

Andrzej Klimek<sup>1</sup>✉, Stanisław Rolbiecki<sup>2</sup>, Roman Rolbiecki<sup>2</sup>, Dorota Hilszczańska<sup>3</sup>

## Wpływ nawożenia organicznego i ściółkowania na wzrost modrzewia europejskiego (*Larix decidua* L.) oraz aktywność biologiczną gleb

Effect of organic fertilization and mulching on the growth of European larch (*Larix decidua* L.) and biological activity of soils

**Abstract.** The purpose of the study was to determine the influence of organic fertilization and mulching with ectohumus on the growth of two-year old European larch seedlings (*Larix decidua* L.) and biological properties of soils in forest nursery under conditions of micro-sprinkler irrigation. The experiments were carried out on the rusty soil in forest nursery Białe Błota (Forest District Bydgoszcz). The use of organic fertilization with treated sewage sludge with the bark or sawdust additives, did not differ significantly the growth parameters of seedlings. Mulching with the cap-humus from the fresh coniferous forest significantly increased the height and the fresh mass of above-ground parts of two-year old European larch seedlings. The use of sewage sludge with the bark or sawdust additives did not effect negatively on the state of mycorrhizal structure in the juvenile phase of seedlings. The treatment of mulching influenced positively on the biological condition of nursery soils – the dimension of saprophage oribatid mites was characterized by the manifold increase.

**Key words:** sewage sludge, mycorrhizas, amelioration with soil animals, reclamation of forest nursery, Acari, Oribatida

### 1. Wstęp

W glebach szkółek leśnych, szczególnie tych intensywnie użytkowanych, stan edafonu może być zakłócony, co w konsekwencji obniża jakość produkowanych sadzonek. W szkólkach użytkowanych powyżej 20 lat często obserwuje się procesy degradacyjne, polegające na zmniejszeniu różnorodności biologicznej, m.in. grzybów ektomikoryzowych (Aleksandrowicz-Trzczińska 2004). W takich warunkach jakość produkcji szkółkarskiej na ogół jest niższa. Grzyby ektomikoryzowe to jednak tylko niewielka, choć bardzo ważna dla drzew, część edafonu. W glebach leśnych mikroorganizmy tworzą sieć zależności, często o charakterze troficznym, z mikro- i mezofauną glebową.

Polepszenie biologicznego stanu gleb może odbywać się poprzez wzbogacanie szkółki w materię organiczną, np. nawożenie jej kompostami bądź zaszczipianie edafonem – w tym zooedafonem – pochodzącym z gleby leśnej (np. przez ściółkowanie). Tego typu zabiegi, wchodzące w zakres szeroko rozumianych melioracji, określane są mianem zoomelioracji (Szujewski 1990). Powinny one pozytywnie oddziaływać na różnorodność biologiczną gleb oraz zapewniać większą efektywność mikoryzacji. Wzbogacanie gleb szkółek leśną ściółką wpływa na – dochodzący niekiedy nawet do 80% – wzrost mikoryzacji sadzonek (Szołtyk et Hilszczańska 2003). Ściółka leśna stanowi też warstwę ochronną dla gleby przed zmianami temperatury i wilgotności, ale przede wszystkim tworzy

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Zakład Kształtowania Krajobrazu, Katedra Zoologii, ul. ks. A. Kordeckiego 20, 85–225 Bydgoszcz, ✉ Fax +48 52 322 81 58, e-mail: klimek@utp.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Katedra Melioracji i Agrometeorologii

<sup>3</sup> Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu, Sękocin Las

środowisko życia mikroorganizmów i fauny glebowej (Sayer 2006; Leski et al. 2009).

Celem ściółkowania, poza dostarczeniem do gleby cennej materii organicznej, było wprowadzenie rewitalizującego ją edafonu leśnego. Na początku XXI wieku w wielu regionach naszego kraju pojawiła się szansa wykorzystania do tego zabiegu ektopróchnicy, którą można pozyskać z drzewostanów, które należy usunąć w związku z przeznaczeniem zajętych przez nie terenów pod inwestycje drogowe.

Celem podjętych badań było określenie wpływu ściółkowania ektopróchnicą leśną i nawożenia organicznego (kompost przygotowany na bazie higienizowanych osadów ściekowych z dodatkiem kory bądź trocin) na wybrane parametry wzrostu dwuletnich sadzonek modrzewia europejskiego (*Larix decidua* L.), stopień ich mikoryzacji oraz aktywność biologiczną gleby.

Najczęściej stosowanymi wskaźnikami aktywności biologicznej gleby są: aktywność enzymatyczna, oddechowa, biomasa drobnoustrojów, skład i liczebność drobnoustrojów (Olszowska et al. 2005; Brzezińska 2006). W niniejszych badaniach podjęto próbę oceny tej aktywności za pomocą metody bioindykacji. Jako organizmy wskaźnikowe zaproponowano bardzo liczne i różnorodne w glebach leśnych roztocze (Acari), a szczególnie saprofagiczne mechowce (Oribatida). Dotychczas roztocze te okazały się dobrymi indykatorami m.in. stopnia rozkładu i biologicznych właściwości próchnic leśnych (Seniczak 1979) oraz wielu oddziaływań antropogenicznych (Axelsson et al. 1973; Klimek 2000).

Z literatury wiadomo, że mechowce żerują na niektórych grzybach zaliczanych do ektomikoryzowych (Schneider et al. 2004, 2005) i mogą przyczynić się do ich rozprzestrzeniania (Setälä 1995). Zwierzęta glebowe, żerując na tych grzybach, stymulują ich wzrost (Hanlon et Anderson 1979, 1980), mogą też zaszczepiać glebę zarodnikami grzybów przez defekację i przeniesienie ich na nowe substraty (Lussenhop 1992). Introdukcja fauny glebowej, m. in. saprofagicznych roztoczy, do gleb szkółek, poza zwiększeniem różnorodności biologicznej (przez to równowagi podsystemu glebowego), powinna wpływać na jakość produkcji szkółkarskiej.

## 2. Materiał i metody

**Opis doświadczeń.** Badania prowadzono w szkółce leśnej Białe Błota (Nadleśnictwo Bydgoszcz) na glebie rdzawej właściwej. Przeprowadzono dwa doświadczenia: pierwsze – w latach 2005–2006, a drugie – w latach 2006–2007. Oba doświadczenia założono w dwuczynnikowym układzie zależnym split-plot, w czterech powtórzeniach. Pierwszym czynnikiem było nawożenie

organiczne zastosowane w dwóch wariantach: N<sub>1</sub> – kompost z higienizowanych osadów ściekowych (2/3) + kora (1/3), N<sub>2</sub> – kompost z higienizowanych osadów ściekowych (2/3) + trociny (1/3). Drugim czynnikiem było ściółkowanie stosowane również w dwóch wariantach: S – ściółkowanie próchnicą nadkładową z boru świeżego, C – bez ściółkowania (kontrola). Powierzchnia pojedynczego poletka wynosiła 2 m<sup>2</sup>. Łączna liczba poletek w każdym doświadczeniu wynosiła 16 (2 badane czynniki × 2 warianty w każdym z czynników × 4 replikacje). Nawóz organiczny wyprodukowano na bazie higienizowanych komunalnych osadów ściekowych (2/3) i kory sosnowej (1/3) bądź trocin (1/3). Nawóz ten charakteryzował się pH 7,82, zawartością s.m. 56% oraz zawartością substancji organicznej 49%. Zastosowano go w dawce 100 t×ha<sup>-1</sup> i wymieszano z wierzchnią warstwą gleby do głębokości 10 cm wczesną wiosną, przed wysiewem nasion modrzewia.

Wierzchnia warstwa gleby cechowała się pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 6,67 (6,39–6,91) i pH<sub>KCl</sub> 6,44 (6,21–6,63). Ściółkowanie przeprowadzono ektopróchnicą świeżo zebraną w drzewostanie na siedlisku boru świeżego. Zabieg ten wykonano po wschodach modrzewia (w połowie czerwca), stosując dawkę 100 m<sup>3</sup> × ha<sup>-1</sup>. Nawadnianie prowadzono na całej powierzchni doświadczałnej, wykorzystując mikrozaszczacze „Nelson”. Terminy nawodnień i dawki nawodnieniowe ustalano zgodnie z zaleceniami opracowanymi dla szkółek leśnych na powierzchniach otwartych (Pierzgalski et al. 2002). Sumaryczna dawka wody w kolejnych sezonach wegetacyjnych 2006 i 2007 wyniosła odpowiednio 88 i 65 mm.

**Wzrost roślin.** Pomiar siły wzrostu (wysokość sadzonek, średnicy w szyi korzeniowej, masy części nadziemnych) wykonywano w październiku 2006 r. (na roślinach z siewu w 2005) i 2007 r. (na roślinach z siewu w 2006).

**Mikoryzy.** Ocenę mikoryz wykonano na roślinach pochodzących z doświadczenia prowadzonego w latach 2006–2007. We wrześniu w 2007 pobrano losowo 5 dwuletnich sadzonek wraz z bryłką gleby w każdym wariantcie doświadczenia. Po przeniesieniu do laboratorium rośliny umyto pod bieżącą wodą i odcięto pęd. Korzenie krótkie cięto na małe fragmenty (około 1 cm) i umieszczano na szalkach Petriego w wodzie destylowanej. Ektomikoryzy liczone na całym korzeniu każdej badanej sadzonki pod mikroskopem stereoskopowym przy powiększeniu 4–50×, na podstawie obecności mufki grzybniowej (kolor, kształt i struktura), grzybni ekstramatrykalnej, nabrzmiałych wierzchołków i sznurów grzybniowych. Przy identyfikacji mikoryz korzystano z kluczy i opisów wg Agerera (1987–2006), Agerera i Rambolda (2004–2011) oraz Ingleby et al. (1990).

**Badania akarologiczne.** Próbkę gleby do badań akarologicznych pobierano w 2007 r. dwukrotnie

(wiosną – w połowie czerwca, oraz jesienią – w połowie października), po 3 z każdego poletka. Ogółem z jednego wariantu doświadczenia pobrano 24 próbki gleby, każda o powierzchni 17 cm<sup>2</sup> i głębokości do 3 cm. Roztocze wyplaszano przez 7 dni w aparatach Tullgrena, a następnie konserwowano i preparowano. Do gatunku lub rodzaju oznaczono wszystkie mechowce, postacie dorosłe łącznie ze stadiami młodocianymi. Pozostałe roztocze oznaczono do rzędów. Razem zebrano 989 roztoczy, w tym 390 mechowców. Średnie zagęszczenie (*N*) roztoczy podano w przeliczeniu na 1 m<sup>2</sup> gleby, a różnorodność gatunkową mechowców wyrażono za pomocą liczby gatunków (*S*) i średniej liczby gatunków w próbce (*s*).

**Analiza statystyczna.** Wyniki opracowano statystycznie zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Bruchwalda (1997), wykorzystując test Fishera-Snedecora dla stwierdzenia istotności działania czynników doświadczenia, oraz – w celu porównania otrzymanych różnic – test Tukeya. Obliczenia przeprowadzono przy użyciu pakietu ANALWAR-5.FR oraz za pomocą programu Statistica. Przed analizą statystyczną dane liczbowe dotyczące liczebności roztoczy poddano logarytmowaniu –  $\ln(x+1)$ , zgodnie z metodyką Bertheta i Gerarda (1965).

### 3. Wyniki

**Warunki klimatyczne w okresie badań.** W trzyletnim okresie badawczym temperatura powietrza w okresie wegetacji (IV–IX) była wyższa od normy (14,3°C) średnio o 0,4°C (tab. 1). Sezon wegetacyjny 2005 cechował się niższą temperaturą (14,2°C), a rok 2006 – wyższą (15,1°C). Najwyższe temperatury wystąpiły w lipcu.

**Tabela 1. Temperatura powietrza w okresie badań (°C)**

| Rok          |                  | Miesiąc / Month |      |      |      |      |      |      | IV–IX |
|--------------|------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Year         | Decade           | IV              | V    | VI   | VII  | VIII | IX   |      |       |
| 2005         | 1                | 6,9             | 10,0 | 12,3 | 19,5 | 15,3 | 18,1 | –    |       |
|              | 2                | 9,1             | 9,1  | 15,2 | 20,2 | 16,0 | 13,6 | –    |       |
|              | 3                | 6,2             | 17,1 | 17,3 | 18,5 | 17,4 | 12,9 | –    |       |
|              | Σ <sub>1–3</sub> | 7,4             | 12,2 | 14,9 | 19,4 | 16,3 | 14,8 | 14,2 |       |
| 2006         | 1                | 5,3             | 12,9 | 11,8 | 22,7 | 17,6 | 15,2 | –    |       |
|              | 2                | 7,3             | 13,1 | 18,9 | 21,8 | 17,4 | 15,7 | –    |       |
|              | 3                | 8,7             | 11,4 | 19,7 | 22,7 | 15,0 | 14,6 | –    |       |
|              | Σ <sub>1–3</sub> | 7,1             | 12,5 | 16,8 | 22,4 | 16,6 | 15,2 | 15,1 |       |
| 2007         | 1                | 5,9             | 9,3  | 18,8 | 15,7 | 18,6 | 12,6 | –    |       |
|              | 2                | 9,3             | 12,7 | 19,5 | 21,1 | 18,6 | 11,3 | –    |       |
|              | 3                | 10,2            | 19,0 | 16,2 | 17,3 | 16,4 | 13,2 | –    |       |
|              | Σ <sub>1–3</sub> | 8,5             | 13,8 | 18,2 | 18,0 | 17,8 | 12,4 | 14,8 |       |
| 2005–2007    |                  | 7,7             | 12,8 | 16,6 | 19,9 | 16,9 | 14,1 | 14,7 |       |
| Norma / Norm |                  | 7,7             | 13,1 | 16,2 | 18,2 | 17,8 | 13,0 | 14,3 |       |

Średnia suma opadów okresu wegetacji (IV–IX) z lat 2005–2007 była wyższa od normy i wyniosła 295,4 mm (tab. 2). Najmniejszą sumę opadów (203 mm) stwierdzono w pierwszym roku badań (2005), a największa (367 mm) – w ostatnim (2007). W dziewięciu dekadach opady atmosferyczne nie wystąpiły.

**Wzrost roślin.** Nie stwierdzono istotnego wpływu ze strony nawożenia organicznego na badane parametry wzrostu modrzewia (tab. 3). Drugi z testowanych czyn-

**Tabela 2. Opady atmosferyczne w okresie badań (mm)**

Table 2. Rainfall during the period of the study (mm)

| Rok          | Dekada           | Miesiąc / Month |      |       |       |       |      | IV–IX |
|--------------|------------------|-----------------|------|-------|-------|-------|------|-------|
|              |                  | IV              | V    | VI    | VII   | VIII  | IX   |       |
| 2005         | 1                | 3,8             | 46,6 | 20,9  | 0     | 19,3  | 0    | –     |
|              | 2                | 1,5             | 13,2 | 6,1   | 2,5   | 1,6   | 7,9  | –     |
|              | 3                | 18,5            | 9,7  | 3,7   | 37,7  | 0     | 10,0 | –     |
|              | Σ <sub>1–3</sub> | 23,8            | 69,5 | 30,7  | 40,2  | 20,9  | 17,9 | 203,0 |
| 2006         | 1                | 0               | 9,6  | 6,6   | 0     | 74,6  | 37,3 | –     |
|              | 2                | 0               | 20,0 | 15,2  | 25,9  | 23,4  | 0    | –     |
|              | 3                | 45,0            | 33,9 | 0     | 4,5   | 16,5  | 4,2  | –     |
|              | Σ <sub>1–3</sub> | 45,0            | 63,5 | 21,8  | 30,4  | 114,5 | 41,5 | 316,7 |
| 2007         | 1                | 5,3             | 21,2 | 42,8  | 79,1  | 2,7   | 17,5 | –     |
|              | 2                | 0               | 23,3 | 24,2  | 3,7   | 11,0  | 5,3  | –     |
|              | 3                | 2,7             | 4,6  | 36,4  | 28,5  | 45,5  | 12,8 | –     |
|              | Σ <sub>1–3</sub> | 8,0             | 49,1 | 103,4 | 111,3 | 59,2  | 35,6 | 366,6 |
| 2005–2007    |                  | 25,6            | 60,7 | 52,0  | 60,6  | 64,9  | 31,7 | 295,4 |
| Norma / Norm |                  | 26,6            | 40,7 | 54,8  | 65,4  | 51,4  | 44,3 | 283,2 |

**Tabela 3. Wpływ nawożenia organicznego i ściółkowania na parametry wzrostu dwuletnich sadzonek modrzewia**

Table 3. Influence of organic fertilization and mulching on the growth indices of two-year old European larch seedlings

| Ściółkowanie                                       | Nawożenie / Fertilization |                      | Średnio              |
|--|---------------------------|----------------------|----------------------|
|  | Mulching                  | N <sub>1</sub>       |                      |
| <b>Wysokość sadzonek / Height of seedling (cm)</b> |                           |                      |                      |
| C  | 85,500 <sup>a</sup>       | 79,350 <sup>a</sup>  | 82,425 <sup>a</sup>  |
| S  | 93,609 <sup>a</sup>       | 97,156 <sup>a</sup>  | 95,383 <sup>b</sup>  |
| Średnio / Mean                                     | 89,554                    | 88,253               | 88,904               |
| <b>Średnica sadzonek / Seedling diameter (cm)</b>  |                           |                      |                      |
| C  | 1,108 <sup>a</sup>        | 1,200 <sup>a</sup>   | 1,154 <sup>a</sup>   |
| S  | 1,256 <sup>a</sup>        | 1,344 <sup>a</sup>   | 1,300 <sup>b</sup>   |
| Średnio / Mean                                     | 1,182                     | 1,272                | 1,227                |
| <b>Świeża masa części nadziemnych</b>              |                           |                      |                      |
| Fresh mass of above-ground parts (g)               |                           |                      |                      |
| C  | 95,109 <sup>a</sup>       | 84,150 <sup>a</sup>  | 89,629 <sup>a</sup>  |
| S  | 126,975 <sup>a</sup>      | 140,481 <sup>a</sup> | 133,728 <sup>b</sup> |
| Średnio / Mean                                     | 111,042                   | 112,316              | 111,679              |

N<sub>1</sub> – higienizowane osady ściekowe (2/3) + kora (1/3),

N<sub>2</sub> – higienizowane osady ściekowe (2/3) + trociny (1/3),

C – bez ściółkowania (kontrola), S – ściółkowanie ektopróchnicą; te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic

N<sub>1</sub> – treated sewage sludge (2/3) + bark (1/3); N<sub>2</sub> – treated sewage sludge (2/3) + sawdust (1/3); C – without mulching (control); S – mulching with litter (ectohumus); data with the same letter within a column do not differ significantly

ników doświadczenia – ściółkowanie próchnicą nadkładową z boru świeżego – oddziaływał istotnie na wzrost dwuletnich sadzonek. Młode modrzewie na poletkach ściółkowanych (S) cechowały się wysokością, średnicą oraz świeżą masą części nadziemnych istotnie większymi niż rośliny na poletkach kontrolnych (bez ściółkowania) (C).

**Tabela 4. Udział morfotypów mikoryzowych u dwuletnich sadzonek modrzewia (Tt – *Thelephora terrestris*, S – *Suillus* sp., Th – Thelephoraceae, Wm – *Wilcoxina mikolae*, Wsp. – *Wilcoxina* sp.)  $n=5$ ,  $p<0,05$ ; te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic**

Table 4. Frequencies of mycorrhizal morphotypes of two-year old European larch seedlings (Tt – *Thelephora terrestris*, S – *Suillus* sp., Th – Thelephoraceae, Wm – *Wilcoxina mikolae*, Wsp. – *Wilcoxina* sp.,  $n = 5$ ,  $p<0,05$ , data with the same letter within a column do not differ significantly)

| Wariant<br>Treatment | Morfotypy mikoryzowe<br>Mycorrhizal morphotypes (%) |                    |                    |                    |                    |
|----------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      | Tt  | S                  | Th                 | Wm                 | Wsp                |
| CN <sub>1</sub>      | 16,60 <sup>a</sup>                                  | 21,40 <sup>a</sup> | 10,00 <sup>a</sup> | 27,00 <sup>a</sup> | 24,40 <sup>a</sup> |
| SN <sub>1</sub>      | 41,20 <sup>b</sup>                                  | 6,40 <sup>b</sup>  | 11,83 <sup>a</sup> | 20,84 <sup>a</sup> | 19,84 <sup>a</sup> |
| CN <sub>2</sub>      | 38,00 <sup>b</sup>                                  | 9,50 <sup>b</sup>  | 13,75 <sup>a</sup> | 11,25 <sup>b</sup> | 17,50 <sup>a</sup> |
| SN <sub>2</sub>      | 28,80 <sup>c</sup>                                  | 19,80 <sup>a</sup> | 8,44 <sup>a</sup>  | 23,00 <sup>a</sup> | 20,00 <sup>a</sup> |

Biorąc pod uwagę łączny wpływ obu badanych czynników na wzrost dwuletnich sadzonek modrzewia, widać, że najkorzystniejsze parametry stwierdzono u roślin z wariantu SN<sub>2</sub>.

**Mikoryzy.** W strukturze mikoryz sadzonek modrzewia odnotowano 5 różnych morfotypów [*Thelephora terrestris* Ehrh., *Suillus* sp., Thelephoraceae, *Wilcoxina mikolae* (Yang & Wilcox), *Wilcoxina* sp.]. Największym udziałem mikoryz *Thelephora terrestris* charakteryzowały się sadzonki z wariantu SN<sub>1</sub>, a najmniejszym – sadzonki z wariantu CN<sub>1</sub>. Mikoryzy z udziałem rodzaju *Suillus* liczniej występowały w wariantach CN<sub>1</sub> i SN<sub>1</sub>. Udział mikoryz *Wilcoxina mikolae* i *Wilcoxina* sp. utrzymywał się na podobnym poziomie, niezależnie od wariantu doświadczenia (tab. 4).

**Występowanie roztoczy.** W niniejszym doświadczeniu odnotowano liczebność roztoczy wynoszącą od 2,11 do 10,23 tys. osobn. × m<sup>-2</sup> (tab. 5). Na wszystkich stanowiskach ich zagęszczenie było większe jesienią niż wiosną. Wiosną na powierzchniach ściółkowanych, w obydwu wariantach nawożenia organicznego, liczebność tych pajęczaków była wyraźnie większa niż na pozostałych stanowiskach. W sezonie jesiennym nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w liczebności roztoczy.

**Tabela 5. Zagęszczenie roztoczy ( $N$  w tys. osobn. · m<sup>-2</sup>) oraz liczba gatunków mechowców (Oribatida) – całkowita ( $S$ ) i średnia w próbce ( $s$ ) – w sezonach wiosennym ( $w$ ) i jesiennym ( $j$ )**

Table 5. Abundance ( $N$  in 1000 individuals · m<sup>-2</sup>) of mites, number of Oribatida species – total ( $S$ ) and average in a soil sample ( $s$ ) – in seasons: spring ( $w$ ) and autumn ( $j$ )

| Wskaźnik – Takson<br>Index – Taxon         | Sezon<br>Season | Wariant doświadczenia<br>Experimental treatment |                    |                    |                    |
|--|-----------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
|  |                 | CN <sub>1</sub>                                 | SN <sub>1</sub>    | CN <sub>2</sub>    | SN <sub>2</sub>    |
| $N$ – roztocze razem<br>Mites total        | w               | 2,11 <sup>a</sup>                               | 5,37 <sup>b</sup>  | 2,56 <sup>a</sup>  | 5,07 <sup>b</sup>  |
|  | j               | 8,93 <sup>a</sup>                               | 9,88 <sup>a</sup>  | 10,23 <sup>a</sup> | 5,47 <sup>a</sup>  |
| $N$ – Actinedida                           | w               | 1,96 <sup>a</sup>                               | 1,30 <sup>a</sup>  | 2,51 <sup>b</sup>  | 1,86 <sup>a</sup>  |
|  | j               | 7,93 <sup>a</sup>                               | 1,71 <sup>a</sup>  | 9,23 <sup>a</sup>  | 1,61 <sup>a</sup>  |
| $N$ – Mesostigmata                         | w               | 0,10 <sup>a</sup>                               | 0,35 <sup>ab</sup> | 0,05 <sup>a</sup>  | 0,50 <sup>b</sup>  |
|  | j               | 0,15 <sup>a</sup>                               | 0,15 <sup>a</sup>  | 0,15 <sup>a</sup>  | 0,20 <sup>a</sup>  |
| $N$ – Tarsonemida                          | w               | –   | –                  | –                  | 0,10               |
|  | j               | –   | 0,15 <sup>a</sup>  | –                  | 0,05 <sup>a</sup>  |
| $N$ – Oribatida                            | w               | 0,05 <sup>a</sup>                               | 3,71 <sup>b</sup>  | –                  | 2,61 <sup>b</sup>  |
|  | j               | 0,85 <sup>a</sup>                               | 7,88 <sup>b</sup>  | 0,85 <sup>a</sup>  | 3,61 <sup>b</sup>  |
| $S$ – Oribatida                            | w               | 1   | 13                 | –                  | 10                 |
|  | j               | 3   | 7                  | 3                  | 8                  |
| $s$ – Oribatida                            | w               | 0,08 <sup>a</sup>                               | 3,00 <sup>b</sup>  | –                  | 2,50 <sup>b</sup>  |
|  | j               | 0,92 <sup>a</sup>                               | 2,25 <sup>b</sup>  | 0,92 <sup>a</sup>  | 2,50 <sup>b</sup>  |
| $N$ – <i>Oppiella nova</i> (Oudemans)      | j               | 0,05 <sup>a</sup>                               | 1,05 <sup>b</sup>  | 0,10 <sup>a</sup>  | 0,15 <sup>a</sup>  |
| $N$ – <i>Scutovertex sculptus</i> Michael  | w               | –   | 1,15 <sup>a</sup>  | –                  | 0,15 <sup>b</sup>  |
|  | j               | 0,40 <sup>a</sup>                               | 3,26 <sup>bc</sup> | 0,40 <sup>a</sup>  | 1,10 <sup>ac</sup> |
| $N$ – <i>Tectocephus velatus</i> (Michael) | w               | 0,05 <sup>a</sup>                               | 1,30 <sup>b</sup>  | –                  | 0,80 <sup>b</sup>  |
|  | j               | 0,40 <sup>a</sup>                               | 3,21 <sup>b</sup>  | 0,35 <sup>a</sup>  | 1,76 <sup>b</sup>  |

Objaśnienia jak w tab. 3 / For explanations, see the legend of Table 3



W zgrupowaniach roztoczy na powierzchniach C znacznie dominowały Actinedida (89–98%). W wariantach ściółkowanych wyraźnie większy był udział saprofagicznych mechowców, szczególnie jesienią (66–80%). Mniej licznie występowały roztocze z rzędów: Mesostigmata oraz Tarsonemida.

Na badanym terenie stwierdzono występowanie 18 gatunków mechowców. W wariantach CN<sub>1</sub> i CN<sub>2</sub> jesienią odnotowano zaledwie po 3 gatunki tych roztoczy. Na wymienionych stanowiskach w trakcie sezonu wegetacyjnego różnorodność gatunkowa Oribatida była wyższa. Inaczej było w przypadku powierzchni ściółkowanych, gdzie liczba gatunków wiosną była wyższa niż jesienią. Obydwa wskaźniki różnorodności gatunkowej (*S* i *s*) wykazały wyraźnie pozytywny wpływ ściółkowania na mechowce. W przypadku średniej liczby gatunków *s* różnice pomiędzy stanowiskami ściółkowanymi a nieściółkowanymi były istotne statystycznie. Natomiast nie stwierdzono wpływu różnych dodatków strukturotwórczych kompostów (warianty N<sub>1</sub> i N<sub>2</sub>) na liczebność i różnorodność gatunkową analizowanych roztoczy.

W zależności od wariantu doświadczenia najliczniejszymi mechowcami były eurytopowy, preferujący bory sosnowe, *Tectocephus velatus* (Michael) lub sucholubny *Scutovertex sculptus* Michael. Poza wymienionymi gatunkami na stanowiskach CN<sub>1</sub> i CN<sub>2</sub> odnotowano występowanie *Oppiella nova* (Oudemans). Gatunki takie jak: *Chamobates schuetzi* (Oudemans), *Metabelba pulverulenta* C.L. Koch, *Oribatula tibialis* (Nicolet) czy *Pergalumna nervosa* (Berlese) stwierdzono wyłącznie na powierzchniach ściółkowanych. Liczebność tych gatunków nie przekroczyła jednak 1 tys. osobn. × m<sup>2</sup>.

#### 4. Dyskusja

Zastosowane w uprawie modrzewia dodatki do kompostów (kora bądź trociny) nie wpłynęły wyraźnie na zróżnicowanie wzrostu sadzonek. W doświadczeniach przeprowadzonych według podobnej metodyki w latach 2005–2006 z sadzonkami jednorocznymi sosny (Rolbiecki et al. 2009) nawożenie kompostem wyprodukowanym na bazie osadów ściekowych i kory (wariant N<sub>1</sub>) zwiększało istotnie wysokość roślin w każdym roku badań w porównaniu do wariantu N<sub>2</sub> (z dodatkiem trocin). Z kolei w eksperymentach przeprowadzonych w latach 2006–2007 z dwuletnimi sadzonkami sosny zwyczajnej (Rolbiecki et al. w druku), uzyskano podobne wyniki jak w przypadku modrzewia, a mianowicie nawożenie kompostami z dodatkiem trocin lub kory nie różnicowało istotnie badanych parametrów wzrostu roślin.

Odnotowany przez autorów pozytywny wpływ ściółkowania na wzrost dwuletnich sadzonek modrzewia znajduje potwierdzenie w ustaleniach poczynionych w uprawach sosny przez Leskiego i in. (2009) oraz w badaniach przeprowadzonych równolegle w szkółce Białe Błota (Rolbiecki et al. w druku). W tych ostatnich badaniach ściółkowanie ektopróchnicą zwiększyło istotnie wysokość i świeżą masę części nadziemnych dwuletnich sadzonek.

Wszystkie oceniane wskaźniki wzrostu miały najwyższe wartości u roślin na poletkach ściółkowanych i nawożonych uprzednio kompostem z dodatkiem trocin. Te wyniki również znajdują potwierdzenie w pracy Rolbieckiego i in. (w druku).

*Thelephora terrestris* była najczęściej obserwowanym gatunkiem ektomikoryzowym u sadzonek modrzewia. Dominacja tego gatunku może być wynikiem jego zdolności do rozwoju w glebie słabo napowietrzanej, często nawadnianej i o dużej zawartości azotu (Castellano et Molina 1989; Hilszczańska et al. 2008). Niektórzy autorzy uważają, że mikoryzy *T. terrestris* nie należą do optymalnego typu, gdyż nie promują adaptacji i wzrostu sadzonek (Stenström et Ek 1990) w takim stopniu, jak inne grzyby mikoryzowe, np. *Suillus bovinus* (Bendig, Read 1995). Najliczniejszym po *Thelephora terrestris* typem mikoryz u badanych sadzonek były *Wilcoxina mikolae* i *Wilcoxina* sp., grzyby należące do workowców. *Wilcoxina* sp. tworzą bardzo liczne mikoryzy u drzew iglastych w szkółkach (Danielson 1991). Mikoryzy tworzone z udziałem także u świerka w szkółkach (Menkis et al. 2005; Rudawska et al. 2006). Mikoryzy te, po wysadzeniu sadzonek na stanowiska stałe, są szybko zastępowane przez inne grzyby ektomikoryzowe. Mogą utrzymywać się na korzeniach przez dłuższy okres jedynie w środowisku o znikomym udziale innych konkurencyjnych gatunków grzybów mikoryzowych (Danielson, Pruden 1990).

Różnorodność biologiczną środowiska glebowego należy odpowiednio kształtować, np. przez stosowanie różnych zabiegów melioracyjnych. Ściółkowanie oraz nawożenie organiczne można zaliczyć do tzw. zabiegów zoomelioracyjnych (Szujewski 1990), które polegają na introdukcji fauny glebowej oraz stwarzaniu dla niej odpowiednich warunków rozwoju. Zastosowane w tych badaniach ściółkowanie próchnicą nadkładową pochodzącą z boru świeżego wyraźnie pozytywnie wpłynęło na liczebność oraz różnorodność gatunkową mechowców. Jednak zabieg ten, w porównaniu z podobnym przeprowadzonym w uprawie sosny zwyczajnej (Klimek 2010; Rolbiecki et al. 2009, w druku), uznać należy za mniej udany, gdyż w uprawie sosnowej, szczególnie w drugim roku po zabiegu, liczebność

mechowców osiągnęła znacznie wyższy poziom: 20,47 tys. osobn.  $\times$  m<sup>-2</sup> na stanowisku SN<sub>1</sub> i 14,67 tys. osobn.  $\times$  m<sup>-2</sup> w wariancie SN<sub>2</sub>.

Uważa się, że zwierzęta glebowe mogą być wykorzystane do sterowania procesem regeneracji gleb dwojako: po pierwsze mogą przyspieszać metabolizm gleb, a po drugie mogą być wskaźnikiem ich stanu biologicznego (Haimi 2000). Zastosowany w niniejszym doświadczeniu zabieg ściółkowania pozytywnie wpłynął na wzrost sadzonek modrzewia, a ich struktura mikoryzowa była bogata, ponadto po tym zabiegu wzrosła liczebność i różnorodność gatunkowa mechowców. Należy wspomnieć, iż zgrupowania roztoczy z przewagą liczebną Oribatida są charakterystyczne dla gleb leśnych (Klimek 2000), które przecież tworzą lepsze warunki ekologiczne dla wzrostu młodych drzew niż gleby tradycyjnych szkółek polowych. Wydaje się, że wzrost wartości przedstawionych wskaźników biologicznych po przeprowadzeniu ściółkowania może świadczyć o poprawie aktywności biologicznej badanych gleb i możliwości wykorzystania zaproponowanych zabiegów melioracyjnych do rewitalizacji gleb szkółek leśnych.

## 5. Wnioski

Ściółkowanie ektopróchnicą leśną wpłynęło istotnie na wzrost dwuletnich sadzonek modrzewia europejskiego. Nie stwierdzono istotnego wpływu żadnego z badanych dodatków strukturotwórczych kompostu na parametry wzrostu roślin.

Struktura mikoryzowa sadzonek modrzewia była bogata. Zastosowane zabiegi nie wpłynęły na zmianę liczby gatunków kolonizujących korzenie. Zastosowane w doświadczeniu komposty, przygotowane na bazie komunalnych osadów ściekowych, nie oddziaływały negatywnie na strukturę ektomikoryz.

Ściółkowanie pozytywnie kształtowało liczebność i różnorodność gatunkową mechowców, co może świadczyć o wzroście aktywności biologicznej gleb szkółek. Nie odnotowano natomiast wpływu różnych dodatków strukturotwórczych kompostów na te wskaźniki.

## Podziękowania

Autorzy dziękują pracownikom Nadleśnictwa Bydgoszcz za umożliwienie przeprowadzenia badań i cenną pomoc w trakcie realizacji doświadczenia oraz Firmie „Agromis” – Rafał Piasecki z Łochowa koło Bydgoszczy za przygotowanie kompostu zastosowanego w doświadczeniu.

## Literatura

- Agerer R. 1987–2006. Colour Atlas of Ectomycorrhizae. Einhorn Verlag, Schwabisch- Gmünd.
- Agerer R., Rambold G. 2004–2011. DEEMY – An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. www.deemy.de – München, Germany. Data dostępu 12.12.2010.
- Aleksandrowicz-Trzczińska M. 2004. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3: 5–15.
- Axelsson B., Lohm U., Lundkvist H., Persson T., Sköglund J., Wiren A. 1973. Effects of nitrogen fertilisation on the abundance of soil fauna populations in a Scots pine stand, *Research Notes. Royal College of Forestry*, 14: 5–10.
- Bending G.D., Read D.J. 1995. The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. V. Foraging behaviour and translocation of nutrients from exploited organic matter. *New Phytologist*, 130: 401–409.
- Berthet P., Gerard G. 1965. A statistical study of microdistribution of Oribatei (Acari) I. The distribution pattern. *Oikos*, 16: 214–227.
- Bruchwald A. 1997: Statystyka matematyczna dla leśników. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 1–255. ISBN 8300030719.
- Brzezińska M. 2006. Aktywność biologiczna oraz procesy jej towarzyszące w glebach organicznych nawadnianych oczyszczonymi ściekami miejskimi (badania polowe i modelowe). *Acta Agrophysica*, 131, PAN, *Rozprawy i Monografie* (Lublin), 2: 1–164.
- Castellano M.A., Molina R. 1989. Mycorrhizas. w: Landis T.D., Tinus R.W., McDonald S.E., Barnett J.P. (eds) The container tree nursery manual. Vol 5. The biological component: nursery pests and mycorrhizas. USDA Forest Service Agriculture Handbook, 674, Washington DC: 101–167.
- Danielson R. M. 1991. Temporal changes and effects of amendments on the occurrence of sheathing (ecto-) mycorrhizae of conifers growing in oil sands tailings and coal spoil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 35: 261–281.
- Danielson R. M., Pruden M. 1990. Ectomycorrhizae of spruce seedlings growing in disturbed soils and in undisturbed mature forests. w: Allen M.F., Williams S.E. (Eds) Abstracts in the Proceedings of the 8<sup>th</sup> North American Conference on Mycorrhizae. Jackson, Wyoming, p. 68.
- Haimi J. 2000. Decomposer animals and bioremediation of soils. *Environmental Pollution*, 107: 233–238.
- Hanlon R.D., Anderson J. M. 1979. The effects of Collembola grazing on microbial activity in decomposing leaf litter. *Oecologia*, 38: 93–99.
- Hanlon R.D., Anderson J.M. 1980. The influence of macroarthropod feeding activities on microflora in decomposing leaf litter. *Soil Biology & Biochemistry*, 12: 255–261.
- Hilszczańska D., Małecka M., Sierota Z. 2008. Changes in nitrogen level and mycorrhizal structure of Scots pine seedlings inoculated with *Thelephora terrestris*. *Annals of Forest Science*, 65, 409: 1–6.

- Ingleby K., Mason P.A., Last F.T., Fleming L.V. 1990. Identification of ectomycorrhizas. ITE Research Publication, 5, London, HMSO, p. 110. ISBN 0117014613.
- Klimek A. 2000. Wpływ zanieczyszczeń emitowanych przez wybrane zakłady przemysłowe na roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych, ze szczególnym uwzględnieniem mechowców (Oribatida). Bydgoszcz, Wydawnictwa Uczelniane AT-R, Rozprawy 99: 1–93.
- Klimek A. 2010. Możliwość wykorzystania ektopróchnicy do rewitalizacji gleb szkółek leśnych. w: Zarządzanie Ochroną Przyrody w Lasach. IV (red. K. Kannenberg, H. Szramka). Tuchola, Wyższa Szkoła Zarządzania Środowiskiem: 80–93.
- Leski T., Rudawska M., Aučina A., Skridaila A., Riepišas E., Pietras M. 2009. Wpływ ściółki sosnowej i dębowej na wzrost sadzonek sosny i zbiorowiska grzybów mikoryzowych w warunkach szkółki leśnej. *Sylvan*, 153 (10): 675–683.
- Lussenhop J. 1992. Mechanisms of microarthropod-microbial interactions in soil. *Advances in Ecological Research*, 23: 1–33.
- Menkis A., Vasilauskas R., Taylor A. F. S., Stenlid J., Finlay R. 2005. Fungal communities in mycorrhizal roots of conifer seedlings in forest nurseries under different cultivation systems, assessed by morphotyping, direct sequencing and mycellial isolation. *Mycorrhiza*, 16 (1): 33–41.
- Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U. et al. 2005. Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia wskaźnika żywności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego. *Leśne Prace Badawcze*, 3: 17–37.
- Pierzgalski E., Tyszka J., Boczoń A., Wiśniewski S., Jeznach J., Żakowicz S. 2002. Wytyczne nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych. Warszawa, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, 1–63.
- Rolbiecki St., Klimek A., Rolbiecki R., Hilszczańska D. 2009. Wpływ nawożenia organicznego i ściółkowania na wzrost jednorocznych siewek sosny zwyczajnej oraz właściwości biologiczne gleb w szkółce leśnej w warunkach mikrozaszrania. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 6: 229–243.
- Rolbiecki St., Klimek A., Rolbiecki R., Hilszczańska D. (w druku). Wpływ nawożenia organicznego i ściółkowania ektopróchnicą na wzrost dwuletnich siewek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i aktywność biologiczną gleb w warunkach mikrodeszczowania w szkółce leśnej Białe Błota k/Bydgoszczy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*.
- Rudawska M., Leski T., Trocha L. K., Gornowicz R. 2006. Ectomycorrhizal status of Norway spruce seedlings from bare-root nurseries. *Forest Ecology and Management*, 236: 375–384.
- Sayer E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biology Review*, 80: 1–31.
- Schneider K., Renker C., Maraun M. 2005. Oribatid mite (Acari, Oribatida) feeding on ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 16: 67–72.
- Schneider K., Renker C., Scheu S., Maraun M. 2004. Feeding biology of oribatid mites: a minireview. *Phytophaga*, 14: 247–256.
- Seniczak S. 1979. Fauna mechowców (Acari, Oribatei) jako indikator biologicznych właściwości próchnic leśnych. *Prace Komisji Naukowej Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego*, V/37: 157–166.
- Setälä H. 1995. Growth of birch and pine seedlings in relation to grazing by soil fauna on ectomycorrhizal fungi. *Ecology*, 76, 6: 1844–1851.
- Stenström E., Ek M. 1990. Field growth of *Pinus sylvestris* following nursery inoculation with mycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 914–918.
- Szołtyk G., Hilszczańska D. 2003. Rewitalizacja gleb w szkółkach leśnych. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 1–44.
- Szujecki A. 1990. Ekologiczne aspekty odtwarzania ekosystemów leśnych na gruntach porolnych. *Sylvan*, 3–12: 23–40.