rozkładem zwłok i sukcesją owadów nekrofilnych na terenach otwartych. Rezultatem tych badań były publikacje przedstawiające wyniki dotyczące różnic w występowaniu nekrofilnych gatunków między środowiskiem leśnym, a otwartym (Matuszewski i in. 2013), jak i wpływu masy zwłok oraz obecności lub braku ubioru na rozkład zwłok (Matuszewski i in. 2014b) oraz na sukcesję owadów (Matuszewski i in. 2016). Opublikowano także pierwszą pracę opisującą stan entomofauny nekrofilnej na zwłokach po dwóch latach od rozpoczęcia eksperymentu (Mądra i in. 2015). Przeprowadzone badania z wykorzystaniem zwłok świni domowej umożliwiły opublikowanie prac zawierających bardziej szczegółowe wyniki na temat ekologii wybranych rodzin owadów nekrofilnych. Dotyczyły one m.in. występowania gatunków chrząszczy z rodziny Histeridae w różnych typach lasów (Bajerlein i in. 2011), wpływu różnych czynników na liczebność chrząszczy z rodziny Geotrupidae (Jarmusz & Bajerlein 2015), występowania nekrofilnych gatunków chrząszczy z rodziny Staphylinidae w różnych typach środowisk (Mądra i in. 2014), czy występowania na zwłokach muchówek z rodziny Sarcophagidae (Szpila i in. 2015). Na przestrzeni ostatnich lat pojawiły się także publikacje przeglądowe mające na celu podsumowanie danych na temat gatunków chrząszczy nekrofilnych występujących na danym terenie Polski (Bunalski & Przewoźny 2008, Byk & Kudła 2011, Bunalski 2012, Bunalski i in. 2014). W 2009 roku opublikowano pierwszy polski podręcznik do entomologii sądowej (Kaczorowska & Draber-Mońko 2009).

2. Cele badań

1. Opracowanie wzorca rozkładu zwłok powieszonych

- 1.1. Poznanie procesów rozkładu zwłok powieszonych w różnych porach roku: wiosną, latem i jesienią.
- 1.2. Poznanie tempa rozkładu zwłok powieszonych w różnych porach roku: wiosną, latem i jesienią.
- 1.3. Porównanie procesów i tempa rozkładu zwłok powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi (próba kontrolna).

2. Charakterystyka entomofauny zasiedlającej zwłoki powieszone

- 2.1. Poznanie gatunków, liczebności i stadiów rozwojowych muchówek oraz chrząszczy zasiedlających zwłoki powieszone w różnych porach roku.
- 2.2. Poznanie struktury dominacji zgrupowań owadów nekrofilnych zasiedlających zwłoki powieszone w różnych porach roku.

3. Poznanie zjawiska sukcesji owadów na zwłokach powieszonych

- 3.1. Poznanie czasu pojawu i długości okresu przebywania przedstawicieli gatunków owadów na zwłokach w różnych porach roku.
- 3.2. Opracowanie modeli sukcesji owadów na zwłokach powieszonych w środowisku leśnym Wielkopolski w różnych porach roku.
- 3.3. Porównanie sukcesji owadów na zwłokach powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi (próba kontrolna).

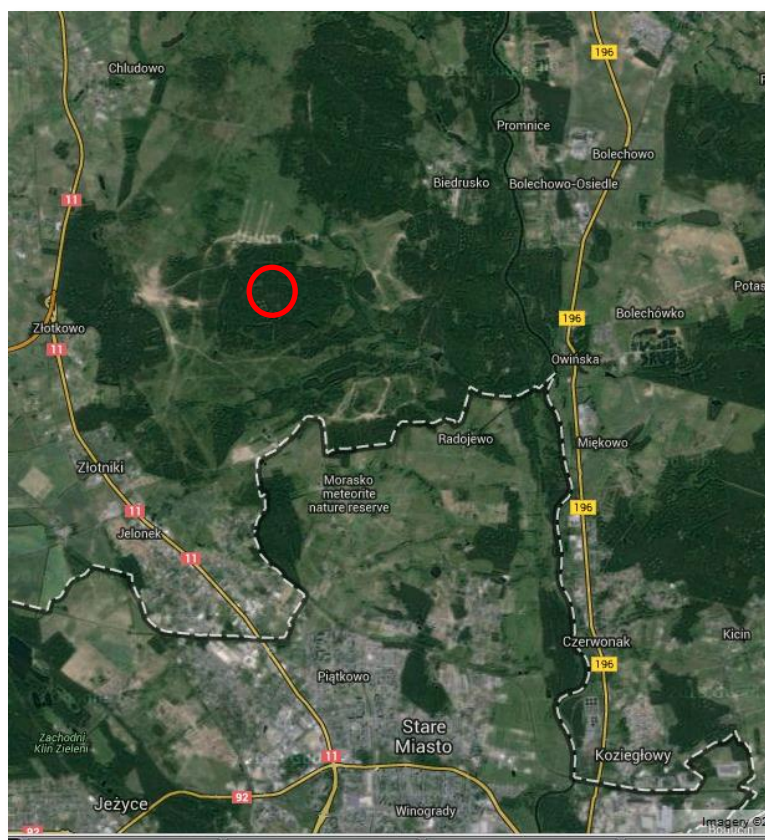
4. Walidacja uzyskanych wyników w zakresie sukcesji owadów na zwłokach powieszonych do szacowania czasu zgonu

- 4.1. Wykazanie gatunków wskaźnikowych czasu zgonu dla zwłok powieszonych w środowisku leśnym.

3. Materiał i metody

3.1. Charakterystyka terenu badań

Badania były prowadzone w centralnej części Wielkopolski na terenie poligonu wojskowego w Biedrusku koło Poznania (52°31'N, 16°54'E) (Fot. 1). Polygon ten należy do Centrum Szkolenia Wojsk Lądowych z siedzibą w Poznaniu. Przy wyborze terenu badań brano pod uwagę specyficzny charakter prowadzonych eksperymentów związany z wieszaniem zwłok świni domowej. W związku z tym zdecydowano się przeprowadzić badania na terenie poligonu wojskowego, który jest wyłączony z korzystania przez osoby nieuprawnione do wstępu. Ponadto, przy wyborze poligonu wojskowego w Biedrusku uwzględniono fakt, że wcześniej z powodzeniem na jego terenie prowadzono badania nad sukcesją owadów na zwłokach w środowisku leśnym (Matuszewski i in. 2008b, Matuszewski i in. 2010a, Matuszewski i in. 2010b, Matuszewski i in. 2011).



Fot. 1. Zdjęcie satelitarne północnej części Poznania oraz okolic Biedruska. Obszar prowadzenia eksperymentu został zaznaczony czerwonym okręgiem (Źródło: googlemaps.pl).

Badania prowadzone były na terenie porośniętym przez las grabowo – dębowy wchodzący w skład grądu środkowoeuropejskiego (*Galio sylvatici-Carpinetum betuli*) (Fot. 2). Lasy tego typu występują głównie w zachodniej i południowo-zachodniej Polsce. Dominującymi gatunkami w jego drzewostanie są: grab zwyczajny (*Carpinus betulus*), dąb szypułkowy (*Quercus robur*) oraz lipa drobnolistna (*Tilia cordata*). Charakterystycznym gatunkiem dla runa tego lasu jest przytulia leśna (*Galium sylvaticum*). Las grabowo-dębowy charakteryzuje się umiarkowaną wilgotnością. Warstwa drzew cechuje się znacznym pokryciem, w związku z czym przy powierzchni ziemi powietrze jest chłodniejsze i wilgotniejsze w porównaniu z innymi typami lasów np. borem mieszanym (Matuszkiewicz 2001, Danielewicz & Pawlaczyk 2004).



Fot.2. Grąd na terenie poligonu wojskowego w Biedrusku (autor zdjęcia – M. Jarmusz).

3.2. Plan eksperymentu

3.2.1. Okres badawczy

Eksperyment prowadzony był wiosną, latem oraz jesienią w 2012 i 2013 roku. Eksperyment wiosenny, zarówno w 2012, jak i w 2013 roku, rozpoczynał się pod koniec kwietnia. Eksperyment letni w 2012 roku rozpoczynał się w połowie lipca, natomiast w 2013 roku pod koniec lipca. Jesienny eksperyment rozpoczynał się w połowie września w 2012 i 2013 roku. W Tabeli 1 przedstawione zostały terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych eksperymentów. Zakończenie danego eksperymentu następowało w momencie zaniku aktywności owadów

na zwłokach. Skrócone okresy badań w przypadku dwóch letnich eksperymentów spowodowane były urwaniem się zwłok ze sznura na skutek oddzielenia się głowy od reszty ciała.

Tabela 1. Terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych eksperymentów (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki eksponowanie na powierzchni ziemi (kontrolne)).

Rok	Pora roku	Symbol zwłok	Rozpoczęcie eksperymentu	Zakończenie eksperymentu		
				Data	Dzień rozkładu	
2012	Wiosna	1/W12/P	25 kwietnia	3 sierpnia	101	
		2/W12/P		23 sierpnia	121	
		3/W12/K		10 sierpnia	108	
		4/W12/K		19 lipca	86	
	Lato	1/L12/P	18 lipca	29 lipca	12	
		2/L12/P		11 września	56	
		3/L12/K				
		4/L12/K				
	Jesień	1/J12/P	12 września	28 grudnia	108	
		2/J12/P				
		3/J12/K		10 grudnia	90	
		4/J12/K				
2013	Wiosna	1/W13/P	29 kwietnia	26 lipca	89	
		2/W13/P		18 lipca	81	
		3/W13/K				
		4/W13/K		11 sierpnia	14	
	Lato	1/L13/P	29 lipca	18 września	52	
		2/L13/P				
		3/L13/K				
		4/L13/K		16 grudnia	91	
	Jesień	1/J13/P	17 września			
		2/J13/P				
		3/J13/K				
		4/J13/K				

3.2.2. Sposób postępowania ze zwłokami

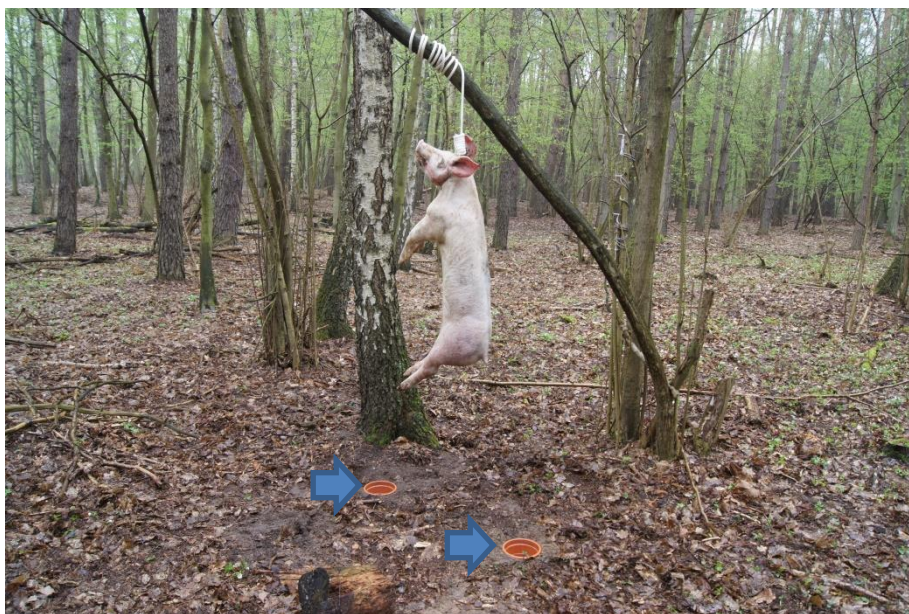
W badaniach prowadzonych w ramach niniejszej pracy doktorskiej wykorzystano zwłoki świni domowej (*Sus scrofa domestica* L.). Wybór ten podyktowany był po pierwsze, łatwością dostępu do zwłok świńskich. Po drugie, badania nad rozkładem zwłok i sukcesją owadów na zwłokach, poza aspektem czysto poznawczym, mają także aspekt aplikacyjny i otrzymane wyniki mogą być w przyszłości wykorzystywane do szacowania czasu zgonu w przypadkach zabójstw, samobójstw lub zgonów w niewyjaśnionych okolicznościach. Udowodniono, że najbardziej adekwatnym substytutem zwłok ludzkich w badaniach z zakresu entomologii sądowej są właśnie zwłoki świni domowej (Schoenly i in. 2007). Wpływ na to ma wiele czynników, takich jak np. podobny stopień owłosienia ciała czy podobna flora bakteryjna.

W każdym okresie badawczym w lesie umieszczano zwłoki czterech świń domowych. Poszczególne zwłoki były oddalone od siebie o ok. 50 metrów. Zwłoki dwóch świń były wieszane na gałęziach drzew, natomiast zwłoki dwóch pozostałych umieszczane były bezpośrednio na ziemi, jako próba kontrolna. Łącznie w trakcie dwuletniego okresu prowadzenia eksperymentów wykorzystano zwłoki 24 świń o średniej wadze 27,5 kg. W 2012 roku zwłoki pozyskiwane były od prywatnego hodowcy, a w 2013 roku z zakładu rolnego HR Smolice w Przebędowie koło Murowanej Gośliny. Zwierzęta uśmiercano poprzez uderzenie tępym narzędziem w podstawę czaszki, a następnie przewożono je na teren poligonu wojskowego w Biedrusku. Zwłoki na czas transportu umieszczone były w szczelnie zamkniętych foliowych workach, aby uniemożliwić wcześniejszą ich kolonizację przez owady. Wyłożenie zwłok świni domowej, będące równocześnie początkiem eksperymentu, odbywało się do maksymalnie trzech godzin po zgonie.



Fot. 3. Przykładowy stryczek używany w eksperymentach (autor zdjęcia: S. Konwerski).

Zwierzęta wieszane były za szyję przy pomocy stryczka zrobionego z grubej liny ze sztucznego włókna (Fot. 3). Zwłoki wieszane były tak aby odległość między tylnymi kończynami, a ziemią wynosiła ok. 50 cm (Fot. 4). Z kolei zwłoki świni domowej eksponowane na powierzchni ziemi umieszczane były na metalowej kracie, która ułatwiała przenoszenie zwłok w celu zbadania owadów zasiedlających glebę znajdującą się bezpośrednio pod zwłokami. Ponadto zwłoki były okrywane metalową siatką o średnicy oczek ok. 3 cm, która miała uniemożliwić naruszenie ich przez większe padlinożerne kręgowce (Fot. 5).



Fot. 4. Sposób zawieszenia padliny oraz położenie pułapek ziemnych – oznaczone strzałkami (autor zdjęcia: M. Jarmusz).

3.2.3. Odłów owadów

Owady odławiane były przy pomocy pułapek ziemnych, siatki entomologicznej oraz manualnie z powierzchni zwłok i z gleby znajdującej się pod nimi. Pułapki ziemne stanowiły plastikowe doniczki o barwie pomarańczowej, o szerokości 16 cm oraz wysokości 17 cm, wypełnione mieszaniną wody oraz glikolu etylowego. W przypadku zwłok powieszonych pułapki nie były umieszczane bezpośrednio pod zwłokami, ale były lekko przesunięte w celu uniknięcia zabrudzenia ich przez spadające produkty rozkładu zwłok (Fot. 4). W przypadku zwłok leżących bezpośrednio na ziemi jedna pułapka umieszczana była w okolicy głowy zwierzęcia, natomiast druga w okolicy brzucha (Fot. 5). Podczas każdych oględzin materiał odłowiony przy pomocy pułapek był przekładany do plastikowego pojemnika wypełnionego 75% roztworem alkoholu etylowego. Owady odłowione manualnie oraz przy pomocy siatki entomologicznej były umieszczane w oddzielnym pojemniku także wypełnionym 75% roztworem alkoholu etylowego. Każdy pojemnik został zaopatrzony w etykietę zawierającą informację o numerze stanowiska, dacie i sposobie odłowu owadów.



Fot. 5. Zwłoki świni domowej umieszczone na metalowej kratce oraz pokryte ochronną siatką (autor zdjęcia: M. Jarmusz).

3.2.4. Procedura oględzin zwłok

Oględziny zwłok rozpoczynały się około godziny 10:00. Podczas oględzin odławiane były owady, a równocześnie w protokole oględzin odnotowywana była obecność owadów możliwych do zidentyfikowania w warunkach terenowych (Fot. 6). W pierwszej fazie oględzin odławiane były dorosłe postaci muchówek przy pomocy siatki entomologicznej. Następnie sprawdzano obecność jaj oraz larw muchówek w naturalnych otworach ciała, na powierzchni zwłok oraz na granicy między zwłokami, a glebą. W następnej kolejności owady odłowione przy pomocy pułapek ziemnych przekładano do plastikowych pojemników wypełnionych 75% roztworem alkoholu etylowego. Dalej, dokonywano oceny stanu rozkładu zwłok oraz występującej bezpośrednio na zwłokach entomofauny. Owady te, jak również okazy stwierdzone na powierzchni zwłok oraz w ziemi pod nimi, były odławiane ręcznie. Na koniec oględzin dokonywano dokumentacji fotograficznej stanu zwłok.

W początkowej fazie eksperymentu oględzin zwłok dokonywano codziennie, ze względu na dynamiczny przebieg procesu rozkładu oraz sukcesji owadów na zwłokach. Po rozpoczęciu procesu zaawansowanego rozkładu zwłok oględziny odbywały się rzadziej (co 2, 3, 5, 7 dni), ponieważ zmiany zachodzące na zwłokach były już mniej dynamiczne niż w trakcie aktywnego rozkładu zwłok. W oględzinach zwłok zawsze brały udział minimum dwie osoby.

SYMBOL STANOWISKA _____ DATA _____ GODZINA _____ NUMER DNIA ROZKŁADU _____

WARUNKI ATMOSFERYCZNE

OPADY	mżawka ☐ deszcz ☐ inne _____	UWAGI _____
--------------	--	--------------------

PROCESY ROZKŁADU

WAGA ZWŁOK _____	OBWÓD _____	kończyny tylne/tułów _____	tułów (w najgrubszym miejscu) _____
WZDĘCIE	brak ☐ nieznaczne ☐ znaczne ☐	WZDĘTA CZĘŚĆ ZWŁOK	całe zwłoki ☐ tułów ☐ tylna połowa tułowia ☐
AKTYWNY ROZKŁAD	brak ☐ zachodzi ☐	RODZAJ MAS LARW	Calliphoridae ☐ Silphidae ☐ LICZBA MAS _____
LOKALIZACJA MAS	otwór gębowy ☐ nozdrza ☐ oczy ☐ uszy ☐ cała głowa ☐ kark ☐ odbył ☐ pachwiny przednie ☐ pachwiny tylne ☐ brzuch ☐ gleba/głowa ☐ gleba/przednia część tułowia ☐ gleba/tylna część tułowia ☐ powierzchnia tułowia ☐		
ZAAWANSOWANY ROZKŁAD	brak ☐ zachodzi ☐	MAZISTE POCHODNE ROZKŁADU	brak ☐ obecne ☐
ODSLONIĘTE KOŚCI	brak ☐ obecne ☐	RODZAJ ODSŁONIĘTYCH KOŚCI	k. czaszki ☐ k. kończyn przednich ☐ k. klatki piersiowej ☐ k. kończyn tylnych ☐ k. kręgosłupa ☐
GRZYBY	brak ☐ obecne ☐	MASY NICIENI	brak ☐ obecne ☐
ŻEROWANIE L. PIOPHILIDAE	brak ☐ obecne ☐	ŻEROWANIE L. FANNIDAE	brak ☐ obecne ☐
ŻEROWANIE L. DERMESTIDAE	brak ☐ obecne ☐	ślady żerowania	☐

UWAGI _____

ENTOMOFAUNA ZWŁOK-CZĘŚĆ OGÓLNA

JAJA CALLIPHORIDAE	brak ☐ obecne ☐	LARWY CALLIPHORIDAE	brak ☐ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐ formy wędrujące ☐
POCZWARKI CALLIPHORIDAE	brak ☐ obecne ☐	ŚWIEŻE IMAGES CALLIPHORIDAE	brak ☐ obecne ☐
LARWY MUSCIDAE	brak ☐ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	POCZWARKI MUSCIDAE	brak ☐ obecne ☐
LARWY PIOPHILIDAE	brak ☐ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	POCZWARKI PIOPHILIDAE	brak ☐ obecne ☐
LARWY FANNIDAE	brak ☐ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	ROZTOCZE	brak ☐ obecne ☐

ENTOMOFAUNA ZWŁOK-CZĘŚĆ SZCZEGÓLNA

DIPTERA (TYLKO IMAGES)

Calliphoridae	Calliphora ☐ _____	Inne ☐ _____
Sarcophagidae ☐ _____	Muscidae ☐ _____	
Piophilidae ☐ _____	Inne ☐ _____	

COLEOPTERA

Silphidae	N. littoralis I ☐ _____ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	O. thoracicum I ☐ _____ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	T. rugosus I ☐ _____
T. sinuatus I ☐ _____	Thanatophilus 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	Inne _____	
Dermeestidae	D. murinus I ☐ _____	D. frische I ☐ _____	Dermeestes 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐ Inne _____
Histeridae	Saprinus I ☐ _____	Margarinotus I ☐ _____	Histeridae 1s ☐ 2s ☐ Inne _____
Staphylinidae	C. maxillosus I ☐ _____ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	Philonthus I ☐ 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐	Inne _____
Cleridae	N. violacea I ☐ _____	N. rufipes I ☐ _____	Necrobia 1s ☐ 2s ☐ 3s ☐ Inne _____
Inne _____			

HYMENOPTERA

mrówkowate ☐ _____	osowate ☐ _____	Inne _____
--	---	------------

INNE OWADY _____

UWAGI _____

Fot. 6. Protokół używany podczas oględzin zwłok.

3.2.5. Identyfikacja zebranego materiału entomologicznego

Zebrany materiał entomologiczny był segregowany do poziomu rodzin w pracowni Zakładu Taksonomii i Ekologii Zwierząt Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Owady nekrofilne były również oddzielane od tych, które znalazły się w pułapkach przypadkowo. Po zakończeniu segregacji zebranego materiału entomologicznego następowała identyfikacja okazów do możliwie jak najniższego poziomu taksonomicznego, którym w przypadku większości okazów był poziom gatunkowy. Samodzielnie dokonałem identyfikacji postaci dorosłych i larw muchówek z rodziny Calliphoridae, postaci dorosłych i larw chrząszczy z rodzin Dermestidae, Silphidae oraz częściowo Staphylinidae, jak i postaci dorosłych chrząszczy z rodzin Cleridae, Geotrupidae, Histeridae, Nitidulidae oraz Trogidae. Poprawność oznaczeń była konsultowana ze specjalistami od danej rodziny owadów. Przy identyfikacji postaci dorosłych oraz form larwalnych muchówek z rodziny Calliphoridae korzystano z kluczy do oznaczania gatunków autorstwa Szpili (2009 i 2012). Chrząszcze z rodziny Dermestidae oznaczane były przy pomocy klucza autorstwa Mroczkowskiego (1954). Przy identyfikacji chrząszczy z rodziny Silphidae korzystano z klucza autorstwa Mroczkowskiego (1955). Do oznaczenia gatunków z rodziny Staphylinidae użyto klucza autorstwa Szujckiego (1980). Chrząszcze z rodziny Cleridae oznaczano przy pomocy klucza Mazura (1975). Do oznaczenia chrząszczy z rodziny Geotrupidae wykorzystywany był klucz autorstwa Stebnickiej (1976). Przy identyfikacji chrząszczy z rodziny Histeridae korzystano z klucza do oznaczania gatunków autorstwa Mazura (1981). Chrząszcze z rodziny Nitidulidae identyfikowano na podstawie klucza Nunberga (1976). Do oznaczania chrząszczy z rodziny Trogidae wykorzystano klucz autorstwa Stebnickiej (1983). Oznaczeń okazów dokonano przy użyciu mikroskopu stereoskopowego Olympus SZX7.

Identyfikacji przedstawicieli muchówek z rodzin Muscidae, Fanniidae, Piophilidae oraz Dryomyzidae dokonał dr Andrzej Grzywacz (Katedra Ekologii i Biogeografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu). Identyfikacji przedstawicieli chrząszczy z rodziny Leiodidae dokonał dr Szymon Konwerski (Zbiory Przyrodnicze, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu), a identyfikacji części przedstawicieli rodziny Staphylinidae dokonał Pan Andrzej Melke. Owady przechowywane są w 75% roztworze alkoholu etylowego w Zakładzie Taksonomii i Ekologii Zwierząt Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

3.3. Badanie rozkładu zwłok

3.3.1. Procesy rozkładu oraz tempo rozkładu zwłok

Rozkład zwłok jest ciągiem następujących po sobie procesów rozkładu, których kolejność jest powtarzalna. Jak wynika z wcześniej prowadzonych badań (Matuszewski i in. 2010a), w warunkach klimatu umiarkowanego Europy Środkowej obserwuje się trzy procesy rozkładu: wzdęcie zwłok, aktywny rozkład zwłok oraz zaawansowany rozkład zwłok. Wzdęcie zwłok jest poprzedzone przez etap zwłok świeżych. Wczesną wiosną oraz późną jesienią temperatury są niskie, czego konsekwencją jest brak wyraźnego wzdęcia. W takim przypadku etap zwłok świeżych kończy się w momencie pojawienia się pierwszych mas larw muchówek. Natomiast po zakończeniu zaawansowanego rozkładu zwłok obserwowany jest etap szczątków, czyli stan, w którym obecne są same kości i włosy (Fot. 7). Czas rozpoczęcia oraz czas trwania poszczególnych procesów rozkładu wpływa na tempo rozkładu. Podczas każdych oględzin zwłok odnotowywano zmiany w wyglądzie zwłok wskazujące na dany proces rozkładu. Wykaz cech charakterystycznych dla poszczególnych procesów rozkładu został przedstawiony w Tabeli 2. Wyniki obserwacji stanu zwłok odnotowane w protokole oględzin były porównywane ze stanem zwłok udokumentowanym fotograficznie. Na tej podstawie określano czas rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych procesów rozkładu zwłok powieszonych.

Tabela. 2. Opis cech charakteryzujących poszczególne procesy rozkładu zwłok.

Proces rozkładu	Cechy charakteryzujące dany proces rozkładu
Wzdęcie zwłok	Zwłoki zaczynają zwiększać objętość na skutek gromadzenia się wewnątrz ciała gazów gnilnych, które w warunkach beztlenowych są wytwarzane przez rozkładające ciało bakterie. Wyczuwalny jest słaby zapach rozkładu.
Aktywny rozkład zwłok	Proces ten rozpoczyna się w momencie pojawienia się na zwłokach pierwszych mas larw muchówek z rodziny Calliphoridae i trwa aż do momentu zupełnego zaniku tkanek miękkich. Wyczuwalny jest intensywny zapach rozkładu. Na skutek obecności mas larw muchówek z rodziny Calliphoridae procesowi temu towarzyszy podwyższona temperatura zwłok oraz zapach amoniaku. W trakcie trwania tego procesu obserwowany jest najbardziej intensywny spadek masy zwłok.
Zaawansowany rozkład zwłok	Zwłoki objęte zaawansowanym rozkładem charakteryzuje brak tkanek miękkich. Za jego początek uważa się stan, w którym zwłoki składają się tylko ze skóry, włosów oraz kości. Obecne są maziste pochodne rozkładu tkanek miękkich. Procesowi temu towarzyszy zapach zbliżony do zapachu mokrej sierści lub skóry. W trakcie trwania tego procesu obserwowana jest masowa migracja larw muchówek z rodziny Calliphoridae



Fot. 7. Zwłoki świnie domowej objęte poszczególnymi procesami rozkładu (a- zwłoki świeże; b – zwłoki wzdęte; c – zwłoki w aktywnym rozkładzie; d – zwłoki w zaawansowanym rozkładzie; e – szczątki) (autor zdjęć: M. Jarmusz).

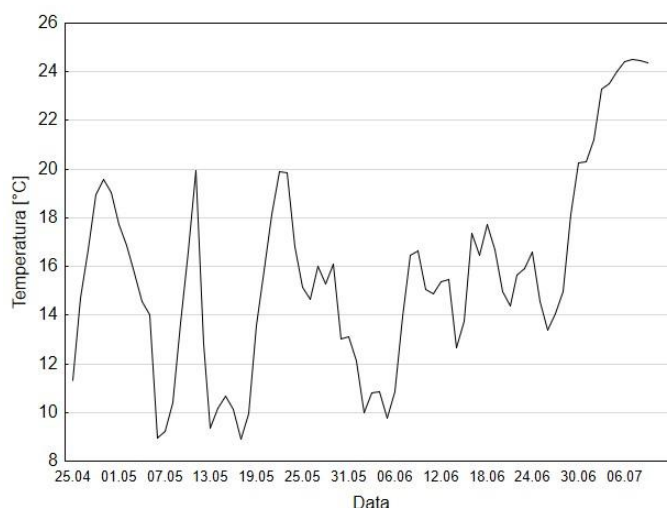
Na potrzeby pracy wprowadzony został termin „strefa spadania”, oznaczający obszar znajdujący się bezpośrednio pod powieszonymi zwłokami. W trakcie rozkładu na ziemię pod zwłokami spadają wnętrzności, owady (głównie larwy muchówek) oraz różne produkty powstające w trakcie rozkładu zwłok. Angielską wersją tego terminu jest „drip zone” użyte po raz pierwszy przez Shalaby i in (2000).

3.3.2. Metoda TBS (Total Body Score)

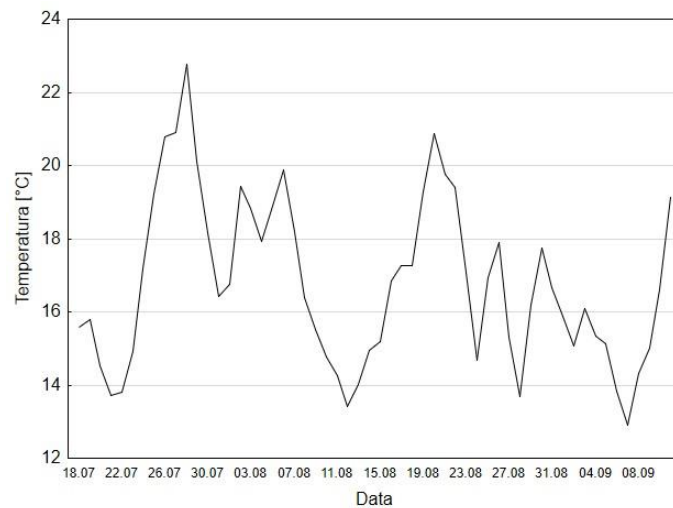
Metoda TBS pozwala określić stan rozkładu zwłok w danym czasie za pomocą wartości liczbowych. W metodzie tej najczęściej wykorzystuje się zdjęcia zwłok zrobione w trakcie ich oględzin. Na ich podstawie ocenia się stan rozkładu zwłok przydzielając wartości liczbowe odzwierciedlające stan rozkładu poszczególnych części ciała. W ramach metody TBS ocenia się stan rozkładu głowy w skali 0-12 punktów, korpusu w skali 0-11 punktów oraz kończyn w skali 0-9 punktów. Wartość „0” punktów oznacza zwłoki świeże, a ostatnia wartość skali oznacza suche kości. Do każdej wartości liczbowej przydzielony jest dokładny opis cech zewnętrznych na jakie należy zwrócić uwagę oceniając stan rozkładu poszczególnych części zwłok (m.in. zabarwienie skóry, obsuwanie się skóry, wypadanie włosów, odsłonięcie kości itp.). Dopiero zsumowane wartości dla głowy, korpusu oraz kończyn dają nam ostateczną wartość TBS. Różnice w punktacji między poszczególnymi częściami ciała wynikają z różnic w przebiegu procesów rozkładu obejmujących te części ciała np. kończyny nie ulegają procesowi wzdęcia. W przypadku zwłok powieszonych do oceny ich stanu rozkładu wykorzystano skalę za Lynch-Aird i in. (2015), a stan rozkładu zwłok eksponowanych na powierzchni gruntu oceniany był na podstawie skali Megyesi i in. (2005). Skala służąca do oceny stanu rozkładu zwłok powieszonych została stworzona na podstawie skali Megyesi i in. (2005) i dopasowano ją do procesów zachodzących na zwłokach powieszonych. Na potrzeby badań prowadzonych w ramach pracy doktorskiej skala dla zwłok eksponowanych na powierzchni gruntu musiała zostać zmodyfikowana i ujednolicona ze skalą stworzoną dla zwłok powieszonych, ponieważ rozpoczynała się ona od wartości „1”. Skale musiały być tak ujednolicone, żeby obie zaczynały się od wartości „0”. Metoda TBS oparta jest dodatkowo na dopasowywaniu wartości liczbowych opisujących stan rozkładu zwłok do ADD (ang. *Accumulated Degree Days* [skumulowane stopnio-dni]). ADD jest to suma średnich temperatur powietrza w kolejnych dniach rozkładu. W opisywanych badaniach sprawdzano wartość TBS co 50 ADD. Oznacza to, że stan rozkładu zwłok był oceniany w dniu rozkładu, którego wartość ADD była jak najbardziej zbliżona do 50 ADD, 100 ADD, 150 ADD itd.

3.4. Dane temperaturowe

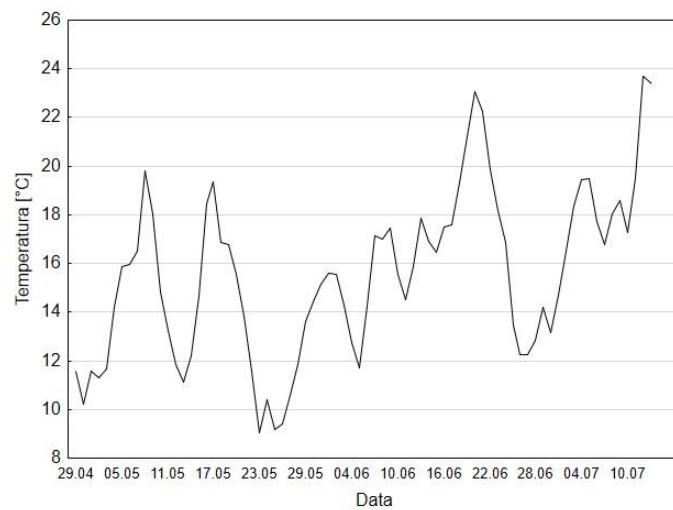
Temperatura powietrza była mierzona za pomocą rejestratorów HOBO U23 Pro v2 (Onset Computer Corporation, MA, USA). Rejestratory były umieszczane przy badanych zwłokach w dniu wyłożenia zwłok i pozostawały tam aż do zakończenia oględzin zwłok w ramach danego eksperymentu. Temperatura była mierzona automatycznie co 5 minut, a w późniejszym czasie obliczano średnią temperaturę dobową powietrza na podstawie pomiarów uzyskanych przy pomocy rejestratorów. Rejestratory były umieszczane w taki sposób, żeby sondy mierzące temperaturę znajdowały się na tej samej wysokości na jakiej znajdowały się zwłoki. W związku z tym w przypadku zwłok powieszonych rejestrator umieszczany był na drzewie obok zwłok, a w przypadku prób kontrolnych rejestrator znajdował się bezpośrednio na ziemi. Porównywane były różnice w wartościach średnich dobowych temperatur powietrza mierzone w tym samym czasie przy zwłokach powieszonych oraz przy zwłokach eksponowanych. Brano pod uwagę dobowe temperatury powietrza od dnia wyłożenia zwłok do dnia odpowiadającemu zakończeniu aktywnego rozkładu zwłok w danej porze roku. Średnia temperatura powietrza w kolejnych porach roku wynosiła: 14,3°C wiosną 2012 roku (Wyk. 1), 17,7°C latem 2012 roku (Wyk. 2), 13,9°C wiosną 2013 roku (Wyk. 3) oraz 9,7°C jesienią 2013 roku (Wyk. 4). Nie udało się pozyskać danych z jesieni 2012 roku (uszkodzenie rejestratorów przez zwierzęta) oraz lata 2013 roku (zalanie obu rejestratorów przez wody opadowe).



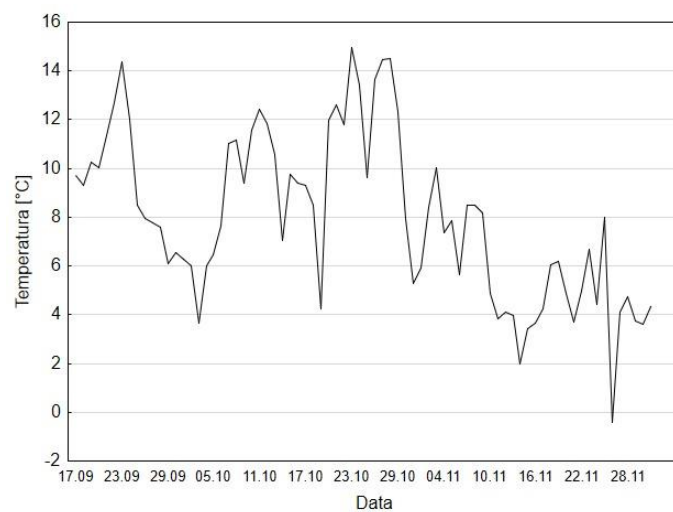
Wykres 1. Średnie temperatury powietrza wiosną 2012 roku (uśrednione pomiary z dwóch rejestratorów).



Wykres 2. Średnie temperatury powietrza latem 2012 rok (uśrednione pomiary z dwóch rejestratorów).



Wykres 3. Średnie temperatury powietrza wiosną 2013 roku (uśrednione pomiary z dwóch rejestratorów).



Wykres 4. Średnie temperatury powietrza jesienią 2013 roku (uśrednione pomiary z dwóch rejestratorów).

3.5. Metody analizy danych

3.5.1. Procesy rozkładu oraz tempo rozkładu zwłok

Różnice w czasie rozpoczęcia oraz czasie trwania poszczególnych procesów rozkładu zostały porównane przy pomocy testu Kruskala-Wallisa, przy czym w celu bardziej czytelnego zobrazowania wyników, na wykresach zamiast wartości mediany przedstawiono wartości średnie. Do porównania par średnich zastosowano test porównań wielokrotnych – test post-hoc. Różnice między temperaturami otoczenia zmierzonymi przy zwłokach powieszonych oraz eksponowanych na powierzchni ziemi zostały porównane testem t-Studenta, a różnice w wartościach TBS porównano testem chi-kwadrat.

3.5.2. Skład gatunkowy entomofauny zwłok powieszonych

Do poziomu gatunkowego zidentyfikowano przedstawicieli najliczniej reprezentowanych rodzin muchówek, czyli Calliphoridae, Muscidae, Fanniidae, Piophilidae i Dryomyzidae oraz przedstawicieli wszystkich stwierdzonych nekrofilnych rodzin chrząszczy.

Przy opracowaniu listy gatunków stwierdzonych na zwłokach oraz ich liczebności wykorzystano tylko owady odłowione przy pomocy pułapek ziemnych, ponieważ umożliwiały one ich ciągły zbiór. Ponadto eliminowały wpływ badacza, który pojawia się podczas zbioru manualnego. Podczas oględzin zwłok manualnie odławiano jedynie reprezentatywną próbę osobników z rodzin, których nie można było oznaczyć do poziomu gatunku w warunkach terenowych. Osobniki odłowione manualnie były wykorzystywane tylko jako uzupełnienie danych pozyskanych z pułapek ziemnych w przypadku określenia czasu obecności danych gatunków na zwłokach. Pojedyncze osobniki kilku gatunków zostały odłowione manualnie, a nie odnotowano tych gatunków w zbiorze z pułapek ziemnych. Ich wykaz znajduje się w Dodatku.

Przy tworzeniu modeli sukcesji oraz przy wyznaczaniu gatunków wskaźnikowych czasu śmierci dla zwłok powieszonych brano pod uwagę osobniki odłowione przy pomocy pułapek ziemnych, manualnie oraz te, których obecność została uwzględniona w protokołach oględzin. W tym przypadku nie była istotna liczebność osobników danego gatunku, ale samo stwierdzenie ich obecności na zwłokach.

W analizach jakościowych i ilościowych brano pod uwagę gatunki, które były minimalnie liczne na przynajmniej jednych zwłokach, tj. zostały stwierdzone na podstawie odłowu minimum 10 osobników na zwłokach przynajmniej jednej świni. W przypadku większości gatunków minimalna liczebność na zwłokach określana była na podstawie osobników odłowionych przy pomocy pułapek ziemnych. Dane pochodzące z protokołów oględzin wykorzystywano jedynie w przypadku tych gatunków, których liczebność stwierdzona przy pomocy pułapek ziemnych nie pokrywała się z rzeczywistą ich liczebnością na zwłokach.

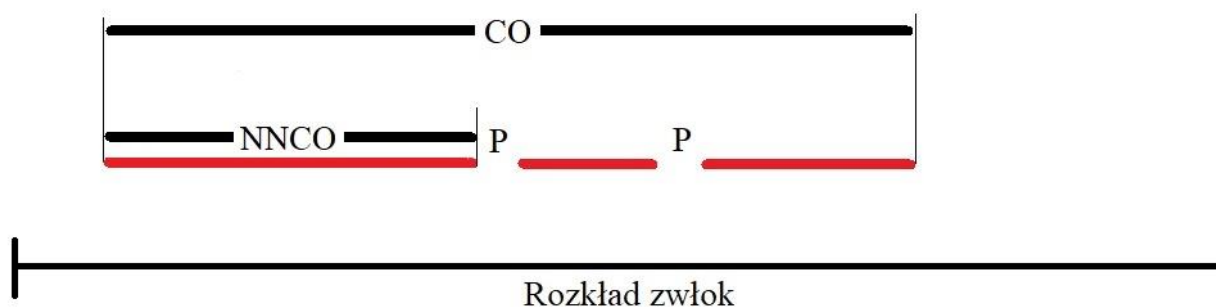
3.5.3. Gatunki wskaźnikowe czasu śmierci dla zwłok powieszonych

W entomologii sądowej stosuje się dwie metody określania PMI, czyli czasu jaki upłynął od momentu zgonu do momentu ujawnienia zwłok. Są to: metoda opierająca się na prawidłowościach rozwoju owadów na zwłokach oraz metoda opierająca się na prawidłowościach sukcesji owadów na zwłokach. Wyniki przedstawione w pracy doktorskiej mogą być w przyszłości wykorzystane w sukcesyjnej metodzie określania PMI dla zwłok powieszonych. Dla szacowania czasu zgonu metodą opierającą się na prawidłowościach sukcesji owadów na zwłokach istotne są gatunki wskaźnikowe (Wells & LaMotte 2001). Są to gatunki, które charakteryzują się dużą liczebnością na zwłokach oraz obecne są na nich przez stosunkowo krótki czas. W przypadku wielu gatunków ich pojawienie się na zwłokach związane jest z danym procesem rozkładu. Tego typu obserwacje są efektem przeprowadzonych eksperymentów nad kolonizacją zwłok przez owady (Matuszewski i in. 2010b). Kryterium oceny użyteczności gatunków do szacowania PMI dla zwłok powieszonych zostało przyjęte za Matuszewskim i in. (2010b).

Ocena użyteczności gatunków nekrofilnych do szacowania czasu zgonu jest dokonywana na podstawie analizy wartości następujących wskaźników:

- czasu obecności osobników danego gatunku na zwłokach (CO),
- liczby przerw w czasie obecności osobników danego gatunku na zwłokach (LP),
- najdłuższego nieprzerwanego czasu obecności osobników danego gatunku na zwłokach (NNCO).

Wskaźniki te były obliczane tylko dla gatunków, które były minimalnie liczne na przynajmniej dwóch zwłokach powieszonych.



Wykres 5. Schematyczne przedstawienie wskaźników wykorzystywanych przy ocenie użyteczności nekrofilnych gatunków owadów do szacowania czasu zgonu. Czerwoną przerywaną linią przedstawiono okres przebywania na zwłokach przykładowego gatunku owada. CO – czas obecności, P – przerwa w obecności osobników danego gatunku na zwłokach, NNCO – najdłuższy nieprzerwany czas obecności.

Czas obecności (CO) danego gatunku na zwłokach określa jaki procent czasu obserwowanego rozkładu zwłok stanowi przedział czasowy od pierwszego do ostatniego dnia pojawu osobników tego gatunku na zwłokach (Wyk. 5). Czas obecności (CO) danego gatunku na zwłokach powieszonych wyrażony jest w procentach i obliczany był w następujący sposób:

$$\text{Czas obecności (CO)} = (\text{LDO}/\text{LDE}) \cdot 100\%$$

gdzie:

LDO – liczba dni upływających od pierwszego do ostatniego dnia pojawu osobników danego gatunku na zwłokach,

LDE – liczba dni upływających od rozpoczęcia do zakończenia eksperymentu.

Wartości CO przedstawione w wynikach są średnią arytmetyczną wartości wskaźników obliczonych dla wszystkich zwłok powieszonych, na których dany gatunek był minimalnie liczny.

Przerwa w czasie pojawu danego gatunku na zwłokach (LP) jest to okres, w którym osobniki danego gatunku nie były stwierdzone na zwłokach (Wyk. 5). Wartości LP przedstawione w wynikach są średnią arytmetyczną wartości wskaźników obliczonych dla wszystkich zwłok powieszonych, na których dany gatunek był minimalnie liczny.

Najdłuższy nieprzerwany czas obecności gatunku na zwłokach (NNCO) to okres w czasie pojawu, w którym najdłużej nieprzerwanie stwierdzano obecność osobników danego gatunku na zwłokach (Wyk. 5). Najdłuższy nieprzerwany czas obecności osobników danego gatunku na zwłokach powieszonych wyrażany jest w procentach i obliczany był następująco:

$$\text{Najdłuższy nieprzerwany czas obecności (NNCO)} = (\text{NNLDO}/\text{LDO}) * 100\%$$

gdzie:

NNLDO – liczba dni w których dany gatunek najdłużej nieprzerwanie był obecny na zwłokach,

LDO – liczba dni upływających od pierwszego do ostatniego pojawienia się na zwłokach osobników danego gatunku.

Wartości NNCO przedstawione w wynikach są średnią arytmetyczną wartości wskaźników obliczonych dla wszystkich zwłok powieszonych na których dany gatunek był minimalnie liczny.

W celu wyznaczenia gatunków wskaźnikowych czasu śmierci dla zwłok powieszonych brano pod uwagę uśredniony czas obecności danego gatunku na zwłokach, uśrednioną liczbę przerw w trakcie przebywania na zwłokach i uśredniony najdłuższy nieprzerwany czas obecności na zwłokach. Zbadano również zależność między pierwszym dniem pojawu osobników danego gatunku na zwłokach powieszonych, a rozpoczęciem poszczególnych procesów rozkładu. W tym celu obliczany był współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Zależność ta była sprawdzana dla gatunków, które były minimalnie liczne na przynajmniej trzech zwłokach powieszonych, przy czym nie brano pod uwagę wpływu sezonu.

Gatunki zostały przydzielone do następujących kategorii przydatności do szacowania czasu zgonu:

- gatunki o wysokiej przydatności do szacowania PMI dla zwłok powieszonych – $CO \leq 40$ oraz silna, pozytywna i istotna statystycznie korelacja między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem procesu rozkładu;
- gatunki o umiarkowanej przydatności do szacowania PMI dla zwłok powieszonych – CO między 40, a 80 oraz pozytywna i istotna statystycznie korelacja między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem danego procesu rozkładu;
- gatunki nieprzydatne do szacowania PMI dla zwłok powieszonych - $CO > 80$ oraz słaba lub negatywna korelacja między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem danego procesu rozkładu;
- gatunki o nieznanym przydatności do szacowania PMI dla zwłok powieszonych – brak możliwości obliczenia korelacji między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem danego procesu rozkładu, ze względu na pojawienie się gatunku na zbyt małej liczbie zwłok.

3.5.4. Modele sukcesji owadów na zwłokach powieszonych

W matrycach obrazujących modele sukcesji owadów na zwłokach powieszonych umieszczono gatunki, które na podstawie obliczonych wskaźników (czas obecności, liczba przerw, najdłuższy nieprzerwany czas obecności oraz korelacja między dniem pierwszego pojawu osobników danego gatunku oraz rozpoczęciem procesów rozkładu) zostały określone jako gatunki o wysokim, umiarkowanym lub nieznanym stopniu przydatności przy szacowaniu PMI dla zwłok powieszonych oraz równocześnie osobniki tych gatunków były minimalnie liczne na zwłokach przynajmniej dwóch świń badanych w danej porze roku. Czas pojawu oraz ostatni dzień obecności osobników danego gatunku na zwłokach powieszonych został wyrażony odpowiednio jako średnia pierwszych i ostatnich dni pojawu osobników na wszystkich zwłokach w danej porze roku. W przypadku larw muchówek jako pierwszy dzień ich pojawu uznano dzień zbioru stadium larwalnego, które bez wątpliwości można było zidentyfikować jako larwę danego gatunku muchówki (II-gie, a najczęściej III-ie stadium larwalne).

We wszystkich analizach statystycznych przyjęto poziom istotności wynoszący 5%. Obliczenia były wykonywane przy pomocy programów Microsoft Office Excel 2010 oraz Statistica 12 (StatSoft, numer seryjny: JPZP5078529414AR-R, licencja do 31.10.2016).

4. Wyniki – Rozkład zwłok powieszonych

4.1. Przebieg rozkładu zwłok powieszonych

Zarówno na zwłokach powieszonych, jak i kontrolnych, tj. eksponowanych na powierzchni ziemi, zaobserwowano te same procesy rozkładu. Były to: wzdęcie zwłok, proces aktywnego rozkładu oraz proces zaawansowanego rozkładu. Czas rozpoczęcia i trwania poszczególnych procesów rozkładu różnił się w przypadku obu sposobów postępowania ze zwłokami. Przebieg rozkładu, zarówno zwłok powieszonych, jak i eksponowanych na powierzchni ziemi, był mozaikowy. Oznacza to, że różne części ciała były objęte różnymi procesami rozkładu w tym samym czasie.

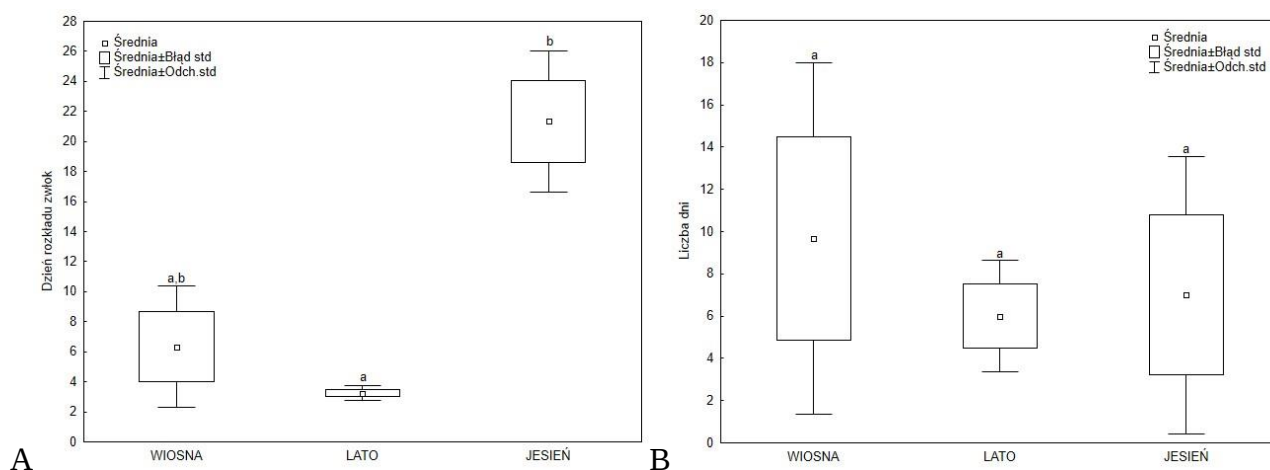
4.1.1. Wzdęcie zwłok

Wzdęcie zwłok (Fot. 8) wystąpiło w przypadku 10 zwłok powieszonych na 12 użytych w trakcie badań. Proces ten zaobserwowano w przypadku trzech zwłok badanych wiosną, czterech latem oraz trzech jesienią. Wśród zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi tylko raz nie odnotowano wzdęcia zwłok (jesienią). Ponadto w trakcie wszystkich badanych pór roku zwłoki powieszone charakteryzowały się mniejszym wzdęciem niż zwłoki rozkładające się na ziemi.



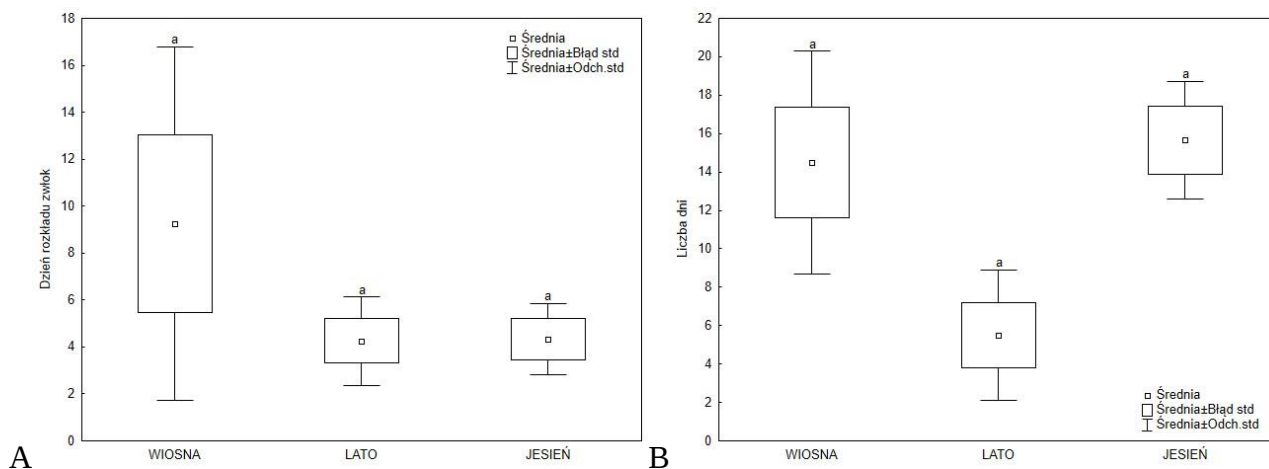
Fot. 8. Wzdęcie zwłok powieszonych (autor zdjęcia: M. Jarmusz).

Proces wzdęcia zwłok powieszonych najwcześniej obserwowany był latem, natomiast najpóźniej rozpoczynał się jesienią (Wyk. 6A). Pora roku miała istotny statystycznie wpływ na rozpoczęcie procesu wzdęcia zwłok powieszonych (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 10)}=7,691$; $P=0,021$) (Wyk. 6A). Wzdęcie zwłok najkrócej obserwowane było latem, ale pora roku nie miała statystycznie istotnego wpływu na czas jego trwania (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 9)}=0,267$; $P=0,875$) (Wyk. 6B).



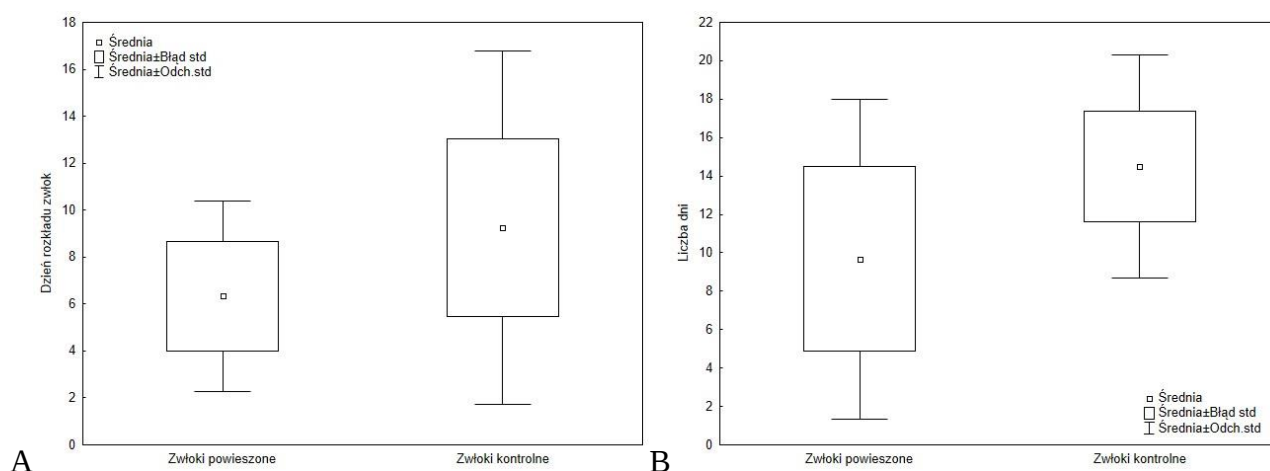
Wykres 6. Wpływ pory roku na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) wzdęcia zwłok powieszonych. Litera 'a' oznacza brak różnic istotnych statystycznie.

W przypadku zwłok eksponowanych na powierzchni gruntu wzdęcie było najwcześniej obserwowane latem oraz jesienią, jednak pora roku nie miała wpływu na początek procesu wzdęcia zwłok (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 11)}=2,490$; $P=0,288$) (Wyk. 7A). Tak jak w przypadku zwłok powieszonych wzdęcie było najkrócej obserwowane latem, ale pora roku nie miała statystycznie istotnego wpływu na czas jego trwania (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 11)}=5,628$; $P=0,06$) (Wyk. 7B).

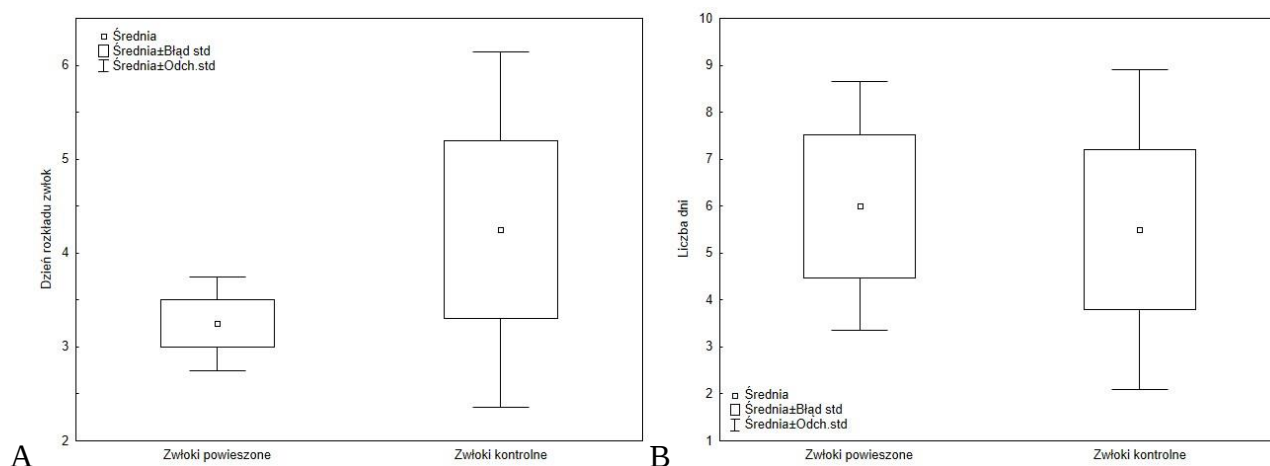


Wykres 7. Wpływ pory roku na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) wzdęcia zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi. Litera 'a' oznacza brak różnic istotnych statystycznie.

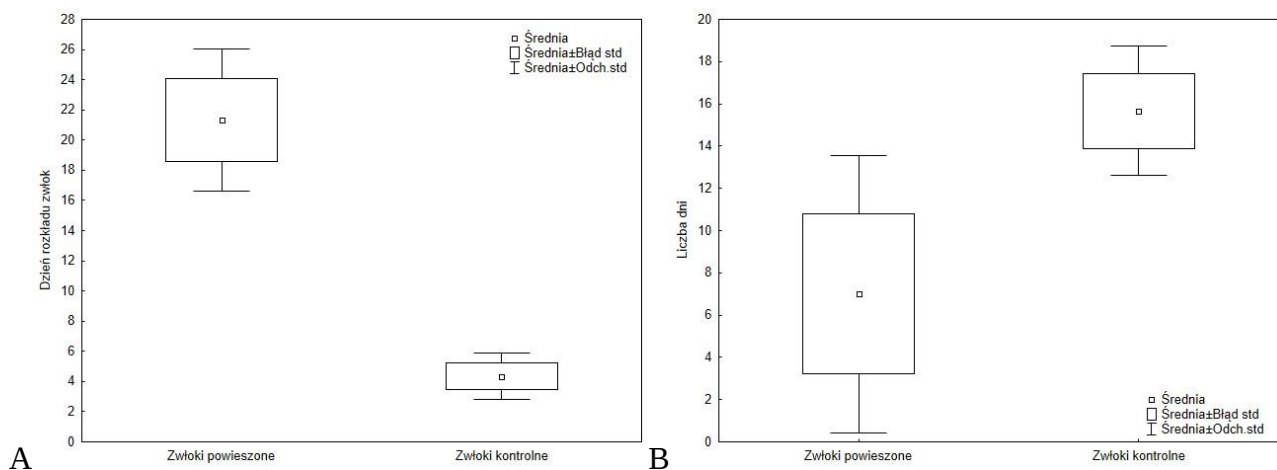
Wiosną sposób postępowania ze zwłokami (powieszenie, wyłożenie na powierzchni ziemi) nie miał statystycznie istotnego wpływu na początek procesu wzdęcia (test Kruskala-Wallisa, $H_{(1, 7)}=0,152$; $P=0,697$) (Wyk. 8A) oraz na czas jego trwania (test Kruskala-Wallisa, $H_{(1, 7)}=0,795$; $P=0,373$) (Wyk. 8B). Również latem sposób traktowania zwłok nie miał statystycznie istotnego wpływu na początek procesu wzdęcia (test Kruskala-Wallisa, $H_{(1, 8)}=0,694$; $P=0,405$) (Wyk. 9A) oraz na czas jego trwania (test Kruskala-Wallisa, $H_{(1, 7)}=0,000$; $P=1$) (Wyk. 9B). Statystycznie istotną różnicę w czasie rozpoczęcia wzdęcia między zwłokami powieszonymi, a zwłokami kontrolnymi zaobserwowano jesienią (test Kruskala-Wallisa, $H_{(1, 6)}=3,857$; $P=0,049$) (Wyk. 10A). Jesienią wzdęcie zwłok zostało zaobserwowane o wiele wcześniej na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi. W tej samej porze roku sposób traktowania zwłok nie miał wpływu na czas trwania procesu wzdęcia (test Kruskala-Wallisa, $H_{(1, 6)}=2,333$; $P=0,127$) (Wyk. 10B).



Wykres 8. Wpływ sposobu postępowania ze zwłokami na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) procesu wzdęcia wiosną.



Wykres 9. Wpływ sposobu postępowania ze zwłokami na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) procesu wzdęcia latem.



Wykres 10. Wpływ sposobu postępowania ze zwłokami na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) procesu wzdęcia jesienią.

4.1.2. Aktywny rozkład zwłok

Aktywny rozkład zwłok (Fot. 9) został zaobserwowany na wszystkich zwłokach powieszonych i eksponowanych. W przypadku zwłok dwóch świń w trakcie rozkładu doszło do przerwania odcinka szyjnego na skutek czego zwłoki spadły na ziemię. Było to jednoznaczne z zakończeniem eksperymentu, ponieważ nie można było odnotować zakończenia procesu aktywnego rozkładu zwłok.



Fot. 9. Aktywny rozkład zwłok powieszonych (autor zdjęcia: M. Jarmusz).

Za początek aktywnego rozkładu zwłok uznaje się moment pojawienia się pierwszych mas larw różnych gatunków muchówek z rodziny Calliphoridae. Początek kolonizacji zwłok przez muchówki z tej rodziny przebiegał w podobny sposób na zwłokach powieszonych oraz eksponowanych na powierzchni ziemi. Samice muchówek pojawiały się na zwłokach obu typów praktycznie w tym samym czasie i składały jaja w okolicach naturalnych otworów ciała (otwór gębowy, oczy, uszy oraz odbytu). Na zwłokach powieszonych dodatkowym miejscem składania jaj była powierzchnia ciała znajdująca się bezpośrednio pod sznurem. Pierwsze masy larw pojawiały się w miejscach, w których zostały złożone jaja. W przypadku zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi muchówki nadal składały jaja np. na granicy ciało-gleba, czego z oczywistych względów nie zaobserwowano na zwłokach powieszonych. W przypadku zwłok powieszonych dochodziło bardzo szybko do powiększania się otworu odbytowego oraz powstawania dodatkowego otworu w okolicy narządów płciowych. Skutkowało to wypadaniem na zewnątrz narządów wewnętrznych, a w późniejszym czasie kości. Efektem tego zjawiska był rozkład narządów wewnętrznych na ziemi pod zwłokami, w tzw. „strefie spadania” (Fot. 10).



Fot. 10. Przykład wykształcenia się „strefy spadania” (autor zdjęcia: M. Jarmusz).

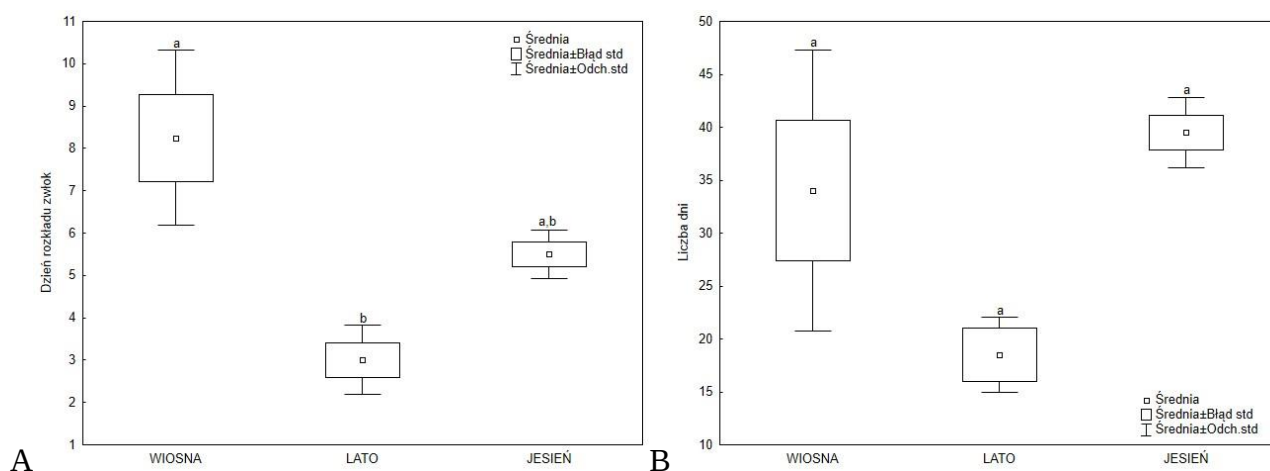
W przypadku wszystkich badanych zwłok powieszonych aktywny rozkład odbywał się przede wszystkim na skutek żerowania larw muchówek z rodziny Calliphoridae. W okresie wiosennym zwłoki zostały skolonizowane głównie przez *Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758). Latem zwłoki powieszone zostały skolonizowane przez *Calliphora vomitoria* i *Lucilia caesar*.

Natomiast jesienią niektóre zwłoki powieszzone zostały skolonizowane zarówno przez *C. vomitoria*, jak i *L. caesar*, a niektóre tylko przez *Calliphora vomitoria*. Wiosną i jesienią dominant w rozkładzie zwłok był ten sam w przypadku zwłok powieszonych, jak i eksponowanych na powierzchni ziemi. Różnice można było zaobserwować latem, kiedy to rozkład zwłok kontrolnych odbywał się również na skutek aktywności larw chrząszcza *Necrodes littoralis* (Tab. 3).

Tabela 3. Gatunki dominujące na zwłokach powieszonych (P) oraz zwłokach kontrolnych (K) rozkładających się na ziemi (liczba kropek odpowiada liczbie zwłok zdominowanych przez dany gatunek).

Dominant	wiosna		lato		jesień	
	P	K	P	K	P	K
<i>Calliphora vomitoria</i>	••••	•••••			••	•
<i>Lucilia caesar</i>				•		
<i>Calliphora vomitoria</i> , <i>Lucilia caesar</i>			••••	•	••	•••
<i>Calliphora vomitoria</i> , <i>Lucilia caesar</i> , <i>Necrodes littoralis</i>				••		

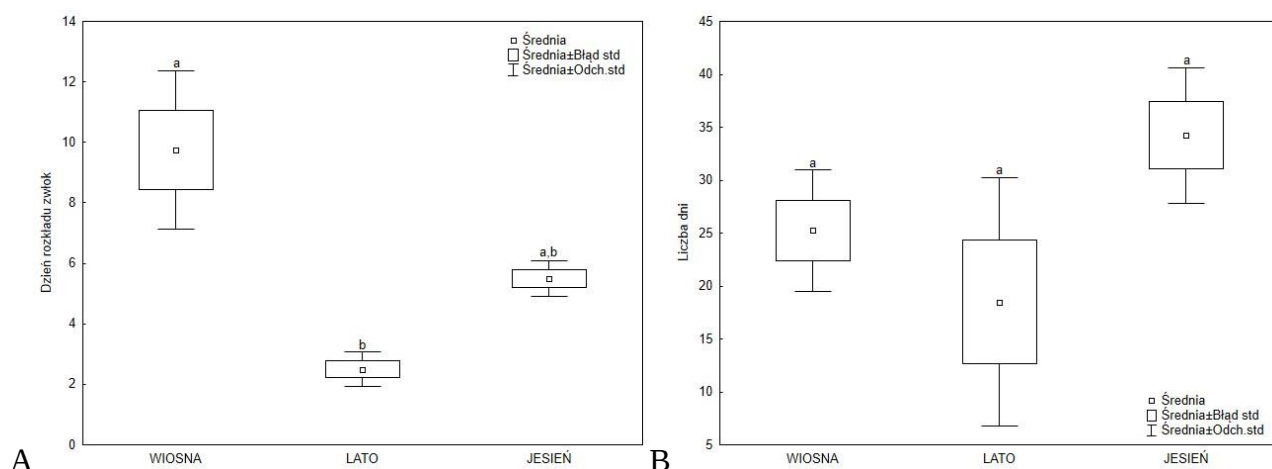
Aktywny rozkład zwłok powieszonych najwcześniej rozpoczynał się latem, a najpóźniej wiosną. Pora roku miała statystycznie istotny wpływ na początek aktywnego rozkładu zwłok powieszonych (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 12)}=9,502$; $P=0,009$) (Wyk. 11A), natomiast nie miała wpływu na czas trwania aktywnego rozkładu (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 10)}=4,500$; $P=0,105$) (Wyk. 11B).



Wykres 11. Wpływ pory roku na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) aktywnego rozkładu zwłok powieszonych. Litery oznaczają wyniki testu wielokrotnych porównań. Te same litery wskazują brak różnic istotnych statystycznie.

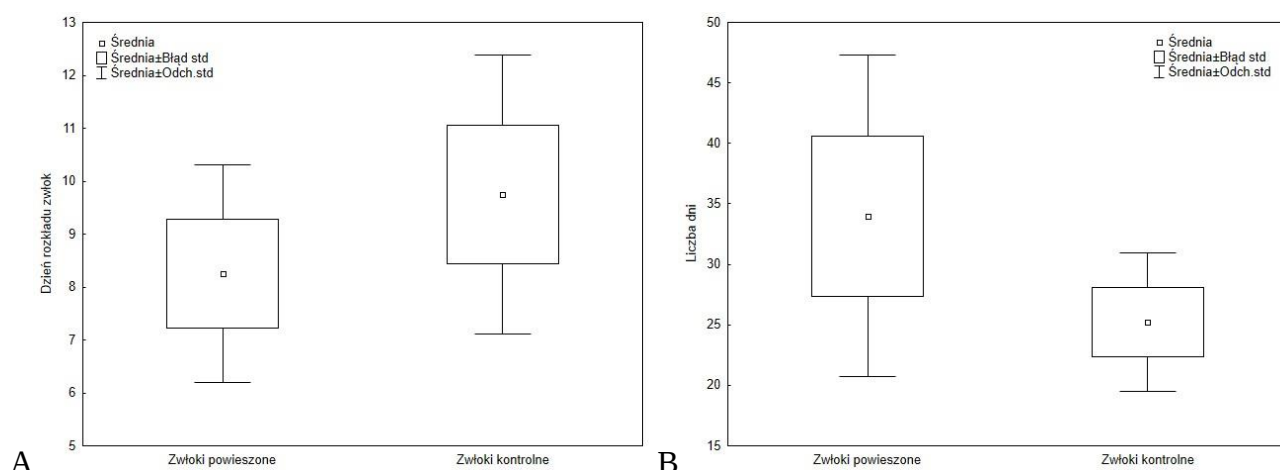
Aktywny rozkład na zwłokach eksponowanych, tak samo jak w przypadku zwłok powieszonych, najwcześniej rozpoczynał się latem, a najpóźniej wiosną. W przypadku zwłok eksponowanych na powierzchni gruntu pora roku także miała wpływ na początek aktywnego

rozkładu zwłok (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 12)}=10,021$; $P=0,007$) (Wyk. 12A) i nie miała wpływu na czas trwania aktywnego rozkładu (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 12)}=4,269$; $P=0,118$) (Wyk. 12B).

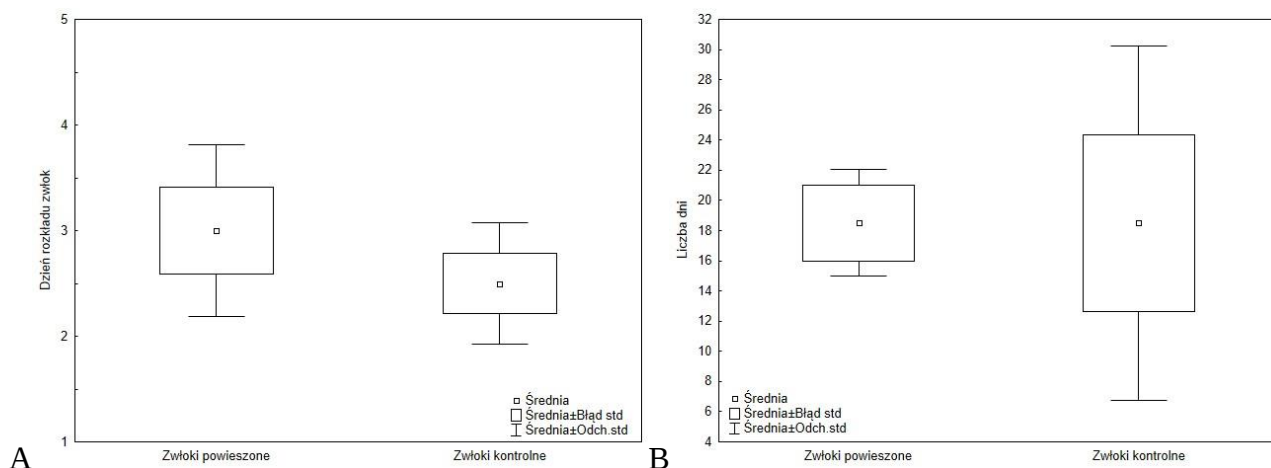


Wykres 12. Wpływ pory roku na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) aktywnego rozkładu zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi. Litery oznaczają wyniki testu wielokrotnych porównań. Te same litery wskazują brak różnic istotnych statystycznie.

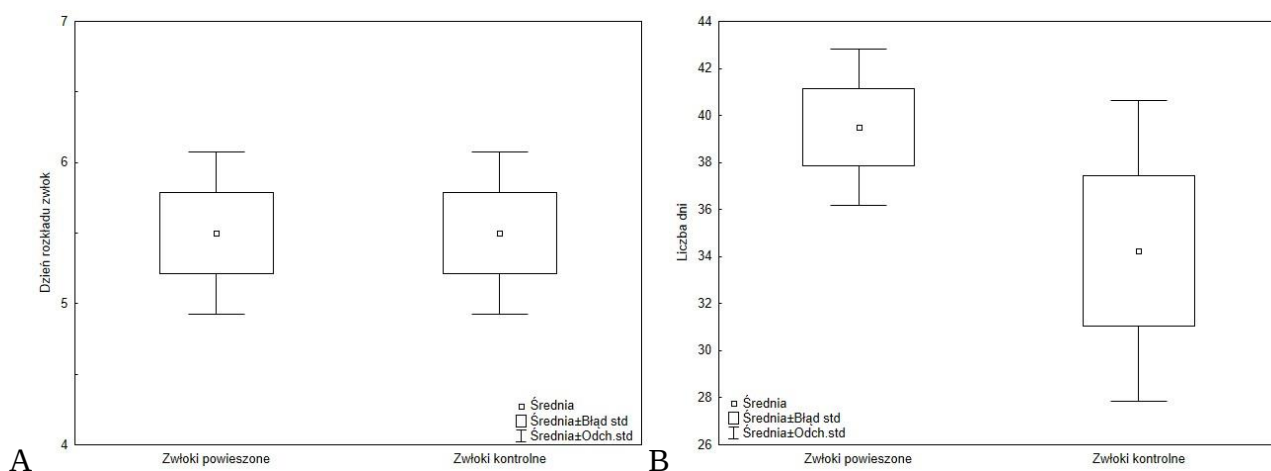
We wszystkich porach roku sposób postępowania ze zwłokami nie miał statystycznie istotnego wpływu na początek aktywnego rozkładu (test Kruskala-Wallisa, wiosna: $H_{(1, 8)}=1,059$; $P=0,304$ (Wyk.13A), lato: $H_{(1, 8)}=0,900$; $P=0,342$ (Wyk.14A), jesień: $H_{(1, 8)}=0,000$; $P=1,000$ (Wyk.15A)) oraz na czas trwania tego procesu (test Kruskala-Wallisa, wiosna: $H_{(1, 8)}=2,108$; $P=0,147$ (Wyk. 13B), lato: $H_{(1, 6)}=0,857$; $P=0,355$ (Wyk.14B), jesień: $H_{(1, 8)}=2,160$; $P=0,142$ (Wyk.15B)).



Wykres 13. Wpływ sposobu postępowania ze zwłokami na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) procesu aktywnego rozkładu wiosną.



Wykres 14. Wpływ sposobu postępowania ze zwłokami na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) procesu aktywnego rozkładu latem.



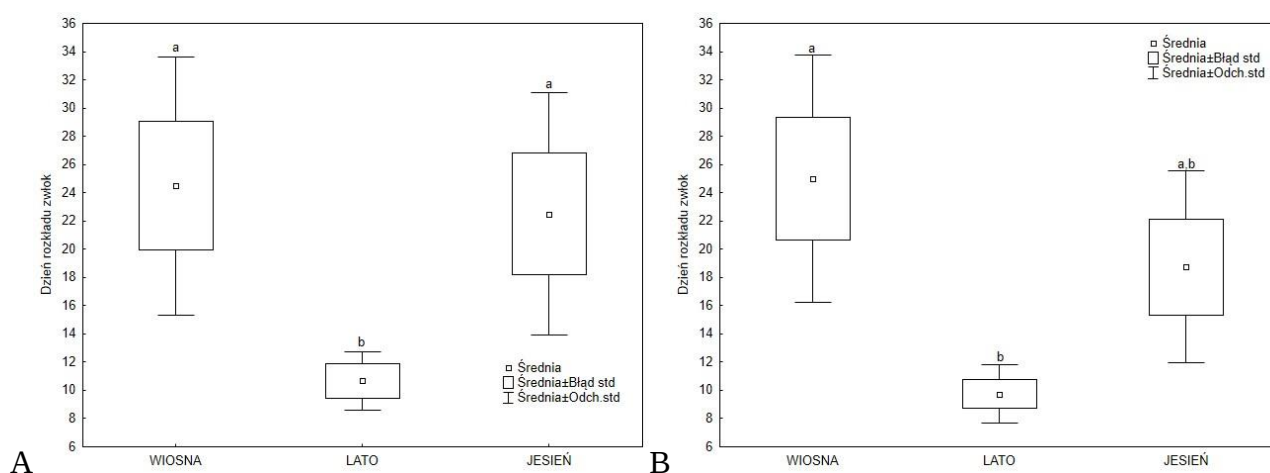
Wykres 15. Wpływ sposobu postępowania ze zwłokami na dzień rozpoczęcia (A) oraz czas trwania (B) procesu aktywnego rozkładu jesienią.

4.1.3. Zaawansowany rozkład zwłok

Pora roku miała statystycznie istotny wpływ na początek zaawansowanego rozkładu zwłok powieszonych (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 11)}=6,130$; $P=0,047$) (Wyk. 16A). Zaawansowany rozkład zwłok (Fot. 11) najwcześniej obserwowany był latem, natomiast najpóźniej wiosną. W przypadku zwłok eksponowanych na powierzchni gruntu pora roku również miała istotny statystycznie wpływ na początek zaawansowanego rozkładu zwłok (test Kruskala-Wallisa, $H_{(2, 12)}=7,679$; $P=0,022$) (Wyk. 16B). Ponownie proces ten obserwowany był najwcześniej latem, a najpóźniej wiosną.



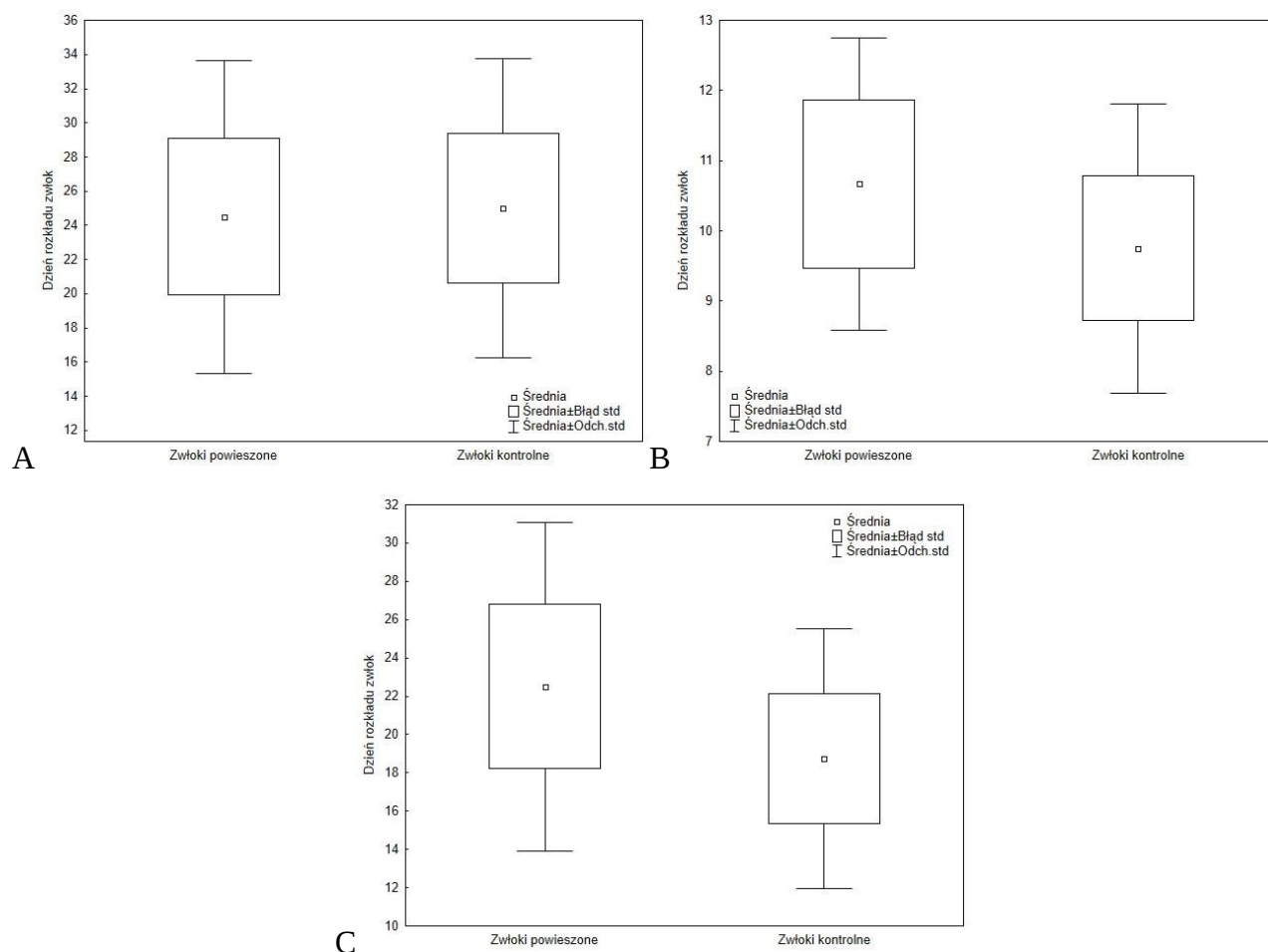
Fot. 11. Zaawansowany rozkład zwłok powieszonych (autor zdjęcia: M. Jarmusz).



Wykres 16. Wpływ pory roku na dzień rozpoczęcia zaawansowanego rozkładu zwłok powieszonych (A) oraz zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi (B). Litery oznaczają wyniki testu wielokrotnych porównań. Te same litery wskazują brak różnic istotnych statystycznie.

Nie można było zbadać wpływu poru roku oraz sposobu postępowania ze zwłokami na czas trwania zaawansowanego rozkładu ze względu na to, że w momencie zakończenia eksperymentów na większości zwłok proces zaawansowanego rozkładu nie był jeszcze zakończony. Zwłoki, które zostały użyte w eksperymencie w 2013 roku pozostawiono do obserwacji aż do wiosny 2014 roku i w przypadku wszystkich zwłok powieszonych, w przeciwieństwie do kontrolnych, nadal obecna była większość skóry.

Sposób postępowania ze zwłokami nie miał statystycznie istotnego wpływu na początek zaawansowanego rozkładu (test Kruskala-Wallisa, wiosna: $H_{(1, 8)}=0,021$; $P=0,885$ (Wyk. 17A), lato: $H_{(1, 7)}=0,509$; $P=0,476$ (Wyk. 17B), jesień: $H_{(1, 8)}=1,033$; $P=0,309$ (Wyk. 17C).



Wykres 17. Wpływ sposobu postępowania ze zwłokami na dzień rozpoczęcia procesu zaawansowanego rozkładu wiosną (A), latem (B) oraz jesienią (C).

4.1.4. Matryce rozkładu zwłok powieszonych

Najbardziej wyraźną różnicę w przebiegu rozkładu między zwłokami powieszonymi, a eksponowanymi na powierzchni ziemi można było zaobserwować podczas końcowych etapów rozkładu. Ani razu nie zaobserwowano całkowitego zeszkielestowania zwłok powieszonych, a więc w trakcie trwania eksperymentów na zwłokach tego typu nie wystąpił etap szczątków. Nieliczne przypadki stwierdzenia zeszkielestowania zwłok powieszonych zaobserwowano latem i tylko w obrębie czaszki. W przypadku niektórych zwłok powieszonych nawet w rok po rozpoczęciu eksperymentu zwłoki były nadal w zaawansowanym rozkładzie.

Matryce rozkładu zwłok powieszonych oraz zwłok kontrolnych w poszczególnych porach roku zostały przedstawione w Tabelach 4-6. Szczegółowe matryce (uwzględniające podział na głowę oraz resztę ciała) dla poszczególnych lat i pór roku zostały umieszczone w Dodatku.

Tabela 4. Matryca rozkładu zwłok powieszonych i zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi wiosną.

[illegible]

Tabela 5. Matryca rozkładu zwłok powieszonych i zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi latem.

[illegible]

Tabela 6. Matryca rozkładu zwłok powieszonych i zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi jesienią.

[illegible]

Porównując tempo rozkładu zwłok powieszonych oraz zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi zaobserwowano, że zwłoki kontrolne rozkładały się szybciej wiosną oraz jesienią. Natomiast latem nie zaobserwowano wyraźnych różnic w tempie rozkładu między tymi dwoma typami zwłok. Największe różnice w tempie rozkładu między zwłokami powieszonymi, a eksponowanymi zaobserwowano wiosną, chociaż nie były one istotne statystycznie. Różnice te dotyczyły zarówno dnia rozpoczęcia poszczególnych procesów rozkładu, jak i długości ich trwania. Na zwłokach powieszonych wcześniej rozpoczynało się wzdęcie oraz aktywny rozkład. Wzdęcie trwało krócej na zwłokach powieszonych, natomiast aktywny rozkład trwał na zwłokach tego typu zdecydowanie dłużej (Tabela 7). Dzień rozpoczęcia poszczególnych procesów rozkładu oraz czas ich trwania na zwłokach powieszonych latem były bardzo zbliżone do wyników otrzymanych dla zwłok eksponowanych na powierzchni gruntu. Jesienią największą różnicę zaobserwowano w dniu rozpoczęcia i czasie trwania wzdęcia obu badanych typów zwłok. Rozpoczęło się ono o wiele wcześniej i trwało zdecydowanie dłużej na zwłokach eksponowanych na powierzchni gruntu. Jesienią można było także zaobserwować wcześniejsze rozpoczęcie zaawansowanego rozkładu na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi (Tabela 7).

Tabela 7. Dzień rozpoczęcia i czas trwania procesów wzdęcia i aktywnego rozkładu oraz dzień rozpoczęcia zaawansowanego rozkładu.

	Wiosna				Lato				Jesień			
	Zwłoki powieszone		Zwłoki kontrolne		Zwłoki powieszone		Zwłoki kontrolne		Zwłoki powieszone		Zwłoki kontrolne	
	Średnia (dni)	Zakres (dni)	Średnia (dni)	Zakres (dni)	Średnia (dni)	Zakres (dni)	Średnia (dni)	Zakres (dni)	Średnia (dni)	Zakres (dni)	Średnia (dni)	Zakres (dni)
Początek wzdęcia	6	4 - 11	9	4 - 20	3	3 - 4	4	3 - 7	21	16 - 25	4	3 - 6
Czas trwania wzdęcia	10	3 - 19	15	7 - 21	6	4 - 9	6	1 - 9	7	1 - 14	16	13 - 19
Początek aktywnego rozkładu	8	6 - 10	10	7 - 12	3	2 - 4	3	2 - 3	6	5 - 6	6	5 - 6
Czas trwania aktywnego rozkładu	34	20 - 52	25	17 - 30	19	16 - 21	19	11 - 36	40	35 - 42	34	25 - 39
Początek zaawansowanego rozkładu	25	15 - 35	25	16 - 33	11	9 - 13	10	8 - 12	23	15 - 33	19	12 - 26

4.2. Wartości TBS (Total Body Score)

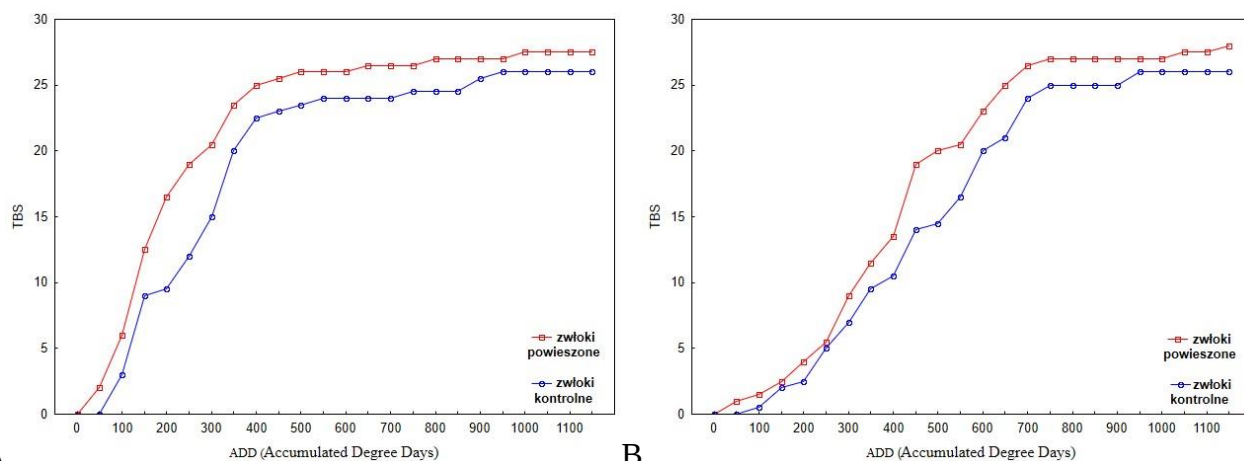
Ze względu na niekompletne dane temperaturowe (Roz. 3.4.) obliczono wartości TBS tylko dla zwłok wykorzystanych w czterech okresach badawczych (Tab. 8). W analizach statystycznych porównywano wartości TBS do momentu zakończenia procesu aktywnego rozkładu w danym okresie badawczym (wiosna 2012 – 400 ADD, wiosna 2013 – 600 ADD, lato 2012 – 400 ADD, jesień 2013 – 500 ADD).

Wykazano statystycznie istotne różnice w wartościach TBS dla zwłok powieszonych i eksponowanych na ziemi wiosną 2012 roku (test chi-kwadrat, $\chi^2=16,509$ P=0,036). Nie wykazano statystycznie istotnych różnic w wartościach TBS między zwłokami powieszonymi i eksponowanymi wiosną 2013 roku (test chi-kwadrat, $\chi^2=10,216$ P=0,597), latem 2012 roku (test chi-kwadrat, $\chi^2=9,971$ P=0,267) oraz jesienią 2013 roku (test chi-kwadrat, $\chi^2=1,741$ P=0,998).

Zsumowane wartości TBS pokazały, że wiosną rozkład rozpoczyna się wcześniej na zwłokach powieszonych, a przesunięcie czasowe w rozkładzie jest obecne, aż do momentu kiedy całe zwłoki zostaną objęte procesem zaawansowanego rozkładu. Przesunięcie czasowe było najbardziej wyraźne w trakcie trwania aktywnego rozkładu zwłok (Wyk. 18A oraz 18B). Mniejsze różnice w wartościach TBS między zwłokami powieszonymi i eksponowanymi na powierzchni ziemi zostały zaobserwowane latem, a najmniejsze jesienią.

Tabela 8. Wartości TBS zmierzone wiosną (2012 i 2013 rok), latem (2012 rok) oraz jesienią (2013 rok). Podkreśleniem zaznaczono wartości TBS w momencie zakończenia aktywnego rozkładu zwłok w danym okresie badawczym (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne leżące na ziemi).

ADD	Wiosna 2012		Wiosna 2013		Lato		Jesień	
	P	K	P	K	P	K	P	K
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	2,0	0,0	1,0	0,0	3,0	1,0	1,0	0,0
100	6,0	3,0	1,5	0,5	6,0	4,5	2,0	1,0
150	12,5	9,0	2,5	2,0	10,0	9,5	4,0	4,5
200	16,5	9,5	4,0	2,5	18,0	13,0	7,5	6,0
250	19,0	12,0	5,5	5,0	21,0	16,0	9,5	9,0
300	20,5	15,0	9,0	7,0	22,0	17,5	13,5	12,0
350	23,5	20,0	11,5	9,5	23,0	19,5	14,0	15,0
400	<u>25,0</u>	<u>22,5</u>	13,5	10,5	<u>25,0</u>	<u>23,0</u>	16,5	17,0
450	25,5	23,0	19,0	14,0	25,0	24,5	17,5	17,5
500	26,0	23,5	20,0	14,5	26,0	26,5	<u>17,5</u>	<u>18,0</u>
550	26,0	24,0	20,5	16,5	26,0	26,5	18,0	18,0
600	26,0	24,0	<u>23,0</u>	<u>20,0</u>	26,0	27,5	18,0	18,0
650	26,5	24,0	25,0	21,0	-	-	-	-
700	26,5	24,0	26,5	24,0	-	-	-	-
750	26,5	24,5	27,0	25,0	-	-	-	-
800	27,0	24,5	27,0	25,0	-	-	-	-

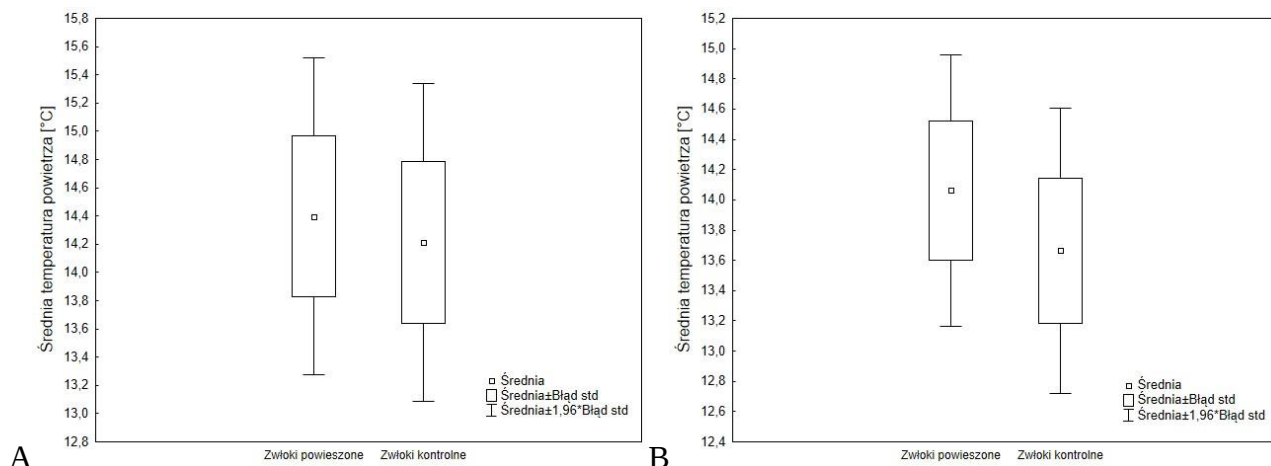


A B

Wykres 18. Wartości TBS dla zwłok powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi wiosną 2012 (A) oraz 2013 (B) roku (ADD – skumulowane stopnio-dni).

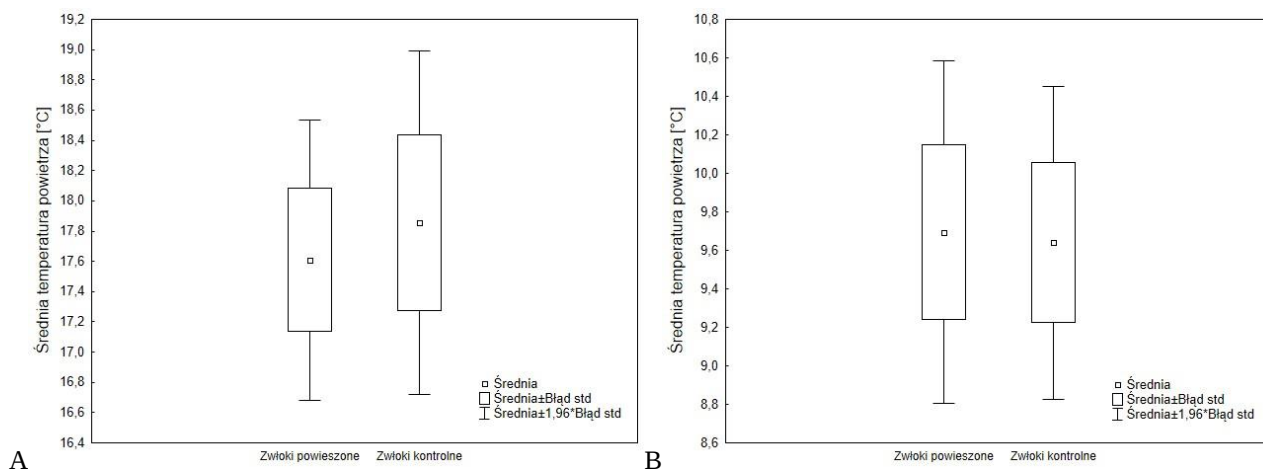
4.3. Wpływ temperatury powietrza na rozkład zwłok

W trakcie trwania eksperymentów wyższe średnie dobowe temperatury odnotowano przy zwłokach powieszonych wiosną (2012 rok – Wyk. 19A; 2013 rok - Wyk. 19B), natomiast latem wyższe średnie temperatury powietrza odnotowywano przy próbach kontrolnych (Wyk. 20A). Najmniejsze różnice w średnich temperaturach powietrza, odnotowanych przy dwóch typach zwłok, zaobserwowano jesienią (Wyk 20B). Różnice te nie były istotne statystycznie (Test t-studenta, wiosna 2012: $t=0,82$; $P=0,55$; lato 2012: $t=-0,33$; $P=0,74$; wiosna 2013: $t=0,6$; $P=0,55$; jesień 2013: $t=0,09$; $P=0,93$).



A B

Wykres 19. Średnie temperatury powietrza zmierzone przy zwłokach powieszonych i kontrolnych wiosną 2012 (A) oraz 2013 (B) roku.



Wykres 20. Średnie temperatury powietrza zmierzone przy zwłokach powieszonych i kontrolnych latem 2012 roku (A) oraz jesienią 2013 roku (B).

5. Dyskusja – Rozkład zwłok powieszonych

Wzorce rozkładu zwłok powieszonych opracowane na podstawie obserwacji dokonanych w trakcie przeprowadzonych badań są zgodne z wynikami wcześniejszych obserwacji w tym zakresie (Goff 2009). Autor niniejszej pracy doktorskiej zdaje sobie sprawę, że analizy porównawcze rozpoczęcia i czasu trwania poszczególnych procesów rozkładu zostały wykonane z wykorzystaniem małej liczby powtórzeń. Niemniej w literaturze z tego zakresu można znaleźć prace przedstawiające wyniki badań, w których użyto podobnej liczby zwłok i analizowano zbliżoną liczbę powtórzeń (Matuszewski i in. 2010a, Matuszewski i in. 2014). W efekcie przeprowadzenia badań w ramach niniejszej pracy doktorskiej, w wielu przypadkach odnotowywano różnice między początkiem i czasem trwania procesów rozkładu na zwłokach powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi, ale otrzymane wyniki nie były istotne statystycznie. Na uzyskanie takiego wyniku mogła wpłynąć mała liczba powtórzeń. Z drugiej strony, oględziny jednych zwłok wymagają takiego nakładu czasu, że zwiększenie ich liczby skutkowałoby wystąpieniem różnic w porze dnia w której te oględziny by się odbywały. W efekcie niektóre obserwacje byłyby przeprowadzane we wczesnych godzinach przedpołudniowych, a inne późnym popołudniem. Mając na uwadze różnice w dobowej aktywności owadów mogłoby to wpłynąć na skład gatunkowy odławianych owadów. Rozwiązaniem tego problemu nie jest z pewnością zwiększenie liczby osób dokonujących oględzin, ponieważ mogłyby wystąpić różnice spowodowane „wpływem obserwatora”. Wykorzystana metodyka badań została opracowana na podstawie badań Matuszewskiego i in. (2010a). Z uwagi na stosunkowo małą liczbę wykorzystywanych w badaniach zwłok zdecydowano się na analizę dwutorową. Procesy rozkładu i tempo rozkładu zwłok były badane zarówno poprzez porównanie dnia rozpoczęcia oraz czasu trwania poszczególnych procesów, jak i przy wykorzystaniu metody TBS.

Największe różnice w przebiegu procesu rozkładu zwłok powieszonych oraz zwłok rozkładających się bezpośrednio na ziemi pojawiają się na etapie, w którym zwłoki są objęte procesem zaawansowanego rozkładu. W przypadku zwłok powieszonych nie zaobserwowano charakterystycznego dla zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi etapu szczątków, czyli obecności tylko suchych kości i włosów. Zwłoki powieszone były bardziej wystawione na działanie takich czynników jak słońce i wiatr, przez co na pewnym etapie rozkładu ulegały wysuszeniu i pozostawały w zaawansowanym rozkładzie. W trakcie prowadzonych eksperymentów tylko raz zaobserwowano etap szczątków w przypadku zwłok powieszonych. Miało to miejsce latem, a

zeszkieletowanie wystąpiło tylko w obrębie głowy. Brak typowego etapu szczątków w przypadku zwłok powieszonych potwierdza wyniki badań Lynch-Aird i in. (2015) prowadzonych w północno-wschodniej Anglii. Autorzy stwierdzili, że na pewnym etapie rozkładu zwłoki powieszone ulegają mumifikacji i w takiej przemianie pozostają przez bardzo długi czas. Średnie wartości temperatur powietrza w badaniach Lynch-Aird i in. (2015) wahały się od 12°C do 15°C, a więc są to wartości dosyć zbliżone do wartości średnich wiosennych temperatur odnotowywanych w Wielkopolsce. W przypadku zwłok powieszonych na terenie poligonu w Biedrusku, wiosną aktywny rozkład kończył się najpóźniej w 42 dniu rozkładu i w takim stanie zwłoki pozostawały aż do wiosny kolejnego roku. Zwłoki powieszone ulegają pełnemu zeszkieletowaniu w zdecydowanie cieplejszych warunkach klimatycznych, co pokazują badania przeprowadzone przez Shalaby i in. (2000). W badaniach dotyczących różnic między rozkładem zwłok oraz sukcesją owadów na zwłokach powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi przeprowadzonych na Hawajach przez Shalaby i in. (2000) zaobserwowano etap zeszkieleтовania zwłok powieszonych po 40 dniach rozkładu. Średnia dobową temperatura powietrza latem 2012 roku, zmierzona na stanowisku badawczym w Biedrusku, wahała się od 12,9°C do 22,8°C, dlatego tempo rozkładu w warunkach klimatu umiarkowanego jest o wiele wolniejsze niż np. w badaniach Shalaby i in. (2000) i Chin i in. (2010). W związku z tym, nie zaobserwowano ani razu całkowitego zeszkieleтовania zwłok powieszonych, a aktywny rozkład zwłok tego typu kończył się latem dopiero około 22 dnia rozkładu. Jak do tej pory przeprowadzono niewiele długoterminowych badań nad rozkładem zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi (Anderson & VanLaerhoven 1996, Özdemir & Sert 2009, Mądra i in. 2015), a w przypadku zwłok powieszonych nie prowadzono takich badań w ogóle. Dopiero przyszłe badania mogą dać odpowiedź na temat czasu, po upływie którego może dojść do zeszkieleтовania zwłok powieszonych w warunkach klimatycznych Wielkopolski.

Tempo rozkładu większości badanych zwłok powieszonych było wolniejsze niż tempo rozkładu zwłok leżących na powierzchni ziemi. Szczególnie wyraźne różnice w tempie rozkładu były widoczne jesienią oraz w końcowych etapach rozkładu wiosną. Podobne różnice w tempie rozkładu między zwłokami powieszonymi i eksponowanymi odnotowano we wcześniejszych badaniach przeprowadzonych na Hawajach (Shalaby i in. 2000) i w Malezji (Chin i in. 2010). Jednak w trakcie eksperymentów przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy doktorskiej najmniejsze różnice w tempie rozkładu zwłok powieszonych i zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi odnotowano w ciągu lata (Tabela 7), czyli w porze roku, w której wartości średnich temperatur powietrza są najwyższe. W badaniach Lynch-Aird i in. (2015) zaobserwowano, że proces zaawansowanego rozkładu szybciej zachodzi na zwłokach powieszonych. W badaniach przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy, nie zaobserwowano takiego zjawiska. Jednak ze

wszystkich prowadzonych wcześniej badań nad rozkładem zwłok powieszonych najbardziej adekwatne do porównań są badania Lynch-Aird i in. (2015) ze względu na przeprowadzenie ich w klimacie najbardziej zbliżonym do warunków panujących w Polsce. Badania Lynch-Aird i in. (2015) były prowadzone także na zdecydowanie największej liczbie zwłok (20). W przypadku badań Shalaby i in. (2000) użyto zwłok tylko dwóch świń (jedne powieszone oraz jedno kontrolne). Natomiast w badaniach Chin i in. (2010) wykorzystano powieszone zwłoki tylko jednej świni, przy czym już w 8 dniu rozkładu, głowa oddzieliła się od reszty padliny i dalszy rozkład przebiegał już na ziemi.

Rozkład zwłok jest procesem, którego tempo uzależnione jest przede wszystkim od obecności larw muchówek (Goff 2009). Zaobserwowane różnice w tempie rozkładu między zwłokami powieszonymi, a eksponowanymi na powierzchni ziemi mogą wynikać z obecności mniejszych mas larw muchówek z rodziny plujkowatych (Calliphoridae) na zwłokach powieszonych w porównaniu do zwłok eksponowanych. Ze zwłok powieszonych spadały na ziemię zarówno duże ilości jaj muchówek, jak i samych larw. Na to zjawisko zwracają również uwagę Shalaby i in. (2000) oraz Lynch-Aird i in. (2015). Shalaby i in. (2000) podają oprócz tego dwie inne przyczyny zaobserwowanych różnic w tempie rozkładu między zwłokami powieszonymi, a eksponowanymi na powierzchni ziemi: różnice w wartościach temperatury powietrza wokół zwłok powieszonych i leżących na ziemi oraz ograniczony dostęp owadów epigeicznych do zwłok powieszonych. Wartości średnich dobowych temperatur powietrza odnotowanych na stanowiskach badawczych na poligonie w Biedrusku tylko częściowo potwierdzają pierwsze wyjaśnienie. Jedynie latem temperatura wokół zwłok rozkładających się na ziemi była wyższa niż w przypadku zwłok powieszonych, przy czym różnice te nie były istotne statystycznie. Badacze z Hawajów zwracają uwagę na to, że zwłoki powieszone, ze względu na kontakt z powietrzem ze wszystkich stron, wychładzają się w nocy o wiele szybciej niż zwłoki leżące bezpośrednio na ziemi. Temperatura zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi jest w nocy bardziej zbliżona do temperatury dziennej ze względu na skumulowane w gruncie ciepło oraz aktywność mas larw znajdujących się między zwłokami, a ziemią. Masa żerujących larw może podnieść temperaturę nawet o kilkadziesiąt stopni (Campobasso i in. 2001, Slone & Gruner 2007). Shalaby i in. (2000) zwrócili także uwagę na ograniczony dla owadów epigeicznych, przede wszystkim chrząszczy, dostęp do zwłok powieszonych. W trakcie badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy doktorskiej wielokrotnie obserwowano na zwłokach powieszonych postaci dorosłe nekrofagicznych gatunków chrząszczy, a nawet ich larwy. Dla większości chrząszczy nekrofilnych powieszenie zwłok nie stanowi bariery, ponieważ mają one zdolność aktywnego lotu. Dodatkowo zwłoki powieszone w trakcie rozkładu wydłużają się, przez co po jakimś czasie znajdują się one w bezpośrednim kontakcie z ziemią, co

ułatwia chrząszczom ich ponowne zasiedlenie. W badaniach Lynch-Aird i in. (2015) wydłużenie zwłok zaobserwowano w przypadku 9 na 10 zwłok powieszonych. W badaniach na terenie poligonu w Biedrusku takie zjawisko zdarzyło się tylko w przypadku dwóch na dwanaście zwłok powieszonych.

W opisywanych badaniach największe różnice w czasie rozpoczęcia poszczególnych procesów rozkładu zaobserwowano wiosną. Zarówno wzdęcie, jak i aktywny rozkład rozpoczynały się wcześniej na zwłokach powieszonych. Odmienne obserwacje odnotowano w trakcie badań prowadzonych przez Shalaby i in. (2000). Może to wynikać z tego, że w trakcie badań przeprowadzonych na Hawajach średnia temperatura otoczenia była wyższa przy zwłokach leżących niż wokół zwłok powieszonych. Na terenie poligonu w Biedrusku taką sytuację zaobserwowano tylko latem.

Charakterystycznym zjawiskiem towarzyszącym rozkładowi zwłok powieszonych jest powstawanie tzw. „strefy spadania” – ang. „drip zone” (Shalaby i in. 2000). Jest to obszar znajdujący się na ziemi bezpośrednio pod rozkładającymi się zwłokami. Rozkład organów wewnętrznych i obecność pochodnych rozkładu w obrębie „strefy spadania” ma istotny wpływ na ocenę wyników otrzymanych w ramach badań z zakresu entomologii sądowej (Saloña-Bordas & Perotti 2014). Powstawanie lub brak „strefy spadania” jest kolejnym czynnikiem, który może mieć wpływ na różnice w tempie rozkładu między zwłokami powieszonymi i leżącymi na powierzchni gruntu. Po pierwsze, „strefa spadania” jest dodatkowym obszarem przyciągającym nekrofilne owady, a po drugie rozkład wnętrzości poza zwłokami przebiega szybciej niż wewnątrz nich, co automatycznie wpływa na tempo rozkładu. Na etapie projektowania badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy doktorskiej zdecydowano się na nieubieranie zwłok ze względu na to, że wykazano już wcześniej brak wpływu tego czynnika na rozkład zwłok (Kelly i in. 2009). Jednak badania Kelly i in. (2009), a w późniejszym czasie Matuszewskiego i in. (2014), prowadzono na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi. Obserwacje terenowe odnotowane na terenie poligonu w Biedrusku pokazują, że w przypadku zwłok powieszonych ubiór mógłby uniemożliwić powstanie „strefy spadania” ze względu na obecność dodatkowej bariery dla wypadających wnętrzości. W przyszłości należałoby przeprowadzić badania sprawdzające wpływ ubioru zwłok powieszonych na tempo rozkładu tego typu zwłok.

Metoda TBS (Total Body Score) opracowana przez Megyesi i in. (2005) staje się coraz popularniejszą metodą służącą do oceny stopnia rozkładu zwłok i analiz porównawczych. Pomimo, że jest ona stosunkowo nowa to była już często wykorzystywana w badaniach z zakresu tafonomii oraz entomologii sądowej (Heaton i in. 2010, Simmons i in. 2010a, Simmons i in. 2010b, Spicka

i in. 2011, Gruenthal i in. 2012, Myburgh i in. 2013, Sutherland i in. 2013, Matuszewski i in. 2014b, Card i in. 2015, Roberts & Dabbs 2015, Suckling i in. 2016). Zaadaptowanie opisywanej skali przez Lynch-Aird i in. (2015) na potrzeby badań nad rozkładem zwłok powieszonych pozwoliło na bardziej adekwatne porównanie różnic między rozkładem zwłok powieszonych, a rozkładem zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi, zaobserwowanych w trakcie badań na poligonie w Biedrusku. Metoda TBS nie była do tej pory wykorzystywana do porównywania rozkładu zwłok powieszonych oraz zwłok rozkładających się bezpośrednio na ziemi. Jednak z powodzeniem była stosowana do porównywania rozkładu zwłok o różnej masie (Simmons i in. 2010a, Spicka i in. 2011, Sutherland i in. 2013, Matuszewski i in. 2014b), zwłok podtopionych z eksponowanymi na powierzchni ziemi (Heaton i in. 2010), zwłok zakopanych z pozostawionymi na powierzchni ziemi (Simmons i in. 2010b), zwłok nadpalonych z nienaruszonymi (Gruenthal i in. 2012), zwłok świeżych oraz rozmrożonych (Roberts & Dabbs 2015), zwłok ubranych oraz rozebranych (Matuszewski i in. 2014b, Card i in. 2015). W badaniach Myburgh i in. (2013) oraz Suckling i in. (2016) zaobserwowano, że metoda TBS jest nieodpowiednia dla szacowania PMI w przypadkach gdy zwłoki rozkładają się w warunkach ciepłych stref klimatycznych (południowe stany USA oraz RPA). Jednak średnie temperatury odnotowane podczas badań na terenie poligonu w Biedrusku są bardziej zbliżone do temperatur odnotowywanych na terenie, dla warunków którego stworzono oryginalną skalę TBS oraz jej modyfikację dla zwłok powieszonych. Wykorzystanie skali TBS w niniejszej pracy doktorskiej potwierdziło wyniki otrzymane klasycznymi metodami oceny rozkładu zwłok polegającymi na określeniu pierwszych dni rozpoczęcia danego procesu oraz czasu jego trwania.

Rozkład zwłok następuje pod wpływem kilku naturalnych procesów takich jak autoliza, gnicie i działalność owadów nekrofagicznych (Goff 2009). W przypadku zwłok powieszonych rozkład był prowadzony przede wszystkim przez larwy muchówek z rodziny Calliphoridae, co potwierdza wyniki wcześniejszych badań nad rozkładem zwłok powieszonych (Shalaby i in. 2000, Chin i in. 2010, Lynch-Aird i in. 2015). W zależności od strefy klimatycznej, w której przeprowadzono poszczególne badania, stwierdzano różne gatunki plujek dominujące na zwłokach. W badaniach Shalaby i in. (2000) i Chin i in. (2010) dominantami były *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) oraz *Chrysomya rufifacies* (Macquart, 1842). Badania Lynch-Aird i in. (2015) skupiały się przede wszystkim na różnicach w rozkładzie, a w artykule autorzy nie podali wyników na temat entomofauny badanych przez nich zwłok. Dominant wykazany podczas badań na terenie poligonu w Biedrusku potwierdza w dużej mierze wyniki wcześniejszych badań prowadzonych na tym terenie (Matuszewski i in. 2010a). W przypadku zwłok kontrolnych zaobserwowano, że w

okresie letnim zwłoki mogą być także licznie kolonizowane przez larwy chrząszcza *Nicrodes littoralis*, co jest dosyć rzadkim zjawiskiem w skali ogólnoswiatowej (Charabidze i in. 2016).

6. Wyniki – Sukcesja owadów na zwłokach powieszonych

6.1. Entomofauna zwłok powieszonych

W trakcie dwuletnich badań nad sukcesją owadów na powieszonych zwłokach świni domowej odłowiono przy pomocy pułapek ziemnych, łącznie 74308 osobników owadów nekrofilnych, w tym 10471 osobników muchówek (Diptera) oraz 63837 osobników chrząszczy (Coleoptera). Stwierdzone gatunki muchówek należały do 15 rodzin, a chrząszczy do 9 rodzin.

Wśród muchówek najliczniej odławiani byli przedstawiciele rodzin Dryomyzidae oraz Muscidae (Tab. 9). Wśród nekrofilnych chrząszczy najliczniej odławiani byli przedstawiciele rodzin Geotrupidae, Histeridae oraz Silphidae (Tab. 10).

Tabela 9. Liczebność muchówek odłowionych przy pomocy pułapek ziemnych ([%] – procent udziału osobników z danej rodziny muchówek wśród wszystkich odłowionych muchówek).

Rodzina	Liczba gatunków	Liczba osobników	[%]
Calliphoridae	5	962	9,2
Dryomyzidae	2	3322	31,7
Fanniidae	10	114	1,1
Muscidae	36	2895	27,6
Piophilidae	3	1527	14,6
Inne Diptera*	-	1651	15,8
Suma	56	10471	100,0

*oprócz przedstawicieli pozostałych 10 nekrofilnych rodzin Diptera uwzględniono także przedstawicieli gatunków z wyżej wymienionych pięciu rodzin, które nie są gatunkami nekrofilnymi

Tabela 10. Liczebność chrząszczy odłowionych przy pomocy pułapek ziemnych ([%] – procent udziału osobników z danej rodziny chrząszczy wśród wszystkich odłowionych chrząszczy).

Rodzina	Liczba gatunków	Liczba osobników	[%]
Cleridae	1	158	0,25
Dermostidae	1	37	0,06
Geotrupidae	2	44048	69,00
Histeridae	11	9187	14,39
Leiodidae	3	12	0,02
Nitidulidae	2	313	0,49
Silphidae	9	7588	11,88
Staphylinidae	89	2445	3,83
Trogidae	2	49	0,08
Suma	120	63837	100,00

Na 56 łącznie odłowionych gatunków muchówek należących do wymienionych w Tabeli 9, 5 rodzin tylko 22 było minimalnie licznych. Wśród nich jedynie *Lucilia caesar* (Linnaeus, 1758) i *Hydrotaea similis* były minimalnie liczne na wszystkich badanych zwłokach powieszonych (Tab. 11).

Tabela 11. Wykaz gatunków muchówek stwierdzonych na powieszonych zwłokach świni domowej w poszczególnych porach roku. N - liczba zwłok powieszonych, na których stwierdzono przynajmniej 10 osobników danego gatunku w danej porze roku. Myślnikiem oznaczono pory roku w których dany gatunek nie był minimalnie liczny na żadnych zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna N	Lato N	Jesień N
Calliphoridae	<i>Calliphora vomitoria</i> (Linnaeus, 1758)	4	2	4
	<i>Lucilia caesar</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	4
	<i>Phormia regina</i> (Meigen, 1826)	2	2	-
Dryomyzidae	<i>Dryomyza flaveola</i> (Fabricius, 1794)	3	2	4
	<i>Neuroctena anilis</i> Rondani, 1868	1	-	2
Fanniidae	<i>Fannia canicularis</i> (Linnaeus, 1761)	1	1	-
	<i>Fannia manicata</i> (Meigen, 1826)	1	-	-
	<i>Fannia lepida</i> (Wiedemann, 1817)	2	-	-
Muscidae	<i>Eudasyphora cyanicolor</i> (Zetterstedt, 1845)	1	1	-
	<i>Hydrotaea armipes</i> (Fallen, 1825)	2	-	-
	<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i> (Zetterstedt, 1845)	4	3	4
	<i>Hydrotaea dentipes</i> (Fabricius, 1805)	3	-	2
	<i>Hydrotaea ignava</i> (Harris 1780)	4	1	-
	<i>Hydrotaea pilipes</i> Stein, 1903	4	3	1
	<i>Hydrotaea similis</i> Meade, 1887	4	4	4
	<i>Muscina pascuorum</i> (Meigen 1826)	-	1	-
	<i>Mydaea corni</i> (Scopoli, 1763)	-	-	1
	<i>Mydaea lateritia</i> (Rondani, 1866)	-	-	2
	<i>Thricops simplex</i> (Wiedemann, 1817)	-	2	3
Piophilidae	<i>Liopiophila varipes</i> (Meigen, 1830)	4	4	-
	<i>Parapiophila vulgaris</i> (Fallén, 1820)	2	1	-
	<i>Stearibia nigriceps</i> (Meigen, 1826)	4	4	-

Odnutowano także larwy 13 gatunków muchówek oraz liczne larwy muchówek z rodzaju *Fannia* Robineau-Desvoidy, 1830, których nie można było oznaczyć do gatunku. Tylko w przypadku 7 gatunków muchówek odnotowano 10 lub więcej osobników larwalnych na przynajmniej jednych powieszonych zwłokach świni domowej. Wśród tych 7 gatunków tylko larwy *Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758) były obecne na wszystkich badanych zwłokach (Tab. 12).

Tablica 12. Wykaz gatunków muchówek, których larwy stwierdzono na powieszonych zwłokach świni domowej w poszczególnych porach roku. N - liczba zwłok powieszonych, na których stwierdzono przynajmniej 10 larw danego gatunku w danej porze roku. Myślnikiem oznaczono pory roku w których larwy danego gatunku nie były minimalnie liczne na żadnych zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna N	Lato N	Jesień N
Calliphoridae	<i>Calliphora vomitoria</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	4
	<i>Chrysomya albiceps</i> (Wiedemann, 1819)	-	2	-
	<i>Lucilia caesar</i> (Linnaeus, 1758)	3	4	4
	<i>Phormia regina</i> (Meigen, 1826)	1	2	-
Fanniidae	<i>Fannia</i> sp. Robineau-Desvoidy, 1830	2	-	-
Muscidae	<i>Hydrotaea ignava</i> (Harris 1780)	-	1	-
	<i>Hydrotaea similis</i> Meade, 1887	2	3	4
Piophilidae	<i>Stearibia nigriceps</i> (Meigen, 1826)	4	2	-

Najliczniej odławianymi gatunkami wśród pięciu analizowanych rodzin muchówek były *Lucilia caesar* (Calliphoridae), *Dryomyza flaveola* (Fabricius, 1794) (Dryomyzidae), *Fannia lepida* (Wiedemann, 1817) (Fanniidae), *Hydrotaea similis* (Muscidae) oraz *Stearibia nigriceps* (Meigen, 1826) (Piophilidae). W Tabeli 13 przedstawiono wykaz najliczniej odławianych gatunków z poszczególnych rodzin muchówek oraz ich liczebność w poszczególnych porach roku.

Tabela 13. Wykaz najliczniej odławianych gatunków z poszczególnych rodzin muchówek wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku ([%] – procent jaki stanowi liczba odłowionych osobników danego gatunku w stosunku do liczby osobników innych nekrofilnych gatunków w danej rodzinie). W tabeli uwzględniono gatunki, których liczebność osobników w przynajmniej jednej porze roku była wyższa niż 40.

Rodzina	Gatunek	Wiosna	Lato	Jesień	Liczebność ogólna	[%]
Calliphoridae	<i>Lucilia caesar</i>	292	324	62	678	70,5
	<i>Calliphora vomitoria</i>	60	49	77	186	19,3
	<i>Phormia regina</i>	53	37	0	90	9,4
Dryomyzidae	<i>Dryomyza flaveola</i>	144	31	3041	3216	96,7
	<i>Neuroctena anilis</i>	51	5	50	106	3,3
Fanniidae	<i>Fannia lepida</i>	47	0	8	55	48,2
	<i>Hydrotaea similis</i>	418	127	546	1091	37,7
	<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i>	419	84	160	663	22,9
Muscidae	<i>Hydrotaea pilipes</i>	266	70	42	378	13,1
	<i>Hydrotaea dentipes</i>	112	7	38	157	5,4
	<i>Hydrotaea ignava</i>	107	40	9	156	5,4
	<i>Thricops simplex</i>	8	59	85	152	5,3
	<i>Muscina pascuorum</i>	6	56	0	62	2,1
	<i>Hydrotaea armipes</i>	41	0	1	42	1,5
Piophilidae	<i>Stearibia nigriceps</i>	1125	159	14	1298	85,0
	<i>Liopiophila varipes</i>	98	118	0	216	14,1

Na 120 nekrofilnych gatunków chrząszczy stwierdzonych w trakcie badań tylko w przypadku 38 liczebność osobników wyniosła minimum 10 na przynajmniej jednych zwłokach powieszonych. Wśród tych 38 gatunków jedynie *Anoplotrupes stercorosus* (Scriba, 1791) był minimalnie liczny na wszystkich badanych powieszonych zwłokach (Tab. 14).

Tablica 14. Wykaz gatunków chrząszczy stwierdzonych na powieszonych zwłokach świni domowej w poszczególnych porach roku. N - liczba zwłok powieszonych, na których stwierdzono przynajmniej 10 osobników danego gatunku w danej porze roku. Myślnikiem oznaczono pory roku, w których dany gatunek nie był minimalnie liczny na żadnych zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna N	Lato N	Jesień N
Cleridae	<i>Necrobia violacea</i> (Linnaeus, 1758)	4	2	-
Dermestidae	<i>Dermestes murinus</i> Linnaeus, 1758	4	-	-
Geotrupidae	<i>Anoplotrupes stercorosus</i> (Scriba, 1791)	4	4	4
	<i>Trypocoprpris vernalis</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	2
Histeridae	<i>Margarinotus brunneus</i> (Fabricius, 1775)	4	3	-
	<i>Margarinotus ruficornis</i> (Grimm, 1852)	1	-	-
	<i>Margarinotus striola succicola</i> (Thomson, 1862)	4	4	-
	<i>Onthophilus striatus striatus</i> (Forster, 1771)	1	-	-
	<i>Saprinus planiusculus</i> Motschulsky, 1849	2	-	-
	<i>Saprinus semistriatus</i> (Scriba, 1790)	4	4	-
Nitidulidae	<i>Omosita depressa</i> (Linnaeus, 1758)	2	2	-
	<i>Omosita discoidea</i> (Fabricius, 1775)	2	-	-
Silphidae	<i>Necrodes littoralis</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	2
	<i>Nicrophorus humator</i> (Gleditsch, 1767)	3	3	4
	<i>Nicrophorus vespillo</i> (Linnaeus, 1758)	2	-	-
	<i>Nicrophorus vespilloides</i> Herbst, 1783	4	3	1
	<i>Oiceoptoma thoracicum</i> (Linnaeus, 1758)	4	3	-
	<i>Thanatophilus rugosus</i> (Linnaeus, 1758)	4	-	1
	<i>Thanatophilus sinuatus</i> (Fabricius, 1775)	4	-	-
	<i>Aleochara brevipennis</i> Gravenhorst, 1806	1	-	-
	<i>Aleochara curtula</i> (Goeze, 1777)	4	-	-
	<i>Atheta gagatina</i> (Baudi, 1848)	-	1	-
Staphylinidae	<i>Bisnius fimetarius</i> (Gravenhorst, 1802)	2	-	1
	<i>Creophilus maxillosus</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	1
	<i>Liogluta granigera</i> (Kiesenwetter, 1850)	-	-	1
	<i>Lordithon lunulatus</i> Linnaeus, 1760	-	1	-
	<i>Omalium rivulare</i> (Paykull, 1789)	-	-	1
	<i>Oxypoda acuminata</i> (Stephens, 1832)	-	-	3
	<i>Philonthus addendus</i> Sharp, 1867	-	2	-
	<i>Philonthus decorus</i> (Gravenhorst, 1802)	4	2	-
	<i>Philonthus politus</i> (Linnaeus, 1758)	2	2	1
	<i>Philonthus splendens</i> (Fabricius, 1793)	1	2	-
	<i>Philonthus succicola</i> Thomson, 1860	1	1	-
	<i>Staphylinus erythropterus</i> Linnaeus, 1758	4	-	-
	<i>Tachinus humeralis</i> Gravenhorst, 1802	-	-	4
	<i>Tachinus laticollis</i> Gravenhorst, 1802	1	1	-
	<i>Xantholinus linearis</i> (Olivier, 1795)	-	-	2
Trogidae	<i>Trox sabulosus</i> (Linnaeus, 1758)	2	-	-

Na powieszonych zwłokach zaobserwowano także larwy chrząszczy należące do 9 rodzajów. Jednak tylko w przypadku larw czterech gatunków i trzech rodzajów odnotowano 10 lub więcej osobników na przynajmniej jednych powieszonych zwłokach (Tab. 15). Na zwłokach powieszonych odnotowano larwy chrząszczy, które: 1) przebywały tylko na powierzchni zwłok (larwy *Dermestes murinus* Linnaeus, 1758), 2) przebywały zarówno na zwłokach, jak i w obrębie „strefy spadania” (larwy *Necrodes littoralis* (Linnaeus, 1758) oraz z rodzaju *Thanatophilus* Leach, 1815) oraz 3) były obecne tylko w „strefie spadania” (larwy *Oiceoptoma thoracicum* (Linnaeus, 1758), *Creophilus maxillosus* (Linnaeus, 1758), z rodzaju *Philonthus* Stephens, 1829 oraz *Necrobia* Olivier, 1795).

Tablica 15. Wykaz gatunków chrząszczy, których larwy stwierdzono na powieszonych zwłokach świni domowej w poszczególnych porach roku. N - liczba zwłok powieszonych, na których stwierdzono przynajmniej 10 larw danego gatunku w danej porze roku. Myślnikiem oznaczono pory roku, w których larwy danego gatunku nie były minimalnie liczne na żadnych zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna N	Lato N	Jesień N
Cleridae	<i>Necrobia</i> sp. Olivier, 1795	1	-	-
Dermestidae	<i>Dermestes murinus</i> Linnaeus, 1758	4	-	-
	<i>Necrodes littoralis</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	-
Silphidae	<i>Oiceoptoma thoracicum</i> (Linnaeus, 1758)	4	-	-
	<i>Thanatophilus</i> sp. Leach, 1815	4	-	-
Staphylinidae	<i>Creophilus maxillosus</i> (Linnaeus, 1758)	4	2	-
	<i>Philonthus</i> sp. Stephens, 1829	2	1	-

Najbardziej licznymi gatunkami chrząszczy w poszczególnych rodzinach były: *Anoplotrupes stercorosus* (Geotrupidae), *Saprinus semistriatus* (Scriba, 1790) (Histeridae), *Thanatophilus rugosus* (Linnaeus, 1758) (Silphidae) oraz *Creophilus maxillosus* (Staphylinidae). W Tabeli 16 przedstawiono wykaz najliczniej odławianych gatunków w poszczególnych rodzinach chrząszczy oraz ich liczebność w poszczególnych porach roku.

Część stwierdzonych w trakcie badań gatunków, np. *Necrobia violacea* (Linnaeus, 1758) czy *Dermestes murinus* były licznie obserwowane na powierzchni zwłok powieszonych, ale stosunkowo niewielu ich przedstawicieli zostało odłowionych przy pomocy pułapek.

Szczegółowe listy gatunków z poszczególnych rodzin muchówek i chrząszczy stwierdzone na zwłokach powieszonych oraz ich liczebność zostały przedstawione w Dodatku.

Tabela 16. Wykaz najliczniej odławianych gatunków z poszczególnych rodzin chrząszczy wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku ([%] – procent jaki stanowi liczba odłowionych osobników danego gatunku w stosunku do liczby osobników innych nekrofilnych gatunków w danej rodzinie). W tabeli uwzględniono gatunki, których liczebność osobników w przynajmniej jednej porze roku była wyższa niż 40.

Rodzina	Gatunek	Wiosna	Lato	Jesień	Suma	[%]
Cleridae	<i>Necrobia violacea</i>	135	22	1	158	100,0
Geotrupidae	<i>Anoplotrupes stercorosus</i>	29387	7856	3548	40791	92,6
	<i>Trypocopris vernalis</i>	2801	359	97	3257	7,4
	<i>Saprinus semistriatus</i>	6195	1346	0	7541	82,1
Histeridae	<i>Margarinotus striola succicola</i>	884	128	3	1015	11,0
	<i>Margarinotus brunneus</i>	442	45	0	487	5,3
	<i>Onthophilus striatus striatus</i>	49	2	7	58	0,6
Nitidulidae	<i>Omosita depressa</i>	170	21	3	194	62,0
	<i>Omosita discoidea</i>	114	1	4	119	38,0
Silphidae	<i>Thanatophilus rugosus</i>	4561	1	31	4593	60,5
	<i>Necrodes littoralis</i>	448	284	202	934	12,3
	<i>Oiceoptoma thoracicum</i>	803	47	0	850	11,2
	<i>Thanatophilus sinuatus</i>	549	3	1	553	7,3
	<i>Nicrophorus vespilloides</i>	246	150	22	418	5,5
	<i>Nicrophorus humator</i>	53	66	48	167	2,2
	<i>Creophilus maxillosus</i>	367	280	38	685	28,0
	<i>Oxypoda acuminata</i>	15	0	283	298	12,2
	<i>Philonthus decorus</i>	184	36	7	227	9,3
	<i>Aleochara curtula</i>	182	15	8	205	8,4
Staphylinidae	<i>Tachinus humeralis</i>	6	0	115	121	4,9
	<i>Staphylinus erythropterus</i>	58	9	1	68	2,8
	<i>Philonthus splendens</i>	25	42	0	67	2,7
	<i>Xantholinus linearis</i>	7	0	51	58	2,4
	<i>Omalius rivulare</i>	2	1	48	51	2,1
Trogidae	<i>Trox sabulosus</i>	47	1	0	48	98,0

6.2. Porównanie liczebności oraz czasu pojawu owadów nekrofilnych na zwłokach powieszonych oraz na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi

W trakcie dwuletnich badań terenowych nad zwłokami świni domowej eksponowanymi na powierzchni ziemi odłowiono przy pomocy pułapek ziemnych łącznie 50642 osobników owadów nekrofilnych, w tym 5820 osobników muchówek (Diptera) oraz 44822 osobników chrząszczy (Coleoptera). Na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi odłowiono ponad 30% mniej osobników owadów nekrofilnych niż na zwłokach powieszonych.

Kolonizacja zwłok powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi przez owady przebiegała w bardzo zbliżony sposób. Pierwszymi kolonizatorami zwłok były muchówki z rodziny Calliphoridae, których aktywność wpływała na zmniejszenie masy zwłok, a tym samym prowadziła do ich rozkładu. W następnej kolejności pojawiały się osobniki drapieżnych gatunków chrząszczy, które żerowały na larwach muchówek, a w czasie kiedy zwłoki były objęte procesem

zaawansowanego rozkładu pojawiały się osobniki gatunków przywabiane przede wszystkim suchymi resztkami organicznymi. Jednak można było zauważyć różnicę w liczbie gatunków, liczebności osobników oraz w czasie pojawu osobników tych gatunków między zwłokami powieszonymi i eksponowanymi na powierzchni ziemi.

Porównując liczbę gatunków muchówek i chrząszczy, które były minimalnie liczne (≥ 10 osobników) na przynajmniej jednych zwłokach danego typu można zauważyć, że wiosną więcej takich gatunków zasiedlało zwłoki powieszzone (Tab. 17). Jesienią więcej gatunków muchówek zaobserwowano na zwłokach powieszonych, ale liczba gatunków chrząszczy odnotowanych na zwłokach powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi w tej porze roku była zbliżona. Odwrotna sytuacja miała miejsce latem, ponieważ wtedy więcej gatunków nekrofilnych zostało odnotowanych na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi (Tab. 17).

Tabela 17. Liczba gatunków minimalnie licznych na przynajmniej jednych zwłokach danego typu w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszzone; K – zwłoki kontrolne).

Rząd owadów	Stadium rozwojowe	wiosna		lato		jesień	
		P	K	P	K	P	K
muchówki	osobniki dorosłe	18	13	15	16	11	8
	larwy	6	8	7	8	3	4
chrząszcze	osobniki dorosłe	30	23	20	24	14	13
	larwy	7	5	3	3	0	0

Odnotowano kilka gatunków muchówek, których postaci dorosłe były minimalnie liczne tylko na zwłokach powieszonych - *Fannia canicularis* (Linnaeus, 1761), *Hydrotaea armipes* (Fallen, 1825), *Mydaea lateritia* (Rondani, 1866) oraz *Mydaea corni* (Scopoli, 1763). *Azelia aterrima* (Meigen, 1826) była jedynym gatunkiem, który był minimalnie liczny tylko na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi (Tab. 18).

Tabela 18. Wykaz minimalnie licznych* gatunków muchówek stwierdzonych na powieszonych (P) oraz eksponowanych (K) zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień	
		P	K	P	K	P	K
Calliphoridae	<i>Calliphora vomitoria</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	2	2	4	4
	<i>Lucilia caesar</i> (Linnaeus, 1758)	4	3	4	4	4	4
	<i>Phormia regina</i> (Meigen, 1826)	2	2	2	-	-	-
Dryomyzidae	<i>Dryomyza flaveola</i> (Fabricius, 1794)	3	3	2	3	4	4
	<i>Neuroctena anilis</i> Rondani, 1868	1	-	-	1	2	1
Fanniidae	<i>Fannia canicularis</i> (Linnaeus, 1761)	1	-	1	-	-	-
	<i>Fannia manicata</i> (Meigen, 1826)	1	1	-	-	-	-
	<i>Fannia lepida</i> (Wiedemann, 1817)	2	2	-	-	-	-
Muscidae	<i>Azelia aterrima</i> (Meigen, 1826)	-	-	-	2	-	-
	<i>Eudasyphora cyanicolor</i> (Zetterstedt, 1845)	1	-	1	1	-	-
	<i>Hydrotaea armipes</i> (Fallen, 1825)	2	-	-	-	-	-
	<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i> (Zetterstedt, 1845)	4	4	3	1	4	4
	<i>Hydrotaea dentipes</i> (Fabricius, 1805)	3	4	-	1	2	-
	<i>Hydrotaea ignava</i> (Harris 1780)	4	2	1	1	-	-
	<i>Hydrotaea pilipes</i> Stein, 1903	4	4	3	4	1	2
	<i>Hydrotaea similis</i> Meade, 1887	4	4	4	4	4	4
	<i>Muscina pascuorum</i> (Meigen 1826)	-	-	1	2	-	-
	<i>Mydaea corni</i> (Scopoli, 1763)	-	-	-	-	1	-
	<i>Mydaea lateritia</i> (Rondani, 1866)	-	-	-	-	2	-
	<i>Thricops simplex</i> (Wiedemann, 1817)	-	-	2	1	3	1
Piophilidae	<i>Liopiophila varipes</i> (Meigen, 1830)	4	4	4	4	-	-
	<i>Parapiophila vulgaris</i> (Fallén, 1820)	2	-	1	1	-	-
	<i>Stearibia nigriceps</i> (Meigen, 1826)	4	4	4	3	-	-

*odłowionych w liczbie 10 lub więcej osobników

Nie odnotowano gatunków muchówek, których larwy obserwowane byłyby tylko na zwłokach powieszonych. Larwy *Hydrotaea dentipes* (Fabricius, 1805) były minimalnie liczne tylko na zwłokach eksponowanych na powierzchni gruntu. Latem i jesienią larwy z rodzaju *Fannia* były licznie odławiane spod zwłok leżących na ziemi, natomiast w obrębie „strefy spadania” pod zwłokami powieszonymi obserwowano tylko pojedyncze osobniki (Tab. 19).

Tabela 19. Wykaz minimalnie licznych* gatunków muchówek, których larwy stwierdzono na powieszonych (P) oraz eksponowanych (K) zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień	
		P	K	P	K	P	K
Calliphoridae	<i>Calliphora vomitoria</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	4	4	4	4
	<i>Chrysomya albiceps</i> (Wiedemann, 1819)	-	-	2	2	-	-
	<i>Lucilia caesar</i> (Linnaeus, 1758)	3	2	4	4	4	4
	<i>Phormia regina</i> (Meigen, 1826)	1	1	2	4	-	-
Fanniidae	<i>Fannia</i> sp. Robineau-Desvoidy, 1830	2	3	-	3	-	4
	<i>Hydrotaea dentipes</i> (Fabricius, 1805)	-	2	-	-	-	-
Muscidae	<i>Hydrotaea ignava</i> (Harris 1780)	-	1	1	4	-	-
	<i>Hydrotaea similis</i> Meade, 1887	2	4	3	4	4	4
Piophilidae	<i>Stearibia nigriceps</i> (Meigen, 1826)	4	4	2	4	-	-

*odłowionych w liczbie 10 lub więcej larw

Odnotowano także gatunki chrząszczy, których liczebność była wyraźnie wyższa na zwłokach powieszonych. *Dermestes murinus* Linnaeus, 1758 oraz *Saprinus planiusculus* Motschulsky, 1849 wiosną były licznie obserwowane na zwłokach powieszonych, podczas gdy na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi obserwowano pojedyncze osobniki tych gatunków (Tab. 20). Innymi gatunkami chrząszczy, które były minimalnie liczne tylko na zwłokach powieszonych były *Margarinotus ruficornis* (Grimm, 1852), *Onthophilus striatus striatus* (Forster, 1771), *Liogluta granigera* (Kiesenwetter, 1850), *Lordithon lunulatus* Linnaeus, 1760 oraz *Xantholinus linearis* (Olivier, 1795). W przypadku dwóch gatunków należących do rodziny Staphylinidae odnotowano ich minimalną liczebność tylko na zwłokach kontrolnych - *Atheta canescens* (Sharp, 1869) oraz *Atheta celata* (Erichson, 1837) (Tab. 20).

Tylko na zwłokach powieszonych odnotowano larwy *Dermestes murinus*, a ponadto liczne larwy z rodzaju *Necrobia* zaobserwowano wyłącznie w obrębie „strefy spadania” w przypadku zwłok jednej świni (Tab. 21). Larwy z rodzaju *Philonthus* były liczniej obserwowane pod zwłokami eksponowanymi na powierzchni gruntu (Tab. 21).

Tabela 20. Wykaz minimalnie licznych* gatunków chrząszczy stwierdzonych na powieszonych (P) oraz eksponowanych (K) zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień	
		P	K	P	K	P	K
Cleridae	<i>Necrobia violacea</i> (Linnaeus, 1758)	4	3	2	2	-	-
Dermestidae	<i>Dermestes murinus</i> Linnaeus, 1758	4	-	-	-	-	-
Geotrupidae	<i>Anoplotrupes stercorosus</i> (Scriba, 1791)	4	4	4	4	4	4
	<i>Trypocopris vernalis</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	4	4	2	2
Histeridae	<i>Margarinotus brunneus</i> (Fabricius, 1775)	4	4	3	1	-	-
	<i>Margarinotus ruficornis</i> (Grimm, 1852)	1	-	-	-	-	-
	<i>Margarinotus striola succicola</i> (Thomson, 1862)	4	4	4	4	-	-
	<i>Onthophilus striatus striatus</i> (Forster, 1771)	1	-	-	-	-	-
	<i>Saprinus planiusculus</i> Motschulsky, 1849	2	-	-	-	-	-
	<i>Saprinus semistriatus</i> (Scriba, 1790)	4	4	4	4	-	-
Nitidulidae	<i>Omosita depressa</i> (Linnaeus, 1758)	2	4	2	3	-	-
	<i>Omosita discoidea</i> (Fabricius, 1775)	2	2	-	-	-	-
Silphidae	<i>Necrodes littoralis</i> (Linnaeus, 1758)	4	3	4	4	2	1
	<i>Nicrophorus humator</i> (Gleditsch, 1767)	3	1	3	3	4	3
	<i>Nicrophorus vespillo</i> (Linnaeus, 1758)	2	1	-	-	-	-
	<i>Nicrophorus vespilloides</i> Herbst, 1783	4	4	3	4	1	1
	<i>Oiceoptoma thoracicum</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	3	1	-	-
	<i>Thanatophilus rugosus</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	-	-	1	1
	<i>Thanatophilus sinuatus</i> (Fabricius, 1775)	4	3	-	-	-	-
	<i>Aleochara brevipennis</i> Gravenhorst, 1806	1	-	-	1	-	-
Staphylinidae	<i>Aleochara curtula</i> (Goeze, 1777)	4	4	-	1	-	-
	<i>Atheta canescens</i> (Sharp, 1869)	-	-	-	1	-	-
	<i>Atheta celata</i> (Erichson, 1837)	-	-	-	1	-	-
	<i>Atheta gagatina</i> (Baudi, 1848)	-	-	1	1	-	-
	<i>Bisnius fimetarius</i> (Gravenhorst, 1802)	2	-	-	1	1	1
	<i>Creophilus maxillosus</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	4	4	1	1
	<i>Liogluta granigera</i> (Kiesenwetter, 1850)	-	-	-	-	1	-
	<i>Lordithon lunulatus</i> Linnaeus, 1760	-	-	1	-	-	-
	<i>Omalium rivulare</i> (Paykull, 1789)	-	-	-	-	1	2
	<i>Oxypoda acuminata</i> (Stephens, 1832)	-	-	-	-	3	4
	<i>Philonthus addendus</i> Sharp, 1867	-	1	2	3	-	1
	<i>Philonthus decorus</i> (Gravenhorst, 1802)	4	4	2	2	-	-
	<i>Philonthus politus</i> (Linnaeus, 1758)	2	3	2	3	1	1
	<i>Philonthus splendens</i> (Fabricius, 1793)	1	-	2	2	-	-
	<i>Philonthus succicola</i> Thomson, 1860	1	1	1	2	-	-
	<i>Staphylinus erythropterus</i> Linnaeus, 1758	4	3	-	-	-	-
	<i>Tachinus humeralis</i> Gravenhorst, 1802	-	-	-	-	4	2
	<i>Tachinus laticollis</i> Gravenhorst, 1802	1	-	1	1	-	-
	<i>Xantholinus linearis</i> (Olivier, 1795)	-	-	-	-	2	-
Trogidae	<i>Trox sabulosus</i> (Linnaeus, 1758)	2	3	-	-	-	-

*odłowionych w liczbie 10 lub więcej osobników

Tablica 21. Wykaz minimalnie licznych* gatunków chrząszczy, których larwy stwierdzono na powieszonych (P) oraz eksponowanych (K) zwłokach.

Rodzina	Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień	
		P	K	P	K	P	K
Cleridae	<i>Necrobia</i> sp. Olivier, 1795	1	-	-	-	-	-
Dermestidae	<i>Dermestes murinus</i> Linnaeus, 1758	4	-	-	-	-	-
	<i>Necrodes littoralis</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	4	4	-	-
Silphidae	<i>Oiceoptoma thoracicum</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	-	-	-	-
	<i>Thanatophilus</i> sp. Leach, 1815	4	4	-	-	-	-
Staphylinidae	<i>Creophilus maxillosus</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	2	4	-	-
	<i>Philonthus</i> sp. Stephens, 1829	2	4	1	4	-	-

*odłowionych w liczbie 10 lub więcej larw

Największe różnice w czasie pojawu owadów na zwłokach powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi zaobserwowano wiosną. Osobniki niektórych gatunków pojawiały się średnio o kilka dni wcześniej na zwłokach powieszonych niż na zwłokach eksponowanych. Największe różnice w czasie pojawu na zwłokach zaobserwowano w przypadku *Omosita depressa* (Linnaeus, 1758), *Aleochara curtula* (Goeze, 1777) i *Fannia* sp. (Tab. 22).

Tabela 22. Dzień pojawu* gatunków owadów na zwłokach powieszonych i kontrolnych wiosną oraz liczba zwłok na których dany gatunek był minimalnie liczny.

Rodzina	Gatunek	Liczba zwłok		Dzień pojawu	
		Zwłoki powieszono	Zwłoki kontrolne	Zwłoki powieszono	Zwłoki kontrolne
Silphidae	<i>Thanatophilus sinuatus</i>	4	4	9	12
Nitidulidae	<i>Omosita depressa</i>	2	4	6	15
	<i>Creophilus maxillosus</i>	4	4	9	12
Staphylinidae	<i>Philonthus politus</i>	2	3	14	17
	<i>Aleochara curtula</i>	4	4	8	16
Muscidae	<i>Hydrotaea dentipes</i>	3	4	6	9
Fanniidae	<i>Fannia</i> sp.	3	3	9	19

*Dzień pojawu podany w tabeli jest średnią arytmetyczną z dni pojawu osobników na wszystkich zwłokach na których dany gatunek był minimalnie liczny; w tabeli umieszczono gatunki, które pojawiały się na powieszonych zwłokach co najmniej 3 dni wcześniej niż na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi.

Wśród wszystkich gatunków muchówek i chrząszczy odłowionych przy pomocy pułapek ziemnych na zwłokach obu typów tylko 45 stwierdzono w liczbie powyżej 50 osobników na przynajmniej jednym typie zwłok. Wśród tych gatunków liczniej odławiany na zwłokach eksponowanych na ziemi był tylko jeden gatunek muchówek (*Muscina pascuorum* (Meigen 1826)) oraz siedem gatunków chrząszczy (6 gatunków Staphylinidae oraz *Trox sabulosus* (Linnaeus, 1758)). W przypadku 13 gatunków owadów ponad 70% zebranych osobników zasiedlało zwłoki powieszono. Wśród muchówek największa różnica w liczbie odłowionych osobników zaobserwowana była dla *Phormia regina* (ponad 80% osobników zostało odłowionych na zwłokach powieszonych), natomiast wśród gatunków chrząszczy największą różnicę zaobserwowano dla

Thanatophilus rugosus (ponad 85% osobników odłowionych przy zwłokach powieszonych). Tylko w przypadku *Philonthus politus* (Linnaeus, 1758) ponad 70% osobników odłowiono na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi (Tab. 23).

Tabela 23. Liczebność gatunków owadów w przypadku których ponad 70% osobników odłowiono na zwłokach określonego typu (P – zwłoki powieszane; K – zwłoki kontrolne). [%] – procent jaki stanowią osobniki odłowione na danym typie zwłok w stosunku do wszystkich osobników danego gatunku odłowionych podczas badań.

Rodzina	Gatunek	Typ zwłok	Wiosna	Lato	Jesień	Suma	[%]
Calliphoridae	<i>Phormia regina</i>	P	53	37	0	90	80,4
		K	14	8	0	22	19,6
Dryomyzidae	<i>Dryomyza flaveola</i>	P	144	31	3041	3216	77,3
		K	176	53	717	946	22,7
	<i>Neuroctena anilis</i>	P	51	5	50	106	71,1
		K	0	14	29	43	28,9
Muscidae	<i>Thricops simplex</i>	P	8	59	85	152	73,4
		K	0	23	32	55	26,6
Cleridae	<i>Necrobia violacea</i>	P	135	22	1	158	74,5
		K	36	17	1	54	25,5
Geotrupidae	<i>Trypocopris vernalis</i>	P	2801	359	97	3257	73,4
		K	695	431	55	1181	26,6
Histeridae	<i>Saprinus semistriatus</i>	P	6195	1346	0	7541	70,5
		K	1932	1221	0	3153	29,5
	<i>Onthophilus striatus striatus</i>	P	49	2	7	58	74,4
		K	14	5	1	20	25,6
Silphidae	<i>Thanatophilus rugosus</i>	P	4561	1	31	4593	85,3
		K	730	4	57	791	14,7
	<i>Thanatophilus sinuatus</i>	P	549	3	1	553	71,0
		K	218	6	2	226	29,0
Staphylinidae	<i>Oxypoda acuminata</i>	P	15	0	283	298	74,1
		K	9	2	93	104	25,9
	<i>Tachinus humeralis</i>	P	6	0	115	121	70,0
		K	4	0	48	52	30,0
	<i>Xantholinus linearis</i>	P	7	0	51	58	76,3
		K	2	0	16	18	23,7
	<i>Philonthus politus</i>	P	34	26	28	88	30,0
		K	52	137	13	202	70,0

6.3. Gatunki wskaźnikowe czasu śmierci dla zwłok powieszonych

6.3.1. Czas obecności (CO) gatunków owadów na zwłokach powieszonych

Wśród dorosłych muchówek najkrócej na zwłokach przebywały *Fannia lepida* (25,4%) oraz *Parapiophila vulgaris* (Fallén, 1820) (28,9%). Nie odnotowano gatunków z CO powyżej 70% (Tab. 24).

Wśród larw wszystkich gatunków muchówek stwierdzonych na zwłokach powieszonych larwy *Phormia regina* miały zdecydowanie najkrótszy czas obecności (8,4%). Żaden z odnotowanych gatunków muchówek w stadium larwalnym nie miał CO powyżej 60% (Tab. 25).

Wśród dorosłych chrząszczy najmniejszym CO charakteryzował się *Saprinus planiusculus* (27,6%) oraz *Necrodes littoralis* (34,6%). Część gatunków chrząszczy przekroczyła CO nawet na poziomie 85% (Tab. 26).

Najmniejszym CO wśród larw chrząszczy charakteryzowały się larwy z rodzaju *Philonthus* (34,4%) oraz *Thanatophilus* (36,2%). Larwy żadnego z odnotowanych gatunków chrząszczy nie przekroczyły CO na poziomie 55% (Tab. 27).

Tabela 24. Wzorzec obecności postaci dorosłych gatunków muchówek na zwłokach powieszonych (N – liczba powieszonych zwłok na których dany gatunek był minimalnie liczny; CO – uśredniony czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych; LP – uśredniona liczba przerw w czasie obecności na zwłokach powieszonych; NNCO – uśredniony najdłuższy nieprzerwany czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych)

Rodzina	Gatunek	N	CO (%)	LP	NNCO (%)
Calliphoridae	<i>Calliphora vomitoria</i>	10	63,9	3,6	50,0
	<i>Lucilia caesar</i>	12	63,1	4,9	41,0
	<i>Phormia regina</i>	4	59,2	4,8	14,4
Dryomyzidae	<i>Dryomyza flaveola</i>	9	65,0	3,3	42,6
	<i>Neuroctena anilis</i>	3	41,0	7,7	9,8
Fanniidae	<i>Fannia canicularis</i>	2	32,7	3,0	22,4
	<i>Fannia lepida</i>	2	25,4	2,5	40,1
Muscidae	<i>Hydrotaea similis</i>	12	52,7	5,0	30,8
	<i>Hydrotaea pilipes</i>	8	41,2	4,3	31,5
	<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i>	11	48,7	6,0	29,1
	<i>Hydrotaea dentipes</i>	5	37,5	5,4	14,5
	<i>Hydrotaea ignava</i>	5	37,9	5,0	19,5
	<i>Hydrotaea armipes</i>	2	39,4	6,0	12,8
	<i>Eudasyphora cyanicolor</i>	2	63,6	4,5	11,0
	<i>Thricops simplex</i>	5	57,7	5,6	25,6
	<i>Mydaea lateritia</i>	2	69,2	4,5	5,0
	<i>Mydaea corni</i>	2	54,9	6,0	8,8
	<i>Stearibia nigriceps</i>	8	56,6	4,6	27,0
	<i>Liopiophila varipes</i>	8	53,3	4,9	30,2
Piophilidae	<i>Parapiophila vulgaris</i>	3	28,9	3,3	6,0

6.3.2. Przerwy w czasie przebywania (LP) gatunków owadów na zwłokach powieszonych

Dorośle formy muchówek charakteryzowały się dużą liczbą przerw w czasie pojawu na zwłokach. Średnio było to 5 przerw, a najmniejszą liczbę przerw stwierdzono dla *Fannia lepida* oraz *Fannia canicularis* (Linnaeus, 1761) (Tab. 24). W przypadku larw muchówek odnotowano średnio jedną przerwę w czasie ich pojawu na zwłokach. Niemniej, w przypadku larw

Phormia regina oraz *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819) nie odnotowano przerw w czasie ich pojawu na zwłokach (Tab. 25).

Dorośle postaci chrząszczy charakteryzowała mniejsza liczba przerw w czasie ich pojawu na zwłokach w porównaniu z dorosłymi formami muchówek. Odnotowano kilka gatunków, u których zaobserwowano średnio mniej niż dwie przerwy w trakcie pojawu na zwłokach. Były to: *Anoplotrupes stercorosus*, *Saprinus semistriatus*, *Philonthus addendus* Sharp, 1867, *Necrodes littoralis* i *Dermestes murinus* (Tab. 26).

Larwy chrząszczy nie charakteryzowały się tak małą liczbą przerw jak larwy muchówek. Odnotowano średnio dwie przerwy w trakcie pojawu larw chrząszczy na zwłokach powieszonych i tylko w przypadku larw *Necrodes littoralis* odnotowano średnio mniej niż jedną przerwę w czasie pojawu na zwłokach powieszonych (Tab. 27).

Tabela 25. Wzorzec obecności postaci larwalnych gatunków muchówek na zwłokach powieszonych (N – liczba powieszonych zwłok na których dany gatunek był minimalnie liczny; CO – uśredniony czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych; LP – uśredniona liczba przerw w czasie obecności na zwłokach powieszonych; NNCO – uśredniony najdłuższy nieprzerwany czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych)

Rodzina	Gatunek	N	CO (%)	LP	NNCO(%)
Calliphoridae	<i>Calliphora vomitoria</i>	12	58,4	0,7	94,3
	<i>Lucilia caesar</i>	11	29,6	0,7	82,7
	<i>Phormia regina</i>	3	8,4	0,0	100,0
	<i>Chrysomya albiceps</i>	2	32,0	0,0	100,0
Fanniidae	<i>Fannia</i> sp.	2	47,8	3,5	30,4
Muscidae	<i>Hydrotaea similis</i>	9	33,5	1,2	57,2
Piophilidae	<i>Stearibia nigriceps</i>	6	46,9	2,2	65,7

Tabela 26. Wzorzec obecności postaci dorosłych gatunków chrząszczy na zwłokach powieszonych (N – liczba powieszonych zwłok na których dany gatunek był minimalnie liczny; CO – uśredniony czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych; LP – uśredniona liczba przerw w czasie obecności na zwłokach powieszonych; NNCO – uśredniony najdłuższy nieprzerwany czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych)

Rodzina	Gatunek	N	CO (%)	LP	NNCO (%)
Cleridae	<i>Necrobia violacea</i>	6	84,3	4,3	43,7
Dermestidae	<i>Dermestes murinus</i>	4	59,9	1,8	54,9
Geotrupidae	<i>Anoplotrupes stercorosus</i>	12	87,3	0,3	94,0
	<i>Trypocopris vernalis</i>	10	80,2	2,6	61,4
Histeridae	<i>Saprinus semistriatus</i>	8	56,2	1,1	79,9
	<i>Saprinus planiusculus</i>	2	27,6	3,5	17,3
	<i>Margarinotus striola succicola</i>	8	77,3	3,6	60,6
	<i>Margarinotus brunneus</i>	7	64,0	5,4	35,6
Nitidulidae	<i>Omosita depressa</i>	4	64,3	6,0	31,3
	<i>Omosita discoidea</i>	2	58,3	5,5	17,4
Silphidae	<i>Necrodes littoralis</i>	10	34,6	1,8	67,8
	<i>Oiceoptoma thoracicum</i>	7	59,3	3,7	53,0
	<i>Thanatophilus rugosus</i>	5	49,3	3,6	38,9
	<i>Thanatophilus sinuatus</i>	4	45,2	4,3	26,3
	<i>Nicrophorus vespilloides</i>	8	77,9	4,5	41,8
	<i>Nicrophorus vespillo</i>	2	84,7	4,5	6,5
	<i>Nicrophorus humator</i>	10	45,0	5,3	15,0
	<i>Creophilus maxillosus</i>	9	38,4	2,4	65,3
	<i>Philonthus decorus</i>	6	74,5	5,8	19,7
	<i>Philonthus politus</i>	5	60,0	5,0	28,2
	<i>Philonthus addendus</i>	2	62,8	1,0	55,5
	<i>Philonthus splendens</i>	3	49,5	2,3	48,7
	<i>Philonthus succicola</i>	2	48,0	4,0	8,8
Staphylinidae	<i>Tachinus humeralis</i>	4	42,7	6,3	23,7
	<i>Oxypoda acuminata</i>	3	75,0	6,0	37,0
	<i>Xantholinus linearis</i>	2	48,8	3,0	44,8
	<i>Liogluta granigera</i>	2	65,4	6,5	9,1
	<i>Bisnius fimetarius</i>	3	57,7	4,3	36,5
	<i>Tachinus latticollis</i>	2	93,9	4,0	19,7
	<i>Aleochara curtula</i>	4	80,2	9,3	14,9
	<i>Staphylinus erythropterus</i>	4	80,8	7,3	9,5
	<i>Trox sabulosus</i>	2	68,0	5,5	19,8
Trogidae	<i>Trox sabulosus</i>	2	68,0	5,5	19,8

6.3.3. Najdłuższy nieprzerwany czas obecności (NNCO) gatunków owadów na zwłokach powieszonych

Wśród dorosłych form muchówek najdłuższy nieprzerwany czas obecności na zwłokach stanowił średnio 24% czasu pojawu na zwłokach. Najdłuższym nieprzerwanym czasem obecności na zwłokach charakteryzowała się *Calliphora vomitoria*, której wartość NNCO stanowiła 50% jej czasu pojawu na zwłokach powieszonych (Tab. 24). Wśród larw muchówek NNCO wyniósł 100%

dla tych samych gatunków, u których nie zaobserwowano przerw w ich obecności na powieszonych zwłokach. Średni NNCO dla larw wszystkich gatunków muchówek wynosił 76% (Tab. 25).

Dorośle formy chrząszczy charakteryzowały się wyższym NNCO (37%) niż dorośle formy muchówek. Najwyższy NNCO odnotowano dla *Saprinus semistriatus* (Tab. 26). Larwy chrząszczy miały niższy średni NNCO (60%) niż larwy muchówek, a najwyższy NNCO odnotowano dla larw *Necrodes littoralis* – 87,9% (Tab. 27).

Tabela 27. Wzorzec obecności postaci larwalnych chrząszczy na zwłokach powieszonych (N – liczba powieszonych zwłok na których dany gatunek był minimalnie liczny; CO – uśredniony czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych; LP – uśredniona liczba przerw w czasie obecności na zwłokach powieszonych; NNCO – uśredniony najdłuższy nieprzerwany czas obecności gatunku na zwłokach powieszonych)

Rodzina	Gatunek	N	CO (%)	LP	NNCO (%)
Dermestidae	<i>Dermestes murinus</i>	4	49,8	1,3	75,1
	<i>Necrodes littoralis</i>	7	36,9	0,6	87,9
Silphidae	<i>Oiceoptoma thoracicum</i>	4	51,3	5,5	27,3
	<i>Thanatophilus</i> sp.	4	36,2	2,5	53,9
Staphylinidae	<i>Creophilus maxillosus</i>	6	41,7	1,7	52,0
	<i>Philonthus</i> sp.	3	34,4	1,3	64,6

6.3.4. Zależność między pierwszym dniem pojawu gatunków nekrofilnych i rozpoczęciem poszczególnych procesów rozkładu

Wśród odłowionych gatunków muchówek pozytywną i istotną statystycznie korelację między początkiem procesu wzdęcia zwłok, a pojawieniem się na zwłokach pierwszych osobników danego gatunku stwierdzono dla *Liopiophila varipes* (Meigen, 1830) ($r = 0,87$; $p = 0,011$) oraz *Stearibia nigriceps* ($r = 0,87$; $p = 0,011$). Najsilniejszą pozytywną korelację między początkiem procesu aktywnego rozkładu i pierwszym pojawem osobników danego gatunku stwierdzono dla *Calliphora vomitoria* ($r = 0,92$; $p < 0,001$), *Hydrotaea pilipes* Stein, 1903 ($r = 0,92$; $p = 0,001$) oraz *Lucilia caesar* ($r = 0,91$; $p < 0,001$). Najsilniejszą korelację między pierwszym pojawem, a początkiem zaawansowanego rozkładu wykazały te same gatunki, dla których stwierdzono najsilniejszą pozytywną korelację między pierwszym pojawem, a początkiem aktywnego rozkładu zwłok - *Calliphora vomitoria* ($r = 0,91$; $p = 0,001$), *Hydrotaea pilipes* ($r = 0,9$; $p = 0,003$) oraz *Lucilia caesar* ($r = 0,89$; $p < 0,001$). (Tab. 28).

Tabela 28. Zależność między pierwszym dniem pojawu danego gatunku muchówki na zwłokach, a dniem rozpoczęcia poszczególnych procesów rozkładu (N – liczba powieszonych zwłok na których dany gatunek był minimalnie liczny; r – współczynnik korelacji Pearsona; p – wartość prawdopodobieństwa. Myślnikiem oznaczono przypadki w których ze względu na brak wystarczającej liczby danych nie można było obliczyć korelacji)

Rodzina	Gatunek	N	Wzdęcie zwłok		Aktywny rozkład zwłok		Zaawansowany rozkład zwłok	
			r	p	r	p	r	p
Calliphoridae	<i>Phormia regina</i>	4	-0,30	0,698	-0,07	0,927	0,21	0,792
	<i>Lucilia caesar</i>	12	0,15	0,678	0,91	<0,001	0,89	<0,001
	<i>Calliphora vomitoria</i>	10	0,24	0,570	0,92	<0,001	0,91	0,001
Dryomyzidae	<i>Neuroctena anilis</i>	3	-	-	-0,68	0,525	-0,77	0,441
	<i>Dryomyza flaveola</i>	9	-0,71	0,076	0,31	0,420	0,32	0,405
Muscidae	<i>Hydrotaea dentipes</i>	5	0,78	0,217	0,01	0,993	0,66	0,230
	<i>Hydrotaea ignava</i>	5	0,89	0,105	0,83	0,079	0,85	0,067
	<i>Hydrotaea pilipes</i>	8	0,56	0,195	0,92	0,001	0,90	0,003
	<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i>	11	-0,12	0,756	0,26	0,432	0,24	0,505
	<i>Hydrotaea similis</i>	12	-0,07	0,849	0,76	0,004	0,63	0,036
	<i>Thricops simplex</i>	5	-0,97	0,025	-0,98	0,003	-0,84	0,072
	<i>Parapiophilila vulgaris</i>	3	-	-	-0,50	0,667	-0,25	0,837
Piophilidae	<i>Liopiophila varipes</i>	8	0,87	0,011	0,57	0,141	0,77	0,044
	<i>Stearibia nigriceps</i>	8	0,87	0,011	0,77	0,025	0,88	0,009

Najsilniejszą pozytywną korelację między początkiem wzdęcia zwłok powieszonych, a pojawieniem się na nich pierwszych osobników danego gatunku chrząszcza wykazano dla: *Saprinus semistriatus* ($r=0,96$; $p=0,001$), *Creophilus maxillosus* ($r=0,95$; $p<0,001$) oraz *Margarinotus brunneus* (Fabricius, 1775) ($r=0,94$; $p=0,006$). Najsilniejszą pozytywną korelację między początkiem aktywnego rozkładu a pojawem pierwszych osobników stwierdzono w przypadku *Thanatophilus sinuatus* (Fabricius, 1775) ($r=0,97$; $p=0,026$), *Nicrophorus vespilloides* Herbst, 1783 ($r=0,91$; $p=0,01$) oraz *Margarinotus brunneus* ($r=0,91$; $p=0,005$). Najsilniejszą pozytywną korelację między początkiem zaawansowanego rozkładu zwłok powieszonych, a pojawieniem się na nich pierwszych osobników danego gatunku chrząszczy wykazano dla *Saprinus semistriatus* ($r=0,97$; $p<0,001$), *Thanatophilus sinuatus* ($r=0,97$; $p=0,03$) oraz *Margarinotus brunneus* ($r=0,96$; $p=0,001$) (Tab. 29).

Tabela 29. Zależność między pierwszym dniem pojawu danego gatunku chrząszczy, a dniem rozpoczęcia poszczególnych procesów rozkładu (N – liczba powieszonych zwłok na których dany gatunek był minimalnie liczny; r – współczynnik korelacji Pearsona; p – wartość prawdopodobieństwa. Myślnikiem oznaczono przypadki w których ze względu na brak wystarczającej liczby danych nie można było obliczyć korelacji)

Rodzina	Gatunek	N	Wzdęcie zwłok		Aktywny rozkład zwłok		Zaawansowany rozkład zwłok	
			r	p	r	p	r	p
Cleridae	<i>Necrobia violacea</i>	6	0,83	0,079	0,90	0,016	0,85	0,032
Dermestidae	<i>Dermestes murinus</i>	4	-	-	0,85	0,147	0,96	0,044
Geotrupidae	<i>Trypocopris vernalis</i>	10	0,16	0,714	0,80	0,005	0,71	0,032
	<i>Anoplotrupes stercorosus</i>	12	0,27	0,458	0,67	0,017	0,52	0,102
Histeridae	<i>Saprinus semistriatus</i>	8	0,96	0,001	0,90	0,002	0,97	<0,001
	<i>Margarinotus brunneus</i>	7	0,94	0,006	0,91	0,005	0,96	0,001
	<i>Margarinotus striola succicola</i>	8	0,87	0,010	0,87	0,005	0,89	0,007
Nitidulidae	<i>Omosita depressa</i>	4	-0,97	0,030	-0,90	0,100	-0,74	0,262
	<i>Necrodes littoralis</i>	10	0,90	0,003	0,44	0,200	0,69	0,039
	<i>Nicrophorus humator</i>	10	0,21	0,610	0,39	0,260	0,28	0,440
Silphidae	<i>Thanatophilus sinuatus</i>	4	-	-	0,97	0,026	0,97	0,030
	<i>Thanatophilus rugosus</i>	5	0,84	0,164	0,18	0,776	0,41	0,489
	<i>Oiceoptoma thoracicum</i>	7	0,93	0,008	0,85	0,016	0,91	0,011
	<i>Nicrophorus vespilloides</i>	8	0,47	0,285	0,91	0,010	0,80	0,016
	<i>Creophilus maxillosus</i>	9	0,95	<0,001	0,33	0,380	0,38	0,353
	<i>Tachinus humeralis</i>	4	-0,93	0,227	-0,65	0,352	-0,40	0,603
	<i>Philonthus splendens</i>	3	0,98	0,121	-	-	0,96	0,179
Staphylinidae	<i>Bisnius fimetarius</i>	3	0,99	0,093	-0,78	0,426	-0,37	0,759
	<i>Philonthus politus</i>	5	0,93	0,680	0,81	0,098	0,83	0,169
	<i>Philonthus decorus</i>	6	0,67	0,213	0,81	0,052	0,75	0,088
	<i>Oxypoda acuminata</i>	3	-	-	-0,95	0,198	-0,99	0,036
	<i>Aleochara curtula</i>	4	0,84	0,367	0,51	0,492	0,69	0,313
	<i>Staphylinus erythropterus</i>	4	0,98	0,121	0,35	0,646	0,59	0,411

Przeprowadzone analizy pozwoliły na przyporządkowanie stwierdzonych gatunków muchówek oraz chrząszczy do następujących kategorii użyteczności gatunków do szacowania czasu zgonu w przypadku zwłok powieszonych: gatunki o wysokiej przydatności do szacowania PMI, gatunki o umiarkowanej przydatności do szacowania PMI, gatunki nieprzydatne do szacowania PMI oraz gatunki o nieznanym przydatności do szacowania PMI. Do ostatniej grupy należą gatunki, które były stwierdzone na małej liczbie zwłok powieszonych przez co nie można było zbadać korelacji między momentem ich pojawienia się na zwłokach, a rozpoczęciem poszczególnych procesów rozkładu lub wykazano brak jakiejkolwiek korelacji (Tab. 30).

Tabela 30. Podział gatunków owadów obecnych na zwłokach powieszonych ze względu na ich przydatność do szacowania czasu zgonu (L – postaci larwalne; brak oznaczenia oznacza postać dorosłą; * - gatunki z $CO \leq 40$ bez możliwości obliczenia korelacji między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem procesu rozkładu).

Gatunki o wysokiej przydatności (gatunki wskaźnikowe) ^a	Gatunki o umiarkowanej przydatności ^b	Gatunki nieprzydatne ^c	Gatunki o nieznannej przydatności ^d
<i>Phormia regina</i> L	<i>Hydrotaea pilipes</i>	<i>Trypocopriss vernalis</i>	<i>Fannia lepida</i> *
<i>Lucilia caesar</i> L	<i>Creophilus maxillosus</i> L	<i>Aleochara curtula</i>	<i>Saprinus planiusculus</i> *
<i>Hydrotaea similis</i> L	<i>Thanatophilus sinuatus</i>	<i>Staphylinus erythropterus</i>	<i>Parapiophilus vulgaris</i> *
<i>Necrodes littoralis</i> L	<i>Hydrotaea similis</i>	<i>Necrobia violacea</i>	<i>Chrysomya albiceps</i> L*
<i>Necrodes littoralis</i>	<i>Liopiophila varipes</i>	<i>Nicrophorus vespillo</i>	<i>Fannia canicularis</i> *
<i>Creophilus maxillosus</i>	<i>Saprinus semistriatus</i>	<i>Anoplotrupes stercorosus</i>	<i>Philonthus</i> sp. L*
	<i>Stearibia nigriceps</i>	<i>Tachinus laticolis</i>	<i>Thanatophilus</i> sp. L*
	<i>Thricops simplex</i>		<i>Hydrotaea dentipes</i> *
	<i>Calliphora vomitoria</i> L		<i>Hydrotaea ignava</i> *
	<i>Calliphora vomitoria</i>		<i>Hydrotaea armipes</i> *
	<i>Oiceoptoma thoracicum</i>		<i>Neuroctena anilis</i>
	<i>Dermestes murinus</i>		<i>Tachinus humeralis</i>
	<i>Philonthus politus</i>		<i>Nicrophorus humator</i>
	<i>Lucilia caesar</i>		<i>Stearibia nigriceps</i> L
	<i>Margarinotus brunneus</i>		<i>Fannia</i> sp. L
	<i>Omosita depressa</i>		<i>Philonthus succicola</i>
	<i>Dryomyza flaveola</i>		<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i>
	<i>Philonthus decorus</i>		<i>Xantholinus linearis</i>
	<i>Oxypoda acuminata</i>		<i>Thanatophilus rugosus</i>
	<i>Margarinotus striola succicola</i>		<i>Philonthus splendens</i>
	<i>Nicrophorus vespilloides</i>		<i>Dermestes murinus</i> L
			<i>Oiceoptoma thoracicum</i> L
			<i>Mydaea corni</i>
			<i>Bisnius fimetarius</i>
			<i>Omosita discoidea</i>
			<i>Phormia regina</i>
			<i>Philonthus addendus</i>
			<i>Eudasyphora cyanicolor</i>
			<i>Liogluta granigera</i>
			<i>Trox sabulosus</i>
			<i>Mydaea lateritia</i>

^a – $CO \leq 40$ oraz silna, pozytywna i istotna statystycznie korelacja między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem procesu rozkładu

^b – CO między 40, a 80 oraz pozytywna i istotna statystycznie korelacja między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem procesu rozkładu

^c – $CO > 80$ oraz słaba lub negatywna korelacja między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem procesu rozkładu

^d – brak możliwości obliczenia korelacji między pierwszym dniem pojawu danego gatunku i rozpoczęciem procesu rozkładu

6.4. Modele sukcesji owadów na zwłokach powieszonych

W efekcie przeprowadzenia badań, opracowano matryce dziennej obecności owadów na zwłokach powieszonych w środowisku leśnym Europy Środkowej. W matrycach tych zostały uwzględnione gatunki owadów zaliczone do grup o wysokiej i umiarkowanej przydatności do szacowania czasu zgonu oraz gatunki o nieznanej przydatności, ale o krótkim czasie obecności na zwłokach. W związku ze stwierdzeniem różnic w liczbie gatunków oraz w czasie pojawu osobników danego gatunku między sezonami utworzono matryce dziennej obecności owadów oddzielnie dla poszczególnych pór roku (Tab. 31-33). Najwięcej gatunków wskaźnikowych oraz o umiarkowanej przydatności do szacowania PMI dla zwłok powieszonych zostało odnotowanych wiosną, a najmniej jesienią.

Tabela 32. Letni model sukcesji owadów nekrofilnych na zwłokach powieszonych w środowisku leśnym Wielkopolski (N – liczba zwłok na których stwierdzono minimalną liczebność danego gatunku; w macierzy jedna kratka odpowiada jednemu dniowi rozkładu)

[illegible]

7. Dyskusja – Sukcesja owadów na zwłokach powieszonych

Wyniki prezentowane w ramach niniejszej pracy doktorskiej są pierwszymi dotyczącymi składu gatunkowego oraz sukcesji owadów na zwłokach powieszonych na terenie Europy Środkowej.

Wśród owadów odłowionych na powieszonych zwłokach świni domowej odnotowano najwięcej osobników muchówek z rodziny Dryomyzidae, natomiast wśród chrząszczy odłowiono najwięcej osobników z rodziny Geotrupidae. Co ciekawe każda z najliczniejszych rodzin była reprezentowana tylko przez dwa gatunki. Wśród tych gatunków znalazły się: najliczniej odławiana muchówka - *Dryomyza flaveola* oraz najliczniej odławiany chrząszcz – *Anoplotrupes stercorosus*. Wśród najliczniej odławianych gatunków można było zauważyć gatunki typowo wiosenne oraz typowo jesienne. Na szczególną uwagę zasługują dwa gatunki z rodziny Silphidae - *Thanatophilus rugosus* oraz *Thanatophilus sinuatus*. Na zwłokach powieszonych ponad 99% osobników obu gatunków zostało odłowionych wiosną. Podobne wyniki można zaobserwować na zwłokach kontrolnych, jednak w literaturze można znaleźć informacje o badaniach, w których osobniki tych gatunków były odnotowywane także późnym latem oraz jesienią (Matuszewski i in. 2010b, Bunalski 2012). Przeważająca liczba osobników obu gatunków z rodziny Geotrupidae również odławiana była wiosną. W badaniach Jarmusz & Bajerlein (2015) sprawdzano wpływ wybranych czynników na liczebność *Anoplotrupes stercorosus* i *Trypocopris vernalis*. *A. stercorosus* został określony jako gatunek wiosenno-letni, a *T. vernalis* najliczniej odławiany był latem, chociaż badania były prowadzone także w tym samym typie środowiska. Na zwłokach powieszonych ponad 70% osobników *A. stercorosus* oraz ponad 85% osobników *T. vernalis* zostało odłowionych wiosną. Gatunkiem muchówki w przypadku, którego prawie 95% osobników zostało odłowionych jesienią była *Dryomyza flaveola*. Wśród gatunków chrząszczy typowymi gatunkami jesiennymi byli przedstawiciele rodziny Staphylinidae – *Oxypoda acuminata*, *Tachinus humeralis* oraz *Xantholinus linearis*. Interesujące jest to, że wymienione powyżej gatunki licznie odławiane jesienią były równocześnie charakterystyczne dla zwłok powieszonych tzn. ponad 70% osobników było odłowionych na zwłokach powieszonych, a nie kontrolnych. W trakcie badań na terenie poligonu wojskowego w Biedrusku licznie odławianą rodziną chrząszczy była rodzina Histeridae. Wśród gatunków z tej rodziny

odnotowano najwięcej osobników *Saprinus semistriatus*, *Margarinotus striola succicola* i *Margarinotus brunneus*. Potwierdza to wyniki wcześniejszych badań prowadzonych na tym terenie (Bajerlein i in. 2011).

Do tej pory badania w zakresie sukcesji owadów na zwłokach powieszonych były prowadzone jedynie w regionach geograficznych o warunkach klimatycznych odmiennych od klimatu umiarkowanego Europy Środkowej (Shalaby i in. 2000, Chin i in. 2010). W efekcie badań przeprowadzonych na Hawajach zauważono, że na zwłokach powieszonych występuje mniejsza różnorodność gatunków nekrofilnych niż na zwłokach eksponowanych na powierzchni gruntu (Shalaby i in. 2000). Identyczne zjawisko zaobserwowano w trakcie badań prowadzonych na terenie poligonu w Biedrusku latem. Wiosną oraz jesienią więcej gatunków owadów nekrofilnych odnotowanych zostało na zwłokach powieszonych. Jednak im wyższa stawała się średnia temperatura powietrza tym bardziej zacierały się różnice w liczbie gatunków odnotowywanych na zwłokach powieszonych i zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi. Ze względu na różnice klimatyczne porównywanie składu gatunkowego owadów nekrofilnych odnotowanych w ramach niniejszej pracy doktorskiej z wynikami Shalaby i in. (2000) nie jest uprawnione, jednak kolejność pojawiania się przedstawicieli poszczególnych grup ekologicznych na zwłokach jest bardzo zbliżona. W trakcie badań Shalaby i in. (2000) na zwłokach powieszonych początkowo pojawiły się muchówki z rodzin Calliphoridae, Muscidae oraz Sarcophagidae, ale rozkład następował głównie na skutek aktywności larw muchówek z rodziny Calliphoridae. Przed rozpoczęciem aktywnego rozkładu na zwłokach pojawiły się chrząszcze z rodziny Dermestidae oraz Cleridae, a po rozpoczęciu tego procesu pojawiły się drapieżne chrząszcze z rodziny Histeridae. Nie stwierdzono licznie występujących w Europie przedstawicieli rodziny Silphidae.

Jednym z ciekawszych zjawisk zaobserwowanych podczas badań prowadzonych na terenie poligonu w Biedrusku była wysoka liczebność *Dermestes murinus* jedynie na zwłokach powieszonych rozkładających się wiosną. Osobniki tego gatunku pojawiały się na zwłokach bardzo wcześnie, już podczas wzdęcia zwłok lub na początku aktywnego rozkładu zwłok, co przeczy dotychczasowym obserwacjom, że przedstawiciele rodziny skórnikowatych (Dermestidae) zasiedlają zwłoki będące w końcowych etapach rozkładu (Charabidze i in. 2014). Shalaby i in. (2000) także zaobserwowali bardzo wczesny pojaw przedstawicieli gatunków z rodziny Dermestidae, ale w przeciwieństwie do badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy doktorskiej wczesna obecność skórnikowatych

zaobserwowano na obu typach zwłok. Wczesny pojaw chrząszczy z rodziny Dermestidae jak do tej pory był obserwowany głównie w badaniach prowadzonych w regionach geograficznych o średniej temperaturze powietrza zdecydowanie wyższej niż w Polsce (Avila & Goff 1998, Bharti & Singh 2003, Arnaldos i in. 2004, De Jong & Hoback 2006, Özdemir & Sert 2009, Bonacci i in. 2011, Aly i in. 2013, Faria i in. 2013). W Europie Centralnej oraz na terenach o zbliżonym klimacie postaci dorosłe chrząszczy z rodziny Dermestidae były obserwowane przeważnie pod koniec aktywnego rozkładu zwłok oraz w czasie zaawansowanego rozkładu zwłok (Schroeder i in. 2002, Kočárek 2003, Tabor i in. 2005, Matuszewski i in. 2010b, Anton i in. 2011). W badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) prowadzonych w tym samym typie lasu, co eksperymenty w ramach niniejszej pracy doktorskiej, minimalna liczebność *Dermestes murinus* wiosną została stwierdzona tylko w przypadku zwłok jednej świni, co potwierdza małą liczebność tego gatunku na zwłokach eksponowanych na powierzchni gruntu. Na terenie Europy prowadzono badania, w których skórnikowate były obserwowane w trakcie trwania początkowych procesów rozkładu, ale średnia temperatura powietrza była zdecydowanie wyższa niż w trakcie badań prowadzonych na terenie poligonu w Biedrusku (von Hoermann i in. 2011, Matuszewski & Szafałowicz 2013).

Kolejnym, interesującym wynikiem jest stwierdzenie różnic w liczebności postaci dorosłych *Necrobia violacea* (Coleoptera: Cleridae) między zwłokami powieszonymi a eksponowanymi wiosną. Shalaby i in. (2000) odnotowali podobną aktywność innego gatunku z rodziny Cleridae – *Necrobia rufipes* (Fabricius, 1781). Gatunek ten także występuje w Polsce, ale w przeciwieństwie do *N. violacea*, który jest gatunkiem bytującym w różnych typach środowisk, *N. rufipes* związany jest przede wszystkim z terenami otwartymi (Matuszewski i in. 2013).

W badaniach Chin i in. (2010) przeprowadzonych na zwłokach powieszonych na terenie plantacji palm olejowych w Malezji stwierdzono przede wszystkim pojaw muchówek z rodzin Muscidae, Calliphoridae i Sarcophagidae. W trakcie badań na terenie poligonu w Biedrusku zaobserwowano tylko pojedyncze osobniki z rodziny Sarcophagidae, co potwierdza wyniki wcześniejszych obserwacji na temat występowania ścierricowatych na tym terenie (Matuszewski i in. 2008b, Matuszewski i in. 2010b). Niska liczba odłowionych osobników z rodziny Sarcophagidae w środowisku leśnym wynika z faktu, że w warunkach klimatycznych Europy Środkowej muchówki z tej rodziny preferują przede wszystkim tereny otwarte oraz zurbanizowane (Szpila i in. 2015).

Wyniki nad składem gatunkowym entomofauny nekrofilnej zwłok powieszonych badanych na terenie Biedruska oraz kolejnością pojawiania się przedstawicieli poszczególnych grup ekologicznych są podobne do wyników wcześniejszych badań prowadzonych na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi na tym terenie (Matuszewski i in. 2008b, Matuszewski i in. 2010b) oraz w innych krajach Europy Środkowej (Koćárek 2003, Grassberger & Frank 2004, Anton i in. 2011). Różnice pojawiają się w czasie pojawu przedstawicieli danego gatunku na zwłokach oraz w długości okresu ich przebywania na zwłokach. Spośród wymienionych badań jedynie badania Matuszewskiego i in. (2008, 2010b) prowadzone były w środowisku leśnym. Badania Matuszewskiego i in. (2010b) przeprowadzone były wiosną, latem oraz jesienią w trzech typach lasów, a jednym z nich był las grabowo-dębowy. W trakcie badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy stwierdzono 22 gatunki muchówek minimalnie licznych na przynajmniej jednym powieszonym zwłoku co stanowiło mniej niż 40% odłowionych gatunków muchówek oraz 38 minimalnie licznych gatunków chrząszczy co stanowiło mniej niż 35% odłowionych gatunków chrząszczy. Matuszewski i in. (2010b) w tym samym typie lasu odnotowali mniej minimalnie licznych gatunków muchówek (18) oraz chrząszczy (23), jednak liczba tych gatunków również stanowiła poniżej 50% wszystkich gatunków stwierdzonych w ramach danego rzędu owadów. Zarówno w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b), jak i w opisywanych badaniach, najwięcej minimalnie licznych nekrofilnych gatunków owadów zostało odnotowanych wiosną. Największą różnorodność gatunkową owadów nekrofilnych w tej właśnie porze roku potwierdzają także inne badania przeprowadzone w Europie Środkowej (Koćárek 2003, Grassberger & Frank 2004, Anton i in. 2011). W ramach prezentowanej pracy doktorskiej największe różnice w liczbie gatunków minimalnie licznych, czasie ich pojawu oraz liczbie odłowionych osobników między zwłokami powieszonymi a eksponowanymi na powierzchni ziemi zostały zaobserwowane właśnie wiosną. Różnice w czasie pojawu gatunków nekrofilnych były wyraźniejsze w 2012 roku niż w 2013 roku. W drugim roku badań warunki pogodowe charakterystyczne dla okresu zimy trwały aż do kwietnia przez co w wiosennych badaniach pierwsze owady nekrofilne pojawiły się na zwłokach z dużym opóźnieniem. Przez to opóźnienie różnice w czasie pojawu owadów między zwłokami powieszonymi i eksponowanymi na powierzchni ziemi były zdecydowanie mniejsze niż w roku 2012. Większa liczebność gatunków i osobników owadów oraz ich wcześniejszy pojaw na zwłokach powieszonych mogą wynikać z faktu, że zwłoki powieszone ze wszystkich stron są otoczone przez powietrze. W związku z tym, lotne związki organiczne uwalniane w trakcie rozkładu zwłok ulatniają się szybciej oraz na większą odległość przez co przyciągają większą

liczbę owadów. Wiosną różnice w wartościach średnich temperatur powietrza odnotowanych przy zwłokach powieszonych i eksponowanych były największe, a wyższa temperatura powietrza wpływa na szybszą i bardziej różnorodną emisję związków chemicznych uwalnianych przez rozkładające się zwłoki (Kasper i in. 2012).

Saprinus planiusculus jest gatunkiem, który wiosną był obecny na zwłokach powieszonych, a nie został stwierdzony na zwłokach kontrolnych. W badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) ten przedstawiciel rodziny Histeridae nie był stwierdzony w lesie grabowo-dębowym. *Saprinus planiusculus* związany jest głównie z terenami otwartymi (Matuszewski i in. 2013) i w środowisku leśnym pojawia się sporadycznie. Może być to kolejny dowód na to, że związki chemiczne powstające w czasie rozkładu są w przypadku zwłok powieszonych rozprawdane na większe odległości i w konsekwencji przyciągają one gatunki owadów z innych środowisk.

W trakcie badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy w każdej porze roku odnotowywano larwy większej liczby gatunków muchówek na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi niż na zwłokach powieszonych. Może być to efektem tego, że dla rozwoju larw wielu gatunków muchówek konieczny jest kontakt zwłok z ziemią. Inną sytuację można było zaobserwować w przypadku larw chrząszczy, ponieważ liczba gatunków chrząszczy, których larwy były minimalnie liczne na zwłokach powieszonych i eksponowanych były zbliżone. Liczba gatunków chrząszczy których larwy były minimalnie liczne na zwłokach powieszonych jest zbliżona do wyników zaprezentowanych przez Matuszewskiego i in. (2010b) oraz do wyników ze zwłok kontrolnych z opisywanej pracy doktorskiej. Może to oznaczać, że do rozwoju gatunków chrząszczy, których larwy odnotowano na powierzchni zwłok powieszonych nie jest konieczny kontakt zwłok z glebą. Równocześnie należy zwrócić uwagę, że gatunki, których larwy występują licznie w glebie pod zwłokami leżącymi na ziemi, np. larwy gatunków z rodziny Staphylinidae, nie są aż tak liczne w „strefie spadania”. Z tego względu larwy gatunków z tej rodziny chrząszczy zostały uznane za mniej przydatne w szacowaniu czasu zgonu dla zwłok powieszonych niż dla zwłok eksponowanych na powierzchni gruntu (Matuszewski i in. 2010b). Dodatkowo wyniki wcześniejszych badań prowadzonych na terenie poligonu wojskowego w Biedrusku (Matuszewski i in. 2010b) potwierdzają to, że największa liczba larw nekrofilnych chrząszczy pojawia się na zwłokach wiosną.

Jedynymi gatunkami, które były minimalnie liczne na wszystkich zwłokach powieszonych były *Hydrotaea similis*, *Lucilia caesar* oraz *Anoplotrupes stercorosus*. Dwa ostatnie gatunki były stwierdzone na wszystkich badanych zwłokach także w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b), ale *H. similis* nie była aż tak licznie obserwowana jak w ramach niniejszej pracy doktorskiej. Największą różnicę w liczebności tego gatunku można zauważyć latem, kiedy to *H. similis* była licznie obserwowana na wszystkich zwłokach powieszonych oraz eksponowanych na powierzchni ziemi, a w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) *H. similis* została stwierdzona tylko na jednych zwłokach.

Ciekawą różnicę można zaobserwować także w przypadku larw muchówek z rodziny Muscidae. W badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) najczęściej odławianymi w lesie grabowo-dębowym larwami gatunków z rodziny Muscidae były larwy *Hydrotaea dentipes* i *Hydrotaea ignava* (Harris 1780). W badaniach prowadzonych w ramach niniejszej pracy doktorskiej larwy tych gatunków były obserwowane na zwłokach powieszonych sporadycznie. Zarówno na zwłokach powieszonych, jak i eksponowanych na powierzchni ziemi najliczniej obserwowane były larwy *H. similis*, które w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) były minimalnie liczne tylko na jednych zwłokach latem. Jest to istotna różnica, ponieważ w ramach prezentowanych badań larwy tego gatunku zostały zaliczone do gatunków o wysokiej przydatności do szacowania PMI dla zwłok powieszonych.

W warunkach klimatu umiarkowanego jedną z głównych rodzin chrząszczy uczestniczących w rozkładzie zwłok są przedstawiciele rodziny Silphidae (Dekeirsschietter i in. 2011). Wśród gatunków odnotowanych na zwłokach powieszonych zaobserwowano osobniki *Nicrophorus interruptus* Stephens, 1830, który do tej pory był rzadko odnotowywany w zachodniej Polsce (Bunalski 2012). *Necrodes littoralis* w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) był licznie obserwowany w lesie grabowo-dębowym latem oraz jesienią. Natomiast na zwłokach powieszonych liczny pojaw *N. littoralis* był odnotowany także wiosną, a jesienią gatunek ten był minimalnie liczny tylko na zwłokach dwóch świń. Ponadto jesienią *N. littoralis* został odnotowany tylko na zwłokach jednej świni eksponowanej na powierzchni ziemi, natomiast w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) była to jedyna pora roku w której gatunek ten był minimalnie liczny na wszystkich badanych zwłokach. Z dotychczasowych badań nad tym gatunkiem wiadomo, że samice składają jaja w glebie pod i obok zwłok leżących na ziemi (Charabidze i in. 2016). W trakcie badań w ramach niniejszej pracy obserwowano larwy *N. littoralis* bezpośrednio na powierzchni powieszonych zwłok, a więc rozwój tego gatunku powinien być dokładniej zbadany w

przyszłości. Podobne rozbieżności można było zaobserwować w przypadku *Nicrophorus humator* (Gleditsch, 1767) oraz *Oiceoptoma thoracicum*. Na zwłokach powieszonych *N. humator* był licznie obserwowany we wszystkich porach roku, natomiast w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) gatunek ten odnotowano tylko latem. *Oiceoptoma thoracicum* jest gatunkiem typowo wiosennym (Matuszewski i in. 2013) i właśnie w tej porze roku osobniki tego gatunku najliczniej obserwowane były zarówno na zwłokach eksponowanych badanych w ramach pracy doktorskiej, jak i w badaniach Matuszewskiego i in. (2010b). Równocześnie na zwłokach powieszonych gatunek ten był licznie obserwowany także latem.

Latem 2013 roku, zarówno w obrębie „strefy spadania”, jak i na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi, zaobserwowano liczne larwy *Chrysomya albiceps*, gatunku muchówki z rodziny Calliphoridae, który pierwszy raz został stwierdzony w Polsce na tym samym terenie badawczym przez Szpilę i in. (2008). W badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) larwy tego gatunku zostały zaobserwowane latem w olsie i w borze, czyli w innych typach lasu niż w opisywanych badaniach. Jak podają Grassberger i in. (2003) w warunkach laboratoryjnych rozwój tej muchówki zostaje zatrzymany w temperaturze poniżej 15°C. Według Szpili i in. (2008) rozwój tego gatunku w Polsce jest przypuszczalnie możliwy tylko w latach, w których średnia temperatura powietrza jest stosunkowo wysoka. W 2013 roku larwy *Ch. albiceps* obserwowane były przede wszystkim w pierwszej połowie sierpnia. W tym samym okresie w 2012 roku średnie temperatury powietrza przez większość dni przekraczały 15°C, a nie stwierdzono ani jednego osobnika *Ch. albiceps*. Wpływ różnych czynników, np. temperatury otoczenia, na obecność *Ch. albiceps* na terenie Polski powinna zostać dokładnie zbadana w przyszłych eksperymentach.

W ramach niniejszej pracy doktorskiej wiosną oraz latem licznie obserwowano osobniki *Liopiophila varipes*, muchówki z rodziny Piophilidae. Przedstawiciele tego gatunku byli liczni zarówno na zwłokach powieszonych, jak i eksponowanych na powierzchni gruntu. W badaniach Matuszewskiego i in. (2010b) gatunek ten nie został w ogóle stwierdzony, a w badaniach Antona i in. (2011) stwierdzono pojedyncze osobniki na zwłokach rozkładających się w budynku. Na podstawie badań prowadzonych na terenie poligonu w Biedrusku *L. varipes* została uznana za gatunek o umiarkowanej przydatności przy ustalaniu PMI dla zwłok powieszonych, dlatego w przypadku przyszłych badań prowadzonych na terenie Polski powinno zwracać się na nią szczególną uwagę.

Wśród gatunków o wysokiej i umiarkowanej przydatności do szacowania czasu zgonu w przypadku zwłok powieszonych tylko część gatunków pokrywa się z listą gatunków wyznaczoną przez Matuszewskiego i in. (2010b) dla zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi. Okazało się, że wśród gatunków wskaźnikowych czasu zgonu dla zwłok powieszonych przeważają gatunki w przypadku których postacią rozwojową przydatną do szacowania czasu zgonu jest stadium larwy (zarówno wśród muchówek, jak i chrząszczy). Dużą grupę stanowią gatunki o czasie obecności na zwłokach poniżej 40%, ale nie mogły one zostać zaliczone do gatunków wskaźnikowych, ponieważ w ich przypadku nie można było obliczyć współczynnika korelacji między pierwszym dniem pojawu tych gatunków na zwłokach, a dniem rozpoczęcia poszczególnych procesów rozkładu. Wynikało to z faktu, że minimalna liczebność tych gatunków była odnotowana tylko na maksymalnie dwóch zwłokach powieszonych. Za gatunki nieprzydatne do szacowania czasu zgonu metodą sukcesyjną uznane zostały gatunki, które były obecne na zwłokach już od pierwszych dni rozkładu aż do zakończenia tego procesu.

Opracowane matryce sukcesji owadów na zwłokach powieszonych w różnych porach roku mogą być wykorzystywane do szacowania PMI w warunkach środowiska leśnego Europy Środkowej. W związku z tym mogą być one użyteczne w wyjaśnianiu okoliczności samobójstw, zabójstw oraz podejrzanych zgonów. Dodatkowo należy zauważyć, że modele sukcesji owadów nekrofilnych przedstawione w niniejszej rozprawie doktorskiej są dopiero pierwszym takim opracowaniem dla zwłok powieszonych i drugim zestawem matryc tego typu stworzonymi dla terenu Polski. Pierwsze matryce sukcesji owadów na zwłokach opracowane dla Polski zostały opublikowane przez Matuszewskiego i in. (2011) i przedstawiają sukcesję owadów na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi w środowisku leśnym Europy Środkowej.

Przeprowadzone badania wykazały, że padlina rozkładająca się nawet w bardzo nietypowych warunkach, tj. bez kontaktu z glebą, otoczona ze wszystkich stron powietrzem, może być zasiedlana przez znaczną liczbę gatunków muchówek i chrząszczy. Prezentowane wyniki poszerzają więc dotychczasową wiedzę na temat funkcjonowania nietrwałych mikrośrodków, udowadniając po raz kolejny jak duże bogactwo gatunkowe może być związane nawet ze stosunkowo niewielką ilością rozkładającego się substratu organicznego, w tym przypadku padliny. Duża część stwierdzonych w trakcie moich badań gatunków to nekrofagi, dla których dostępność martwej materii organicznej pochodzenia zwierzęcego jest niezbędna do rozwoju. W tym miejscu należy podkreślić również, że padlina może być

zasiedlana przez inne bezkręgowce, między innymi nicienie oraz roztocze, którym jak dotąd poświęcono mniej uwagi w porównaniu z owadami. Tak więc, przyszłe badania nad ekosystemem padliny powinny uwzględniać także zwierzęta z innych grup systematycznych w celu pełniejszego zrozumienia zjawisk zachodzących w obrębie tego mikrośrodowiska.

8. Podsumowanie

Prezentowana praca dotyczy rozkładu zwłok powieszonych oraz sukcesji owadów na zwłokach tego typu rozkładających się w środowisku leśnym Wielkopolski. Eksperymenty prowadzone były w latach 2012-2013 na terenie poligonu wojskowego w Biedrusku koło Poznania. Analiza przebiegu procesu rozkładu i sukcesji owadów przeprowadzane były na podstawie obserwacji dokonanych podczas eksperymentów terenowych. Materiał do badań nad sukcesją owadów pozyskiwany był przy pomocy pułapek ziemnych, siatki entomologicznej oraz manualnie z powierzchni zwłok i z gleby pod zwłokami. Analizie poddano osobniki nekrofilnych muchówek z rodzin: Calliphoridae, Dryomyzidae, Fanniidae, Muscidae, Piophilidae oraz nekrofilnych chrząszczy z rodzin: Cleridae, Dermestidae, Geotrupidae, Histeridae, Leiodidae, Nitidulidae, Silphidae, Staphylinidae, Trogidae.

W ramach przeprowadzonych badań:

1. Poznano procesy rozkładu jakim ulegają powieszone zwłoki w środowisku leśnym i w warunkach klimatycznych Wielkopolski.
2. Sprawdzone jaki wpływ na moment rozpoczęcia oraz czas trwania poszczególnych procesów rozkładu na zwłokach powieszonych ma pora roku.
3. Wykazano różnice między rozkładem zwłok powieszonych, a rozkładem zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi.
4. Sporządzono wiosenne, letnie oraz jesienne matryce rozkładu zwłok powieszonych w środowisku leśnym Wielkopolski.
5. Wykazano gatunki muchówek oraz chrząszczy zasiedlające zwłoki powieszone rozkładające się w środowisku leśnym Wielkopolski.
6. Ustalono, które gatunki dominują w rozkładzie zwłok powieszonych w środowisku leśnym Wielkopolski.

7. Określono przebieg sukcesji owadów na zwłokach powieszonych w środowisku leśnym Wielkopolski.
8. Zbadano wpływ pory roku na pojaw owadów na zwłokach powieszonych.
9. Porównano liczebności poszczególnych gatunków owadów oraz przebieg sukcesji owadów między zwłokami powieszonymi i eksponowanymi na powierzchni ziemi.
10. Ustalono gatunki wskaźnikowe czasu śmierci dla zwłok powieszonych.
11. Sporządzono wiosenne, letnie oraz jesienne modele sukcesji owadów na zwłokach powieszonych w środowisku leśnym Wielkopolski.

Na podstawie wyników badań wykazano, że w środowisku leśnym Wielkopolski:

1. Zwłoki powieszone ulegają tym samym procesom rozkładu co zwłoki eksponowane na powierzchni ziemi, tj. wzdęciu, aktywnemu rozkładowi oraz zaawansowanemu rozkładowi.
2. Rozkład zwłok powieszonych przebiega mozaikowo tzn. zwłoki w tym samym czasie mogą być objęte różnymi procesami rozkładu.
3. Bardzo istotne dla tempa rozkładu zwłok powieszonych jest powstawanie „strefy spadania”. Zwłoki w przypadku których nie odnotowano powstania „strefy spadania” rozkładały się wolniej od pozostałych.
4. Wzdęcie zwłok powieszonych najwcześniej pojawia się latem, a najpóźniej wiosną. Latem trwa ono najkrócej.
5. Jesienią wzdęcie zwłok powieszonych pojawia się późno, najczęściej kiedy całe zwłoki objęte są już procesem aktywnego rozkładu.
6. Wzdęcie zwłok jest lepiej widoczne na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi niż na zwłokach powieszonych.
7. Aktywny rozkład zwłok powieszonych odbywa się przede wszystkim na skutek żerowania larw *Calliphora vomitoria* i *Lucilia caesar*.
8. Aktywny rozkład najwcześniej rozpoczyna się latem, a najpóźniej wiosną.

9. Pora roku nie ma istotnego wpływu na początek zaawansowanego rozkładu zwłok powieszonych.

10. Żadne z badanych zwłok powieszonych nie uległy pełnemu zeszkieletowaniu.

11. Wiosną oraz jesienią zwłoki powieszone rozkładają się wolniej od zwłok eksponowanych na powierzchni ziemi. Równocześnie największe różnice w momencie rozpoczęcia wczesnych procesów rozkładu między dwoma typami zwłok można było zaobserwować wiosną. W tej porze roku wzdęcie oraz aktywny rozkład zwłok rozpoczynały się wcześniej na zwłokach powieszonych.

12. Wartości TBS obliczone dla zwłok powieszonych i eksponowanych na powierzchni ziemi potwierdziły, że największe różnice w tempie rozkładu wystąpiły wiosną.

13. Wśród muchówek odłowiono najwięcej dorosłych osobników gatunków z rodzin Dryomyzidae i Muscidae.

14. Najliczniej odławianymi gatunkami muchówek były *Dryomyza flaveola*, *Stearibia nigriceps*, *Hydrotaea similis* i *Lucilia caesar*.

15. Wśród chrząszczy odłowiono najwięcej dorosłych osobników gatunków z rodzin Geotrupidae, Histeridae i Silphidae.

16. Najliczniej odławianymi gatunkami chrząszczy były *Anoplotrupes stercorosus*, *Saprinus semistriatus*, *Thanatophilus rugosus* i *Trypocopris vernalis*.

17. Gatunkami minimalnie licznymi (≥ 10 osobników) na wszystkich zwłokach powieszonych były *Hydrotaea similis*, *Lucilia caesar* oraz *Anoplotrupes stercorosus*.

18. Na zwłokach powieszonych występowało więcej gatunków chrząszczy niż muchówek.

19. Na zwłokach powieszonych odnotowano larwy większej liczby gatunków muchówek niż chrząszczy.

20. Na powierzchni zwłok powieszonych pojawiły się larwy *Necrodes littoralis* – chrząszcza uważanego za gatunek, w przypadku którego do rozwoju konieczny jest kontakt zwłok z ziemią.

21. Niektóre gatunki chrząszczy obecne były tylko na powierzchni zwłok powieszonych, a nie stwierdzono ich w obrębie „strefy spadania” np. *Dermestes murinus* i *Necrobia violacea*.

22. Zwłoki powieszone przyciągają większą liczbę gatunków, jak i osobników, nekrofilnych owadów niż zwłoki eksponowane na powierzchni ziemi. Różnice te najwyraźniejsze są wiosną.
23. Stwierdzono gatunki licznie obecne tylko na zwłokach powieszonych. Wśród muchówek były to np. *Fannia canicularis*, *Mydaea lateritia*, a wśród chrząszczy np. *Dermestes murinus*, *Saprinus planiusculus* i *Xantholinus linearis*.
24. *Dermestes murinus* (zarówno postaci dorosłe, jak i formy larwalne) licznie pojawia się na zwłokach powieszonych wiosną. W tym samym czasie na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi obserwowano jedynie pojedyncze osobniki tego gatunku.
25. Wiosną występowały gatunki owadów, które pojawiały się wcześniej na zwłokach powieszonych niż na zwłokach eksponowanych na powierzchni ziemi m.in. *Omosita depressa*, *Aleochara curtula* oraz przedstawiciele rodzaju *Fannia*.
26. Na obu typach zwłok występują gatunki w przypadku których ponad 75% osobników odłowionych zostało na zwłokach powieszonych – *Phormia regina*, *Thanatophilus rugosus*, *Dryomyza flaveola* oraz *Xantholinus linearis*.
27. Owadami o wysokiej przydatności w szacowaniu czasu zgonu dla zwłok powieszonych to larwy *Phormia regina*, *Lucilia caesar* i *Hydrotaea similis*, larwy i osobniki dorosłe *Necrodes littoralis* oraz osobniki dorosłe *Creophilus maxillosus*.

9. Podziękowania

Chciałbym serdecznie podziękować wszystkim osobom, które przyczyniły się do powstania niniejszej pracy doktorskiej.

Panu prof. dr hab. Wojciechowi Niedbale dziękuję za pomoc przy przygotowywaniu pracy oraz za liczne uwagi i sugestie, które były bardzo przydatne w trakcie tworzenia manuskryptu.

Pani dr hab. Darii Bajerlein dziękuję za wieloletnią współpracę, która rozpoczęła się już na studiach licencjackich i poprzez studia magisterskie dotrwała aż do studiów doktoranckich. Dziękuję przede wszystkim za zainteresowanie mnie entomologią sądową oraz za nauczanie mnie podstaw bez których nie dałbym rady przeprowadzić samodzielnych badań naukowych. Dziękuję również za wielokrotną pomoc w pracach terenowych, za pomoc przy identyfikacji owadów oraz za bardzo duży wkład w ostateczny kształt manuskryptu.

Panu prof. UAM dr hab. Szymonowi Matuszewskiemu dziękuję za danie szansy na wzięcie udziału w badaniach z zakresu entomologii sądowej oraz nauczanie mnie elementów pracy terenowej oraz identyfikacji owadów nekrofilnych, które były niezbędne do przeprowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Panom dr Szymonowi Konwerskiemu, dr Andrzejowi Grzywaczowi i Andrzejowi Melce dziękuję za pomoc w identyfikacji rodzin owadów, które sprawiały mi największy problem.

Annie Mądrej-Bielewicz, Klaudii Bromberek, Katarzynie Frątczak-Łagiewskiej, Marcie Kasprzak, Łukaszowi Brodzie oraz Dominikowi Kielbanowi dziękuję za wielokrotną pomoc w trakcie badań terenowych.

Dziękuję mojej żonie Darii, rodzinie oraz przyjaciołom za wspieranie mnie w momentach kryzysowych, za akceptowanie moich zainteresowań badawczych oraz za wyrozumiałość względem wszelkich niedogodności wynikających z charakteru moich badań terenowych.

Dziękuję mojej Mamie, ponieważ bez niej niniejsza praca nigdy by nie powstała.

10. Bibliografia

Aballay F.H., Murua A.F., Acosta J.C., Centeno N.D. 2012: Succession of carrion fauna in the arid region of San Juan Province, Argentina and its forensic relevance. *Neotropical Entomology*. 41: 27-31.

Aly S.M., Wen J., Wang X., Cai J., Liu Q., Zhong M. 2013: Identification of forensically important arthropods on exposed remains during summer season in northeastern Egypt. *Journal of Central South University (Medical Sciences)*. 38: 1-6.

Anderson G.S. 2009: Factors that influence insect succession on carrion [W]: J.H. Byrd, J.L. Castner (Eds.), *Forensic Entomology. The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. 2nd edition. *CRC Press*, Boca Raton, pp. 201–250.

Anderson G.S., VanLaerhoven S. 1996: Initial studies on insect succession on carrion on Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*. 41: 617-625.

Anderson G.S., Bell L.S. 2017: Comparison of faunal scavenging of submerged carrion in two seasons at a depth of 170 m, in the Strait of Georgia, British Columbia. *Insects*. 8: 33.

Anton E., Niederegger S., Beutel R.G. 2011: Beetles and flies collected on pig carrion in an experimental setting in Thuringia and their forensic implications. *Medical and Veterinary Entomology*. 25: 353-364.

Archer M. 2014: Comparative analysis of insect succession data from Victoria (Australia) using summary statistics versus preceding mean ambient temperature models. *Journal of Forensic Sciences*. 59: 404-412.

Arnaldos M.I., Romera E., Presa J.J., Luna A., García M.D. 2004: Studies on seasonal arthropod succession on carrion in the southeastern Iberian Peninsula. *International Journal of Legal Medicine*. 118: 197-205.

Avila F.W., Goff M.L. 1998: Arthropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands. *Journal of Forensic Sciences*. 43: 581-586.

Bajerlein D., Matuszewski S., Konwerski S. 2011: Insect succession on carrion: Seasonality, habitat preference and residency of histerid beetles (Coleoptera: Histeridae) visiting pig carrion exposed in various forests (Western Poland). *Polish Journal of Ecology*. 59: 787-797.

Barton P.S., Cunningham S.A., Lindenmayer D.B., Manning A.D. 2013: The role of carrion in maintaining biodiversity and ecological processes in terrestrial ecosystems. *Oecologia*. 171: 761-772.

Bass W.M. 1996: Outdoor Decomposition Rates in Tennessee. [W:] Haglund W.D. & Sorg M.H. (eds.): *Forensic Taphonomy. The Postmortem Fate of Human Remains*. *CRC Press*: 181-187.

Benbow M.E., Lewis A.J., Tomberlin J.K., Pechal J.L. 2013: Seasonal necrophagous insect community assembly during vertebrate carrion decomposition. *Journal of Medical Entomology*. 50: 440-450.

Benecke M. 1998: Six forensic entomology cases: description and commentary. *Journal of Forensic Science*. 43: 797-805.

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

Bharti M, Singh D. 2003: Insect faunal succession on decaying rabbit carcasses in Punjab, India. *Journal of Forensic Sciences*. 48: 1133-1143.

Błażejowski F. 1956: Chrząszcze trupożerne rezerwatu cisowego Wierchlas. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Biologia*. 1: 63-90.

Bonacci T., Zetto Brandmayr T., Brandmayr P., Vercillo V., Porcelli F. 2011: Successional patterns of the insect fauna on pig carcass in southern Italy and the role of *Crematogaster scutellaris* (Hymenoptera, Formicidae) as a carrion invader. *Entomological Science*. 14: 125-132.

Bunalski M., Przewoźny M. 2008: Materiały do poznania rozmieszczenia chrząszczy (Coleoptera) Polski Zachodniej. Część 1. Jelonkowate (Lucanidae) i modzelkowate (Trogidae). *Wiadomości Entomologiczne*. 27: 83-89.

Bunalski M. 2012: Materiały do poznania rozmieszczenia chrząszczy (Coleoptera) Zachodniej Polski. Część 2. Omarlicowate (Silphidae). *Wiadomości Entomologiczne*. 31: 90-99.

Bunalski M., Konwerski S., Rutkowski T., Ruta R., Przewoźny M., Wąsala R. 2014: Materiały do poznania rozmieszczenia chrząszczy (Coleoptera) Zachodniej Polski. Część 5. Żukowate (Geotrupidae). *Wiadomości Entomologiczne*. 33: 249-264.

Byk A., Kudła M. 2011: Chrząszcze nekrofilne z rodzin: Sphaeritidae, Histeridae – Histerinae, Leiodidae – Cholevinae, Silphidae terenów leśnych Puszczy Białowieskiej. *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody*. 30: 49-60.

Caballero U., Leon-Cortés J.L. 2014: Beetle succession and diversity between clothed sun-exposed and shaded pig carrion in tropical dry forest landscape in Southern Mexico. *Forensic Science International*. 245: 143-150.

Campobasso C.P., Di Vella G., Introna F. 2001: Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic Science International*. 120: 18-27.

Card A., Cross P., Moffatt C., Simmons T. 2015: The effect of clothing on the rate of decomposition and diptera colonization on *Sus scrofa* carcasses. *Journal of Forensic Sciences*. 60: 979-982.

Charabidze D., Colard T., Vincent B., Pasquerault T., Hedouin V. 2014: Involvement of larder beetles (Coleoptera: Dermestidae) on human cadavers: a review of 81 forensic cases. *International Journal of Legal Medicine*. 128: 1021-1030.

Charabidze D., Vincent B., Pasquerault T., Hedouin V. 2016: The biology and ecology of *Necrodes littoralis*, a species of forensic interest in Europe. *International Journal of Legal Medicine*. 130: 273-280.

Cherix D., Wyss C., Pape T. 2012: Occurrences of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) on human cadavers in Switzerland, and their importance as forensic indicators. *Forensic Science International*. 220: 158-163.

Chin H. C., Sulaiman S., Othman H. 2010: Insect succession associated with a hanging pig carcass placed in an oil palm plantation in Malaysia. *Sains Malaysiana*. 39: 921-926.

Danielewicz W., Pawlaczyk P. 2004: Grąd środkowoeuropejski i subkontynentalny. [W:] Mróz W., Łabaj A. 2004: (red.) Lasy i Bory. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – podręcznik metodyczny. Tom 5. *Ministerstwo Środowiska*, Warszawa: 115-123.

De Jong G.D., Hoback W.W. 2006: Effect of investigator disturbance in experimental forensic entomology: succession and community composition. *Medical and Veterinary Entomology*. 20: 248-258.

Dekeirsschieter J., Verheggen F. J., Haubruge E., Brostaux Y. 2011: Carrion beetles visiting pig carcasses during early spring in urban, forest and agricultural biotopes of Western Europe. *Journal of Insect Science*. 11: 73.

Dekeirsschieter J., Frederick C., Verheggen F.J., Drugmand D., Haubruge E. 2013: Diversity of forensic rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) associated with decaying pig carcass in a forest biotope. *Journal of Forensic Sciences*. 58: 1032-1040.

DeVault T.L., Rhodes O.E., Shivik J.A. 2003: Scavenging by vertebrates: behavioral, ecological and evolutionary perspectives on an important energy transfer pathway in terrestrial ecosystems. *Oikos*. 102: 225-234.

Dormont L., Rapior S., Mckey D., Lumaret J. 2007: Influence of dung volatiles on the process of resource selection by coprophagous beetles. *Chemoecology*. 17: 23–30.

Faria L.S., Paseto M.L., Franco F.T., Perdigão V.C., Capel G., Mendes J. 2013: Insects breeding in pig carrion in two environments of a rural area of the State of Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Entomology*. 42: 216-222.

Firat S., Sert O. 2016: Faunistic and zoogeographical composition and preliminary evaluations of some ecological features of the subfamily Staphylininae (Coleoptera: Staphylinidae) of the Central Anatolia Region of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*. 40: 164-185.

Goff M.L. 1993: Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional patterns. *Forensic Science Review*. 5: 81-94.

Goff M.L. 2009: Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental and Applied Acarology*. 49: 21-36.

Grassberger M., Friedrich E., Reiter C. 2003: The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) as a new forensic indicator in Central Europe. *International Journal of Legal Medicine*. 117: 75-81.

Grassberger M., Frank C. 2004: Initial study of arthropod succession on pig carrion in a central European urban habitat. *Journal of Medical Entomology*. 41: 511-523.

Gruenthal A., Moffatt C., Simmons T. 2012: Differential decomposition patterns in charred versus un-charred remains. *Journal of Forensic Sciences*. 57: 12-18.

Heaton V., Lagden A., Moffatt C., Simmons T. 2010: Predicting the Postmortem Submersion Interval for Human Remains Recovered from U.K. Waterways. *Journal of Forensic Sciences*. 55: 302-307.

Horoszkiewicz S. 1902: Casuistischer Beitrag zur Lehre von der Benagung der Leichen durch Insecten. *Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin und öffentliches Sanitätswesen*. 23: 235–39.

Jarmusz M., Bajerlein D. 2015: *Anoplotrupes stercorosus* (Scr.) and *Trypocopris vernalis* (L.) (Coleoptera: Geotrupidae) visiting exposed pig carrion in forests of Central Europe: seasonality, habitat preferences and influence of smell of decay on their abundances. *Entomologia Generalis*. 35: 213-228.

Kaczorowska E., Pieśniak D., Szczerkowska Z. 2002: Entomologiczne metody określania czasu śmierci. *Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii*. 52: 305-312.

Kaczorowska E., Draber-Mońko A. 2009: *Wprowadzenie do entomologii sądowej*. Gdańsk. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.

Kasper J., Mumm R., Ruther J. 2012: The composition of carcass volatile profiles in relation to storage time and climate conditions. *Forensic Science International* 223: 64-71.

Kelly J.A., van der Linde T.C., Anderson G.S. 2009: The influence of clothing and wrapping on carcass decomposition and arthropod succession during the warmer seasons in Central South Africa. *Journal of Forensic Sciences*. 54: 1105-1112.

Kočárek P. 2003: Decomposition and Coleoptera succession on expose carrion of small mammal in Opava, the Czech Republic. *European Journal of Soil Biology*. 39: 31-45.

Kopyłówna N. 1935: Z badań nad chrząszczami nekrotycznymi pow. dzisiejszego. *Prace Towarzystwa Przyjaciół Nauk w Wilnie*. 9: 1-37.

Koskela H., Hanski I. 1977: Structure and succession in a beetle community inhabiting cow dung. *Annales Zoologici Fennici*. 14: 204-223.

Lynch-Aird J., Moffatt C., Simmons T. 2015: Decomposition rate and pattern in hanging pigs. *Journal of Forensic Sciences*. 60: 1155-1163.

Marchenko M. I. 2001: Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death. *Forensic Science International*. 120: 89-109

Matuszewski S. 2004a: Entomoscopia. [W:] Kwiatkowski-Darul V. (red): Doctrina multiplex, veritas una. Księga jubileuszowa ofiarowana Profesorowi Mariuszowi Kulickiemu. Toruń. Wydawnictwo UMK: 271-280.

Matuszewski S. 2004b: Przedmiot ekspertyzy entomoskopijnej. [W:] Kwiatkowski-Darul V. (red.): Czynności procesowo-kryminalistyczne w polskich procedurach. Materiały z konferencji naukowej i IV Zjazdu Katedr Kryminalistyki – Toruń 5-7 maja 2004. Toruń. Wydawnictwo UMK: 109-116.

Matuszewski S. 2011: Estimating the pre-appearance interval from temperature in *Necrodes littoralis* L.(Coleoptera: Silphidae). *Forensic Science International*. 212: 180-188.

Matuszewski S. 2012: Estimating the pre-appearance interval from temperature in *Creophilus macillosus* L.(Coleoptera: Staphylinidae). *Journal of Forensic Sciences*. 57: 136-145.

Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S., Szpila K. 2008a: Entomologia sądowa w Polsce. *Wiadomości entomologiczne*. 27: 19-52.

Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S., Szpila K. 2008b: An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. *Forensic Science International*. 180: 61-69.

Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S., Szpila K. 2010a: Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 1: Pattern and rate of decomposition. *Forensic Science International*. 194: 85-93.

Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S., Szpila K. 2010b: Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 2: Composition and residency patterns of carrion fauna. *Forensic Science International*. 195: 42-51.

Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S., Szpila K. 2011: Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 3: Succession of carrion fauna. *Forensic Science International*. 207: 150-163.

Matuszewski S., Szafałowicz M. 2013: Temperature-dependent appearance of forensically useful beetles on carcasses. *Forensic Science International*. 229: 92-99.

Matuszewski S., Szafałowicz M., Jarmusz M. 2013: Insects colonising carcasses in open and forest habitats of Central Europe: Search for indicators of corpse relocation. *Forensic Science International*. 231: 234-239.

Matuszewski S., Szafałowicz M., Grzywacz A. 2014a: Temperature-dependent appearance of forensically useful flies on carcasses. *International Journal of Legal Medicine*. 128: 1013-1020.

Matuszewski S., Konwerski S., Frątczak K., Szafałowicz M. 2014b: Effect of body mass and clothing on decomposition of pig carcasses. *International Journal of Legal Medicine*. 128: 1039-1048.

Matuszewski S., Frątczak K., Konwerski S., Bajerlein D., Szpila K., Jarmusz M., Szafałowicz M., Grzywacz A., Mądra A. 2016: Effect of body mass and clothing on carrion entomofauna. *International Journal of Legal Medicine*. 130: 221-232.

Matuszkiewicz W. 2001: Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 392-393.

Martín-Vega D., Baz A. 2012: Spatiotemporal distribution of necrophagous beetles (Coleoptera: Dermestidae, Silphidae) assemblages in natural habitats of Central Spain. *Annals of the Entomological Society of America*. 105: 44-53.

Martín-Vega D., Baz A. 2013: Sarcosaprophagous Diptera assemblages in natural habitats in central Spain: spatial and seasonal changes in composition. *Medical and Veterinary Entomology*. 27: 64-76.

Martín-Vega D., Cifrián B., Díaz-Aranda L.M., Baz A. 2015: Necrophilous histerid beetle communities (Coleoptera: Histeridae) in Central Spain: species composition and habitat preferences. *Environmental entomology*. 44: 966-974.

Mashaly A.M.A. 2017: Carrion beetles succession in three different habitats in Riyadh, Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 24: 430-435.

Mazur S. 1975: Przetraski – Cleridae. *Klucze do oznaczania owadów Polski*. Warszawa, cz. XIX, zeszyt 53.

Mazur S. 1981: Histeridae – gniliłowate (Insecta: Coleoptera). *Fauna Polski, tom 9*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 1-204.

Mądra A., Konwerski S., Matuszewski S. 2014: Necrophilous Staphylininae (Coleoptera: Staphylinidae) as indicators of season of death and corpse relocation. *Forensic Science International*. 242: 32-37.

Mądra A., Frątczak K., Grzywacz A., Matuszewski S. 2015: Long-term study of pig carrion entomofauna. *Forensic Science International*. 252: 1-10.

McIntosh C.S., Dadour I.R., Voss S.C. 2016: A comparison of carcass decomposition and associated insect succession onto burnt and unburnt pig carcasses. *International Journal of Legal Medicine*. 1-11.

Megyesi M.S., Nawrocki S.P., Haskell N.H. 2005: Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *Journal of Forensic Sciences*. 50(3): 618-626.

Mroczkowski M. 1949: Uwagi o kolejnym pojawieniu się gatunków z rodzaju *Nicrophorus* Fabr. i *Neonicrophorus* Hetch. (Col. Silphidae). *Polskie Pismo Entomologiczne*. 19: 196-199.

Mroczkowski M. 1954: Skórniki – Dermestidae. *Klucze do oznaczania owadów Polski*. Warszawa, cz. XIX, zeszyt 52.

Mroczkowski M. 1955: Omarlicowate – Silphidae. *Państwowe Wydawnictwo Naukowe*, Warszawa.

Myburgh J., L'Abbé E.N., Steyn M., Becker P.J. 2013: Estimating the postmortem interval (PMI) using accumulated degree-days (ADD) in a temperate region of South Africa. *Forensic Science International*. 229: 165.e1-165.e6.

Nabagło L. 1973: Participation of invertebrates in decomposition of rodent carcasses in forest ecosystems. *Ekologia Polska*. 21: 251-270.

Niezabitowski, E. 1902. Experimentelle Beiträge zur Lehre von der Leichenfauna. *Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin und öffentliches Sanitätswesen*. 1: 2–8.

Nunberg M. 1976: Łyszczynkowate – Nitidulidae. *Klucze do oznaczania owadów Polski*. Warszawa, cz. XIX, zeszyt 65.

Ødegaard F., Tømmerås B.Å. 2000: Compost heaps – refuges and stepping-stones for alien arthropod species in northern Europe. *Diversity and distributions*. 6: 45-59.

Özdemir S., Sert O. 2009: Determination of Coleoptera fauna in Ankara province, Turkey. *Forensic Science International*. 183: 24-32.

Piotrowski F. 1981: Metoda entomologiczna w określaniu czasu zgonu. *Problemy Kryminalistyki*. 150: 203-205.

Piotrowski F. 1990: Zarys entomologii parazytologicznej. Warszawa. PWN.

Prado e Castro C., Serrano A., Martins da Silva P., García M.D. 2012: Carrion flies of forensic interest: a study of seasonal community composition and succession in Lisbon, Portugal. *Medical and Veterinary Entomology*. 26: 417-431.

Roberts L.G., Dabbs G.R. 2015: A taphonomic study exploring the differences in decomposition rate and manner between frozen and never frozen domestic pigs (*Sus scrofa*). *Journal of Forensic Sciences*. 60: 588-594.

Rysavy N.M., Goff M.L. 2015: Preliminary observations of arthropods associated with buried carrion on Oahu. *Journal of Forensic Sciences*. 60: 462-467.

Saloña-Bordas M.I., Perotti M.A. 2014: First contribution of mites (Acari) to the forensic analysis of hanged corpses: A case study from Spain. *Forensic Science International*. 244: e6-e11.

Schoenly K.G., Haskell N.H., Hall R.D., Gbur J.R. 2007: Comparative performance and complementarity of four sampling methods and arthropod preference tests from human and porcine remains at the Forensic Anthropology Center in Knoxville, Tennessee. *Journal of Medical Entomology*. 44: 881-894.

Schroeder H., Klotzbach H., Oesterhelweg L., Püschel K. 2002: Larder beetles (Coleoptera, Dermestidae) as an accelerating factor for decomposition of a human corpse. *Forensic Science International*. 127: 231-236.

Shalaby O.A., deCarvalho L.M.L., Goff M.L. 2000: Comparison of patterns of decomposition in a hanging carcass and a carcass in contact with soil in a xerophytic habitat on the Island of Oahu, Hawaii. *Journal of Forensic Sciences*. 45: 1267-1273.

Simmons T., Adlam R.E., Moffatt C. 2010a: Debugging decomposition data-comparative taphonomic studies and the influence of insects and carcass size on decomposition rate. *Journal of Forensic Sciences*. 55: 8-13.

Simmons T., Cross P.A., Adlam R.E., Moffatt C. 2010b: The influence of insects on decomposition rate in buried and surface remains. *Journal of Forensic Sciences*. 55: 889-892.

Skowronek R., Chowaniec C. 2010: Polska entomologia sądowa – rys historyczny, stan obecny i perspektywy na przyszłość. *Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii*. 60: 55-58.

Slone D.H., Gruner S.V. 2007: Thermoregulation in larval aggregations of carrion-feeding blow flies (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology*. 44: 516-523.

Sommer S.G., Møller H.B. 2000: Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production – effect of straw content. *The Journal of Agricultural Science*. 134: 327-335.

Spicka A., Johnson R., Bushing J., Higley L.G., Carter D.O. 2011: Carcass mass can influence rate of decomposition and release of ninhydrin-reactive nitrogen into gravesoil. *Forensic Science International*. 209: 80-85.

Stebnicka Z. 1976: Żukowate - Scarabaeidae, Grupa podrodzin Scarabaeidae laparostiti. *Klucze do oznaczania owadów Polski*. Warszawa, cz. XIX, zeszyt 28a.

Stebnicka Z. 1983: Jelonkowate – Lucanidae, Modzelkowate – Trogidae. *Klucze do oznaczania owadów Polski*. Warszawa, cz. XIX, zeszyty 26-27.

Suckling J.K., Spradley M.K., Godde K. 2016: A longitudinal study on human outdoor decomposition in central Texas. *Journal of Forensic Sciences*. 61: 19-25.

Sutherland A., Myburgh J., Steyn M., Becker P.J. 2013: The effect of body size on the rate of decomposition in a temperate region of South Africa. *Forensic Science International*. 231: 257-262.

Swift M.J. 1977: The roles of fungi and animals in the immobilisation and release of nutrient elements from decomposing branch-wood. *Ecological Bulletins*. 25: 193-202.

Szpila K. 2009: Key for the Identification of Third Instars of European Blowflies (Diptera: Calliphoridae) of Forensic Importance. [W:] Amendt J., Campobasso C.P., Goff M.L., Grassberger M. (Eds.), Current Concepts in Forensic Entomology. *Springer Netherlands*. pp. 43-56.

Szpila K. 2012: Key for identification of European and Mediterranean blowflies (Diptera, Calliphoridae) of medical and veterinary importance – adult flies. [W:] Gennard D. Forensic Entomology. An introduction, Second Edition. Wiley-Blackwell, Chichester. pp. 77-81.

Szpila K., Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S. 2008: *Chrysomya albiceps* (WIEDEMANN, 1819), a forensically important blowfly (Diptera: Calliphoridae) new for the Polish fauna. *Polish Journal of Entomology*. 77: 351-355.

Szpila K., Mądra A., Jarmusz M., Matuszewski S. 2015: Flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) colonising large carcasses in Central Europe. *Parasitology Research*. 114: 2341-2348.

Szujecki A. 1980: Kusakowate – Staphylinidae. Kusaki – Staphylininae. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Wrocław.

Tabor K.L., Fell R.D., Brewster C.C. 2005: Insect fauna visiting carrion in Southwest Virginia. *Forensic Science International*. 150: 73-80.

Ulyshen M.D. 2016: Wood decomposition as influenced by invertebrates. *Biological Reviews*. 91: 70-85.

Villet M.H. 2011: African carrion ecosystems and their insect communities in relation to forensic entomology: A review. *Pest Technology*. 5:1-15.

Von Hoermann C., Ruther J., Reibe S., Madea B., Ayasse M. 2011: The importance of carcass volatiles as attractants for the hide beetle *Dermestes maculatus* (De Geer). *Forensic Science International*. 212: 173-179.

Voss S.C., Cook D.F., Dadour I.R. 2011: Decomposition and insect succession of clothed and unclothed carcasses in Western Australia. *Forensic Science International*. 211: 67-75.

Wajgel L. 1889: O faunie grobów ludzkich. *Kosmos*. 14: 344-346.

Weiner J. 1999: Życie i ewolucja biosfery. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. 125-143.

Wells J.D., LaMotte L.R. 2001: Estimating the postmortem interval. [W:] J.H. Byrd, J.L. Castner (Eds.), Forensic Entomology. The Utility of Arthropods in Legal Investigations. CRC Press, Boca Raton, pp. 263–285.

Żółtowski Z. 1953: Entomologia sanitarna, Tom I. Warszawa. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej.

11. Dodatek

11.1. Wykaz gatunków muchówek oraz chrząszczy odłowionych przy pomocy pułapek ziemnych

Tabela 34. Wykaz gatunków muchówek z rodziny Calliphoridae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszzone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Calliphora vicina</i> Robineau-Desvoidy, 1830	6	3	0	0	1	0	7	3
<i>Calliphora vomitoria</i> (Linnaeus, 1758)	60	28	49	15	77	40	186	83
<i>Cynomya mortuorum</i> (Linnaeus, 1761)	1	1	0	0	0	1	1	2
<i>Lucilia caesar</i> (Linnaeus, 1758)	292	28	324	128	62	150	678	306
<i>Lucilia sericata</i> (Meigen, 1826)	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Phormia regina</i> Meigen, 1826	53	14	37	8	0	0	90	22
<i>Protophormia terraenovae</i> Robineau-Desvoidy, 1830	0	1	0	0	0	0	0	1
Suma							963	417

Tabela 35. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Cleridae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszzone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Necrobia violacea</i> (Linnaeus, 1758)	135	36	22	17	1	1	158	54
Suma							158	54

Tabela 36. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Dermestidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszzone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Dermestes lardarius</i> Linnaeus, 1758	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Dermestes murinus</i> Linnaeus, 1758	36	1	1	2	0	0	37	3
Suma							37	4

Tabela 37. Wykaz gatunków muchówek z rodziny Dryomyzidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Dryomyza flaveola</i> (Fabricius, 1794)	144	176	31	53	3041	717	3216	946
<i>Neuroctena anilis</i> Róndani, 1868	51	0	5	14	50	29	106	43
						Suma	3322	989

Tabela 38. Wykaz gatunków muchówek z rodziny Fanniidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Fannia aequilineata</i> Ringdahl, 1945	1	2	1	0	0	0	2	2
<i>Fannia armata</i> (Meigen, 1826)	0	1	0	0	0	2	0	3
<i>Fannia barbata</i> (Stein, 1892)	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Fannia canicularis</i> (Linnaeus, 1761)	12	2	9	6	0	0	21	8
<i>Fannia collini</i> d'Assis-Fonseca, 1966	4	3	0	2	0	0	4	5
<i>Fannia fuscula</i> (Fallén, 1825)	1	0	0	1	0	0	1	1
<i>Fannia lepida</i> (Wiedemann, 1817)	47	38	0	1	8	13	55	52
<i>Fannia lustrator</i> (Harris, 1780)	2	5	0	0	0	0	2	5
<i>Fannia manicata</i> (Meigen, 1826)	13	11	4	1	0	1	17	13
<i>Fannia metallipennis</i> (Zetterstedt, 1838)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Fannia monilis</i> (Haliday, 1838)	4	3	1	5	0	0	5	8
<i>Fannia nigra</i> Malloch, 1910	0	2	0	0	0	4	0	6
<i>Fannia rondanii</i> (Strobl, 1893)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Fannia scalaris</i> (Fabricius, 1794)	2	0	2	1	1	2	5	3
<i>Fannia similis</i> (Stein, 1895)	0	0	0	2	0	0	0	2
<i>Fannia sociella</i> (Zetterstedt, 1845)	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Fannia umbrosa</i> (Stein, 1895)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Fannia vesparia</i> (Meade, 1891)	0	0	2	2	0	0	2	2
						Suma	114	115

Tabela 39. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Geotrupidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Anoplotrupes stercorosus</i> (Scriba, 1791)	29387	19005	7856	9429	3548	5143	40791	33577
<i>Trypocopris vernalis</i> (Linnaeus, 1758)	2801	695	359	431	97	55	3257	1181
						Suma	44048	34758

Tabela 40. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Histeridae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Carcinops pumilio</i> (Erichson, 1834)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Gnathoncus sp.</i> Jacquelin du Val, 1858	5	1	0	0	0	0	5	1
<i>Hister unicolor</i> Linnaeus, 1758	2	4	2	1	0	0	4	5
<i>Margarinotus brunneus</i> (Fabricius, 1775)	442	380	45	35	0	3	487	418
<i>Margarinotus carbonarius</i> (Hoffmann, 1803)	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Margarinotus marginatus</i> (Erichson, 1834)	4	3	0	2	1	0	5	5
<i>Margarinotus neglectus</i> (Germar, 1813)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Margarinotus ruficornis</i> (Grimm, 1852)	16	10	2	7	0	0	18	17
<i>Margarinotus striola succicola</i> (Thomson, 1862)	884	803	128	158	3	9	1015	970
<i>Margarinotus ventralis</i> (Marseul, 1854)	8	9	6	6	0	0	14	15
<i>Onthophilus striatus striatus</i> (Forster, 1771)	49	14	2	5	7	1	58	20
<i>Saprinus planiusculus</i> Motschulsky, 1849	39	0	0	1	0	0	39	1
<i>Saprinus semistriatus</i> (Scriba, 1790)	6195	1932	1346	1221	0	0	7541	3153
						Suma	9187	4607

Tabela 41. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Leiodidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Catops grandicollis</i> Erichson, 1837	0	0	0	0	3	4	3	4
<i>Sciodrepoides fumatus</i> (Spence, 1815)	4	4	1	6	1	1	6	11
<i>Sciodrepoides watsoni</i> (Spence, 1815)	3	0	0	2	0	0	3	2
						Suma	12	17

Tabela 42. Wykaz gatunków muchówek z rodziny Muscidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne). Dalsza część tabeli znajduje się na kolejnej stronie.

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Azelia aterrima</i> (Meigen, 1826)	2	0	4	2	0	0	6	2
<i>Azelia cilipes</i> (Haliday, 1838)	0	0	0	0	2	0	2	0
<i>Azelia nebulosa</i> (Robineau-Desvoidy, 1830)	2	0	0	1	0	0	2	1
<i>Eudasyphora cyanicolor</i> (Zetterstedt, 1845)	7	0	13	12	0	0	20	12
<i>Graphomya maculata</i> (Scopoli, 1763)	2	1	2	1	1	2	5	4
<i>Graphomya minor</i> Robineau-Desvoidy, 1830	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Helina annosa</i> (Zetterstedt, 1838)	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Helina deleta</i> (Stein, 1914)	0	0	0	1	1	3	1	4
<i>Helina depuncta</i> (Fallén, 1825)	0	0	0	0	6	2	6	2
<i>Helina evecta</i> (Harris, 1780)	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Helina impuncta</i> (Fallén, 1825)	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Hydrotaea aenescens</i> (Wiedemann, 1830)	2	2	1	4	1	0	4	6
<i>Hydrotaea armipes</i> (Fallén, 1825)	41	8	0	3	1	3	42	14
<i>Hydrotaea basdeni</i> Collin, 1939	2	0	0	0	0	0	2	0
<i>Hydrotaea borussica</i> Stein, 1899	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Hydrotaea cyrtoneurina</i> (Zetterstedt, 1845)	419	214	84	27	160	203	663	444
<i>Hydrotaea dentipes</i> (Fabricius, 1805)	112	51	7	16	38	13	157	80

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Hydrotaea ignava</i> (Harris, 1780)	107	65	40	24	9	6	156	95
<i>Hydrotaea irritans</i> (Fallén, 1823)	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Hydrotaea meteorica</i> (Linnaeus, 1758)	4	0	0	0	0	1	4	1
<i>Hydrotaea pellucens</i> Porchinskiy, 1879	18	3	0	0	0	0	18	3
<i>Hydrotaea pilipes</i> Stein, 1903	266	98	70	64	42	46	378	208
<i>Hydrotaea similis</i> Meade, 1887	418	153	127	96	546	615	1091	864
<i>Lophosceles cinereiventris</i> (Zetterstedt, 1845)	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Muscina levida</i> (Harris, 1780)	2	1	3	1	0	1	5	3
<i>Muscina pascuorum</i> (Meigen, 1826)	6	0	56	300	0	0	62	300
<i>Muscina prolapsa</i> (Harris, 1780)	5	0	10	6	0	0	15	6
<i>Mydaea ancilla</i> (Meigen, 1826)	2	0	2	9	0	0	4	9
<i>Mydaea corni</i> (Scopoli, 1763)	2	0	0	0	28	10	30	10
<i>Mydaea lateritia</i> (Róndani, 1866)	0	0	0	0	35	10	35	10
<i>Phaonia errans</i> (Meigen, 1826)	0	1	0	0	1	0	1	1
<i>Phaonia pallida</i> Coquillett, 1902	1	0	0	9	0	0	1	9
<i>Phaonia palpata</i> (Stein, 1897)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Phaonia rufiventris</i> (Scopoli, 1763)	0	0	0	0	1	1	1	1
<i>Phaonia subventa</i> (Harris, 1780)	10	4	3	4	8	11	21	19
<i>Phaonia valida</i> (Harris, 1780)	2	0	2	0	0	0	4	0
<i>Polietes lardarius</i> (Fabricius, 1781)	0	1	0	1	1	0	1	2
<i>Thricops diaphanus</i> (Wiedemann, 1817)	0	1	0	1	0	0	0	2
<i>Thricops simplex</i> (Wiedemann, 1817)	8	0	59	23	85	32	152	55
						Suma	2895	2169

Tabela 43. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Nitidulidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Omosita depressa</i> (Linnaeus, 1758)	170	121	21	89	3	2	194	212
<i>Omosita discoidea</i> (Fabricius, 1775)	114	37	1	6	4	3	119	46
						Suma	313	258

Tabela 44. Wykaz gatunków muchówek z rodziny Piophilidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Liopiophila varipes</i> (Meigen, 1830)	98	29	118	69	0	0	216	98
<i>Parapiophila vulgaris</i> (Fallén, 1820)	7	7	6	6	0	0	13	13
<i>Stearibia nigriceps</i> (Meigen, 1826)	1125	526	159	231	14	22	1298	779
						Suma	1527	890

Tabela 45. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Silphidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Necrodes littoralis</i> (Linnaeus, 1758)	448	275	284	318	202	25	934	618
<i>Nicrophorus humator</i> (Gleditsch, 1767)	53	24	66	68	48	43	167	135
<i>Nicrophorus interruptus</i> Stephens, 1830	4	1	0	0	0	0	4	1
<i>Nicrophorus investigator</i> Zetterstadt, 1824	9	2	12	18	2	1	23	21
<i>Nicrophorus vespillo</i> (Linnaeus, 1758)	33	25	13	7	0	0	46	32
<i>Nicrophorus vespilloides</i> Herbst, 1783	246	177	150	101	22	28	418	306
<i>Oiceoptoma thoracicum</i> (Linnaeus, 1758)	803	804	47	22	0	0	850	826
<i>Silpha obscura</i> Linnaeus, 1758	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Thanatophilus rugosus</i> (Linnaeus, 1758)	4561	730	1	4	31	57	4593	791
<i>Thanatophilus sinuatus</i> (Fabricius, 1775)	549	218	3	6	1	2	553	226
						Suma	7588	2958

Tabela 46. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Staphylinidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne). Dalsza część tabeli znajduje się na kolejnych stronach.

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Acidota crenata</i> (Fabricius, 1793)	1	0	0	0	1	4	2	4
<i>Acidota cruentata</i> Mannerheim, 1830	0	0	0	0	5	2	5	2
<i>Acrotona aterrima</i> (Gravenhorst, 1802)	1	0	6	12	1	0	8	12
<i>Acrotona muscorum</i> (Brisout de Barneville, 1860)	0	0	3	2	0	0	3	2
<i>Acrotona pygmaea</i> (Gravenhorst, 1802)	1	0	0	4	0	0	1	4
<i>Aleochara brevipennis</i> Gravenhorst, 1806	17	10	13	20	0	0	30	30
<i>Aleochara curtula</i> (Goeze, 1777)	182	67	15	33	8	0	205	100
<i>Anotylus sculpturatus</i> (Gravenhorst, 1806)	1	1	0	0	3	0	4	1
<i>Anotylus tetracarinatus</i> (Block, 1799)	5	3	0	0	0	0	5	3
<i>Anthobium atrocephalum</i> (Gyllenhal, 1827)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Atheta aeneipennis</i> (Thomson 1856)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Atheta boletophila</i> (Mulsant et Rey, 1856)	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Atheta cadaverina</i> (Brisout, 1860)	0	0	1	2	0	0	1	2
<i>Atheta canescens</i> (Sharp, 1869)	0	0	2	16	3	0	5	16
<i>Atheta celata</i> (Erichson, 1837)	0	0	0	11	1	0	1	11
<i>Atheta corvina</i> (Thomson, 1856)	0	0	0	1	3	7	3	8
<i>Atheta crassicornis</i> (Fabricius, 1792)	0	1	1	3	1	0	2	4
<i>Atheta dadopora</i> Thomson, 1867	0	0	1	13	1	0	2	13
<i>Atheta divisa</i> (Märkel, 1845)	0	0	1	4	0	0	1	4
<i>Atheta euryptera</i> (Stephens, 1832)	0	0	3	0	0	0	3	0
<i>Atheta fungicola</i> (Thomson, 1852)	0	0	1	15	2	0	3	15
<i>Atheta gagatina</i> (Baudi, 1848)	1	0	17	17	0	0	18	17
<i>Atheta graminicola</i> (Gravenhorst, 1806)	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Atheta harwoodi</i> Williams, 1930	0	0	0	1	0	0	0	1

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Atheta hygrotopora</i> (Kraatz, 1856)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Atheta laticollis</i> (Stephens, 1832)	0	0	2	1	0	0	2	1
<i>Atheta longicornis</i> (Gravenhorst, 1802)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Atheta malleus</i> Joy, 1913	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Atheta marcida</i> (Erichson, 1837)	0	0	0	0	1	1	1	1
<i>Atheta myrmecobia</i> (Kraatz, 1856)	0	0	0	2	0	0	0	2
<i>Atheta monticola</i> (Thomson, 1852)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Atheta nigra</i> (Kraatz, 1856)	0	0	0	5	0	0	0	5
<i>Atheta orphana</i> (Erichson, 1837)	0	0	4	12	1	0	5	12
<i>Atheta palleola</i> (Erichson, 1837)	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Atheta pallidicornis</i> (Thomson, 1856)	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Atheta sodalis</i> (Erichson, 1837)	0	0	0	0	1	1	1	1
<i>Atheta subtilis</i> (Scriba, 1866)	0	0	2	2	0	0	2	2
<i>Atheta triangulum</i> (Kraatz, 1856)	0	0	0	0	4	0	4	0
<i>Atheta trinitata</i> (Kraatz, 1856)	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Atheta vaga</i> (Heer, 1832)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Bisnius cephalotes</i> (Gravenhorst, 1802)	1	1	0	0	0	0	1	1
<i>Bisnius fimetarius</i> (Gravenhorst, 1802)	34	18	19	29	16	12	69	59
<i>Bisnius parvus</i> (Sharp, 1874)	3	0	1	2	1	1	5	3
<i>Bisnius pseudoparcus</i> (Brunne, 1976)	7	10	3	16	3	1	13	27
<i>Creophilus maxillosus</i> (Linnaeus, 1758)	367	266	280	294	38	23	685	583
<i>Gabrius breviventer</i> (Sperk, 1835)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Gabrius osseticus</i> (Kolenati, 1846)	8	5	0	0	0	0	8	5
<i>Gabrius splendidulus</i> (Gravenhorst, 1802)	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Geostiba circellaris</i> (Gravenhorst, 1806)	1	0	1	0	1	0	3	0
<i>Gyrophypnus angustatus</i> Stephens, 1833	6	5	3	1	1	0	10	6

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Gyrophypnus punctulatus</i> (Paykull, 1789)	4	1	0	1	0	1	4	3
<i>Heterothops dissimilis</i> (Gravenhorst, 1802)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Ischnosoma splendidum</i> (Gravenhorst, 1806)	0	0	0	0	1	1	1	1
<i>Lathrobium brunnipes</i> (Fabricius, 1793)	1	0	0	0	1	0	2	0
<i>Lathrobium fulvipenne</i> (Gravenhorst, 1806)	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Lathrobium geminum</i> Kraatz, 1857	0	1	0	0	1	0	1	1
<i>Leptacinus pusillus</i> (Stephens, 1833)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Leptusa pulchella</i> (Mannerheim, 1830)	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Liogluta granigera</i> (Kiesenwetter, 1850)	0	0	0	0	30	25	30	25
<i>Lordithon lunulatus</i> Linnaeus, 1760	0	0	17	2	2	0	19	2
<i>Lordithon thoracicus</i> (Fabricius, 1777)	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Megarthus depressus</i> (Paykull, 1789)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Mycetoporus lepidus</i> (Gravenhorst, 1806)	4	1	2	0	1	0	7	1
<i>Ocypus brunnipes</i> (Fabricius, 1781)	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Ocypus nitens</i> (Schrank, 1781)	1	1	0	0	0	0	1	1
<i>Ocypus olens</i> (Müller, 1784)	0	0	0	2	0	0	0	2
<i>Omalium rivulare</i> (Paykull, 1789)	2	0	1	0	48	37	51	37
<i>Ontholestes murinus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Ontholestes tessellatus</i> (Geoffroy, 1785)	1	1	4	3	0	0	5	4
<i>Othius angustus</i> Stephens, 1833	0	0	0	0	2	0	2	0
<i>Othius punctulatus</i> (Goeze, 1777)	2	2	0	0	0	0	2	2
<i>Othius subuliformis</i> Stephens, 1833	1	0	1	1	0	0	2	1
<i>Oxypoda abdominalis</i> (Mannerheim, 1830)	0	0	0	0	1	2	1	2
<i>Oxypoda acuminata</i> (Stephens, 1832)	15	9	0	2	283	93	298	104
<i>Oxypoda alternans</i> (Gravenhorst, 1802)	0	0	0	0	2	0	2	0
<i>Oxypoda brevicornis</i> (Stephens, 1832)	0	0	1	2	0	0	1	2

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Oxypoda induta</i> Mulsant et Rey, 1861	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Oxypoda opaca</i> (Gravenhorst, 1802)	0	2	0	0	1	0	1	2
<i>Oxypoda spectabilis</i> Märkel, 1845	0	0	0	0	3	1	3	1
<i>Oxytelus laqueatus</i> (Marsham, 1802)	8	1	1	2	0	0	9	3
<i>Pella humeralis</i> (Gravenhorst, 1802)	0	1	1	0	0	0	1	1
<i>Philonthus addendus</i> Sharp, 1867	23	15	37	67	9	12	69	94
<i>Philonthus confinis</i> Strand, 1941	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Philonthus debilis</i> (Gravenhorst, 1802)	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Philonthus decorus</i> (Gravenhorst, 1802)	184	213	36	39	7	9	227	261
<i>Philonthus discoideus</i> (Gravenhorst, 1802)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Philonthus laevicollis</i> (Lacordaire, 1835)	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Philonthus politus</i> (Linnaeus, 1758)	34	52	26	137	28	13	88	202
<i>Philonthus rectangulus</i> Sharp, 1874	0	0	1	1	0	1	1	2
<i>Philonthus spinipes</i> Sharp, 1874	1	0	0	3	0	0	1	3
<i>Philonthus splendens</i> (Fabricius, 1793)	25	11	42	22	0	1	67	34
<i>Philonthus succicola</i> Thomson, 1860	23	15	17	55	11	2	51	72
<i>Philonthus tenuicornis</i> Mulsant et Rey, 1853	8	3	6	11	2	4	16	18
<i>Philonthus varians</i> (Paykull, 1789)	1	1	0	0	0	0	1	1
<i>Plataraea brunnea</i> (Fabricius, 1798)	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Quedius humeralis</i> Stephens, 1832	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Quedius lateralis</i> (Gravenhorst, 1802)	0	0	0	0	1	2	1	2
<i>Quedius limbatus</i> (Heer, 1839)	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Quedius xanthopus</i> Erichson, 1839	4	2	0	0	1	0	5	2
<i>Rugilus rufipes</i> Germar, 1836	21	14	0	10	1	2	22	26
<i>Staphylinus erythropterus</i> Linnaeus, 1758	58	45	9	4	1	3	68	52
<i>Tachinus humeralis</i> Gravenhorst, 1802	6	4	0	0	115	48	121	52

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Tachinus laticollis</i> Gravenhorst, 1802	21	12	22	34	10	16	53	62
<i>Tachinus marginellus</i> (Fabricius, 1781)	0	2	0	1	3	2	3	5
<i>Tachinus pallipes</i> Gravenhorst, 1806	3	5	1	0	0	0	4	5
<i>Tachinus proximus</i> Kraatz, 1855	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Tachinus rufipes</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	1	3	0	0	5	7
<i>Tachinus subterraneus</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	0	0	0	1	1	2
<i>Xantholinus laevigatus</i> Jacobsen, 1849	1	2	12	11	0	0	13	13
<i>Xantholinus linearis</i> (Olivier, 1795)	7	2	0	0	51	16	58	18
<i>Xantholinus tricolor</i> (Fabricius, 1787)	1	1	2	2	0	0	3	3
Suma							2445	2109

Tabela 47. Wykaz gatunków chrząszczy z rodziny Trogidae wraz z informacją o ich liczebności w poszczególnych porach roku (P – zwłoki powieszone; K – zwłoki kontrolne).

Gatunek	Wiosna		Lato		Jesień		Suma	
	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Trox sabulosus</i> (Linnaeus, 1758)	47	55	1	0	0	0	48	55
<i>Trox scaber</i> (Linnaeus, 1767)	1	2	0	0	0	0	1	2
Suma							49	57

11.2. Wykaz gatunków muchówek oraz chrząszczy odłowionych manualnie oraz przy pomocy siatki entomologicznej

Tabela 48. Wykaz gatunków chrząszczy oraz muchówek, które zostały odłowione tylko manualnie lub przy pomocy siatki entomologicznej (P – zwłoki powieszono; K – zwłoki kontrolne). Żaden z wymienionych gatunków nie był na zwłokach minimalnie liczny.

Rodzina	Gatunek	wiosna		lato		jesień	
		P	K	P	K	P	K
Cleridae	<i>Necrobia ruficollis</i> (Fabricius, 1775)		X				
	<i>Necrobia rufipes</i> (DeGeer, 1775)			X	X		
Dermestidae	<i>Dermestes undulatus</i> Brahm, 1790			X			
Fanniidae	<i>Fannia leucosticta</i> (Meigen, 1838)			X			
	<i>Fannia polychaeta</i> (Stein, 1895)	X					
Leiodidae	<i>Catops fuliginosus</i> Erichson, 1837	X					
Nitidulidae	<i>Nitidula carnaria</i> (Schaller, 1783)	X					
Staphylinidae	<i>Quedius cinctus</i> (Paykull, 1790)						X

11.3. Przebieg procesu rozkładu zwłok powieszonych oraz zwłok kontrolnych w poszczególnych porach roku oraz w poszczególnych latach

Tabela 49. Przebieg procesu rozkładu zwłok powieszonych wiosną 2012 roku.

[illegible]

Tabela 50. Przebieg procesu rozkładu zwłok powieszonych wiosną 2013 roku.

[illegible]

Tabela 51. Przebieg procesu rozkładu zwłok kontrolnych wiosną 2012 roku.

[illegible]

Tabela 52. Przebieg procesu rozkładu zwłok kontrolnych wiosną 2013 roku.

[illegible]

Tabela 53. Przebieg procesu rozkładu zwłok powieszonych latem 2012 roku.

[illegible]

Tabela 54. Przebieg procesu rozkładu zwłok powieszonych latem 2013 roku.

[illegible]

Tabela 55. Przebieg procesu rozkładu zwłok kontrolnych latem 2012 roku.

[illegible]

Tabela 56. Przebieg procesu rozkładu zwłok kontrolnych latem 2013 roku.

[illegible]

[illegible]

Tabela 58. Przebieg procesu rozkładu zwłok powieszonych jesienią 2013 roku.

[illegible]

[illegible]

Tabela 60. Przebieg procesu rozkładu zwłok kontrolnych jesienią 2013 roku.

[illegible]