Magdalena Karbowska-Dzięgielewska

Ekologiczne uwarunkowania występowania nicieni owadobójczych (*Steinernematidae, Heterorhabditidae*) w wybranych ekosystemach północno-zachodniej Polski



SZCZECIN 2013

Pamięci prof. dr hab. Krystyny Janowicz

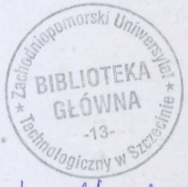
ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE

MAGDALENA KARBOWSKA-DZIĘGIELEWSKA

Ekologiczne uwarunkowania występowania nicieni owadobójczych (*Steinernematidae, Heterorhabditidae*) w wybranych ekosystemach północno-zachodniej Polski

Szczecin 2013

Recenzenci
MAGDALENA JAWORSKA
MAREK TOMALAK



Zł. 141072

Opracowanie redakcyjne
KRYSTYNA KAŹMIEROWSKA

WYDANO ZA ZGODĄ
REKTORA ZACHODNIOPOMORSKIEGO UNIWERSYTETU TECHNOLOGICZNEGO W SZCZECINIE

ISBN 978-83-7663-142-4

Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
70-311 Szczecin, al. Piastów 50, tel. 091 449-47-60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl
Druk PPH Zapol, Dmochowski, Sobczyk Sp.j., 71-062 Szczecin, al. Piastów 42, tel. 091 434-10-21
e-mail: zarzad@zapol.com.pl

142/2013

Spis treści

1. WSTĘP 7

2. MATERIAŁY I METODY 11
   2.1. Badania terenowe 11
      2.1.1. Aglomeracja miejska 13
      2.1.2. Tereny przemysłowe 15
      2.1.3. Agrocenozy 16
         2.1.3.1. Pola uprawne 16
         2.1.3.2. Sady 17
         2.1.3.3. Użytki zielone 18
      2.1.4. Kompleksy leśne 19
         2.1.4.1. Nadleśnictwo Kliniska 20
         2.1.4.2. Nadleśnictwo Łobez 21
         2.1.4.3. Nadleśnictwo Trzebież 22
         2.1.4.4. Nadleśnictwa Karwin i Międzychód 23
         2.1.4.5. Właściwości fizykochemiczne gleb leśnych na terenie RDLP Szczecin 23
      2.1.5. Pas wydm nadmorskich 26
   2.2. Badania laboratoryjne 27
      2.2.1. Izolacja nicieni owadobójczych z gleby i namnażanie do oznaczeń taksonomicznych 27
      2.2.2. Diagnostyka molekularna nicieni 28
      2.2.3. Wpływ zróżnicowanej temperatury na aktywność biologiczną nicieni owadobójczych współwystępujących ze sobą w podłożu 29
      2.2.4. Badania fizykochemiczne gleby 30
      2.2.5. Dokumentacja 30
      2.2.6. Analiza statystyczna 31
   2.3. Warunki klimatyczne 32
      2.3.1. Region Zachodnionadmorski (R–I) 32
         2.3.1.1. Wybrzeże Trzebiatowskie 32
      2.3.2. Region Zachodniopomorski (R–VI) 33
         2.3.2.1. Mezoregiony: Równina Wkrzańska, Równina Goleniowska, Wzgórza Szczecińskie 33
         2.3.2.2. Mezoregion: Dolina Dolnej Odry i okolice 34
      2.3.3. Region Środkowopomorski (R–VII) 34
         2.3.3.1. Mezoregion: Wysoczyzna Łobeska 34
         2.3.3.2. Mezoregion: Równina Białogardzka 34
      2.3.4. Region Dolnej Warty (R–XIII) 35
         2.3.4.1. Mezoregiony: Kotlina Gorzowska i Pojezierze Poznańskie 35

3. WYNIKI 37
   3.1. Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w północno-zachodniej Polsce 37
      3.1.1. Analiza faunistyczna 37
         3.1.1.1. Rodzina *Steinernematidae* 37
         3.1.1.2. Rodzina *Heterorhabditidae* 44
      3.1.2. Występowanie nicieni w różnych typach ekosystemów 44
         3.1.2.1. Obszary zieleni miejskiej 44
         3.1.2.2. Obszary zieleni na terenach przemysłowych 45
         3.1.2.3. Agrocenozy (pola uprawne, użytki zielone, sady) 45

3.1.2.4. Kompleksy leśne 46
3.1.2.5. Pas wydm nadmorskich 46
3.1.3 Wskaźnik podobieństwa faunistycznego nicieni 47
3.2. Diagnostyka molekularna nicieni owadobójczych pozyskanych z terenu 48
3.3. Powiązania nicieni z owadami 51
3.3.1. Kompleksy leśne 51
3.3.2. Obszary zieleni miejskiej (urbicenozy) 53
3.3.3. Pola uprawne i sady 54
3.4. Sezonowa dynamika aktywności nicieni w wybranych ekosystemach 58
3.4.1. Obszary zieleni miejskiej (urbicenozy) 58
3.4.2. Sady 60
3.5. Powiązania nicieni z glebą 61
3.6. Wpływ zróżnicowanej temperatury na aktywność biologiczną nicieni owadobójczych współwystępujących w podłożu 65
4. DYSKUSJA 71
5. WNIOSKI 87
LITERATURA 89
SUMMARY 101
ZUSAMMENFASSUNG 103
ANEKS 1 107
ANEKS 2 117

Heroizm pracy polega na „wykonaniu do końca" każdego zadania
Św. Josemaria Escrivá

1. WSTĘP

Nicienie owadobójcze z rodzin *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* są szeroko rozpowszechnione na wszystkich kontynentach świata, z wyjątkiem Antarktydy (Beddning i Akhurst 1986; Gaugler i Kaya 1990; Mráček i Webster 1993; Hominick i in. 1996; Mason i in. 1996; Waturu i in. 1997). Od kilku lat w całej Europie prowadzone są badania ekologiczne i faunistyczne dotyczące tych nicieni, m.in. w Czechach (Mráček i in. 1999; Mráček i Bečvář 2000; Mráček i in. 2005; Půža i Mráček 2005, 2010), na Słowacji (Sturhan i Liskova 1998; Sturhan i Lišková 1999), w Niemczech (Ehlers i in. 1991; Mráček 1994; Sturhan 1996a, 1999), w Danii, na Węgrzech oraz w Estonii (Griffin i in. 1999), w Hiszpanii (Pino i Palomo 1996), we Włoszech (Ehlers i in. 1991), w Bułgarii (Shishiniova i in. 1998), a także w Turcji (Özer i in. 1995; Hazir i in. 2003) i w Wielkiej Brytanii (Hominick i Briscoe 1990a; Hominick i in. 1995).

Tymczasem wiedza o występowaniu nicieni owadobójczych w Polsce jest stosunkowo uboga, a dane faunistyczne, w porównaniu z innymi krajami położonymi w strefie klimatu umiarkowanego, wciąż niepełne. Głównie ograniczają się do wybranych agrocenoz (pola uprawne, pastwiska, łąki, ogródki działkowe) w środkowej i południowej Polsce (Brzeski i Sandner 1974; Bednarek 1990; Jaworska i Dudek 1992; Jaworska i in. 1997; Ropek i Nicia 2008), do kompleksów leśnych w południowej i północno-wschodniej części kraju (Kamionek i in. 1995), a także do terenów miejskich i przemysłowych w środkowej Polsce (Pezowicz 2002; Tomalak 2005). W krajowej literaturze wymienianych jest łącznie osiem gatunków nicieni owadobójczych, w tym sześć z rodzaju *Steinernema* i dwa z *Heterorhabditis*. Natomiast w Niemczech, które graniczą z Polską, odnotowano dotąd aż 13 gatunków tych zwierząt (Sturhan 1999).

Występowanie i aktywność biologiczna nicieni owadobójczych zależą od wymagań życiowych poszczególnych gatunków, a także od czynników środowiskowych (biotycznych i abiotycznych), które oddziałują na te organizmy. Jednym z najważniejszych czynników warunkujących rozwój nicieni owadobójczych w glebie jest obecność preferowanych żywicieli (Mráček i in. 1999; Mráček i Bečvář 2000). Innymi istotymi czynnikami są: rodzaj i struktura gleby oraz jej właściwości fizykochemiczne, m.in. wilgotność, temperatura, napowietrzenie i kwasowość (Gaugler i Kaya 1990).

Potencjał infekcyjny nicieni owadobójczych jest ogromny. Z doświadczeń laboratoryjnych wynika, że nicienie z rodziny *Steinernematidae* mogą porażać ponad 350 gatunków owadów z 13 rzędów (Gaugler i Kaya 1990). Atakują wiele ważnych szkodników roślin występujących na polach uprawnych, w sadach i w lasach. Wśród roślinożerców, stanowiących bazę pokarmową opisywanych nicieni, ważną rolę odgrywają m.in. chrząszcze z rodziny *Elateridae* (sprężykowate) i *Scarabaeidae* (żukowate), motyle z rodziny *Tortricidae*, *Noctuidae* czy *Geometridae*, liczne muchówki z rodziny *Bibionidae* i *Sciaridae*, a także błonkówki roślinożerne z rodziny *Tenthredinidae* (Mráček i Bečvář 2000).

Regulacja zagęszczenia lokalnych populacji owadów, w tym wielu szkodników roślin, przez nicienie owadobójcze stanowi jedno z ważnych ogniw w łańcuchach troficznych (Strong i in. 1996). Łańcuchy troficzne tworzą sieć zależności pokarmowych między organizmami. Dzięki nim możliwy jest obieg materii i przepływ energii w ekosystemach. Organizm skuteczny w walce biologicznej to taki, który powoduje, zależnie od zagęszczenia, straty w populacji żywiciela (Krebs 2011). Redukcja populacji owadów przez nicienie zależy nie tylko od obecności właściwego żywiciela w glebie oraz wielu różnych czynników środowiskowych (Stuart i in. 2006), ale także od kondycji samych nicieni.

Nicienie charakteryzują się ogromną różnorodnością przystosowań do życia. W przypadku nicieni z rodzin *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* warunkiem koniecznym do ich prawidłowego rozwoju i przetrwania w środowisku jest ścisła symbioza mutualistyczna z bakteriami (Kaya i Stock 1997). Cały rozwój tych zwierząt przebiega wewnątrz ciała gospodarza i tylko larwy inwazyjne (J_3) mogą przebywać w glebie nie pobierając pokarmu (Poinar 1990; Burnell i Stock 2000). Larwy te są doskonale przystosowane do zmieniających się warunków środowiska zewnętrznego (Poinar 1990). Posiadają liczne mitochondria oraz ciała tłuszczowe zabezpieczające je przed śmiercią z wygłodzenia i zapewniają im dużą aktywność w czasie gdy nie pobierają pokarmu. Dodatkową ich osłonę stanowi oskórek drugiego stadium larwalnego (J_2), który w przypadku niektórych gatunków, np. *Steinernema carpocapsae*, chroni larwy J_3 przed negatywnym wpływem czynników biotycznych (Epsky i in. 1988), a w przypadku nicieni z rodziny *Heterorhabditidae* przed wysychaniem (Campbell i Gaugler 1991). Omawiane nicienie wyróżniają się zdolnością do symbiozy mutualistycznej z bakteriami z rodzaju *Xenorhabdus* i *Photorhabdus* (*Enterobacteriaceae*), które umożliwiają im dalszy rozwój wewnątrz ciała żywiciela. Cechy morfologiczne larw inwazyjnych, tj. długość i szerokość ciała, długość ogona, a także budowa pól bocznych, wpływają na ich zdolności infekcyjne i są specyficzne dla określonego gatunku (Tomalak 1998). Szczególne przystosowania nicieni owadobójczych, a zwłaszcza: duża ruchliwość, wysoka patogeniczność w stosunku do szerokiego kręgu żywicieli, możliwość masowej reprodukcji, a przede wszystkim bezpieczeństwo dla środowiska, sprawiają, że pasożyty te znalazły zastosowanie w ochronie roślin przed wieloma ważnymi szkodnikami (Gaugler 1988; Poinar 1990; Ehlers 1996; Cross i in. 1999).

Dotychczas dużo uwagi poświęcano skuteczności i masowej produkcji nicieni dla celów praktycznych, podczas gdy wciąż niewiele wiadomo o funkcji jaką pełnią poszczególne gatunki w środowisku naturalnym. Dlatego poznanie i ocena znaczenia lokalnych populacji nicieni dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów może mieć kluczowe znaczenie w ograniczaniu szkodliwych owadów na danym terenie. Ponadto zdobyta wiedza może przyczynić się do szerszego wykorzystania tych nicieni w praktyce rolniczej, ogrodniczej i leśnej (Hominick i Reid 1990c). Lokalne populacje nicieni, dobrze przystosowane do zmieniających się czynników środowiska, mogą skutecznie ograniczać występowanie niepożądanych owadów (Mráček i Webster 1993). Koncepcja zwalczania szkodników, w której podstawą jest minimalizacja zużycia pestycydów na korzyść niechemicznych metod, sprzyja zainteresowaniu nicieniami owadobójczymi (Lipa 2000; Lipa i Pruszyński 2010).

Celem niniejszej pracy jest:

1. Określenie składu gatunkowego i zagęszczenia nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w zróżnicowanych ekosytemach północno-zachodniej Polski.

2. Określenie powiązań zidentyfikowanych gatunków nicieni ze środowiskiem ich występowania, z uwzględnieniem wybranych czynników biotycznych i abiotycznych.

2. MATERIAŁY I METODY

Materiał do badań stanowiły nicienie owadobójcze z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* pozyskane z terenu. Izolaty nicieni *Steinernema feltiae* Filipjev. (szczep PL 519b), *S. affine* Bovien (szczep PL 404o) i *Heterorhabditis megidis* Poinar, Jackson & Klein (szczep PL 607), pochodzące z własnej hodowli *in vivo*, posłużyły do badań laboratoryjnych nad wpływem temperatury na nicienie owadobójcze w warunkach ich koegzystencji. Jako owady testowe stosowano ostatnie stadia larwalne *Galleria mellonella* L. (hodowla własna), o zbliżonej masie ciała wynoszącej około 180 mg.

2.1. Badania terenowe

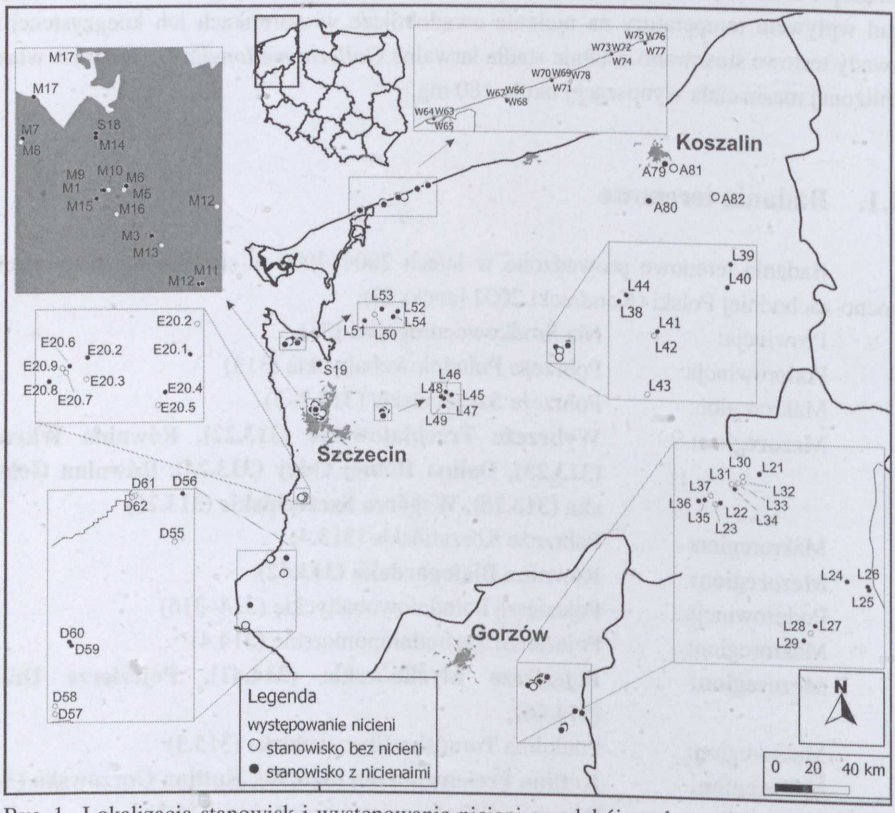
Badania terenowe prowadzono w latach 2004–2009 w siedmiu mezoregionach północno-zachodniej Polski (Kondracki 2002 [aneks 2]):

Prowincja:	Niż Środkowoeuropejski (31)
Podprowincja:	Pobrzeże Południowobałtyckie (313)
Makroregion:	Pobrzeże Szczecińskie (313.2–3)
Mezoregion:	**Wybrzeże Trzebiatowskie (313.22), Równina Wkrzańska (313.23), Dolina Dolnej Odry (313.24), Równina Goleniowska (313.25), Wzgórza Szczecińskie (313.26)**
Makroregion:	Pobrzeże Koszalińskie (313.4)
Mezoregion:	**Równina Białogardzka (313.42)**
Podprowincja:	Pojezierza Południowobałtyckie (314–316)
Makroregion:	Pojezierze Zachodniopomorskie (314.4)
Mezoregion:	**Pojezierze Myśliborskie (314.41), Pojezierze Drawskie (314.46)**
Makroregion:	Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka (315.3)
Mezoregion:	**Kotlina Freienwaldzka (315.32), Kotlina Gorzowska (315.33)**
Makroregion:	Pojezierze Wielkopolsko-Kujawskie (315.5)
Mezoregion:	**Pojezierze Poznańskie (315.51)**

Teren badań obejmował ekosystemy o zróżnicowanych warunkach siedliskowych, w tym: kompleksy leśne, agrocenozy (pola uprawne, użytki zielone, sady), pasma wydm nadmorskich oraz obszary zurbanizowane (tereny przemysłowe i urbicenozy) – tabela 1, aneks 1. Miejsca poboru prób glebowych do badań nad występowaniem i ekologią nicieni owadobójczych w północno-zachodniej Polsce wybierano na podstawie zróżnicowanego stopnia zagęszczenia owadów w danym środowisku oraz ich cyklu biologicznego, umożliwiającego potencjalny kontakt żywiciela z nicieniem w glebie. Zagęszczenie owadów oceniano na podstawie obserwacji własnych (zieleń miejska i sady), danych udostępnionych przez wybrane

nadleśnictwa w obrębie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP) Szczecin (kompleksy leśne) oraz danych uzyskanych z Zakładu Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie, działającym przy Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin PIB Radzików (pola uprawne).

Podczas sześcioletnich badań terenowych pobrano 453 próby glebowe z 91 stanowisk (ryc. 1., tab. 1, aneks 2). Każdą próbę podzielono na sześć podprób i odpowiednio oznakowano. Łącznie przebadano 2718 podprób glebowych. Wybrane stanowiska scharakteryzowano pod względem: typu ekosystemu, siedliska i położenia geograficznego.



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk i występowanie nicieni owadobójczych z rodzin *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w północno-zachodniej Polsce w latach 2004–2009 (szczegółowy opis stanowisk w aneksie 1)

Próby glebowe z większości stanowisk pobierano trzykrotnie w sezonie – wiosną (III–V), latem (VI–VIII) i jesienią (IX–XI) – z wyjątkiem kilku stanowisk zlokalizowanych w aglomeracji miejskiej (M3, M5–6 i M8–13), dwóch w sadach (stanowiska: S18–19) oraz wszystkich w pasie wydm nadmorskich (W63–78), skąd glebę pobierano w odstępach miesięcznych od kwietnia do października (aneks 1). Z każdej powierzchni badawczej o wymiarach około 100 m^2, używając laski Egnera (średnica 2,5 cm), z głębokości 20 cm pobierano 50 próbek jednostkowych, stanowiących próbę zbiorczą o łącznej objętości około 600 cm^3. Glebę przewożono do laboratorium w plastikowych, perforowanych workach.

Tabela 1. Ogólna charakterystyka miejsc poboru gleby w północo-zachodniej Polsce, w latach 2004–2009

Ekosystem	Oznakowanie stanowisk	Liczba stanowisk	Łączna liczba prób glebowych pobranych z terenu	Rok badań
Skwery i zieleńce miejskie	M1–M16	16	91	2005–2006 2009
Skwery na terenach przemysłowych	E20.1–E20.10	10	30	2004
Sady	M17, S18–S19	3	19	2005
Pola uprawne	A79–A82	4	12	2009
Użytki zielone (pastwiska, łąki)	D55–D62	8	24	2008
Kompleksy leśne	L21–L54	34	165	2007 2009
Pas wydm nadmorskich	W63–W78	16	112	2005
Razem		91	453	

2.1.1. Aglomeracja miejska

Badania prowadzono na obszarach wybranych skwerów i zieleńców Szczecina, w aglomeracji miejskiej położonej w makroregionie Pobrzeże Szczecińskie, otoczonej pięcioma mezoregionami: Doliną Dolnej Odry, Wzgórzami (Wzniesieniami) Szczecińskimi, Równiną Wkrzańską, Wzgórzami Bukowymi i Równiną Goleniowską (Kondracki 2002).

Dolina Dolnej Odry rozciąga się od Cedyni na południu do jeziora Dąbie i Zalewu Szczecińskiego na północy (Stachak i in. 2009). Stanowi największą część miasta biegnącą rozległym pasem około 10 km szerokości. Centrum Szczecina połączone jest alejami i klinami zieleni z Puszczą Wkrzańską, Puszczą Bukową i Puszczą Goleniowską, które współtworzą Leśny Kompleks Promocyjny „Puszcze Szczecińskie" (Stachak i in. 2009). Lasy miejskie Szczecina położone są głównie w jego północnej i południowo-wschodniej części, a łączna ich powierzchnia wynosi około 5005,42 ha (Andrzejczak i in. 2004, 2008). Składają się one m.in. z trzynastu uroczysk leśnych o łącznej powierzchni 2780,17 ha. Przylegające do siebie uroczyska: Głębokie (ok. 352 ha) i Las Arkoński (ok. 980 ha) stanowią kompleks leśny będący południowo-wschodnim skrajem Puszczy Wkrzańskiej. Na terenie lasów miejskich Szczecina dominuje w drzewostanie sosna. Drugi co do częstości występowania jest dąb, który wraz z bukiem, olszą i inni gatunkami drzew liściastych oraz iglastych (sosna, świerk, modrzew) tworzy drzewostany mieszane.

Szczecin wyróżnia się licznymi skupiskami zieleni w postaci parków, cmentarzy, zieleńców, skwerów i zieleni ulicznej o łącznej powierzchni 530,47 ha. Do największych parków należą park Kasprowicza (27,03 ha) i park Żeromskiego (21,97 ha). W granicach miasta znajduje się też wiele mniejszych urbicenoz, do których zaliczamy zieleńce o łącznej powierzchni 55,2 ha, w tym zieleń przy budynkach użyteczności publicznej, bulwary i promenady. Zieleń uliczna zajmuje 138,9 ha i obejmuje pasy zieleni, trawników, krzewów i drzew wzdłuż ciągów komunikacji miejskiej (Andrzejczak i in. 2004, 2008).

Badaniami objęto 16 stanowisk zlokalizowanych w centrum i na obrzeżach Szczecina, w których stwierdzono masowe występowanie owadów roślinożernych tzw. fitofagów, posiadających w ciągu swojego cyklu rozwojowego kontakt z glebą (ryc. 1, aneks 2: ryc. 1.1 i 1.5).

Badania na terenie Szczecina prowadzono w latach 2005–2006 i w 2009 roku. Glebę pobierano trzykrotnie – wiosną, latem i jesienią – w każdym sezonie (stanowiska: M1, M2, M4, M7, M9–12, M15, M16) lub przez cały sezon wegetacyjny w odstępach comiesięcznych (stanowiska: M3, M5, M6, M8) – aneks 1. Szczegółowy opis powierzchni badawczych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Opis stanowisk wyznaczonych do badań w aglomeracji szczecińskiej

Stanowisko	Typ zieleni miejskiej	Charakterystyka stanowiska	
		roślinność	dominujący gatunek fitofaga (% uszkodzeń)
M1	park	aleja z kasztanowcem czerwonym *Aesculus* x *carnea* L.	szrotówek kasztanowcowiaczek *Cameraria ohridella* Descha & Dimić (15–30% liści)
M2	zieleniec	skarpa przyosiedlowa porośnięta irgą *Cotoneaster* Medik	opuchlak lilakowiec *Otiorhynchus rotundatus* Siebold (20–30% liści)
M3	park miejski	żywopłot z ligustrem pospolitym *Ligustrum vulgare* L.	opuchlak lilakowiec *Otiorhynchus rotundatus* Siebold (40–60% liści)
M4	las miejski	zadrzewienia z dębem szypułkowym *Quercus robur* L. i dębem bezszypułkowym *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.	korzenica dębowa *Biorrhiza pallida* Ol. rewiś dębowy *Neuroterus quercusbaccarum* L. (30–40% liści)
M5	park miejski	aleja z dębem szypułkowym *Quercus robur* L.	słonik żołędziowiec *Curculio glandium* Marsh. (40% żołędzi)
M6	park miejski	aleja z dębem szypułkowym *Quercus robur* L.	słonik żołędziowiec *Curculio glandium* Marsh. (40–55% żołędzi)
M7	zieleń uliczna	pas zieleni z kasztanowcem białym *Aesculus hippocastanum* L.	szrotówek kasztanowcowiaczek *Cameraria ohridella* Descha & Dymić (60–80% liści)
M8	zieleń uliczna	pas zieleni z kasztanowcem białym *Aesculus hippocastanum* L.	szrotówek kasztanowcowiaczek *Cameraria ohridella* Descha & Dymić (60–70% liści)
M9	zieleniec	ozdobne nasadzenia róż	nimułka różana *Blennocampa pusilla* Klug bruzdownica pędówka *Ardis brunniventris* Htg. psowacz różany *Emphytus cinctus* L. obnażacz kopciuszek *Arge pagana* Panzer, obnażacz różówka *Arge ochropus* Gmelin (ogółem 40–60% liści)
M10	zieleniec	ozdobne nasadzenia róż	
M11	zieleń uliczna	ozdobne nasadzenia róż	
M12	zieleń uliczna	ozdobne nasadzenia róż	
M13	zieleniec	ozdobne nasadzenia róż	
M14	zieleniec	żywopłot z ligustrem pospolitym *Ligustrum vulgare* L.	opuchlak lilakowiec *Otiorhynchus rotundatus* Siebold (50–60% liści)
M15	park miejski	zadrzewienia z robinią pseudoakacją *Robinia pseudoacacia* L. i bluszczem pospolitym *Hedera helix* L.	oprzędziki *Sitona* spp. (20% liści)
M16	park miejski	aleja z kasztanowcem białym *Aesculus hippocastanum L.*	szrotówek kasztanowcowiaczek *Cameraria ohridella* Descha & Dymić (60–70% liści)

Gleby Szczecina można podzielić na trzy typy przyrodniczo-genetyczne: 1. gleby brunatnoziemne, wykształcone na piaskach gliniastych i glinach, występujące w lewobrzeżnej części miasta, z dobrze wykształconym poziomem próchniczym oraz z lekko kwaśnym i kwaśnym odczynem w całym profilu glebowym; 2. gleby bielicoziemne, występujące w prawobrzeżnej części miasta, na ubogich w składniki pokarmowe utworach piaszczystych, lekkie i podatne na degradację; 3. gleby hydrogeniczne wykształcone na bagnach i terenach bagiennych (Andrzejczak i in. 2004). Biorąc za podstawę stopień ich morfologicznego zniekształcenia wyróżnia się trzy grupy gleb. Pierwszą stanowią gleby naturalne, których profile mają zachowane poziomy genetyczne. Druga należy do przemieszanych, głównie w wyniku różnych prac miejskich. Trzecią grupę stanowią gleby nawiezione i przemieszane, które są najbardziej zniekształcone i zawierają różne domieszki, np. gruzu i żużlu (Stachak, Maślak 1986/1987).

Gleby pobrane z powierzchni badawczych zaklasyfikowano do piasków i glin charakteryzujących się zróżnicowanym odczynem – od bardzo kwaśnego (stanowisko M4) i kwaśnego (stanowisko M15 [tab. 2]) – przez obojętny (stanowiska: M5, M7–8, M10–11, M13–14 – tab. 2) do zasadowego (stanowiska: M1–3, M6, M9, M12, M16 [tab. 2]). Wszystkie badane próbki glebowe charakteryzowały się niskim zasoleniem, a wartość przewodnictwa właściwego, stanowiącego najlepszy wyznacznik zasolenia, mieściła się w zakresie od 72,18 do 634,3 µS/cm. Z literatury wynika, że istotne zmiany chemiczne w roztworze glebowym obserwuje się przy wzroście tego parametru powyżej 2000 µS/cm (Gonet i Hermann 1995).

2.1.2. Tereny przemysłowe

W 2004 roku przeprowadzono badania na terenie Elektrowni „Dolna Odra", należącej do Zespołu Elektrowni Dolna Odra S.A. (PGE ZEDO S.A. i Szczecińska Energetyka Cieplna sp. z o.o.). Elektrownia zlokalizowana jest w Nowym Czarnowie (powiat gryfiński), w południowo-zachodniej części województwa zachodniopomorskiego, w mezoregionie Pobrzeża Szczecińskiego – Dolina Dolnej Odry (Kondracki 2002) – (ryc. 1, aneks 2 – ryc. 1.4). Elektrownia sąsiaduje, od wschodniej strony, z Parkiem Krajobrazowym Doliny Dolnej Odry. Energia elektryczna i cieplna wytarzana w Elektrowni jest pozyskiwana w procesie spalania węgla. Elektrownia jest największym źródłem emisji zanieczyszczeń energetycznych w województwie zachodniopomorskim. Zanieczyszcza powietrze dwoma rodzajami emisji: wysoką i niską (Landsberg-Uczciwek i in. 2002). Wysoka pochodzi z kominów, które emitują pyły oraz gazy spalinowe, jak: SO_2, CO_2, CO i NO_x. Źródłem emisji niskiej są m.in. zbiorniki mazutu, stacje dystrybucji paliw a także składowiska popiołów.

Na terenie Elektrowni, o powierzchni około 480 ha, wyznaczono 10 powierzchni badawczych, z których trzykrotnie (wiosna, lato, jesień) pobrano próby glebowe do analizy na obecność nicieni owadobójczych (aneks 1). Stanowiska te były zdominowane przez roślinność ruderalną (trawniki i zieleńce) w otoczeniu zakładowych ciągów komunikacyjnych. Wielkość powierzchni badawczych była zróżnicowana i zależała od przebiegu ciągów komunikacyjnych i lokalizacji budynków w obrębie Elektrowni. Wspólną cechą tych siedlisk był brak stabilności, wysoka zawartość soli mineralnych (związki azotu, fosforu i potasu), niska

zawartość próchnicy w glebie (poniżej 10%) oraz średnio (7,2–8,0) zasadowy odczyn gleby (Kiepas-Kokot, Zabłocki 2003). Szczegółowy opis stanowisk badawczych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Charakterystyka stanowisk badawczych na terenie Elektrowni „Dolna Odra" w Nowym Czarnowie (województwo zachodniopomorskie)

Stanowisko	Opis stanowiska
E 20.1	torowisko – roślinność ruderalna z dominacją wrotycza pospolitego *Tanacetum vulgare* L. i bylicy pospolitej *Artemisia vulgaris* L., zadarnienie podłoża – 90%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 100%, podłoże piaszczyste
E 20.2	trawnik – roślinność ruderalna z dominacją wyki ptasiej *Vicia cracca* L., zadarnienie podłoża – 100%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 100%, podłoże piaszczyste
E 20.3	trawnik – roślinność ruderalna z udziałem mniszka pospolitego *Taraxacum officinale* F. H. Wigg., chabra bławatka *Centaurea cyanus* L. i żmijowca zwyczajnego *Echium vulgare* L., zadarnienie podłoża – 100%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 100%, podłoże piaszczyste z domieszką popiołu
E 20.4	trawnik – roślinność ruderalna z udziałem mniszka pospolitego *Taraxacum officinale* F. H. Wigg., babki lancetowatej *Plantago lanceolata* L. i żmijowca zwyczajnego *Echium vulgare* L., zadarnienie podłoża – 95%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 100%, podłoże piaszczyste
E 20.5	zieleniec – roślinność trawiasta z zadrzewieniem (topola czarna *Populus nigra* L.), zadarnienie podłoża – 95%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 80%, podłoże piaszczyste
E 20.6	zieleniec – roślinność trawiasta z zadrzewieniem (topola czarna *Populus nigra* L., wierzba krucha *Salix fragilis* L.), zadarnienie podłoża – 90%, nasłonecznienie powierzchni badawczej 50%, podłoże piaszczyste
E 20.7	zieleniec – roślinność trawiasta z zadrzewieniem (żywotnik zachodni *Thuja occidentalis* L., sosna wejmutka *Pinus strobus* L., świerk srebrzysty *Picea pungens* Engelm.'Glauca', dąb czerwony *Quercus rubra* L., lipa drobnolistna *Tilia cordata* Mill., wierzba krucha *Salix fragilis* L.), zadarnienie podłoża – 90%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 30%, podłoże piaszczyste
E 20.8	zieleniec – roślinność trawiasta z zadrzewieniem (topola czarna *Populus nigra* L., wierzba krucha *Salix fragilis* L., klon jawor *Acer pseudoplatanus* L.), zadarnienie podłoża – 100%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 50%, podłoże piaszczyste
E 20.9	zieleniec – roślinność trawiasta z zadrzewieniem (śliwa tarnina *Prunus spinosa* L., bożodrzew gruczołkowaty *Ailanthus altissima* Mill.), zadarnienie podłoża – 90%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 30%, podłoże piaszczyste
E 20.10	zieleniec – roślinność trawiasta z zadrzewieniem (klon jawor *Acer pseudoplatanus* L., śnieguliczka biała *Symphoricarpos albus* Duhamel), zadarnienie podłoża – 100%, nasłonecznienie powierzchni badawczej – 40%, podłoże piaszczyste

2.1.3. Agrocenozy

2.1.3.1. Pola uprawne

Badania terenowe w uprawach polowych prowadzono pilotażowo w 2009 roku na czterech stanowiskach położonych w miejscowościach: Kretomino, Niekłonice, Bonin i Kłanino, w powiecie koszalińskim, w mezoregionach: Równina Białogardzka (trzy stanowiska) i Wysoczyzna Polanowska (jedno stanowisko) na Pobrzeżu Koszalińskim (Kondracki 2002 [ryc. 1, aneks 2 – ryc. 1.1 i 1.9]).

Wybrane stanowiska różniły się pod względem uprawianych roślin (zboża, ziemniaki), wszystkie jednak charakteryzowały się wysokim zagęszczeniem drutowców *Elateridae*

w glebie, przekraczającym próg zagrożenia 11 larw/m^2 (tab. 4, 5). W badanych agrocenozach dominowały (ponad 70% stanowisk) dwa gatunki sprężykowatych *Elateridae* – osiewnik ciemny *Agriotes obscurus* L. (zboża, ziemniak) oraz osiewnik rolowiec *Agriotes lineatus* L. (zboża). Mniej licznie (50% stanowisk) odnotowano nieskora czarnego *Hemicrepidius niger* L. (tab. 5). Pomimo niekorzystnych właściwości fizykochemicznych gleb (ubogie gleby bielicowe, niska zawartość próchnicy, kwaśny odczyn gleb) liczebność drutowców na badanych powierzchniach, z wyjątkiem stanowiska A81, był znaczący (tab. 4, 5). Próby glebowe pobrano trzykrotnie: wiosną, latem i jesienią 2009 roku (aneks 1).

Tabela 4. Charakterystyka terenu badań i właściwości fizykochemiczne gleb pobranych z upraw polowych w województwie zachodniopomorskim

Stanowisko	Typ agrocenozy	Typ gleby	Zawartość próchnicy (%)	pH w KCl
A79	pole uprawne – jęczmień	gleba bielicowa, glina piaszczysta	2,70	5,5
A80	pole uprawne – owies	gleba bielicowa, glina lekka piaszczysta	2,09	4,2
A81	pole uprawne – ziemniak	gleba bielicowa, glina piaszczysta	1,40	5,7
A82	pole uprawne (zaorane pastwisko)	gleba bielicowa, glina piaszczysta	2,50	5,5

Tabela 5. Skład gatunkowy chrząszczy oraz zagęszczenie larw sprężykowatych *Elateridae* na badanych stanowiskach (D79–D82) w 2009 roku (wg IHAR w Boninie)

Gatunek owada	Stanowisko			
	A79	A80	A81	A82
Osiewnik ciemny *Agriotes obscurus* L.	–	+	+	+
Osiewnik rolowiec *Agriotes lineatus* L.	+	+	–	+
Nieskor czarny *Hemicrepidius niger* L.	+	–	+	–
Średnie zagęszczenie larw/m^2	18	16	11	13
Rodzaj uprawy	zboże	zboże	ziemniak	pastwisko
Próg zagrożenia (liczba larw/m^2)	11			

2.1.3.2. Sady

W 2005 i 2009 roku pobrano próby glebowe z sadów zlokalizowanych w dwóch mezoregionach: Równina Wkrzańska (stanowisko S19) i Wzgórza Szczecińskie (stanowiska: M17, S18 – [ryc. 1, aneks 2– ryc. 1.1, 1.5, 1.6]). Na stanowiskach S18 i S19 gleby w odstępach miesięcznych od kwietnia do listopada, natomiast na stanowisku M17 trzykrotnie – wiosną, latem i jesienią (aneks 1).

Gleby występujące w sadach zaklasyfikowane do piasków i glin charakteryzowały się odczynem lekko kwaśnym (stanowisko S19 [tab. 6]) lub obojętnym (stanowiska: M17, S18, [tab. 6]), niską wilgotnością (8,77–12,1%) i zawartością próchnicy (2,55–4,94%) a także niskim zasoleniem (0,11–0,23g NaCl/l).

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie BIBLIOTEKA GŁÓWNA -13-

Tabela. 6. Charakterystyka sadów objętych badaniami

Stanowisko	Typ zieleni miejskiej	Charakterystyka stanowiska	
		roślinność	dominujący gatunek fitofaga
M17	sad (chroniony)	jabłonie *Malus* Mill.	owocnica jabłkowa *Hoplocampa testudinea* Klug. owocnica żółtoroga *Hoplocampa minuta* Christ.
S18	sad (niechroniony)	jabłonie *Malus* Mill., śliwy *Prunus* L.	
S19	sad (niechroniony)	jabłonie *Malus* Mill., śliwy *Prunus* L.	

2.1.3.3. Użytki zielone

W 2008 roku badania terenowe prowadzono w dolinie dolnej Odry, wzdłuż granicy polsko-niemieckiej, w mezoregionach: Dolina Dolnej Odry (dwa stanowiska), Pojezierze Myśliborskie (cztery stanowiska) i Kotlina Freienwaldzka (dwa stanowiska) należących do podprowincji Pobrzeże Południowobałtyckie (Kondracki 2002 – [ryc. 1, aneks 2 – ryc. 1.1 i 1.3]).

Próbki glebowe z użytków zielonych pobierano trzykrotnie: wiosną, latem i jesienią 2008 roku (aneks 1) z łąk o różnym charakterze użytkowania (ekstensywny, intensywny), położonych na obszarach objętych specjalną ochroną Natura 2000. Szczegółowy opis stanowisk badawczych przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Szczegółowy opis stanowisk badawczych w rejonie doliny dolnej Odry

Stanowisko	Lokalizacja	Typ siedliska	Rodzaj użytkowania	Formy ochrony prawnej
D55	działka nr 131/4, obręb Krzymów, gmina Chojna	łąka	ekstensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003), nizinne łąki kośne – siedlisko przyrodnicze oznaczone kodem 6510
D56	działka nr 46 obręb Nawodna, gmina Chojna	łąka	ekstensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003)
D57	działka nr 717/2 obręb Stara Rudnica, gmina Cedynia	pastwisko	intensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003); – obszar ochrony siedlisk Dolna Odra (PLH 320017); teren Cedyńskiego Parku Krajobrazowego; – użytek ekologiczny Kostrzyneckie Rozlewisko
D58	działka nr 494, obręb Stara Rudnica, gmina Cedynia	łąka sezonowo zalewna	ekstensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003); – obszar ochrony siedlisk Dolna Odra (PLH 320017); teren Cedyńskiego Parku Krajobrazowego; – użytek ekologiczny Kostrzyneckie Rozlewisko
D59	działka nr 74/1 obręb Radostów, gmina Chojna	murawa kseroter-miczna	ekstensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003); – teren Cedyńskiego Parku Krajobrazowego
D60	działka nr 78/2 obręb Radostów, gmina Chojna	łąka	ekstensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003); – teren Cedyńskiego Parku Krajobrazowego
D61	działka nr 171/2 obręb Krajnik Dolny, gmina Chojna	murawa kseroter-miczna	ekstensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003); – teren Cedyńskiego Parku Krajobrazowego
D62	działka nr 58/4 obręb Krajnik Dolny, gmina Chojna	murawa kseroter-miczna	ekstensywny	– obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 Dolina Dolnej Odry (PLB 320003); – teren Cedyńskiego Parku Krajobrazowego

Okolice dolnego odcinka rzeki Odry charakteryzują się klimatem morskim przejściowym, o najniższych opadach w tym rejonie Polski (średnia roczna suma opadów to około 500 mm), najkrótszym okresie utrzymywania się pokrywy śnieżnej (28 dni) i średniej rocznej temperaturze powietrza wynoszącej 8,0°C, a w okresie wegetacyjnym 13,6–14,3°C. Najmniejsza liczba opadów przypada w lutym, a największa w lipcu (Vössing 1998). Rejon ten wyróżnia się też najdłuższym okresem wegetacyjnym, który wynosi ponad 220 dni (Koźmiński 1983).

Skałą macierzystą gleb w dolinie dolnej Odry są przeważnie torfy niskie, o różnym stopniu namulenia (Niedźwiecki 2002), powstające zwykle pod wpływem płytko występujących wód gruntowych oraz w miejscach dopływu i nagromadzenia się wód powierzchniowych (Trzciński (red.) 1989). Z nich wytworzyły się gleby hydrogeniczne – bagienne i pobagienne, które są głównie składnikami ekosystemów łąkowych. Natomiast z powierzchniowych namułów, o miąższości powyżej 50 cm, powstały gleby napływowe zwane madami. Złoża torfowe prawie na całym obszarze Międzyodrza przykrywa mineralna warstwa namułów o charakterze gliniastym bądź ilastym (Niedźwiecki 2002).

Próby glebowe pobrane z terenu Międzyodrza to głównie gliny, rzadziej piaski, które charakteryzowały się zróżnicowaną wilgotnością wynoszącą od 12 do 46%. Odczyn próbek poddanych analizie pH w H_2O (oraz pH w KCl) był stosunkowo wysoki i wahał się odpowiednio od 5,67 (4,87) do 7,62 (7,22), czyli od odczynu kwaśnego (łąki D54, D59) do obojętnego, a nawet zasadowego (łąka D56, murawy kserotermiczne – D59, D61, D62). Omawiane gleby zawierały niewielkie ilości węglanu wapnia poniżej 1% i wyróżniały się też bardzo niskim zasoleniem wynoszącym od 0,02 do 0,20 g NaCl/l. Stosunek C/N był właściwy dla gleb napływowych i mieścił się w przedziale od 11 do prawie 15%, średnio wynosił 13%. Zawartość materii organicznej wahała się od 1,12% (łąka D60) do 7,25% (łąka D56), co charakteryzuje gleby mineralne właściwe (do 3% materii organicznej) i mineralne próchnicze (3–10% materii organicznej).

2.1.4. Kompleksy leśne

Badania terenowe w ekosystemach leśnych prowadzono na obszarze Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Szczecinie (RDLP) w granicach województwa zachodniopomorskiego, lubuskiego i wielkopolskiego, w dwóch krainach przyrodniczo-leśnych: w krainie bałtyckiej (Nizina Szczecińska, Pobrzeże Słowińskie) i w krainie wielkopolsko-pomorskiej (Puszcza Notecka – [ryc. 1, aneks 2 – ryc. 1.1, 1.2, 1.7, 1.8]). Na obszarze RDLP Szczecin dominują lasy iglaste z sosną zwyczajną (*Pinus silvestris* L.), zajmującą 77,9% powierzchni. Z gleb przeważają żyzne i umiarkowanie żyzne gleby brunatne, rdzawe i bielicowe (Zachaś 2002). Położenie geograficzne, warunki klimatyczne (ścieranie się klimatu kontynentalnego z atlantyckim, anomalia pogodowe) oraz duża zmienność siedliskowa i gatunkowa sprzyjają w tym miejscu gradacjom szkodników – pędrakom chrząszczy *Melolontha* spp., błonkówkom roślinożernym z rodziny *Diprionidae* czy motylom, jak: strzygonia choinówka *Panolis flammea* Den. et Schiff., poproch cetyniak *Bupalus piniarius* L. i barczatka sosnówka *Dendrolimus pini* L. (Zachaś 2002).

Próby glebowe z kompleksów leśnych do badań nematologicznych pobrano w 2007 i 2009 roku trzykrotnie, tj. wiosną, latem i jesienią (aneks 1). Szczegółowy opis oddziałów leśnych, w których wyznaczono powierzchnie badawcze wraz z informacjami o stanie drzewostanów zagrożonych przez szkodniki pierwotne (stopień zagrożenia, liczby krytyczne), sporządzono na podstawie opisów taksacyjnych i wyników jesiennych poszukiwań szkodników pierwotnych sosny, udostępnionych przez poszczególne nadleśnictwa za zgodą RDLP w Szczecinie.

Jesienne poszukiwania szkodników pierwotnych sosny, prowadzone przez służby leśne w latach 2007–2009, dotyczyły następujących gatunków: strzygonii choinówki *P. flammea* i poprocha cetyniaka *B. piniarius* (gatunki, które zimują w stadium poczwarki w ściółce pod okapem drzewostanu) i barczatki sosnówki *D. pini* (zimuje gąsienica w glebie) oraz gatunków z rodziny borecznikowatych *Diprionidae* (zimują larwy w kokonach, w glebie lub w ściółce). Kontrolę występowania pędraków *Melolontha melolontha* L. wykonywano w okresie od 15 sierpnia do 30 września, oceniając stopień zagrożenia badanej powierzchni na podstawie znalezionych szkodników w glebie, zgodnie z Instrukcją Ochrony Lasu (Kolk red. 2004). Liczby krytyczne, przedstawione w tabelach 8–11, dla ważniejszych fitofagów sosny dotyczą całej powierzchni kontrolnej, czyli zsumowanych wyników poszukiwań z 10 powierzchni o wielkości 0,5 m^2 każda.

2.1.4.1. Nadleśnictwo Kliniska

Nadleśnictwo Kliniska położone jest w zachodniej części województwa zachodniopomorskiego i obejmuje obszar 70 tys. ha (aneks 2 – ryc. 1.1 i 1.7). Swoim zasięgiem obejmuje południowy obszar Puszczy Goleniowskiej, pokrywający piaszczystą Równinę Goleniowską, gdzie duże powierzchnie zajmują siedliska świeżego boru sosnowego (*Leucobryo-Pinetum* Mat. 1962; 1973) z sosną zwyczajną (*Pinus silvestris* L.) w warstwie drzew, z charakterystycznym dla tego zespołu modraczkiem (*Leucobryum glaucum* Schimp.) oraz z borówką czarną (*Vaccinium myrtillus* L.), borówką czerwoną (*Vaccinium vitis-idaea* L.) i wrzosem pospolitym (*Calluna vulgaris* L. Hull.) w warstwie runa (Stachak i in. 2009). Charakterystykę oddziałów, w których prowadzono badania terenowe w Nadleśnictwie Kliniska, przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Charakterystyka oddziałów w leśnictwie Strumiany (Nadleśnictwo Kliniska), w których wytypowano powierzchnie badawcze (stan na 7.02.2010)

	Nr oddziału				
	365k (j)	367d	368b	370b (h)	441i
	stanowiska				
	L45	L46	L47	L48	L49
Powierzchnia oddziału (ha)	3,87	12,24	22,09	7,08	12,29
Typ siedliskowy lasu*	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw
Typ i skład drzewostanu**	So	So	So	So	So
Wiek drzewostanu (lata)	74	74	54	44	79
Typ gleby	bielicowa pl	bielicowa pl	bielicowa pl	bielicowa pl	bielicowa pl
Powierzchnia i skład podszytu***	czm, brz, św, jał	brak	brak	brak	brak
Szkodliwe owady	boreczniki Diprionidae				

Tabela 8. Charakterystyka oddziałów w leśnictwie Strumiany (Nadleśnictwo Kliniska) – (cd.)

	Nr oddziału				
	365k (j)	367d	368b	370b (h)	441i
	stanowiska				
	L45	L46	L47	L48	L49
Liczby krytyczne oraz stopień zagrożenia drzewostanu przez owady**** (rok badań)	12–24 pełnych kokonów/5m^2	12–24 pełnych kokonów/5m^2	5–11 pełnych kokonów/5m^2 i 12–24 pełnych kokonów/5m^2	>24 pełnych kokonów 5m^2 i 12–24 pełnych kokonów/5m^2	12–24 pełnych kokonów/5m^2
	(++) (2005–2006)	(++) (2005–2006)	(0/+) i (++) (2005 i 2006)	(+++) i (++) (2006 i 2007)	(++) (2005–2006)

* Bśw – bór świeży; **So – sosna zwyczajna *Pinus silvestris* L.; *** brz – brzoza brodawkowata *Betula pendula* Roth, czm – czeremcha pospolita *Padus avium* Mill., jał – jałowiec pospolity *Juniperus communis* L., św – świerk pospolity *Picea abies* L., (symbole i skróty za Zaręba 1988); ****wg Instrukcji Ochrony Lasu – Kolk (red.) 2004, zagrożenie: (0/+) – ostrzegawcze, (++) – średnie, (+++) – silne.

2.1.4.2. Nadleśnictwo Łobez

Nadleśnictwo Łobez położone jest w dwóch makroregionach (aneks 2 – ryc. 1.1 i 1.8). Większość terenu przynależy do Pojezierza Zachodniopomorskiego, a tylko niewielka północno-zachodnia część znajduje się na Równinie Nowogardzkiej (Kondracki 2002). Gleby pobierano z terenów porolnych i kompleksów leśnych położonych w mezoregionie Pojezierze Drawskie.

Obszar nadleśnictwa (22 901,63 ha) odznacza się urozmaiconą rzeźbą terenu i szatą roślinną. Wśród typów siedliskowych lasu dominuje bór mieszany świeży (33,2%), las świeży (25,6%) i las mieszany świeży (23,6%) – (Elaborat 2002, Materiały Nadleśnictwa Łobez). Gatunkiem dominującym jest sosna zwyczajna (*Pinus silvestris* L.), która występuje na większości siedlisk i powierzchniowo zajmuje 48,4%. Na siedliskach borowych tworzy lite drzewostany z niewielką domieszką modrzewia, świerka, buka i dębu (tab. 12). Na terenie nadleśnictwa przeważają gleby rdzawe (31,9%) i gleby brunatne kwaśne (29%). Mniejszy udział mają gleby brunatne właściwe (14,6%) i gleby bielicowe (10,2%) – (Elaborat 2002, Materiały Nadleśnictwa Łobez). Charakterystykę oddziałów, w których prowadzono badania terenowe w Nadleśnictwie Łobez, przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Charakterystyka oddziałów w leśnictwie Zagórzyce (Nadleśnictwo Łobez), w których wytypowano powierzchnie badawcze (stan na 22.05.2007)

	Nr oddziału					
	333f	337Cf	356m	363b	370i	404o
	stanowisko					
	L39	L38/L44	L41	L42	L43	L40
Powierzchnia oddziału (ha)	2,26	3,03	4,61	4,33	1,74	3,50
Typ siedliskowy lasu*	BMśw	LMśw	LMśw	LMśw	BMśw	LMśw
Skład drzewostanu (A)	So, Dbs, Św, Brz	Bk, Dbs, So, Św	So, Dbs, Md, Św	So, Św, Md, Bk	Św, Dbs, Brz	Bk, So, Św, Dbs, Dbb
Wiek drzewostanu (lata)	>11	9–18	8–15	12–19	>11	>7

Tabela 9. Charakterystyka oddziałów w leśnictwie Zagórzyce (Nadleśnictwo Łobez)... (cd.)

	Nr oddziału					
	333f	337Cf	356m	363b	370i	404o
	stanowisko					
	L39	L38/L44	L41	L42	L43	L40
Typ gleby	bielicowa, porolna	brunatna właściwa, porolna	brunatna właściwa, porolna	brunatna właściwa, porolna	rdzawa właściwa, porolna	rdzawa właściwa, porolna
Powierzchnia i skład podszytu***	brak	tp, os, brz	kru, brz, os	kru, brz	kru	brak
Szkodliwe owady	pędraki *Melolontha melolontha* L.					
Liczby krytyczne oraz stopień zagrożenia drzewostanu przez owady**** (rok badań)	od 2–3-letnich na pow. 0,41 ha (2006)	od 2–3-letnich na pow. 0,30 ha (2001)	od 2–3-letnich na pow. 0,41 ha (2001)	od 2–3-letnich na pow. 1,58 ha (1996)	od 2–3-letnich na pow. 0,34 ha (2006)	od 2–3-letnich na pow. 0,40 ha (2000)

* BMśw – bór mieszany świeży, LMśw – las mieszany świeży; ** Brz – brzoza brodawkowata *Betula pendula* Roth, Bk – buk zwyczajny *Fagus* silvatica L., Dbb – dąb bezszypułkowy *Quercus petrea* Liebl., Dbs – dąb szypułkowy *Quercus robur* L, Md – modrzew europejski *Larix decidua* Mill., So – sosna zwyczajna *Pinus silvestris* L., Św – świerk pospolity *Picea abies* L., *** brz – brzoza brodawkowata *Betula pendula* Roth, kru – kruszyna pospolita *Frangula alnus* Mill., os – topola osika *Populus tremula* L., tp – topola *Populus* L. (symbole i skróty za Zarębа 1988), ****wg Instrukcji Ochrony Lasu – Kolk (red.) 2004.

2.1.4.3. Nadleśnictwo Trzebież

Nadleśnictwo Trzebież o powierzchni 76 355 ha, w tym kompleksy leśne, zajmuje 24 950 ha powierzchni. Od północy i wschodu lasy nadleśnictwa ograniczone są Zalewem Szczecińskim oraz Roztoką Odrzańską, od zachodu – granicą państwa, a od południa – lasami komunalnymi miasta Szczecina (aneks 2 – ryc. 1.1 i 1.6). Lasy nadleśnictwa pod względem przyrodniczo-leśnym zaliczane są do I Krainy Bałtyckiej, do mezoregionu Równina Wkrzańska, skąd pobierano gleby, i do mezoregionu Równina Goleniowska.

Klimat atlantycki mający wpływ na ten obszar charakteryzuje się dużą zmiennością i różnorodnością pogody we wszystkich porach roku (Kondracki 2002). Lasy nadleśnictwa tworzą kompleks leśny zwany Puszczą Wkrzańską. Na piaszczystych glebach puszczy przeważają bory sosnowe: bór mieszany świeży (40,6% powierzchni leśnej) i bór świeży (35,1 % powierzchni leśnej) – (Stachak i in. 2009). Jednak w wielu miejscach znajdują się siedliska charakterystyczne dla boru mieszanego sosnowo-dębowego z sosną zwyczajną (*Pinus silvestris* L.), dębem szypułkowym (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowym (*Quercus sesilis* Ehrh.) z towarzyszącą im brzozą brodawkowatą (*Betula pendula* Roth), czasem topolą osiką (*Populus tremula* L.) czy bukiem pospolitym (*Fagus silvatica* L. [tab. 10]). Gatunkiem dominującym jest sosna, która występuje prawie na wszystkich siedliskach jako gatunek panujący i zajmuje 80,3 % powierzchni leśnej. Na siedliskach borowych tworzy zwarte drzewostany z niewielką domieszką brzozy, modrzewia i dębu zwykle z podszytem świerka, buka i dębu (Stachak i in. 2009). Charakterystykę poszczególnych oddziałów przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Charakterystyka oddziałów w leśnictwie Mazańczyce i Pienice (Nadleśnictwo Trzebież), w których wytypowano powierzchnie badawcze (stan na 14.05.2009)

	Nr oddziału				
	153c	158d	198b	205b	248h
	stanowisko				
	L52	L53	L54	L50	L51
Powierzchnia oddziału (ha)	18,17	13,27	4,42	12,31	10,52
Typ siedliskowy lasu*	Bśw	BMśw	LMśw	BMśw	Bśw
Skład drzewostanu (A)**	So, Brz	So, Brz	Bk, Dbs Brz	So	So, Brz
Wiek drzewostanu (lata)	38–82	49	8–147	63	50
Typ gleby	brunatna wyługowana pl	brunatna wyługowana pl	brunatna wyługowana pl	brunatna wyługowana pl	brunatna wyługowana pl
Powierzchnia i skład podszytu***	10% powierzchni – brz, dbs	miejscami – brz, dbs	miejscami – brz, dbs	brak	miejscami – czm, jrz, jał, bk, dbs
Szkodliwe owady	poproch cetyniak *Bupalus piniastris* L.				
Liczby krytyczne oraz stopień zagrożenia drzewostanu przez owady**** (rok badań)	>36–37	16–36	14–38	>37	>36
	poczwarek/5m^2				
	silne (+++) (2006)	średnie (++) (2006)	średnie (++) (2006)	silne (+++) (2006)	silne (+++) (2006)

* Bśw – bór świeży, BMśw – bór mieszany świeży, LMśw – las mieszany świeży; ** Brz – brzoza brodawkowata *Betula pendula* Roth, Bk – buk zwyczajny *Fagus* silvatica L., Dbs – dąb szypułkowy *Quercus robur* L., Md, So – sosna zwyczajna *Pinus silvestris* L., *** brz – brzoza brodawkowata *Betula pendula* Roth, bk – buk zwyczajny *Fagus* silvatica L., czm – czeremcha pospolita *Padus avium* Mill., dbs – dąb szypułkowy *Quercus robur* L., jał – jałowiec pospolity *Juniperus communis* L., jrz – jarząb pospolity *Sorbus aucuparia L.* (symbole i skróty za Zaręba 1988), ****wg Instrukcji Ochrony Lasu – Kolk (red.) 2004, zagrożenie: (0/+) – ostrzegawcze, (++) – średnie, (+++) – silne.

2.1.4.4. Nadleśnictwo Karwin i Międzychód

Obszar Nadleśnictwa Karwin i Międzychód obejmuje zachodnią część Puszczy Noteckiej. Puszcza Notecka to zwarty kompleks leśny (około 130 tys. ha) położony na terenie Krainy Wielkopolsko-Pomorskiej, w Kotlinie Gorzowskiej i częściowo na Pojezierzu Poznańskim, zlokalizowany w dorzeczach Warty (od południa) i Noteci (od północy) – (aneks 2 – ryc. 1.1 i 1.2). Teren puszczy jest bardzo zróżnicowany pod względem geomorfologicznym. Charakteryzuje się spadkiem wzniesienia ze wschodu ku zachodowi – od 118 do 4 m n.p.m. (Kusiak i Dymek-Kusiak 2002). Podłożem Puszczy Noteckiej jest sandr utworzony przez polodowcowe wody płynące na zachód Pradoliną Toruńsko-Eberswaldzką. W puszczy przeważają gleby bielicowe i rdzawe, powstałe z piasków polodowcowych zlodowacenia bałtyckiego, zajmujące ponad 90% powierzchni leśnej. Krajobraz tego terenu urozmaicają skupiska polodowcowych jezior i stawy, jednak prawie cały obszar Puszczy Noteckiej jest ubogi w cieki wodne (Kusiak i Dymek-Kusiak 2002). Na tym terenie znajdują się charakterystyczne obszary wydmowe, np. w Nadleśnictwie Międzychód, które stanowią 15–30-metrowe wały wydmowe powstałe pod koniec okresu lodowcowego (Łapiński i Łapiński 2008). Charakterystykę oddziałów, w których prowadzono badania terenowe w Nadleśnictwach Karwin i Międzychód, przedstawiono w tabelach 11 i 12.

2.1.4.5. Właściwości fizykochemiczne gleb leśnych na terenie RDLP Szczecin

W badanych kompleksach leśnych dominowały gleby bielicoziemne, ubogie w składniki pokarmowe, charakteryzujące się: silnym zakwaszeniem, niską pojemnością sorpcyjną,

Tabela 11. Charakterystyka oddziałów w Nadleśnictwie Międzychód w leśnictwach: Nadziejewki (oddziały 53b), Nowy Dwór (oddziały 125c, 126c), Muchocin (oddziały 401c, 418c, 420c) i Kubikowo (oddziały 519b, 521a, 523h), w których wytypowano powierzchnie badawcze (stan na 21.01.2009 – Międzychód i 30.07.2007 – Karwin)

	Nr oddziału								
	53b	125c	126c	401c	418c	420c	519b	521a	523h
	stanowisko								
	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29
Powierzchnia oddziału (ha)	13,12	12,86	17,22	6,06	3,57	9,40	7,01	4,27	3,66
Typ siedliskowy lasu*	Bśw	Bśw	Bśw	LMśw	BMśw	Bśw	LMśw	BMśw	BMśw
Typ i skład drzewostanu**	So	So	So	So	So, Brz	So	So	So, Dbs, Bk	So, Dbs
Wiek drzewostanu (lata)	>68	>53	>63	58-78	>58	>83	>103	>7	>5
Typ gleby	bielicowa pl	bielicowa pl	bielicowa pl	arenosole bielicowane pl	rdzawa bielicowa pl	arenosole bielicowane pl	rdzawa brunatna	rdzawa bielicowa pl	rdzawa bielicowa pl
Powierzchnia i skład podszytu***	brak	brak	brak	ak, brz, bk	bk, św	ak, kru, św	czm, kru, brz	brak	brak
Szkodliwe owady	barczatka sosnówka *Dendrolimus pini* L.			strzygonia choinówka *Panolis flammea* Den. et Schiff. poproch cetyniak *Bupalus piniastris* L.			pędraki *Melolontha melolontha* L.		
Liczby krytyczne oraz stopień zagrożenia drzewostanu przez owady**** (rok badań)	17–31 gąsienic/5m^2	>76 gąsienic/5m^2	>122 gąsienic/5m^2	4–6 poczwarek/5m^2 (*P. flammea*)	16–36 poczwarek/5m^2 (*B. piniastris*)	18–38 poczwarek/5m^2 (*B. piniastris*) 6–8 poczwarek/5m^2 (*P. flammea*)	od 2–3-letnich na pow. 0,94 ha (2007)	od 2–3-letnich na pow. 1,05 ha (2007)	od 2–3-letnich na pow. 0,90 ha (2007)
	(+) (2007)	(+++) (2007)	(+++) (2007)	słabe (+) (2007)	średnie (++) (2007)	średnie (++) (*B. piniastris*, 2007) słabe (+) (*P. flammea*, 2007)			

* Bśw – bór świeży BMśw – bór mieszany świeży, LMśw – las mieszany świeży; **So – sosna zwyczajna *Pinus silvestris* L.; *** ak – robinia pseudoakacja *Robinia pseudoacacia* L., brz – brzoza brodawkowata *Betula pendula* Roth, bk – buk zwyczajny *Fagus* silvatica L., czm – czeremcha pospolita *Padus avium* Mill., kru – kruszyna pospolita *Frangula alnus* Mill., św – świerk pospolity *Picea abies* L. (symbole i skróty za Zaręba 1988), ****wg Instrukcji Ochrony Lasu – Kolk (red.) 2004: (0/+) – ostrzegawcze, (++) – średnie, (+++) – silne.

Tabela 12. Charakterystyka oddziałów w Nadleśnictwie Karwin w leśnictwach: Kalinówek (oddziały 211b, 246g, 248a, 282a) i Lipki Wielkie (oddziały 293a, 295f), w których wytypowano powierzchnie badawcze

	Nr oddziału							
	211b	214f	246g	248a	282a	293a	295f	291c
	stanowisko							
	L30	L31	L32	L33	L34	L35	L36	L37
Powierzchnia oddziału (ha)	18,46	5,84	5,43	4,70	14,98	19,60	18.74	18,35
Typ siedliskowy lasu*	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw
Typ i skład drzewostanu**	So	So, Brz	So	So	So	So	So	So
Wiek drzewostanu (lata)	>68	63–90	60	16	>70	>65	>70	>65
Typ gleby	brunatna właściwa pl	brunatna właściwa piaszczysto-żwirowa (puż)	brunatna właściwa piaszczysto-żwirowa (puż)	brunatna właściwa piaszczysto-żwirowa (puż)	brunatna właściwa piaszczysto-żwirowa (puż)	brunatna właściwa pl	rdzawa bielicowa pl	brunatna właściwa pl
Powierzchnia i skład podszytu***	brak	so	brak	czm, jrz	so	brak	brak	brak
Szkodliwe owady	barczatka sosnówka *Dendrolimus pini* L.							
Liczby krytyczne oraz stopień zagrożenia drzewostanu przez owady (rok badań)	40–66	20–59	32–54	8–14	55–122	>122	>122	>122
	gąsienic/5m^2							
	(+) (2006)	(++) (2006)	(+/++) (2007)	(0/+) (2006)	(++) (2006)	(+++) (2007)	(+++) (2007)	(+++) (2007)

* Bśw – bór świeży, **So – sosna zwyczajna *Pinus silvestris* L.; *** czm – czeremcha pospolita *Padus avium* Mill., jrz – jarząb pospolity *Sorbus aucuparia* L, so – sosna zwyczajna *Pinus silvestris* L. (symbole i skróty za Zaręba 1988), ****wg Instrukcji Ochrony Lasu – Kolk (red.) 2004, zagrożenie: (0/+) – ostrzegawcze, (++) – średnie, (+++) – silne.

bardzo małą zdolnością buforową (Trzciński (red.) 1989), a także niską zawartością wody w glebie – od 3 do 17,5%. Naturalną roślinnością porastającą i współtworzącą gleby bielicoziemne są bory, bory mieszane lub lasy mieszane (tab. 11–15). Pod względem stopnia uziarnienia gleby te należą do piasków o średnicy cząstek 1,0–0,1 mm, gdzie ilość cząstek spławianych wynosi 0–20% (Mocek i in. 1997). Gleby brunatnoziemne powstają głównie pod lasami liściastymi i mieszanymi (Mocek i in. 1997). Na badanym terenie gleby brunatne właściwe tworzyły siedlisko lasów mieszanych świeżych (Nadleśnictwo Łobez), a gleby brunatne wyługowane, występujące w Nadleśnictwie Trzebież, siedlisko dla: lasów mieszanych świeżych, borów mieszanych świeżych i borów świeżych (tab. 11 i 12).

Odczyn wszystkich próbek glebowych poddanych analizie dla pH, mierzonego w H_2O (pH w KCl) z poziomu 25 cm, wahał się odpowiednio od 3,48 (2,74) do 5,81 (4,84), czyli od gleb bardzo kwaśnych (nadleśnictwa: Kliniska, Trzebież, Karwin, Międzychód i Łobez z wyjątkiem oddziału 404o i 356 m) do lekko kwaśnych (Nadleśnictwo Łobez – oddział 404o i 356 m) – (Mocek i in. 1997). Omawiane gleby zawierały relatywnie bardzo małe ilości węglanu wapnia nie przekraczające 1%. Wyróżniały się też bardzo niskim zasoleniem wynoszącym od 0,01 do 0,13 g NaCl/l. Zawartość materii organicznej w badanych glebach wynosiła od 1,01% (Nadleśnictwo Międzychód, oddział 519b) do 6,84% (Nadleśnictwo Trzebież, oddział 205b). Zgodnie z „Klasyfikacją gleb leśnych Polski" (2000) w większości są to gleby średnio próchnicze (2–5% próchnicy, 24 oddziały leśne). Gleby słabo próchnicze (1–2% próchnicy) odnotowano w pięciu oddziałach leśnych, a silnie próchnicze (5–10% próchnicy) tylko w trzech oddziałach leśnych (w Nadleśnictwie Kliniska oddział 370h i 441i i w Nadleśnictwie Trzebież oddział 205b) – (tab. 8, 10). W większości próbek stosunek węgla do azotu (C/N) był większy od 20, co charakteryzuje gleby z próchnicą występującą przeważnie w lasach iglastych (Uggla i Uggla 1979). Powstaje ona w warunkach niskiej aktywności biologicznej środowiska, w których humifikacja i mineralizacja substancji organicznej, przy udziale organizmów glebowych, przebiegają bardzo powoli (Trzciński (red.) 1989).

2.1.5. Pas wydm nadmorskich

Wydmy są najbardziej znanymi utworami geomorfologicznymi powstałymi w wyniku akumulacyjnej działalności wiatru (Mocek i in. 1997). Nad polskim wybrzeżem morskim występują wydmy poprzeczne.

Badania na wybrzeżu Bałtyku prowadzono w mezoregionie Wybrzeże Trzebiatowskie na Pobrzeżu Szczecińskim, który od południa przylega do Równiny Gryfickiej, a od wschodu (od Doliny Parsęty) graniczy z Wybrzeżem Słowińskim (Kondracki 2002 [ryc. 1]). Obejmuje on obszar o powierzchni około 290 km², a długość linii brzegowej wynosi około 56 km.

Na odcinku 22 km, od Dziwnowa do Niechorza, wyznaczono pięć stanowisk badawczych, w obrębie których wytyczono transekty o długości około 500 m ciągnące się prostopadle od linii brzegowej w głąb lądu. Każdy transekt podzielono na trzy strefy obejmujące: pas wydm białych z zespołem wydmuchrzycy piaskowej i piaskownicy zwyczajnej *Elymo-Ammophiletum* (strefa 1), wydmy szare z roślinnością niską (strefa 2) i wydmy ustabilizowane, porośnięte różnymi typami nadmorskiego boru sosnowego (strefa 3) – (Wojterski 1964,

Matuszkiewicz i in. 1995). Spośród lasów liściastych na odcinku nadmorskim od Dziwnowa do Niechorza wyróżniono zespoły: *Pruno-Fraxinetum* (łęg czeremchowo-jesionowy) i *Betulo-Quercetum* (las brzozowo-dębowy) – (Piotrowska 2003).

Z wydzielonych stref, od kwietnia do października 2005 roku (aneks 1), pobierano próbki glebowe do analizy nematologicznej, z wyjątkiem stanowiska W77, gdzie glebę pobierano spod krzewów róży dzikiej *Rosa canina* rosnących przy drodze między Pobierowem a Rewalem.

Na podstawie analizy składu granulometrycznego wszystkie pobrane próbki glebowe zaliczono do piasków. Ubogie piaski kwarcowe na wydmach północnej Polski są skałami macierzystymi bielic (Mocek i in. 1997). Gleby występujące na wybrzeżu bałtyckim, słabo wykształcone ze skał luźnych, tworzą siedliska o małych wymaganiach wilgotnościowych, np. zespół *Elymo-Ammophiletum*, a pod lasami typowe są dla nich zbiorowiska borowe, np. nadmorski bór bażynowy *Empetro nigri-Pinetum* (Trzciński (red.) 1989).

Odczyn próbek glebowych dla pH mierzonego w H_2O (pH w KCl) wynosił od 4,81 (4,27) do 8,27 (8,76), czyli od gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych (strefa 3 – Rewal i Łukęcin) do zasadowych (strefa 1 i 2 – wszystkie stanowiska). Jedynie w strefie 3, na stanowisku W67 i W73, odczyn gleby był obojętny. Omawiane gleby zawierały relatywnie niewielkie ilości węglanu wapnia nie przekraczające 1%, co charakteryzuje gleby mineralne bezwęglanowe, słabo wykształcone (Mocek i in. 1997). Wyróżniały się też bardzo niskim zasoleniem wynoszącym od 0,03 do 0,27 g NaCl/l oraz niską zawartością próchnicy od 0,01 do 1,22%. W większości próbek ilościowy stosunek węgla do azotu wyniósł około 20%, co oznacza niską aktywność biologiczną w środowisku, w którym humifikacja i mineralizacja substancji organicznej z udziałem organizmów glebowych przebiega bardzo powoli (Trzciński (red.) 1989).

2.2. Badania laboratoryjne

2.2.1. Izolacja nicieni owadobójczych z gleby i namnażanie do oznaczeń taksonomicznych

W laboratorium każdą próbę glebową pozyskaną z terenu dokładnie mieszano, dzielono na sześć części (podpróbek) i następnie umieszczano w sześciu plastikowych pojemnikach o objętości 100 cm^3. Dla utrzymania odpowiedniej wilgotności badaną glebę sukcesywnie nawilżano wodą (5–15 ml H_2O na 100 cm^3, co daje 2–8% wody w podłożu).

Obecność nicieni owadobójczych w próbach glebowych określono standardową metodą „owadów pułapkowych" *Galleria mellonella* (Bedding i Akhurst 1975; Mràček 1980). Śmiertelność owadów *G. mellonellla*, porażonych przez nicienie, oceniano po czterech dniach od założenia doświadczenia. Część martwych owadów wykładano na odwrócone szkiełko zegarkowe dla pozyskania larw inwazyjnych nicieni do oznaczeń taksonomicznych (White 1927). Drugą część sekcjonowano i liczono osobniki dorosłe nicieni w celu oszacowania zagęszczenia nicieni na 1 m^2 (osobnik/m^2) według wzoru (Půža i Mràček 2007):

$$TNA = MNA \times MV/SV$$

gdzie:

TNA – całkowite zagęszczenie larw inwazyjnych nicieni (J_3) w przeliczeniu na 1 m^2,

MNA – średnie zagęszczenie larw inwazyjnych nicieni (J_3) we wszystkich podpróbkach,

MV – objętość gleby pobranej do głębokości 20 cm (200 000 cm^3) z powierzchni 1 m^2,

SV – objętość pojedynczej podpróbki (150 cm^3).

Doświadczenie kontynuowano aż do momentu, gdy „owady pułapkowe" *G. mellonella* nie były infekowane przez nicienie, maksymalnie do 15. dnia doświadczenia. Izolację nicieni z gleby przeprowadzono w temperaturze 22°C.

W pierwszym etapie wyizolowane nicienie i utrwalone w 4-procentowej formalinie identyfikowano na podstawie cech morfologicznych i morfometrycznych (larwy inwazyjne J_3 oraz osobniki dorosłe pierwszego i drugiego pokolenia) – (Poinar 1990; Nguyen i Smart 1997; Hominick i in. 1997; Nguyen 2007). Następnie zdiagnozowane do gatunku nicienie metodą klasyczną poddano analizie molekularnej.

2.2.2. Diagnostyka molekularna nicieni

Izolację DNA wykonywano z 50–100 samic, namnożonych *in vivo* (White 1927; Bedding i Akhurst 1975; Mràček 1980), przy użyciu gotowego zestawu do ekstrahowania DNA firmy Kucharczyk, według procedury dostarczonej przez producenta. Dla ustalenia przynależności określonego wzoru PCR-RFLP do danego gatunku wykorzystano izolaty nicieni uznane za wzorcowe, tj. potwierdzone lub pochodzące z Zakładu Biologicznych Metod IOR-PIB Poznań i Zakładu Patologii Owadów Instytutu Entomologii Czeskiej Akademii Nauk, České Budějovice.

Mieszaninę do reakcji PCR sporządzano z użyciem odczynników firmy MBI Fermentas, według określonych proporcji (tab. 13).

Tabela 13. Skład mieszaniny reakcyjnej PCR

Składnik mieszaniny	Rodzaj/koncentracja odczynnika	Objętość w jednej próbie (15 µl)
Woda destylowana	–	8,85
Bufor	10×Taq buffer with $(NH_4)_2SO_4$	1,50
$MgCl_2$	25 mM	1,50
dNTP (mix)	dNTP Mix (2 mM each)	1,20
Polimeraza	Taq recombinant 5 U/1µl	0,15
Primer F (forward)	5 pM/1µl	0,60
Primer R (reverse)	5 pM/1µl	0,60
Ekstrakt DNA	około 15 ng/µl	0,60

Reakcja PCR prowadzona była w termocyklerze PTC 200 MJ-Research firmy BioRad, z zastosowaniem określonego profilu termicznego (tab. 14).

Tabela 14. Profil termiczny reakcji PCR

Etap	Liczba cykli	Temperatura (°C)	Czas (s)
Wstępna denaturacja	1	95	180
Denaturacja	8	95	30
Przyłączanie starterów		64→50 (spadek o 2°C/1 cykl)	60
Elongacja		72	60
Denaturacja	26	95	30
Przyłączanie starterów		50	60
Elongacja		72	60
Końcowa elongacja	1	72	300
Chłodzenie	1	15	600

Po wstępnym etapie rozpoznania zastosowano następującą parę starterów:

1. LSU-F AGCGGAGGAAAAGAAACTAA
   LSU-R TCGGAAGGAACCAGCTACTA (Stock i in. 2001)

Do trawienia produktów amplifikacji używano 5µl mieszaniny po PCR, zmieszanych z 9 µl wody destylowanej z dodatkiem 1 µl buforu i 0,5 µl enzymu (HinfI lub RsaI). Inkubację prowadzono w cieplarce laboratoryjnej w 37°C przez 18–20 godzin. Rozdział elektroforetyczny produktów PCR oraz PCR-RFLP przeprowadzono w 1,5-procentowym żelu agarozowym. Do wykonania żelu i prowadzenia elektroforezy zastosowano bufor 1×TBE. Rozdział prowadzono przy stałym napięciu, początkowo 40 V (około 20 minut), a następnie 80 V (około 60 minut).

Dla uwidocznienia prążków użyto roztworu bromku etydyny (*EtBr*), związku interkalującego DNA, mającego zdolność fluorescencji. W tym celu, po rozdziale elektroforetycznym, żel zanurzano na około 15 minut w roztworze bromku etydyny. Produkty rozdziału elektroforetycznego uwidaczniano za pomocą aparatu UVG:BOX Syngenez firmy Biotech i dokumentowano za pomocą programu GeneSnap7.02 firmy Synoptics Ltd. Długość produktów amplifikacji i trawienia wyznaczano względem wzorca długości *100 bp DNA Ladder Plus* (firmy MBI Fermentas), składającego się z czternastu fragmentów o długościach: 3000, 2000, 1500, 1200, 1031, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100 par zasad.

2.2.3. Wpływ zróżnicowanej temperatury na aktywność biologiczną nicieni owadobójczych współwystępujących ze sobą w podłożu

W warunkach laboratoryjnych testowano aktywność biologiczną trzech wybranych gatunków nicieni owadobójczych współwystępujących ze sobą w podłożu, w warunkach zróżnicowanej temperatury, tj. 15, 20 i 25°C, w następujących kombinacjach:

I. *Steinernema feltiae* (izolat PL 519b) + *Steinernema affine* (izolat PL 404o).

II. *Steinernema feltiae* (izolat PL 519b) + *Heterorhabditis megidis* (izolat PL 607).

Badano:

1. śmiertelność, czyli liczbę martwych „owadów pułapkowych" *G. mellonella* zasiedlonych przez nicienie po 2–4 dniach od ich kontaktu z żywicielem oraz

2. stopień porażenia gąsienic barciaka większego *G. mellonella* przez nicienie na podstawie liczby dorosłych osobników stwierdzonych w martwych gąsienicach *G. mellonella*, po kolejnych czterech dniach od zasiedlenia gospodarza przez nicienie.

Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach dla wszystkich wariantów temperatury. W każdym powtórzeniu do szalki o średnicy 10 cm aplikowano jednocześnie larwy inwazyjne obu gatunków nicieni w liczbie odpowiadającej dawce 50 larw/cm^3 i umieszczano po dziesięć gąsienic barciaka większego *G. mellonella*. Kontrolę stanowiły szalki z pojedynczymi gatunkami nicieni *S. feltiae*, *S. affine*, *H. megidis* i „owadami pułapkowymi" *G. mellonella*. Obserwacje prowadzono przez cztery kolejne dni. Martwe owady poddawano dysekcji, umieszczając w roztworze solnym Ringera (Woodring i Kaya 1998), w celu policzenia osobników dorosłych znajdujących się w martwym gospodarzu. Ocenę taksonomiczną (morfologiczną i morfometryczną) nicieni przeprowadzono na podstawie wszystkich dorosłych osobników każdej płci pierwszego pokolenia nicieni (Hominick i in. 1997), pozyskanych z wszystkich martwych owadów w każdej z kombinacji.

2.2.4. Badania fizykochemiczne gleby

Aby ocenić wpływ czynników abiotycznych na nicienie owadobójcze oraz określić powiązania nicieni z wybranymi typami ekosystemów wykonano następujące analizy:

1. kwasowość czynną (w H_2O) i wymienną (w 1 n KCl) potencjometrycznie, przy zachowaniu stosunku między glebą a wodą i chlorkiem potasu w proporcji 1 : 2,5 po 24-godzinnej ekstrakcji samoczynnej (Ostrowska i in. 1991); pomiarów dokonano za pomocą miernika CPC-501 firmy ELMETRON z użyciem elektrody zespolonej;
2. wilgotność w świeżych próbach glebowych metodą wago-suszarkową z wykorzystaniem miernika firmy Radwag WPE 30S z bezpośrednim odczytem wilgotności w procentach, w temperaturze 105°C (Ostrowska i in.1991);
3. procentową zawartość $CaCO_3$ metodą Scheiblera (Ostrowska i in. 1991);
4. przewodnictwo elektryczne właściwe konduktometrycznie za pomocą miernika wielopomiarowego CPC-501 firmy ELMETRON z użyciem czujnika konduktometrycznego EC-60; poziom przewodnictwa elektrycznego właściwego oznaczono w zawiesinie wodnej (H_2O zdejonizowana) przy zachowaniu stosunku między glebą a wodą 1 : 2,5 po 24-godzinnej ekstrakcji samoczynnej; wyniki podano w µS/cm;
5. oznaczenie węgla całkowitego, azotu całkowitego i siarki całkowitej (CNS) na analizatorze elementarnym firmy Costech;
6. oznaczenie składu granulometrycznego gleb metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego oraz metodą dyfraktometrii laserowej z wykorzystaniem laserowego miernika uziarnienia (próby z kompleksów leśnych, stanowiska: L21–L54 [Ostrowska i in. 1991]).

2.2.5. Dokumentacja

Zebrano dokumentację fotograficzną dotyczącą badanych stanowisk oraz wykonano zdjęcia mikroskopowe (powiększenie obiektów 10× i 40×) gatunków nicieni wyizolowanych

z pobranych w terenie prób gleby. Izolaty z żywymi nicieniami systematycznie natleniano i przechowywano w wodzie destylowanej, w temperaturze od 4 do 15°C, w zależności od zidentyfikowanego gatunku nicienia (Dutky i in. 1964; Kaya i Stock 1997).

Mapy GIS z lokalizacją stanowisk przygotowano na podstawie współrzędnych geograficznych WGS84 w programie GIS-QGis. Wykorzystano dane przestrzenne Open Street Maps oraz dane Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska.

2.2.6. Analiza statystyczna

Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono za pomocą programu STATISTICA 6.0 software (StatSoft® 1999). W analizie wykorzystano: a. test istotności różnic między wskaźnikami struktury i test istotności różnic między średnimi, przy założeniu normalnego rozkładu zmiennych ($p < 0,05\%$ [podrozdział 3.1]); b. wartości średnie zmiennych i ich odchylenia standardowe (podrozdział 3.6) oraz c. zakresy (podrozdział 3.5).

Zależność między występowaniem i składem gatunkowym nicieni owadobójczych a parametrami siedliska (odczyn gleby, wilgotność gleby, zawartość próchnicy w glebie, zasolenie) testowano, opierając się na analizie redundancji (RDA) w pakiecie CANOCO for WINDOWS 4.5 (ter Braak i Šmilauer 2002). Metodę RDA wybrano na podstawie analizy rozkładu danych (DCA), która miał charakter liniowy, a istotność zależności między badanymi parametrami sprawdzono za pomocą Testu Permutacyjnego Monte Carlo (MCPT – [ter Braak i Šmilauer 2002]) – (podrozdziały: 3.1.1 oraz 3.1.2).

Próby glebowe z nicieniami owadobójczymi (*Rhabditida*: *Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) oznaczonymi do gatunku przeanalizowano pod względem struktury dominacji (udział procentowy prób z nicieniami) i frekwencji (częstość stwierdzeń nicieni na stanowiskach w badanych ekosytemach) – (podrozdział 3.1.3), według następujących wzorów (Trojan 1980):

$$Di = n_i/N \times 100\%$$

gdzie:

Di – dominacja i-tego gatunku,

n_i – liczba prób z i-tym gatunkiem,

N – łączna liczba prób z wszystkimi gatunkami,

oraz

$$Fi = s/S \times 100\%$$

gdzie:

Fi – frekwencja i-tego gatunku,

s – liczba stanowisk z i-tym gatunkiem,

S – liczba wszystkich stanowisk.

Dla jakościowego porównania prób ze zidentyfikowanymi gatunkami nicieni w różnych ekosystemach posłużono się wskaźnikiem podobieństwa faunistycznego Jaccarda (J) i Sörensena (So), według następującego wzoru (Trojan 1980):

$$Pxy = c/(a + b - c) \times 100\%$$

gdzie:

Pxy – podobieństwo faunistyczne gatunków nicieni między dwoma ekosystemami,

c – liczba wspólnych gatunków dla x i y,

a – liczba gatunków w zbiorze x,

b – liczba gatunków w zbiorze (a + b – c = n).

2.3. Warunki klimatyczne

Klimat północno-zachodniej Polski kształtuje się pod wpływem polarnomorskich mas powietrza napływających z zachodu, znad Północnego Atlantyku (Borówka 2002). W lecie powodują zwiększone zachmurzenia i wyraźne ochłodzenie powietrza oraz wzrost jego wilgotności. Natomiast zimą – ocieplenie z gwałtownymi odwilżami a także wzrost opadów śniegu. Powietrze polarnokontynentalne, charakteryzujące się niższą wilgotnością, napływa w ten region Polski zimą i wiosną ze środkowej Rosji, przynosząc spadek temperatury i wysokie nasłonecznienie.

Według najnowszej regionalizacji klimatycznej, tereny objęte badaniami znajdują się w Regionie Zachodnionadmorskim (R–I), Regionie Zachodniopomorskim (R–VI), Regionie Środkowopomorskim (R–VII) i Regionie Dolnej Warty (R–XIII) – (Woś 1999).

2.3.1. Region Zachodnionadmorski (R–I)

2.3.1.1. Wybrzeże Trzebiatowskie

Teren badań obejmuje północno-zachodni skraj Polski (Woś 1999). Region ten odznacza się największą liczbą dni z pogodą umiarkowanie ciepłą, dużą liczbą dni pochmurnych oraz stosunkowo dużymi, w porównaniu ze Szczecinem, rocznymi sumami opadów wynoszącymi 766 mm (tab. 15).

Tabela 15. Wybrane dane klimatyczne dla stacji meteorologicznych w Koszalinie i Szczecinie w latach 2001–2005*

Dane klimatyczne	Koszalin	Szczecin
	2001–2005	
ŚREDNIA TEMPERATURA [°C]		
Styczeń (I)	0,0	0,6
Lipiec (VII)	18,1	18,9
Od kwietnia do września (IV–IX)	14,2	15,2
Roczna	8,6	9,3
OPADY [mm]		
Roczny	766	530
Od kwietnia do września (IV–IX)	414	297
*Dane na podstawie GUS, www.stat.gov.pl		

Średnia roczna temperatura w latach 2001–2005 wyniosła 8,6°C. W regionie tym notuje się najmniejszą liczbę dni z pogodą przymrozkową i mroźną. Decydujący wpływ na lokalne warunki klimatyczne wywiera rzeźba tego terenu. Obszar obejmujący wydmy nadmorskie

narażony jest na szkodliwe działanie wiatru, a wzrastająca liczba dni z anomaliami pogodowymi wpływa na ilość i siłę wiatrów huraganowych. Na miesiące wiosenne i letnie (IV–IX) przypada ponad 54% sumy opadów. W przebiegu rocznym najwięcej opadów odnotowuje się późną wiosną i latem, co przy stosunkowo łagodnym klimacie stwarza dobre warunki dla wzrostu i rozwoju roślinności.

2.3.2. Region Zachodniopomorski (R–VI)

2.3.2.1. Mezoregiony: Równina Wkrzańska, Równina Goleniowska, Wzgórza Szczecińskie

Klimat Szczecina i okolic charakteryzuje się dużą zmiennością, wynikającą z silnie zróżnicowanych warunków fizjograficznych terenu (obecność równin, dolin i wniesień), a także z bliskości dużych zakładów przemysłowych emitujących zanieczyszczenia do atmosfery (Koźmiński i Czarnecka 1993).

W okresie prowadzonych badań terenowych najcieplejszymi miesiącami były: lipiec i sierpień ze średnimi temperaturami wynoszącymi odpowiednio 18,02 i 16,82°C. Średnia roczna temperatura powietrza w tym okresie wynosiła 7,9°C (tab. 16).

Tabela 16. Dane meteorologiczne dla Szczecina i okolic (stanowiska pomiarowe w Szczecinie przy ul. Łącznej i ul. Andrzejewskiego, na podstawie danych WIOŚ w Szczecinie)

Miesiące	Średnia miesięczna temperatura powietrza (°C)	Średnia wilgotność względna powietrza (%)	Opad atmosferyczny sumy miesięczne (mm)
	lata badań		
	2004–2009	2004–2009	2005–2009
I	–2,07	85,83	24,66
II	–1,30	83,98	29,32
III	2,43	76,32	32,40
IV	8,16	63,92	33,72
V	12,33	66,96	52,08
VI	15,44	68,03	49,90
VII	18,02	67,86	70,42
VIII	16,82	72,63	67,68
IX	13,28	73,82	32,44
X	8,03	80,82	50,02
XI	3,55	85,92	46,56
XII	0,05	88,13	25,18
	średnia roczna temperatura (°C)	średnia roczna wilgotność względna powietrza (%)	opad roczny (mm)
	7,90	76,18	514

Najchłodniejszy okazał się styczeń ze średnią temperaturą wynoszącą –2,07°C, a średnia temperatura jesienią była o około 1°C wyższa niż wiosną. Wilgotność w Szczecinie kształtują masy powietrza napływające znad oceanu, duże zbiorniki wodne i rzeki oraz kompleksy leśne (Koźmiński i Czarnecka 1993). We wszystkich miesiącach wilgotność względna utrzymywała się na poziomie co najmniej 70%, przy czym jesienią była ona prawie o 10% wyższa niż wiosną. W okresie od kwietnia do października 2004–2009 największą średnią

wilgotność powietrza zanotowano w październiku (ponad 80%), najmniejszą natomiast w kwietniu i w maju (odpowiednio 63,92 i 66,96%) – tabela 16.

W rejonie Szczecina średnia roczna suma opadów w latach 2004–2009 wyniosła 514 mm (tab. 16). Maksymalne wartości opadu zarejestrowano w lipcu i w sierpniu (tab. 16). Okres wegetacyjny dla tego obszaru wynosi zwykle około 210 dni (Koźmiński i Michalska 2001).

2.3.2.2. Mezoregion: Dolina Dolnej Odry i okolice

Dolina Dolnej Odry charakteryzuje się klimatem morskim przejściowym, o najniższych opadach w tym rejonie Polski (średnia roczna suma opadów to około 500 mm), najkrótszym okresie utrzymywania się pokrywy śnieżnej (28 dni) i średniej rocznej temperaturze powietrza wynoszącej 8,0°C (8,6°C w latach 2005–2009), a w okresie wegetacyjnym 13–14°C. Najmniejsza liczba opadów przypada w lutym, a największa w lipcu (Vössing 1998). Rejon Międzyodrza wyróżnia się też najdłuższym okresem wegetacyjnym, który wynosi ponad 220 dni (Koźmiński 1983).

W latach 2005–2009 najcieplejszym miesiącem był lipiec ze średnią temperaturą 18,84°C, najchłodniejszym luty z temperaturą –0,09°C (źródło: WIOŚ, Szczecin). W okresie prowadzonych badań (od kwietnia do października) największą średnią wilgotność powietrza zanotowano w październiku (ponad 80%), a najmniejszą w lipcu (64,18% – [źródło: WIOŚ, Szczecin]).

2.3.3. Region Środkowopomorski (R–VII)

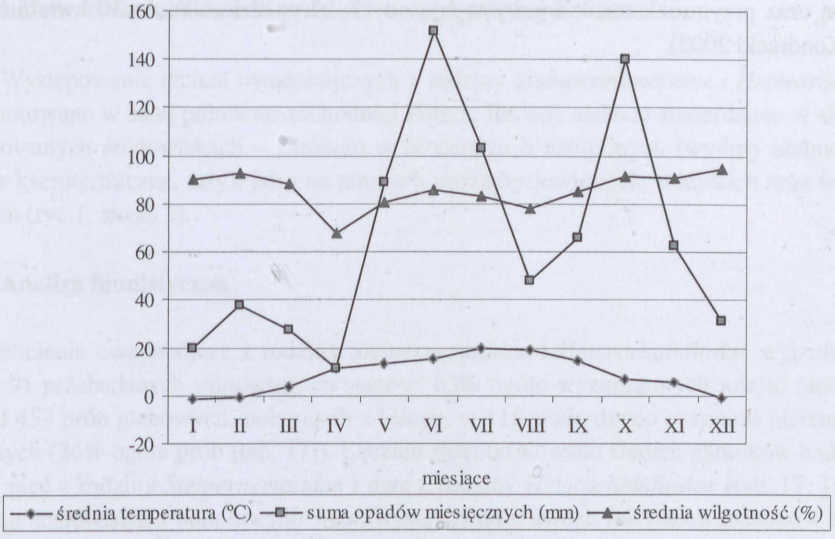
2.3.3.1. Mezoregion: Wysoczyzna Łobeska

Cechą charakterystyczną klimatu tego obszaru jest późne i chłodne lato oraz opóźniona i łagodna zima (długość zimy 26 dni), małe roczne amplitudy temperatur (średnia temperatura roczna +7,7°C), duża ilość dni pochmurnych oraz stosunkowo duże roczne sumy opadów (709 mm [Elaborat 2002]). Średnie opady wynoszą około 388 mm, a średnia temperatura około +14°C. W ostatnich latach obserwuje się na tym terenie spadek liczby dni w roku z pokrywą śniegu (26 dni, najwyższa pokrywa śniegu to 20 cm) oraz wiele anomalii pogodowych. Do najważniejszych należą: wzrost huraganowych wiatrów wyrządzających znaczne szkody w drzewostanach i późne przymrozki wyrządzające szkody w uprawach (około 10 maja, wyjątkowo do 28 maja). Przymrozki wczesne zaczynają się w tym mezoregionie około połowy września. Na okres wegetacyjny, trwający od 216 do 220 dni, przypada około 57% sumy rocznego opadu. Niewielka odległość od Bałtyku wpływa na wzrost wilgotności powietrza, która wynosi około 80%, co korzystnie wpływa na wegetację świerka i buka (Elaborat 2002).

2.3.3.2. Mezoregion: Równina Białogardzka

Badania terenowe na polach uprawnych prowadzono w 2009 roku w miejscowościach: Kretomino, Niekłonice, Bonin i Kłanino, położonych w powiecie koszalińskim, na Pobrzeżu Koszalińskim (Kondracki 2002).

Warunki klimatyczne dla Bonina i okolic przedstawia poniższy wykres uwzględniający: średnią miesięczną temperaturę powietrza, sumę miesięcznych opadów i średnią wilgotność względną powietrza (ryc. 2).



Ryc. 2. Wybrane dane meteorologiczne dla miasta Bonin i okolic (stacja meteorologiczna w Boninie, powiat koszaliński)

W 2009 roku w powiecie koszalińskim najcieplejszymi miesiącami były: lipiec i sierpień ze średnimi temperaturami wynoszącymi odpowiednio 19,4 i 19°C. Najchłodniejszym miesiącem był luty ze średnią temperaturą wynoszącą –0,5°C. We wszystkich miesiącach wilgotność względna kształtowała się na poziomie powyżej 70%, tylko w kwietniu wyniosła 68% (ryc. 2). W okresie od kwietnia do października największą średnią wilgotność powietrza zanotowano w październiku (ponad 90%), najmniejszą natomiast w kwietniu (67,7%). W powiecie koszalińskim średnia suma opadów w 2009 roku wyniosła 787,2 mm, średnia roczna temperatura – 8,8°C, a średnia wilgotność względna powietrza nie przekroczyła 90% (85,7%). Maksymalne wartości opadu zarejestrowano w czerwcu i w październiku (ryc. 2).

2.3.4. Region Dolnej Warty (R–XIII)

2.3.4.1. Mezoregiony: Kotlina Gorzowska i Pojezierze Poznańskie

Badany teren charakteryzuje się niską ilością opadów atmosferycznych. W ciągu roku średnia suma opadów waha się od 500 do 600 mm, wiosną (III–V) od 115 do 124 mm, a w okresie wegetacyjnym (IV–IX) od 332 do 335 mm. Najwięcej opadów występuje w lipcu. Roczna średnia temperatura powietrza waha się od 7,80 do 8,10°C. Przedwiośnie – okres o średniej temperaturze dobowej od 0 do 5°C rozpoczyna się najczęściej w dniach 24–27 lutego i trwa odpowiednio 34 i 32 dni. Wiosna najczęściej rozpoczyna się w dniach 30 marca –

1 kwietnia i trwa około 60 dni. Okresu wegetacyjny (powyżej 5°C) wynosi około 224 dni. Czas zalegania pokrywy śnieżnej wynosi 38–50 dni. Na terenie Puszczy Noteckiej występują często silne wiatry z przeważającym kierunkiem z zachodu oraz południowego i północnego zachodu. Specyficzną cechą klimatu puszczy jest duża liczba dni z zachmurzeniem i ciepłą pokrywą oraz przymrozkami, które występują od 17–22 października do 30 kwietnia (Woś 1999; Kondracki 2002).

3. WYNIKI

3.1. Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w północno-zachodniej Polsce

Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinenrmematidae* i *Heterorhabditidae* odnotowano w całej północno-zachodniej Polsce. Badane nicienie stwierdzono w skrajnie zróżnicowanych środowiskach – zarówno w biocenozach naturalnych (wydmy nadmorskie, murawy kserotermiczne, lasy), jak i na terenach uprzemysłowionych, miejskich oraz w agrocenozach (ryc.1, aneks 2).

3.1.1. Analiza faunistyczna

Nicienie owadobójcze z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* wyizolowano z 57 na 91 przebadanych stanowisk, co stanowi 63% ogółu wyznaczonych miejsc (aneks 1). Spośród 453 prób glebowych, pobranych z terenu, w 116 stwierdzono obecność nicieni owadobójczych (26% ogółu prób [tab. 17]). Łącznie zidentyfikowano siedem gatunków badanych nicieni: pięć z rodziny *Steinernematidae* i dwa z rodziny *Heterorhabditidae* (tab. 17, 18). Na dwunastu stanowiskach odnotowano współwystępowanie dwóch lub trzech gatunków nicieni owadobójczych (aneks 1).

3.1.1.1. Rodzina *Steinernematidae*

Nicienie z rodziny *Steinernematidae* stwierdzone w 86 próbach (ponad 74% ogółu prób z nicieniami) były reprezentowane przez pięć gatunków (tab. 17, 18).

Steinernema feltiae Filipiev, 1934

Najczęściej notowany gatunek na badanym terenie (tab. 17) wystąpił w ponad 49% prób ze zidentyfikowanymi nicieniami; notowany przez cały sezon wegetacyjny w różnych ekosystemach zarówno w zbiorowiskach leśnych, jak i na terenach pozbawionych zadrzewień; jedyny gatunek jednocześnie współwystępujący z innymi nicieniami owadobójczymi: w dwóch próbach z *S. affine* a w jednej z *H. megidis* (aneks 1).

Steinernema affine Bovien, 1937

Obecny w ponad 14% prób ze zidentyfikowanymi nicieniami (tab. 17), często współwystępujący w glebie z *S. feltiae*, szczególnie w zieleńcach miejskich (tab. 19). Stwierdzony zarówno na terenach otwartych, jak i zadrzewionych.

Steinernema silvaticum Sturhan, Spiridonov & Mrácek, 2005

Nowy gatunek dla fauny Polski (fot. 5, 6); stosunkowo rzadko występujący na badanym terenie (6,7% prób ze zidentyfikowanymi nicieniami); stwierdzony jesienią w zadrzewieniach miejskich i w kompleksach leśnych (aneks 1, tab. 17, 18, 19, 22, fot. 1, 2).

Tabela 17. Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w północno-zachodniej Polsce

Ekosystem	Łączna liczba pobranych prób z każdego typu biocenozy (aneks 1)	Liczba prób z nicieniami	Liczba prób z więcej niż jednym zidentyfikowanym gatunkiem nicieni	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba prób z nicieniami zidentyfikowanymi do gatunku:	Liczba prób zasiedlonych przez:							
						S. feltiae	*S. silvaticum*	*S. affine*	*S. carpocapsae*	*S. bicornutum*	*H. bacteriophora*	*H. megidis*	*Steinernema* spp.
Zieleń miejska	91	28	4	31[b]	28	11	2	5	0	1	0	13	0
Zieleń na terenach przemysłowych	30	6	0	20	6	4	0	0	0	0	0	2	0
Sady	19	12	0	63[b]	12	3	0	1	0	2	0	6	0
Pola uprawne	12	3	0	25	3	2	0	0	1	0	0	0	0
Użytki zielone (pastwiska, łąki)	24	6	0	25[b]	6	0	0	2	0	0	4	0	0
Kompleksy leśne (głównie lasy iglaste z sosną zwyczajną *Pinus silvestris* L.)	165	50	0	30[b]	39	27	5	7	0	0	0	0	11
Pasmo wydm nadmorskich	112	11	0	10[a]	10	5	0	0	0	0	1	4	1
Razem	453	116	4		108	52	7	15	1	3	5	25	12

[a, b] różnica istotna statystycznie ($p < 0,05$)

Tabela 18. Struktura dominacji (%) nicieni owadobójczych (*Rhabditida*: *Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) zidentyfikowanych do gatunku w próbach glebowych, pobranych z różnych typów ekosystemów oraz ich frekwencja (%) na badanych stanowiskach

Lp.	Gatunki	Ekosystem									
		zieleń miejska		zieleń na terenach przemysłowych		agrocenozy (sady, pola uprawne, użytki zielone)		kompleksy leśne (głównie lasy iglaste z sosną zwyczajną *Pinus silvestris* L.)		pas wydm nadmorskich	
		D (%)	F (%)	D (%)	F (%)	D (%)	F (%)	D (%)	F (%)	D (%)	F (%)
1.	*S. feltiae*	34,4	43,8	66,7	40,0	23,8	20,0	69,2	47,1	50	25,0
2.	*S. silvaticum*	6,3	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	11,8	0	0,0
3.	*S. affine*	15,6	18,8	0,0	0,0	14,3	13,3	18,0	11,8	0	0,0
4.	*S. carpocapsae*	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	6,7	0,0	0,0	0	0,0
5.	*S. bicornutum*	3,1	6,3	0,0	0,0	9,5	6,7	0,0	0,0	0	0,0
6.	*H. bacteriophora*	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	13,3	0,0	0,0	10	6,3
7.	*H. megidis*	40,6	37,5	33,3	20,0	28,6	13,3	0,0	0,0	40	25,0
Razem		100,0		100,0		100,0		100,0		100	

Tabela 19. Występowanie nicieni w zieleni miejskiej na terenie aglomeracji szczecińskiej

Stanowisko				Łączna liczba pobranych prób	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba zidentyfikowanych prób z nicieniami do gatunku:	*S. feltiae*	*S. silvaticum*	*S. affine*	*S. bicornutum*	*H. megidis*
symbol	typ zieleni miejskiej	odległość od ulicy (m)	charakterystyka									
M1	park miejski	10	aleja z kasztanowcem czerwonym *Aesculus x carnea* L.	3	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	zieleniec	2	skarpa przyosiedlowa z irgą *Cotoneaster* Medik	3	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	park miejski	1	żywopłot z ligustrem pospolitym *Ligustrum vulgare* L.	7	2	29	2	1	0	0	1	0
M4	las miejski	100	zadrzewienia z dębem szypułkowym *Quercus rob*ur L. i dębem bezszypułkowym *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.	3	3	100	3	1	2	0	0	0
M5	park miejski	50	aleja z dębem szypułkowym *Quercus rob*ur L. i dębem bezszypułkowym *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.	7	4	57	4	3	0	3	0	0
M6	park miejski	50	aleja z dębem szypułkowym *Quercus rob*ur L. i dębem bezszypułkowym *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.	7	4	57	4	3	0	1	0	1
M7	zieleń uliczna	5	pas zieleni z kasztanowcem białym *Aesculus hippocastanum* L.	3	0	0	0	0	0	0	0	0
M8	zieleń uliczna	1	pas zieleni z kasztanowcem białym *Aesculus hippocastanum* L.	7	1	14	1	1	0	0	0	0
M9	zieleniec	10	ozdobne nasadzenia róż	9	4	44	4	0	0	0	0	4
M10	zieleniec	15	ozdobne nasadzenia róż	9	5	56	5	1	0	0	0	4
M11	zieleń uliczna	20	ozdobne nasadzenia róż	9	1	11	1	0	0	1	0	0
M12	zieleń uliczna	4	ozdobne nasadzenia róż	9	2	22	2	0	0	0	0	2
M13	zieleniec	2	ozdobne nasadzenia róż	6	0	0	0	0	0	0	0	0
M14	zieleniec	2	żywopłot z ligustrem pospolitym *Ligustrum vulgare* L.	3	1	33	1	0	0	0	0	1
M15	park miejski	50	zadrzewienia z robinią pseudoakacją *Robinia pseudoacacia* L. i bluszczem pospolitym *Hedera helix* L.	3	1	33	1	1	0	0	0	1
M16	park miejski	200	aleja z kasztanowcem białym *Aesculus hippocastanum L.*	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Razem				91	28		28	11	2	5	1	13

Tabela 20. Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* na skwerach przyzakładowych na terenie Elektrowni „Dolna Odra" w Starym Czarnowie

Stanowisko			Łączna liczba pobranych próbek	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba zidentyfikowanych próbek z nicieniami do gatunku:	*S. feltiae*	*H. megidis*
symbol	typ zieleni	charakterystyka						
E 20.1	skwer bez zadrzewień	roślinność ruderalna z wrotyczem pospolitym *Tanacetum vulgare* L. i bylicą pospolitą *Artemisia vulgaris* L.	3	1	33	1	1	0
E 20.2	skwer bez zadrzewień	roślinność trawiasta z wyką ptasią *Vicia cracca* L.	3	1	33	1	1	0
E. 20.3	skwer bez zadrzewień	roślinność ruderalna z mniszkiem pospolitym *Taraxacum officinale* F. H. Wigg., chabrem bławatkiem *Centaurea cyanus* i żmijowcem zwyczajnym *Echium vulgare* L.	3	1	33	1	0	1
E. 20.4	skwer bez zadrzewień	roślinność ruderalna z mniszkiem pospolitym *Taraxacum officinale* F. H. Wigg., babką lancetowatą *Plantago lanceolata* L. i żmijowcem zwyczajnym *Echium vulgare* L.	3	1	33	1	1	0
E. 20.5	skwer z zadrzewieniami	roślinność trawiasta z topolą czarną *Populus nigra* L.	3	0	0	0	0	0
E. 20.6	skwer z zadrzewieniami	roślinność trawiasta z topolą czarną *Populus nigra* L. i wierzbą kruchą *Salix fragilis* L.	3	1	33	1	1	0
E. 20.7	skwer z zadrzewieniami	roślinność trawiasta z żywotnikiem zachodnim *Thuja occidentalis* L., sosną wejmutką *Pinus strobus* L., świerkiem srebrzystym *Picea pungens glauca*, dębem czerwonym *Quercus rubra* L., lipą drobnolistną *Tilia cordata* Mill. i wierzbą kruchą *Salix fragilis* L.	3	0	0	0	0	0
E. 20.8	skwer z zadrzewieniami	roślinność trawiasta z topolą czarną *Populus nigra* L., wierzbą kruchą *Salix fragilis* L. i klonem jaworem *Acer pseudoplatanus* L.	3	1	33	1	0	1
E. 20.9	skwer z zadrzewieniami	roślinność trawiasta ze śliwą tarniną *Prunus spinosa* i bożodrzewem gruczołkowatym *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle	3	0	0	0	0	0
E. 20.10	skwer z zadrzewieniami	roślinność trawiasta z klonem jaworem *Acer pseudoplatanus* L. i śnieguliczką białą *Symphoricarpos albus* Duhamel	3	0	0	0	0	0
Razem			30	6		6	4	2

Tabela 21. Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w wybranych agrocenozach

Stanowisko			Łączna liczba pobranych prób z każdego stanowiska	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba zidentyfikowanych próbek z nicieniami do gatunku:	*S. feltiae*	*S. affine*	*S. carpocapsae*	*S. bicornutum*	*H. bacteriophora*	*H. megidis*
symbol	typ agrocenozy	charakterystyka										
A79	pole uprawne	jęczmień *Hordeum* L.	3	2	67	2	2	0	0	0	0	0
A80	pole uprawne	owies *Avena* L.	3	1	33	1	0	0	1	0	0	0
A81	pole uprawne	ziemniak *Solanum tuberosum* L.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A82	pole uprawne	zaorane pastwisko, roślinność trawiasta	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S18	sad (niechroniony)	różne gatunki drzew owocowych: jabłonie *Malus* Mill., grusze *Pyrus* L., śliwy *Prunus* L.	8	7	88	7	1	1	0	0	0	5
S19	sad (niechroniony)	różne gatunki drzew owocowych: jabłonie *Malus* Mill., grusze *Pyrus* L.	8	5	63	5	2	0	0	2	0	1
M17	ogródki działkowe (sad)	jabłonie *Malus* Mill.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D55	łąka	nizinna łąka kośna z wyczyńcem łąkowym *Alopecurus pratensis* L. i krwiściągiem lekarskim *Sanguisorba officinalis* L.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D56	łąka	łąka zalewowa z wyczyńcem łąkowym *Alopecurus pratensis* L.	3	2	67	2	0	2	0	0	0	0
D57	łąka	pastwisko, łąka zalewowa z wyczyńcem łąkowym *Alopecurus pratensis* L.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D58	łąka	łąka zalewowa z wyczyńcem łąkowym *Alopecurus pratensis* L.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D59	murawa kserotermiczna	ostnicowa murawa kserotermiczna *Potentillo-Stipetum*	3	2	67	2	0	0	0	0	2	0
D60	łąka	łąka z rajgrasem wyniosłym *Arrhenatherum elatius* L.	3	2	67	2	0	0	0	0	2	0
D61	murawa kserotermiczna	ostnicowe murawy kserotermiczne *Potentillo-Stpietum*, kwietne murawy kserotermiczne *Adonido-Brachypodietum* oraz zbiorowiska przejściowe	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D62	murawa kserotermiczna	ostnicowe murawy kserotermiczne *Potentillo-Stpietum*, kwietne murawy kserotermiczne *Adonido-Brachypodietum* oraz zbiorowiska przejściowe	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Razem			55	21		21	5	3	1	2	4	6



Fot. 1. Zakończenie ogona drugiego pokolenia samców *Steinernema silvaticum* z widocznymi narządami kopulacyjnymi (spikulami i gubernaculum [powiększenie 40×])



Fot. 2. Spikule i gubernakulum drugiego pokolenia *Steinernema silvaticum* (powiększenie 60×)

Steinernema bicornutum Tallosi, Peters & Ehlers, 1995

Jeden z rzadszych gatunków notowanych w północno-zachodniej Polsce; wyizolowany latem i jesienią z sadów oraz z zielni miejskiej (2,9% zidentyfikowanych gatunków [tab. 17, 18, 21, ryc. 7, 12]).

Steinernema carpocapsae Weiser, 1955

Gatunek najrzadziej stwierdzany na badanym terenie (0,9% notowanych prób ze zidentyfikowanymi nicieniami); odnotowany tylko na jednym polu uprawnym na Pobrzeżu Koszalińskim (tab. 17, 21).

3.1.1.2. Rodzina *Heterorhabditidae*

Nicienie z rodziny *Heterorhabditidae* wyizolowano z 30 prób (26% ogółu prób z nicieniami), wśród których wyróżniono dwa gatunki (tab. 17).

Heterorhabditis megidis Poinar, Jackson & Klein, 1987

Gatunek dominujący w tej rodzinie (ponad 83% stwierdzeń); najczęściej, obok *S. feltiae*, notowany w różnych ekosystemach (25% prób ze zidentyfikowanymi nicieniami) zarówno na terenach otwartych i częściowo otwartych (wydmy, skwery przyzakładowe, nasadzenia róż [tab. 17, 19, 20, 23]), jak i w zadrzewieniach (sady, parki miejskie [tab. 17, 19, 21].

Heterorhabditis bacteriophora Poinar, 1975

Rzadziej notowany gatunek z rodziny *Heterorhabditidae* (17% stwierdzeń) – (tab. 17, aneks 1); wyizolowany z pięciu prób, co stanowi 4,8% zidentyfikowanych nicieni; znany jedynie z terenów otwartych (łąki, wydmy [tab. 17, 21, 23].

3.1.2. Występowanie nicieni w różnych typach ekosystemów

Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* stwierdzono we wszystkich typach badanych ekosystemów (tab. 17). Jednak częstotliwość tych stwierdzeń, w porównaniu z ubogimi siedliskami wydm nadmorskich, była istotnie wyższa w zadrzewieniach i na użytkach zielonych ($p < 0,05$) i wyniosła odpowiednio: w sadach – 63%, w lasach – 30%, w zieleńcach miejskich – 31% i na użytkach zielonych – 25% (tab. 17). Najniższy udział nicieni stwierdzono w próbach glebowych pobranych z wydm nadmorskich (10 % [tab. 17, 18]). Gatunkiem dominującym w większości badanych ekosystemów był *S. feltiae*, z wyjątkiem zieleni miejskiej i agrocenoz, w których dominował *H. megidis* (tab. 18).

3.1.2.1. Obszary zieleni miejskiej

Występowanie nicieni owadobójczych w aglomeracji szczecińskiej stwierdzono na 11 z 16 wyznaczonych stanowisk, co stanowi 69% przebadanych miejsc (tab. 19). Udział nicieni w próbach wyniósł 31% (tab. 17). Ich obecność odnotowano we wszystkich badanych typach zieleni miejskiej bez względu na ich lokalizację względem tras szybkiego ruchu. Nicienie występowały głównie w zadrzewieniach z dębem *Quercus* (od 57 do 100% prób z nicieniami), rzadziej z kasztanowcem *Aesculus* L. (14% prób z nicieniami na jednym z czterech stanowisk) i w nasadzeniach róż rosnących wzdłuż ciągów komunikacji miejskiej. Różnice

w średnim procentowym udziale prób z nicieniami na stanowiskach z dębem *Quercus* i z nasadzeniami róż były istotne statystycznie ($p < 0,05$ [tab. 19]). W pozostałych zieleńcach udział nicieni wyniósł od 11 do 56% (tab. 19).

Spośród siedmiu gatunków stwierdzonych ogółem we wszystkich badanych ekosystemach pięć odnotowano w zieleni miejskiej (tab. 17), w tym po raz pierwszy w Polsce *S. silvaticum*, wyizolowany na stanowisku z dębem *Quercus* w miejskim kompleksie leśnym oraz rzadki *S. bicornutum* (3,6% prób z nicieniami) stwierdzony w nasadzeniach z ligustrem pospolitym *L. vulgare* (tab. 19). Gatunkami najczęściej stwierdzanymi w próbach pobranych z zieleńców miejskich były: *H. megidis*, zidentyfikowany w 46% prób (F = 37,5%), głównie w różankach oraz *S. feltiae* (34% prób z nicieniami) odnotowany na siedmiu stanowiskach (F = 43,8%), przeważnie w zadrzewieniach, rzadziej na terenach otwartych, często współwystępujący z innymi gatunkami nicieni (*S. silvaticum, S. affine* i *H. megidis* [tab. 18, 19]).

3.1.2.2. Obszary zieleni na terenach przemysłowych

Obecność nicieni owadobójczych na skwerach przylegających do zakładowych ciągów komunikacyjnych na terenie Elektrowni „Dolna Odra" stwierdzono w 20% pobranych prób (tab. 17). Częściej w miejscach nasłonecznionych bez zadrzewień, z roślinnością ruderalną, chociaż różnice te nie były istotne statystycznie ($p < 0,05$ [tab. 20]). Udział prób z nicieniami na poszczególnych stanowiskach był niski i nie przekraczał 33%. Na badanym terenie wyizolowano tylko dwa gatunki nicieni owadobójczych: *S. feltiae* (cztery stanowiska, F = 40%) i *H. megidis* (dwa stanowiska, F = 20% [tab. 18, 20]).

3.1.2.3. Agrocenozy (pola uprawne, użytki zielone, sady)

Występowanie nicieni owadobójczych stwierdzono w skrajnie zróżnicowanych typach agrocenoz (47% stanowisk z nicieniami), a ich udział na poszczególnych stanowiskach był stosunkowo wysoki i wahał się od 63 do 88%, z wyjątkiem pola uprawnego z owsem, gdzie wyniósł 33% (tab. 21). Częstość stwierdzeń nicieni w sadach była istotnie wyższa ($p < 0,05$) niż w innych agrocenozach (pola uprawne, użytki zielone). Ogółem badane ekosystemy charakteryzowały się największym zróżnicowaniem gatunkowym nicieni (tab. 18). Jednak frekwencja poszczególnych gatunków na badanych stanowiskach nie przekroczyła 20% (tab. 18). Spośród siedmiu gatunków sześć wyizolowano z agrocenoz (tab. 18, 21). Ponadto stwierdzono, że poszczególne gatunki nicieni były związane z określonymi typami agrocenoz. Na nasłonecznionych łąkach wystąpił *H. bacteriophora* (19% prób z nicieniami, F = 13,3%), w sadach *H. megidis* (28% prób z nicieniami, F = 13,3%) współwystępował z *S. feltiae* i *S. affine* lub z *S. feltiae* i *S. bicornutum* (tab. 18, 21). Nicienie *S. carpocapsae* stwierdzono tylko na jednym stanowisku (F = 6,7%), na polu uprawnym z owsem. Natomiast *S. feltiae* (24% prób z nicieniami, F = 20%) odnotowano zarówno na polach uprawnych, jak i w sadach, a nie stwierdzono w zbiorowiskach łąkowych (tab. 17, 18). Jedynie *S. affine* wystąpił zarówno w sadach, jak i na łąkach zalewowych (14% prób z nicieniami, F = 13,3%).

3.1.2.4. Kompleksy leśne

Obecność nicieni owadobójczych w ekosystemach leśnych stwierdzono w większości badanych stanowisk (ponad 70% stanowisk w lasach), we wszystkich typach siedliskowych lasu (tab. 22). Procentowy udział nicieni wyizolowanych ze zbiorowisk leśnych był porównywalny z wynikami uzyskanymi w zieleńcach miejskich i wyniósł ogółem 30% (tab. 17). W siedlisku lasu mieszanego świeżego nicienie stwierdzano istotnie częściej (44% prób z nicieniami) niż w obu siedliskach borowych łącznie ($p < 0,05$ [tab. 22]). Badane typy siedliskowe lasu charakteryzowały się niewielką różnorodnością gatunkową nicieni (tab. 22). Wszystkie trzy wyizolowane gatunki zaklasyfikowano do rodziny *Steinernematidae* (tab. 18). Ogółem w próbach dominował *S. feltiae* (69% prób z nicieniami), który wystąpił na 16 stanowiskach (F = 47,1%). Nieliczne stwierdzenia dotyczyły *S. affine* (F = 11,8% stanowisk) i *S. silvaticum* (F = 11,8% stanowisk [tab. 18]). Na czterech stanowiskach nicienie współwystępowały ze sobą: *S. feltiae* z *S. affine* (trzy stanowiska: jedno w borze mieszanym świeżym, a dwa w lesie mieszanym świeżym) lub *S. feltiae* z *S. silvaticum* (jedno stanowisko w borze świeżym [tab. 22]). W badanych kompleksach leśnych nie wyizolowano nicieni z rodziny *Heterorhabditidae* (17, 18, 22).

Tabela 22. Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w lasach RDLP Szczecin

Stanowisko	Liczba stanowisk	Typ siedliskowy lasu (szczegółowa charakterystyka w tab. 11–15)	Łączna liczba pobranych prób z każdego stanowiska	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba zidentyfikowanych próbek z nicieniami do gatunku:	*S. feltiae*	*S. silvaticum*	*S. affine*	*Steinernema* spp.
L21*, L22*, L23, L24*, L25* L26*, L30–L33, L34*, L35*, L36*, L37, L45*–L49*, L51*, L52, L53	20	bór świeży	87	24	28[b]	16	12	4	0	8
L24, L27*, L38*, L40*, L41*, L42, L44*, L54	8	las mieszany świeży	45	20	44[a]	17	10	1	6	3
L25, L28, L29*, L39*, L43, L50	6	bór mieszany świeży	33	6	18[b]	6	5	0	1	0
Razem	34		165	50		39	27	5	7	11

*stanowiska z nicieniami
[a, b] różnica istotna statystycznie ($p < 0,05$)

3.1.2.5. Pas wydm nadmorskich

W pasie wydm nadmorskich zanotowano najniższy, w porównaniu z innymi ekosystemami, udział nicieni owadobójczych w próbach (10% prób z nicieniami [tab. 17]) chociaż ich

obecność stwierdzono na połowie przebadanych stanowisk (tab. 23). Najczęściej nicienie izolowano ze strefy zalesionej i porośniętej różnymi typami nadmorskiego boru sosnowego (23% prób z nicieniami), rzadziej z wydmy szarej (9% prób z nicieniami). Natomiast z wydmy białej nie wyizolowano tych organizmów na żadnym z badanych stanowisk (tab. 23). Ogółem udział nicieni w zadrzewieniach nadmorskich (strefa 3) był istotnie wyższy niż w pozostałych badanych strefach nadmorskich ($p < 0,05$). Wśród trzech gatunków nicieni stwierdzonych na wydmach dominował *S. feltiae* (D = 50%, F = 25%), jedyny zidentyfikowanych przedstawiciel rodziny *Steinernematidae* (tab. 18). Rodzina *Heterorhabditidae* była reprezentowana przez *H. megidis* (D = 40%, F = 25%) i *H. bacteriophora* (D = 10%, F = 6,3% [tab. 18]). Na jednym stanowisku, w nadmorskim borze sosnowym, *S. feltiae* współwystępował z *H. megidis* (tab. 23).

Tabela 23. Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w pasie wydm nadmorskich na Pobrzeżu Szczecińskim

Stanowisko	Liczba stanowisk	Charakterystyka	Łączna liczba pobranych prób z każdego stanowiska	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba zidentyfikowanych próbek z nicieniami do gatunku:	*S. feltiae*	*H. bacteriophora*	*H. megidis*	*Steinernema* spp.
W63, W66, W69, W72,W75	5	wydma biała – strefa 1	35	0	0	0	0	0	0	0
W64, W67*, W70, W73*, W76*	5	wydma szara – strefa 2	35	3	9[b]	3	1	1	1	0
W65*, W68*, W71*, W74*, W77*	5	nadmorski bór sosnowy – strefa 3	35	8	23[a]	7	4	0	3	1
W78	1	skraj boru sosnowego z różą dziką *Rosa canina* L. – strefa 3	7	0	0	0	0	0	0	0
Razem	16		112	11		10	5	1	4	1

*stanowiska z nicieniami
[a, b] różnica istotna statystycznie ($p < 0,05$)

3.1.3. Wskaźnik podobieństwa faunistycznego nicieni

Najwyższy wskaźnik podobieństwa gatunkowego nicieni owadobójczych (Rhabditida: *Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) dla badanych ekosystemów zaobserwowano w przypadku terenów zadrzewionych, tj. zieleńców miejskich i sadów (88,9%) oraz zieleńców miejskich i lasów (66,7% [ryc. 3]). Wysoki 80-procentowy wskaźnik podobieństwa gatunkowego nicieni odnotowano także na terenach przemysłowych i na wydmach. Najniższy wskaźnik podobieństwa gatunkowego tych organizmów (33,3%) zaobserwowano pomiędzy terenami zadrzewionymi (sady, lasy) a terenami otwartymi (pola uprawne, użytki zielone, zieleń przemysłowa [ryc. 3]). Brak podobieństw w składzie gatunkowym nicieni odnotowano dla zieleni

przemysłowej i użytków zielonych (łąki, pastwiska) oraz pól uprawnych i użytków zielonych (ryc. 3).

	ZM	ZP	S	PU	UZ	KL	PW
ZM		57,1	88,9	28,6	28,6	66,7	50,0
ZP	●		66,7	50,0	0	33,3	80,0
S	■	□		33,3	33,3	50,0	57,1
PU	●	●	●		0	33,3	40,0
UZ	●	•	●	•		33,3	40,0
KL	□	●	●	●	●		28,6
PW	●	□	●	●	●	●	

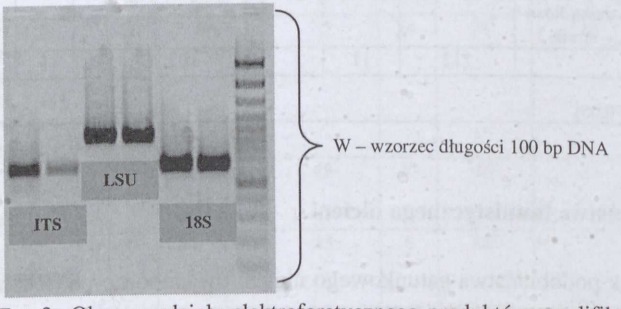
ZM – zieleń miejska; ZP – zieleń na terenach przemysłowych; S – sady; PU – pola uprawne; UZ – użytki zielone; KL – kompleksy leśne; PW – pasmo wydm nadmorskich.

• 0–20%, ● 21–40%, ● 41–60%, □ 61–80%, ■ 81–100%

Ryc. 3. Diagram podobieństwa faunistycznego pomiędzy badanymi ekosystemami dla fauny nicieni owadobójczych (*Rhabditida*: *Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*)

3.2. Diagnostyka molekularna nicieni owadobójczych pozyskanych z terenu

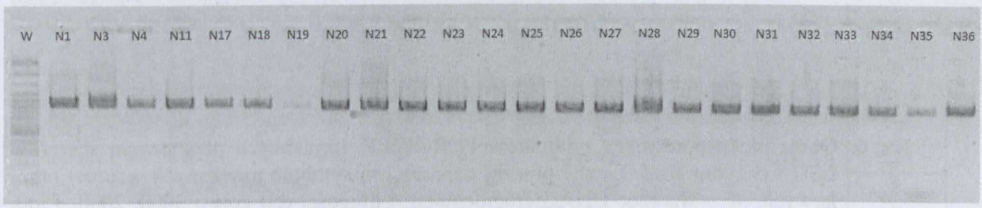
Na podstawie wstępnych analiz molekularnych, przeprowadzonych z zastosowaniem trzech różnych par starterów (fot. 3, tab. 24) i sześciu enzymów restrykcyjnych (AluI, HinfI, HhaI, HpyF3I, PvuII, RsaI) wytypowano zestaw starterów i enzymów, który umożliwił identyfikację wszystkich gatunków nicieni wyizolowanych z prób gleby pobranych w terenie i poddanych wcześniejszym oznaczeniom morfometrycznym. System ten opiera się na wybranej parze starterów (LSU–F i LSU–R) i dwóch restryktazach: HinfI i RsaI, (fot. 3, tab. 24).



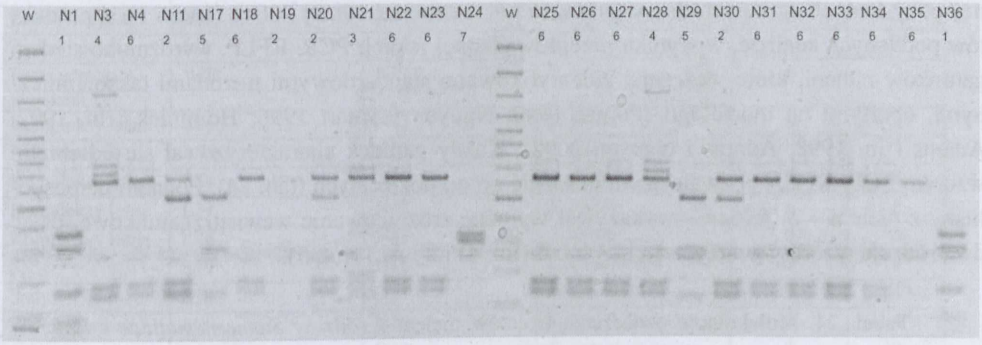
Fot. 3. Obraz rozdziału elektroforetycznego produktów amplifikacji PCR przy użyciu starterów: ITS, LSU i 18S

Produkty amplifikacji przy zastosowaniu starterów LSU–F i LSU–R stanowiły pojedynczy prążek o długości około 920–980 pz (fot. 4). Produkty amplifikacji trawione przez enzym HinfI pozwoliły uzyskać siedem wzorów oznaczonych symbolami 1–7 (fot. 5, tab. 24). Po zastosowaniu enzymu RsaI uzyskano sześć wzorów oznaczonych jako 1–4, 6, 7 (fot. 6, tab. 24).

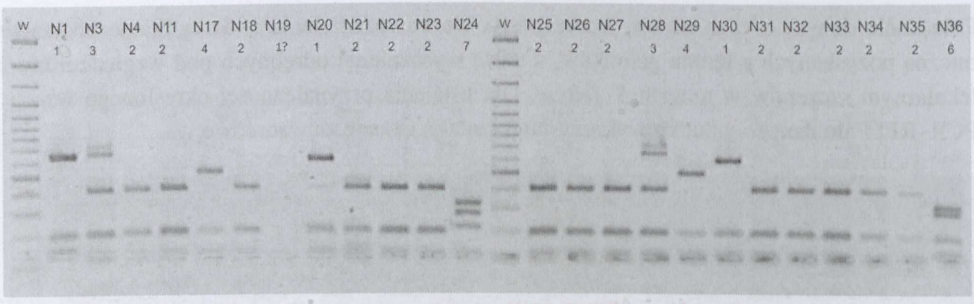
Połączenie danych z tych dwóch analiz pozwoliło na rozdzielenie i identyfikację taksonomiczną pozyskanych z terenu gatunków, a także wyróżnienie odrębnych pod względem molekularnym szczepów w ramach *S. feltiae*. Dla ustalenia przynależności określonego wzoru PCR–RFLP do danego gatunku wykorzystano izolaty, uznane za wzorcowe.



Fot. 4. Obraz elektroforetyczny produktów PCR, uzyskanych przy użyciu starterów LSU. W – wzorzec DNA z fragmentami o długości (od góry): 3000, 2000, 1500, 1200, 1031, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100 par zasad. Oznaczenia izolatów (szczegółowy opis w tabeli 1): N1 – *H. bacteriophora*; N3, N4, N18, N21–N23, N25–N28, N31–N35 – *S. feltiae*; N11 – *S. kraussei* (pochodzenie – izolat CND5, prof. Z. Mráček, Instytut Entomologii, Czeska Akademia Nauki, Českie Budějovice); N17, N29 – *S. bicornutum*; N19–N20, N30 – *S. silvaticum*; N24 – *S. carpocapsae*; N36 – *H. megidis*



Fot. 5. Obraz elektroforetyczny produktów PCR–RFLP, uzyskanych przy użyciu starterów LSU i enzymu HinfI. Liczby poniżej oznaczeń to symbole uzyskanych wzorów prążkowych. W – wzorzec DNA z fragmentami o długości (od góry): 3000, 2000, 1500, 1200, 1031, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100 par zasad. Oznaczenia izolatów (szczegółowy opis w tabeli 1): N1 – *H. bacteriophora*; N3, N4, N18, N21–N23, N25–N28, N31–N35 – *S. feltiae*; N11 – *S. kraussei* (pochodzenie – izolat CND5, prof. Z. Mráček, Instytut Entomologii, Czeska Akademia Nauki, Českie Budějovice); N17, N29 – *S. bicornutum*; N19–N20, N30 – *S. silvaticum*; N24 – *S. carpocapsae*; N36 – *H. megidis*



Fot. 6. Obraz elektroforetyczny produktów PCR–RFLP, uzyskanych przy użyciu starterów LSU i enzymu RsaI. Liczby poniżej oznaczeń to symbole uzyskanych wzorów prążkowych. W – wzorzec DNA z fragmentami o długości (od góry): 3000, 2000, 1500, 1200, 1031, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100 par zasad. Oznaczenia izolatów (szczegółowy opis w tabeli 1): N1 – *H. bacteriophora*; N3, N4, N18, N21–N23, N25–N28, N31–N35 – *S. feltiae*; N11 – *S. kraussei* (pochodzenie – izolat CND5, prof. Z. Mráček, Instytut Entomologii, Czeska Akademia Nauki, Českie Budějovice); N17, N29 – *S. bicornutum*; N19–N20, N30 – *S. silvaticum*; N24 – *S. carpocapsae*; N36 – *H. megidis*

Analizie molekularnej poddano 38 izolatów nicieni (33% wszystkich prób z nicieniami) pozyskanych z różnych ekosystemów w północno-zachodniej Polsce (aneks 1). Z produktów poddanych analizie, w wyniku przeprowadzonej reakcji PCR–RFLP, wyróżniono siedem gatunków nicieni, które wcześniej zidentyfikowano standardowymi metodami taksonomicznymi, opartymi na morfologii (Poinar 1990; Nguyen i Smart 1996; Hominick i in. 1997, Adams i in. 1998; Adams i Nguyen 2002). Każdy gatunek charakteryzował się odrębnym wzorem PCR–RFLP, pozwalającym odróżnić go od pozostałych (tab. 24). Ponadto najpospolitszy z nicieni – *S. feltiae* – wykazywał wyraźne zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe, dając dwa rodzaje wzorów genetycznych: 4 lub 6 (fot. 4) i 2 lub 3 (fot. 5).

Tabela 24. Molekularne oznaczenia izolatów nicieni z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* metodą PCR–RFLP, uzyskane przy użyciu starterów LSU i enzymów HinfI i RsaI

Ekosystem	Oznakowanie stanowiska (objaśnienie tabeli zbiorczej)	Numer identyfikacji genetycznej	Gatunek nicienia	Starter/Restryktaza dla reakcji PCR–RFLP	
				LSU/HinfI	LSU/RsaI
Użytki zielone (pastwiska, łąki)	D59	N01	*H. bacteriophora*	1	1
Pas wydm nadmorskich	W76	N05	*H. bacteriophora*	1	1
Użytki zielone (pastwiska, łąki)	D60	N13	*H. bacteriophora*	1	1
Zieleń miejska	M14	N36	*H. megidis*	1	6
Zieleń miejska	M6	N45	*H. megidis*	1	6
Zieleń miejska	M4	N19, N20, N30	*S. silvaticum*	2	1
Zieleń miejska	M4	N52	*S. silvaticum*	2	1
Kompleksy leśne	L40	N41	*S. affine*	3	2
Zieleń miejska	M5	N44	*S. affine*	3	2
Kompleksy leśne	L40	N08	*S. affine*	3	2

Tabela 24. Molekularne oznaczenia izolatów nicieni... (cd.)

Ekosystem	Oznakowanie stanowiska (objaśnienie tabeli zbiorczej)	Numer identyfikacji genetycznej	Gatunek nicienia	Starter/Restryktaza dla reakcji PCR-RFLP	
				LSU/HinfI	LSU/RsaI
Użytki zielone (pastwiska, łąki)	D56	N09	*S. affine*	3	2
Użytki zielone (pastwiska, łąki)	D56	N14	*S. affine*	3	2
Kompleksy leśne	L24	N02	*S. feltiae*	4	3
Kompleksy leśne	L26	N03, N15, N28	*S. feltiae*	4	3
Kompleksy leśne	L25	N07	*S. feltiae*	4	3
Kompleksy leśne	L40	N04	*S. feltiae*	6	2
Kompleksy leśne	L24	N06	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M15	N18	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M8	N22	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M3	N23	*S. feltiae*	6	2
Pola uprawne	A79	N25	*S. feltiae*	6	2
Kompleksy leśne	L25	N26	*S. feltiae*	6	2
Kompleksy leśne	L26	N27	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M5	N21, N31	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M5	N32	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M5	N33	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M6	N34	*S. feltiae*	6	2
Zieleń miejska	M6	N35	*S. feltiae*	6	2
Pas wydm nadmorskich	W68	N37	*S. feltiae*	6	2
Kompleksy leśne	L26	N43	*S. feltiae*	6	2
Pola uprawne	A79	N38	*S. feltiae*	6	2
Kompleksy leśne	L24	N40	*S. feltiae*	6	2
Kompleksy leśne	L27	N42	*S. feltiae*	6	2
Kompleksy leśne	L26	N48	*S. feltiae*	6	2
Sady	S19	N16	*S. bicornutum*	5	4
Sady	S19	N17	*S. bicornutum*	5	4
Zieleń miejska	M3	N29	*S. bicornutum*	5	4
Pola uprawne	A79	N24	*S. carpocapsae*	7	7

3.3. Powiązania nicieni z owadami

Większość prób glebowych (64% prób) pobrano ze środowisk, w których stwierdzono liczne występowanie, a nawet gradacje fitofagów. Dotyczyło to głównie obszarów zieleni miejskiej (20% prób), sadów i pól uprawnych (7% prób) oraz dużych, zwartych kompleksów leśnych (37% prób). Stopień zagrożenia roślin przez szkodniki w wybranych ekosystemach opisano szczegółowo w rozdziale 2 „Materiały i metody".

3.3.1. Kompleksy leśne

Badania w dużych kompleksach leśnych prowadzono na terenie pięciu nadleśnictw, zarządzanych przez RDLP Szczecin, w następujących typach siedliskowych lasu: bór świeży

(Bśw – 18 stanowisk), bór mieszany świeży (BMśw – 7 stanowisk) i las mieszany świeży (LMśw – 7 stanowisk [szczegółowa charakterystyka w tab. 8–12]). W ogniskach gradacyjnych, zlokalizowanych głównie w drzewostanach sosnowych, stwierdzono występowanie pięciu szkodników pierwotnych, które część swojego cyklu rozwojowego odbywają w glebie (przepoczwarczenie, zimowanie [tab. 25]). Należały do nich: trzy gatunki motyli *Lepidoptera* (*Lasiocampidae*: barczatka sosnówka *D. pini*, *Geometridae*: poproch cetyniak *B. piniastris* i *Noctuidae*: strzygonia choinówka *P. flammea*), boreczniki zaliczane do błonkówek (*Hymenoptera*: *Diprionidae*) oraz chrząszcze *M. melolontha* L. (*Coleoptera*: *Scarabaeidae*).

Tabela 25. Występowanie nicieni owadobójczych w ogniskach gradacyjnych wybranych szkodników pierwotnych w zbiorowiskach leśnych

Żywiciel	Barczatka sosnówka *Dendrolimus pini* L. (*Lepidoptera*)	Poproch cetyniak *Bupalus piniastris* L. (*Lepidoptera*)	Strzygonia choinówka *Panolis flammea* Den et. Schaff. Poproch cetyniak *Bupalus piniastris* L. (*Lepidoptera*)	Boreczniki *Diprionidae* (*Hymenoptera*)	Pędraki *Melolontha melolontha* L. (*Coleoptera*)
stanowisko*	L21–L23, L30–L37	L50–L54	L24–L26	L45–L49	L27–L29, L38–L44
Łączna liczba pobranych prób z każdego stanowiska	42	15	18	30	60
Liczba prób z nicieniami	6	4	10	11	19
Liczba prób z więcej niż z jednym zidentyfikowanym gatunkiem nicienia	0	0	0	0	0
Procentowy udział prób z nicieniami	14	27	55	37	32
Liczba prób z nicieniami zidentyfikowanymi do gatunku:	5	4	10	4	16
S. feltiae	5	2	10	1	9
S. silvaticum	–	2	–	3	–
S. affine	–	–	–	–	7
*szczegółowy opis stanowisk w rozdziale 2 „Materiały i metody"					

Najwięcej prób glebowych pobrano w miejscach masowego żerowania pędraków *M. melolontha* (36% prób) w nadleśnictwach Łobez i Międzychód (tab. 9, 11) oraz barczatki sosnówki *D. pini* stwierdzonej w Puszczy Noteckiej (25% prób [tab. 11, 12]). Jednak najwyższy procent prób z nicieniami (55% prób) odnotowano na stanowiskach ze strzygonią choinówką *P. flammea* i poprochem cetyniakiem *B. piniastris* w Nadleśnictwie Międzychód, gdzie współwystępowały one ze sobą (tab. 25). Natomiast w Nadleśnictwie Trzebież w ogniskach gradacyjnych z samym poprochem *B. piniastris* udział prób z nicieniami nie przekroczył 30% (tab. 25). Nieco wyższy procent pozytywnych prób z nicieniami (37% prób) uzyskano w drzewostanie z borecznikami, a najniższy w miejscu żerowania barczatki sosnówki (tylko 14% [tab. 25]).

W badanych kompleksach leśnych stwierdzono trzy gatunki nicieni z rodziny *Steinernematidae*, w tym nowy gatunek dla fauny Polski – *S. silvaticum* (tab. 25). Nie wyizolowano natomiast nicieni z rodziny *Heterorhabditidae*. Najpospolitszy w lasach okazał się *S. feltiae*, który wystąpił na wszystkich badanych stanowiskach, bez względu na gatunek owada żerującego w danym miejscu. Najczęściej jednak notowany był w próbach pobranych z drzewostanów zasiedlanych jednocześnie przez strzygonię choinówkę *P. flammea* i paprocha cetyniaka *B. piniastris*, a także w miejscach żerowania pędraków (tab. 25). Najrzadziej w borach sosnowych z samym poprochem cetyniakiem (Nadleśnictwo Trzebież) i z borecznikami (Nadleśnictwo Kliniska), w których częściej był notowany *S. silvaticum*. Należy zwrócić uwagę, że *S. affine* wystąpił jedynie w ogniskach gradacyjnych z pędrakami *M. melolontha*. Ponieważ jednak nicienie te nie zostały jak dotąd wyizolowane z pędraków chrabąszczy, nie można wykluczyć znaczenia innych owadów, występujących w glebach leśnych, dla rozwoju i zachowania w środowisku *S. affine*.

Zagęszczenie nicieni owadobójczych na poszczególnych stanowiskach było zróżnicowane i zależało od miejsca oraz terminu poboru gleby (ryc. 4). Najwyższe, średnie zagęszczenie larw inwazyjnych zanotowano latem (ponad 140 tys. osobników na metr kwadratowy) na stanowiskach ze strzygonią *P. flammea* i poprochem *B. piniastris*, a także w miejscach występowania pędraków (przykładowo stanowisko L40 [ryc. 4]). Natomiast najniższe średnie zagęszczenie nicieni stwierdzono na stanowiskach zasiedlanych przez barczatkę sosnówkę *D. pini*. W miejscach żerowania paprocha cetyniaka *B. piniastris* nicienie wyizolowano z gleby tylko jesienią (przy średnim zagęszczeniu od 5 do 22 tys. osobników na metr kwadratowy na poszczególnych stanowiskach [ryc. 4]).

3.3.2. Obszary zieleni miejskiej (urbicenozy)

W alejach parkowych i wzdłuż ciągów komunikacyjnych obsadzonych kasztanowcami (*Aesculus x carnea* L., *Aesculus hippocastanum* L.) zaobserwowano masowe (do 80% uszkodzeń liści) pojawianie się szrotówka kasztanowcowiaczka *Cameraria ohridella* Descha & Dimić (*Lepidoptera*: *Gracillariidae*) – tabela 2. Liczne uszkodzenia liści i żołędzi (40–55%) dębów (*Quercus rob*ur L., *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) powodował słonik żołędziowiec *Curculio glandium* Marsh. oraz błonkówki z rodziny galasówkowatych (*Cynipidae*: *Biorrhiza pallida* Ol., *Neuroterus quercusbaccarum* L.). Żywopłoty z ligustrem pospolitym były najczęściej zasiedlane przez opuchlaki (*Coleoptera*: *Otiorhynchus rotundatus* Siebold), a róże przez liczne gatunki owadów z rzędu *Hymenoptera* (*Tenthredinidae*: *Blennocampa pusilla* Klug, *Ardis brunniventris* Htg., *Emphytus cinctus* L., Argidae: *Arge spp.* [tab. 2]).

Nicienie owadobójcze stwierdzono w ponad 30% prób pobranych ze skwerów i zieleńców miejskich (tab. 17, 26). Większość z nich zidentyfikowano do gatunku. Najwięcej prób z nicieniami odnotowano w miejscach żerowania błonkówek *Hymenoptera* i słonika żołędziowca *C. glandium* (od 29% do 100% [tab. 26]). Najmniej na stanowiskach ze szrotówkiem kasztanowcowiaczkiem *C. ohridella* (tylko 6%). Spośród wyizolowanych nicieni, cztery gatunki zaklasyfikowano do rodziny *Steinernematidae*. Najpospolitszy z tej rodziny – *Steinernema feltiae* (34% stwierdzeń) – wystąpił we wszystkich badanych zbiorowiskach, naj-

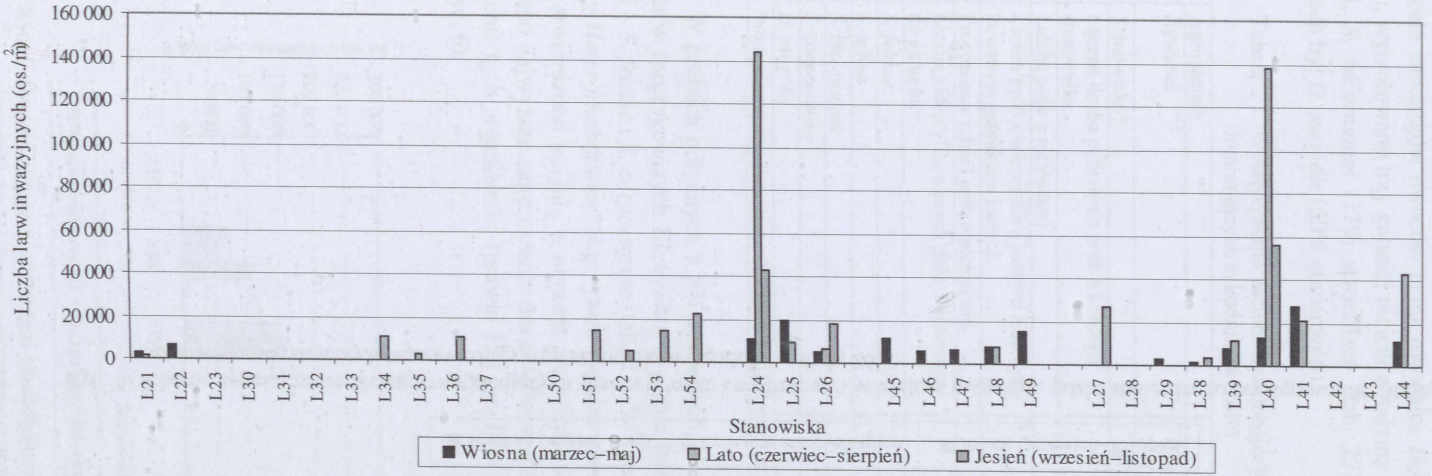
częściej jednak współwystępował ze *S. affine* (16% stwierdzeń), w alejach z dębami uszkadzonymi przez *C. glandium* (tab. 26). W zieleni miejskiej stwierdzono także dwa rzadkie gatunki nicieni ze *Steinernematidae*, tj. *Steinernema silvaticum* (6% stwierdzeń), wyizolowany z gleby leśnej, spod dębów licznie zasiedlonych przez błonkówki z rodziny galasówkowatych *Cynipidae* i *S. bicornutm* (3% stwierdzeń), odnotowany w miejscu żerowania opuchlaków (tab. 2). Jedyny przedstawiciel rodziny *Heterorhabditidae* – *Heterorhabditis megidis* – był jednocześnie najczęściej stwierdzanym gatunkiem w zieleńcach miejskich (46% stwierdzeń). Głównie w ozdobnych nasadzeniach róż zasiedlanych przez roślinarki (*Hymenoptera*: *Symphyta*), sporadycznie w zadrzewieniach parkowych, gdzie żerowały chrząszcze ryjkowcowate (*Curculionidae* [tab. 26]). Najwyższe zagęszczenie nicieni zanotowano wiosną (maksymalnie 390 tys. larw J_3/m^2) w miejscu występowania błonkówek z rodziny *Cynidae* (stanowisko M4) oraz w nasadzeniach róż (stanowiska: M9, M10 i M12), gdzie średnie zagęszczenie nicieni wyniosło ponad 100 tys. larw inwazyjnych J_3/m^2 (tab. 26, ryc. 5).

Tabela 26. Występowanie nicieni owadobójczych w zieleni miejskiej zasiedlanej przez różne gatunki fitofagów

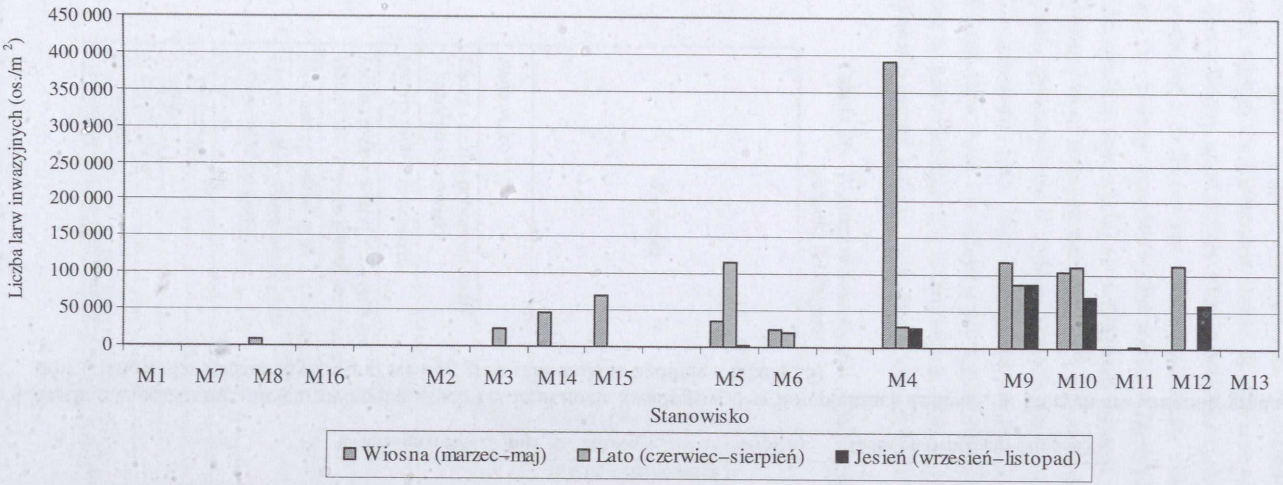
Żywiciel	*Camerania ohridella* Descha & Dymić (*Lepidoptera*)	*Otiorhynchus rotundatus* Siebold *Sitona* spp. (*Coleoptera*)	*Curculio glandium* Marsh. (*Coleoptera*)	*Biorrhiza pallida* Ol. *Neuroterus quercusbaccarum* L. (*Hymenoptera*)	*Blennocampa pusilla* Klug *Ardis brunniventris* Htg. *Arge* spp *Emphytus cinctus* L. (*Hymenoptera*)
stanowisko*	M1, M7, M8, M16	M2, M3, M14, M15	M5, M6	M4	M9–M13
Łączna liczba pobranych prób z każdego stanowiska	16	16	14	3	42
Liczba prób z nicieniami	1	4	8	3	12
Liczba prób z więcej niż z jednym zidentyfikowanym gatunkiem nicieni	0	1	2	1	4
Procentowy udział prób z nicieniami	6	25	57	100	29
Liczba zidentyfikowanych prób z nicieniami do gatunku:	1	4	8	3	12
S. feltiae	1	2	6	1	1
S. silvaticum	–	–	–	2	–
S. affine	–	–	4	–	1
S. bicornutum	–	1	–	–	–
H. megidis	–	2	1	–	10
*szczegółowy opis stanowisk w rozdziale 2 „Materiały i metody”					

3.3.3. Pola uprawne i sady

Udział prób z nicieniami był znacząco wyższy w sadach niż na polach uprawnych i wyniósł odpowiednio 63 i 25% (tab. 27). W sadach, gdzie obserwowano wysoki stopień



Ryc. 4. Średnie zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w kompleksach leśnych, w których stwierdzono gradacje owadów (stanowiska usystematyzowano według grup szkodników zgodnie z tabelą 25)



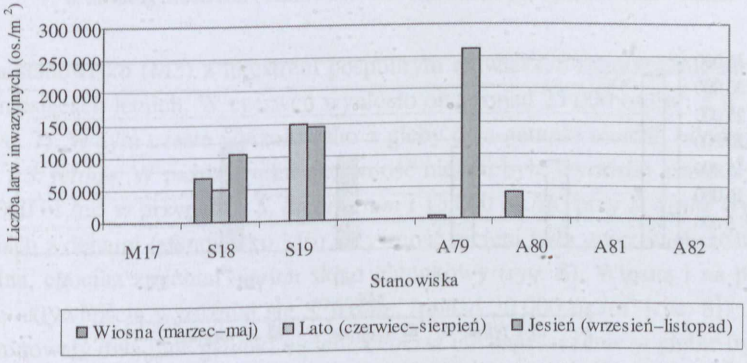
Ryc. 5. Średnie zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w zieleni miejskiej, gdzie stwierdzono występowanie fitofagów (stanowiska usystematyzowano według grup szkodników zgodnie z tabelą 26)

porażenia zawiązków owoców przez owocnice *Hoplocampa* spp. (*Hymenoptera*: *Tenthredinidae*), wyizolowano trzy gatunki nicieni z rodziny *Steinernematidae*, w tym rzadki dla fauny Polski, *S. bicornutum* (17% stwierdzeń [tab. 27]). Najczęściej występującym gatunkiem w sadach był *H. megidis* (50% stwierdzeń).

Tabela 27. Występowanie nicieni owadobójczych w wybranych agrocenozach w obecności dominujących szkodników roślin

Agrocenozy	Sady	Pola uprawne
Żywiciel	*Hoplocampa* spp. *Hymenoptera*	*Elateridae Coleoptera*
Stanowisko*	M17, S18, S19	A79–A82
Łączna liczba pobranych prób z każdego stanowiska	19	12
Liczba prób z nicieniami	12	3
Liczba prób z więcej niż z jednym zidentyfikowanym gatunkiem nicieni	0	0
Procentowy udział prób z nicieniami	63	25
Liczba zidentyfikowanych prób z nicieniami do gatunku:	12	3
S. feltiae	3	2
S. affine	1	–
S. bicornutum	2	–
S. carpocapsae	–	1
H. megidis	6	–
*szczegółowy opis stanowisk w rozdziale 2 „Materiały i metody"		

W próbach pobranych z pól uprawnych, charakteryzujących się wysokim zagęszczeniem larw sprężykowatych *Elateridae* w glebie (tab. 5), zidentyfikowano tylko dwa gatunki nicieni – *S. feltiae* i *S. carpocapsae* (tab. 27). W agrocenozach tych nie wyizolowano nicieni z rodziny *Heterorhabditidae*. Najwyższe zagęszczenie nicieni owadobójczych (ponad 250 tys. J_3/m^2) stwierdzono jesienią w uprawie jęczmienia (stanowisko A79), gdzie jednocześnie zanotowano najwyższe zagęszczenie drutowców w glebie (tab. 5, ryc. 6). Latem najwyższe zagęszczenie tych organizmów (prawie 150 tys. J_3/m^2) zarejestrowano w sadzie na stanowisku S19 (ryc. 6).



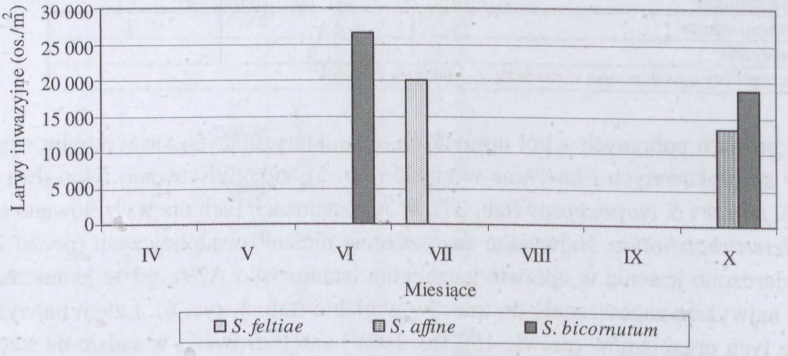
Ryc. 6. Średnie zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w wybranych agrocenozach (stanowiska usystematyzowano wg grup szkodników zgodnie z tabelą 27)

3.4. Sezonowa dynamika aktywności nicieni w wybranych ekosystemach

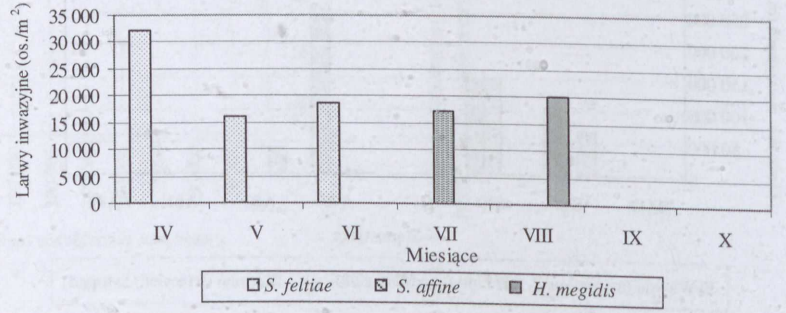
Analizując wyniki badań w aglomeracji miejskiej (urbicenozy) oraz w sadach stwierdzono, że zagęszczenie nicieni owadobójczych na wybranych stanowiskach zmieniało się w sezonie (ryc. 7–12). Łącznie zidentyfikowano cztery gatunki nicieni, które w większości miejsc współwystępowały ze sobą. Na sześciu, z siedmiu badanych stanowisk, wykazano obecność *S. feltiae*.

3.4.1. Obszary zieleni miejskiej (urbicenozy)

W zadrzewieniach parkowych z dębem szypułkowym *Quercus rob*ur L. (stanowisko M6) oraz z ligustrem pospolitym *Ligustrum vulgare* L. (stanowisko M3) odnotowano trzy gatunki nicieni z rodziny *Steinernematidae*. Dwa z nich, tj. *S. feltiae* i *S. affine* wystąpiły na obu wymienionych stanowiskach (ryc. 7, 8), natomiast trzeci – *S. bicornutum* – tylko w miejscu żerowania opuchlaków (ryc. 7). Rodzinę *Heterorhabditidae* reprezentował *H. megidis*, odnotowany na stanowisku ze słonikiem żołędziowcem *C. glandium* Marsh. (ryc. 8).

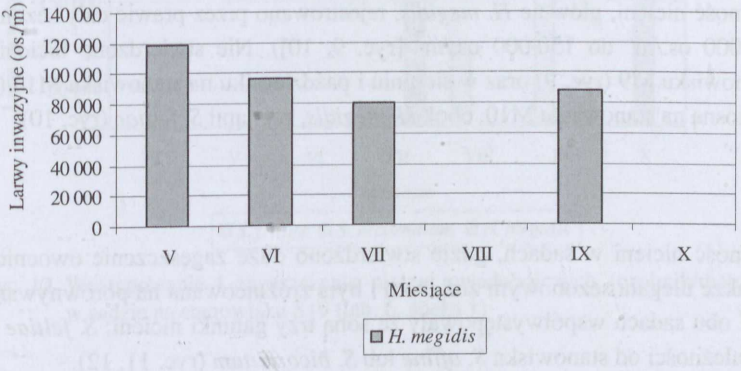


Ryc. 7. Występowanie i zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w parku miejskim wzdłuż żywopłotu z ligustrem pospolitym *Ligustrum vulgare* L. (stanowisko M3, tab. 2, aneks 1)

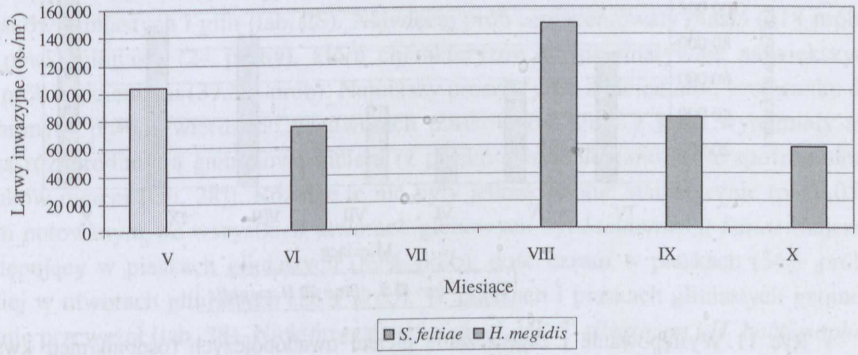


Ryc. 8. Występowanie i zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w zadrzewieniach z dębem szypułkowym *Quercus rob*ur L. (stanowisko M6, tab. 2, aneks 1)

W ozdobnych nasadzeniach róż, gdzie dominował *H. megidis*, różnorodność gatunkowa nicieni była mniejsza niż w parkach miejskich (ryc. 9, 10).



Ryc. 9. Zagęszczenie *Heterorhabditis megidis* (osobnik/metr kwadratowy) w nasadzeniach róż (stanowisko M9, tab. 2, aneks 1)



Ryc. 10. Występowanie i zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w nasadzeniach róż (stanowisko M10, tab. 2, aneks 1)

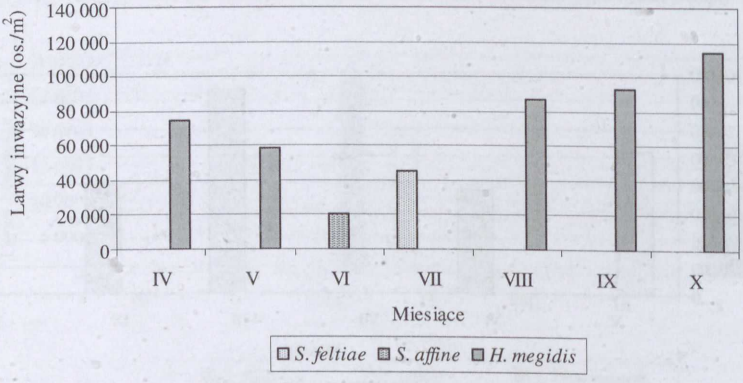
Na stanowisku (M3) z ligustrem pospolitym największe zagęszczenie nicieni zanotowano w miesiącach letnich. W czerwcu wyniosło ono ponad 25 000 os./m^2, a w lipcu 20 000 os./m^2 (ryc. 7). W tym czasie wyizolowano z gleby dwa gatunki nicieni, odpowiednio *S. bicornutum* i *S. feltiae*. W październiku aktywność nicieni była wyraźnie niższa i nie przekroczyła 20 000 os./m^2 w przypadku *S. bicornutum* i 15 000 os./m^2 przy *S. affine* (ryc. 7). W zadrzewieniach z dębami (stanowisko M6) aktywność nicieni była przez większość sezonu porównywalna, chociaż zmieniał się ich skład gatunkowy (ryc. 8). Wiosną i na początku lata najwyższą aktywnością wyróżniał się *S. feltiae*, (ponad 30 000 os./m^2 [ryc. 8]). Latem natomiast dominowały dwa inne gatunki nicieni, chociaż ich zagęszczenie w glebie było wyraźnie niższe niż maksymalne zagęszczenie *S. feltiae* wiosną (ryc. 8). W lipcu stwierdzono *S. affine*

(ponad 17 000 os./m^2), a w sierpniu *H. megidis* (20 000 os./m^2). Jesienią na stanowisku M6 nie wyizolowano nicieni owadobójczych z gleby (ryc. 8).

W ozdobnych nasadzeniach róż zasiedlanych przez rośliniarki *Symphyta* stosunkowo wysoką aktywność nicieni, głównie *H. megidis*, rejestrowano przez prawie cały sezon wegetacyjny (od 60 000 os./m^2 do 150 000 os./m^2 [ryc. 9, 10]). Nie stwierdzono nicieni jedynie w lipcu na stanowisku M9 (ryc. 9) oraz w sierpniu i październiku na stanowisku M10 (ryc. 10). Dodatkowo wiosną na stanowisku M10, obok *H. megidis*, wystąpił *S. feltiae* (ryc. 10).

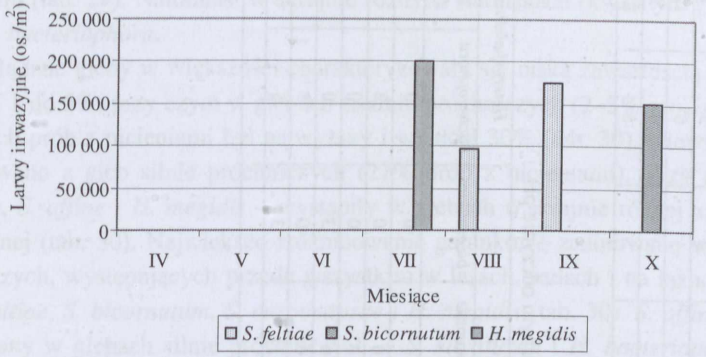
3.4.2. Sady

Aktywność nicieni w sadach, gdzie stwierdzono duże zagęszczenie owocnic *Hoplocampa* spp., także ulegała sezonowym zmianom i była zróżnicowana na porównywanych stanowiskach. W obu sadach współwystępowały ze sobą trzy gatunki nicieni: *S. feltiae* i *H. megidis* oraz w zależności od stanowiska *S. affine* lub *S. bicornutum* (ryc. 11, 12).



Ryc. 11. Występowanie i zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w sadzie na stanowisku S18 (tab. 6, aneks 1)

W sadzie na obrzeżach miasta (stanowisko S18, tab. 6, aneks 1) nicienie izolowano regularnie przez cały sezon wegetacyjny (ryc. 11). Wiosną, późnym latem i jesienią dominował *H. megidis*, którego najwyższe zagęszczenie zanotowano w październiku (ponad 114 000 os./m^2). W czerwcu i w lipcu zagęszczenie nicieni w glebie było w tym sadzie najniższe i wynosiło od 20 000 do ok. 40 000 os./m^2 (ryc. 11). W tym czasie wyizolowano dwa gatunki – *S. affine* i *S. feltiae*. Natomiast w sadzie zlokalizowanym w pobliżu zakładów przemysłowych (stanowisko S19, tab. 6, aneks 1) najwyższe zagęszczenie nicieni zanotowano w lipcu (200 000 os./m^2), gdy z gleby wyizolowano *H. megidis* (ryc. 12). Stosunkowo wysokie zagęszczenie (ponad 150 000 os./m^2) nicieni *S. feltiae* i *S. bicornutum* zanotowano na stanowisku S19 także jesienią.



Ryc. 12. Występowanie i zagęszczenie nicieni owadobójczych (osobnik/metr kwadratowy) w sadzie na stanowisku S19 (tab. 6, aneks 1)

3.5. Powiązania nicieni z glebą

Glebę pobraną z różnych typów ekosystemów zaklasyfikowano do trzech grup: piasków, piasków gliniastych i glin (tab. 28). Najwięcej prób reprezentowały piaski (318 prób), najmniej piaski gliniaste (24 próby), które charakteryzowały się relatywnie największym udziałem prób z nicieniami (37,5% prób). Najniższy procent prób z nicieniami, w stosunku do ogółu pobranych prób, stwierdzono w utworach piaskowych, które z kolei wyróżniały się największą różnorodnością gatunkową nicieni (z piasków wyizolowano sześć spośród siedmiu gatunków nicieni [tab. 28]). Różnice te nie były jednak istotne statystycznie ($p < 0,05$). Gatunkiem notowanym we wszystkich utworach glebowych był *Steinernema feltiae*, najczęściej występujący w piaskach gliniastych (89% prób), dość często w piaskach (54% prób) i najrzadziej w utworach gliniastych (28% prób). W piaskach i piaskach gliniastych gatunek ten wyraźnie przeważał (tab. 28). Niektóre gatunki nicieni, jak *S. silvaticum* i *H. bacteriophora* oraz *S. carpocapsae*, stwierdzono tylko w jednym rodzaju gleby. Dwa pierwsze gatunki stwierdzono wyłącznie w piaskach, a kolejny w piaskach gliniastych (tab. 28). Natomiast w utworach gliniastych dominował *H. megidis* (47% prób).

Odczyn próbek glebowych dla pH mieścił się w zakresie od bardzo kwaśnego do zasadowego (tab. 29). Najwięcej prób (172) pobranych z terenu posiadało odczyn bardzo kwaśny ($pH < 4,5$). Dotyczyło to głównie gleb leśnych, skąd pozyskano także najwięcej izolatów z nicieniami (tab. 29). Nieco mniejszy udział miały gleby z odczynem obojętnym (127 prób), pochodzące głównie z urbicenoz i terenów przemysłowych oraz gleby z odczynem zasadowym (108 prób), stwierdzone przede wszystkim na wydmach. W glebach zasadowych pozyskano najmniej prób z nicieniami (tylko 12% [tab. 29]). Najbardziej elastycznym siedliskowo gatunkiem był *S. feltiae*, który został stwierdzony zarówno w glebach o odczynie kwaśnym, obojętnym, jak i zasadowym. Jednak najwięcej izolatów tego gatunku pozyskano z gleb bardzo kwaśnych (64% [tab. 29]). W kwaśnym środowisku glebowym ($pH < 4,5$) stwierdzono także obecność rzadkich gatunków nicieni, jak *S. silvaticum* i *S. carpocapsae* (tab. 29). Nicienie *S. bicornutum* i *H. megidis* a także *S. affine* znajdowano głównie w glebach z odczynem

Tabela 28. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w różnych rodzajach gleby

Rodzaj gleby	Łączna liczba prób	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba prób z nicieniami zidentyfikowanymi do gatunku	*Steinernema*					*Heterorhabditis*	
					feltiae	*silvaticum*	*affine*	*carpocapsae*	*bicornutum*	*bacteriophora*	*megidis*
Piaski	318	74	23	63	34	7	7	0	2	5	8
Gliny	111	33	30	36	10	0	8	0	1	0	17
Piaski gliniaste	24	9	37,5	9	8	0	0	1	0	0	0
Razem	453	116		108	52	7	15	1	3	5	25

Tabela 29. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w glebach o różnym odczynie pH

Odczyn gleby (pH/KCl)*	Łączna liczba prób	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba prób z nicieniami zidentyfikowanymi do gatunku	*Steinernema*					*Heterorhabditis*	
					feltiae	*silvaticum*	*affine*	*carpocapsae*	*bicornutum*	*bacteriophora*	*megidis*
Bardzo kwaśny (< 4,5)	172	50	29	39	25	7	4	1	0	0	1
Kwaśny (4,5–5,5)	35	13	37	14	8	0	3	0	0	2	1
Lekko kwaśny (5,5–6,5)	11	5	45	5	2	0	0	0	0	0	0
Obojętny (6,5–7,2)	127	35	27,5	37	11	0	7	0	3	0	19
Zasadowy (> 7,2)	108	13	12	13	6	0	1	0	0	3	4
Razem	453	116		108	52	7	15	1	3	5	25

*skala wg Mocek i in. 1997

obojętnym (tab. 29). Natomiast w skrajnie różnych siedliskach (kwaśnym i zasadowym) wystąpił *H. bacteriophora*.

Badane gleby w większości charakteryzowały się niską zawartością próchnicy wynoszącą od 1 do 5%, przy czym w glebach średnio próchniczych (2–5% próchnicy) procent pozyskanych prób z nicieniami był najwyższy i wyniósł 30% (tab. 30). Niewiele mniej nicieni wyizolowano z gleb silnie próchniczych (27% prób z nicieniami). Trzy gatunki nicieni – *S. feltiae*, *S. affine* i *H. megidis* – wystąpiły w glebach o skrajnie różnej zawartości materii organicznej (tab. 30). Największe zróżnicowanie gatunkowe zanotowano w glebach średnio próchniczych, występujących przede wszystkim w lasach, sadach i na łąkach, które preferował *S. feltiae*, *S. bicornutum*, *S. carpocapsae* i *H. megidis* (tab. 30). *S. affine* był najczęściej stwierdzany w glebach silnie próchniczych, a *S. silvaticum* i *H. bacteriopohora* w glebach o niskim udziale materii organicznej (tab. 30).

Niska zawartość, poniżej 1%, węglanu wapnia ($CaCO_3$) w analizowanych glebach oraz niskie ich zasolenie wynoszące od 0,01 do 0,75 g NaCl/l, średnio jednak od 0,06 do 0,2 g NaCl/l, nie miały wpływu na występowanie i zróżnicowanie gatunkowe nicieni w badanych środowiska (tab. 31).

Obecność nicieni owadobójczych zanotowano zarówno w glebach o bardzo niskiej wilgotności wynoszącej średnio 1,53% – w pasie wydm nadmorskich, jak i w glebach o wilgotności przekraczającej 22% – na łąkach i pastwiskach (tab. 31). Ogółem najmniejsze zróżnicowanie gatunkowe nicieni stwierdzono w glebach o wilgotności powyżej 22%, gdzie wyróżniono tylko dwa gatunki: *S. affine* i *H. bacteriophora* (tab. 31). W glebach tych nie stwierdzono najpospolitszego gatunku, tj. *S. feltiae*, który dla odmiany wyizolowano z miejsc o najniższej wilgotności (1,53%) wraz z dwoma gatunkami z rodziny *Heterorhabditidae* (tab. 31). Na wydmach ze skrajnie niską zawartością wody w warstwach powierzchniowych (do 30 cm) nie wystąpił *S. affine*, który raczej preferował gleby o wilgotności powyżej 10%. Pozostałe gatunki jak *S. bicornutum* i *S. silvaticum* znajdowano w glebach o średniej wilgotności od 10,32 do 14,25% (tab. 31).

Na podstawie przeprowadzonej analizy redundancji stwierdzono, że zastosowane w ordynacji zmienne środowiskowe wyjaśniają jedynie 5,1% ogólnego zróżnicowania gatunkowego nicieni owadobójczych w badanych ekosystemach. Diagram ordynacyjny RDA ilustruje położenie gatunków nicieni w przestrzeni ordynacyjnej osi I i II oraz kierunki natężenia zamiany wielkości parametrów siedliskowych (ryc. 13). Z pierwszą osią ordynacyjną (RDA I) w największym stopniu skorelowany jest odczyn gleby, natomiast z drugą osią (RDA II) – wilgotność gleby (tab. 32, ryc. 13). Najsilniej skorelowane z wilgotnością podłoża są gatunki nicieni *S. affine* i *H. bacteriophora*, a z zasoleniem *H. megidis*. Badana korelacja pomiędzy gatunkami nicieni i zmiennymi środowiskowymi nie jest istotna statystycznie przy $p > 0,05$ (test Monte Carlo).

Tabela 30.Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w glebach o różnej zawartości próchnicy

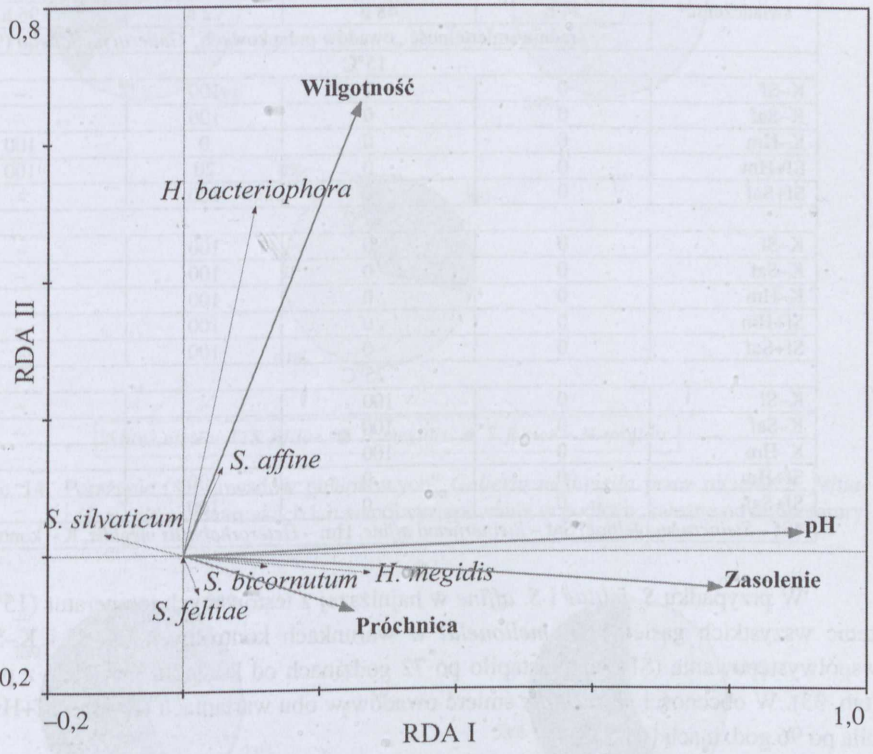
Zawartość próchnicy (%)*	Łączna liczba prób	Liczba prób z nicieniami	Procentowy udział prób z nicieniami	Liczba prób z nicieniami zidentyfikowanymi do gatunku:	*Steinernema*					*Heterorhabditis*	
					feltiae	*silvaticum*	*affine*	*carpocapsae*	*bicornutum*	*bacteriophora*	*megidis*
Gleby słabo próchniczne 1–2%	148	27	18	26	15	4	5	0	0	3	4
Gleby średnio próchnicze 2–5%	212	64	30	56	24	0	3	1	3	2	12
Gleby silnie próchnicze > 5%	93	25	27	26	13	3	7	0	0	0	9
Razem	453	116		108	52	7	15	1	3	5	25
*skala wg Mocek i in. 1997											

Tabela 31. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w wybranych ekosystemach o różnej wilgotności i zasoleniu gleby

Ekosystem	Łączna liczba pobranych prób z każdego stanowiska	Liczba prób z nicieniami zidentyfikowanymi do gatunku	Wilgotność gleby (%)		Zasolenie g NaCl/l		*S. feltiae*	*S.silvaticum*	*S. affine*	*S. bicornutum*	*H. bacteriophora*	*H. megidis*
			wartość średnia	zakres	wartość średnia	zakres						
Zieleń miejska	91	32	14,25	4,1–38,5	0,20	0,08–0,75	11	2	5	1	0	13
Sady	19	12	10,99	8,77–12,1	0,15	0,11–0,23	3	0	1	2	0	6
Użytki zielone (pastwiska, łąki)	24	6	22,38	12,3–46	0,11	0,02–0,2	0	0	2	0	4	0
Kompleksy leśne	165	39	10,32	3,0–17,5	0,06	0,01–0,13	27	5	7	0	0	0
Pas wydm nadmorskich	112	10	1,53	0,1–3,9	0,09	0,03–0,27	5	0	0	0	1	5

Tabela 32. Współczynnik korelacji między parametrami środowiskowymi i czterema osiami ordynacji analizy redundacji (RDA)

Oś	RDA I	RDA II	RDA III	RDA IV
pH/KCl	0,2634	0,0120	0,0223	–0,0368
Wilgotność (%)	0,0751	0,2917	0,1184	0,0035
Próchnica (%)	0,0726	–0,0375	0,1610	0,0088
Zasolenie g NaCl/l	0,2293	–0,0236	0,0435	0,0511



Ryc. 13. Diagram analizy redundancji (RDA) obrazujący zależność składu gatunkowego nicieni owadobójczych od warunków siedliskowych: odczynu gleby (pH/KCl), zawartości próchnicy w glebie, wilgotności gleby i zasolenia. Pierwsza (RDA I) i druga (RDA II) oś ordynacji wyjaśnia odpowiednio w 2,7 i 1,6% zmienności gatunkowej nicieni względem badanych parametrów środowiskowych

3.6. Wpływ zróżnicowanej temperatury na aktywność biologiczną nicieni owadobójczych współwystępujących w podłożu

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji laboratoryjnych stwierdzono, że testowane gatunki nicieni *Steinernema feltiae, S. affine* i *Heterorhabditis megidis* najszybciej porażały „owady pułapkowe" *Galleria mellonella* w warunkach kontrolnych przy 25°C, tj. po dwóch dniach od założenia doświadczenia (tab. 33). W temperaturze 20°C, we wszystkich wariantach doświadczenia, oraz w temperaturze 25°C, w warunkach współwystępowania ni-

cieni w podłożu (Sf+Hm i Sf+Saf), stuprocentową śmiertelność *G. mellonella* obserwowano po trzech dniach od kontaktu nicieni z żywicielem (tab. 33).

Tabela 33. Wpływ temperatury na zdolności infekcyjne nicieni owadobójczych *Steinernema feltiae*, *S. affine* i *Heterorhabditis megidis* w warunkach kontrolnych oraz w warunkach współwystępowania ze sobą (warianty: Sf+Hm* i Sf+Saf*) w podłożu

Warianty doświadczenia*	Kontrola stopnia porażenia owadów			
	24 h	48 h	72 h	96 h
	średnia śmiertelność „owadów pułapkowych" *Galleria mellonella* (%)			
15°C				
K–Sf	0	0	100	–
K–Saf	0	0	100	–
K–Hm	0	0	0	100
Sf+Hm	0	0	20	100
Sf+Saf	0	0	100	–
20°C				
K–Sf	0	0	100	–
K–Saf	0	0	100	–
K–Hm	0	0	100	–
Sf+Hm	0	0	100	–
Sf+Saf	0	0	100	–
25°C				
K–Sf	0	100	–	–
K–Saf	0	100	–	–
K–Hm	0	100	–	–
Sf+Hm	0	0	100	–
Sf+Saf	0	0	100	–

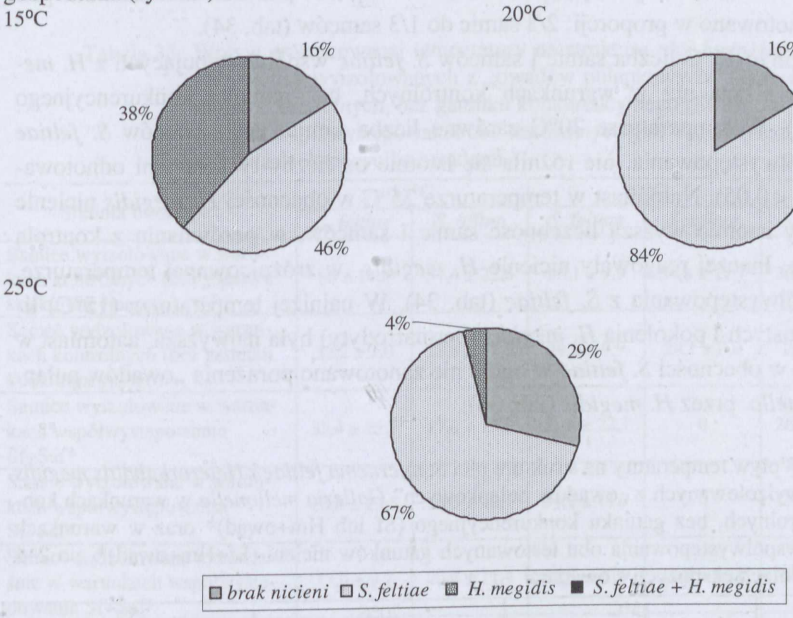
*Sf – *Steinernema feltiae*, Saf – *Steinernema affine*, Hm – *Heterorhabditis megidis*, K – kontrola

W przypadku *S. feltiae* i *S. affine* w najniższej z testowanych temperatur (15°C) porażenie wszystkich gąsienic *G. mellonella* w warunkach kontrolnych (K–Sf i K–Saf) oraz współwystępowania (Sf+Saf) nastąpiło po 72 godzinach od kontaktu żywiciela z pasożytem (tab. 33). W obecności *H. megidis* śmierć owadów w obu wariantach (K–Hm, Sf+Hm) nastąpiła po 96 godzinach (tab. 33).

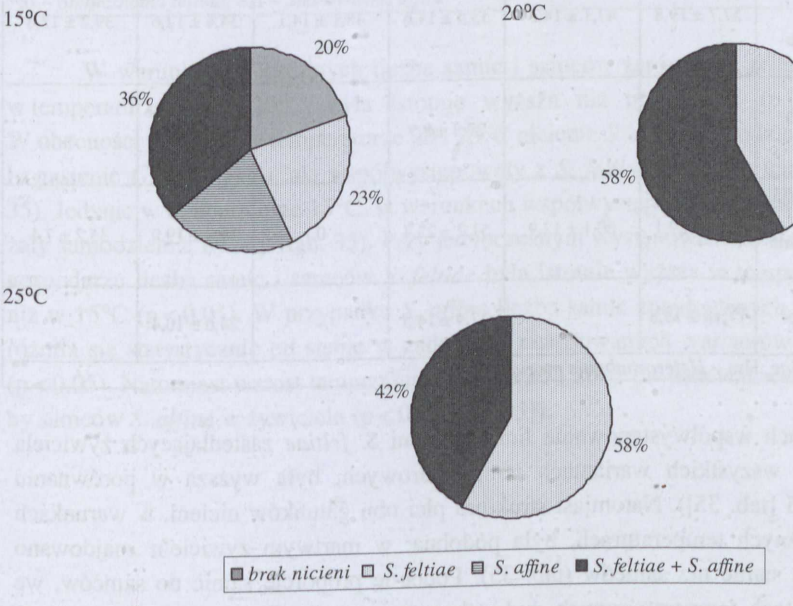
W warunkach współwystępowania nicieni *S. feltiae* i *H. megidis* w podłożu najwyższa śmiertelność gąsienic *G. mellonella* była powodowana przez *S. feltiae*, szczególnie w temperaturze 20 i 25°C (ryc. 14). Przykładowo, w temperaturze 20°C w ponad 90% sekcjonowanych owadów wyizolowano wyłącznie nicienie tego gatunku. Natomiast w temperaturze 15°C procentowy udział martwych gospodarzy porażonych oddzielnie przez każdy z gatunków (*S. feltiae* i *H. megidis*) był porównywalny (ryc. 14). Należy zwrócić uwagę, że w żadnym z martwych owadów nie znaleziono obu gatunków – *S. feltiae* i *H. megidis* – jednocześnie.

W temperaturze 25°C w warunkach współwystępowania *S. feltiae* i *S. affine* w podłożu larwy *G. mellonella* były częściej porażane (ponad 55% martwych owadów) przez *S. feltiae*, natomiast w temperaturze 20°C najwyższy procent porażenia owadów był udziałem obu gatunków jednocześnie (ryc. 15). Śmiertelność owadów w najniższej temperaturze (15°C) powodowana osobno przez *S. feltiae* lub *S. affine* była stosunkowo niska i wynosiła około 20%. Wyższy stopień porażenia owadów (ponad 35% śmiertelności) w temperaturze 15°C

zanotowano tylko przypadku równoczesnej obecności obu gatunków nicieni w jamie ciała gospodarza (ryc. 15).



Ryc. 14. Porażenie (%) „owadów pułapkowych" *Galleria mellonella* przez nicienie *S. feltiae* i *H. megidis* w warunkach ich współwystępowania w podłożu, zależne od temperatury



Ryc. 15. Porażenie (%) „owadów pułapkowych" *Galleria mellonella* przez nicienie *S. feltiae* i *S. affine* w warunkach ich współwystępowania w podłożu, zależne od temperatury

Niezmienna we wszystkich wariantach temperaturowych zarówno w warunkach kontrolnych, jak i w warunkach współwystępowania z *H. megidis*, pozostawała struktura płci *S. feltiae*, którą odnotowano w proporcji: 2/3 samic do 1/3 samców (tab. 34).

W temperaturze 15°C liczba samic i samców *S. feltiae* współwystępujących z *H. megidis* była istotnie niższa niż w warunkach kontrolnych, bez gatunku konkurencyjnego ($p < 0.05$ [tab. 34]). W temperaturze 20°C zarówno liczba samic, jak i samców *S. feltiae* w warunkach współwystępowania, nie różniła się istotnie od liczby tych nicieni odnotowanych w kontroli ($p < 0,05$). Natomiast w temperaturze 25°C w obecności *H. megidis* nicienie *S. feltiae* osiągnęły istotnie wyższą liczebność samic i samców, w porównaniu z kontrolą ($p < 0,05$ [tab. 34]). Inaczej reagowały nicienie *H. megidis* w zróżnicowanej temperaturze, w warunkach współwystępowania z *S. feltiae* (tab. 34). W najniżej temperaturze (15°C) liczebność form dorosłych I pokolenia *H. megidis* (hermafrodyty) była najwyższa, natomiast w temperaturze 20°C w obecności *S. feltiae* w ogóle nie zanotowano porażenia „owadów pułapkowych" *G. mellonella* przez *H. megidis* (tab. 34).

Tabela 34. Wpływ temperatury na strukturę płci *Steinernema feltiae* i *Heterorhabditis megidis* wyizolowanych z „owadów pułapkowych" *Galleria mellonella* w warunkach kontrolnych, bez gatunku konkurencyjnego (Sf lub Hm+owad)* oraz w warunkach współwystępowania obu testowanych gatunków nicieni (Sf+Hm+owad)*, po 2–4 dniach ekspozycji z owadami

Średnia liczba (szt.)	15°C		20°C		25°C	
	S. feltiae	*H. megidis*	*S. feltiae*	*H. megidis*	*S. feltiae*	*H. megidis*
Samice lub hermafrodyty wyizolowane w warunkach kontrolnych (bez gatunku konkurencyjnego)	57,7 ± 19,8	47,1 ± 14,3	53,4 ± 14,6	48,1 ± 14,1	34,4 ± 12,6	39,2 ± 12,6
Samce wyizolowane w warunkach kontrolnych (bez gatunku konkurencyjnego)	28,2 ± 11,1	–	27,3 ± 8,7	–	20,3 ± 6,9	–
Samice lub hermafrodyty wyizolowane w warunkach współwystępowania Sf+Hm*	35,6 ± 29,1	60,1 ± 12,9	51,2 ± 23,4	0	49,9 ± 19,0	35,2 ± 7,4
Samce wyizolowane w warunkach współwystępowania Sf+Hm*	17,18 ± 13,8	–	27,4 ± 14,5	–	24,6 ± 10,4	–
*Sf – *Steinernema feltiae*, Hm – *Heterorhabditis megidis*						

W warunkach współwystępowania liczba nicieni *S. feltiae* zasiedlających żywiciela *G. mellonella*, we wszystkich wariantach temperaturowych, była wyższa w porównaniu z *S. affine* ($p < 0,05$ [tab. 35]). Natomiast struktura płci obu gatunków nicieni, w warunkach kontrolnych w różnych temperaturach, była podobna: w martwym żywicielu znajdowano dwukrotnie więcej samic niż samców (tab. 35). Podobne proporcje samic do samców, we wszystkich wariantach temperaturowych, były obserwowane dla *S. feltiae* w obecności *S. affine*. W przypadku gdy oba gatunki nicieni – *S. feltiae* i *S. affine* – znajdowano w „owadzie

pułapkowym" jednocześnie, udział samic w stosunku do samców w wyższych temperaturach (20 i 25°C) był nawet czterokrotnie większy dla obu gatunków.

Tabela 35. Wpływ zróżnicowanej temperatury na strukturę płci *Steinernema feltiae* i *Steinernema affine* wyizolowanych z „owadów pułapkowych" *Galleria mellonella* w warunkach kontrolnych, bez gatunku konkurencyjnego (Sf lub Saf+owad)* oraz w warunkach współwystępowania obu testowanych gatunków nicieni (Sf+Saf+owad)* po 2–3 dniach ekspozycji z owadami

Średnia liczba (szt.)	15°C		20°C		25°C	
	S. feltiae	*S. affine*	*S. feltiae*	*S. affine*	*S. feltiae*	*S. affine*
Samice wyizolowane w warunkach kontrolnych (bez gatunku konkurencyjnego)	60 ± 14,5	57,4 ± 22,6	58,1 ± 9,9	54,8 ± 17,7	30,2 ± 10,9	25,4 ± 12,1
Samce wyizolowane w warunkach kontrolnych (bez gatunku konkurencyjnego)	32,2 ± 7,0	28,8 ± 11,5	29,6 ± 9,9	28,1 ± 8,0	19,0 ± 6,3	12,3 ± 6,3
Samice wyizolowane w warunkach współwystępowania Sf+Saf*	35,4 ± 25,7	17,0 ± 15,9	51,6 ± 22,1	0	26,6 ± 12,6	0
Samce wyizolowane w warunkach współwystępowania Sf+Saf*	28,8 ± 23,5	16,0 ± 22,1	24,2 ± 11,7	0	15,7 ± 10,1	0
Samice wyizolowane jednocześnie w warunkach współwystępowania Sf+Saf*	17,0 ± 9,7	20,4 ± 11,4	45,8 ± 20,9	22,8 ± 14,0	41,0 ± 22,8	19,1 ± 11,0
Samce wyizolowane jednocześnie w warunkach współwystępowania Sf+Saf*	7,8 ± 5,0	9,2 ± 5,3	11,9 ± 5,2	6,4 ± 2,4	10,3 ± 3,9	4,3 ± 0,9
*Sf – *Steinernema feltiae*, Saf – *Steinernema affine*						

W warunkach kontrolnych liczba samic i samców zarówno *S. feltiae*, jak i *S. affine*, w temperaturze 15 i 20°C, była istotnie wyższa niż przy 25°C ($p < 0,05$ [tab. 35]). W obecności *S. feltiae* w temperaturze 20 i 25°C nicienie *S. affine* samodzielnie nie infekowały gąsienic *G. mellonella*, ale współwystępowały z *S. feltiae* wewnątrz ciała żywiciela (tab. 35). Jedynie w temperaturze 15°C, w warunkach współwystępowania, nicienie *S. affine* porażały samodzielnie owady (tab. 35). Przy jednoczesnym występowaniu *S. feltiae* z *S. affine* w gospodarzu liczba samic i samców *S. feltiae* była istotnie wyższa w temperaturze 20 i 25°C niż w 15°C ($p < 0,05$). W przypadku *S. affine* liczba samic znajdowanych w gospodarzu nie różniła się statystycznie od siebie w żadnym z zastosowanych wariantów temperaturowych ($p < 0,05$). Natomiast wzrost temperatury z 15 do 20 i 20°C powodował wyraźny spadek liczby samców *S. affine* w żywicielu ($p < 0,05$ [tab. 35]).

4. DYSKUSJA

Powszechne występowanie i rozprzestrzenienie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* zostało potwierdzone w licznych badaniach prowadzonych na całym świecie (Hominick i in. 1996; Hominick 2002). Od czasu kiedy w 1923 roku Steiner opisał pierwszy gatunek *Aplectana kraussei* Steiner, zaklasyfikowany później do rodzaju *Steinernema* Travassos, 1927, zainteresowanie tymi nicieniami znacząco wzrosło (Steiner 1923). Szczególnie w aspekcie rozwoju biologicznych metod ochrony roślin (Bedding 1981, 1984, 1986; Ehlers i. in. 1996), a także genetyki molekularnej, umożliwiającej precyzyjną identyfikację poszczególnych gatunków wraz z określeniem ich pokrewieństwa i pochodzenia (Reid i in. 1997; Stock i in. 2001; Spiridonov i in. 2004).

Jednak, pomimo licznych publikacji na temat występowania nicieni owadobójczych w Europie i na świecie, wciąż mało wiadomo o powiązaniach tych organizmów z ich naturalnym środowiskiem (Mráček i in. 2005a; Hunt 2007). Ponadto, wiele wcześniejszych opracowań odnosi się tylko do kilku szeroko rozpowszechnionych gatunków, jak *S. feltiae*, *S. carpocapsae* czy *H. bacteriophora* (Hominick i in. 1996; Hominick 2002). Tymczasem obecnie prowadzone w Europie badania taksonomiczne, biologiczne i ekologiczne dotyczące nicieni owadobójczych ukazują ich zróżnicowanie i bogactwo gatunkowe. Przykładowo, obserwacje terenowe prowadzone w Czechach (Mráček i in. 1999; Mráček i Bečvář 2000; Mráček i in. 2005a; Půža i Mráček 2005), na Słowacji (Sturhan i Liskova 1998, 1999) czy w Niemczech (Sturhan 1996a) zaowocowały odkryciem nowych gatunków, jak *Steinernema weiseri* (Mráček i in. 2003) czy *Steinernema silvaticum* (Sturhan i in. 2005), a liczne izolaty nicieni, pochodzące ze wschodniej i północnej Europy, zaliczane do grupy „*glaseri*", uznano jako jeden gatunek, tj. *S. arenarium* (Sturhan i Mráček 2001).

W Polsce wiedza o występowaniu nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* jest fragmentaryczna i rzadko odnosi się do ich powiązań ze środowiskiem. Ogranicza się tylko do wybranych ekosystemów, tj. łąk i pól uprawnych środkowej i południowej Polski (Bednarek 1990; Jaworska i Dudek 1992; Jaworska i in. 1997; Matuska i Kamionek 2008; Ropek i Nicia 2008), kompleksów leśnych w południowej i północno-wschodniej części kraju (Kamionek i in. 1995), a także do terenów miejskich i przemysłowych w centralnej Polsce (Pezowicz 2002; Tomalak 2005). Dotychczas w literaturze polskiej odnotowano łącznie osiem gatunków nicieni owadobójczych, w tym sześć z rodziny *Steinernematidae*. Do najpospolitszych z tej rodziny należą: *Steinernema feltiae* (Bednarek 1990; Jaworska i Dudek 1992; Dzięgielewska 2003, 2004; Dzięgielewska i Kiepas-Kokot 2004; Tomalak 2005; Ropek i Nicia 2008) i *S. carpocapsae* (Bednarek 1990; Kamionek i in. 1995; Jaworska i in. 1997; Pezowicz i in. 2008). Wśród rzadziej spotykanych w krajowej faunie wymienia się: *S. affine* i *S. bicornutum* (Dzięgielewska 2003, 2004; Dzięgielewska i Kiepas-Kokot 2004; Tomalak 2005) oraz *S. glaseri*, którego występowanie wymaga potwierdzenia i weryfikacji (Kamionek i in. 1995). Stosunkowo niedawno wyizolowano w Polsce nowy gatunek z grupy „*glaseri*" – *S. arenarium* (Tomalak 2003a; Kazimierczak i in. 2009; Skrzypek

i in. 2011). Przypuszcza się, że *S. arenarium* jest europejskim odpowiednikiem *S. glaseri*, gatunku szeroko rozpowszechnionego w Ameryce Północnej, szczególnie w Stanach Zjednoczonych (Mráček i in. 2005b). Natomiast z rodziny *Heterorhabditidae* zidentyfikowano do tej pory dwa gatunki, tj. *Heterorhabditis megidis* i *H. bacteriophora* (Jaworska i in. 1997; Dzięgielewska 2003, 2004; Dzięgielewska i Kiepas-Kokot 2004; Tomalak 2005; Matuska i Kamionek 2008).

Badania prowadzone w północno-zachodniej Polsce pozwoliły potwierdzić występowanie wcześniej wymienianych gatunków nicieni, z wyjątkiem *S. arenarium* i *S. glaseri*, których nie wyizolowano w żadnym z badanych ekosystemów. Łącznie na badanym terenie stwierdzono siedem gatunków z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae*, w tym jeden – *S. silvaticum* – którego wstępowanie wcześniej nie było znane w naszym kraju. Ogółem liczba zidentyfikowanych gatunków nicieni owadobójczych w Polsce po 2000 roku – w tym sześć z rodzaju *Steinernema* i dwa z *Heterorhabditis* – jest nieco niższa w porównaniu z krajami ościennymi. W Czechach stwierdzono dotychczas 11 gatunków tych nicieni, w tym osiem z rodzaju *Steinernema* i dwa z *Heterorhabditis* (Mráček i in. 2005a). W Niemczech odnotowano łącznie 13 gatunków, o dwa gatunki z rodzaju *Steinernema* więcej niż w Czechach (Sturhan 1999). Na Słowacji zidentyfikowano dziewięć gatunków – osiem należących do rodzaju *Steinernema* i jeden z rodzaju *Heterorhabditis* (Sturhan i Lišková 1999). Natomiast na północy Europy, w Anglii, wyizolowano 10 gatunków nicieni – osiem z rodzaju *Steinernema* i dwa z rodzaju *Heterorhabditis* (Hominick i in. 1995).

Przeprowadzona analiza faunistyczna pozwoliła potwierdzić powszechne występowanie nicieni owadobójczych w różnych ekosystemach. W ponad połowie przebadanych stanowisk (63%) odnotowano obecność tych nicieni, chociaż częstość ich stwierdzeń w próbach nie przekroczyła 30%. Wcześniej podobną frekwencję nicieni odnotował Tomalak (2005) w zieleni miejskiej (<28% stwierdzeń) i Dzięgielewska (2004) w sadach (36% stwierdzeń) oraz na terenach skażonych zanieczyszczeniami przemysłowymi (39% stwierdzeń [Dzięgielewska i Kiepas-Kokot 2004]).

W innych krajach Europy procentowy udział nicieni w glebie był zróżnicowany, np. w Turcji wahał się od 2% (Hazir i in. 2003) do 4,7% (Özer i in. 1995), we Włoszech wyniósł 5% (Ehlers i in. 1991), w Hiszpanii (Pino i Palomo 1996) i Szwajcarii (Steiner 1996) odpowiednio 23,3 i 27%, a na Słowacji (Sturhan i Lišková 1999) i w Niemczech (Sturhan 1999) osiągnął 36%. Wysoką, ponad 50-procentową, frekwencję nicieni zanotowano natomiast w Czechach (Mráček i in. 1999, 2005a) oraz w Anglii (Hominick i Briscoe 1990a). Powyższe różnice dotyczące frekwencji i bioróżnorodności nicieni w Europie mogą wynikać z kilku powodów. Po pierwsze, od stopnia zaawansowania badań nad ekologią tych nicieni w poszczególnych krajach, po drugie – od geograficznego zasięgu występowania każdego z gatunków i wreszcie od stopnia zróżnicowania ekosystemów, w których prowadzono obserwacje. Wśród ważnych czynników, które mogą wpływać na frekwencję nicieni w próbach, wymienia się także temperaturę (Mráček i in. 2005a). Nie bez znaczenia dla ostatecznego wyniku może być dobór metod izolacji nicieni z gleby, szczególnie przy gatunkach, których zdolności infekcyjne względem „owadów pułapkowych" *G. mellonella* są obniżone (Sturhan i in. 2005).

W przeprowadzonych badaniach wśród nicieni z rodzaju *Steinernema* dominował *S. feltiae* (49% prób z nicieniami), stwierdzony prawie we wszystkich ekosystemach, z wyjątkiem łąk i pastwisk położonych w dorzeczu Odry. Istotnie gatunek ten jest szeroko rozpowszechniony w całej Europie i na świecie (Hominick 2002; Nguyen i in. 2007). Porównywalny udział tego gatunku (45% stwierdzeń) odnotowano w Czechach (Mráček i in. 2005a), nieco niższy (30% stwierdzeń) na Słowacji (Sturhan i Lišková 1999), a w Niemczech wyniósł on tylko 16% (Sturhan 1999). Badania prowadzone w Polsce i w Czechach dowodzą, że *S. feltiae* jest gatunkiem dominującym wśród nicieni z rodzaju *Steinernema*. Natomiast na Słowacji i w Niemczech na pierwszym miejscu wymienia się *S. affine* i *S. intermedium*.

Podczas analizy molekularnej wykazano, że *S. feltiae* charakteryzuje się wyraźnym zróżnicowaniem wewnątrzgatunkowym, dając odmienne rodzaje wzorów genetycznych, co może mieć związek z preferencjami lokalnych populacji tych nicieni do określonego środowiska i żywiciela. Uważa się, że nieznaczne nawet morfologiczne różnice, w obrębie określonego szczepu danego gatunku, mogą mieć wpływ na aktywność biologiczną nicieni (Tomalak i Mráček 1997).

Prowadzone od kilku lat badania ekologiczne nad nicieniami owadobójczymi, obejmujące szczegółową charakterystykę miejsc ich występowania, pozwoliły na określenie preferencji środowiskowych wybranych gatunków tych organizmów (Hominick i in. 1996; Sturhan 1999; Mráček i Sturhan 2000; Mráček i in. 2005a). Szczególnie dotyczy to nicieni o szerokim, globalnym występowaniu, jak *S. feltiae*, *S. carpocapsae*, *S. affine* czy *H. bacteriophora* (Hominick 2002).

Badania terenowe prowadzone w północno-zachodniej Polsce potwierdziły występowanie *S. feltiae* zarówno w zadrzewieniach (lasy, parki, sady), jak i na terenach półotwartych i otwartych (skwery miejskie i przyzakładowe, pobocza dróg, pola uprawne). Podobne obserwacje odnotowali Hominick i in. (1995), Sturhan (1999), Sturhan i Lišková (1998), Mráček i in. (1999, 2005a). W Polsce gatunek ten był najczęściej stwierdzany w kompleksach leśnych (79% stwierdzeń) zarówno w borach z drzewostanem iglastym, jak i w lasach mieszanych, co istotnie różni się od obserwacji prowadzonych przez Mráček i in. (2005a), którzy obecność *S. feltiae* odnotowali tylko w zbiorowiskach z drzewostanem liściastym. Drugi najczęściej stwierdzany gatunek – *S. affine* – wystąpił w zadrzewieniach parkowych i w lasach z drzewostanem mieszanym, a także w agrocenozach (sady, użytki zielone), chociaż uważa się, że jest to gatunek związany raczej z terenami otwartymi lub częściowo tylko zadrzewionymi (Hominick i in. 1995; Mráček i in. 2005a, 2005b). W Niemczech i na Słowacji dominował głównie w agrocenozach (pola uprawne, ogrody, sady, użytki zielone [Sturhan 1999; Sturhan i Lišková 1999]).

Stosunkowo niedawno zidentyfikowany *S. silvaticum* (Sturhan i in. 2005) stwierdzono wyłącznie w zadrzewieniach parkowych z dębem i w borze świeżym z sosną zwyczajną *P. silvestris*. Jednak gatunek ten, opisywany jako *Steinernema* sp. B (Sturhan 1996a), był już wcześniej notowany w północno-zachodniej Polsce, w sadach i w uprawach zbóż (Dzięgielewska 2004; Dzięgielewska i Kiepas-Kokot 2004). W Niemczech występowanie *S. silvaticum* stwierdzono głównie w lasach (Sturhan 1999), a w Czechach także na terenach otwartych (pola uprawne, łąki [Mráček i in. 2005a]).

Do rzadziej notowanych gatunków w północno-zachodniej Polsce należał *S. bicornutum* (około 3% stwierdzeń) wyizolowany z sadów oraz ze skweru z ligustrem pospolitym *Ligustrum vulgare* na obszarach zieleni miejskiej. Porównywalnie niską frekwencję tego gatunku zarejestrowano także w Czechach (Mráček i Bečvář 2000; Mráček i in. 2005a), w Niemczech (Sturhan 1999), na Słowacji (Sturhan i Lišková 1999) i w Bułgarii (Shishiniova i in. 1998). Wydaje się, że środowisko występowania *S. bicornutum* jest bardzo zróżnicowane i nie ogranicza się do określonego ekosystemu. Chociaż uważany jest za gatunek związany z terenami otwartymi (użytki zielone, pola uprawne) i częściowo tylko zadrzewionymi (Mráček i in. 2005a), spotykany był również w lasach (Sturhan 1999) i nad brzegiem rzeki (Sturhan i Lišková 1999).

Nicienie *S. carpocapsae* były najrzadziej notowane w północno-zachodniej Polsce (> 1% stwierdzeń), jednak w innych częściach kraju należą do najczęściej wymienianych gatunków z rodzaju *Steinernema* (Kamionek i in. 1995; Jaworska i in. 1997). Niską frekwencję *S. caropcapsae* wykazano także na terenie Czech, pomimo ogólnie wysokiej frekwencji nicieni w próbach wynoszącej odpowiednio 53,8, 70,1 i 50,6% (Mráček i in. 1999, 2005a; Mráček i Bečvář 2000). Podobne wyniki uzyskano w Niemczech (Sturhan 1999) i na Słowacji (Sturhan i Lišková 1999). Obserwacje te są zaskakujące w aspekcie szerokiego rozprzestrzenienia *S. carpocapsae* w Europie i na świecie (Hominick 2002; Nguyen i in. 2007). Przekonujące są przypuszczenia, że gatunek ten nie jest tak częsty jak powszechnie uważano lub jego izolacja metodą „owadów pułapkowych" *G. mellonella* (Bedding i Akhurst 1975) jest zawodna (Mráček i Bečvář 2000; Mráček i in. 2005a). Istotnie, strategia żerowania tego gatunku ma charakter „zasadzki", co oznacza, że larwy inwazyjne *S. carpocapsae* nie przemieszczają się tak aktywnie w poszukiwaniu żywiciela jak na przykład larwy *S. feltiae*, lecz pozostają przy powierzchni gleby, oczekując na przemieszczające się owady. W tym czasie wykonują jedynie, trwające nawet kilka godzin, ruchy kiwające, które mają ułatwić kontakt nicieni z żywicielem (Campbell i Gaugler 1993; Lewis i in. 1997).

Analizując zoogeograficzne zasięgi rozprzestrzenienia nicieni z rodziny *Steinernematidae* w Europie można przypuszczać, że występowanie niektórych gatunków tych organizmów w faunie Polski jest wysoce prawdopodobne. Dotyczy to zwłaszcza: *Steinernema intermedium, S. kraussei* czy niedawno opisanego *S. weiseri* (Mráček i in. 2003; Bazman i in. 2008), które wyizolowano w państwach sąsiadujących z naszym krajem, takich jak Czechy, Niemcy czy Słowacja (Sturhan 1999; Sturhan i Lišková 1999; Mráček i in. 2005a). Obecność *S. intermedium* i *S. kraussei* potwierdzono także w krajach skandynawskich, położonych na północy krainy palearktycznej (Haukeland i in. 2005), a *S. weiseri* znaleziono również w Anglii (Hominick i in. 1995).

Steinernema kraussei jest gatunkiem holarktycznym, szeroko rozpowszechnionym w całej Europie (Mráček 1994; Sturhan i Lišková 1999; Mráček i Bečvář 2000; Hominick 2002; Spiridonov i in. 2004; Mráček i in. 2005a; Torr i in. 2007). Wielu autorów (Mráček 1994; Sturhan 1999; Mráček i in. 2005a) uważa, że *S. kraussei* preferuje kompleksy leśne, zwłaszcza lasy iglaste ze świerkiem, w których żerują m.in. roślinożerne błonkówki z rodziny osnujowate *Pamphiliidae*, jak osnuja świerkowa *Cephalicia abietis* L. – jego naturalny gospodarz (Mráček i in. 1991). Znane są również owady z innych grup taksonomicznych pora-

żane przez *S. kraussei*, np. larwy muchówek z rodziny *Bibionidae* czy chrząszcze z rodziny *Curculionidae* (Gradinarov 2005). Badania przeprowadzone na północy Polski, w borach sosnowych, gdzie odnotowano gradację boreczników (*Diprionidae*, *Hymenoptera*) czy w uprawach rolnych, w których stwierdzono duże zagęszczenie larw *Elateridae*, nie dały pozytywnych wyników na obecność *S. kraussei*. Mráček i in. (2005a) i Gradinarov (2005) sugerują, że gatunek ten częściej występuje na terenach położonych powyżej 700–1000 m n.p.m. Stąd istnieją realne przesłanki aby poszukiwać go na południu Polski, w borach świerkowych, szczególnie w miejscach gradacji roślinarek z rodziny *Pamphiliidae* (*Cephalcia*, *Acantholyda* [Mráček i in. 1991]) czy z rodziny *Tenthredinidae* (*Athalia*, *Pristiphora*, *Pikonema* [Steiner 1923; Mráček i Bečvář 2000]). Torr i in. (2007) uważają, że *S. kraussei* nie wykazuje preferencji do określonego środowiska, a prawdopodobieństwo jego wystąpienia w lesie lub na łące jest zbliżone. Autorzy tłumaczą, że nicienie często występują wyspowo w środowisku i rzeczywiste zagęszczenie ich populacji jest trudne do oszacowania, szczególnie przy niewystarczającej wielkości pobranej próby.

S. intermedium, gatunek związany głównie z kompleksami leśnymi (Sturhan i Mráček 2000), w przeciwieństwie do *S. kraussei*, częściej spotykany jest w lasach liściastych (Mráček i in. 1999; Hominick 2002; Mráček i in. 2005a). Szeroko rozprzestrzeniony jest w Niemczech (Sturhan 1999) i na Słowacji (Sturhan i Lišková 1999), występuje także w Czechach (Mráček i in. 2005a), w Bułgarii (Shishiniova i in. 1998) oraz na północy Europy, w Anglii i w Norwegii (Hominick i in. 1995; Haukeland 1993). Niewiele wiadomo o jego preferencjach pokarmowych. W Bułgarii gatunek ten został wyizolowany z poczwarki chrząszcza z rodzaju *Cantharis* (Gradinarov 2005). Biorąc pod uwagę lokalizację *S. intermedium* w centralnej i północnej Europie nie można wykluczyć jego występowania w Polsce. Analizując teren na północy Polski można przypuszczać, że w przeprowadzonych badaniach uwzględniono zbyt mało zbiorowisk preferowanych przez *S. intermedium*, szczególnie z drzewostanem liściastym (Mráček i in. 2005a; Gradinarov 2005), co uzasadnia trudności w pozyskaniu tego gatunku, zwłaszcza przy jego niskim zagęszczeniu w glebie. Dotyczy to także *S. weiseri*, którego ekologia jest jeszcze słabo poznana, a opisane stanowiska obejmują: pobrzeża dróg porośnięte jabłoniami i skraje lasu liściastego (Mráček i in. 1999; Mráček i Bečvář 2000; Mráček i in. 2005a), kompleksy leśne i brzegi rzek (Sturhan i Lišková 1999) oraz użytki zielone (Sturhan 1999). Gatunek ten znaleziono w miejscu koncentracji muchówek z rodziny *Sciaridae* i *Bibionidae* oraz motyli z rodziny *Noctuidae* i *Geometridae* (Mráček i Sturhan 2000; Mráček i in. 2003).

W badanich własnych prowadzonych w północno-zachodniej Polsce stwierdzono dwa gatunki nicieni z rodziny *Heterorhabditidae*: *Heterorhabditis bacteriophora* i *H. megidis*. Wiadomo, że *H. bacteriophora* jest szeroko rozprzestrzeniony na całym świecie, głównie w strefie klimatu kontynentalnego i śródziemnomorskiego. Natomiast *H. megidis* znany jest wyłącznie z obszarów położonych na półkuli północnej (Hominick 2002). W Europie występowanie obu gatunków z tej rodziny jest nierównomierne, np. w Hiszpanii udział nicieni z *Heterorhabditidae* wyniósł tylko 5,7% (Pino i Palomo 1996), na Węgrzech około 20% (Tóth 2006), natomiast we Włoszech aż 68% (Deseö i in. 1998). Niskie zagęszczenie nicieni z rodzaju *Heterorhabditis* (< 2%) zanotowano w Czechach (Mráček i in. 2005a) i na Słowacji

(Sturhan i Lišková 1999). W Niemczech udział tych nicieni w próbach nie przekroczył 4% (Sturhan 1999). Wśród nicieni z rodziny *Heterorhabditidae* do rzadziej stwierdzanych w środkowej i wschodniej Europie należy *H. bacteriophora* (Mráček i in. 1999; Sturhan i Lišková 1999; Půža i Mràček 2007). W północno-zachodniej Polsce gatunek ten został wyizolowany tylko w agrocenozie. Ogółem jednak badany teren, w porównaniu z innym krajami europejskimi, wyróżniał się stosunkowo wysokim udziałem nicieni z rodziny *Heterorhabditidae* (ponad 25% wszystkich prób), a *H. megidis* był najczęściej notowanym gatunkiem, obok *S. feltiae*.

Wśród badanych zbiorowisk najwyższy procentowy udział nicieni z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* odnotowano w zadrzewieniach, odpowiednio: w sadach niechronionych (63%), w zieleńcach miejskich (31%) i w lasach (30%). W sadach jabłoniowo-śliwowych, obok pospolitych gatunków, jak *S. feltiae* i *S. affine*, stwierdzono także rzadsze nicienie, np. *S. bicornutum* i *H. megidis*, które również wyizolowano w podobnym środowisku w Niemczech (Sturhan 1999). W Czechach podkreślano okazjonalne występowanie nicieni z rodziny *Heterorhabditidae* we wszystkich badanych zbiorowiskach, a wśród nielicznych ich stwierdzeń wymieniano współwystępowanie *S. biornutum* z *H. megidis* (Mràček i in. 2005a).

W zieleni miejskiej nicienie występowały najczęściej w zadrzewieniach z dębem (od 57 do 100%), sporadycznie natomiast w alejach i na poboczach dróg z kasztanowcem białym (14%). W lasach sosnowych izolowano je częściej w zadrzewieniach z domieszką drzew liściastych, np. dębu, brzozy, świerku, kruszyny czy topoli osiki (od 50 do 100%). Podobne preferencje środowiskowe nicieni obserwowano w Czechach (Mráček i in. 1999; Mráček i in. 2005, 2007), w Niemczech (Sturhan 1999) i na Słowacji (Sturhan i Lišková 1999). Szczególnie dotyczy to zbiorowisk leśnych z drzewostanem liściastym (m.in. z dębem, topolą, brzozą i lipą) oraz dziko rosnących drzew owocowych (Mráček i in. 1999; Mráček i Bečvář 2000), gdzie obserwowano wysokie zagęszczenie ich potencjalnych żywicieli (Mráček i in. 2005a; Půža i Mràček 2007).

W lasach iglastych na północy Polski stwierdzono obecność trzech gatunków z rodzaju *Steinernema*, w tym *S. affine*, który przez wielu autorów uważany jest za gatunek związany z agrocenozami (pola uprawne, łąki, sady [Hominick i in. 1995; Sturhan 1999; Sturhan i Lišková 1999]) lub z drzewostanem liściastym (Mráček i in. 2005a; Půža i Mràček 2007), nigdy jednak z drzewostanem iglastym (Mráček i in. 2005a). Natomiast inny gatunek wyizolowany tylko w środowisku leśnym, tj. *S. silvaticum*, jest słabo związany z terenami niezadrzewionymi, co również sugerowali Sturhan (1999) oraz Mráček i in. (2005a). Należy zwrócić uwagę, że w żadnej ze 165 prób pobranych z lasów iglastych nie stwierdzono nicieni z rodziny *Heterorhabditidae*. Podobne wyniki uzyskano w Niemczech (Sturhan 1999) i w Anglii (Hominick i in. 1995), natomiast odmienne, gdzie nicienie z tej rodziny dominowały w różnych środowiskach, w Ameryce Północnej (Mráček i Webster 1993) i w Iranie (Eivazian Kary i in. 2009). Natomiast na stanowiskach bez zadrzewień (pola uprawne, łąki i trawniki, wydmy) nicienie występowały rzadziej, stanowiąc od 10 do 25%. Jedynie w przypadku użytków zielonych, położonych na polderach zalewowych wzdłuż rzeki Odry, udział nicieni owadobójczych był wysoki i wyniósł ponad 65%. Najuboższe środowiska, wyróżniające się najniższym udziałem nicieni w próbach, stwierdzono w pasie wydm nadmorskich (10% stwierdzeń). Był

to jednocześnie jedyny ekosystem, w którym odnotowano oba gatunki nicieni z rodziny *Heterorhabditidae*: *Heterorhabditis megidis* i *H. bacteriophora*. Występowanie przedstawicieli tej rodziny w pasie nadmorskim obserwowano również w: Irlandii (Griffin i in. 1991, 1994), Anglii (Hominick i in. 1995), Estonii (Griffin i in. 1999), Bułgarii (Gradinarov 2005) i Hiszpanii (Pino i Palomo 1996).

Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że nicienie z rodziny *Heterorhabditidae* częściej występowały na terenach otwartych (skwery bez zadrzewień, łąki, wydmy) i częściowo odsłoniętych (różanki, żywopłoty) niż w zadrzewieniach. Natomiast wśród *Steinernematidae* na terenach otwartych dominował głównie *S. feltiae* (pola uprawne, skwery, wydmy), rzadziej *S. affine* (łąki) i *S. bicornutum* (żywopłoty), a sporadycznie *S. carpocapsae* (pola uprawne). Według wielu autorów, *S. feltiae* i *S. affine* wykazują wyraźne preferencje do środowisk otwartych i częściowo odsłoniętych (Hominick i in. 1995; Sturhan 1995; Sturhan 1999, 1996a; Sturhan i Lišková 1999; Hominick 2002; Mráček i in. 2005a). Tymczasem w podobnych ekosystemach w Ameryce Północnej spotykano częściej *S. feltiae* i *S. kraussei* (Stock i in. 1999). Natomiast w Bułgarii powiązania ze zbiorowiskami łąkowymi przypisano wszystkim wymienionym powyżej gatunkom z rodzaju *Steinernema* (Gradinarov 2005). Słusznie jednak zauważyli Torr i in. (2007), że przy określaniu preferencji środowiskowych poszczególnych gatunków nicieni należy uwzględnić sposób ich rozmieszczenia na danym obszarze. Często rozmieszczenie to ma charakter skupiskowy, co wiąże się z nierównomiernym występowaniem gospodarzy w środowisku. Ponadto dynamika aktywności biologicznej nicieni i ich zagęszczenie mogą ulegać sezonowym zmianom (Půža i Mràček 2007), utrudniając izolację nicieni z gleby.

Największe zróżnicowanie gatunkowe nicieni owadobójczych zanotowano w zieleni miejskiej, gdzie spośród siedmiu gatunków zidentyfikowano pięć – cztery z rodzaju *Steinernema* i jeden z *Heterorhabditis*. Środowisko miejskie traktowane jest jako mozaika ekosystemów, które często funkcjonują niezależnie od siebie, charakteryzując się dużą różnorodnością w odniesieniu do warunków siedliskowych (Pisarski i in. 1984; Banaszak 1998). Żywopłoty, szpalery drzew, kępy krzewów i drzew, skwery i trawniki są zasiedlane przez wiele gatunków owadów, które potencjalnie mogą stanowić źródło pożywienia dla nicieni i wpływać na ich zróżnicowanie. Wyniki wielu badań wskazują, że wysokiemu zagęszczeniu i bioróżnorodności nicieni z rodziny *Steinernematidae* sprzyjają zbiorowiska leśne i zadrzewienia (np. szpalery drzew wzdłuż dróg i rzek, kępy drzew i krzewów w zieleńcach i w sadach [Stock i in. 1999; Sturhan 1999; Sturhan i Lišková 1999; Hominick 2002]). Szczególnie dotyczy to zbiorowisk z drzewostanem liściastym (Mráček i in. 2005a).

Największe obszary leśne w północno-zachodniej Polsce zajmuje bór sosnowy oraz las bukowy i bukowo-sosnowy (Marszałek 1999; Landsberg-Uczciwek i in. 2010). Łąki i pastwiska, które stanowią około 20% użytków rolnych, położone są przeważnie na terenach polderowych wzdłuż większych jezior i rzek oraz na wschód, równolegle z linią wybrzeża Bałtyku. Obszar ten charakteryzuje się mniejszym udziałem gruntów ornych, w porównaniu z pozostałą częścią kraju. W strukturze zasiewu w tej części kraju dominują zboża, które zajmują 75% powierzchni. Zdecydowanie mniejszy udział mają uprawy przemysłowe (8%), pastewne (7%) i ziemniaki (6% [Marszałek 1999]). W ostatnich latach, w lasach położonych

w północo-zachodniej części kraju, obserwuje się gradacje bardzo groźnych szkodników drzew iglastych, głównie z rzędu *Lepidoptera* (*Lasiocampidae*, *Geometridae*, *Noctuidae*, *Tortricidae*), *Hymenoptera* (*Diprionidae*) i *Coleoptera* (*Scarabeidae*, *Curculionidae* [Szujecki 1998b]). W agrocenozach duże straty wywołują szkodniki glebowe, m.in. gąsienice rolnic (*Noctuidae*), larwy sprężykowatych (*Elateridae*) i pędraki (*Scarabeidae*). W sadach groźne są zwójki (*Torticidae*) i owocnice (*Tenthredinidae*). W zieleni miejskiej, podobnie jak w dużych kompleksach leśnych, wśród fitofagów dominują motyle (*Lepidoptera*), błonkówki (*Hymenoptera*) i chrząszcze (*Coleoptera*). Większość z wymienionych gatunków owadów w ciągu swojego życia okresowo przebywa w glebie i może stanowić potencjalne źródło pożywienia dla nicieni owadobójczych (Mráček i Sturhan 2000; Mráček i in. 2005a; Půža i Mráček 2007).

Powszechnie uważa się, że preferencje środowiskowe nicieni mają ścisły związek z występowaniem w ich otoczeniu odpowiednich gospodarzy (Hominick i in. 1995; Sturhan 1995; Mráček i in. 1999, 2005a; Sturhan 1999; Mráček i Bečvář 2000; Hominik 2002). Trudno nie zgodzić się z tą tezą gdy wiadomo, że owady stanowią środowisko życia dla badanych nicieni, umożliwiając im rozmnażanie i rozwój (Kaya i Stock 1997). Zagęszczenie i dostępność odpowiednich owadów w środowisku będą wpływały na wielkość lokalnej populacji nicieni, a współwystępowanie różnych gatunków tych organizmów w glebie potwierdza ich wybiórczość pokarmową (Mráček i in. 1999; Sturhan 1999). Zwiększone nasilenie muchówek z rodziny leniowatych (*Bibionidae*) w glebie wywoływało epizoocje w 90% powodowaną przez *S. intermedium* (Mráček i Sturhan 2000), natomiast obecność w glebie *S. kraussei* miała ścisły związek z rozprzestrzenieniem w lasach iglastych szkodliwej błonkówki osnujki świerkowej (*Cephaleia abietis* L. [Mráček 1991; 1994]). Zjawisko koegzystencji nicieni w glebie odnotowano podczas badań prowadzonych w północo-zachodniej Polsce, gdzie w czterech próbach glebowych pobranych z zieleńców miejskich wyizolowano jednocześnie dwa gatunki nicieni (*S. feltiae* i *S. affine* – dwukrotnie, raz *S. feltiae* i *H. megidis* i raz *S. affine* i *H. megidis*). Podobnie w Czechach, w sześciu próbach znaleziono po dwa gatunki nicieni (trzykrotnie *S. feltiae* i *S. affine*, dwukrotnie *S. feltiae* i *S. kraussei* oraz w jednej próbie *S. kraussei* i *S. silvaticum* [Mráček i in. 1999]). Natomiast na Słowacji i w Niemczech stwierdzono nawet trzy i cztery gatunki nicieni jednocześnie w próbie (Sturhan 1999; Sturhan i Lišková 1999).

W warunkach laboratoryjnych nicienie mogą porażać wiele owadów, które nie występują w ich środowisku (Gaugler i in. 1997; Sturhan 1999). W naturze jednak wykazują określone preferencje w wyborze gatunków owadów–gospodarzy (Kaya i Gaugler 1993; Sturhan 1999). Większość gatunków z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* charakteryzuje duże powinowactwo do owadów z rzędu *Lepidoptera* (Mráček i in. 1998). Ważną grupę żywicieli tych nicieni stanowią także larwy chrząszczy, błonkówek roślinożernych, a także niektórych muchówek (Webster 1980; Gaugler 1988; Poinar 1990).

Przeprowadzone badania własne udowodniły, że *S. feltiae* jest gatunkiem o szerokiej elastyczności ekologicznej. Świadczy o tym fakt, że został stwierdzony w bardzo różnych typach ekosystemów (m.in. las, parki i skwery miejskie, agrocenozy, strefa przybrzeżna morza) i w obecności owadów należących do odrębnych grup systematycznych (*Lepidoptera*, *Coleoptera*, *Hymenoptera*). Najrzadziej notowany był na stanowiskach zasiedlonych przez błonkówki roślinożerne. Najwięcej prób z *S. feltiae* stwierdzono w lasach sosnowych, w miej-

scach gradacji motyli, np. strzygoni choinówki *Panolis flammea* i paprocha cetyniaka *Bupalus piniastris*, a także larw chrząszczy *Melolontha melolontha*. Ogółem w monokulturach sosnowych odnotowano stosunkowo niski procent nicieni, wynoszący od 14 do 55%. Tymczasem Mráček i in. (2005a), w miejscach podwyższonej koncentracji owadów i bogatszych siedliskowo, uzyskał od 58 do 100% pozytywnych prób z nicieniami. Zróżnicowane zagęszczenie nicieni, obserwowane np. na stanowiskach z *P. flammea* i *B. piniastris* czy na pędraczyskach, sugeruje, że występowanie nicieni w ogniskach gradacyjnych owadów może mieć charakter skupiskowy, co utrudnia ich izolację z terenu i rzeczywistą ocenę wielkości populacji tych pasożytów. Z drugiej strony, w kontekście wieloletniej gradacji owadów, istotny może być termin prowadzonych badań terenowych, uwzględniający tę fazę gradacji, w której zagęszczenie nicieni w glebie jest najwyższe. Fluktuacje w populacjach owadów mogą przybierać formę: latentną (spoczynkową), gdy gatunek utrzymuje się stale na niskim poziomie liczebności, okresową – przeplataną okresami wzrostu i spadku liczebności oraz ciągłą – gdy następują mniej lub bardziej regularne zmiany w nasileniu liczebności owadów (Szujecki 1998a). Powiązania owadów z nicieniami opisał Peters (1996), dzieląc epizoocje nicieni na krótko- i długotrwałe. Epizoocje wybuchają zwykle wtedy, gdy populacja gospodarzy osiąga bardzo wysokie zagęszczenie (Combes 1999), w rezultacie następuje szybkie załamanie liczebności owadów będące efektem patogeniczności.

W zieleni miejskiej *S. feltiae* najczęściej występował w alejach dębowych ze słonikiem żołędziowcem *Curculio glandium* (43% wszystkich prób), a w mniejszym stopniu z opuchlakiem lilakowcem *Otiorhynchus rotundatus* i oprzędzikami *Sitona* spp. (12,5% wszystkich prób). W innych badaniach także wykazano związek tego gatunku z chrząszczami z rodziny ryjkowcowatych *Curculionidae*, szczególnie z opuchlakiem truskawkowcem *Otiorhynchus sulcatus* Fabr. (Mráček i in. 2005a). Podwyższona aktywność *S. feltiae*, szczególnie w stosunku do larw motyli, świadczy o jego naturalnych preferencjach do owadów z rzędu *Lepidoptera*, zwłaszcza że gatunek ten został po raz pierwszy wyizolowany właśnie z gąsienic rolnicy zbożówki *Agrotis segetum* Denis & Schiffermüller (Filipjev 1934), która podobnie jak odnotowana w lasach strzygonia choinówka należą do motyli z rodziny sówkowatych *Noctuidae*. W Czechach wysoki udział *S. feltiae*, przy dużym zagęszczeniu motyli w środowisku, zanotowano również w sadach (Mráček i Bečvář 2000) i w zbiorowiskach z drzewostanem liściastym (Mráček i in. 2005a). Mniejsze powinowactwo do motyli wykazywał *S. silvaticum* stwierdzony głównie w lasach liściastych i iglastych, w których dominowały błonkówki roślinożerne (*Diprionidae*, *Cynipidae*). Jak dotąd nie zidentyfikowano naturalnych żywicieli tego gatunku (Sturhan i in. 2005). W przypadku innych nicieni objętych badaniami, jak *S. affine*, *S. bicornutum* czy *H. megidis*, nie zaobserwowano wyraźnego związku między tymi gatunkami a obecnością motyli w środowisku, w przeciwieństwie do wyników uzyskanych w sadach przez Mráček i Bečvář (2000) oraz Mráček i in. (2005a), gdzie występowanie *S. affine* i *S. bicornutum* ściśle wiązano z pojawianiem się *Lepidoptera* w środowisku.

W północno-zachodniej Polsce wysoki procentowy udział *S. affine* (85% prób) zaobserwowano w miejscach występowania chrząszczy, szczególnie z rodziny *Curculionidae* i *Scarabaeidae*. Na szczególną uwagę zasługuje stwierdzenie tego gatunku w ogniskach gradacyjnych larw *M. melolontha*, zwłaszcza że w praktyce do zwalczania chrząszczy z rodziny

Scarabaeidae, ważnych szkodników pól uprawnych, sadów, trawników i pastwisk (Ansari i in. 2003), wykorzystywane są głównie nicienie z rodziny *Heterorhabditidae*: *H. megidis*, *H. bacteriophora*, *H. zealandica* i *H. marelata* (Ehlers 1996; Ehlers i in. 1996; Bednarek 1999; Kowalska 2001; Grewal i in. 2005). Podejmowane są także badania nad wykorzystaniem nicieni z rodziny *Steinernematidae* do ochrony roślin przed pędrakami. Obiecujące wyniki uzyskano w zwalczaniu pędraków *Popillia japonica* Newman (Georgis i Gaugler 1991; Lacey i in. 1996) i *M. melolontha* (Vlug 1996; Peters 2000; Ansari i in. 2006) z zastosowaniem *S. glaseri*. Wysoki stopień porażenia pędraków chrabąszcza majowego obserwowano również przy udziale *S. caropcapsae* (Zimmerman 1992) i *S. arenarium* (Kowalska 2004). Obecnie znanych jest aż pięć gatunków nicieni z rodziny *Steinernematidae*, które w naturalnym środowisku pasożytują larwy chrząszczy z rodziny *Scarabaeidae*. Są to: *S. glaseri* (Glaser i Fox 1930; Ansari i in. 2005), *S. arenarium* (Kozodoi 1984), *S. feltiae* (Poinar 1986), *S. kushidai* (Mamiya 1988) i *Steinernema scarabaei* Stock & Koppenhöfer (Stock i Koppenhöfer 2003). Dotychczas jednak brakuje informacji o zdolnościach infekcyjnych *S. affine* względem chrząszczy z rodziny żukowatych. Na zalesionych gruntach porolnych zasiedlonych przez pędraki *M. melolontha* na żadnym stanowisku nie wyizolowano nicieni z rodziny *Heterorhabditidae*, natomiast stwierdzono obecność *S. affine* (44% stwierdzeń) i *S. feltiae* (56% stwierdzeń), które współwystępowały ze sobą. Kreft i in. (2011) wskazują istotne różnice w stopniu porażenia pędraków *M. melolontha* przez różne gatunki nicieni owadobójczych w zależności od stadium rozwojowego tego szkodnika. Największą efektywność porażania larw chrabąszcza majowego zaobserwowano w przypadku *S. arenarium* i *H. megidis* w stosunku do najmłodszych pędraków (stadium L_1). Podobne wnioski uzyskali Ansari i in. (2006) w badaniach nad *M. melolontha*, *Hoplia philanthus* i *Serica brunnea* stwierdzając, że patogeniczność nicieni względem larw *Scarabaeidae* zależy zarówno od stadium rozwojowego pędraków, jak i od gatunku nicienia oraz owada, przeciwko któremu został on zastosowany. Z doświadczeń laboratoryjnych wynika, że poszczególne gatunki nicieni wykazują różne zdolności infekcyjne względem tych samych larw żukowatych (Koppenhöfer i Fuzy 2008). Smits i in. (1994) argumentują, że starsze pędraki o większych rozmiarach ciała posiadają proporcjonalnie większe naturalne otwory, przez które nicienie łatwiej infekują swojego żywiciela. W odpowiedzi owady te wykształciły wiele mechanizmów obronnych, utrudniających wnikanie pasożytów do ich ciała, np. twardy oskórek, liczne szczecinki, drobne włoski czy siateczki wokół naturalnych otworów ciała, bądź wzmożoną ruchliwość, która utrudnia zasiedlenie gospodarza (Schroeder i in. 1993).

Naturalne powiązania *S. affine* z owadami wykazał Bovien (1937), który wyizolował ten gatunek z muchówek leniowatych *Bibionidae*. Wysokie zagęszczenie *S. affine* w środowisku obserwowano także w obecności larw chrząszczy z rodziny *Carabidae* i *Curculionidae* oraz muchówek z rodziny *Asilidae* i *Empididae* (Půža i Mràček 2005; 2007). Na podstawie uzyskanych wyników, a także danych literaturowych, można stwierdzić, że krąg żywicieli *S. affine* jest tak szeroki, że gatunek ten może odegrać ważną rolę w ochronie roślin przed różnymi grupami szkodników (Mráček i in. 2005b).

W zieleni miejskiej i w agrocenozach zasiedlonych przez błonkówki roślinożerne, szczególnie z rodziny *Tenthredinidae* (różanki, sady) i *Argidae* (różanki), dominował *H. megidis* (84% stwierdzeń). Tylko nieznaczny procent tych nicieni (> 16% stwierdzeń) odnoto-

wano w miejscach żerowania chrząszczy z rodziny *Curculionidae*. W warunkach naturalnych *H. megidis* został wyizolowany z pędraków *Popilia japonica* Newm. (Poinar i in. 1987). Z licznych doświadczeń laboratoryjnych i polowych wynika, że gatunek ten odznacza się również wysoką patogenicznością w stosunku do wielu roślinarek (*Hymenoptera*: *Symphyta*), groźnych szkodników drzew zasiedlających parki i lasy miejskie, a także sady (*Hoplocampa* spp. [Tomalak 2002; 2003b; Tello i in. 2005; Tomalak 2006]). Równie skuteczny okazał się w ograniczaniu populacji fitofagicznych chrząszczy z rodziny *Chrysomelidae* jak *Altica quercetorum* Foudr. czy *Agelastica alni* L. (Tomalak 2004), a także motyli z rodziny *Geometridae* (*Operophtera brumata* L., *O. fagata* Scharfenberg [Tomalak 2003c]). Wyniki przeprowadzonych badań nad występowaniem nicieni w zieleni miejskiej i w sadach sugerują, że *H. megidis* stanowi ważny, naturalny czynnik oporu środowiska względem wielu owadów roślinożernych. Potwierdzają to także pozytywne wyniki doświadczeń nad praktycznym wykorzystaniem tego gatunku do zwalczania różnych szkodników drzew, zwłaszcza roślinarek (Tomalak 2003b; 2006). Wzmocnienie lokalnych populacji nicieni *H. megidis* przez doglebową aplikację wyselekcjowanych szczepów tego gatunku może zwiększyć ich skuteczność, szczególnie w okresie masowego pojawiania się szkodliwych owadów.

Wśród zidentyfikowanych nicieni najrzadszym gatunkiem okazał się *S. carpocapsae*, stwierdzony na polu uprawnym zasiedlonym przez larwy chrząszczy z rodziny *Elateridae* (16 larw/m^2). Obecność *S. carpocapsae*, przy dużym zagęszczeniu drutowców w glebie, nie jest przypadkowa, biorąc pod uwagę fakt, że gatunek ten został wyizolowany z larw *Elateridae* w Bułgarii (Gradinarov 2005). W badaniach laboratoryjnych skuteczność zwalczania larw *Elateridae* przez nicienie *S. carpocapsae* nie przekroczyła 50%, natomiast najskuteczniejszy w tej walce okazał się *H. bacteriophora*, który spowodował śmierć 65% drutowców (Ansari i in. 2003; 2009). Dotychczas *S. carpocapsae* był wielokrotnie znajdowany w gąsienicach motyli *Carpocapsa pomonella* (=*Cydia pomonella* [Weiser 1955; Dutky i Hough 1955; Stanuszek 1974]). W praktyce gatunek ten posiada szeroki krąg żywicieli z różnych grup taksonomicznych, bytujących w różnych środowiskach (Cross i in. 1999). Najczęściej wykorzystywany jest do zwalczania szkodników sadów i upraw ogrodniczych (Ehlers 1996; Cross i in. 1999; Vega i in. 2000; Shapiro-Ilan i in. 2005).

Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że aktywność nicieni zmieniała się w sezonie i nie miała charakteru ciągłego. Nicienie nie były rejestrowane jednakowo w każdym miesiącu na poszczególnych stanowiskach. Przeciwnie do innych autorów, którzy obecność tych pasożytów obserwowali przez cały sezon wegetacyjny (Campbell i in. 1995; Glazer i in. 1996; Půža i Mràček 2005) lub przez cały rok (Hominick i Briscoe 1990b; Mràček i in. 1999, 2005a). Pomimo że niewielu z nich wykazało określoną sezonowość nicieni w glebie (Mràček i in. 2005a), to większość obserwowała wyraźny wzrost ich zagęszczenia wiosną, rzadziej latem (Mràček i Webster 1993; Sturhan 1996b) czy jesienią (Mràček 1982).

Tymczasem w aglomeracji miejskiej, gdzie badania prowadzono w zieleńcu zdominowanym przez opuchlaki *O. rotundatus*, największe zagęszczenie nicieni zanotowano w miesiącach letnich (20 000–25 000 os./m^2). W tym czasie zidentyfikowano dwa gatunki nicieni – *S. bicornutum* i *S. feltiae*. Natomiast jesienią zmienił się częściowo skład gatunkowy wyizolowanych pasożytów (*S. bicornutum*, S. *affine*) i zmalało ich zagęszczenie w glebie

(około 5000 os./m^2 mniej niż latem). Podobnie w zadrzewieniach z dębami zasiedlanymi przez słonika żołędziowca *C. glandium*, najwyższe zagęszczenie nicieni *S. feltiae* i *S. affine* zanotowano latem (odpowiednio 300 000 i 40 000 os./m^2). Na innym stanowisku z dębami zagęszczenie nicieni było ogółem niższe (maks. 32 000 os./m^2), a skład gatunkowy i aktywność nicieni zmieniała się w sezonie: wiosną dominował *S. feltiae*, a latem gatunek ten współwystępował z *S. affine* i dominującym w tym czasie *H. megidis* (20 000 os./m^2). Zagęszczenie nicieni w badanych środowiskach w większości obserwacji było porównywalne z wynikami Půža i Mràček (2005), którzy w zadrzewieniach z dębami stwierdzili średnio 28 000 os./m^2, a na łące 11 000 os./m^2. Na szczególną uwagę zasługuje współwystępowanie ze sobą na jednym stanowisku dwóch lub trzech gatunków nicieni. Wielu autorów podkreśla, że występowanie i zagęszczenie nicieni owadobójczych zależy przede wszystkim od zagęszczenia i dostępności ich żywicieli w środowisku (Mràček i Webster 1993; Mràček i in. 1999, 2005a; Mráček i Bečvář 2000). Rzadziej wykazywane są ujemne korelacje między nicieniami a owadami bytującymi razem w glebie, kiedy zagęszczenie pasożytów maleje wraz ze wzrostem gospodarzy (Půža i Mràček 2005). Podczas badań prowadzonych w zieleni miejskiej nad sezonową aktywnością nicieni w niektórych miesiącach w ogóle nie wyizolowano tych organizmów z gleby, w innych stwierdzono ich wysokie zagęszczenie w tym samym miejscu. Istnieje kilka teorii wyjaśniających różnice w zagęszczeniu nicieni w glebie obserwowane w sezonie wegetacyjnym, na określonym stanowisku. Najważniejszą przyczyną tych fluktuacji jest dostępność odpowiedniego gospodarza w środowisku i jego zagęszczenie (Půža i Mràček 2005). Ponadto każdy z gatunków nicieni wykazuje określone preferencje w zakresie wyboru gatunku gospodarza, które są zauważalne nawet w obrębie jednego rzędu owadów. Z doświadczeń Půža i Mràček (2005) wynika, że *S. affine* chętnie poraża chrząszcze z rodziny *Carabidae* lub *Curculionidae*, natomiast jest nieskuteczny w stosunku do rodziny *Elateridae*. Obecność *S. feltiae* w północno-zachodniej Polsce była częściej rejestrowana w miejscach zasiedlonych przez motyle z rodziny *Noctuidae* (*Panolis flammea*) niż z rodziny *Gracilaridae* (*Cameraria ohridella*). Tymczasem Nader i in. (2010) twierdzą, że występowanie nicieni ma związek z obecnością w środowisku żywicieli z różnych grup taksonomicznych jednocześnie. Nie bez znaczenia jest także stadium rozwojowe w jakim znajduje się żywiciel (Smits i in. 1994; Boff i in. 2000) oraz rozmiary ciała potencjalnego gospodarza (Wójcik 1986; Kaya i Koppenhöfer 1996). Dodatkowo wzrost lub spadek zagęszczenia lokalnej populacji nicieni może być spowodowany konkurencją międzygatunkową współwystępujących ze sobą pasożytów (Půža i Mràček 2005). Kaya i Koppenhöfer (1996) podają, że przegęszczenie larw inwazyjnych wewnątrz ciała żywiciela może hamować rozwój tych pasożytów. Bednarek i Nowicki (1986a) zaobserwowali, że zdolności infekcyjne nicieni zmieniają się w czasie. Przedłużony kontakt nicieni z żywicielem może wpływać na zmniejszenie ich zasobów energetycznych i obniżenie patogeniczności. W badaniach tych wykazano, że tylko połowa larw inwazyjnych nicieni zasiedla ciało gospodarza, a stopień porażenia owadów przez nicienie zależy w dużym stopniu od oporu środowiska wewnętrznego żywiciela. Opór ten wzrasta proporcjonalnie do liczby larw, które już zasiedliły owada. Inne badania pokazują, że poszczególne gatunki nicieni mogą współwystępować ze sobą dzięki różnicom w przestrzennym rozmieszczeniu w glebie, co umożliwia każdemu dostęp do żywiciela (Půža i Mrà-

ček 2010). Największe zagęszczenie *S. affine* w profilu glebowym zanotowano na poziomie do 4 cm, natomiast *S. kraussei* od 6 do 10 cm. Różnice w pionowym i poziomym rozmieszczeniu nicieni w glebie wykazał także Sturhan (1996b). Stwierdził on, że najwięcej nicieni ze *Steinernema* koncentruje się w glebie na głębokości od 0 do 15 cm. Uzyskane wyniki badań w aglomeracji miejskiej, a także podobne, prowadzone przez innych autorów (Glazer i in. 1996; Pino i Palomo 1996; Koppenhöfer i Kaya 1996; Campbell 1998), pozwalają wnioskować o istnieniu różnic między populacjami nicieni w rozkładzie przestrzennym i czasowym, co umożliwia im przetrwanie w tym samym środowisku.

Nie bez znaczenia dla trwałości populacji nicieni owadobójczych jest przyjęta przez nie strategia żerowania (Kaya i Gaugler 1993), która może umożliwiać współistnienie pasożytów w jednym środowisku (Koppenhöfer i Kaya 1996). Aktywność nicieni w glebie jest warunkiem koniecznym dla przetrwania i zachowania populacji na określonym poziomie. Migracja w podłożu zależy przede wszystkim od gatunku nicienia, a także od rodzaju gleby (Kung i in. 1990; Kaya 1990). Niektóre nicienie pozostają przy powierzchni gleby, jak *S. carpocapsae*, oczekując na przemieszczające się owady (Lewis i in. 2002). Inne wędrują w głąb podłoża, jak *S. glaseri* czy *S. feltiae*, obierając strategię aktywnego poszukiwania żywiciela (Ishibashi i Kondo 1990). Migracja nicieni jest ściśle związana z zagęszczeniem owadów w glebie i wzrasta proporcjonalnie do rosnącego gradientu dwutlenku węgla (Gaugler i in. 1980). Reasumując, współistnienie różnych gatunków nicieni w glebie jest możliwe dzięki zdolności każdej z populacji do adaptacji w podobnych warunkach. Duże znaczenie w zachowaniu trwałości populacji może mieć strategia żerowania przyjęta przez określony gatunek i jego mobilność w środowisku, preferencje pokarmowe w stosunku do szerokiego kręgu żywicieli i różnych ich stadiów rozwojowych, a także reakcja na niekorzystne czynniki biotyczne (np. suszę) czy brak pokarmu. Nicienie owadobójcze w różny sposób bronią się przed niesprzyjającymi warunkami otoczenia. Jedne pozostają w pozycji nieruchomej, inne przemieszczają się pionowo w głąb gleby, unikając niekorzystnego oddziaływania środowiska, lub opóźniają migrację z martwego ciała żywiciela (Brown i Gaugler 1997).

Ważnymi czynnikami abiotycznymi, istotnie wpływającymi na aktywność biologiczną nicieni i mobilność larw inwazyjnych w podłożu, są m.in. struktura gleby, jej wilgotność i temperatura (Molyneux i Beddnig 1984; Hominick i Briscoe 1990a). W przeprowadzonych badaniach najwyższy procentowy udział prób z nicieniami, w stosunku do ogółu pobranych prób, uzyskano z gleb piaszczysto-gliniastych. Natomiast największą różnorodność gatunkową zanotowano w glebach piaszczystych. Niektóre gatunki nicieni wystąpiły tylko w jednym określonym rodzaju gleby. *S. silvaticum* i *H. bacteriophora* stwierdzono w piaskach, podczas gdy w utworach gliniastych dominował *H. megidis* (47% prób). We wszystkich rodzajach gleb odnotowano obecność *S. feltiae*, chociaż gatunek ten najczęściej występował w utworach piaszczystych. Również inni autorzy wykazali związek *S. silvaticum* z glebami piaszczystymi, a *S. feltiae* stwierdzili we wszystkich rodzajach badanych gleb (Mràček i in. 2005a). Uzyskane wyniki potwierdzają tezę, że nicienie owadobójcze występują w różnych typach gleb i, jak pokazały badania w północno-zachodniej Polsce, mogą także przebywać w miejscach sezonowo lub okresowo podmokłych (Hominick i Briscoe 1990a). Jednak wraz ze wzrostem zawartości gliny zmniejsza się ich aktywność (Molyneux i Beddnig 1984; Kung i in. 1990), co

ma związek z wielkością przestrzeni międzycząsteczkowych oraz napowietrzeniem (Gaugler i Kaya 1990; Hominick i Briscoe 1990a). Z danych literaturowych wynika, że nicienie owadobójcze częściej występują w glebach gliniasto-piaszczystych (Kary i in. 2009), piaszczystych (Kung i in. 1990) i ilasto-piaszczystych (Stock i in. 1999), a ich zagęszczenie wzrasta (efekt intensywności porażenia) na obszarach o umiarkowanej ilości opadów (Molyneux i Beddnig 1984; Koppenhöfer i in. 1997).

Na podstawie analizy fizykochemicznej stwierdzono, że odczyn gleby nie wpływał bezpośrednio na nicienie owadobójcze, które występowały zarówno w glebach bardzo kwaśnych (pH < 4,5), jak i zasadowych (pH > 7,2). Obecność tych pasożytów przy szerokim zakresie pH, tj. od 4,6 do 8, potwierdzili także Hara i in. (1991), Griffin i in. (1994) oraz Stock i in. (1999). Inni autorzy podkreślali, że żywotność larw inwazyjnych jest znacznie ograniczona w glebach bardzo kwaśnych i silnie alkalicznych (Kung i in. 1990). W badaniach prowadzonych w północno-zachodniej Polsce zaobserwowano, że niektóre gatunki nicieni, jak *S. bicornutum* i *H. megidis*, występowały jedynie w glebach alkalicznych, a inne, jak *S. silvaticum*, tylko w środowisku gleb kwaśnych (pH < 4,5). Ponadto stwierdzono, że nicienie najczęściej występowały w glebach o średniej zawartości próchnicy (2–5%), chociaż uważa się, że gleby bogate w materię organiczną stanowią dobre schronienie dla tych organizmów (Hominick i Briscoe 1990a). Jednym z ważnych czynników umożliwiających przemieszczanie się nicieni owadobójczych w podłożu jest wilgotność gleby (Kaya 1990, Koppenhöfer i in. 1995, Půža i Mràček 2007). Obecność tych nicieni stwierdzono zarówno w glebach o bardzo niskiej wilgotności, np. w pasie wydm nadmorskich, jak i o wysokiej wilgotności, np. na łąkach i pastwiskach zalewowych. Potwierdziły się także spostrzeżenia innych badaczy, że zarówno zbyt mała wilgotność gleby, jak i jej całkowite nasycenie, niekorzystnie wpływają na nicienie i ich rozprzestrzenienie w podłożu (Kondo i Ishibasi 1985). Najniższy procentowy udział prób z nicieniami uzyskano w glebach o skrajnie zróżnicowanej zawartości wody, tj. powyżej 22% wilgotności (25% prób) i poniżej 1,53% wilgotności (10% prób). Půža i Mràček (2007) sugerują, że niska zawartość wody w glebie może spowalniać migrację larw inwazyjnych z ciała martwego owada do środowiska zewnętrznego i wpływać na zróżnicowane zagęszczenie nicieni w glebie. Autorzy ci zauważyli, że w czasie okresowej suszy wyraźnie spadała liczebność nicieni w glebie (Půža i Mràček 2005). Natomiast Kung i in. (1991) oraz Hass i in. (2002) zaobserwowali, że dłuższe przebywanie nicieni w wilgotnej glebie może powodować nadmierną ich aktywność, która w rezultacie powoduje uszczuplenie ich zapasów energetycznych. Ostatecznie jednak larwy inwazyjne posiadają liczne mitochondria oraz ciała tłuszczowe, które na pewien czas zabezpieczają je przed śmiercią z wygłodzenia lub przed niekorzystnymi czynnikami zewnętrznymi (Poinar 1990; Qui i Bedding 2000a, 2000b). Fakt ten uzasadnia obecność nicieni owadobójczych w skrajnie odmiennych warunkach siedliskowych i ich trwałość w środowisku. Mobilność nicieni w środowisku, a szczególnie ich rozwój i zdolności reprodukcyjne są w dużej mierze uzależnione od temperatury (Kaya 1990; Mráček i Webster 1993; Schirocki i Hague 1997; Jaworska i Ropek 1997; Saunders i Webster 1999; Kowalska 2005). Optymalny rozwój większości gatunków nicieni owadobójczych obserwowany jest w 20–25°C (Saunders i Webster 1999), co także potwierdzono w badaniach laboratoryjnych nad aktywnością biologiczną nicieni w warunkach współwystępowania różnych

gatunków tych pasożytów. W przeprowadzonych doświadczeniach stwierdzono, że testowane gatunki nicieni – *S. feltiae, S. affine* i *H. megidis* – w warunkach kontrolnych (bez konkurenta) najszybciej porażały owady *Galleria mellonella* w temperaturze 25°C (po 48 godzinach), natomiast w warunkach współwystępowania (*S. feltiae* + *S. affine* lub *S. feltiae* + *H. megidis*) proces ten wydłużał się o 24 godziny. W niższej temperaturze (15°C) nastąpiło spowolnienie aktywności zarówno nicieni ze *Steinernema*, jak i *Heterorhabditis*, odpowiednio o 24 i 48 godzin. Przyjmuje się, że nicienie z rodziny *Steinernematidae* zachowują swoje zdolności infekcyjne w szerokim zakresie temperatur od 2 do 30°C (Kaya 1990). Jednak zakres tej tolerancji zmienia się w zależności od gatunku nicienia i jego geograficznej lokalizacji (Kaya 1990; Griffin i in. 1991; Mráček i Webster 1993) oraz od zagęszczenia owadów w środowisku, w którym występują (Mráček i in. 1998). Mráček i in. (1998) zaobserwowali, że izolaty tego samego gatunku, pochodzące z odległych geograficznie miejsc, są w różnym stopniu przystosowane do tych samych żywicieli. Wyraźnie wyższą śmiertelność *Cephaleia abietis* w temperaturze 7°C zanotowano w przypadku populacji nicieni *S. kraussei* wyizolowanych z terenu Czech (10–30 % porażenia) niż z Kanady (2–16 % porażenia). Natomiast Saunders i Webster (1999) sugerują, że zdolności infekcyjne nicieni zmniejszają się wraz ze spadkiem aktywności owadów w niższej temperaturze. Niska temperatura ogranicza infekcyjność ciepłolubnych gatunków, do których zaliczane są nicienie z rodziny *Heterorhabditidae* (Kaya 1990; Griffin i in. 1991; Mráček i Webster 1993; Brown i Gaugler 1997). W przypadku współwystępowania nicieni w podłożu, co jest zjawiskiem stosunkowo często obserwowanym w środowisku (Mráček i in. 1999, 2005a; Sturhan 1999; Sturhan i Lišková 1999; Mráček i Bečvář 2000), istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność porażenia owadów przez nicienie jest strategia żerowania, przyjęta przez określonego pasożyta. Wang i Ishibashi (1999) przeprowadzili doświadczenia na dwóch gatunkach nicieni, *S. carpocapsae* i *S. glaseri*, które w różny sposób atakują swoje ofiary. *S. carpocapsae* to łowca pasywny, który częściej oczekuje na spotkanie z żywicielem, tymczasem *S. glaseri* aktywnie penetruje otoczenie w poszukiwaniu owada (Ehlers 1996). Autorzy dowiedli, że strategie żerowania obu gatunków ulegają pewnej modyfikacji w warunkach koegzystencji nicieni (Wang i Ishibashi 1999). Zaobserwowali oni, że w powierzchniowych warstwach gleby (do 2 cm) aktywność *S. carpocapsae* wyraźnie wzrastała w obecności konkurenta. Odwrotną reakcję odnotowano na głębokości 7 cm, gdzie aktywniej penetrował środowisko *S. glaseri*.

Z literatury wiadomo, że strategia żerowania *S. feltiae, S. affine* i *H. megidis* opiera się na aktywnej penetracji otoczenia w poszukiwaniu żywiciela (Ishibasi i Kondo 1990; Ehlers 1996; Půža i Mràček 2010). Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że w warunkach współwystępowania nicieni w różnych wariantach temperatury (15, 20 i 25°C) *S. feltiae* częściej porażał owady testowe *G. mellonella* niż *H. megidis* i szybciej docierał do żywiciela, infekując go. Nigdy natomiast oba gatunki nicieni nie wystąpiły razem w ciele martwego owada, co zapewne ma związek z odmiennymi właściwościami bakterii, które współżyją z tymi nicieniami, wspierając je w rozwoju (Chen i in. 1996; Davies i Gouge 1998). W przypadku współwystępowania *S. feltiae* z *S. affine* wpływ temperatury na ich aktywność był znaczący. W niższej temperaturze (15 i 20°C) śmiertelność owadów była najwyższa wtedy, gdy oba gatunki znajdowały się wewnątrz ciała żywiciela jednocześnie (36% przy 15°C i 58%

przy 20°C). Natomiast w temperaturze 25°C owady były najczęściej porażane tylko przez *S. feltiae* (58% testowanych owadów). Niezmienna we wszystkich wariantach temperaturowych zarówno w warunkach kontrolnych, jak i w warunkach współwystępowania z *H. megidis* czy *S. affine*, pozostawała struktura płci *S. feltiae*. Zauważono, że samców było zwykle dwukrotnie mniej niż samic. Bohan i Hominick (1997) sugerują, że w początkowej fazie infekcji stosunek samic do samców jest niezrównoważony na korzyść samic. Dopiero w późniejszym etapie infekcji proporcje te wyrównują się dla obu płci. Podobne wyniki uzyskali Bednarek i in. (1986b), którzy zaobserwowali, że w obrębie rozwijającej się w jamie ciała owada populacji *S. feltiae* przeważały samice olbrzymie nad samicami. To sugeruje, że skład populacji pasożytniczych nicieni może odbiegać od oczekiwanej proporcji płci, wynoszącej po 50% osobników spośród samców i samic, a proporcja płci 1 : 1 nie jest stała w populacjach tych nicieni.

Uzyskane dane wskazują, że obok czynników abiotycznych, jak: temperatura, wilgotność czy rodzaj gleby, istotny wpływ na aktywność biologiczną nicieni mają oddziaływania wewnątrz- i międzygatunkowe (Bednarek 1990; Bednarek i in. 1986a; 1986b, Krebs 2011). Osobniki wchodzące w skład populacji nie są jednakowe, co wykazały badania genetyczne Tomalaka (1998). Dodatkowo, dzięki diagnostyce molekularnej, wykazano, że istnieją różnice pomiędzy izolatami tego samego gatunku pochodzącymi z różnych środowisk. Ponadto na kondycję każdej populacji może wpływać jej struktura (Krebs 2011). W przypadku nicieni szczególne znaczenie ma płeć i wielkość osobników. Proporcja płci może wpływać na tempo rozrodu, a cechy morfometryczne na mobilność nicieni w glebie i infekcyjność. Boff i in. (2000) zaobserwowali, że wraz ze wzrostem rozmiarów ciała żywiciela proporcjonalnie zmieniały się rozmiary ciała pasożytniczych nicieni, a przy ich niskim zagęszczeniu zwiększała się długość ciała produkowanych larw inwazyjnych. Najczęściej badanym efektem oddziaływań między gatunkami jest ich wpływ na wzrost populacji (Krebs 2011). Do takich oddziaływań należy konkurencja, która pojawia się np. gdy dwa gatunki korzystają z tych samych ograniczonych zasobów środowiska. Kondycja każdego gatunku, preferencje pokarmowe i przyjęta strategia żerowania, a także reakcja na niekorzystne warunki otoczenia będą decydowały o trwałości każdej z populacji w środowisku.

5. WNIOSKI

1. Wysoka frekwencja nicieni z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w glebach północno-zachodniej Polski (63% ogółu stanowisk) potwierdza ich powszechne występowanie w różnych ekosystemach. Zróżnicowanie gatunkowe i dostępność owadów w środowisku jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na faunę nicieni owadobójczych w glebie.

2. W północno-zachodniej Polsce stwierdzono pięć gatunków nicieni z rodziny *Steinernematidae*: *Steinernema feltiae, S. affine, S. bicornutum, S. carpocapsae*, a także *S. silvaticum,* którego wstępowanie wcześniej nie było notowane w naszym kraju. Wśród nicieni z rodziny *Heterorhabditidae* dominował *Heterorhabditis megidis*, rzadziej natomiast notowano *H. bacteriophora.*

3. Środowiskiem sprzyjającym występowaniu, wysokiemu zagęszczeniu i zróżnicowaniu gatunkowemu nicieni z rodziny *Steinernematidae* są zbiorowiska leśne i zadrzewienia. Szczególnie dotyczy to zbiorowisk z drzewostanem liściastym.

4. Gatunkiem o największej elastyczności ekologicznej jest *Steinernema feltiae* (49% prób z nicieniami), stwierdzony prawie we wszystkich badanych ekosystemach zarówno na terenach otwartych, jak i w zadrzewieniach, w obecności owadów należących do różnych grup systematycznych (*Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera*) oraz we wszystkich rodzajach badanych gleb.

5. Badania molekularne wykazały wewnątrzgatunkowe zróżnicowanie lokalnej populacji *Steinernema feltiae*, co może mieć związek z odmiennymi warunkami siedliskowymi panującymi na poszczególnych stanowiskach jego występowania oraz zróżnicowaną gatunkowo potencjalną bazą pokarmową *S. feltiae*, dostepną w tych miejscach.

6. Nicienie owadobójcze wykazują określone preferencje w wyborze potencjalnych gospodarzy. W lasach sosnowych, w miejscach gradacji motyli, tj. strzygoni choinówki *Panolis flammea* i paprocha cetyniaka *Bupalus piniastris*, a także chrząszczy *Melolontha melolontha* dominował *Steinernema feltiae*. Nicienie *Steinernema affine* współwystępowały w glebie z chrząszczami z rodziny *Curculionidae* i *Scarabaeidae*. Natomiast *Heterorhabdits megidis* izolowany był najczęściej z ekosystemów zasiedlonych przez błonkówki roślinożerne, zwłaszcza z rodziny *Tenthredinidae* (ozdobne nasadzenia róż, sady) i *Argidae* (różanki).

7. Fakt stwierdzenia nicieni *Steinernema affine* i *S. feltiae* w ogniskach gradacyjnych chrabąszcza majowego *Melolontha melolontha*, na zalesionych gruntach porolnych, może znaleźć praktyczne zastosowanie w ochronie upraw i szkółek leśnych przed larwami tego

chrząszcza. Konieczne jest jednak przeprowadzenie badań na poletkach doświadczalnych w celu weryfikacji powyższej tezy.

8. *Steinernema silvaticum* można uznać za gatunek „leśny". W przeprowadzonych badaniach był on związany głównie z zadrzewieniami zasiedlanymi przez błonkówki roślinożerne (*Diprionidae*, *Cynipidae*).

9. Wykazano, że rodzaj gleby i jej właściwości fizykochemiczne mają wpływ na występowanie poszczególnych gatunków nicieni w środowisku. Ogólnie nicienie owadobójcze preferowały gleby piaszczysto-gliniaste i piaszczyste o różnym odczynie, od bardzo kwaśnego (pH < 4,5) do zasadowego (pH > 7,2). Jednak niektóre gatunki, jak *Steinernema bicornutum* i *Heterorhabditis megidis*, występowały jedynie w glebach alkalicznych, a inne, jak *Steinernema silvaticum*, tylko w środowisku kwaśnym.

10. W warunkach współwystępowania gatunków *Steinernema feltiae, S. affine* i *Heterorhabditis megidis*, w różnej temperaturze (15, 20 i 25°C), larwy infekcyjne *S. feltiae* częściej porażały testowanego żywiciela (*Galleria mellonella*) niż pozostałe gatunki. Jednak określenie znaczenia różnych czynników abiotycznych i biotycznych na aktywność nicieni współwystępujących ze sobą w podłożu wymaga dalszej analizy.

LITERATURA

ADAMS B.J, BURNELL A.M., POWERS T.O. 1998. A phylogenetic analysis of *Heterorhabditis* (*Nemata*: *Rhabditidae*) based on internal transcribed spacer 1 DNA sequence data. *J. Nematology* 30 (1): 22–39.

ADAMS B.J., NGUYEN K.B. 2002. Taxonomy and systematics. In: R. Gaugler (red.), Entomopathogenic Nematology. CABI Publishing, Oxon, New York: 1–34, ISBN 0-85199-567-5.

ANDRZEJCZAK E., KĘDZIORA R., KOZAR-MAKOCKA H., SZTANDERA A., HINC M., OGÓRKIEWICZ M. 2004. Raport o stanie miasta Szczecina. Wydział Strategii i Rozwoju Promocji Miasta, Szczecin: 1–312, ISBN 83-88478-45-1.

ANDRZEJCZAK E., BEDNARCZYK M., KARBOWNIK S., KOZAR-MAKOCKA H., KULPA G., LESZCZYŃSKA M., MICHALSKI K., MIESZKUĆ A., SKWARK A., SZCZEPANIAK B., SZTANDERA A., SZUT D., URBANOWICZ J., WAGNER N. 2008. Szczecin. Raport o stanie miasta. Wydział Rozwoju Miasta i Funduszy Pomocowych UM, Szczecin: 1–334.

ANSARI M.A., TIRRY L., MOENS M. 2003. Entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria for the biological control of *Hoplia philantus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Biol. Control* 28: 111–117.

ANSARI M.A., WAEYENBERGE L., MOENS M. 2005. First record of *Steinernema glaseri* Steiner, 1929 (Rhabditida: Steinernematidae) from Belgium: a natural pathogen of *Hoplia philanthus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Nematology* 7: 953–956.

ANSARI M.A., EVANS M., BUTT T.M. 2009. Identification of pathogenic strains of entomopathogenic nematodes and fungi for wireworm control. *Crop Protect.* 28: 269–272.

ANSARI M.A., ALI F., MOENS M. 2006. Compared virulence of the Belgian isolate of *Steinernema glaseri* (Rhabditida: Steinernematidae) and the type population of *S. scarabaei* to white grub species (Coleoptera: Scarabaeidae). *Nematology* 8: 787–791.

BANASZAK J. 1998. Z badań nad fauną i ekologią miast. W: Fauna miast (red. T. Barczak, P. Indykiewicz). Wydawnictwo ATR, Bydgoszcz: 21–45, ISBN 978 83-88245-98-5.

BAZMAN I., NURDAN OZER N., HAZIR S. 2008. Bionomics of the entomopathogenic nematode, *Steinernema weiseri* (Rhabditida: Steinernematidae). *Nematology* 10 (5): 735–742.

BEDDING R.A., AKHURST R. 1975. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditid nematodes in soil. *Nematologica* 21: 109–110.

BEDDING R.A. 1981. Low cost *in vitro* mass production of *Neoaplectana* and *Heterorhabditis* species (Nematoda) for field control of insect pests. *Nematologica* 27: 109–114.

BEDDING R.A. 1984. Large-scale production storage and transport of the insect parasitic nematodes *Neoaplectana* spp. and *Heterorhabditis* spp. *Ann. Appl. Biol.* 104: 117–120.

BEDDING R.A. 1986. Mass rearing, storage and transport of entomopathogenic nematodes. Fundamental Appl. Aspects of Invertebr. Pathol (Proc. 4th int. Colloq. Invert. Pathol.), Veldoven, The Netherlands, 18–22 August 1986: 308–311, ISBN 9090013407.

BEDNAREK A. 1990. Ekologiczne uwarunkowania aktywności biologicznej nicieni entomofilnych w środowisku glebowym agrocenoz. Rozprawy Naukowe i Monografie, SGGW-AR, Warszawa: 1–70, ISBN 83-00-02646-0.

BEDNAREK A., NOWICKI T. 1986a. Effect of intrapopulation factors in the nematodes *Steinernema feltiae* (Steinernematidae) on intensity of insect infestation. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 323: 199–212.

BEDNAREK A., NOWICKI T., WÓJCIK W.F. 1986b. Sex structure in populations of *Steinernema feltiae*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 323: 213–223.

BEDNAREK A. 1999. Nowe możliwości zwalczania pędraków chrabąszczy (*Melolonthinae*) w uprawach lesnych. *Sylwan* 4:107–113.

BOFF M.I.C., WIEGERS G.L., SMITH P.H. 2000. Influences of host size and host species on the infectivity and development of *Heterorhabditis megidis* (strain NLH-E 87.3). *BioControl* 45: 469–482.

BOHAN D.A., HOMINICK W.M. 1997. Sex and the dynamics of infection in the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*. *J. Helminthol.* 71: 197–202.

BORÓWKA R. 2002. Środowisko geograficzne. W: Borówka R. i inni. Przyroda Pomorza Zachodniego. Oficyna In Plus, Szczecin 2002: 1–105, ISBN 83-910827-8-4

BOVIEN P. 1937. Some types of association between nematodes and insects. Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistorisk. *Forening* 101: 1–114.

BROWN I., GAUGLER R. 1997. Temperature and humidity influence emergence and survival of entomopathogenic nematodes. *Nematologica* 43: 363–375.

BRZESKI M.W., SANDNER H. 1974. Zarys nematologii. PWRiL, Warszawa: 1–400.

BURNELL A.M., STOCK P. 2000. *Heterorhabditis, Steinernema* and their bacterial symbionts – lethal pathogens of insects. *Nematology* 2: 31–42.

CAMPBELL J.F., GAUGLER R. 1993. Nictation behavior and its ecological implications in the host search strategies of enomopathogenic nematodes. *Behavior.* 126:155–169.

CAMPBELL J.F., LEWIS E., YODER F., GAUGLER R. 1995. Entomopathogenic nematode (Heterorhabditidae and Steinernematidae) seasonal population dynamics and impact on insect populations in turfgrass. *Biol. Control* 5: 598–606.

CAMPBELL J.F, ORZA G., YODER F., LEWIS E., GAUGLER R. 1998. Spatial and temporal distribution of endemic and released entomopathogenic nematode populations in turfgrass. *Entomol. Exp. Appl.* 86: 1–11.

CAMPBELL R.L., GAUGLER R. 1991. Role of the sheath in desiccation tolerance of the two entomopathogenic nematodes. *Nematologica* 37: 324–332.

CHEN G., MAXWELL P., DUNPHY G.B., WEBSTER J.M. 1996. Culture conditions for *Xenorhabdus* and *Photorhabdus symbionts* of entomopathogenic nematodes. *Nematologica* 42: 124–127.

COMBES C. 1999. Ekologia i ewolucja pasożytnictwa. Długotrwałe wzajemne oddziaływania. PWN, Warszawa: 390–392, ISBN 83-01-12882-8.

CROSS J.V., SOLOMON M.G., CHANDLER D., JARRETT P., RICHARDSON P.N., WINSTANLEY D., BATHON H., HUBER J., KELLER B., LANGENBRUCH G.A., ZIMMERMAN G. 1999. Biocontrol of Pests of Apples and Pears in Northern and Central Europe: 1. Microbial Agents and Nematodes. *Biocontrol Sci. Technol.* 9: 125–149.

DAVIES K.G., GOUGE D.H. 1998. Identification of the entomopathogenic nematode bacterial symbiont *Xenorhabdus* species. *Nematologica* 44 (5): 478.

DESEÖ K.V., FANTONI P., LAZZARI G.L. 1988. Presenza di nematodi entomopatogeni (Steinernema spp Hterorhabditis spp.) nei terreni agricoli d'Italia. *Atti gionate fitopatologiche* 2: 269–280.

DUTKY S.R., THOMPSON J.V., CANTWELL G.E. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. *J. Insect Pathol.* 6: 417–422.

DUTKY S.R., HOUGH W.S. 1955. Note on a parasitic nematode from codling moth larvae, *Carpocapsa pomonella* (Lepidoptera, Olethreutidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 57: 244.

DZIĘGIELEWSKA M. 2003. Znaczenie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae, Heterorhabditidae*) w biologicznej ochronie sadów przed szkodnikami. *Folia Hortic. Supl.* 1: 626–628.

DZIĘGIELEWSKA M. 2004. Występowanie nicieni pasożytniczych (*Steinernematidae, Heterorhabditidae*) w sadach z okolic Szczecina. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agricultura* 240 (96): 45–48.

DZIĘGIELEWSKA M., KIEPAS-KOKOT A. 2004. Występowanie nicieni owadobójczych w glebach na terenach przemysłowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 501: 95–101.

EIVAZIAN KARY N., NIKNAM G., GRIFFIN C.T., MOHAMMADI S.A., MOGHADDAM M. 2009. A survey of entomopathogenic nematodes of the families Steinernematidae and Heterorhabditidae (Nematoda: Rhabditida) from north-west of Iran. *Nematology* 11 (1): 107–116.

EHLERS R.U., DESEO K.V., STACKEBRANDT E. 1991. Identification of *Steinernema* spp. (Nematoda) and their symbiotic bacteria *Xenorhabdus* spp. from Italian and German soils. *Nematologica* 37 (3): 360–364.

EHLERS R.U. 1996. Current and future use of nematodes in biocontrol: practice and commercial aspects with regard to regulatory policy issues. *Bioc. Sci. Technol.* 6: 303–316.

EHLERS R.V., SULISTYANTO D., MARINI J. 1996. Control of scarabaeid larvae in golf course turf with *Heterorhabditis megidis* and *H. bacteriophora*. In: IOBC/WPRS Bulletin, Eds. P.H. Smits. Poznań, Polska 27 August – 1 September 1995, vol. 19 (9): 84–85, ISBN 92-9067-083-5.

ELABORAT 2000. Nadleśnictwo Łobez. Obreby: Łobez, Węgorzyno. RDLP Szczecin: 83–131.

EPSKY N.D., WALTER D.E., CAPINERA J.L. 1988. Potential role of nematophagus microarthropods of entomogenus nematodes (Rhabditida: Steinernematidae i Heterorhabditidae). *J. Econ. Entomol.* 81: 821.

GAUGLER R, LEBECK L., NAKAGAKI B., BOUSH G.M. 1980. Orientation of the entomogenous nematode Neoaplectana carpocapsae to carbon dioxide. *Environ. Entomol.* 9: 649–652.

GAUGLER R. 1988. Ecological considerations in the biological control of soil – inhabiting insects with entomopathogenic nematode. *Agric., Ecosys. Environ.* 24: 351–360.

GAUGLER R., KAYA H.K. 1990. Entomopathogenic nematodes in biological control. Boca Raton, FL, USA, CRC Press: 1–365, ISBN 0-8493-4541-3

GAUGLER R., LEWIS E., STUART R.J. 1997. Ecology in the service of biological control: the case of entomopathogenic nematodes. *Oecologia* 109: 483–489.

GEORGIS R., GAUGLER R. 1991. Predictibility in biological control using entomopathogenic nematodes. *J. Econ. Entomol.* 84: 713–720.

GLASER R.W., FOX H. 1930. A nematode parasite of Japanese beetle (*Popillia japonica* Newm.). *Sci.* 70: 16–17.

GLAZER I., KOZODOI E., SALAME L., NESTEL D. 1996. Spatial and temporal occurrence of natura populations of *Heterorhabditis* sp. (Nematode: Rhabditida) in a semiarid region. *Biol. Control* 6: 130–136.

GONET S., HERMANN J. 1995. Zagrożenia zasoleniem czarnych ziem na Kujawach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 207–217.

GRADINAROV D. 2005. Natural occurrence of the entomopathogenic nematodes in Bulgaria and a presence of two morphological types of the male *Steinernema* individuals in the natural populations. COST 850: Proceedings of a workshop held at Institute of Entomology, Czech Academy of Sciences, České Budějovice, January 14–17 2005, http://cost850.ch/publications /20050114_ceske/COST850-9-Ceske-Gradinarov. pdf. dostęp 20.11.2012.

GREWAL P.S., KOPPENHÖFER A.M., CHOO H.Y. 2005. Lawn, turfgrass and pasture applications. In: Nematodes as biocontrol agents. Eds. Grewal, P.S. Ehlers, R.-U., Shapiro-Ilan, D. CAB publishing, CAB International, Oxon.: 147–166, ISBN 0- 85199-017-7.

GRIFFIN C.T., MOORE, DOWNES M.J. 1991. Occurrence of insect-parasitic nematodes (Steinernematidae, Heterorhabditidae) in the Republic of Ireland. *Nematologica* 37: 92–100.

GRIFFIN C.T., JOYCE S.A., DIX I., BURNELL A.M., DOWNES M.J. 1994. Characterization of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis* (Nematoda: Heterorhabditidae) from Ireland and Britain by molecular and cross-breeding techniques, and the occurrence of the genus in these islands. *Fund. Appl. Nematol.* 17: 245–253.

GRIFFIN C.T., DIX I., JOYCE S.A., BURNELL A.M., DOWNES M.J. 1999. Isolation and characterisation of *Heterorhabditis* spp. (Nematoda: Heterorhabditidae) from Hungary, Estonia and Denmark. *Nematology* 1 (3): 321–332.

HAUKELAND S. 1993. Entomopathogenic nematodes found in Norway. *Norw. J. Agric. Sci.* 7: 17–27.

Haukeland S. , Zec-Vojinovic M., Nielsen O. 2005. Occurrence of EPN in the Scandinavia. COST 850: Proceedings of a workshop held at Institute of Entomology, Czech Academy of Sciences, České Budějovice, 14–17 January 2005, http://www.cost850.ch/publicatons/20050114_ceske /COST850-11-Ceske-Haukeland.pdf. dostęp 20.11.2012.

HARA A., GAUGLER R., KAYA H., LEBECK L. 1991. Natural populations of entomopathogenic nematodes from the Hawaiian Islands. *Environ. Entomol.* 20: 211–216.

HAZIR S., KESKIN N., STOCK S.P., HARRY K., KAYA H.K., ÖZCAN S. 2003. Diversity and distribution of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) in Turkey. *Biodiv.Res. Conserv.* 12 (2): 375–386.

HASS B., DOWNES M.J., GRIFFIN C.T. 2002. Persistence of four *Heterorhabditis* spp. isolates in Soil: role of lipid reserves. *J. Nematology* 34: 151–158.

HOMINICK W.M., BRISCOE B.R. 1990a. Occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) in British soil. *Parasitology* 100: 295–302.

HOMINICK W.M., BRISCOE B.R. 1990b. Survey of 15 sites over 28 months for entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae). *Parasitology* 100: 289–294.

HOMINICK W.M., REID A.P. 1990c. Perspectives on entomopathogenic nematology. In: Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. Eds. R. Gaugler, K.H. Kaya. Boca Raton, CRC Press: 327–345, ISBN 0-8493-4541-3.

HOMINICK W.M., REID A.P., BRISCOE B.R. 1995. Prevalence and habitat specificity of steinernematid and heterorhabditid nematodes isolated during soil surveys of the UK and the Netherlands. *J. Helminth.* 69: 27–32.

HOMINICK W.M., REID A.P., BOHAN D.A., BRISCOE B.R. 1996. Entomopathogenic nematodes: biodiversity, geographical dstribution and the convention on biological diversity. *Biocontrol Sci. Techn.* 6: 17–331.

HOMINICK W.M., BRISCOE B.R., DEL PINO F.G., HENG J., HUNT D.J., KOZODOY E., MRÁČEK Z., NGUYEN K.B., REID A.P., SPIRIDONOV S., STOCK P., STURHAN D., WATURU C., YOSHIDA M. 1997. Biosystematics of entomopathogenic nematodes: current status, protocols and definitions. *J. Helminthol.* 71: 271–298.

HOMINICK W.M. 2002. Biogeography. In: Gaugler R. (Eds.) Entomopathogenic Nematology, CABI Publishing, Wallingford, UK: 115-143, ISBN 0-85199-567-5.

HUNT D. 2007. Introduction. W: Nguyen K.B., Hunt D.J. (Eds). Entomopathogenic nematode: Systematics, Phylogeny and Bactrial symbionts. Nematology Monographs and Perspectives, vol. 5. Brill Leiden-Boston: 611–692, ISBN-10: 90-04-15293-8 I ISBN-10: 978-90-04-15293-9.

Instrukcja Ochrony Lasu (opr. zbiorowe) 2004, PGL, Lasy Państwowe, Warszawa: 1–271, ISBN 83-88478-45-1.

ISHIBASHI N., KONDO E. 1990. Behavior of Infective Juveniles. In: Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. Eds. R. Gaugler, K.H. Kaya. Boca Raton, CRC Press: 139–150, ISBN 0-8493-4541-3.

JAWORSKA M., DUDEK B. 1992. Występowanie owadobójczych nicieni w glebach wybranych upraw. *Zesz. Nauk. AR* 267 (20): 131–147.

JAWORSKA M., ROPEK D. 1997. Wpływ temperatury na inwazyjność owadobójczych nicieni. W: Występowanie, aktywność i znaczenie (red. W. Barabasz), Kraków: 245–250, ISBN 83-908452-0-2.

JAWORSKA M., JASIEWICZ CZ., GORCZYCA A. 1997. Wpływ zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleb ogrodów działkowych Śląska na aktywność mikroorganizmów glebowych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 37 (2): 276–278.

KAMIONEK M., PEZOWICZ E., GŁOWACKA B. 1995. Nicienie entomofilne na terenach leśnych o różnym stopniu skażenia zanieczyszczeniami przemysłowymi. *Prace IBL, Seria B* 24: 63–71.

KARY N.E., NIKNAM GH., GRIFFIN C.T., MOHAMMADI S.A, MOHAMMADI M. 2009. A survey of entomopathogenic nematodes of the families Steinernematidae and Heterorhabditidae (Nematoda: Rhabditida) in the North-West of Iran. *Nematology* 11(1): 107–116.

KAYA H.K. 1990. Soil Ecology. In: Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. Eds. R. Gaugler, K.H. Kaya. Boca Raton, CRC Press: 93–115, ISBN 0-8493-4541-3.

KAYA H.K., GAUGLER R. 1993. Entomopathogenic Nematodes. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 181–206.

KAYA H.K., KOPPENHÖFER A.M. 1996. Effects of microbial and other antagonistic organisms and competition on entomopathogenic nematodes. *Biocontrol Sci. Technol.* 6: 357–371.

KAYA H.K., STOCK S.P. 1997. Techniques in insect nematology. W: Manual of Techniques in Insect Pathology (Eds. L.A. Lacey) Academic Press, San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto: 287–296, ISBN-9780124325555.

KAZIMIERCZAK W., SKRZYPEK H., KREFT A. 2009. Charakterystyka morfologiczna *Steinernema arenarium* (izolat BYS) w skaningowym mikroskopie elektronowym. Materiały z Konferencji „Profesor Henryk Sandner – entomolog, ekolog, hematolog, parazytolog, pionier entomologii w Polsce – w 15 rocznicę śmierci", Lublin 15–16 września 2009: 14.

KIEPAS-KOKOT A., ZABŁOCKI Z. 2003. Charakterystyka odpadów organicznych powstających na terenie Elektrowni „Dolna Odra" w Nowym Czarnowie pod kątem ich przydatności do produkcji kompostu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 494: 157–166.

Klasyfikacja gleb leśnych Polski 2000. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 1–128, ISBN 83-88478-20-6.

KOLK A. (red.) 2004. Instrukcja ochrony lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa: 1–271, ISBN 83-88478-45-1.

KONDO E., ISHIBASHI N. 1985. Effects of soil moisture on the survival and infectivity of the entomogenous nematode, Steinernema feltiae (DD-136). *Proc. Assoc. Plant Protect. Kyushu* 31: 186–190.

KONDRACKI J. 2002. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa: 32–97, ISBN 83-01-13897-1.

KOPPENHÖFER A.M., KAYA H.K., TAORMINO S.P. 1995. Infectivity of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae) at different soil depths and moistures. *J. Invertebr. Pathol.* 65: 193–199.

KOPPENHÖFER A.M., KAYA H.K. 1996. Coexistence of entomopathogenic nematodes species (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) with different foraging behavior. *Fund. Appl. Nematol.* 19, 175–183.

KOPPENHÖFER A.M., BAUR M.E., STOCK S.P., YUL H., CHINNASRI B., KAYA H.K. 1997. Survival of entomopathogenic nematodes within host cadavers in dry soil. *Appl. Soil Ecol.* 6: 231–240.

KOPPENHÖFER A.M., FUZY E.M. 2008. Attraction of four entomopathogenic nematode species to four white grub species. *J. Invertebr. Pathol.* 99: 227–234.

KOWALSKA J. 2001. Próba zastosowania nicieni owadobójczych oraz metody integrowanej w zwalczaniu pędraków chrabąszcza majowego *Melolontha melolontha* L. w uprawie leśnej. *Sylwan* 2: 89–95.

KOWALSKA J. 2004. Wpływ chrabąszcza majowego *Melolontha melolontha* na liczebność aktywnych larw infekcyjnych w populacjach izolatów *Steinernema* spp. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 44 (2): 857–860.

KOWALSKA J. 2005. Effect of three temperatures in infectivity of selected entomopathogenic nematodes. *Chem. Inż. Ekol.* 12 (4): 411–414.

KOZODOI E.M. 1984. A new entomopathogenic nematode *Neoaplectana anomali* sp. n. (Rhabditida, Steinernematidae) and observations on its biology. *Zool. Zh.* 63: 1605–1612.

KOŹMIŃSKI CZ. 1983. Agroklimat województwa szczecińskiego. Szczec. TN Wydz. Nauk Przyr.-Rol. (1): 1–194.

KOŹMIŃSKI CZ., CZARNECKA M. 1993. Klimat miasta Szczecina i okolicy. W; Stan środowiska miasta i rejonu Szczecina. Zagrożenia i ochrona (red. J. Jasnowska), Szczecińskie Towarzystwo Naukowe: 49–66, ISBN 83-90070-5-2.

KOŹMIŃSKI CZ., MICHALSKA B. (red.) 2001. Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce. Szczecin. Wydaw. AR i USz. w Szczecinie: 1–81, ISBN 83-87327- 24-7.

KREBS CH.J. 2011. Ekologia. Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności. PWN, Warszawa: 344–364, ISBN 978-83-01-16552-9.

KREFT A., SKRZYPEK H., KAZIMIERCZAK W., LECH-PITUCH E., SKRABUCHA A. 2011. Efektywność porażania larw chrabąszcza majowego (*Melolontha melolontha* L.) przez entomopatogeniczne nicienie. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 51 (2): 771–775.

KUNG S.P., GAUGLER R., KAYA H.K. 1990. Soil type and entomopathogenic nematode persistence. *J. Invertebr. Pathol.* 55 (3): 410–406.

KUNG S.P., GAUGLER R., KAYA H. 1991. Effects of soil temperature, moisture and relative humidity on entomopathogenic nematode persistence. *J. Invertebr. Pathol.* 57: 242–249.

KUSIAK W., DYMEK-KUSIAK A. 2002: Puszcza Notecka – monografia przyrodniczo-gospodarcza. Wydaw. Przegląd Leśniczy, Poznań: 1–195, ISBN 83-905941-8-8.

LACEY L., AMARAL J.J., KLEIN M.G., SIMOES N.J., MARTINES A., MENDES C. 1996. Microbiol control of the japanes beetle, *Popilia japonica* (Coleoptera; Scarabaeidae) on Teiceira island (Azores, Portugal): the role of operational research. Proc. VI Intern. Colloq. Invert. Pathol. Microbial Control. 28 Aug. – 2 Sept. 1994, Montpellier (France) vol. I: 409–415.

LANDSBERG-UCZCIWEK M. (red.) 2010. Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2008–2009. Inspekcja Ochrony Środowiska WIOŚ w Szczecinie: 1–296, ISBN 978-83-60397-31-2.

LANDSBERG-UCZCIWEK M., ZŁOCZOWSKA I., REWAJ R., JURKOWSKA K., WIERZCHOWSKA E. 2002. Ocena stanu środowiska na obszarze doliny dolnej Odry w świetle badań wojewódzkiego inspektoratu ochrony środowiska. W: J. Jasnowska (red.). Dolina Dolnej Odry monografia przy-

rodnicza Parku Krajobrazowego. Szczecin: Societas Sci. Stetinensis: 281–312, ISBN 83-89260-01-8.

ŁAPIŃSKI W., ŁAPIŃSKI R. 2008. Przyroda i leśnictwo Pomorza Zachodniego i Ziemi Lubuskiej. W zasięgu Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Szczecinie. Wydaw. Włodzimierz Łapiński, Bryzgiel: 1–169, ISBN 978-83-60068-75-5.

Lewis E.J., Campbell J.F., Gaugler R. 1997. The effects of aging on the foraging behavior of *Steinernema carpocapsae*. *Nematologica* 43 (5): 355–362.

LIPA J.J. 2000. Obecne i przyszłe miejsce biologicznej i innych niechemicznych metod ochrony roślin. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.* 40 (1): 62–70.

LIPA J.J., PRUSZYŃSKI S. 2010. Stan wykorzystania metod biologicznych w ochronie roślin w Polsce i na świecie. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.* 50 (3): 1033–1042.

MAMIYA Y. 1988. *Steinernema kushidai* n. sp. (Nematoda: Steinernematidae) associated with scarabaeid beetle larvae from Shizuoca, Japan. *Soc. Appl. Entomol. Zool.* 23: 313–320.

MARSZAŁEK E. 1999. Regiony Polski. Pomorze Zachodnie. WSIP, Warszawa 1999: 27–65, ISBN: 83-02-07543-4.

MASON J.M. RAZAK A.R., WRIGHT D.J. 1996. The recovery of entomopathogenic nematodes from selected areas within peninsular Malaysia. *J. Helminthol.* 70: 303–307.

MATUSKA J., KAMIONEK M. 2008. Occurrence of entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis megidis* (Poinar, Jackson and Klein 1987) in the natural ecosystems of the Świętokrzyskie province. *Ecol. Chem. Enginer.* 15 (4–5): 389–392.

MATUSZKIEWICZ W., FALIŃSKI J.B., KOSTROWICKI A.S., MATUSZKIEWICZ J.M., OLACZEK R., WOJTERSKI T. 1995. Potencjalna roślinność naturalna Polski. Mapa przeglądowa 1:300 000. Arkusze 1–12, IGiPZ PAN, WZKart., Warszawa.

MOCEK A., DRZYMAŁA S., MASZNER P. 1997. Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań: 1–416, ISBN 83-7160-025-9.

MOLYNEUX A.S., BEDDING R.A. 1984. Influence of soil texture and moisture on the infectivity of *Heterorhabditis* sp. D1 and *Steinernema glaseri* for larvae of the sheep blowfly, *Lucilia cuprina*. *Nematologica* 30: 358–365.

MRÁČEK Z. 1980. The use of Galleria traps for obtaining nematode parasites of insects in Czechoslovakia (Lepidoptera: Nematoda, Steinernematidae). *Acta Entomol. Boh.* 77: 378–382.

MRÁČEK Z. 1982. Horizontal distribution in soil, and seasonal dynamics of the nematode *Steinernema kraussei*, a parasite of *Cephalcia abietis*. *Z. Angew. Entomol.* 94: 110–112.

MRÁČEK Z., WEISER J., BUREŠ M., KAHOUNOVÁ L. 1991. *Steinernema kraussei* (Steiner, 1923) (Nematoda: Rhabditida): Rediscovery of its type locality in Germany. *Folia Parasitol.* 39: 181–182.

MRÁČEK Z., WEBSTER J.M. 1993. Survey of *Heterorhabditidae* and *Steinernematidae* (Rhabditida, Nematoda) in Western Canada. *J. Nematol.* 25 (4): 710–717.

MRÁČEK Z. 1994. *Steinernema kraussei* (Steiner, 1923) (Nematoda: Rhabditida: Steinernematidae): redescription of its topotype from Westphalia. *Folia Parasitol.* 41: 59–64.

MRÁČEK Z., BEČVÁŘ S., KINDLMANN P., WEBSTER J.M. 1998. Infectivity and specificity of Canadian and Czech isolates of *Steinernema kraussei* (Steiner, 1923) to some insect pests at low temperatures in the laboratory. *Nematologica* 44: 437–448.

MRÁČEK Z., BEČVÁŘ S., KINDLMANN P. 1999. Survey of entomopathogenic nematodes from the families (Nematoda: Rhabditida) in the Czech Republic. *Folia Parasitol.* 46: 145–148.

MRÁČEK Z., BEČVÁŘ S. 2000. Insect aggregations and entomopathogenic nematode occurrence. *Nematology* 2 (3): 297–301.

MRÁČEK Z., STURHAN D. 2000. Epizootic of the entomopathogenic nematode *Steinernema intermedium* (Poinar) in an aggregation of the bibionid fly, *Bibio marci* L. *J. Invertebr. Pathol.* 76: 149–150.

MRÁČEK Z. STURHAN D., REID A. 2003. *Steinernema weiseri* n.sp. (Rhabditida, Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Europe. *Systematic Parasitology* 56: 37–47.

MRÁČEK Z., BEČVÁŘ S., KINDLMANN P., JERSÁKOVÁ J. 2005a. Habitat preference for entomopathogenic nematodes, thier insect hosts and new faunistic records for the Czech Republic. *Biol. Control* 34: 27–37.

MRÁČEK Z., KINDLMANN P., WEBSTER J.M. 2005b. *Steinernema affine* (Nematoda: Steinernematidae). A new record for North America and its distribution relative to other entomopathogenic nematodes in British Columbia. *Nematology* 7 (4): 495–501.

NADER E.N.A., HAYEK P.E., NEMER N., DARWICH T., THALER O., KHATER C. 2010. Habitat characterization of entomopathogenic nematodes in north Lebanon. *Lebanese Sci. J.* 11 (2): 27–37.

NIEDŹWIECKI E. 2002. Klimat i gleby doliny Dolnej Odry na tle stratygrafii. W: Jasnowska J. (red.). Dolina Dolnej Odry. Monografia przyrodnicza Parku Krajobrazowego. *Szczecin: Soc. Sci. Stetinensis*: 53–67.

NGUYEN K.B., SMART G.C. 1997. Scanning electron microscope studies of spicules and gubernacula of *Steinernema spp.* (*Nematoda: Steinernematidae*). *Nematologica* 43 (6): 465–480.

NGUYEN K.B. 2007. Methodology, morphology and identification. In: Nguyen K.B., Hunt D.J. (Eds). Entomopathogenic nematode: systematics, phylogeny and bactrial symbionts. Nematology Monographs and Perspectives, Brill Leiden-Boston 5: 59–119, ISBN-10: 90-04-15293-8 I ISBN-10: 978-90-04-15293-9.

NGUYEN K.B., HUNT D.J., MRÁČEK Z. 2007. Steinernematidae: species descriptions. In: Nguyen K.B., Hunt D.J. (Eds). Entomopathogenic nematode: systematics, phylogeny and bactrial symbionts. Nematology Monographs and Perspectives, Brill Leiden-Boston 5: 121–609.

OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog IOŚ, Zakład Poligraficzny, Dział Wydawnictw IOŚ, Warszawa: 1–213.

ÖZER N., KESKIN N., KIRBAS Z. 1995. Occurrence of entomopathogenic nematodes (*Steinerenamtidae: Heterorhabditidae)* in Turkey. *Nematologica* 41: 639–640.

QUI L., BEDDING R. 2000a. Energy metabolism and its relation to survival and infectivity of infective juveniles of *Steinernema carpocapsae* under aerobic conditions. *Nematology* 2: 551–559.

QUI L., BEDDING R.A. 2000b. Energy metabolism and survival of the infective juveniles of *Steinernema carpocapsae* under oxygen-deficient conditions. *J. Nematol.* 32: 271–280.

PETERS A. 1996. The natural host range of *Steinernema* and *Heterorhabditis* spp. and their impact on insect populations. *Biocontrol Sci. Technol.* 6: 389–402.

PETERS A. 2000. Susceptibility of *Melolontha melolontha* to *Heterorhabditis bacteriophora*, *H. megidis* and *Steinernema glaseri*. IOBC/WPRS Bulletin 23 (8): 39–46, ISBN 92-9067-124-6.

PEZOWICZ E. 2002. Occurence of entomopathogenic nematodes in lead contaminated area around the Battery Enterprise in Piastów. *Chem. Inż. Ekol.* 9 (10): 1235–1239.

PEZOWICZ E., KAMIONEK M., JARMUŁ J. 2008. Pathogenicity of entomopathogenic nematodes from forested areas of different industrial pollution level towards host insects. *Ecol. Chem. Eng.* 15 (4–5): 383–387.

PISARSKI B., CHUDZICKA E., NOWAKOWSKI E., SKIBIŃSKA E., JĘDRYCZKOWSKI W. 1984. Rola fauny na terenach zieleni miast na przykładzie Warszawy. W: Wpływ zieleni na kształtowanie środowiska miejskiego. H.B. Szczepanowska (red.). PWN, Warszawa: 203–218, ISBN 830103212X.

PINO G.F., PALOMO A. 1996. Natural occurrence of entomopathogenic nematodes (*Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae*) in Spanish soils. *J. Invertebr. Pathol.* 68: 84–90.

PIOTROWSKA H. 2003. Zróżnicowanie i dynamika nadmorskich lasów i zarośli w Polsce. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań-Gdańsk: 1–102, ISBN 83-89290-17-0.

POINAR JR. G.O. 1986. Recognition of *Neoaplectana* species (Steinernematidae: Rhabditidae). *Proc. Helminthol. Soc. Wash.* 53: 121–129.

POINAR G.O., JR., JACKSON T., KLEIN M. 1987. *Heterorhabditis megidis* sp. n. (Heterorhabditidae: Rhabditida) parasitic in the Japanese beetle *Popillia japonica* (Scarabaeidae: Coleoptera), in Ohio. *Proc. Helminth. Soc. Wash.* 54: 53–59.

POINAR G.O., JR. 1990. Taxonomy and Biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. In: Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. Eds. R. Gaugler, K.H. Kaya. Boca Raton, CRC Press: 23–61, ISBN 0-8493-4541-3.

PŮŽA V., MRÁČEK Z. 2005. Seasonal dynamics of entomopathogenic nematodes of the genera *Steinernema* and *Heterorhabditis* as a response to abiotic factors and abundance of insect hosts. *J. Invertebr. Pathol.* 89: 116–122.

PŮŽA V., MRÀČEK Z. 2007. Natural population dynamics of entomopathogenic nematode *Steinernema affine* (Steinernematidae) under dry conditions: Possible nematode persistence within host cadavers? *J. Invertebr. Pathol.* 96: 89–92.

PŮŽA V., MRÁČEK Z. 2010. Mechanisms of coexistence of two sympatric entomopathogenic nematodes, *Steinernema affine* and *S. kraussei* (Nematoda: Steinernematidae), in a central European oak woodland soil. *Appl. Soil Ecol.* 45: 65–70.

Raport o stanie lasów w Polsce 2008. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa 2009: 1–82.

REID A.P., HOMINICK W.M., BRISCOE B.R. 1997. Molecular taxonomy and phylogeny of entomopathogenic nematode species (*Rhabditida: Steinernematidae*) by RFLP analysis of the ITS region of the ribosomal DNA repeat unit. *Systematic Parasitology* 37: 187–193.

ROPEK D., NICIA P. 2008. Entomopathogenic fungi and nematodes in oligotrophic low sedge fen soils. *Ecol. Chem. Eng.* 15 (1–2): 133–138.

SAUNDERS E.J., WEBSTER M.J. 1999. Temperature Effects on *Heterorhabditis megidis* and *Steinernema carpocapsae* Infectivity to *Galleria mellonella*. *J. Nematol.* 31 (3): 299–304.

SCHIROCKI A.G., HAGUE N.G.M. 1997. The effect of selective culture of Steinernema feltiae at low temperature on establishment, pathogenicity, reproduction and size of infective juveniles. *Nematropica* 43: 481–489.

SCHROEDER P.C.,VILLANI M.G., FERGUSON C.S., NYROP J.P., SHIELDS E.J. 1993. Behavioral interactions between Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) grubs and an entomopathogenic nematode (Nematoda, Heterorhabditidae) within turf microsoms. *Environ. Entomol.* 22: 595–600.

SHAPIRO-ILAN D.I., DUNCAN L.W., LACEY L.A., HAN R. 2005. Orchard crops. In: P. Grewal, R.-U. Ehlers, D. Shapiro-Ilan, (eds.). Nematodes as Biological Control Agents. CAB International, St. Albans, UK: 215–230.

SHISHINIOVA M., BUDUROVA L., GRADINAROV D. 1998. Contribution to the fauna of the entomopathogenic nematodes (*Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae*) from Bulgaria II. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 12 (1): 104–109.

SKRZYPEK H., KAZIMIERCZAK W., KREFT A., MRÁČEK Z. 2011. Location of the phasmids in first generation males of *Steinernema arenarium* (Artyukhovsky), *S. carpocapsae* (Weiser) and *S. feltiae* (Filipjev), *Nematology* 13 (3): 365–367.

SMITS P.U., WIEGERS G.L., VLUG H.J. 1994. Selection of insect parasitic nematodes for biological control of the garden chafer, Phylloptera horticola. *Entomol. Exp. Appl.* 70: 77–82.

SPIRIDONOV S.E., LYONS E., WILSON M. 2004. *Steinernema kraussei* (Rhabditida, Steinernematidae) from Iceland. *Comp. Parasitol.* 71 (2): 215–220.

STACHAK A., MAŚLAK B. 1986/1987. Drzewa i krzewy placów i ulic centrum Szczecina oraz głównych arterii komunikacyjnych miasta. *Rocz. Dendrol.* 37: 169–190.

STACHAK A., KUBUS M., NOWAK G., NOWAKOWSKA M. 2009. Współczesne Puszcze – Wkrzańska, Bukowa i Goleniowska oraz ich otoczenie. W: Leśny Kompleks Promocyjny Puszcze Szczecińskie. Krajobrazy leśne i otwartej przestrzeni. Stachak A., Zachaś M. (red.). RDLP Szczecin 2009: 25–127, ISBN 978 83 89402 70 7.

STANUSZEK S. 1974. *Neoapleclana feltiae* complex (Nematoda: Rhabditoidea: Steinernematidae) its taxonomic position within the genus *Neoapleclana* and intraspecific structure. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 154: 331–360.

STEINER G. 1923. *Aplectana kraussei* n. sp., einer in der Blattwespe *Lyda* sp. parasitierende Nematodenfom, nebst Bemerkungen über das Seitenorgan der parasitischen Nematoden. *Zentrablatt für Bakteriologie Parasitenkunde, Infectionskrankheiten und Hygiene* 59:14–18.

STEINER W.A. 1996. Distribution of entomoathogenic nematodes in the Swiss Alps. *Rev. Suisse Zool.* 103: 439–452.

STOCK S.P., PRYOR B.M., KAYA H.K. 1999. Distribution of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) in natural habitats in California, USA. *Biodiv. Res. Conserv.* 8: 535–549.

STOCK S.P., CAMPBELL J.F., NADLER S.A. 2001. Phylogeny of *Steinernema* Travassos , 1927 (*Cephalobina*: *Steinernematidae*) inferred from ribosomal DNA sequences and morphological characters. *J. Parasitol.* 87 (4): 877–889.

STOCK S.P., KOPPENHÖFER A.M. 2003. *Steinernema scarabaei* n. sp. (Rhabditida: Steinernematidae), a natural pathogen of scarab beetle larvae (Coleoptera: Scarabaeidae) from New Jersey, USA. *Nematology* 5 (2): 191–204.

STRONG D.R., KAYA H.K., WHIPPLE A.L., CHILD A.L., KRAIG S., BONDONNO M., DYER K., MARON J.L. 1996. Entomopathogenic nematodes: natura enemies of root-feeding caterpillars on bush lupine. *Oecologia* 108: 167–173.

STUART R.J., BARBERCHECK M.E., PARWINDER S.G., TAYLOR R.A.J., HOY C.W. 2006. Population biology of entomopathogenic nematodes: concepts, issues and models. *Biol. Control* 38: 80–102.

STURHAN D. 1995. Untersuchungen über sympatrisches Vorkommen entomopathogener Nematoden. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanezeschutzd.* 47: 47–54.

STURHAN D. 1996a. Studies on the natural occurrence and distribution of entomopathogenic nematodes. *Russ. J. Nemat.* 4: 98.

STURHAN D. 1996b. Jahreszeitliches Vorkommen, Horizontal- und Vertikalverteilung entomopathogener Nematoden auf einer Ackerflache – Seasonal occurrence, horizontal and vertical dispersal of entomopathogenic nematodes in a field. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt fur Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. 317: 35–45.

STURHAN D., LIŠKOVÁ M. 1999. Occurrence and distribution of entomopathogenic nematodes in the Slovak Republic. *Nematology* 1 (3): 273–277.

STURHAN D. 1999. Prevalence and habitat specificity of entomopathogenic nematodes in Germany. In: R.L. Gwynn, P.H. Smith, C. Griffin, R.-U. Ehlers, N. Boemare, J.P. Masson (Eds.). COST 819: Entomopathogenic nematodes: Aplication and persistence of entomopathogenic nematodes. Proceeding of a workshop held at Todi, Perugia, Italy, 16 to 29 May, 1995. Luxembourg: European Commission: 123–132.

STURHAN D., MRÁČEK Z. 2000. Comparison of the Galleria baiting technigue and a direct extraction method for recovering *Steinernema* (Nematoda: Rhabditida) infectivestage juveniles from soil. *Folia Parasitol.* 47: 315–318.

STURHAN D., MRÁČEK Z. 2001. Records of the *Steinernema glaseri* groups (Nematoda: Rhabditida) in Europe, with notes on the morphological characteristics of this species group. Abstract, SIP 34th Annual Meeting, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 25–30, 2001: 52–53.

STURHAN D., SPIRIDONOV S.E., MRÁČEK Z. 2005. *Steinernema silvaticum* sp. N. (Rhabditida: Steinernematidae), a new entomopathocenic nematode from Europe. *Nematology* 7 (2): 227–241.

SZUJECKI A. 1998a. Entomologia leśna, Tom I. Wydaw. SGGW, Warszawa: 173–177, ISBN 83-00-02893-5 (całość), ISBN 83-00-02894-3.

SZUJECKI A. 1998b. Entomologia leśna. Tom II. Wydaw. SGGW, Warszawa: 1–408, ISBN 83-00-02893-5 (całość), ISBN 83-00-02895-1.

TELLO M-L., TOMALAK M., SIWECKI R., GRAPER J., MOTTA E., MATEO-SAGASTA E. 2005. Biotic Urban Growing Conditions – Threats, Pests and Diseases. W: Urban Forests and Trees (Eds. C.C. Konijnendijk, K. Nilsson, T.B. Randrup, de S. Vries), Springer: 325–365, ISBN 92-898-0009-7.

TER BRAAK C.J.F., ŠMILAUER P. 2002. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows, Software for canonical community ordination (version 4.5). Center for Biometry Wageningen (Wageningen, NL) and Microcomputer Power (Ithaca, NY, U.S.A.).

TOMALAK M., MRÁČEK Z. 1997. Scanning electron microscope study of mophological modifications of lateran fields in infective juveniles of mutant *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Rhabditida: Steinernematidae). *Fundam. Appl. Nematol.* 21 (1): 89–94.

TOMALAK M. 1998. Selekcja i mutageneza w genetycznym doskonaleniu nicieni owadobójczych dla celów biologicznego zwalczania szkodników. Praca habilitacyjna. Zakład Biologicznych Metod i Kwarantanny, Wydaw. IOR, Poznań: 1–85.

TOMALAK M. 2002. Możliwości rozszerzenia zakresu stosowania metod biologicznych w zwalczaniu szkodników parków i lasów miejskich. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.* 42 (1): 52–58.

TOMALAK M. 2003a. Reproductive compatibility of *Steinernema* isolates with long infective juvenile phenotypes. COST Action 850: Long Dauer Juvenile Phenotypes from Europe and Southern Mediterranean Regions. Budapest and Debrecen, Hungary, 4–6 April 2002 04-06 April 2002. IOBC/WPRS 2003. Bulletin OILB 26 (1), ISBN 92-9067-149-8.

TOMALAK M. 2003b. Najważniejsze problemy ochrony drzew miejskich przed szkodnikami. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.* 43 (1): 427–435.

TOMALAK M. 2003c. Biocontrol potential of entomopathogenic nematodes against winter moths (*Operophtera brumata* and *O. fagata*) (Lepidoptera: Geometridae) infesting urban trees. *Biocontrol Sci. Technol.* 13: 517–527.

TOMALAK M. 2004. Infectivity of entomopathogenic nematodes to soil-dwelling developmental stages of tree leaf beetles *Altica quercetorum* Foudr. and *Agelastica alni* L. (Coleoptera: Chrysomelidae). *Entomol. Exp. Appl.* 110: 125–133.

TOMALAK M. 2005. Entomopathogenic nematodes isolated under urban trees and their potential natural hosts. Natural occurrence and evolution of EPNs. COST 850: Biological Symbioses. Proceedings of a workshop held at Institute of Entomology, Czech Academy of Sciences, Českie Budějovice, January 14–17 2005, http://www.cost850.ch/publications/20050114_ceske/COST850--16-Ceske-Tomalak.pdf. dostęp 20.11.2012.

TOMALAK M. 2006. Potencjał nicieni owadobójczych w biologicznym zwalczaniu szkodliwych błonkówek atakujących drzewa owocowe i parkowe. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 46 (1): 249–255.

TORR P., SPIRIDONOV S.E., HERITAGE S., WILSON M.J. 2007. Habitat associations of two entomopathogenic nematodes: a quantitative study using real-time quantitative polymerase chain reactions. *J. Anim. Ecol.* 76: 238–245.

TÓTH T. 2006. Colecition of entomopathogenic nematodes for the biological control of insect pests. *J. Fruit Ornam. Plant Res.* 14 (Suppl. 3): 225–230.

TROJAN P. 1980. Ekologia Ogólna. Wydaw. IV. PWN, Warszawa: 1–419, ISBN 83-01-02275-2.

TRZCIŃSKI W. (red.) 1989. Systematyka gleb Polski: Wyd. czwarte. „Roczniki gleboznawcze". XL (3/4). Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. PWN, Warszawa: 1–150, ISSN 0080-3642.

UGGLA H., UGGLA Z. 1979. Gleboznawstwo leśne. PWRiL, Warszawa: 1–528, ISBN 83-01-00237-9.

VEGA F.E., LACEY L.A., REID A.P., HÉRARD F., PILARSKA D., DANOVA E., TOMOV R., KAYA H.K. 2000. Infectivity of a Bulgarian and an American strain of *Steinernema carpocapsae* (Nematoda: Steinernematidae) against codling moth. *BioControl.* 45: 337–343.

VLUG H.J. 1996. Occurrence and biocontrol of grass grubs, especially of *Melolontha melolontha.* IOBC/WPRS Bulletin, Proceedings of the meeting at Freiburg, Germany, 23–25 October, 1995, 19 (2): 35–36, ISBN 92-9067-076-2.

VÖSSING A. 1998. Der Internationalpark Unteres Odertal. Ein Werk – und Wanderbuch, Stapp-Verlag, Berlin: 1–313, ISBN 3-87776-934-9.

WANG X.D., ISHIBASHI N. 1999. Infection of the entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae*, as affected by the presence of *Steinernema glaseri*. *J. Nematol.* 31: 207–211.

WEBSTER J.W. 1980. Biocontrol. The potential of entomophilic nematodes in insect management. *J. Nematol.* 12: 4–16.

WEISER J. 1955. *Neoaplectana carpocapsae* n. sp. (Anguillulata, Steinernematidae) novy cizopasnic housenik obalece jablecneho, *Carpocapsa pomonella* L. *Vestnik Ceske Zool. Spolecnosti* 19: 44–52.

WHITE G.F. 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Since* 66: 302–303.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie. Automatyczny mopnitoring powietrza. Rapotry roczne za lata 2005–2009, http://www.wios.Szczecin.pl/bip/chapter_16142.asp. dostęp 14.01.2013.

WOJTERSKI T. 1964. Bory sosnowe na wydmach nadmorskich na polskim wybrzeżu. PTPN. *Prace Komisji Biologicznej. Poznań* 28 (2): 1–217.

WOŚ A. 1999. Klimat Polski. PWN, Warszawa: 1–301, ISBN 83-01-12780-5.

WOODRING J.L., KAYA H.K. 1998. *Steinernematid* and *Heterorhabditid* nematodes: hand book of biology and techniques. South cooperative Ser. Bulletin Arkans. *Agricultural Exp. Stn., Fayetteville* 331: 1–30.

WÓJCIK W.F. 1986. Influence of size of host on the growth of the *Neoaplectana carpocapsae* Weiser, 1955 nematodes. *Ann. Warsaw Agricult. Univ., SGGW-AR* 20: 75–85.

ZACHAŚ M. 2002. Stan zdrowotny i sanitarny lasów Regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych w Szczecinie w latach 1990–2000. W: Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Siwecki (red.). IV Krajowe Sympozjum, Poznań-Kórnik 29.05-1.06.2001; Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 157–168, ISBN 83-86292-31-8.

ZARĘBA R. 1988. Fitosocjologia i typologia leśna. Wydaw. SGGW, Skrypty, Warszawa: 1–244, ISBN 8300020799.

ZIMMERMAN G. 1992. Use of the fungus, *Beauveria brongniartii*, for the control of European cockchafers, *Melolontha* spp., in Europe. In: Use of Pathogens in Scarab Pest Management (Eds. T. R. Glare, T. A. Jackson). Intercept, Andover, England: 199–208, ISBN 0-946707-35-9.

Ecological conditions for the occurrence of entomo-pathogenic nematodes (*Steinernematidae, Heterorhabditidae*) in selected ecosystems of north-western Poland

ABSTRACT

Between 2004 and 2009 in north-western Poland, fauna and ecological research was carried out, with reference to the links between entomo-pathogenic nematodes of *Steinernematidae* and *Heterorhabditidae* families and the environment. The area of research included ecosystems of differentiated habitat conditions: woodland, parks, municipal and industrial greens, seashore dunes and agrocenoses (orchards, arable fields, grassland).

The fauna analysis carried out allowed to confirm a popular occurrence of insect-killing nematodes in various environments. In total, seven genera of nematodes of the *Steinernematidae* and *Heterorhabditidae* families were isolated, of which one – *Steinernema silvaticum* – whose occurrence in our country has not been known earlier. The environmental preferences of individual genera were determined, together with the impact of the selected biotic and abiotic factors on biological activity of these organisms.

Amongst nematodes of the *Steinernema* genus, *S. feltiae* distinguished by the largest ecological flexibility. This genus was ascertained in very differentiated types of ecosystems (compact woodland, park tree stands and municipal greens, agrocenoses, a belt of seashore dunes) together with insects belonging to various systematic groups (*Lepidoptera*, *Coleoptera*, *Hymenoptera*). The largest number of *S. feltiae* samples was isolated from pine woods, in the places of butterfly outbreak, i.e. Pine Beauty *Panolis flammea* and Bupalus *Bupalus piniastris,* and also in the places of mass occurrence of beetle grubs of *Melolontha melolontha*. In the areas of municipal greens, *S. feltiae* occurred most frequently in oak alleys, with Acorn Weevil *Curculio glandium*, and to a lesser degree with Weevil *Otiorhynchus rotundatus*. In the feeding places of beetle of the *Curculionidae* and *Scarabaeidae* families, a high share of *S. affine* was noted. It is interesting to observe a phenomenon of co-existence of nematodes *S. affine* (44% of statements) and *S. feltiae* (56% of statements) on wood-covered land which used to be arable, infested by grubs, with a simultaneous lack of the genera of *Heterorhabditidae* family. The phenomenon of co-existence of nematodes in the soil was also observed in municipal greenery, which may suggest the existence of differences between the populations of entomo-pathogenic nematodes in the spatial and temporal outlay, which makes it possible for them to survive together in the same environment.

General of *Steinernematidae* family more rarely noted in north-western Poland were: *Steinernema silvaticum* – a genus related to wood-covered areas and *S. bicornutum* – occurring in orchards and municipal greeneries, as well as *S. carpocapsae* – observed exclusively in agrocenoses, with a high density of Click Beetles *Elateridae* in the soil. Amongst nematodes of *Heterorhabditidae* family, *Heterorhabditis megidis* prevailed, most frequently noted in municipal greeneries, infested by herbivorous Sawflies, in particular from the *Tenthredinidae* and *Argidae* families.

The highest percent share of nematodes researched was noted in tree stands, correspondingly: in unprotected orchards (63%), municipal greeneries (31%) and woods (30%).

Whereas open areas (greens without trees, meadows, dunes) and partly uncovered ones (rose gardens, hedgerows) were preferred mostly by nematodes of *Heterorhabditidae* family. Furthermore, it was noted that the genus composition and the activity of entomo-pathogenic nematodes changed, depending upon the season. In greeneries where weevils of *O. rotundatus* prevailed, the largest density of nematodes was noted in summer months (20 000–25 000 individuals/m^2). At that time, two genera of nematodes were identified – *S. bicornutum* and *S. feltiae*. Yet, in autumn the genus composition of isolated nematodes party changed (*S. bicornutum*, S. *affine*) and their density in the soil was reduced (by about 5000 individuals/m^2 fewer than in summer). Similarly, in tree stands with oaks, infested by Acorn Weevil *C. glandium*, the largest density of *S. feltiae* and *S. affine* was noted in summer (accordingly 300 000 individuals/m^2 and 40 000 individuals/m^2). Yet, in another oak stand, *S. feltiae* prevailed in spring (32 000 individuals/m^2), and in summer, this genus co-existed with *S. affine* and *H. megidis* prevailing at that time (20 000 individuals /m^2).

In the research carried out, a material impact of abiotic factors (type of soil and its physicochemical properties) was confirmed on biological activity and infectiousness of nematodes. Nematodes preferred loamy soils. However, the most significant genus variety was shown in sandy soils. Some genera of nematodes were related to a particular type of soil. *S. silvaticum and H. bacteriophora* were ascertained only on sand, and *H. megidis* mainly on loams. Nematodes occurred in soil with variegated pH, although the individual genera preferred a determined degree of acidity. *S. bicornutum* and *H. megidis* occurred only in alkaline soil, and others, like *S. silvaticum*, only in acidic environments (pH < 4,5).

The optimum development of entomo-pathogenic nematods was observed at a temperature of 25°C. It was found out that competition may accelerate or reduce the activity of nematodes in the environment. In the conditions of co-existence in various temperature variants (15, 20 and 25°C), *S. feltiae* affected more frequently test insects *G. mellonella* than *H. megidis* and reached the host quicker, infecting it. In the case of co-existence of *S. feltiae* with *S. affine* the impact of temperature on the activity of both genera was significant. At lower temperatures (15 and 20°C), the mortality rate of insects was higher when both the genera were inside the host's body at the same time (36% at 15°C and 58% at 20°C). However, at a temperature of 25°C, insects were most frequently affected by *S. feltiae* only (58% of tested insects). The gender structure of *S. feltiae* remained unchanged in all temperature variants, both in reference conditions and in the terms of co-existence with *H. megidis* or *S. affine*. It was noted that the number of males was a half of that of females. This suggests that the composition of parasite population of nematodes may diverge from the anticipated gender proportions amounting to 50% individuals of males and females, and the 1:1 proportions of genders is not permanent in the populations of these nematodes. This disproportion may be linked to the rate of reproduction of the whole nematode population and its density in the environment.

Owing to molecular diagnostics, it was proved that there existed differences between isolates of the same genus, originating from various stations, which suggests a specific adaptation of local populations to specific habitat conditions. It appears that the condition of each genus, preferences in the selection of insect host and adopted strategy of preying on it, as well as the response to disadvantageous conditions of the environment, shall determine the durability of each population in the environment.

Ökologische bedingtheit des vorkommens insektentötender Nematoden (*Steinernematidae, Heterorhabditidae*) in ausgewählten Ökosystemen Nordwestpolens

ZUSAMMENFASSUNG

In den Jahren 2004–2009 wurden faunistische und ökologische Untersuchungen zur Beziehung insektentötender Nematoden aus den Familien *Steinernematidae* und *Heterorhabditidae* zur Umwelt in Nordwestpolen durchgeführt. Das untersuchte Gebiet umfasste unterschiedliche Ökosysteme mit differenzierten Habitatbedingungen: Waldkomplexe, Parks, städtische und industrielle Grünanlagen, Küstendünen und Agrozönosen (Obstgärten, Ackerfelder, landwirtschaftliche Nutzflächen).

Die durchgeführte faunistische Analyse ließ ein allgemeines Vorkommen der insektentötenden Nematoden in unterschiedlichen Lebensräumen bestätigen. Insgesamt konnten sieben Nematodenarten aus den Familien *Steinernematidae* und *Heterorhabditidae* isoliert werden, darunter eine – die *Steinernema silvaticum,* deren Vorkommen bisher hierzulande nicht bekannt war. Es wurden Umweltpräferenzen der einzelnen Arten und der Einfluss von ausgewählten biotischen und abiotischen Faktoren auf die biologische Aktivität der Organismen bestimmt.

Unter den Nematoden aus der Familie *Steinernema* wies die *S. feltiae* die höchste ökologische Flexibilität auf. Die Art wurde in sehr unterschiedlichen Ökosystemen (geschlossene Waldkomplexe, Parks und städtische Grünanlagen, Agrozönosen, Küstendünenstreifen) beim Vorkommen von Insekten aus verschiedenen systematischen Gruppen (*Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera*) nachgewiesen. Die meisten Proben mit der *S. feltiae* wurden in Kieferwäldern, an Stellen der Massenvermehrung der Schmetterlinge Kieferneule (*Panolis flammea)* und Kiefernspanner (*Bupalus piniastris)* und an Stellen des Massenvorkommens des Feldmaikäfers (*Melolontha melolontha*) vorgefunden. In den städtischen Grünanlagen kam die *S. feltiae* am häufigsten in Eichenalleen mit dem gewöhnlichen Eichelbohrer (*Curculio glandium),* seltener beim gleichzeitigen Vorkommen des Fliederblattrüßlers (*Otiorhynchus rotundatus*) vor. Auf Nahrungsgebieten der Käfer aus den Familie *Curculionidae* und *Scarabaeidae* wurde auch ein häufiges Vorkommen der *S. affine* verzeichnet. Interessant erscheint die Tatsache des Nebeneinandervorkommens der Nematoden *S. affine* (44% Nachweise) und *S. feltiae* (56% Nachweise) auf mit Wald bewachsenen, durch Engerlinge bewohnten Ackerflächen beim gleichzeitigen Fehlen von Arten aus der Familie *Heterorhabditidae.* Die Erscheinung der Koexistenz von Nematoden im Boden wurde auch in den städtischen Grünanlagen beobachtet, was von Unterschieden in der räumlichen und zeitlichen Verteilung zwischen einzelnen Populationen insektentötender Nematoden zeugt, die sie zusammen in einem Lebensraum überleben lassen.

Zu den seltener in Nordwestpolen beobachteten Arten aus der Familie *Steinernematidae* gehören: *Steinernema silvaticum* – lebt auf bewaldeten Gebieten, *S. bicornutum* – kommt in Obstgärten und städtischen Grünanlagen vor, wie auch *S. carpocapsae* – wurde ausschließlich in Agrozönosen bei einer hohen Vorkommensdichte der Schnellkäfer *Elateridae* im Boden beobachtet. Unter den Nematoden aus der Familie *Heterorhabditidae* überwiegt die *Hete-*

rorhabditis megidis, die am häufigsten in städtischen Grünanlagen verzeichnet wurde, die durch pflanzenfressende Hautflügler, hauptsächlich aus den Familien *Tenthredinidae* und *Argidae* bewohnt werden.

Der höchste Prozentanteil der untersuchten Nematoden wurde auf mit Bäumen bewachsenen Gebieten, d.i. in nicht geschützten Obstgärten (63%), städtischen Grünanlagen (31%) und Wäldern (30%) ermittelt. Offenes (nicht mit Bäumen bewachsene Grünflächen, Wiesen, Dünen) und teilweise offenes Gelände (Rosengärten, Hecken) wird vor allem durch Nematoden aus der Familie *Heterorhabditidae* bevorzugt. Darüber hinaus wurden saisonale Änderungen der Artenzusammensetzung und Aktivität der insektentötenden Nematoden beobachtet. In den durch Dickmaulrüssler (*O. rotundatus*) dominierten Grünanlagen wurde die höchste Vorkommensdichte der Nematoden in den Sommermonaten (20.000–25.000 Individuen/qm) ermittelt. In der Zeit konnten zwei Nematodenarten, d.i. *S. bicornutum* und *S. feltiae* nachgewiesen werden. In den Herbstmonaten änderte sich dagegen teilweise die Artenzusammensetzung der isolierten Nematoden (*S. bicornutum*, S. *affine*) und ihre Vorkommensdichte im Boden nahm ab (um ca. 5.000 Individuen/qm weniger als im Sommer). Ähnlich gestaltete sich die Lage in den durch den gewöhnlichen Eichelbohrer (*C. glandium*) bewohnten, mit Wald bewachsenen Gebieten mit Eichen, wo die höchste Vorkommensdichte der Nematoden *S. feltiae* und *S. affine* im Sommer (entsprechend 300 000 Individuen/qm und 40 000 Individuen/qm) verzeichnet wurde. An einem anderen Standort mit Eichen dominierte die *S. feltiae* (32.000 Individuen/qm) im Frühling, und im Sommer kam die Art zusammen mit der *S. affine* und der zu der Zeit vorherrschenden *H. megidis* (20.000 Individuen/qm) vor.

In den durchgeführten Untersuchungen wurde ein relevanter Einfluss abiotischer Faktoren (Art und physische Eigenschaften des Bodens) auf die biologische Aktivität und Infektiosität der Nematoden festgestellt. Die Nematoden bevorzugten Sand- und Lehmböden. Die größte Artenvielfalt wiesen sie in Sandböden auf. Einige Nematodenarten traten nur mit einer bestimmten Bodenart auf. *S. silvaticum* und *H. bacteriophora* wurden nur in Sandböden, und *H. megidis* hauptsächlich in Lehmböden nachgewiesen. Die Nematoden kamen in Böden mit verschiedenen pH-Werten vor, wobei die einzelnen Arten einen bestimmten Aciditätsgrad bevorzugten. *S. bicornutum* und *H. megidis* wurden ausschließlich in alkalischen Böden, und andere Fadenwürmer, wie z.B. *S. silvaticum* ausschließlich in saurer Umgebung ($pH < 4,5$) beobachtet.

Die optimale Entwicklung der meisten Arten der insektentötenden Nematoden wurde bei 25°C beobachtet. Es wurde festgestellt, dass das Konkurrieren die Nematodenaktivität in der Umwelt beschleunigen oder verzögern kann. Beim Nebeneinandervorkommen bei verschiedenen Temperaturen (15, 20 und 25°C) befiel die *S. feltiae* häufiger die Testinsekten *G. mellonella* als die *H. megidis* und schneller erreichte sie und infizierte den Wirt. Beim Nebeneinandervorkommen der *S. feltiae* und *S. affine* war der Temperatureinfluss auf die Aktivität der beiden Arten erheblich. Bei niedrigeren Temperaturen (15 und 20°C) fiel die Sterblichkeit der Insekten höher aus, wenn sich die beiden Arten im Körper des Wirts gleichzeitig befanden (36% bei 15°C und 58% bei 20°C). Bei 25°C wurden die Insekten am häufigsten nur durch die *S. feltiae* (58% Testinsekten) befallen. Unveränderlich bei allen Temperaturen unter Kontrollbedingungen sowie beim Nebeneinandervorkommen mit der *H. megidis* oder *S. affine* blieb die Geschlechtsstruktur der *S. feltiae*. Weibliche Individuen waren gewöhnlich zweimal häufiger als männliche. Es deutet darauf hin, dass die Zusammensetzung der Population der parasitären Nematoden von dem erwarteten Geschlechterverhältnis abweichen kann,

das je 50% der Männchen und Weibchen unter den Individuen ausmacht; das Geschlechterverhältnis 1:1 ist in den Populationen der Nematoden nicht konstant. Die Disproportion kann mit der Vermehrungsgeschwindigkeit der jeweiligen Nematodenpopulation und ihrer Vorkommensdichte im Lebensraum zusammenhängen.

Mit Hilfe der molekularen Diagnostik konnte nachgewiesen werden, dass es Unterschiede zwischen den aus unterschiedlichen Lebensräumen stammenden Isolaten derselben Art gibt, was auf eine spezifische Anpassung der lokalen Populationen an die gegebenen Habitatbedingungen hinweist. Kondition einer jeden Art, Präferenzen bei der Wahl des Wirtsinsekts, gewählte Fressstrategie und Reaktion auf ungünstige Umweltbedingungen scheinen den entscheidenden Einfluss auf die Beständigkeit einer jeden Population in dem jeweiligen Lebensraum zu haben.

Aneks 1

Występowanie nicieni owadobójczych z rodziny *Steinernematidae* i *Heterorhabditidae* w różnych ekosystemach w północno-zachodniej Polsce, w latach 2004–2009

Lp.	Miejsce poboru gleby (stanowisko)	Oznakowanie stanowisk	Data poboru gleby	Obecność nicieni (tak–1/ nie–0)	Gatunek nicienia (numer izolatu do analizy molekularnej)
1	2	3	4	5	6
		Zieleń miejska			
1.	Park Kownasa I	M1	7.04.09	0	–
			8.07.09	0	–
			12.10.09	0	–
2.	Marcina II	M2	7.04.09	0	–
			8.07.09	0	–
			12.10.09	0	–
3.	Jasne Błonia III	M3	7.04.09	0	–
			22.05.09	0	–
			20.06.09	1	*S. bicronutum* (N29)
			08.07.09	1	*S. feltiae* (N23)
			20.08.09	0	–
			14.09.09	0	–
			13.10.09	0	–
4.	Lasek Arkoński IV	M4	7.04.09	1	*S. silvaticum* (N19, N20, N30)
			8.07.09	1	*S. feltiae*
			13.10.09	1	*S. silvaticum* (N52)
5.	Park Kownasa V	M5	8.04.09	1	*S. feltiae* (N21, N31) *S. affine*
			22.05.09	0	–
			20.06.09	1	*S. feltiae* (N33)
			08.07.09	1	*S. feltiae* (N32) *S. affine*
			20.08.09	0	–
			14.09.09	0	–
			13.10.09	1	*S. affine* (N44)
6.	Park Kownasa VI	M6	8.04.09	1	*S. feltiae* (N34)
			22.05.09	1	*S. feltiae*
			20.06.09	1	*S. feltiae* (N35)
			8.07.09	1	*S. affine* *H. megidis* (N45)
			20.08.09	0	–
			14.09.09	0	–
			13.10.09	0	–
7.	Wojska Polskiego – chodnik VII	M7	7.04.09	0	–
			8.07.09	0	–
			13.10.09	0	–
8.	Wojska Polskiego – torowisko VIII	M8	7.04.09	1	*S. feltiae* (N22)
			22.05.09	0	–
			20.06.09	0	–
			08.07.09	0	–
			20.08.09	0	–

Aneks 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6
			14.09.09	0	–
			13.10.09	0	–
9.	Różanka – Słowackiego X	M9	24.05.06	1	*H. megidis*
			20.06.06	1	*H. megidis*
			15.07.06	1	*H. megidis*
			25.08.06	0	–
			20.09.06	1	*H. megidis*
			31.10.06	0	–
			7.04.09	0	–
			10.07.09	0	–
			12.10.09	0	–
10.	Różanka – Słowackiego 1	M10	24.05.06	1	*S. feltiae*
			20.06.06	1	*H. megidis*
			17.07.06	0	–
			25.08.06	1	*H. megidis*
			20.09.06	1	*H. megidis*
			31.10.06	1	*H. megidis*
			7.04.09	0	–
			8.07.09	0	–
			12.10.09	0	–
11.	Różanka – Rodła XIII (Galaxy V)	M11	24.05.06	0	–
			20.06.06	0	–
			17.07.06	0	–
			25.08.06	0	–
			20.09.06	0	–
			31.10.06	0	–
			7.04.09	0	–
			10.07.09	1	*S. affine*
			12.10.09	0	–
12.	Różanka – Rodła XIV (Camping VI)	M12	24.05.06	1	*H. megidis*
			20.06.06	0	–
			17.07.06	0	–
			25.08.06	0	–
			20.09.06	0	–
			31.10.06	1	*H. megidis*
			7.04.09	0	–
			10.07.09	0	–
			12.10.09	0	–
13.	Różanka – Szymanowskiego	M13	24.05.06	0	–
			20.06.06	0	–
			17.07.06	0	–
			25.08.06	0	–
			20.09.06	0	–
			31.10.06	0	–
14.	Zieleniec – Zdrojowa XV	M14	7.04.09	1	*H. megidis* (N36)
			10.07.09	0	–
			13.10.09	0	–

Aneks 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6
15.	Zieleniec – Wyspiańskiego XVI	M15	7.04.09	1	*H. megidis* *S. feltiae* (N18)
			10.07.09	0	–
			13.10.09	0	–
16.	Park Kasprowicza – zbiornik XVII	M16	7.04.09	0	–
			10.07.09	0	–
			12.10.09	0	–
			Sady		
17.	Skarbówek – działki XVIII	M17	7.04.09	0	–
			10.07.09	0	–
			12.10.09	0	–
18.	Sad – ul. Bartnicza	S18	18.04.05	1	*H. megidis*
			18.05.05	1	*H. megidis*
			17.06.05	1	*S. affine*
			11.07.05	1	*S. feltiae*
			19.08.05	1	*H. megidis*
			20.09.05	1	*H. megidis*
			18.10.05	1	*H. megidis*
			19.11.05	0	–
19.	Sad – Zakład Chemiczny „Police" 1	S19	18.04.05	0	–
			18.05.05	0	–
			17.06.05	0	–
			11.07.05	1	*H. megidis*
			19.08.05	1	*S. feltiae*
			20.09.05	1	*S. feltiae*
			18.10.05	1	*S. bicornutum* (N16)
			19.11.05	1	*S. bicornutum* (N17)
			Zieleń na terenach przemysłowych		
20.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 1	E 20.1	20.04.04	0	–
			26.07.04	0	–
			23.10.04	1	*S. feltiae*
21.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 2	E 20.2	20.04.04	0	–
			26.07.04	0	–
			23.10.04	1	*S. feltiae*
22.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 3	E 20.3	20.04.04	0	–
			26.07.04	1	*H. megidis*
			23.10.04	0	–
23.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 4	E 20.4	20.04.04	0	–
			26.07.04	1	*S. feltiae*
			23.10.04	0	–

Aneks 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6
24.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 5	E 20.5	20.04.04	0	–
			26.07.04	0	–
			23.10.04	0	–
25.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 6	E 20.6	20.04.04	0	–
			26.07.04	1	*S. feltiae*
			23.10.04	0	–
26.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 7	E 20.7	20.04.04	0	–
			26.07.04	0	–
			23.10.04	0	–
27.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 8	E 20.8	20.04.04	0	–
			26.07.04	0	–
			23.10.04	1	*H. megidis*
28.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 9	E 20.9	20.04.04	0	–
			26.07.04	0	–
			23.10.04	0	–
29.	Elektrownia „Dolna Odra" – skwer 10	E 20.10	20.04.04	0	–
			26.07.04	0	–
			23.10.04	0	–
		Kompleksy leśne			
30.	Międzychód – 53 b	L21	23.05.07	1	*S. feltiae*
			31.07.07	0	–
			21.11.07	0	–
			22.05.09	0	–
			27.07.09	1	*S. feltiae*
			9.10.09	0	–
31.	Międzychód 125 c	L22	23.05.07	1	*Steinernema* spp.
			31.07.07	0	–
			21.11.07	0	–
			22.05.09	0	–
			27.07.09	0	–
			9.10.09	0	–
32.	Międzychód 126 c	L23	23.05.07	0	–
			31.07.07	0	–
			21.11.07	0	–
			22.05.09	0	–
			27.07.09	0	–
			9.10.09	0	–
33.	Międzychód 401 c	L24	23.05.07	1	*S. feltiae*
			31.07.07	1	*S. feltiae* (N06)
			21.11.07	1	*S. feltiae* (N02)
			22.05.09	0	–
			27.08.09	1	*S. feltiae* (N40)
			9.10.09	0	–
34.	Międzychód 418 c	L25	23.05.07	1	*S. feltiae* (N26)

Aneks 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6
			31.07.07	0	–
			21.11.07	0	–
			22.05.09	0	–
			27.08.09	1	*S. feltiae* (N07)
			9.10.09	0	–
35.	Międzychód 420 c	L26	23.05.07	1	*S. feltiae* (N27)
			31.07.07	0	–
			21.11.07	1	*S. feltiae* (N15, N03)
			22.05.09	0	–
			27.08.09	1	*S. feltiae* (N28)
			9.10.09	1	*S. feltiae* (N43)
36.	Międzychód 519 b	L27	23.05.07	0	–
			31.07.07	0	–
			21.11.07	1	*S. feltiae* (N42)
			22.05.09	0	–
			27.07.09	0	–
			9.10.09	0	–
37.	Międzychód 521 a	L28	23.05.07	0	–
			31.07.07	0	–
			21.11.07	0	–
			22.05.09	0	–
			27.08.09	0	–
			9.10.09	0	–
38.	Międzychód 523 h	L29	23.05.07	1	*S. feltiae*
			31.07.07	0	–
			21.11.07	0	–
			22.05.09	0	–
			27.08.09	0	–
			9.10.09	0	–
39.	Karwin 211 b	L30	5.06.07	0	–
			30.07.07	0	–
			5.10.07	0	–
					–
40.	Karwin 214 f	L31	5.06.07	0	–
			30.07.07	0	–
			5.10.07	0	–
41.	Karwin 246 g	L32	5.06.07	0	–
			30.07.07	0	–
			5.10.07	0	–
42.	Karwin 248 a	L33	5.06.07	0	–
			30.07.07	0	–
			5.10.07	0	–
43.	Karwin 282 a	L34	5.06.07	1	*S. feltiae*
			30.07.07	0	–
			5.10.07	0	–
44.	Karwin 293 a	L35	5.06.07	1	*S. feltiae*
			30.07.07	0	–
			5.10.07	0	–
45.	Karwin 295 f	L36	5.06.07	0	–
			30.07.07	0	–

Aneks 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6
			5.10.07	1	*S. feltiae*
46.	Karwin 291 c	L37	5.06.07	0	–
			30.07.07	0	–
			5.10.07	0	–
47.	Łobez 337 Cf sosna	L38	16.05.07	0	–
			1.08.07	0	–
			17.10.07	1	*Steinernema* spp.
			16.05.09	1	*S. feltiae*
			20.08.09	0	–
			28.10.09	0	–
48.	Łobez 333 f	L39	16.05.07	1	*S. feltiae*
			1.08.07	1	*S. feltiae*
			17.10.07	0	–
			16.05.09	0	–
			20.08.09	1	*S. affine*
			28.10.09	0	–
49.	Łobez 404 o	L40	16.05.07	1	*S. feltiae* (N10)
			1.08.07	1	*S. feltiae* (N04)
			17.10.07	1	*S. affine* (N08)
			16.05.09	1	*S. feltiae*
			20.08.09	1	*S. affine*
			28.10.09	1	*S. affine* (N41)
50.	Łobez 356 m	L41	16.05.07	1	*S. affine*
			1.08.07	0	–
			17.10.07	0	–
			16.05.09	1	*S. affine*
			20.08.09	1	*S. feltiae*
			28.10.09	0	–
51.	Łobez 363 b	L42	16.05.07	0	–
			1.08.07	0	–
			17.10.07	0	–
			16.05.09	0	–
			20.08.09	0	–
			28.10.09	0	–
52.	Łobez 370 i	L43	16.05.07	0	–
			1.08.07	0	–
			17.10.07	0	–
			16.05.09	0	–
			20.08.09	0	–
			28.10.09	0	–
53.	Łobez 337 Cf buczyna	L44	16.05.07	1	*Steinernema* spp.
			1.08.07	0	–
			17.10.07	0	–
			16.05.09	1	*Steinernema* spp.
			20.08.09	1	*S. affine*
			28.10.09	0	–
54.	Kliniska 365 j	L45	29.05.07	1	*Steinernema* spp.
			19.07.07	0	–
			12.10.07	0	–
			12.05.09	0	–
			10.07.09	0	–

Aneks 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6
			19.10.09	0	–
55.	Kliniska 367 d	L46	29.05.07	1	*Steinernema* spp.
			19.07.07	0	–
			12.10.07	0	–
			12.05.09	1	*Steinernema* spp.
			10.07.09	0	–
			19.10.09	0	–
56.	Kliniska 368 b	L47	29.05.07	1	*Steinernema* spp.
			19.07.07	0	–
			12.10.07	0	–
			12.05.09	1	*Steinernema* spp.
			10.07.09	0	–
			19.10.09	0	–
57.	Kliniska 370 h	L48	29.05.07	1	*Steinernema* spp.
			19.07.07	0	–
			12.10.07	0	–
			12.05.09	1	*S. feltiae*
			10.07.09	1	*S. silvaticum*
			19.10.09	0	–
58.	Kliniska 441 i	L49	29.05.07	1	*Steinernema* spp.
			19.07.07	0	–
			12.10.07	1	*S. silvaticum*
			12.05.09	1	*S. silvaticum*
			10.07.09	0	–
			19.10.09	0	–
59.	Trzebież 205 b	L50	8.05.09	0	–
			8.07.09	0	–
			29.10.09	0	–
60.	Trzebież 248 h	L51	8.05.09	0	–
			8.07.09	0	–
			29.10.09	1	*S. silvaticum*
61.	Trzebież 153 c	L52	8.05.09	0	–
			8.07.09	0	–
			29.10.09	1	*S. feltiae*
62.	Trzebież 158 d	L53	8.05.09	0	–
			8.07.09	0	–
			29.10.09	1	*S. feltiae*
63.	Trzebież 198 b	L54	8.05.09	0	–
			8.07.09	0	–
			29.10.09	1	*S. silvaticum*
		Użytki zielone (pastwiska, łąki)			
64.	Kalica – łąka	D55	23.06.08	0	–
			20.08.08	0	–
			22.10.08	0	–
65.	Nawodna – łąka	D56	23.06.08	1	*S. affine* (N14)
			20.08.08	0	–
			22.10.08	1	*S. affine* (N09)

Aneks 1 (cd.)

1	2	3	4	5	6
66.	Rudnica 1 – łąka	D57	23.06.08	0	–
			20.08.08	0	–
			22.10.08	0	–
67.	Rudnica 2 – łąka 494	D58	23.06.08	0	–
			20.08.08	0	–
			22.10.08	0	–
68.	Jar Źródliskowy I – murawa kserotermiczna	D59	23.06.08	1	*H. bacteriophora* (N01)
			20.08.08	0	–
			22.10.08	1	*H. bacteriophora*
69.	Jar Źródliskowy II – murawa kserotermiczna	D60	23.06.08	1	*H. bacteriophora* (N13)
			20.08.08	0	–
			22.10.08	1	*H. bacteriophora*
70.	Krajnik Dolny 1 – murawa kserotermiczna	D61	23.06.08	0	–
			20.08.08	0	–
			22.10.08	0	–
71.	Krajnik Dolny 2 – murawa kserotermiczna	D62	23.06.08	0	–
			20.08.08	0	–
			22.10.08	0	–
	Pas wydm nadmorskich				
72.	Dziwnów 1	W63	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
73.	Dziwnów 2	W64	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
74.	Dziwnów 3	W65	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	1	*H. megidis*
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
75.	Łukęcin 1	W66	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–

Aneks 1 (cd.)

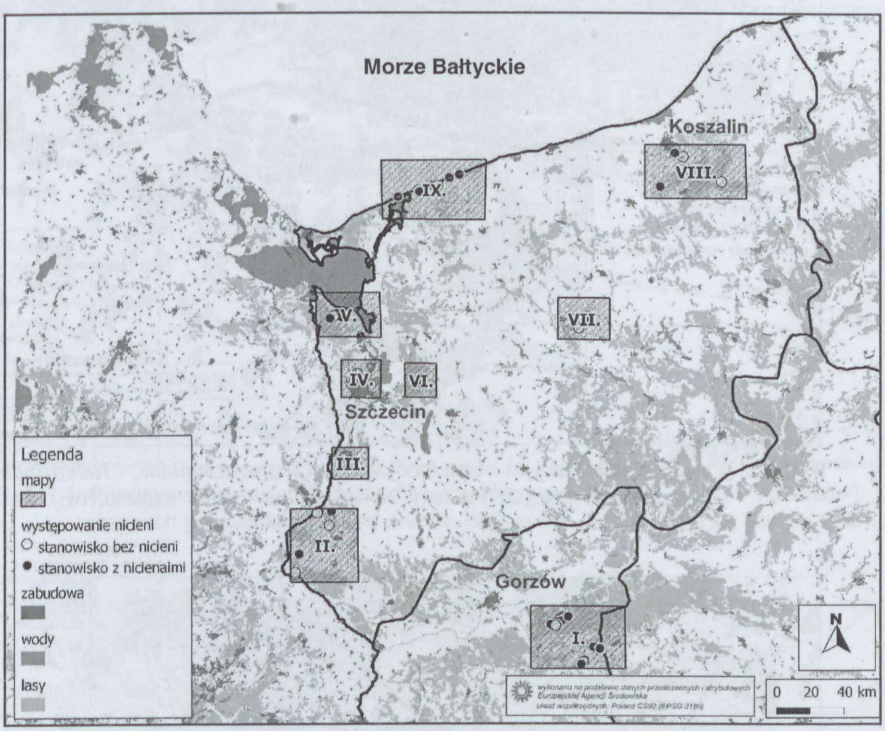
1	2	3	4	5	6
76.	Łukęcin 2	W67	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	1	*H. megidis*
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
77.	Łukęcin 3	W68	15.04.06	0	–
			10.05.06	1	*S. feltiae* (N37)
			8.06.06	1	*H. megidis*
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
78.	Pobierowo 1	W69	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
79.	Pobierowo 2	W70	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
80.	Pobierowo 3	W71	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	1	*H. megidis*
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
81.	Rewal 1	W72	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
82.	Rewal 2	W73	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	1	*S. feltiae*
			15.10.06	0	–
83.	Rewal 3	W74	15.04.06	0	–
			10.05.06	1	*S. feltiae*
			8.06.06	1	*S. feltiae*
			10.07.06	0	–

Aneks 1 (cd.)

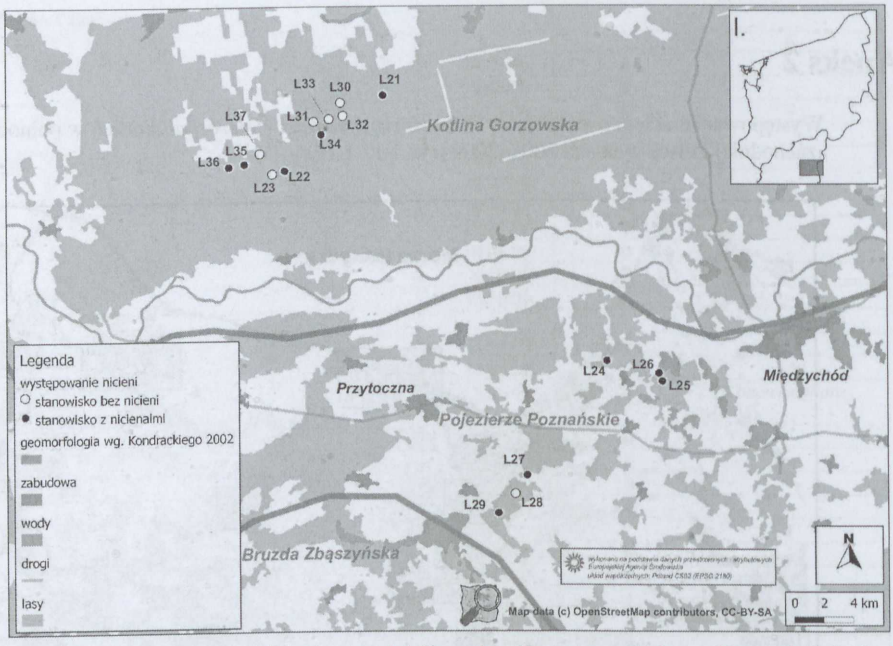
1	2	3	4	5	6
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
84.	Niechorze 1	W75	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
85.	Niechorze 2	W76	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	1	*H. bacteriophora* (N05)
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
86.	Niechorze 3	W77	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	1	*S. feltiae*
			10.07.06	1	*Steinernema* spp.
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
87.	Pobierowo/Rewal	W78	15.04.06	0	–
			10.05.06	0	–
			8.06.06	0	–
			10.07.06	0	–
			10.08.06	0	–
			9.09.06	0	–
			15.10.06	0	–
		Pola uprawne			
88.	Kretomino	A79	4.05.09	1	*S. feltiae* (N25)
			31.07.09	0	–
			20.10.09	1	*S. feltiae* (N38)
89.	Niekłonice	A80	4.05.09	1	*S. carpocasae* (N24)
			31.07.09	0	–
			20.10.09	0	–
90.	Bonin 1	A81	4.05.09	0	–
			31.07.09	0	–
			20.10.09	0	–
91.	Kłanino	A82	4.05.09	0	–
			31.07.09	0	–
			20.10.09	0	–
			456	**116**	

Aneks 2

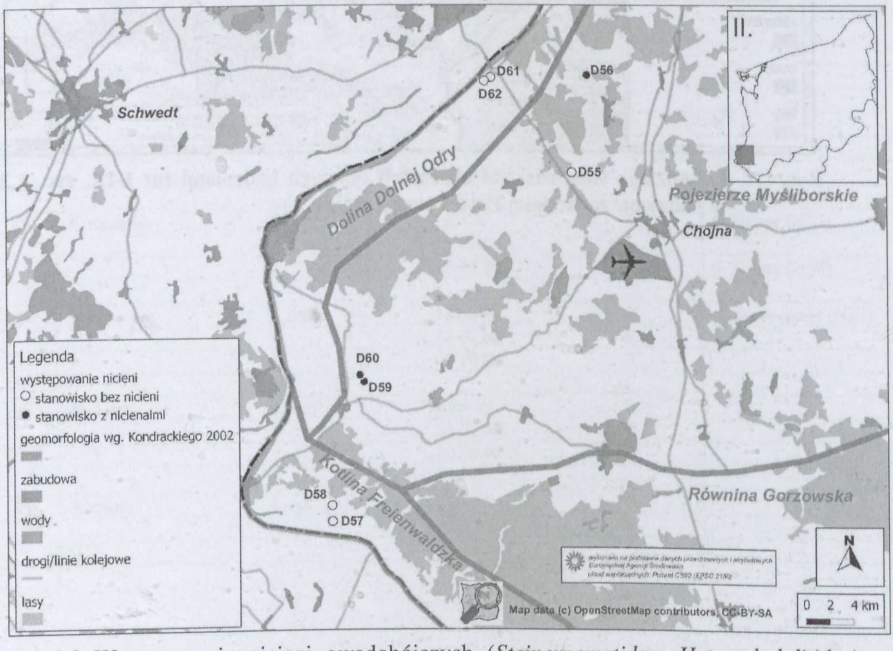
Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w północno-zachodniej Polsce w latach 2004–2009 (ryc.1.1.–1.10.A–D)



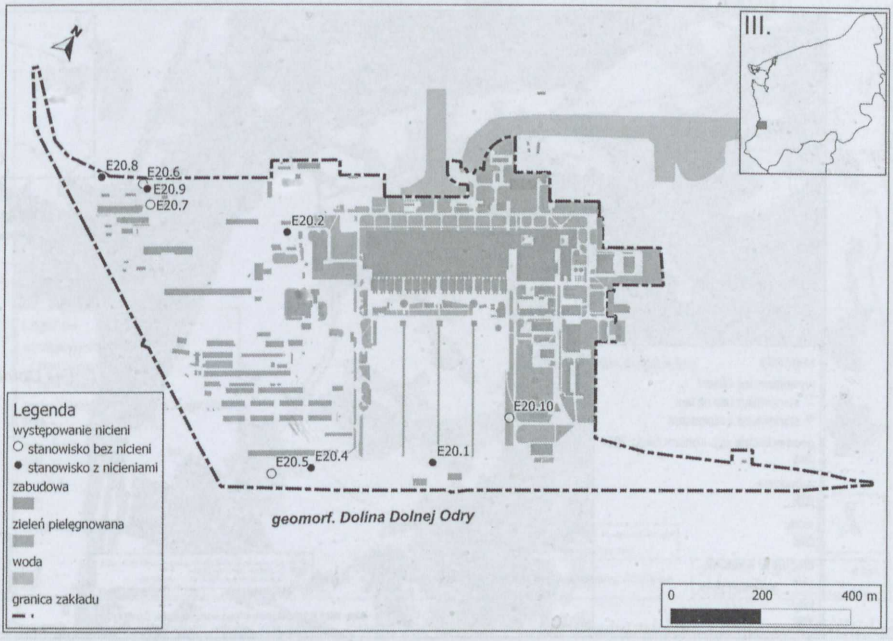
Ryc. 1.1. Lokalizacja stanowisk na obszarach objętych badaniami (nr I–IX, ryc. 1.2.–1.10) w północno-zachodniej Polsce (mapa zbiorcza)



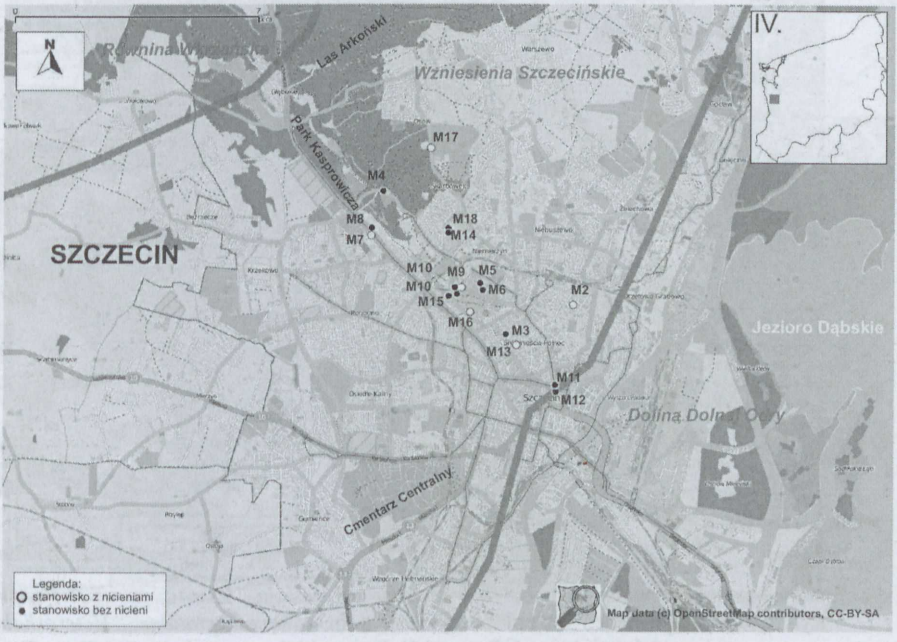
Ryc. 1.2. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w kompleksach leśnych Puszczy Noteckiej, na terenie nadleśnictw: Międzychód i Karwin



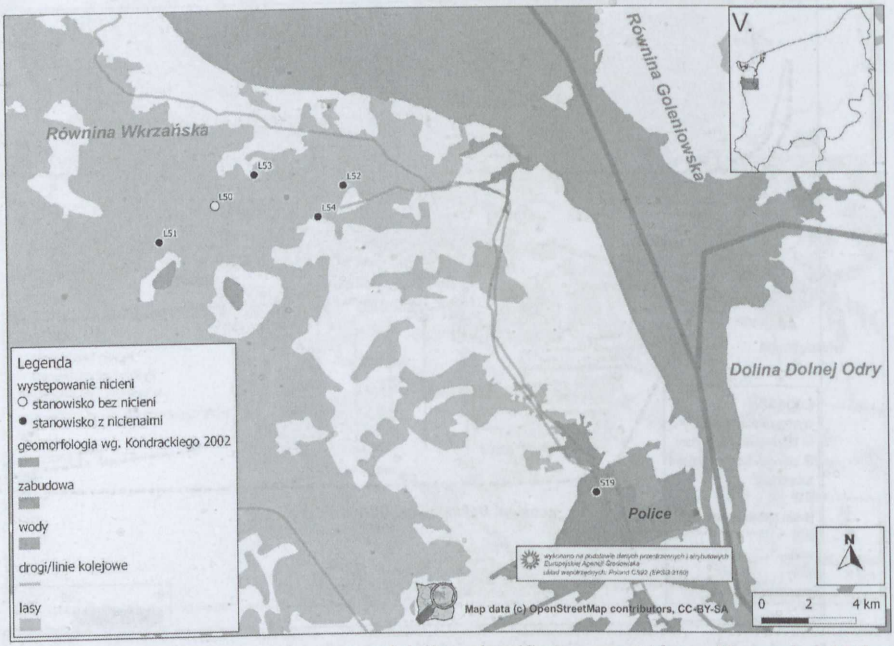
Ryc. 1.3. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) na użytkach zielonych w Dolinie Dolnej Odry



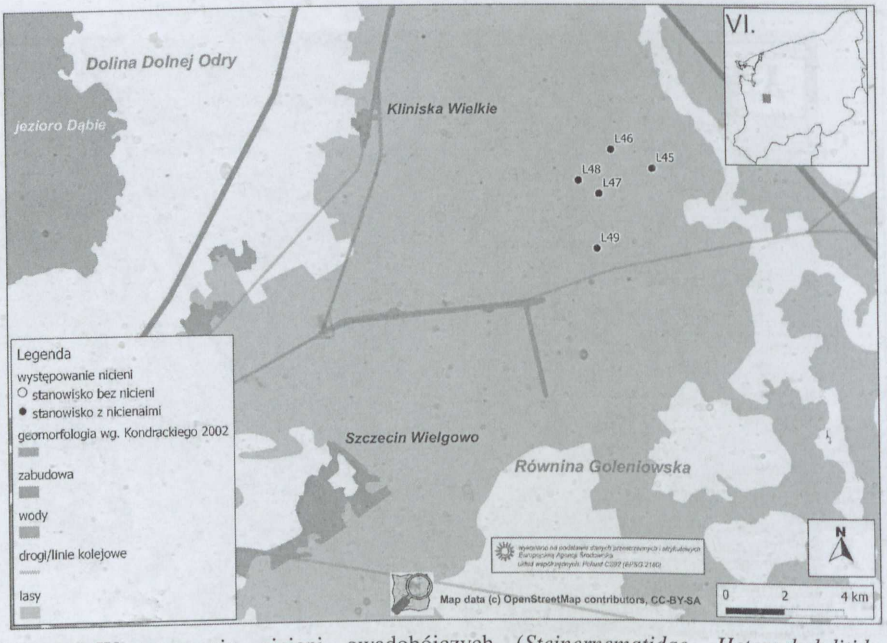
Ryc. 1.4. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) na skwerach przyzakładowych na terenie Elektrowni „Dolna Odra" w Starym Czarnowie



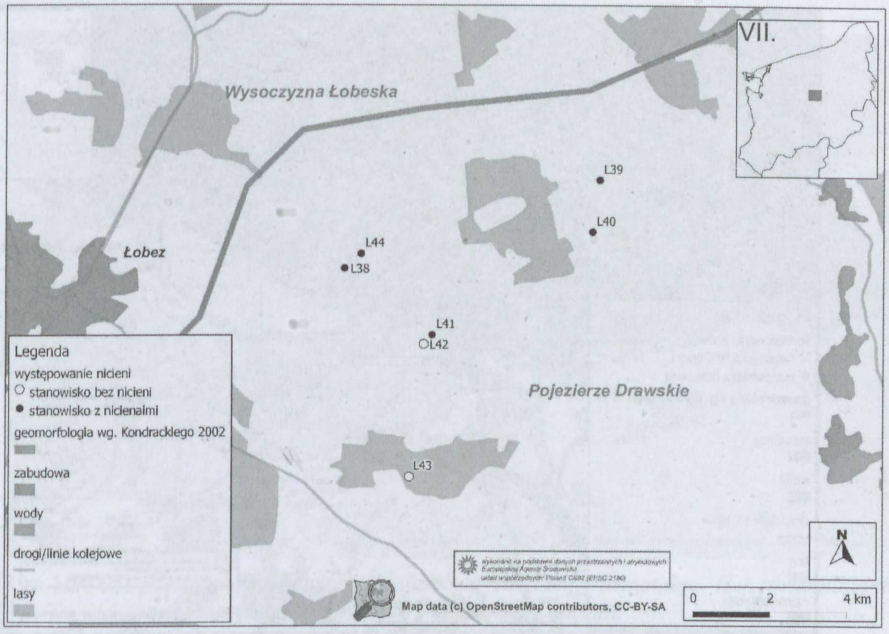
Ryc. 1.5. Występowanie nicieni w zieleni miejskiej na terenie aglomeracji szczecińskiej



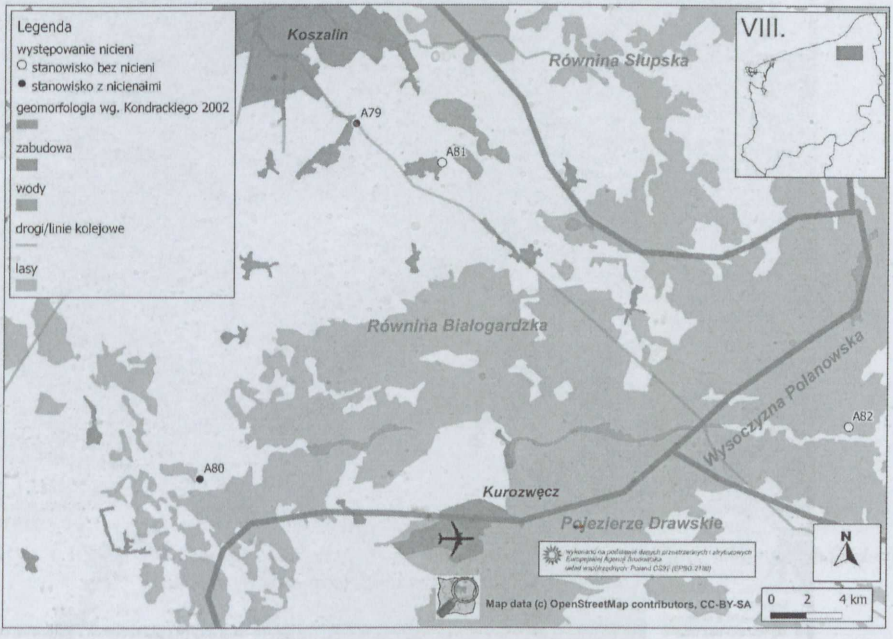
Ryc. 1.6. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w kompleksach leśnych Puszczy Wkrzańskiej, na terenie Nadleśnictwa Trzebież



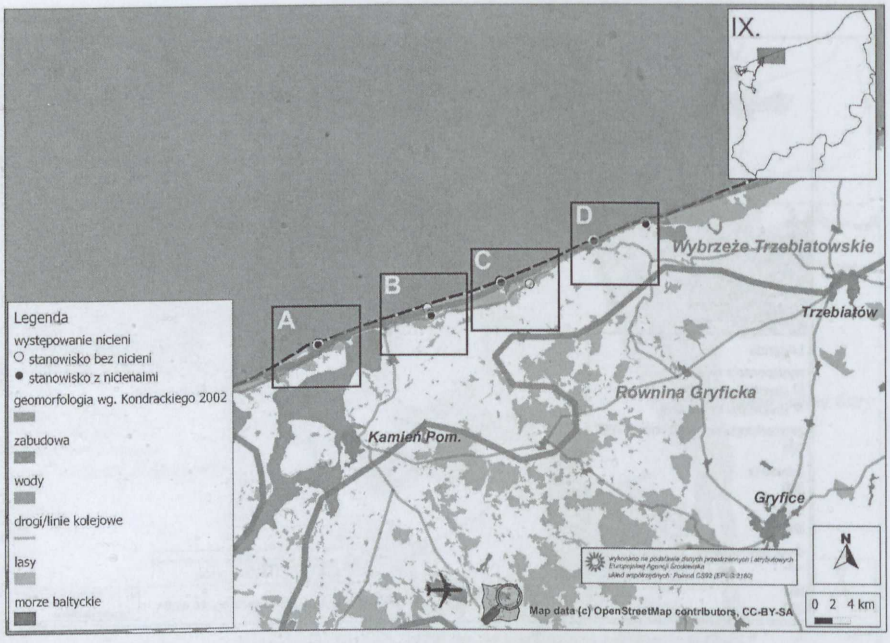
Ryc. 1.7. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w kompleksach leśnych Puszczy Goleniowskiej, na terenie Nadleśnictwa Kliniska



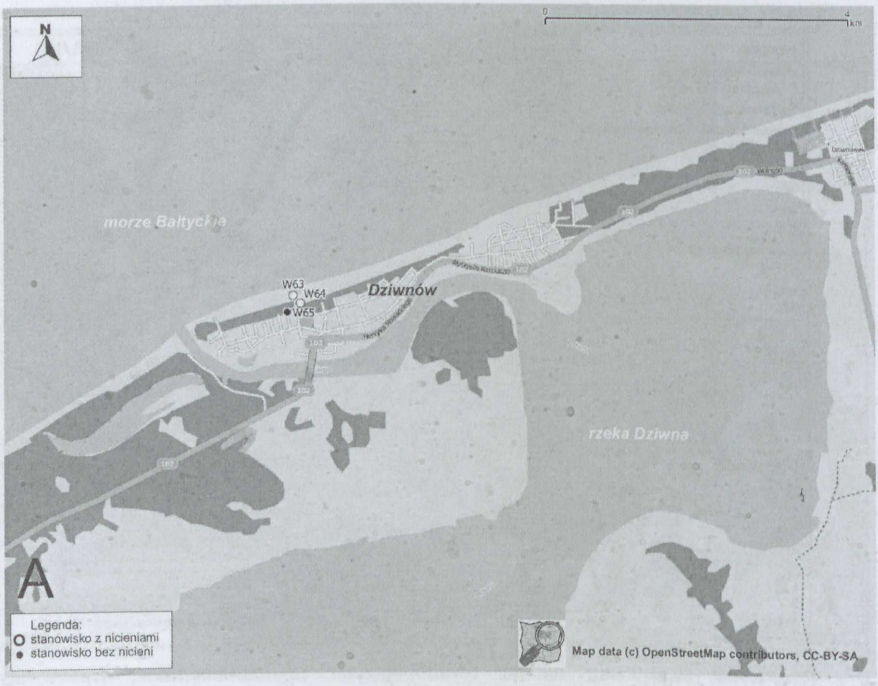
Ryc. 1.8. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w kompleksach leśnych na Pojezierzu Drawskim, na terenie Nadleśnictwa Łobez



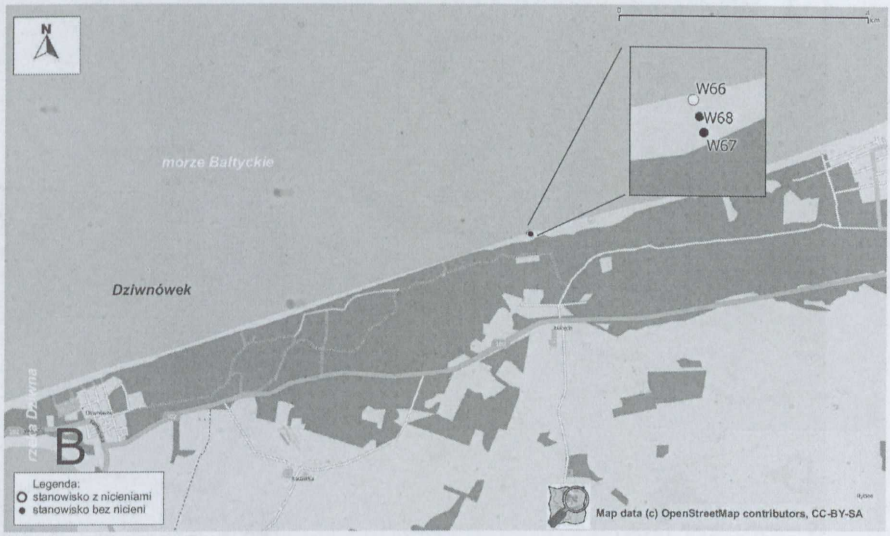
Ryc. 1.9. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w uprawach polowych na Pobrzeżu Koszalińskim



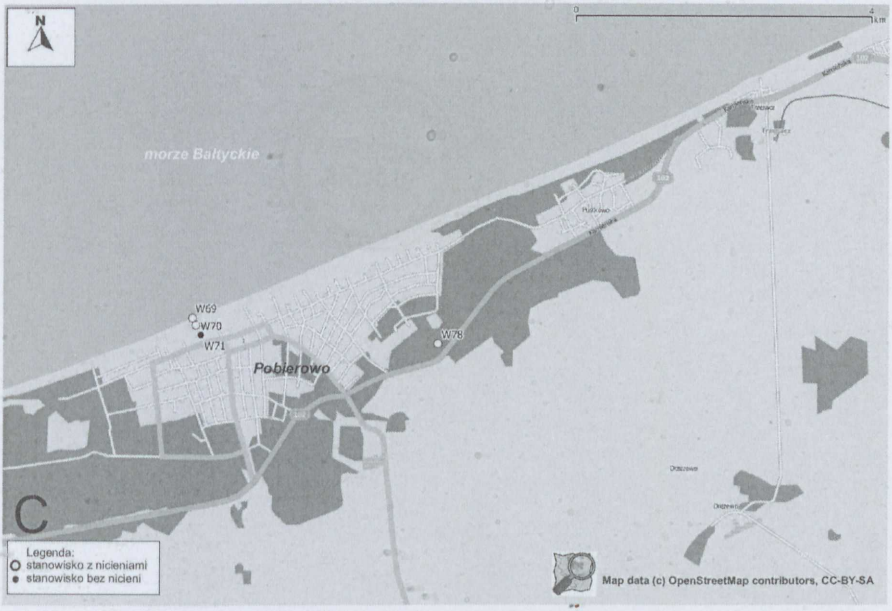
Ryc. 1.10. Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w pasie wydm nadmorskich na Pobrzeżu Szczecińskim



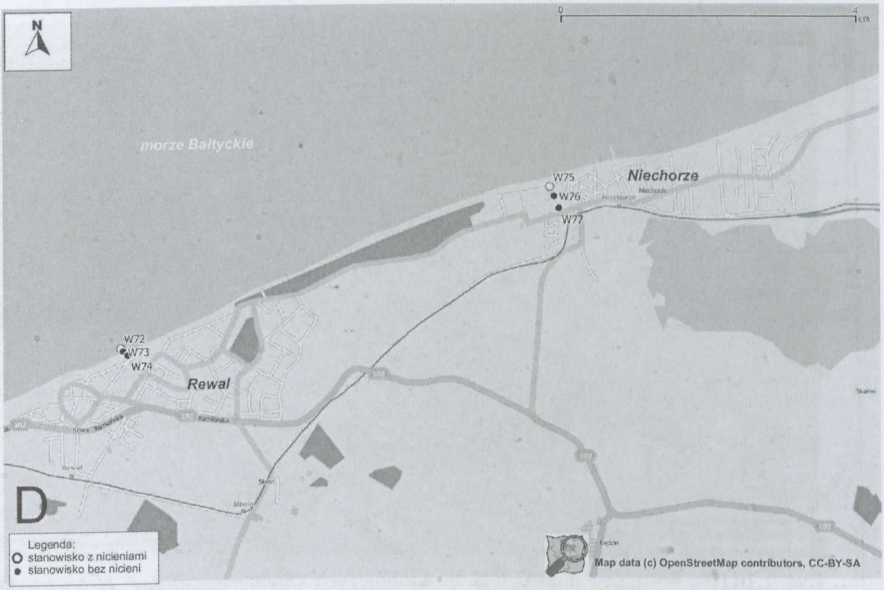
Ryc. 1.10 (A). Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w pasie wydm nadmorskich w okolicach Dziwnowa



Ryc. 1.10 (B). Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w pasie wydm nadmorskich w okolicach Łukęcina



Ryc. 1.10 (C). Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w pasie wydm nadmorskich w okolicach Pobierowa



Ryc. 1.10 (D). Występowanie nicieni owadobójczych (*Steinernematidae*, *Heterorhabditidae*) w pasie wydm nadmorskich w okolicach Niechorza

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
-13-

Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
W.141072
012-141072-00-0

ISBN 978-83-7663-142-4