

# **AUTOREFERAT**

## **Struktura zespołów nicieni jako wskaźnik zmian zachodzących w glebie**

**Krassimira Ilieva-Makulec**

Instytut Ekologii i Bioetyki, Wydział Filozofii Chrześcijańskiej  
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Warszawa, kwiecień 2019

**1. Imię i Nazwisko.**

Krassimira Ilieva-Makulec

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**

- 1986 r. – dyplom **magistra biologii**, specjalizacja: ekologia, Wydział Biologii Uniwersytetu Sofijskiego, Bułgaria.
- 1998 r. – stopień **doktor nauk biologicznych**, Instytut Ekologii PAN, rozprawa doktorska pt. „Porównanie strategii życiowej dwóch gatunków nicieni bakteriofagicznych *Acrobeloides nanus* (de Man 1880) Anderson 1968 i *Dolichorhabditis dolichura* (Schneider 1866) Andrássy 1983 w warunkach laboratoryjnych”  
Promotor: prof. dr hab. Cecylia Bajan.

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.**

1987–1990	Laboratorium Nematologii Uniwersytetu Sofijskiego, asystent.
1990–1994	Studia doktoranckie w Zakładzie Agrocenologii Instytutu Ekologii PAN.
1994–1997	Zakład Agrocenologii Instytutu Ekologii PAN, specjalista.
V 1997–XI 2002	Instytut Ekologii PAN, asystent (1997–1998) i adiunkt (od 1998).
XI 2002–XII 2013	Centrum Badań Ekologicznych PAN, adiunkt.
od X 2008	Instytut Ekologii i Bioetyki Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego, adiunkt, asystent.

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789)****4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:**

Zbiór publikacji pod wspólnym tytułem **Struktura zespołów nicieni jako wskaźnik zmian zachodzących w glebie.**

Wydruki prac w zał. 4, natomiast oświadczenia wszystkich współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie poszczególnych prac w zał. 5.

## 4.2. Lista publikacje stanowiących osiągnięcie naukowe:

1. **Ilieva-Makulec K.**, Olejniczak I., Szanser M. 2006, Response of soil micro- and mesofauna to diversity and quality of plant litter, *European Journal of Soil Biology*, 42, S244–S249. (IF<sub>2006</sub> = 0,875).
2. **Ilieva-Makulec K.**, Makulec G. 2007, Does the activity of the earthworm *Aporrectodea caliginosa* modify the plant diversity effect on soil nematodes? *European Journal of Soil Biology*, 43, S157–S164 (IF<sub>2007</sub> = 0,500)
3. **Ilieva-Makulec K.**, Gryziak G. 2009, Response of soil nematodes to climate-induced melting of Antarctic glaciers, *Polish Journal of Ecology*, 57, 811–816. (IF<sub>2009</sub> = 0,384).
4. **Ilieva-Makulec K.**, Bjarnadottir B., Sigurdsson B.D. 2015, Soil nematode communities on Surtsey, 50 years after the formation of the volcanic island, *Icelandic Agricultural Sciences*, 28, 43–58. (IF<sub>2015</sub> = 0,353; 5-letni IF<sub>2015</sub> = 0,757).
5. **Ilieva-Makulec K.**, Tyburski J., Makulec G. 2016, Soil nematodes in organic and conventional farming system: a comparison of the taxonomic and functional diversity, *Polish Journal of Ecology*, 64, 547–563. (IF<sub>2016</sub> = 0,639)
6. **Ilieva-Makulec K.**, Rybarczyk-Mydlowska K., Winiszewska G., Flis Ł., Tereba A., Kowalewska K., Malewski T. 2017, Morphological and molecular analysis of *Paratrichodorus teres* (Hooper 1962) (Nematoda: Trichodoridae): a groundwork for discussion on the phylogeny and pathogenicity of *Paratrichodorus* species, *European Journal of Plant Pathology*, 148, 4, 907–917. (IF<sub>2017</sub> = 1,466)
7. **Ilieva-Makulec K.**, Kozacki D., Makulec G. 2018, Corvid roosts in the city: first results about their impact on the taxonomic diversity and trophic structure of the soil nematode community, *Acta Zoologica Bulgarica*, Suppl. 12, 11–19. (IF<sub>2017</sub> = 0,369).

## 4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

### Cel naukowy

Nicienie to kluczowa grupa bezkręgowców glebowych. Odgrywają ważną rolę w funkcjonowaniu podsystemu glebowego. Bezpośrednio lub pośrednio biorą udział w procesach rozkładu materii organicznej, w mineralizacji składników pokarmowych i krążeniu pierwiastków (Ingham i in. 1985, Freckman 1988, Griffiths i in. 1994, Chen i Ferris 1999).

Nicienie reprezentowane są we wszystkich heterotroficznych poziomach glebowej sieci troficznej. Mają przedstawicieli zarówno w łańcuchu detrytusowym, jak i w łańcuchu spasanania. Odpowiednio do specjalizacji pokarmowych wyróżnia się 5 głównych grup troficznych (funkcjonalnych) nicieni: bakteriożerne, grzybożerne, roślinożerne (w tym obligatoryjne pasożyty roślin), drapieżne oraz nicienie wszystkożerne (Yeates i in. 1993).

Nicienie z jednej strony oddziałują na procesy glebowe, a z drugiej zaś wybrane parametry ich zespołów odzwierciedlają zmiany zachodzące w podsystemie glebowym.

**Celem prac stanowiących osiągnięcie badawcze było wykazanie, że zmiany w zagęszczeniu, różnorodności i strukturze troficznej oraz zmiany wartości niektórych wskaźników zespołów nicieni można wykorzystać do oceny kierunku i intensywności podstawowych procesów ekologicznych i stanu gleby.**

Wybrane prace pokazują ściśle powiązania nicieni z abiotycznymi (np. zasoby pokarmowe różnego pochodzenia) i biotycznymi (mikroorganizmy, dżdżownice, rośliny) elementami podsystemu glebowego.

Charakterystykę zespołów nicieni dokonywałam wykorzystując parametry takie, jak: zagęszczenie (całkowite i dla poszczególnych grup troficznych) i bogactwo taksonomiczne oraz wskaźniki zarówno ogólnie ekologiczne (np. różnorodność taksonomiczna, podobieństwo, dominacja), jak i wskaźniki funkcjonalne, które uwzględniają preferencje pokarmowe i/lub strategię życiowe (*r-K*) poszczególnych taksonów nicieni takie, jak:

- stosunek zagęszczenia nicieni bakteriożernych (*B*) do grzybożernych (*G*) –  $B/G$  – pozwala ocenić, jaką drogą zachodzi rozkład materii organicznej w glebie: z większym udziałem bakterii (przewaga mineralizacji), czy raczej grzybów (kumulacja materii organicznej i humifikacja) (Wasilewska 1997);
- stosunek sumy zagęszczeń nicieni bakteriożernych i grzybożernych ( $B+G$ ) do zagęszczenia nicieni roślinożernych (*R*) –  $(B+G)/R$  – służy do określenia, który łańcuch pokarmowy (detrytusowy czy spasanania) dominuje w glebowej sieci troficznej (Wasilewska 1997);
- wskaźnik dojrzałości *Maturity Index MI* – służy do określenia stadium sukcesji oraz oceny stopnia odkształcenia środowiska glebowego (Bongers 1990). Wartość *Maturity Index* waha się od 1 do 5 w zależności od miejsca taksonów w skali c-p: *colonizers* (wartość 1) – *persisters* (wartość 5). Im wyższa wartość tego wskaźnika, tym bardziej dojrzały jest zespół, z większym udziałem nicieni z wyższych poziomów troficznych, na ogół na zaawansowanym etapie sukcesji.
- wskaźniki funkcjonalne: wskaźnik wzbogacenia (zasobności) – *Enrichment Index EI*; wskaźnik drogi rozkładu materii organicznej – *Channel Index CI*; wskaźnik stopnia złożoności i liczby powiązań troficznych w zespole – *Structure Index SI* (Bongers i Ferris 1999, Ferris i in. 2001, Ferris i Bongers 2006).

Prace badawcze składające się na osiągnięcie naukowe opublikowałam w okresie 2006–2018. Fauna nicieni, którą analizowałam, pochodziła z ekosystemów naturalnych lub antropogenicznych z Polski (**prace 1–2, 5–7**) oraz Antarktydy (**praca 3**) i Islandii (**praca 4**).

Badania realizowałam będąc wykonawcą w projektach naukowych finansowanych przez MNiSW (**prace 1–3 i 5**), lub dofinansowanych ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (**praca 6**) oraz w ramach współpracy z Uniwersytetem Rolniczym w Islandii (**praca 4**).

Przedstawione prace zawierają oryginalne przykłady wykorzystania nicieni glebowych (na różnych poziomach organizacji – od zespołu poprzez grupy troficzne do rodzaju lub gatunku) jako wskaźników: i) zasobności gleby w składniki pokarmowe (**prace 1–7**), ii) powiązań w glebowej sieci troficznej (**prace 1–7**), iii) kierunku i intensywności przebiegu procesów ekologicznych takich, jak kolonizacja, sukcesja, rozkład materii organicznej (**prace 1, 3–4**), iv) zaburzeń i/lub stopnia degradacji środowiska glebowego (**prace 4–7**).

## A. Nicienie glebowe jako wskaźniki przebiegu procesów ekologicznych (prace 1, 3–4)

### A.1. Nicienie a sukcesja pierwotna (prace 3 i 4)

Sukcesja pierwotna jest bardzo rzadko spotykanym procesem ekologicznym, ponieważ trudno znaleźć teren wcześniej nieskolonizowany przez organizmy. Prezentowane prace zawierają wyniki dotyczące sukcesji pierwotnej nicieni na terenach odsłoniętych w wyniku recesji lodowców w Antarktyce (**praca 3**) oraz na wyspie Surtsey (Islandii), powstałej w wyniku podmorskiej erupcji wulkanicznej (**praca 4**).

#### A.1.1. Tempo kolonizacji i rozwój zespołów nicieni na terenach odsłanianych w wyniku recesji lodowców (praca 3)

Nicienie są dominującą grupą fauny glebowej w ekosystemach Antarktyki (Wall i Virginia 1999). Badania nematologiczne prowadzone w Antarktyce dotyczą przede wszystkim rozmieszczenia i różnorodności gatunkowej zespołów. Widocznym efektem ocieplenia klimatu w Antarktyce są obserwowane w ostatnich 50–60 lat postępujące procesy recesji lodowców (King i Harangozó 1998). Moim **celem było zbadanie tempa kolonizacji oraz rozwoju zespołów nicieni na obszarach uwolnionych spod pokrywy lodowej**. Jest niewiele informacji na ten temat, zwłaszcza pokazujących te procesy w czasie.

Badania prowadzono w Antarktyce na zachodnim wybrzeżu Zatoki Admiralicji na Wyspie Króla Jerzego w Szetlandach Południowych na obszarze specjalnie chronionym (ASPA) No. 128. Próby pobrano w 2008 roku podczas 32 Wyprawy Antarktycznej na Polską Stację Antarktyczną im. H. Arctowskiego w trzech miejscach: w pobliżu Lodowca Ekologii, Lodowca Baranowskiego i Lodowca Windy, gdzie tempo topnienia było rejestrowane od ponad 50 lat. W każdym z tych miejsc od wybrzeża w kierunku lodowca wyznaczono transekty i wytypowano stanowiska, które zostały odsłonięte w różnym czasie (od niedawna do ponad 50 lat temu). Dało to możliwość **jednoczesnego zbadania różnych stadiów sukcesji**. Obszary świeżo lub niedawno odsłonięte nie posiadały żadnej pokrywy roślinnej. Natomiast dominującymi gatunkami roślin na terenach najdłużej odsłoniętych były śmiełek antarktyczny *Deschampsia antarctica* i kolobant antarktyczny *Colobanthus quitensis*, a także mchy (głównie *Drepanocladus* sp. oraz *Polytrichum* sp.).

Uzyskane wyniki wskazują, że **kolonizacja obszarów postglacialnych przez nicienie jest procesem powolnym**. Nawet na gruntach odsłoniętych 30 lat temu, nicienie znaleziono jedynie w połowie prób, natomiast na terenach dłużej odsłoniętych wystąpiły one już w ponad 90% prób.

Po długiej (prawie 50 lat trwającej) fazie powolnego wzrostu, zagęszczenie nicieni zaczęło zmieniać się według krzywej wykładniczej. I tak, w 100 g gleby z najkrócej odsłoniętych terenów stwierdzono maksymalnie 18 nicieni, natomiast na terenach uwolnionych z lodu ponad 50 lat temu maksymalnie zagęszczenie wynosiło prawie 3000 osobników.

**Zespoły nicieni w glebie z obszarów młodszych niż 50 lat, były ubogie w rodzaje** (do 6 rodzajów), podczas gdy w **glebie terenów najdłużej odsłoniętych stwierdzono już 16 rodzajów nicieni**. Dominacja nicieni bakteriożernych z dwóch rodzajów *Panagrolaimus* i *Plectus* (o strategii życiowej typu *r* i wartość *c-p* odpowiednio 1 i 2) jest bardzo wyraźna i charakterystyczna dla wszystkich obszarów młodszych niż 50 lat.

**Wzdłuż transektów zaobserwowano również tendencję do zwiększania zróżnicowania troficznego nicieni**. Na obszarach niedawno odsłoniętych nicienie należały do dwóch grup troficznych (nicieni bakteriożernych i grzybożernych), natomiast w dawniej odsłoniętych gruntach zespoły były bardziej złożone – z przedstawicielami wszystkich pięciu

grup troficznych (oprócz wyżej wymienionych – były to nicienie wszystkożerne, drapieżne i roślinożerne).

W glebie obszarów postglacjalnych, największy udział miały nicienie bakteriożerne, a następnie grzybożerne. Na terenach stosunkowo niedawno odsłoniętych (poniżej 30 lat) zwraca uwagę również duży udział nicieni wszystkożernych (rodzaje *Eudorylaimus* i *Mesodorylaimus* o wartości w skali  $c-p = 4$ ).

**Wartości wskaźnika dojrzałości (*Maturity Index MI*)** były niskie (poniżej 2), co wskazuje **na niski stopień organizacji i niedojrzałość zespołów nicieni oraz niestabilność środowiska na odsłoniętych terenach nawet 50 lat po deglacjacji**. Nie stwierdzono jednak korelacji wartości wskaźnika dojrzałości z wiekiem odsłoniętych terenów, co może wskazywać na jego mniejszą wartość bioindykacyjną w badaniach nad pierwotną sukcesją nicieni. Fakt, że wartości *MI* na niedawno odsłoniętych terenach były wyższe niż na dawniej osłoniętych terenach można wyjaśnić większym zagęszczeniem nicieni wszystkożernych (rodzajów *Eudorylaimus* i *Mesodorylaimus*), które tam stwierdzono. O ile duże zagęszczenia nicieni wszystkożernych w ekosystemach strefy umiarkowanej są wskaźnikiem wysokiej organizacji i stabilnego środowiska, to w Antarktyce obecność tej grupy troficznej jest raczej związana ze wzrostem liczebności i rozmieszczeniem ich pokarmu czyli mikroglonów glebowych i mszaków.

Uzyskane przeze mnie wyniki wskazują na **wyraźne powiązanie między obecnością zbiorowisk roślinnych a kolonizacją i rozwojem zespołów nicieni na terenach odsłoniętych po recesji lodowców**. Duże zagęszczenia nicieni bakteriożernych z rodzaju *Plectus* na terenach odsłoniętych krócej niż 50 lat należy wiązać (tak jak wcześniej stwierdzili Sohlenius i in. 2004) z odpowiednim mikroklimatem (wyższą temperaturą i wilgotnością), który tworzą występujące tam mszaki. Zmiany w zespołach nicieni, a mianowicie wzrost zagęszczenia oraz zróżnicowania taksonomicznego i troficznego odzwierciedlają zmiany zachodzące w warunkach mikroklimatycznych i edaficznych, które następują na dłuższej odsłoniętych terenach, wraz z rozwojem roślinności wyższej.

Więcej informacji na temat czynników wpływających na przebieg sukcesji pierwotnej nicieni udało mi się uzyskać podczas badań na wyspie Surtsey.

#### **A.1.2. Czynniki wpływające na przebieg sukcesji pierwotnej nicieni (praca 4).**

Wyspa Surtsey znajdująca się u południowego wybrzeża Islandii (63°18'N, 20°36'W) powstała na skutek podmorskiej erupcji wulkanicznej w 1963 roku. Surtsey od samego początku została objęta ścisłą ochroną i dzięki temu kolonizacja wyspy oraz późniejszy rozwój zespołów roślinnych i zwierzęcych przebiegały zupełnie bez interwencji człowieka.

Jest niewiele informacji na temat kolonizacji Surtsey przez nicienie (Sohlenius 1972, 1974, Hedin 1978, Frederiksen i in. 2001 (wyniki tego ostatniego autora dotyczą badań z 1995 roku). Wskazują one na powolną kolonizację wyspy przez nicienie. Do roku 1995 stwierdzono tam jedynie 16 taksonów nicieni. **Moje dane pochodzą z 2012 roku, prawie 50 lat po powstaniu wyspy**. Były to pierwsze od 17 lat badania dotyczące stanu nicieni na wyspie. Ich celem było **nie tylko sprawdzenie, jakie zmiany zaszły w zagęszczeniu, składzie taksonomicznym oraz strukturze zespołów nicieni, ale także powiązanie tych zmian ze sukcesją roślin naczyniowych** (Magnússon i in. 2014), **drobnoustrojów glebowych** (Marteinsson i in. 2015), oraz **ze zmianami w procesie glebotwórczym** (Sigurdsson i Magnusson 2010, Leblans i in. 2014), które monitorowane są na wyspie od 1990 roku. Należy dodać, że rozwój kolonii mew na części wyspy po 1984 r. doprowadził do wzrostu ilości substancji odżywczych dostępnych dla roślin. Spowodowało to przyspieszenie rozwoju roślinności i przesunięcie sukcesji roślin na obszarze kolonii na dalsze etapy, a ekspansji roślinnej towarzyszył również rozwój gleby (Sigurdsson i Magnusson 2010,

Leblans i in. 2014, Magnússon i in. 2014). Dlatego moim **następnym celem było zbadanie, czy i jak 28 letni dopływ allochtonicznych substancji odżywczych do gleby wpłynął na przebieg (kierunek i intensywność) sukcesji pierwotnej nicieni**. Porównałam sukcesyjne stadia nicieni w obrębie i poza kolonią ptaków.

**Zagęszczenie nicieni było 4-krotnie wyższe w glebie w obrębie kolonii ptaków niż w glebie poza kolonią. Bogactwo rodzajowe było jednak wyższe poza kolonią niż na obszarze kolonii. Ogółem w 2012 roku na wyspie stwierdziłam 25 rodzajów nicieni, z których aż 14 po raz pierwszy.**

Struktura troficzna zespołów nicieni różniła się zasadniczo pomiędzy dwoma siedliskami. Stwierdziłam **większy udział procentowy nicieni bakteriożernych i roślinożernych w glebie w obrębie kolonii ptaków natomiast wyższy udział grzybożernych nicieni w glebie poza kolonią.**

**Na wyspie w 2012 roku nadal nie występowały nicienie drapieżne, natomiast po raz pierwszy stwierdziłam obecność nicieni roślinożernych** i to z dużym udziałem w strukturze dominacji rodzajów (np. *Tylenchorhynchus*).

Ostrzejszą strukturę dominacji rodzajów zanotowałam w kolonii ptasich, gdzie rolę eudominantów pełnią nicienie bakteriożerne z rodzajów *Panagrolaimus*, *Rhabditis* i roślinożerne z rodzaju *Tylenchorhynchus*. W glebie poza kolonią ptaków dominowały nicienie bakteriożerne z rodzajów *Cephalobus*, *Acrobeloides*, grzybożerne *Aphelenchoides* i roślinożerne *Tylenchorhynchus*.

Duży udział nicieni bakteriożernych z rodzajów *Panagrolaimus* i *Rhabditis* ( $r$  stratydy o wartości  $c-p = 1$ ) w glebie z obszaru kolonii wskazuje na większą dostępność pokarmu – było tam 100-krotnie więcej bakterii niż poza kolonią (Marteinsson i in. 2015). Już w swoich wcześniejszych badaniach (Ilieva-Makulec 2001a, b) wykazałam, że nicieni bakteriożerne z rodzajów *Rhabditis* i *Acrobeloides* mają nie tylko różne strategie życiowe, lecz i różne wymagania co do zasobów pokarmowych. Nicienie z rodzajów *Rhabditis* i *Panagrolaimus* mają krótkie cykle życiowe i wymagają dużych zasobów pokarmu, natomiast *Cephalobus* i *Acrobeloides* – dłuższe cykle życiowe (wartość  $c-p = 2$ ) i niewielkie zapotrzebowania pokarmowe. Dlatego też Bongers (1999) nazwał nicienie z pierwszych dwóch rodzajów *enrichment opportunists* czyli wskaźnikami wzbogacenia, natomiast nicienie z ostatnich dwóch rodzajów *habitat generalists*, czyli powszechnie występującymi.

Różnice w udziałach procentowych nicieni bakteriożernych i grzybożernych w obu siedliskach znajdują odzwierciedlenie w wartościach *Channel Index* – są one niższe w kolonii niż poza kolonią ptaków. Takie wartości świadczą o dominacji bakterii w procesie rozkładu w glebie z obszaru kolonii ptaków (z większym udziałem nicieni bakteriożernych) oraz o zwiększeniu udziału grzybów w tym procesie w glebie poza kolonią (gdzie rośnie udział nicieni grzybożernych).

Moje **wyniki pokazały istotną zależność między zagęszczeniem i rozmieszczeniem rodzajów nicieni a parametrami środowiskowymi w obu siedliskach**. Jednakże, o ile zagęszczenie i rozmieszczenie rodzajów nicieni w glebie poza kolonią ptaków były najsilniej skorelowane z wyższą temperaturą i wyższym pH gleby, to w obrębie kolonii nicienie wykazywały dodatnią korelację z zawartością materii organicznej i stosunkiem C:N gleby oraz z pokryciem szaty roślinnej i nadziemną biomasą roślin. Natomiast rozwój procesu glebotwórczego wyrażony głębokością warstwy gleby był bardzo ważnym czynnikiem dla rozmieszczenia nicieni w obu siedliskach.

Niskie wartości (poniżej 2) wskaźnika dojrzałości *MI* zespołów nicieni w obu siedliskach świadczą o powolnym przebiegu sukcesji pierwotnej nicieni na wyspie. Wartości *MI* były podobne do tych, jakie wcześniej odnotował Frederiksen (2001) jak i do tych, które stwierdziłam w Antarktyce 50 lat po recesji lodowców.

Niskie wartości (poniżej 50%) wskaźnika złożoności *Structure Index* również potwierdziły występowanie na wyspie słabo ukształtowanych zespołów nicieni bez drapieżców i niewielu nicieni wszystkożernych, które zapewniałyby większą stabilność tych układów.

**Wyniki moich badań** w zestawieniu z wynikami wcześniejszymi, **pokazały wyraźny trend wzrostu liczebności i różnorodności zespołów nicieni w ciągu 50 lat istnienia Surtsey**. Stwierdzono istnienie **dwóch ciągów (trajektorii) sukcesyjnych nicieni na wyspie**. **Pierwszy** ma miejsce **poza koloniami ptaków**. W dużym przybliżeniu **podąża on za sukcesją roślin**. Jednak pomimo, że w okresie od 1995 (poprzednie badania) do 2012 (moje badania) skład oraz stopień pokrycia roślinnością nie uległ dużym zmianom, to różnorodność zespołów nicieni znacznie wzrosła, a przewaga nicieni grzybożernych w zespole świadczy o wzroście udziału grzybów, a tym samym o wolniejszym tempie rozkładu materii organicznej i większej stabilności układu.

**Drugi ciąg sukcesyjny nicieni zachodzi w koloniach ptaków**, gdzie dopływ składników odżywczych ma istotny pozytywny wpływ na różnorodność, pokrycie, biomasę, respirację roślin a przez to na pionową stratyfikację gleby. **W tym siedlisku większe jest zagęszczenie nicieni** (głównie *r* strategów o wartości  $c-p = 1$  i większych zapotrzebowaniach pokarmowych), **lecz ich różnorodność jest niższa**. Tym samym **pokazałam, że rośliny i nicienie na wyspie Surtsey w miejscach znajdujących się w obrębie kolonii ptaków znajdują się na różnych etapach sukcesji**. Dopływ nutrientów przyspieszył sukcesję roślin i ich rozwój po 50 latach osiągnął poziom podobny do tego, co w koloniach ptaków na wyspach mających 5000 lat (Magnússon i in. 2014). Natomiast w przypadku nicieni, dopływ substancji odżywczych (w formie guana) utrzymuje na wysokim poziomie zagęszczenie mikroorganizmów (przede wszystkim bakterii), co daje przewagę tylko niektórym rodzajom nicieni (nicieniom bakteriożernym o strategii *r*) i stanowi zaburzenie, które opóźnia przejście sukcesji nicieni na dalszy etap.

Podsumowując, wyniki obu badań (w Antarktyce i na Surtsey) wskazują na powolniejszą sukcesję nicieni na obszarach antarktycznych i subarktycznych w porównaniu ze strefą umiarkowaną, gdzie zazwyczaj po kilku latach sukcesji liczebność nicieni oraz ich różnorodność taksonomiczna osiągają zakresy charakterystyczne dla danego typu ekosystemu (Wasilewska 1970).

Wyniki tych badań:

- stanowią wkład w poznanie przebiegu procesów kolonizacji i sukcesji pierwotnej na obszarach antarktycznych i subarktycznych;
- wskazują na powolniejszą sukcesję nicieni na tych obszarach w porównaniu ze strefą umiarkowaną;
- są udokumentowaniem zmian klimatycznych (topnienie i cofanie się lodowców) w rejonach polarnych. Stanowią wkład w poznanie procesów kolonizacji i sukcesji na terenach odsłanianych w wyniku recesji lodowców;
- poszerzają wiedzę na temat procesu kolonizacji i przebiegu sukcesji nicieni na wyspie Surtsey. W trakcie badań zidentyfikowano 14 nowych rodzajów nicieni na wyspie. Po raz pierwszy na Surtsey zanotowano nicienie roślinożerne;
- wskazują, że przy braku dopływu egzogennych substancji odżywczych sukcesja nicieni podąża za sukcesją roślinności;
- wykazują, że dopływ nutrientów pochodzenia allochtonicznego jest ważnym czynnikiem wpływającym na przebieg pierwotnej sukcesji nicieni. Stanowi on zaburzenie, które daje przewagę nicieniom bakteriożernym o strategii *r* i opóźnia przejście sukcesji nicieni na dalszy etap.



## A.2. Nicienie glebowe a proces rozkładu materii organicznej (praca 1)

Pomimo, że wpływ fauny glebowej na dynamikę procesów rozkładu ściółki został udokumentowany w wielu badaniach, wciąż **istnienie niewiele danych dotyczących zależności między bogactwem gatunkowym ściółki a strukturą zespołów fauny glebowej ją zasiedlających**. Omawiane przeze mnie wyniki pochodzą z 2-letniego eksperymentu polowego, jednego z niewielu dotyczących tego typu zależności (**praca 1**).

Celem moich badań było określenie, **jak różnorodność gatunkowa ściółki** (mierzona liczbą gatunków roślin wchodzących w jej skład) **oraz jej jakość** (mierzona zawartością N, czyli początkową wartością stosunku C:N) **wpływają na tempo jej zasiedlenia przez nicienie glebowe**. Zbadano trzy rodzaje ściółki jednogatunkowej – koniczyny czerwonej (*Trifolium pratense*) o niskim początkowym stosunku C:N (18,24), kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata*) o pośrednim stosunkiem C:N (20,79) oraz kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra*) o wysokim stosunku C:N (38,42) oraz dwie mieszanki. Pierwsza złożona była z trzech wyżej wymienionych gatunków roślin w równych proporcjach wagowych (C:N = 20,28), a druga składała się z 12 gatunków roślin, z których dziewięć gatunków roślin dodano do trzech wyżej wymienionych (C:N = 19,97). W różnym czasie od momentu ekspozycji ściółki, czyli **na różnym etapie jej rozkładu oceniano zagęszczenie i strukturę zespołów mikrofauny** (nicienie) jak i **mezofauny** (skoczogonki i roztocze) glebowej. Porównanie zmian zachodzących w zespołach tych dwóch grup fauny glebowej stanowi dodatkowy atut pracy.

Wyniki pokazały, że zmiany zachodzące w zespołach fauny glebowej pod wpływem zwiększenia liczby gatunków roślin wchodzących w skład ściółki (jeden, trzy lub 12 gatunków roślin) są trudne do przewidzenia. **Wpływ rosnącej różnorodności gatunkowej ściółki na tempo jej zasiedlenia przez badane grup zwierząt nie był jednoznaczny**.

Wyniki wyraźnie pokazały, że **jakość ściółki, a nie jej różnorodność była czynnikiem, który wpłynął na jej zasiedlenie przez badane trzy grupy zwierząt glebowych**. W początkowym okresie przemian ściółki, nicienie wyraźnie zareagowały na gradient jej jakości. Po 3 miesiącach od ekspozycji ściółki stwierdzono istotną, wykładniczą zależność zagęszczenia nicieni od początkowej zawartości N w ściółce – najwięcej nicieni (ponad 7 mln osob. m<sup>-2</sup>) zanotowano w jednogatunkowej ściółce koniczyny o najniższym stosunku C:N (18,24), najmniej nicieni (ok. 100 tys. osob. m<sup>-2</sup>) natomiast zasiedlało jednogatunkową ściółkę kostrzewy o najwyższym stosunku C:N (38,42). Wyraźne preferencje nicieni do ściółki koniczyny oraz zmniejszenie udziału tej rośliny motylkowej w obu mieszankach (3 i 12 gatunkowych) tłumaczą spadek zagęszczenia nicieni wraz ze wzrostem liczby gatunków roślin wchodzących w skład ściółki. Z drugiej strony udział koniczyny w mieszankach 3 i 12 gatunkowych był na tyle wystarczający, aby te ściółki były bardziej atrakcyjne dla nicieni niż jednogatunkowe ściółki *D. glomerata* lub *F. rubra*.

Stwierdziłam również **wyraźną kolejność zasiedlania ściółki przez badane grupy fauny glebowej**. Nicienie kolonizowały ściółki wcześniej niż obie grupy mezofauny. Roztocze i skoczogonki pojawiały się licznie później (po 2 latach), dopiero w okresie powolnego rozkładu ściółki. Wpływ składu gatunkowego i jakości ściółki na zagęszczenie mezofauny nie był tak widoczny jak w przypadku nicieni. W przeciwieństwie do nicieni obie grupy mezofauny wykazywały preferencje do ściółki *F. rubra* o najniższej jakości (o najwyższym stosunku C:N). Maksymalne zagęszczenia mezofauny w tej ściółce po 2 latach wynosiły 4 000 osob. m<sup>-2</sup> dla roztoczy i 8 000 osob. m<sup>-2</sup> dla skoczogonków.

Stwierdziłam, że **jakość ściółki a nie jej różnorodność gatunkowa wywarła istotny wpływ również na różnorodność taksonomiczną zespołów nicieni i skoczogonków**. Najmniej zróżnicowane (najniższe wartości wskaźnika Shannona) były zespoły w ściółce o najniższym stosunku C:N. We wszystkich rodzajach ściółki obserwowałam wzrost

różnorodności zespołów nicieni w miarę postępującego rozkładu. Największą różnorodność odnotowałam po upływie 2 lat.

Prawie wszystkie **nicienie zasiedlające ściółki należały do dwóch grup troficznych: nicieni bakteriożernych i grzybożernych, ze znaczną przewagą tych pierwszych zwłaszcza na wcześniejszych etapach rozkładu.** Udział nicieni bakteriożernych w ściółce koniczyny (zawierającej najwięcej N) w pierwszych stadiach jej rozkładu (po 3 miesiącach ekspozycji) osiągnął prawie 100%. Jest to odpowiedzią na dominację bakterii, która często występuje na początku procesu rozkładu (Swift i in. 1979). W tym przypadku łatwo degradowalne frakcje ściółki rośliny motylkowej (koniczyny) to bardzo dobre podłoże dla aktywności i rozwoju bakterii. Stwierdzona przeze mnie dodatnia korelacja między zagęszczeniem nicieni a ubytkiem ściółki koniczyny wskazuje, że na początkowych stadiach jej rozkładu zagęszczenie nicieni jest wyraźnie skorelowane z aktywnością destruentów, czyli bakterii.

**W kolonizacji ściółek o wyższym stosunku C:N (zwłaszcza *F. rubra* i *D. glomerata*) spory udział miały nicienie grzybożerne.** Już po 3 miesiącach nicienie grzybożerne stanowiły ok. 30% wszystkich nicieni w ściółce kostrzewy, natomiast w ściółce koniczyny niecałe 0.1%. Świadczy to o tym, że rozkład ściółki o niższej jakości (kostrzewy lub kupkówki), zawierającej więcej trudno rozkładalnych frakcji dokonują nie bakterie a grzyby. **Udział nicieni grzybożernych rośnie, natomiast bakteriożernych maleje w trakcie procesu rozkładu wszystkich rodzajów ściółek.** Po 6 miesiącach prawie połowa nicieni w ściółkach kostrzewy i kupkówki należały do grupy grzybożernych, natomiast w ściółce koniczyny niecałe 9%. **Wskazuje to na wyraźną sukcesję tych dwóch grup troficznych nicieni w trakcie rozkładu ściółki.** Taki przebieg sukcesji czyli zastępowanie się tych dwóch grup troficznych nicieni obserwowano również w innych badaniach (Fu i in. 2000, Ferris i Matute 2003, Wang i in. 2004).

Uzyskane przeze mnie **wyniki stanowią mocne poparcie dla tezy, iż jakość ściółki** (mierzona początkową zawartością N) uznawana za dobry wskaźnik tempa rozkładu materii organicznej (Taylor 1989) **wyraźnie wpływa na strukturę zespołów mikro- i mezofauny glebowej i że wpływ ten zmienia się w trakcie rozkładu ściółki** (np. Santos i in. 1981, Pflug and Wolters 2001, Smith and Bradford 2003, Kotilainen i in. 2004). **Nicienie odpowiedziały wyraźnie na gradient jakości ściółki na początkowych etapach jej rozkładu.** Zaobserwowałam **dwie przeciwstawne tendencje w reakcji nicieni: ich zagęszczenie wzrasta natomiast różnorodność taksonomiczna maleje wraz ze wzrostem jakości ściółki** (z większą zawartością azotu). Tego nie obserwowano u skoczogonków – u nich oba parametry i zagęszczenie i różnorodność miały większe wartości w ściółce o niskiej jakości (z dużym początkowym stosunkiem C:N).

Stwierdzone przeze mnie **różnice w tempie kolonizacji ściółki przez mikro- i mezofaunę glebową potwierdziły ogólne twierdzenie o sukcesji poszczególnych grup zwierząt zachodzącej w trakcie dekompozycji** (Beare i in. 1992, Santos i in. 1981). Moje wyniki jednak różnią się od rezultatów uzyskanych przez Smitha i Bradforda (2003), którzy wskazują na większą rolę mezo- i makrofauny na wczesnych etapach rozkładu ściółki. Stwierdzili oni wyraźną reakcję mikrofauny na jakość ściółki dopiero, gdy została ona zasiedlona i przekształcona przez mezo- i makrofaunę. Ta rozbieżność może wynikać z faktu stosowania różnego rodzaju ściółek (w naszym eksperymencie było to stara ściółka, natomiast w badaniach Smitha i Bradforda – świeży opad), których sposób rozkładu może być różny.

**Istotni wpływ jakości ściółki (mierzonej zawartością N) na tempo jej zasiedlenia oraz strukturę zespołów trzech grup fauny glebowej to ważny wynik moich badań** ponieważ ten efekt **określa zakres i stopień, w którym zwierzęta glebowe wpływają na procesy rozkładu ściółki**, a w konsekwencji na kumulację węgla i azotu w glebie (Szanser i

in. 2011). Omówienie wyników tej pracy, której jestem współautorka umieszczone zostało w pkt. 5.

Uzyskane wyniki:

- stanowią wkład do poznania sukcesji zwierząt glebowych w trakcie dekompozycji ściółki;
- wskazują na wyraźne różnice w tempie kolonizacji ściółki przez mikro- i mezofaunę glebową;
- stanowią wkład do poznania czynników wpływających na sukcesję nicieni odżywiających się mikroorganizmami w trakcie rozkładu martwej materii organicznej;
- wskazują, że jakość ściółki (zawartość N) a nie jej różnorodność gatunkowa wpływa na tempo jej zasiedlania przez nicienie oraz determinuje różnorodność i liczebność ich zespołów;
- stanowią wkład do badań nad rolą nicieni w procesie rozkładu materii organicznej.

## **B. Nicienie jako wskaźniki oddziaływań biotycznych w glebie (praca 2 i 6)**

### **B.1. Relacje nicienie-rośliny-dżdżownice**

Nicienie to jeden z elementów złożonego systemu wzajemnych oddziaływań, jakie spotykamy w glebie. Nasza **wiedza o wzajemnych relacjach między składowymi systemu glebowego jest nadal niewystarczająca**.

Istnieje szereg prac w których badano wpływ różnorodności roślinności na liczebność i różnorodność nicieni glebowych (Gastine i in. 2003, de Deyn i in. 2004, Viketoft i in. 2005). Wyniki wskazują, że efekt zależy nie tylko od liczby gatunków roślin, lecz przede wszystkim od właściwości gatunków wchodzących w skład zespołu roślinnego. Natomiast mało wiadomo, jak i w jakim stopniu obecność i aktywność gatunków inżynierskich dżdżownic może wpłynąć na oddziaływanie roślinności na nicienie. Wcześniejsze badania koncentrowały się na ocenie efektu każdego czynnika z osobna: różnorodności roślinności lub obecności dżdżownicy. Celem moich badań było **prześledzenie zmian, jakie zachodzą w zespołach nicieni glebowych w jednogatunkowych i wielogatunkowych układach roślinnych dodatkowo modyfikowanych przez aktywność glebożernych dżdżownic *Aporrectodea caliginosa***. Badania prowadzono w warunkach eksperymentu terenowego. Dzięki solidnej pracy przygotowawczej udało się stworzyć warunki jak najbardziej zbliżone do naturalnych. Na eksperymentalnej powierzchni wymieniono górną warstwę gleby na odpowiednio przygotowaną i wymieszaną glebę orną i wkopano lizymetry wypełnione taką samą glebą. Powierzchnia lizymetrów oraz ich otoczenie obsiane zostało trawami, połowę tylko jednym gatunkiem – kostrzewą czerwoną, połowę mieszanką 8 gatunków. Kompozycja traw w mieszance została dobrana odpowiednio do rodzaju gleby. Po ukształtowaniu się darni do lizymetrów wprowadzono licznie występujący w glebach mineralnych glebożerny gatunek dżdżownic *Aporrectodea caliginosa* z rodziny Lumbricidae.

Uzyskane wyniki wskazują, że jeden sezon wegetacyjny wystarczył, aby w glebie obu układów roślinnych wykształciły się odrębne zespoły nicieni.

Przed wprowadzeniem dżdżownic, na początku sezonu wegetacyjnego zagęszczenie nicieni **w glebie pod różnogatunkową roślinnością było dwukrotnie wyższe niż w monokulturze kostrzewy**.

**Wprowadzenie dżdżownic wpłynęło na nicienie, lecz inaczej w każdym z układów roślinnych**. I tak w **obecności dżdżownic** (po 60 dniach od ich wprowadzenia) całkowite zagęszczenie nicieni oraz zagęszczenie poszczególnych grup troficznych w glebie

**mieszanki traw wyraźnie wzrosło**, natomiast w **monokulturze nie zmieniło** się w stosunku do tych samych układów roślinnych bez dżdżownic.

Przed wprowadzeniem dżdżownic, w wielogatunkowym układzie roślinnym zespoły nicieni były bardziej zróżnicowane (więcej rodzajów i większy wskaźnik różnorodności) niż w układzie jednogatunkowym.

**Wprowadzenie dżdżownic nie wpłynęło na ogólną liczbę rodzajów nicieni w obu układach roślinnych. W obecności dżdżownic natomiast zarówno w monokulturze jak i w mieszance rosła różnorodność rodzajowa** (wskaźnik Shannona) zespołów nicieni w stosunku do wariantów bez dżdżownic.

**Aktywność *A. caliginosa* wpłynęła również na rozmieszczenie pionowe nicieni** przyczyniając się do ich przemieszczania w głąb profilu glebowego. Wzmoczona penetracja i kolonizacja głębszych warstw gleby przez nicienie były bardziej widoczne w wariacie z mieszanką traw niż w wariacie z monokulturą kostrzewy.

**W glebie obu układów roślinnych dominowały** nicienie należące do dwóch grup troficznych – **nicieni bakteriożernych i roślinożernych**. Obecność dżdżownic w sposób odmienny wpłynęła na relacje tych dwóch grup w mieszance traw i monokulturze kostrzewy.

**Po wprowadzeniu dżdżownic, w mieszance obserwowałam spadek udziału nicieni bakteriożernych i wzrost udziału nicieni roślinożernych, natomiast w monokulturze stwierdzono odwrotną tendencję.** Zmniejszenie udziału bakteriożernych nicieni w mieszance w obecności dżdżownic dobrze koreluje z istotną redukcją zagęszczenia bakterii, którą tam stwierdzono w porównaniu z wariantem bez dżdżownic. Podobny spadek biomasy mikroorganizmów w obecności dżdżownic glebowych wcześniej obserwowali Scheu i in. (2002). O zmniejszeniu się roli bakterii i zwiększeniu udziału grzybów w procesie rozkładu, a tym samym o obniżeniu jego intensywności, świadczy niższa wartość stosunku zagęszczeń nicieni bakteriożernych do grzybożernych  $B/(B+G)$  w mieszance traw w obecności dżdżownic niż bez nich. Na spadek zagęszczenia bakterii wskazuje również skład rodzajów grupy nicieni bakteriożernych. Wyraźną dominację w tej grupie wykazują nicienie z rodzaju *Acrobeloides*, które jak już wcześniej stwierdziłam mają mniejsze zapotrzebowania pokarmowe.

**Obecność i aktywność dżdżownic** w istotnym stopniu **wpłynęła** na podziemną produkcję roślinną w stosunku do kontroli (bez dżdżownic). W obu układach roślinnych obserwowałam bardziej intensywny wzrost biomasy korzeni w obecności dżdżownic. Jednakże, pomimo, iż masa korzeni w obu przypadkach była o 30% większa niż w układach kontrolnych to **wzrost liczebności populacji nicieni roślinożernych zaobserwowano jedynie w mieszance**. W podobny sposób zareagowały nicienie roślinożerne na intensywny wzrost korzeni różnych gatunków traw w obecności detrytofagicznego gatunku dżdżownicy *Lumbricus rubellus* (Ilieva-Makulec i Makulec 2002). Może to wskazywać, że **dla roślinożerców ma znaczenie nie tylko ilość pokarmu, lecz przede wszystkim jego jakość** – w mieszance w omawianym tu eksperymencie bazę pokarmową potencjalnie stanowią systemy korzeniowe aż 8 gatunków roślin.

Większy udział nicieni roślinożernych w strukturze zespołów nicieni w mieszance traw w obecności dżdżownic znajduje odzwierciedlenie w niższych wartościach stosunku zagęszczeń nicieni wolnożyjących (bakteriożernych i grzybożernych) do roślinożerców  $(B+G)/R$  w porównaniu z wariantem kontrolnym. Wartości tego wskaźnika świadczą o tym, że **w mieszance, oprócz detrytusowego łańcucha pokarmowego, zaznacza wyraźnie swoje funkcjonowanie łańcuch pokarmowy typu spasanía**. Oznacza to, że obecność dżdżownic w mieszance zwiększa presję, którą wywierają roślinożerne nicienie (wyraźna dominacja endopasożytów należących do *Paratylenchus*) na rośliny. Natomiast wyraźnie **wyższy** (prawie dwukrotnie w porównaniu do mieszanki) **stosunek  $(B+G)/R$  w monokulturze w obecności dżdżownic wskazuje na przewagę szlaku detrytusowego w glebie**.

Wyraźny wzrost liczebności nicieni w mieszance traw w obecności dżdżownic *A. caliginosa* jest w zgodzie z wynikami moich wcześniejszych badań nad wpływem na nicienie dżdżownicy *L. rubellus* (Ilieva-Makulec i Makulec 2002). **Wyniki obu tych badań nieco odbiegają od ogólnie przyjętej tezy o ujemnej zależności pomiędzy aktywnością dżdżownic a zagęszczeniem nicieni glebowych.** Moje badania wskazują na bardziej złożone zależności pomiędzy tymi dwiema grupami zwierząt. **Oprócz bezpośredniego wpływu dżdżownic na nicienie (np. żerowanie i trawienie) na pewno w relacjach duże znaczenie ma wpływ pośredni dżdżownic np. na strukturę gleby czy wpływ na zagęszczenie i strukturę zespołów mikroorganizmów glebowych lub wzrost roślin.**

Uzyskane wyniki:

- stanowią istotni wkład do poznania złożonych wielokierunkowych relacji w układzie nicienie-rośliny-dżdżownice;
- wskazują na wyraźny pośredni wpływ gatunków inżynierskich dżdżownic na zagęszczenie i strukturę zespołów nicieni;
- wskazują, że obecność dżdżownic modyfikuje wpływ roślinności na nicienie. Ten sam gatunek dżdżownicy w różnych układach roślinnych (jednogatunkowych lub wielogatunkowych) prowadzi do różnych zmian w zespołach nicieni (np. w zagęszczeniu, strukturze troficznej, czy w pionowym rozmieszczeniu) tym samym wpływając na sposób ich funkcjonowania.

## B.2. Nicienie jako wskaźnik zdrowotności roślin (praca 6)

W relacjach nicienie-rośliny bezpośredni udział biorą nicienie roślinożerne (pasożyty roślin) i odpowiednie gatunki roślin żywicielskich. **Liczebność i skład gatunkowy pasożytów roślin dostarcza nam informacji nie tylko o żywych zasobach systemów korzeniowych (praca 2, 4–5, 7) lecz również o stopniu zdrowotności roślin (praca 6).** Nicieni roślinożerne mogą wpływać dwojako – stymulować (przy niskich zagęszczeniach) lub redukować produkcję pierwotną, gdy zagęszczenie nawet pojedynczego gatunku przekroczy próg szkodliwości.

Oprócz dużych strat w plonach spowodowanych bezpośrednim żerowaniem na korzeniach, bardzo istotna jest **patogeniczność wynikająca ze zdolności niektórych nicieni roślinożernych do przenoszenia wirusów.** Takim gatunkiem jest *Paratrichodorus teres*, który należy do rodziny Trichodoridae czyli do tzw. krępaków (**praca 6**). Może być on wektorem dwóch tobrawirusów: wirusa nekrotycznej kędzierzawki tytoniu (TRV) oraz wirusa wczesnego brunatnienia grochu (PEBV) wywołujących choroby roślin. Spektrum roślin, które mogą porażać te wirusy jest bardzo szerokie.

Prowadzone przeze mnie, w latach 2009–2013 w ramach dużego projektu realizowanego przez Muzeum i Instytut Zoologii PAN, **badania potwierdziły występowanie *P. teres* w Polsce. Stwierdziłam jego obecność w ryzosferze 13 gatunków roślin, z których aż 10 po raz pierwszy odnotowane zostały jako rośliny żywicielskie dla *P. teres*.** Były to jabłoń, krwawnik pospolity, groszek, koniczyna biała, klon, brzoza, pokrzywa zwyczajna, bylica, wiesiołek i cykoria. **Moje wyniki potwierdziły polifagiczność *P. teres*.**

**Do oznaczenia *P. teres* oprócz podejścia tradycyjnego (analizy morfometrycznej) zastosowano też podejście molekularne (z wykorzystaniem sekwencjonowania 18S i 28S rDNA).** Wykazałam, że **połączenie tych dwóch metod daje większą gwarancję prawidłowej identyfikacji *P. teres* z uwagi na stwierdzoną w pracy bardzo dużą zmienność cech morfologicznych, morfometrycznych oraz dużą zmienność genetyczną**

zwłaszcza **między populacjami tego gatunku pochodzącymi z różnych rejonów geograficznych.**

Uzyskane w tej pracy wyniki:

- potwierdzają występowania gatunku *P. teres* w Polsce, tym samym wskazując na potencjalne zagrożenie wynikające z jego patogeniczności, co nadaje tej pracy również wymiar praktyczny;
- poszerzają listę gatunków roślin żywicielskich dla *P. teres*;
- wskazują, że w przypadku gatunków o znaczeniu gospodarczym i szerokim zakresie występowania, tak jak np. *P. teres*, bardzo ważna jest prawidłowa identyfikacja. Taką identyfikację zapewnia łączne stosowanie podejścia tradycyjnego i podjęcia wykorzystującego analizę DNA. Jest to pierwsza praca, w której zbadano morfologię, morfometrię i genetykę (analiza sekwencji zarówno 18SrDNA jak i 28SrDNA) osobników *P. teres* pochodzących z tych samych populacji;
- stanowią podstawę do dalszych rozważań dotyczących taksonomii, filogenezy i patogeniczności gatunków rodzaju *Paratrichodorus*.

## C. Nicienie glebowe jako wskaźniki stopnia degradacja gleby (prace 5 i 7)

### C.1. Struktura zespołów nicieni a stan gleby uprawnej: przykład gospodarstwa ekologicznego i konwencjonalnego (praca 5)

Zmiany zachodzące w strukturze zespołów nicieni mogą być wykorzystywane do oceny stopnia zakłóceń wywoływanych regularnie przez człowieka w glebach użytkowanych rolniczo. **Celem** moich 3 letnich badań **była analiza struktury zespołów nicieni w glebach pod uprawą pszenicy ozimej w ekologicznym i konwencjonalnym systemie gospodarowania.** Uprawa ekologiczna różni się od konwencjonalnej m.in. stosowaniem obornika, a ponadto poprawnym płodozmiannem, ręcznym usuwaniem chwastów oraz niestosowaniem głębokiej orki, pestycydów ani stymulatorów wzrostu. Dyskusja naukowców nad tym, która z tych metod upraw w mniejszym stopniu zaburza aktywność biologiczną gleby (w tym nicieni) wciąż trwa.

Wyniki dotychczasowych badań zazwyczaj wskazywały na większe zagęszczenia nicieni w glebie upraw ekologicznych w porównaniu do konwencjonalnych (Foisner 1992, Yeates i in. 1997, Neher 1999). Natomiast uzyskane przeze mnie **wyniki wskazują na istotnie wyższe zagęszczenie nicieni w uprawie ekologicznej niż konwencjonalnej tylko w glebie lekkiej (piaszczystej) i to jedynie na jesieni. Większe bogactwo rodzajów oraz większa różnorodność zespołów nicieni** (większe wartości wskaźnika Shannona) **w uprawie ekologicznej w porównaniu do konwencjonalnej odnotowałam natomiast jedynie w glebie ciężkiej (gliniastej).** Tym samym wykazałam, że **rodzaj gleby ma silniejszy wpływ na wyżej wymienione parametry zespołów nicieni niż metoda uprawy.**

Nicienie z różnych grup troficznych zareagowały w różny sposób na metodę uprawy. Tak jak Briar i in. (2007) nie stwierdziłam istotnego wpływu sposobu uprawy na zagęszczenie nicieni grzybożernych. **Więcej nicieni bakteriożernych w uprawie ekologicznej** (z wysokim udziałem *Rhabditis* – prawie 80%) zanotowałam **w glebie lekkiej**, podczas gdy **w glebie ciężkiej** obserwowałam odwrotną tendencję – **więcej nicieni bakteriożernych występowało w uprawie konwencjonalnej.** W glebie ciężkiej w obu typach uprawy wśród dominantów oprócz nicieni bakteriożernych i grzybożernych znalazły się również nicienie roślinożerne, a w przypadku uprawy ekologicznej nawet nicieni wszystkożerne. Ponadto **w uprawie ekologicznej w ostatnim roku badań stwierdziłam większe zagęszczenia nicieni**

**drapieżnych i wszystkożernych** (udział rodzajów *Mesodorylaimus* i *Eudorylamus* sięgał powyżej 20%) niż w uprawie konwencjonalnej.

**Zagęszczenie oraz zróżnicowanie na poziomie rodzajów w grupie nicieni roślinożernych było znacznie wyższe w uprawie ekologicznej** niż w konwencjonalnej. Tym samym moje wyniki różnią się od wyników Briara i in. (2007), którzy obserwowali znacznie więcej pasożytów roślin w uprawach konwencjonalnych niż w ekologicznych. Wzrost zagęszczenia nicieni roślinożernych w moich badaniach był skorelowany z większym zróżnicowaniem zbiorowisk chwastów (wielokrotnie większa liczba gatunków chwastów, ich zagęszczenie i biomasa) w uprawie ekologicznej niż w konwencjonalnej.

W obu typach uprawy wartości stosunku  $(B+G)/R$  przeważnie wskazują na **większy udział nicieni w łańcuchu detrytusowym** (jako konsumentów bakterii i grzybów) niż w łańcuchu spasania. Ponadto wysokie wartości stosunku  $B/(B+G)$  (powyżej 0,7) odzwierciedlają większy udział nicieni bakteriożernych niż grzybożernych w zespołach. Ponieważ bakterie są głównym źródłem pożywienia dla nicieni bakteriożernych, można wnioskować, że badane gleby charakteryzują się dużym zagęszczeniem bakterii, które dominują w procesach rozkładu materii organicznej.

**Bardzo czuły na wzrost udziału nicieni roślinożernych w uprawie ekologicznej okazał się wskaźnik  $(B + F)/P$ .** Obniżenie wartości tego wskaźnika **w uprawie ekologicznej wskazuje na zwiększenie udziału nicieni w łańcuchu spasania i na większą presję roślinożerców.**

Moje badania potwierdziły przydatność wskaźników *Enrichment Index* i *Structure Index* do scharakteryzowania sieci troficznych i oceny kondycji gleby w obu typach uprawy. Wysokie wartości *EI* (np. powyżej 70% w glebie lekkiej) i niskie wartości *SI* (w większości przypadków poniżej 30%) wskazują, że glebowe sieci troficzne w obu typach uprawy są narażone na duże zakłócenie tzn. są one bogate w materię organiczną o dużej zawartości N, o niskim stosunku C:N, zdominowane są przez bakterie i charakteryzują się niskim lub średnim stopniem złożoności, czyli słabo rozbudowaną siecią powiązań pokarmowych.

**O niskim stopniu dojrzałości zespołów nicieni i ich pozostawaniu na początkowym etapie sukcesji w obu typach uprawy świadczą niskie (poniżej 2) wartości *Maturity Index*.** Wartości tego wskaźnika odzwierciedlają znaczną przewagę nicieni bakteriożernych i grzybożernych oraz niskie zagęszczenia nicieni wszystkożernych i drapieżnych.

Tak więc moje wyniki pokazały, że wielowymiarowe i regularne **zaburzenia** (dopływ nutrientów niezależnie od ich formy lub różne zabiegi agrotechniczne) **w glebach użytkowanych rolniczo stanowią przeszkodą dla tworzenia bardziej ukształtowanych zespołów z większą liczbą powiązań troficznych.** Warto jednak zaznaczyć, że przeprowadzona przeze mnie **analiza fauny nicieni wskazała na wyraźną tendencję do zwiększenia różnorodności, dojrzałości oraz złożoności zespołów nicieni** w trzecim roku badań czyli po prawie 20 latach prowadzenia **uprawy ekologicznej na glebie ciężkiej.** Taki stan rzeczy pozwolił na obniżenie stopnia zakłócenia w glebie z silnego na słabe. W obliczu tego faktu pojawia się pytanie, czy i na jak długo te pozytywne efekty uprawy ekologicznej mogą być utrzymane. Wybór odpowiednich praktyk mających na celu ochronę biologicznej aktywności gleby wydaje się być nadal wyzwaniem dla rolnictwa ekologicznego.

Uzyskane wyniki:

- potwierdzają specyfikę ekosystemów rolniczych. Dopływ nutrientów i agrotechnika to regularne zaburzenia, które nie pozwalają nicieniom przejść na dalszy etap sukcesji i stworzyć bardziej ukształtowane, dojrzałe i stabilne zespoły;

- wskazują, że na podstawie analizy fauny nicieni można ocenić poziom zasobności w nutrieny, presję nicieni pasożytów roślin oraz poziom zakłóceń w glebie w ramach różnych praktyk rolniczych;
- wskazują na możliwości wykorzystania nicieni jako miary aktywności biologicznej gleby w badaniach nad porównaniem różnych metod i praktyk rolniczych;
- mogą także znaleźć swoje zastosowanie w praktyce, przy wyborze odpowiedniej metody uprawy. Wyniki wskazują na różne efekty stosowania ekologicznej metody uprawy na różnych typach gleby.

## C.2. Struktura zespołów nicieni w glebach na obszarze noclegowisk ptaków krukowatych w mieście (praca 7).

Masowe bytowanie ptaków krukowatych na obszarach miejskich to zjawisko coraz częstsze zwłaszcza w okresie zimowym. **Na obszarach noclegowisk ptasich zachodzą duże zmiany związane przede wszystkim z zanieczyszczeniem szaty roślinnej i gleby odchodami ptasimi.** Mimo, że noclegowiska funkcjonują okresowo, to zwiększona depozycja odchodów przyczynia się do wzbogacenia gleby w składniki pokarmowe oraz prowadzi do wyraźnych zmian we właściwościach fizycznych i chemicznych gleby (Ligęza i Misztal 1999, Ligęza i in. 2000) oraz silnych przekształceń zbiorowisk roślinnych (Maksym i Sławska 2011). Jak dotąd fauna glebowa na obszarach dużych noclegowisk ptasich w mieście była przedmiotem jedynie kilku badań ograniczonych wyłącznie do skoczogonków i roztoczy (Maksym i Sławska 2011, Ilieva-Makulec i in. 2015). **Jest to pierwsza w literaturze ekologicznej publikacja na temat reakcji nicieni na dopływ nutrientów do gleby w noclegowiskach ptaków w mieście.**

Badane noclegowisko (używane przez ptaki w okresie jesienno-zimowym od ponad 5 lat) znajduje się w Warszawie (ok. 8 km od centrum miasta, 52°17'49"N–21°24'0"E). Moim celem było prześledzić zmiany, które zachodzą w strukturze zespołów nicieni w okresie od wiosny do jesieni (w sezonie wegetacyjnym) czyli gdy ptaków na noclegowisku nie ma.

**Stwierdziłam, że fauna glebowa nicieni z terenu noclegowiska ptaków krukowatych uległa wyraźnemu przekształceniu.** Na terenie noclegowiska i na powierzchniach kontrolnych (poza zasięgiem oddziaływania ptaków) ukształtowały się odrębne zespoły.

**Zagęszczenie nicieni w glebie w obrębie noclegowiska było istotnie większe niż poza noclegowiskiem** we wszystkich terminach (wiosną, latem i na jesieni).

**Zróżnicowanie taksonomiczne (zarówno bogactwo rodzajów jak i wskaźnik różnorodności) w glebie pochodzącej z obszaru noclegowiska było mniejsze w porównaniu do gleby kontrolnej.** Ponadto niskie wartości wskaźnika podobieństwa wskazują na wyraźne różnice w składzie na poziomie rodzajów między siedliskami.

**Dopływ nutrientów powodował również spadek zróżnicowania troficznego zespołu nicieni.** Gleba w obrębie noclegowiska była zasiedlona głównie przez nicienie bakteriożerne i grzybożerne, przy czym zagęszczenia nicieni bakteriożernej na noclegowisku były większe od zagęszczeń w kontroli. Świadczy to o występowaniu licznych populacji bakterii, dla których ptasie odchody stanowią źródło łatwo przyswajalnych pierwiastków i związków organicznych.

**Na depozycję odchodów negatywnie zareagowały natomiast nicienie pozostałych grup troficznych.** Na terenie noclegowiska stwierdzono brak albo śladowy udział nicieni roślinożernej i wszystkożernej oraz całkowity brak drapieżców. Główną przyczyną niskich zagęszczeń roślinożernej nicieni w glebie z obszaru noclegowiska był brak bazy pokarmowej – powierzchnia pod drzewami była prawie całkowicie pozbawiona roślinności zielnej. Niski udział nicieni wszystkożernej lub brak drapieżnych natomiast należy



tłumaczyć większą wrażliwością tych nicieni na toksyczne działanie niektórych składników chemicznych zawartych w ptasich odchodach takich, jak kwasy tłuszczowe o niskiej masie cząsteczkowej, siarkowodór lub metale ciężkie, które trafiają do gleby i kumulują się w niej (Ligęza i in. 2000). Jest to w zgodzie z wynikami moich wcześniejszych badań (patrz Bongers i in. 2001 w pkt. 5), które wskazywały, że działanie metali ciężkich było najbardziej toksyczne właśnie dla nicieni drapieżnych, strategów typu *K*.

W glebie noclegowiska zanotowałam ostrzejszą strukturę dominacji rodzajów niż poza noclegowiskiem. Wyraźnie wzrósł udział bakteriożernych nicieni z rodzajów *Rhabditis*, *Panagrolaimus* i *Eucephalobus* oraz grzybożernych *Aphelenchus* i *Aphelenchoides*. Nicienie z rodzaju *Rhabditis* stanowiły nawet 80% zespołów na początku okresu badawczego. Duży udział (prawie 50%) nicieni tego rodzaju w tym środowisku również w późniejszych terminach (latem i na jesieni) wskazuje, że wysoki poziom zagęszczeń bakterii będących źródłem ich pokarmu utrzymuje się tam przez dłuższy czas. **Na wysoką żyzność gleby noclegowiska wskazują większe niż poza noclegowiskiem wartości wskaźnika wzbogacenia *Enrichment Index*.** O przewadze nicieni bakteriożernych nad grzybożernymi świadczą natomiast bardzo wysokie (powyżej 0.80) wartości stosunku  $B/(B+G)$ .

Wysoki udział nicieni bakteriożernych z rodzajów *Rhabditis* i *Panagrolaimus* (posiadające wartość  $c-p = 1$ ) oraz niewielki udział wszystkożernych i brak drapieżnych nicieni znajdują odzwierciedlenie w wartościach wskaźnika dojrzałości *MI*, które były niższe w glebie noclegowiska w porównaniu do gleby poza noclegowiskiem. Można zatem stwierdzić, że **niższe wartości *MI* wskazują na wyższy poziom zaburzenia (spowodowanego przenawożeniem lub/i skażeniem) w glebie noclegowiska niż poza nim.**

**pozytywna reakcja nicieni bakteriożernych z rodzajów *Rhabditis* i *Panagrolaimus* na dopływ substancji odżywczych** (już wcześniej stwierdzona w kolonii ptaków na Surtsey (praca 4), czy w glebie uprawy ekologicznej (praca 5) **potwierdza, iż nicienie tych dwóch rodzajów są dobrymi wskaźnikami występowania środowisk żyznych.**

Uzyskane wyniki:

- wskazują, że obecność (nawet okresowa) noclegowisk ptaków krukowatych w mieście przyczynia się do wyraźnych i trwałych przekształceń zespołów nicieni w glebie z terenu noclegowiska;
- wskazują, że zmiany zachodzące w zespołach nicieni odzwierciedlają zmiany we właściwościach gleby i szacie roślinnej na obszarze noclegowisk;
- wskazują, że dopływ nutrientów do gleby w noclegowiskach to zaburzenie, na które nicienie reagują większym zagęszczeniem lecz mniejszym zróżnicowaniem taksonomicznym i troficznym i ostrzejszą strukturą dominacji zespołów.

## Podsumowanie osiągnięć

Moje badania potwierdziły dużą wartość bioindykacyjną zespołów nicieni. Uzyskane przez mnie wyniki wskazują, że różnorodność i struktura troficzna zespołów nicieni determinowana (regulowana) jest przez dostępność składników pokarmowych oraz przez oddziaływania biotyczne. Dlatego zmiany w strukturze zespołów nicieni można wykorzystać jako wskaźnik zmian zachodzących w glebie. Wykazałam, że analiza liczebności, bogactwa taksonomicznego i struktury troficznej zespołów nicieni jest kluczowa dla charakterystyki danego stanowiska glebowego oraz dla oceny sposobu funkcjonowania i stanu ekologicznego gleby.

Wyniki moich badań mają przede wszystkim **walory poznawcze**:

- stanowią wkład do wiedzy na temat kształtowania się zespołów nicieni w środowiskach naturalnych i antropogenicznych;
- dostarczają nowe oryginalne przykłady możliwości wykorzystania wskaźnikowej roli nicieni;
- wnoszą istotny wkład w poznanie procesu kolonizacji łąd przez organizmy oraz przebiegu procesów sukcesji pierwotnej;
- stanowią wkład do poznania roli i sukcesji zwierząt glebowych w trakcie dekompozycji materii organicznej
- rozszerzają wiedzę o wzajemnych relacjach między głównymi składowymi systemu glebowego

Wyniki mają również **walory praktyczne**. Mogą znaleźć swoje zastosowanie w praktyce w poszukiwaniu szybkich metod identyfikacji gatunków nicieni o znaczeniu gospodarczym lub w poszukiwaniu i opracowaniu optymalnych systemów uprawy lub zabiegów rolniczych.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

Moje zainteresowania i pracę z nicieniami glebowymi rozpoczęłam po zakończeniu studiów na kierunku biologia Uniwersytetu Sofijskiego. W Laboratorium Nematologii tego uniwersytetu poznałam metody pobierania prób w terenie, metody ekstrakcji nicieni z gleby, ich taksonomię oraz zdobyłam pierwsze umiejętności ich identyfikacji. Do Polski przyjechałam dzięki stypendium doktoranckiemu bułgarskiego Ministerstwa Nauki. W Instytucie Ekologii PAN miałam szczęście uczyć się i pracować ze znanymi w Polsce i na świecie specjalistami od ekologii nicieni glebowych, a mianowicie z prof. L. Wasilewską, dr J. Kozłowską i dr E. Dmowską.

Moja praca doktorska dotyczyła strategii życiowych nicieni. W trakcie jej przygotowania zdobywałam doświadczenie również w zakresie prowadzenia badań eksperymentalnych. W warunkach eksperymentów laboratoryjnych **zbadalam i porównalam strategie życiowe dwóch gatunków nicieni bakteriożernych *Acrobeloides nanus* i *Dolichorhabditis dolichura***. Badania prowadziłam na poziomie osobniczym i populacyjnym. Stwierdzone przeze mnie różnice zarówno w parametrach cyklu życiowego, jak i w parametrach rozwoju populacji badanych gatunków, wskazują na to, że *D. dolichura* wykazuje bardziej wyraźne cechy *r*-strategów niż *A. nanus*. Parametry cyklu życiowego *D. dolichura* takie jak: szybki wzrost i rozwój, wczesna reprodukcja, krótki okres rozrodczy, duża płodność oraz krótki czas trwania jednego pokolenia odpowiadają warunkom, jakie stwarza środowisko saprobiotyczne (bogate w szybko rozkładającą się materię organiczną o wysokiej aktywności bakterii). Strategia reprodukcyjna *D. dolichura* jest skierowana ku wykorzystywaniu krótkotrwałych, lecz dobrych warunków tego środowiska. W porównaniu do *D. dolichura*, *A. nanus* charakteryzuje się późniejszym osiągnięciem dojrzałości płciowej, dłuższym okresem rozrodczym, mniejszą płodnością oraz dłuższym czasem trwania jednego pokolenia. Tak więc jego strategia reprodukcyjna w mniejszym stopniu zależy od zasobów pokarmowych środowiska i może on występować tam gdzie zagęszczenia bakterii są niskie. Wykazałam, że różnice w parametrach cyklu życiowego *A. nanus* i *D. dolichura* wpływają na rozwój ich populacji oraz na ich wzajemne oddziaływanie w zmieniających się warunkach środowiskowych. Moje wyniki opublikowałam w trzech pracach (Ilieva-Makulec 2001a, b, c). Wyniki tych prac znalazły potwierdzenie w moich późniejszych badaniach (m.in. prace 3–5 i 7 z osiągnięcia naukowego).

Ważny etap w mojej karierze naukowej to 6 miesięczny staż w Laboratorium Nematologii, Uniwersytetu Rolniczego w Wageningen dzięki stypendium, które przyznało mi International Agricultural Centre, Netherlands Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries. Pobyt w tym przewodnim ośrodku badań nematologicznych w Europie, pomógł mi zwiększyć umiejętności w prowadzeniu badań laboratoryjnych i zgłębić wiedzę na temat taksonomii nicieni. We współpracy z dr Tomem Bongerssem (wybitny specjalista w dziedzinie nematologii i twórca wskaźnika dojrzałości *MI*) zaplanowałam i przeprowadziłam eksperyment, w którym porównałam wrażliwość aż 70 taksonów nicieni glebowych na działanie toksyczne  $\text{CuSO}_4$  (w wodzie i w glebie) w celu oszacowania możliwości **wykorzystania zmian zachodzących w strukturze zespołów nicieni** (nie pojedynczych gatunków) **jako praktyczne narzędzie do bioindykacji skażeń metalami ciężkimi** (Bongers i in. 2001). Wykazaliśmy w tej pracy, że **reakcja nicieni na działanie metali ciężkich zależy od grupy troficznej, do której dany takson należy oraz od jego strategii życiowej**. Stwierdzono, że nicienie drapieżne (o wartości c-p = 4 lub 5) są szczególnie wrażliwe na działanie metali ciężkich. Wyniki tej pracy znalazły potwierdzenie w **pracy 7** mojego osiągnięcia.

**Główna problematyka moich badań** naukowych po doktoracie dotyczy **różnorodności i struktury zespołów nicieni glebowych w ekosystemach naturalnych i przekształconych przez człowieka**. Między innymi zebrane przeze mnie dane o dynamice **zagęszczenia** rodzajów nicieni w **glebie użytkowanych łąk torfowych** w północno-wschodniej Polsce znalazły się w monografii dotyczącej zespołów nicieni w ekosystemach łąkowych z rejonów północnych strefy umiarkowanej, w której jestem autorka rozdziału (Ilieva-Makulec 1998). Z kolei **badania nad pionowym rozmieszczeniem nicieni** (niewiele jest tego typu badań) w **glebie torfowej** wykazały, że liczebność i bogactwo rodzajów nicieni zmniejszały się wraz z głębokością (Ilieva-Makulec 2000). Jednakże biorąc pod uwagę duży udział nicieni (nawet do 30%) w warstwie poniżej 20 cm wskazałam na znaczenie pilotażowych badań w celu poznania pionowego rozmieszczenia nicieni w danym biotopie. **Wykazałam również wyraźny wpływ przestrzennej niejednorodności środowiska** (na kępach turzycowych w skali kilkudziesięciu cm) występującej na naturalnej łące torfowej **na kształtowanie się zespołów nicieni** (Ilieva-Makulec 2004)

**Badania nad różnorodnością i strukturą zespołów nicieni glebowych w agroekosystemach** zajmują sporą część mojego dorobku naukowego (patrz zał. 3). Ich celem było zbadanie reakcji nicieni na stosowanie różnych środków ochrony roślin, nawozów mineralnych (m.in. Dmowska i Ilieva 1995), czy różnych metod uprawy (ekologiczna i konwencjonalna (**praca 5** w osiągnięciu). W tej chwili pracuję nad analizą wyników badań dotyczących wpływu 50-letniej monokultury pszenicy ozimej na zespoły nicieni.

Do moich osiągnięć naukowych chciałabym dodać wyniki badań nad **zależnościami w glebowej sieci troficznej**. Część z nich dotyczy **zakresu oraz kierunku wpływu dżdżownic na faunę glebową w tym na nicienie** (Makulec i in. 2001, Ilieva-Makulec i Makulec 2002). Warto zaznaczyć, że badania prowadziłam w warunkach jak najbardziej zbliżonych do naturalnych. Dzięki temu moje wyniki mają duży wkład w poznanie rzeczywistych interakcji pomiędzy tymi dwoma grupami fauny glebowej. W pracy (Ilieva-Makulec i Makulec 2002) przedstawiłam **pierwsze wyniki dotyczące wpływu różnych zagęszczeń detrytofagicznego gatunku dżdżownicy *Lumbricus rubellus* na strukturę zespołu nicieni**. Wykazałam, że aktywność *L. rubellus* wpływa przede wszystkim na relacje między grupami troficznymi nicieni – negatywnie na zagęszczenie nicieni bakteriożernych, lecz pozytywnie na zagęszczenie nicieni roślinożernych.

Za istotne w swoim dorobku naukowym uważam wyniki dotyczące **przebiegu procesów rozkładu ściółki w zależności od jej jakości i różnorodności** przedstawione w pracy (Szanser i in. 2011), której jestem współautorką. Praca ta wyraźnie pokazuje, że **istotni**

**wpływ jakości ściółki (mierzonej zawartością N) na tempo jej zasiedlenia oraz strukturę zespołów fauny glebowej (praca 1 z osiągnięcia) znajduje odzwierciedlenie w przebiegu procesów rozkładu ściółki**, a w konsekwencje wpływa na kumulację węgla i azotu w glebie. Stwierdziliśmy wyraźną zależność tempa rozkładu ściółki oraz zawartości kwasów huminowych od jakości ściółki (od zawartości N w niej). Najwolniej rozkładana była ściółka zawierająca wyłącznie kostrzewę czerwoną (o najwyższym stosunku C:N). Procesy glebowe w podłożu spod ściółek zachodzą bardzo powoli, ale wykazują wyraźną zależność od różnorodności gatunkowej ściółki. Większy wzrost zawartości węgla organicznego i azotu stwierdziliśmy w podłożu spod ściółki składającej się z 3 lub 12 gatunków roślin w porównaniu do ściółki jednogatunkowej, a największe nagromadzenie kwasów fulwowych pod ściółką najbardziej zróżnicowaną.

Za ważne osiągnięcie uważam wyniki uzyskane przeze mnie jako wykonawca w projekcie „*Opracowanie innowacyjnych metod szybkiej identyfikacji nicieni powodujących straty w gospodarce*” współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka WND-POIG.01.03.01-00-133/09. Mój udział dotyczył **występowania w Polsce gatunków nicieni pasożytów roślin należących do rodziny Trichodoridae**. Część z nich tak jak *P. teres* (praca 6 w osiągnięciu) to wektory wirusów powodujących choroby roślinne. **Wykonałam klucze (Ilieva-Makulec i Winiszewska 2015 patrz zał. 3) do identyfikacji wszystkich 10 gatunków występujących w Polsce. Część wyników projektu została opatentowana.** Jestem współtwórcą trzech udzielonych do tej pory patentów (patrz zał. 3).

Poza tym głównym nurtem moich prac, jest współautorstwo trzech prac dotyczących **metabolicznej teorii ekologii** (Hoste-Danyłow i in. 2012, 2013, Ulrich i in. 2015). Do przetestowania założeń tej teorii w pracach wykorzystaliśmy wybrane taksony zwierząt glebowych (w tym nicieni) występujące w otulinie Kampinoskiego Parku Narodowego. Wyniki pokazują jak **zależność między masą ciała osobników a tempem metabolizmu wpływa na rozkład liczebności gatunków bezkręgowców w ekosystemie leśnym**.

Mój udział w programie Europejskiej Fundacji Nauki (2008-2013) CLIMMANI (*Climatic change – manipulation experiments in terrestrial ecosystems*) oraz w jego kontynuacji jako akcja COST Komisji Europejskiej (EU COST Action - ES1308, 2013-2018) dał mi możliwość nawiązania współpracy z naukowcami z różnych krajów Europy i rozpoczęcia **badania nad wpływem zmian klimatycznych na faunę glebową**. Współpraca z Uniwersytetem w Antwerpii zaowocowała pracą na temat **wpływu krótkotrwałych lecz ekstremalnych zjawisk takich, jak susza czy ocieplenie na strukturę zespołów nicieni** (Ilieva-Makulec i de Boeck 2013). Od kilku lat w ramach memorandum o współpracy z Uniwersytetem Rolniczym Islandii biorę udział w projekcie *ForHot*. Wraz z naukowcami z całej Europy badamy **wpływ geotermalnego ocieplenia na procesy i organizmy glebowe** (Sigurdsson i in. 2016, Holmstrup i in. 2018). Jako jedyna w zespole zajmuję się nicieniami glebowymi. Wyniki dotyczące reakcji nicieni na wzrost temperatury gleby są obecnie w trakcie opracowania. Problematyka badań, które realizuję na Islandii zajmuje centralne miejsce w moich przyszłych planach naukowo-badawczych.

## 6. Informacje bibliometryczne

Indeks Hirscha** (wg Web of Science)	Impact Factor publikacji* (wg JCR)		Liczba punktów MNiSW*	
	osiągnięcie naukowe	pozostałe prace	osiągnięcie naukowe	pozostałe prace
H = 7	4,586	18,211	120	405
	$\Sigma$ 22,797		$\Sigma$ 525	

\* dla roku wydania publikacji.

\*\* w jednej pracy tylko pod nazwiskiem Ilieva.

### Liczba cytowań publikacji wg Web of Science (w nawiasie bez autocytaowań), Scopus oraz Google Scholar

	WoS (core collection)	WoS (all databases)	Scopus	Google Scholar
Osiągnięcie naukowe	38	41	44	66
Pozostałe prace	124	166	144	232
<b>Razem</b>	<b>162 (153)</b>	<b>207 (196)</b>	<b>188</b>	<b>298</b>

### Piśmiennictwo

- Beare M.H., Parmelee R.W., Hendrix P.F., Cheng W., Coleman D.C., Crossley Jr D.A. 1992, Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems, *Ecol. Monogr.* 62, 569–591.
- Bongers T. 1990, The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition, *Oecologia* 83, 14–19.
- Bongers, T., 1999, The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling, *Plant and Soil*, 212, 13–22.
- Bongers T., Ferris H. 1999, Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring, *TREE*, 14, 224–228.
- Bongers T., **Ilieva-Makulec K.**, Ekschmitt K. 2001, Acute sensitivity of nematode taxa to CuSO<sub>4</sub> and relationships with feeding type and life-history classification, ***Environ. Toxicol. Chem.* 20 (7) 1511–1516.**
- Briar S.S., Grewal P.S., Somasekhar N., Stinner D., Miller Sally A. 2007, Soil nematode community, organic matter, microbial biomass and nitrogen dynamics in field plots transitioning from conventional to organic management, *Appl. Soil Ecol.* 37, 256–266.
- Chen J., Ferris H. 1999, The effects of nematode grazing on nitrogen mineralization during fungal decomposition of organic matter, *Soil Biol. Biochem.* 31, 1265–1279
- de Deyn G.B., Raaijmakers C.E., van Ruijven J., Berendse F., van der Putten W.H. 2004, Plant species identity and diversity effects on different trophic levels of nematodes in the soil food web, *Oikos*, 106: 576–586.
- Dmowska E., **Ilieva K.** 1995, The effect of prolonged diverse mineral fertilization on nematodes inhabiting the rhizosphere of spring barley, ***Eur. J. Soil Biol.* 31, 189–198.**
- Ferris H., Bongers T. 2006, Nematode indicators of organic enrichment, *J. Nematol.* 38, 3–12.
- Ferris H., Matute M.M. 2003, Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web, *Appl. Soil Ecol.* 23, 93–110.
- Ferris H., T. Bongers, de Goede R.G.M. 2001, A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept, *Appl. Soil Ecol.* 18, 13–29.
- Foissner W. 1992, Comparative studies on the soil life in ecofarmed and conventionally farmed fields and grasslands of Austria, *Agric. Ecosyst. Environ.* 40, 207–218.
- Freckman D.W. 1988, Bacterivorous nematodes and organic-matter decomposition, *Agric. Ecosyst. Environ.* 24: 195–217

- Frederiksen H.B., Kraglund H-O., Ekelund F. 2001, Microfaunal primary succession on the volcanic island of Surtsey, Iceland. *Polar Res.* 20, 61–73.
- Fu S., Coleman D.C, Hendrix P.F., Crossley Jr D.A., 2000, Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no-till regimes, *Soil Biol. Biochem.* 32: 1731–1741.
- Gastine A., Scherer-Lorenzen M., Leadley P.W. 2003, No consistent effects of plant diversity on root biomass, soil biota and soil abiotic conditions in temperate grassland communities, *App. Soil Ecol.* 24, 101–111.
- Griffiths B.S., Ritz K., Wheatley R.E. 1994, Nematodes as indicators of enhanced microbiological activity in a Scottish organic farming system, *Soil Use Manage.* 10: 20–24.
- Hedin H. 1978, On the terrestrial microfauna of Surtsey during the summer of 1976 with special reference to the Ciliates, *Surtsey Research Progress Report* 8, 47–50.
- Holmstrup M., Ehlers B.K., Slotsbo S., **Ilieva-Makulec K.**, Sigurdsson B.D., Leblans N.I.W, Ellers J., Berg M.P. 2018, Functional diversity of Collembola is reduced in soils subjected to short-term, but not long-term, geothermal warming, ***Funct. Ecol.* 32: 1304–1316.**
- Hoste-Danyłow A., **Ilieva-Makulec K.**, Olejniczak I., Hajdamowicz I., Stańska M., Dawid Marczak D., Wytwer J., Faleńczyk-Koziróg K., Ulrich W. 2013, The shape of the intraspecific metabolic rate- body size relationship influences interspecific biomass and abundance distributions of soil animals within a forest ecosystem, ***Ann. Zool. Fennici*, 50: 289–302.**
- Hoste-Danyłow A., Ulrich W., **Ilieva-Makulec K.**, Olejniczak I., Hajdamowicz I., Stańska M., Uvarov A. 2012, Testing Metabolic Theory of Ecology on the local scale: a preliminary study, ***Ecological Questions*, 16: 69–75.**
- Ilieva-Makulec K. 1998**, Nematode genera of a cultivated peat meadow in Poland (In: Nematode communities of northern temperate grassland ecosystems, Eds. De Goede, Bongers), Focus-Verlag, Giessen, pp. 139–144.
- Ilieva-Makulec K. 2000**, Nematode fauna of a cultivated peat meadow in relation to soil depth. *Ann. Zool.* 50, 247–254.
- Ilieva-Makulec K. 2001a**, A comparative study of the life strategies of two bacterial-feeding nematodes under laboratory conditions I. Influence of culture conditions on selected life-history parameters of *Acrobeloides nanus* (de Man 1880) Anderson 1968 and *Dolichorhabditis dolichura* (Schneider 1866) Andrassy 1983, ***Pol. J. Ecol.* 49, 29–43.**
- Ilieva-Makulec K. 2001b**, A comparative study of the life strategies of two bacterial-feeding nematodes under laboratory conditions II. Influence of the initial food level on the population dynamics of *Acrobeloides nanus* (de Man 1880) Anderson 1968 and *Dolichorhabditis dolichura* (Schneider 1866) Andrassy 1983, ***Pol. J. Ecol.* 49, 123–135.**
- Ilieva-Makulec K. 2001c**, A comparative study of the life strategies of two bacterial-feeding nematodes under laboratory conditions III. Influence of the initial nematode density on the interactions of *Acrobeloides nanus* (de Man 1880) Anderson and *Dolichorhabditis dolichura* (Schneider 1866) Andrassy 1983 in mixed cultures. ***Pol. J. Ecol.* 49, 137–144.**
- Ilieva-Makulec K. 2004**, Nematode abundance, diversity and trophic structure in relation to spatial heterogeneity of a natural fen, ***Pol. J. Ecol.* 52, 359–362.**
- Ilieva-Makulec K.**, De Boeck H.J. 2013, Changes in soil nematode community structure following warming and drought manipulations in a grassland mesocosm experiment, ***Pol. J. Ecol.* 61, 157–163.**
- Ilieva-Makulec K.**, Kozacki D., Makulec G. 2015, The impact of roosting birds on the abundance of two groups of soil mesofauna, ***Studia Ecologiae et Bioethicae*, 13 (4) 117–133.**
- Ilieva-Makulec K.**, Makulec G. 2002, Effect of the earthworm *Lumbricus rubellus* on the nematode community in a peat meadow soil, ***Eur. J. Soil Biol.* 38, 59–62.**
- Ingham R.E., Trofymow J.A., Ingham E.R., Coleman D.C. 1985, Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth, *Ecol. Monogr.* 55: 119–140.
- King J.C., Harangozo S.A. 1998, Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes, *Ann. Glaciol.* 27: 571–575.
- Kotilainen T., Setälä H., Alatalo I., Vuorisalo T., Saloniemi I. 2004, Impact of chitinase-transformed silver birch on leaf decomposition and soil organisms, *Eur. J. Soil Biol.* 40: 155–161.
- Leblans N., Sigurdsson B.D., Roefs P., Thuys R., Magnússon B., Janssens I.A. 2014, Effects of seabird nitrogen input on biomass and carbon accumulation after 50 years of primary succession on a young volcanic island, Surtsey, *Biogeosciences*, 11, 6237–6250
- Ligęza S., Misztal M. 1999, Zmiany właściwości gleb na obszarze noclegowiska gawronów, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 467, 379–385.
- Ligęza S., Misztal M., Smal H. 2000, Zawartość wybranych form metali ciężkich w glebach na obszarach siedlisk ptaków, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 471, 1039–1044.
- Magnússon B., Magnússon S.H., Ólafsson E., Sigurdsson B.D. 2014. Plant colonization, succession and ecosystem development on Surtsey with reference to neighbour islands, *Biogeosciences*, 11, 5521–5537.

- Maksym T., Sławska M. 2011, Wpływ ptaków krukowatych na roślinność i faunę glebową rezerwatu Las Bielański, *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 2 (27) 126–135.
- Makulec G., **Ilieva-Makulec K.**, Olejniczak I. 2001, Wpływ *Lumbricus rubellus* Hoffm. (Lumbricidae) na mikrofaunę i mezofaunę w glebach łąk torfowych, *Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie* 375 (75) 107–116.
- Marteinsson V., Klonowski A., Reynisson E., Vannier P., Sigurdsson B.D., Ólafsson M. 2015, Microbial colonisation in diverse surface soil types in Surtsey and diversity analysis of its subsurface microbiota, *Biogeosciences*, 12, 1191–1203
- Neher D.A. 1999, Nematode communities in organically and conventionally managed agricultural soils. *J. Nematol.* 31, 142–154
- Pflug A., Wolters V. 2001, Influence of drought and litter age on Collembola communities, *Eur. J. Soil Biol.* 37: 305–308.
- Santos P.F., Philips J., Whitford W.G. 1981, The role of mites and nematodes in early stages of buried litter decomposition in a desert, *Ecology*, 62, 664–669.
- Scheu S., Schlitt N., Tiunov A.V., Newington J.E., Jones T.H. 2002, Effects of the presence and community composition of earthworms on microbial community functioning, *Oecologia*, 133, 254–260.
- Sigurdsson B.D., Leblans N.I.W., Dauwe S., Elín Guðmundsdóttir E., Gundersen., Gunnarsdóttir G.E., Martin Holmstrup M., **Ilieva-Makulec K.**, Kätterer T., Marteinsdóttir B., Maljanen M., Oddsdóttir E.S., Ostonen I., Peñuelas J., Poeplau Ch., Richter A., Sigurdsson P., Van Bodegom P., Wallander H., Weedon J., Janssens I. 2016, Geothermal ecosystems as natural climate change experiments: The ForHot research site in Iceland as a case study, *Icel. Agric. Sci.* 29, 53–71.
- Sigurdsson B.D., Magnusson B. 2010, Effects of seagulls on ecosystem respiration, soil nitrogen and vegetation cover on a pristine volcanic island, Surtsey, Iceland, *Biogeosciences*, 7, 883–891.
- Smith V.C., Bradford M.A. 2003, Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time, *Appl. Soil Ecol.* 24, 197–203.
- Sohlenius B. 1972, Nematodes from Surtsey, Surtsey Research Progress Report, 6, 97–98.
- Sohlenius B. 1974, Nematodes from Surtsey II, Surtsey Research Progress Report, 7, 35.
- Sohlenius B., Bostrom S., Jonsson K.I. 2004, Occurrence of nematodes, tardigrades and rotifers on ice-free areas in East Antarctica, *Pedobiologia*, 48, 395–408.
- Swift M.J., Heal O.W., Anderson J.M. 1979, *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*, Blackwell Scientific Publications.
- Szanser M., **Ilieva-Makulec K.**, Kajak A., Górka E., Kusińska A., Kisiel M., Olejniczak I., Russel S., Siemiński D., Wojewoda D. 2011, Impact of litter species diversity on decomposition processes and communities of soil organisms, *Soil Biol. and Biochem.* 43: 9–19.
- Taylor B.R., Parkinson D., Parsons W.F.J. 1989, Nitrogen and lignin contents as predictors of litter decay rates: a microcosm test, *Ecology*, 70, 97–104.
- Ulrich W., Hoste-Danyłow A., Faleńczyk-Koziróg K., Hajdamowicz I., **Ilieva-Makulec K.**, Olejniczak I., Stańska M., Wytwer J. 2015, Temporal patterns of energy equivalence in temperate soil invertebrates. *Oecologia*, 179 (1) 271–280
- Viketoft M., Palmnorg C., Sohlenius B., Huss-Danell K., Bengtsson J. 2005, Plant species effects on soil nematode communities in experimental grasslands. *Appl. Soil Ecol.* 30, 90–103.
- Wang K.-H., McSorley R., Marshall A.J., Gallaher R.N. 2004, Nematode community changes associated with decomposition of *Crotalaria juncea* amendment in litterbags, *Appl. Soil Ecol.* 27, 31–45.
- Wall D.H., Virginia R.A. 1999, Controls on soil biodiversity: insight from extreme environment, *Appl. Soil Ecol.* 13, 137–150.
- Wasilewska L. 1970, Nematodes of the sand dunes in the Kampinos Forest. I. Species structure, *Ekologia Polska* 18, 429–443.
- Wasilewska L. 1997, Soil invertebrates as bioindicators, with special reference to soil inhabiting nematodes, *Russ. J. Nematol.* 5, 113–126.
- Yeates G. W., Bardgett R.D., Cook R., Hobbs P.J., Bowling P.J., Potter J.F. 1997, Faunal and microbial diversity in three Welsh grassland soils under conventional and organic management regimes, *J. Appl. Ecol.* 34, 453–470.
- Yeates G.W., Bongers T., De Goede R.G.M., Freckman D.W., Georgieva S.S. 1993, Feeding habits in soil nematode families and genera. An outline for soil ecologists, *J. Nematol.* 25, 315–331.

Krassimira Ilieva-Makulec

Warszawa, 9 kwietnia 2019