



Wykorzystanie kompostowanego osadu ściekowego i ektopróchnicy leśnej do wzbogacania gleb w uprawie szkółkarskiej lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.)

*Andrzej Klimek, Stanisław Rolbiecki, Roman Rolbiecki,
Jacek Długosz, Mariusz Musiał
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz*

1. Wstęp

Biorąc pod uwagę kryteria techniczne i estetyczne oraz pełnione funkcje środowiskowe, uważa się, że lipa jest gatunkiem, który idealnie nadaje się do zadrzewień na obszarach wiejskich [42]. Można ją sadzić w zadrzewieniach śródpolnych przy mniej ruchliwych drogach, gdzie tworzy ona zasłony chroniące przyległe pola uprawne przed wiatrem i zanieczyszczeniami komunikacyjnymi. Lipa jest także przydatna do zalesień gruntów porolnych i może być traktowana jako gatunek podstawowy lub cenna domieszka fitomelioracyjna, biocenotyczna i uszlachetniająca [35]. Za jej stosowaniem do zalesiania słabych gruntów porolnych przemawia dodatkowo fakt, że nie ma ona zbyt dużych wymagań glebowych i jest przy tym dość odporna na suszę, wiatr i przymrozki.

Powodzenie zalesień na gruntach słabych zależy od wielu czynników, m. in. zastosowania sadzonek odpowiedniej jakości [6, 15, 16]. Zwiększenie udatności upraw leśnych na tych obszarach można osiągnąć przez doskonalenie produkcji szkółkarskiej, aby w efekcie uzyskać materiał rozmnożeniowy odporny na niesprzyjające warunki panujące na gruntach porolnych. Szczególnie ważne jest zapewnienie w szkółce właściwego uwilgotnienia podłoża, zwłaszcza od maja do sierpnia – czyli w okresie dużej wrażliwości sadzonek drzew na niedobory wody. Prze-

sądza to o tym, że prawidłowe stosowanie nawodnień jest zabiegiem warunkującym właściwy wzrost i rozwój roślin szkółkarskich [23, 37].

Jednym z ważnych czynników, decydujących o wielkości i jakości produkcji szkółkarskiej jest systematyczne uzupełnianie zapasów materii organicznej w glebie [37]. Wydaje się, że w szkółkach leśnych mogą być przydatne komposty z osadów ściekowych z dodatkiem strukturalnym kory lub trocin [3, 4]. Tym bardziej, iż ograniczeniem zastosowania osadów w rolnictwie jest nadmierna zawartość metali ciężkich, dlatego alternatywą może być ich aplikacja w uprawie roślin nieprzeznaczonych do produkcji żywności [39].

Bardzo istotnym aspektem podjętych badań jest możliwość wykorzystania lipy drobnolistnej do wprowadzania zadrzewień na obszarach wiejskich i zalesiania gruntów porolnych. Produkcja sadzonek dobrej jakości jest niezbędna dla uzyskania wysokiej udatności planowanych nasadzeń, co – w świetle wcześniejszych badań z innymi gatunkami drzew liściastych – wydaje się być możliwe do osiągnięcia poprzez stosowanie nawożenia organicznego oraz ściółkowania świeżą ektopróchnicą leśną i nawadniania [26, 28].

Celem podjętych badań było poznanie wpływu nawożenia kompostem sporządzonym na bazie higienizowanych osadów ściekowych z dodatkiem kory sosnowej i ściółkowania świeżą ektopróchnicą leśną na warunki glebowe, wybrane parametry wzrostu dwu- i trzyletnich sadzonek lipy drobnolistnej oraz na występowanie roztoczy (Acari) glebowych, ze szczególnym uwzględnieniem mechowców (Oribatida), jako bioindykatorów aktywności biologicznej gleb. Wstępne wyniki badań – dotyczące wyłącznie jednorocznych sadzonek lipy – zostały opracowane w odrębnej publikacji [27].

2. Materiał i metody badań

2.1. Opis doświadczenia

Badania przeprowadzono w latach 2009–2010 w należącej do Nadleśnictwa Bydgoszcz szkółce leśnej Białe Błota. Doświadczenie szkółkarskie założono w roku 2008, w uprawie lipy drobnolistnej. Pokrywą glebową stanowiła gleba rdzawa typowa wg V wydania Systematyki Gleb Polski [21] wytworzona z piasku aluwialnego. Poziom powierzchniowy charakteryzował się teksturą piasku słabogliniastego drob-

noziarnistego i zawierał 6–7% frakcji ilastej ($<0,002$ mm). Pod względem zawartości substancji organicznej poziom powierzchniowy badanej gleby można zaliczyć do utworów mineralno-próchnicznych, gdyż zawierał on od 35,7 do 38,4 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ C-org. Gleba charakteryzowała się niską wartością kwasowości wymiennej, czego potwierdzeniem są wartości pH w 1M KCl mieszczące się w zakresie 6,9–7,0 oraz niską zawartością przyswajalnego potasu i fosforu.

Doświadczenie założono w dwuczynnikowym układzie zależnym, w czterech powtórzeniach. Pierwszym czynnikiem było nawożenie – w dwóch wariantach: M – nawożenie mineralne – zgodnie z zaleceniami dla szkółek leśnych, O – nawożenie organiczne – higienizowane osady ściekowe (60%) + kora sosnowa (40%). Drugim czynnikiem było ściółkowanie stosowane także w dwóch wariantach: C – bez ściółkowania (kontrola), S – ściółkowanie świeżą leśną próchnicą nadkładową pozyskaną z siedliska boru świeżego.

Siew nasion lipy – w systemie pasowo-4-rzędowym – wykonano 22.04.2008 r. Pełnię wschodów siewek zaobserwowano 26 maja. Powierzchnia pojedynczego poletka wynosiła 2 m^2 . Łącznie doświadczenie obejmowało 16 poletek (2 czynniki x 2 warianty w każdym z czynników x 4 powtórzenia).

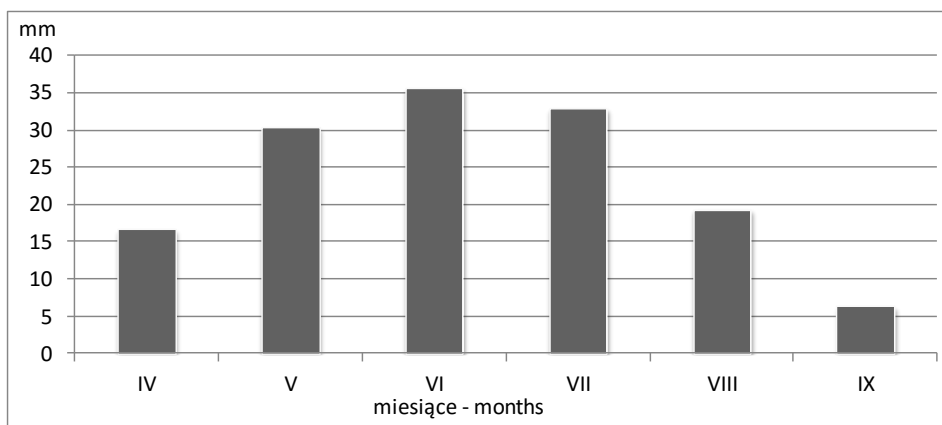
Nawóz organiczny (kompost) przygotowano na bazie higienizowanych osadów ściekowych (60%) i kory sosnowej (40%). Zastosowano go wiosną 2008 r. w dawce 100 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i wymieszano z wierzchnią warstwą gleby (do głębokości 10 cm) przed wysiewem nasion lipy. Ściółkowanie przy użyciu świeżej ektopróchnicy przeprowadzano 15 września 2008 r. Zastosowano w tym wypadku dawkę 100 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$.

Nawadnianie przeprowadzano przy użyciu deszczowni okresowo stałej. Wielkość dawek polewowych oraz terminy nawodnień ustalano zgodnie z zaleceniami opracowanymi dla szkółek leśnych na powierzchniach otwartych [23]. Trzeba nadmienić, że w rejonie Bydgoszczy, podobnie jak w całej centralnej części Polski, istnieją duże potrzeby nawadniania roślin [38, 43, 44].

2.2. Przebieg pogody i nawadniania

Przebieg pogody i nawadniania w okresie wegetacyjnym 2008 roku przedstawiono we wcześniejszej publikacji [27].

Suma opadów naturalnych od 1 kwietnia do 30 września 2009 roku wyniosła 313 mm. Zgodnie z wytycznymi nawadniania szkótek [23], w roku tym zastosowano w uprawie dwuletniej lipy łącznie 141 mm wody, a spośród miesięcy – najwięcej (35,5 mm) deszczowano w czerwcu (rys. 1). W trzecim roku doświadczenia (2010) nawodnień nie prowadzono. Wynikało to z jednej strony z zaleceń zawartych w wytycznych nawadniania szkótek, a z drugiej z ilości i przebiegu opadów naturalnych (suma opadów w okresie 1.IV–30.IX wyniosła 477 mm tj. 166% normy).



Rys. 1. Dawki wody zastosowane w nawadnianiu lipy w roku 2009

Fig. 1. Water doses used for littleleaf linden irrigation in 2009

2.3. Metody wykonanych oznaczeń i obliczeń

Próbki gleby, pobrane z każdego wariantu doświadczenia, po wysuszeniu do stanu powietrznie suchego przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. We frakcjach poniżej 2 mm wykonano następujące analizy: zawartości C-org. i N-ogółem – autoanalyzerem Vario Max CN firmy Elementar, kwasowości czynnej (pH w H₂O), kwasowości wymiennej w 1 M KCl, kwasowości hydrolitycznej – metodą Kappena w 1M octanie sodu, zawartości przyswajalnych form fosforu i potasu – metodą Egnera-Riehma.

Badając cechy biometryczne sadzonek lipy określono jesienią 2009 r. (dla sadzonek dwuletnich) i 2010 r. dla sadzonek trzyletnich następujące parametry: wysokość roślin (cm), średnicę w szyi korzeniowej (mm), liczbę liści na 1 roślinie (szt.), powierzchnię liści (cm²). Otrzymane wyniki opracowano statystycznie. Dla stwierdzenia istotności wpływu

badanych czynników wykorzystano test Fishera-Snedecora, a dla porównania otrzymanych różnic – test Tukeya.

Próbki gleby do badań akarologicznych pobierano w latach 2009–2010 czterokrotnie – w ostatnich dekadach maja i października. Z każdego wariantu doświadczenia w czterech kolejnych terminach pobrano po 10 próbek gleby (2 lub 3 z każdego poletka), co dało ogółem 160 próbek. Wycinki gleby pobierano z 17 cm² i do 3 cm głębokości. Roztocze wyplaszano w aparatach Tullgrena przez 7 dni, konserwowano w 70% alkoholu etylowym i preparowano. Do gatunku lub rodzaju oznaczono mechowce (Oribatida), łącznie ze stadiami młodocianymi, natomiast pozostałe roztocze sklasyfikowano do rzędów. Ogółem oznaczono 2186 roztoczy, w tym 1060 mechowców. Średnie zagęszczenie (N) roztoczy podano w przeliczeniu na 1 m² gleby, a zgrupowania mechowców scharakteryzowano za pomocą wskaźnika dominacji (D w %), liczby gatunków (S), średniej liczby gatunków w próbce (s) oraz wskaźnika różnorodności gatunkowej Shannona (H) [20]. Dane liczbowe przed analizą statystyczną poddano logarytmowaniu – $\ln(x+1)$ [2]. Obliczenia statystyczne przeprowadzono za pomocą programu Statistica (ANOVA) – istotność różnic weryfikowano stosując test post-hoc Tukeya HSD, a wpływ badanych czynników testem Fishera-Snedecora.

3. Wyniki i dyskusja

Dwuletnie sadzonki lipy rosnące na poletkach nawożonych kompostem były istotnie wyższe (o 55%) od uprawianych na stanowiskach z nawożeniem mineralnym (tab. 1). Drugi z analizowanych czynników – ściółkowanie – nie oddziaływał istotnie na ten parametr wzrostu, jednak zaznaczyła się tendencja do większej wysokości roślin na poletkach ściółkowanych. Chociaż nie zaistniała statystycznie udowodniona interakcja pomiędzy czynnikami doświadczenia, to jednak najwyższe sadzonki występowały na poletkach nawożonych kompostem i ściółkowanych.

Nie stwierdzono istotnego oddziaływania ze strony nawożenia kompostem oraz ściółkowania na kształtowanie się średnicy w szyjce korzeniowej.

Rośliny lipy na poletkach nawożonych kompostem cechowały się – w porównaniu do rosnących na stanowiskach z samym tylko nawożeniem mineralnym – większą liczbą i powierzchnią liści. Ściółkowanie

świeżą ektopróchnicą leśną nie wpływało w sposób udowodniony statystycznie na liczbę liści na roślinie, zmniejszało natomiast średnią powierzchnię liścia.

Nawożenie organiczne istotnie zwiększyło wysokość trzyletnich sadzonek lipy, średnio o 18% (tab. 2). Drugi z analizowanych czynników – ściółkowanie – wpłynęło w sposób udowodniony statystycznie na zwiększenie wysokości roślin o 12%. Nie stwierdzono istotnego współdziałania badanych czynników na wysokość sadzonek, ale warto jednak nadmienić, że najwyższe sadzonki rosły na poletkach nawożonych kompostem i ściółkowanych, a najniższe – na stanowiskach z samym nawożeniem mineralnym (bez ściółkowania).

Ściółkowanie istotnie zwiększyło (o 11%) średnicę w szyi korzeniowej trzyletek lipy, nawożenie organiczne powiększyło ten parametr tylko o 4% i był to wzrost nieistotny. Zaistniała udowodniona statystycznie interakcja obu czynników doświadczenia w kształtowaniu tego parametru – najwyższą średnicą cechowały się trzyletnie sadzonki lipy rosnące na poletkach nawożonych kompostem i ściółkowanych.

Zarówno nawożenie, jak i ściółkowanie istotnie zwiększało liczbę liści na roślinie. Wystąpiło także istotne współdziałanie tych czynników w kształtowaniu liczby liści – najwyższą wartość tego parametru stwierdzono na stanowiskach nawożonych kompostem i ściółkowanych.

Powierzchnia liścia wzrastała istotnie, tak pod wpływem nawożenia kompostem, jak i ściółkowania. Również w przypadku tego parametru stwierdzono istotne – łączne – oddziaływanie badanych czynników na wzrost jego wartości. Najwyższą średnią powierzchnią charakteryzowały się liście trzyletnich sadzonek lipy rosnących na poletkach nawożonych kompostem i ściółkowanych.

Zabieg ściółkowania może zapewniać mniej lub bardziej korzystne warunki wzrostu dla sadzonek różnych gatunków drzew [29]. W doświadczeniach Leskiego i in. [17] stwierdzono statystycznie udowodniony wpływ ściółki sosnowej na wysokość sadzonek sosny. Negatywny wpływ ściółkowania na wzrost i rozwój sadzonek stwierdzono natomiast w innych badaniach terenowych i szklarniowych, w których na początku eksperymentu zastosowano bardzo grubą (sięgającą 20 cm) warstwę ściółki [12].

Tabela 1. Parametry wzrostu dwuletnich sadzonek lipy drobnolistnej
Table 1. Parameters of two-year old littleleaf linden seedling growth

Nawożenie Fertilization	Ściółkowanie Mulching		Średnio Mean
	bez ściółkowania (C) without mulching	ściółkowanie (S) mulching	
Wysokość sadzonki (cm) Height of seedling (cm)			
Mineralne (M) Mineral	75,3	69,7	72,5 ^a
Organiczne (O) Organic	77,7	108,0	92,8 ^b
Średnio / Mean	76,5 ^a	88,9 ^a	82,7
Średnica (mm) Diameter (mm)			
Mineralne (M) Mineral	18,8	18,0	18,4 ^a
Organiczne (O) Organic	17,7	19,3	18,5 ^a
Średnio / Mean	18,2 ^a	18,6 ^a	18,4
Liczba liści na 1 roślinie (szt.) Number of leaves on a plant (pcs)			
Mineralne (M) Mineral	48,2	47,5	47,9 ^a
Organiczne (O) Organic	57,2	73,0	65,1 ^b
Średnio / Mean	52,7 ^a	60,2 ^a	56,5
Średnia powierzchnia liścia (cm ²) Mean area of a leaf (cm ²)			
Mineralne (M) Mineral	32,4	29,7	31,1 ^a
Organiczne (O) Organic	47,1	38,9	43,0 ^b
Średnio / Mean	39,8 ^a	34,3 ^b	37,0

Objaśnienia: ^{a,b} – te same litery – dla danego parametru – oznaczają brak istotnych różnic ($p < 0,05$)

Explanations: ^{a,b} – data with the same letter – for a particular parameter – do not differ significantly ($p < 0.05$)

Efekty ściółkowania w badaniach własnych nie były zauważalne w pierwszym roku uprawy szkółkarskiej lipy [27]. Hilszczańska i Sierota [11] – na podstawie badań autorów zagranicznych: Thomsona, Stenströma i Eka – tłumaczą to tym, iż niektóre grzyby mikoryzowe (*Hebeloma*, *Laccaria*, *Thelephora*) mogą w początkowej fazie zawiązywania mikoryzy hamować rozwój roślin.

Polowe szkółki leśne na skutek wieloletniego intensywnego użytkowania ulegają często degradacji, polegającej m.in. na obniżeniu aktywności biologicznej gleb. Wskaźnikami tej aktywności najczęściej są: aktywność enzymatyczna, oddechowa, biomasa drobnoustrojów, skład i liczebność drobnoustrojów [5, 22]. W niniejszych badaniach podjęto pró-

bę oceny aktywności biologicznej za pomocą metody bioindykacji, a jako organizmy wskaźnikowe zaproponowano bardzo liczne i różnorodne w glebach leśnych roztocze (Acari) – w szczególności saprofagiczne mechowce (Oribatida). Dotychczas roztocze te okazały się m. in. dobrymi bioindykatorami stopnia rozkładu i biologicznych właściwości próchnic leśnych [32] oraz wielu oddziaływań antropogenicznych [1, 13].

Tabela 2. Parametry wzrostu trzyletnich sadzonek lipy drobnolistnej
Table 2. Parameters of three-year old littleleaf linden seedling growth

Nawożenie Fertilization	Ściółkowanie Mulching		Średnio Mean
	bez ściółkowania (C) without mulching	ściółkowanie (S) mulching	
Wysokość sadzonki (cm) Height of seedling (cm)			
Mineralne (M) Mineral	79,5	83,7	81,6 ^a
Organiczne (O) Organic	88,5	104,0	96,2 ^b
Średnio / Mean	84,0 ^a	93,8 ^b	88,9
Średnica (mm) Diameter (mm)			
Mineralne (M) Mineral	20,0	20,8	20,4 ^a
Organiczne (O) Organic	19,5	23,1	21,3 ^a
Średnio / Mean	19,7 ^a	21,9 ^b	20,8
Liczba liści na 1 roślinie (szt.) Number of leaves on a plant (pcs)			
Mineralne (M) Mineral	74,3	76,8	75,5 ^a
Organiczne (O) Organic	85,0	99,3	92,1 ^b
Średnio / Mean	79,6 ^a	88,0 ^b	83,8
Średnia powierzchnia liścia (cm ²) Mean area of a leaf (cm ²)			
Mineralne (M) Mineral	40,5	41,6	41,0 ^a
Organiczne (O) Organic	58,5	65,1	61,8 ^b
Średnio / Mean	49,5 ^a	53,3 ^b	51,4

Objaśnienia: ^{a,b} – te same litery – dla danego parametru – oznaczają brak istotnych różnic ($p < 0,05$)

Explanations: ^{a,b} – data with the same letter – for a particular parameter – do not differ significantly ($p < 0.05$)

W uprawach szkółkarskich duże znaczenie ma fakt, że mechowce żerują na niektórych grzybach zaliczanych do ektomikoryzowych [30, 31] i mogą przyczyniać się do ich rozprzestrzeniania [33]. Zwierzęta glebowe żerując na grzybach stymulują ich wzrost [9, 10], mogą też za-

szczepiać glebę zarodnikami grzybów przez defekację i przenoszenie ich na nowe substraty [18].

Różnorodność biologiczną środowiska glebowego należy odpowiednio kształtować np. przez stosowanie różnych zabiegów melioracyjnych. Ściółkowanie oraz nawożenie organiczne można zaliczyć do tzw. zabiegów zoomelioracyjnych [40], które polegają na introdukcji lub reintrodukcji fauny glebowej oraz stwarzaniu dla niej odpowiednich warunków rozwoju.

W uprawie szkółkarskiej lipy drobnolistnej po przeprowadzeniu ściółkowania zagęszczenie roztoczy w latach 2009–2010 wyraźnie wzrosło i było wielokrotnie wyższe w porównaniu ze stanowiskiem nieściółkowanym i nawożonym mineralnie – MC (tab. 3) oraz z liczebnością odnotowaną wiosną 2009 r. [27]. Z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, iż obydwa czynniki zastosowane w doświadczeniu pozytywnie kształtowały liczebność wymienionej grupy stawonogów glebowych. W zgrupowaniach roztoczy na powierzchniach nieściółkowanych dominowały Actinedida, stanowiąc na stanowiskach MC i OC odpowiednio 91 i 53% wszystkich roztoczy. Wyraźnie mniej liczne w tych wariantach doświadczenia były Oribatida, Mesostigmata, Tarsonemida i Acaridida. Po zastosowaniu ściółkowania, na odpowiednich powierzchniach, przedstawiony układ liczebności roztoczy uległ zmianie: w zgrupowaniach tych stawonogów wyraźnie zaczęły dominować saprofagiczne mechowce (53–70%).

Interesującym wskaźnikiem biocenotycznym, świadczącym o stabilności i stopniu rozwoju ekosystemów, jest stosunek liczebny Oribatida do Actinedida [7, 41]. Wartości tego wskaźnika poniżej 1 są typowe dla pól uprawnych, a powyżej tej liczby dla środowisk bardziej stabilnych – np. półnaturalnych łąk czy lasów. Stosunek liczebny Oribatida do Actinedida na powierzchniach MC i OC był niski: odpowiednio 0,06 i 0,26. Po przeprowadzeniu ściółkowania znacznie wzrósł, a najwyższą wartość (2,52) uzyskał na stanowisku ściółkowanym i nawożonym kompostem z higienizowanych osadów ściekowych (OS). Dla przykładu wskaźnik ten w około 20-letnich młodnikach sosnowych, w strefach poza oddziaływaniem zanieczyszczeń przemysłowych, wynosił od 1,9 do 5,8 [13], a w glebie na rekultywowanym terenie popolygonowym, podobnie jak w badanej szkółce na stanowiskach nieściółkowanych, był niski – 0,04–0,52 [14].

Tabela 3. Zagęszczenie roztoczy (N w tys. osobn. \cdot m⁻²) oraz liczba gatunków (S), wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona (H), średnia liczba gatunków (s), % stadiów młodocianych (% juv) mechowców w badanych wariantach doświadczenia

Table 3. Abundance (N in 1000 individuals \cdot m⁻²) of mites, number species (S), average number of species (s), Shannon index (H), % of juvenile Oribatida forms (% juv) in studied variants

Wskaźnik – Takson Index – Taxon	Wariant doświadczenia Variant of the experiment				Wpływ nawożenia (p) Fertiliza- tion effect (p)	Wpływ ściółkowa- nia (p) Mulching effect (p)
	MC	MS	OC	OS		
N – Acaridida	–	0,05 ^a	0,02 ^a	–	ns	ns
N – Actinedida	2,39 ^a	5,49 ^a	2,89 ^a	3,10 ^a	0,049	ns
N – Mesostigmata	0,05 ^a	0,51 ^a	1,75 ^b	0,30 ^a	ns	ns
N – Oribatida	0,15 ^a	6,97 ^b	0,74 ^a	7,80 ^c	0,002	<0,001
N – Tarsonemida	0,03 ^a	0,06 ^a	0,06 ^a	0,05 ^a	ns	ns
N – Acari (razem – total)	2,62 ^a	13,08 ^b	5,45 ^a	11,22 ^b	0,016	<0,001
S – Oribatida	2	16	5	16	–	–
s – Oribatida	0,15 ^a	1,30 ^b	0,40 ^a	1,75 ^c	0,004	<0,001
H – Oribatida	0,61	0,65	0,57	0,74	–	–
% juv – Oribatida	30	69	61	39	–	–

Objaśnienia: ^{a,b,c} – te same litery oznaczają brak istotnych różnic ($p < 0,05$)

Explanations: ^{a,b,c} – data with the same letter do not differ significantly ($p < 0,05$)

Ogółem na badanym terenie odnotowano występowanie 23 gatunków mechowców (tab. 4). Na ściółkowanym stanowiskach MS i OS było ich najwięcej (16), najmniej gatunków stwierdzono na stanowisku nawożonym mineralnie (2), a w nawożonej organicznie glebie – 5 (tab. 3). Liczebność mechowców (N) oraz ich różnorodność gatunkowa (s) były korzystnie kształtowane przez ściółkowanie oraz nawożenie organiczne, co potwierdzono statystycznie. Analiza dynamiki liczebności

Oribatida w kolejnych terminach badań wyraźnie wskazuje na wzrost liczebności tego rzędu roztoczy, szczególnie w warunkach ściółkowania w połączeniu z nawożeniem organicznym – OS (rys. 2). Z kolei wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona (H) był na badanym terenie niski i stosunkowo wyrównany (0,57–0,74), niemniej jednak najwyższą wartość uzyskał w wariancie OS (tab. 3).

Najliczniejszym mechowcem w uprawie lipy na wszystkich stanowiskach był *Tectocephus velatus* (tab. 4). Wskaźnik dominacji D dla tego gatunku wahał się w przedziale od 70 do 88%. Dynamika liczebności *T. velatus* w latach 2009–2010, szczególnie na powierzchni OS, wskazuje na tendencję wzrostu liczebności jego populacji (rys. 2). Na drugim miejscu w hierarchii Oribatida była przeważnie *Oppiella nova* (stanowiska MC, OC, OS), a w wariancie MS *Oribatula tibialis* (tab. 4). Wymienione gatunki są pionierskimi, które można zaliczyć do tzw. „długodystansowców” utrzymujących się w zgrupowaniach przez dłuższy czas. *Oppiella nova* i *Tectocephus velatus* są partenogenetyczne i rozwijają się według strategii życiowej typu r [34, 36]. Ponadto wspomniane gatunki zaliczane są do grzybożerców [19, 24] i okazuje się, że mogą żerować na ektomikoryzach [25, 30], przyczyniając się do ich rozprzestrzeniania. Jest to istotne z punktu widzenia praktyki szkółkarskiej i roli mikoryz w produkcji sadzonek, szczególnie tych, które przeznaczają się na tzw. tereny trudne do zalesień, np. porolne i zdegradowane.

Uważa się, że zwierzęta glebowe mogą być wykorzystane w procesach regeneracji gleb dwojako: po pierwsze mogą przyspieszać metabolizm gleb, a po drugie mogą być wskaźnikami ich stanu biologicznego [8]. Zaproponowane w tych badaniach zabiegi wzbogacające glebę szkiełką leśnych – ściółkowanie próchnicą nadkładową pochodzącą z boru świeżego oraz nawożenie kompostem wyprodukowanym na bazie higienizowanych osadów ściekowych – poza pozytywnym wpływem na wzrost sadzonek lipy drobnolistnej, wyraźnie korzystnie oddziaływały na liczebność oraz różnorodność gatunkową mechowców, co może świadczyć o wzroście ogólnej aktywności biologicznej gleb poddanych tym zabiegom oraz zainicjowaniu procesów ich rewitalizacji.

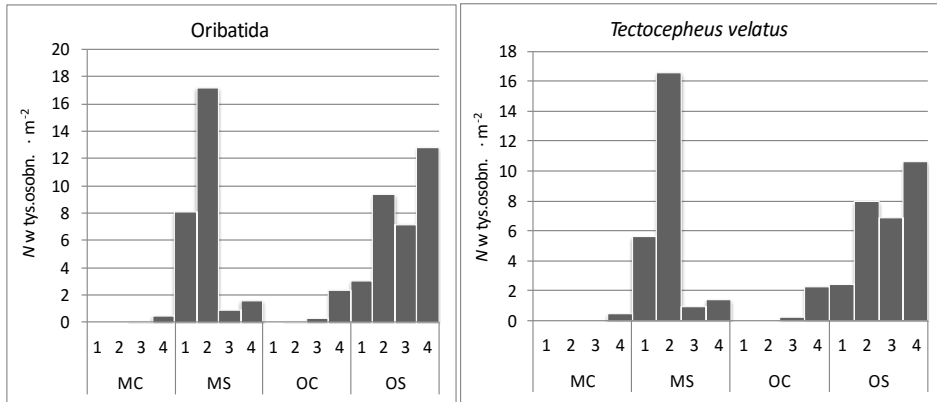
Tabela 4. Zagęszczenie gatunków mechowców (N w tys. osobn. \cdot m⁻²) w badanych wariantach doświadczenia

Table 4. Species abundance of oribatid mites (N in 1000 individuals \cdot m⁻²) under different variants of the experiments

Gatunek Species	Wariant doświadczenia Variant of the experiment			
	MC	MS	OC	OS
<i>Brachychthonius</i> sp.	–	–	–	0,02
<i>Carabodes minusculus</i> Berlese	–	0,06	–	–
<i>Carabodes subarcticus</i> Trägårdh	–	0,02 ^a	–	0,09 ^a
<i>Eremaeus oblongus</i> C.L. Koch	–	0,03 ^a	–	0,06 ^a
<i>Heminonhrus peltifer</i> (C.L.Koch)	–	–	–	0,02
<i>Liochthonius</i> sp.	–	0,08	–	–
<i>Microtritia minima</i> (Berlese)	–	0,02	–	–
<i>Odontocephus elongatus</i> (Michael)	–	–	–	0,02
<i>Oppiella neerlandica</i> (Oudemans)	–	0,03	–	–
<i>Oppiella nova</i> (Oudemans)	0,05 ^a	0,15 ^a	0,06 ^a	0,51 ^b
<i>Oribatula tibialis</i> (Nicolet)	–	0,26 ^a	0,02 ^a	0,17 ^a
<i>Pergalumna nervosa</i> (Berlese)	–	0,05 ^a	–	0,08 ^a
<i>Phthiracarus longulus</i> (C.L.Koch)	–	0,02	–	–
<i>Punctoribates</i> sp.	–	0,05	–	–
<i>Quadroppia quadricarinata</i> (Michael)	–	–	–	0,02
<i>Ramusella mihelcici</i> (Perez-Íñigo)	–	–	0,02	–
<i>Rhysotritia duplicata</i> (Grandjean)	–	0,02 ^a	–	0,03 ^a
<i>Scheloribates pallidulus</i> (C.L.Koch)	–	–	–	0,02
<i>Scutovertex sculptus</i> Michael	–	0,05 ^a	0,02 ^a	0,02 ^a
<i>Suctobelba</i> sp.	–	0,05 ^a	–	0,09 ^a
<i>Tectocephus velatus</i> (Michael)	0,11 ^a	6,11 ^b	0,63 ^a	6,59 ^b
<i>Trichoribates trimaculatus</i> (C.L. Koch)	–	–	–	0,06
<i>Tropacarus carinatus</i> (C.L. Koch)	–	0,02 ^a	–	0,03 ^a

Objaśnienia: ^{a,b,c} – te same litery oznaczają brak istotnych różnic ($p < 0,05$)

Explanations: ^{a,b,c} – data with the same letter do not differ significantly ($p < 0,05$)



Rys. 2. Dynamika liczebności mechowców i gatunku *Tectocepheus velatus* (N w tys. osobn. \cdot m^{-2}) w kolejnych terminach badań (1 – wiosna 2009, 2 – jesień 2009, 3 – wiosna 2010, 4 – jesień 2010)

Fig. 2. Abundance dynamics of oribatid mites and species *Tectocepheus velatus* (N in 1000 individuals \cdot m^{-2}) in successive seasons of the experiments (1 – spring 2009, 2 – autumn 2009, 3 – spring 2010, 4 – autumn 2010)

4. Wnioski

1. Dwu- i trzyletnie sadzonki lipy drobnolistnej na poletkach nawożonych kompostem były wyższe od rosnących na poletkach z nawożeniem mineralnym oraz cechowały się większą liczbą i powierzchnią liści.
2. Przeprowadzone – we wrześniu pierwszego roku uprawy – ściółkowanie nie oddziaływało istotnie (poza zmniejszeniem powierzchni liścia) na parametry wzrostu sadzonek dwuletnich, natomiast w trzecim roku uprawy szkółkarskiej – istotnie wpłynęło ono na wszystkie oznaczane parametry wzrostu sadzonek.
3. W trzecim roku uprawy szkółkarskiej stwierdzono udowodnioną statystycznie interakcję obu czynników doświadczenia w kształtowaniu wszystkich (poza wysokością roślin) parametrów wzrostu sadzonek lipy.
4. W glebie uprawy po przeprowadzeniu ściółkowania zagęszczenie roztoczy wielokrotnie wzrosło. Z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, iż obydwa czynniki, ściółkowanie i nawożenie kompostem przygotowanym na bazie komunalnych osadów ściekowych, pozy-

tywnie kształtowały liczebność roztoczy, w szczególności mechowców, a także ich różnorodność gatunkową.

5. Najliczniejszym mechowcem w uprawie lipy na wszystkich stanowiskach był *Tectocepheus velatus*. Dynamika liczebności tego mechowca w dwuletnim okresie badań, zwłaszcza w wariancie z łącznym zastosowaniem ściółkowania i nawożenia organicznego, wskazuje na tendencję wzrostu liczebności jego populacji.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania pracownikom Nadleśnictwa Bydgoszcz za umożliwienie przeprowadzenia badań i cenną pomoc w trakcie realizacji doświadczenia oraz Firmie „Agromis” – Rafał Piasecki z Łochowa k/Bydgoszczy za przygotowanie kompostu.

Literatura

1. **Axelsson B., Lohm U., Lundkvist H., Persson T., Sköglund J., Wiren A.:** *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 (1973).
2. **Berthet P., Gerard G.:** *A statistical study of microdistribution of Oribatei (Acari) I. The distribution pattern.* Oikos, 16, 214–227 (1965).
3. **Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L.:** *Kompostowanie biomasy oraz osadów ściekowych na potrzeby produkcji leśnej.* Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Nauki Techniczne – Inżynieria Środowiska, 16(II), 288–293 (2003).
4. **Boruszko D.:** *Badania i ocena wartości nawozowej kompostów i wermikompostów.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1417–1428 (2011).
5. **Brzezińska M.:** *Aktywność biologiczna oraz procesy jej towarzyszące w glebach organicznych nawadnianych oczyszczonymi ściekami miejskimi (badania polowe i modelowe).* Acta Agrophysica 131, Rozprawy i Monografie 2006 (2), 2006.
6. **Gawroński K.:** *Problematyka zalesiania gruntów marginalnych terenów górskich.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2, 153–166 (2004).
7. **Gulvik M.E.:** *Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: a review.* Pol. J. Ecol., 55 (3), 415–440 (2007).
8. **Haimi J.:** *Decomposer animals and bioremediation of soils.* Environmental Pollution, 107, 233–238 (2000).

9. **Hanlon R.D., Anderson J.M.:** *The effects of Collembola grazing on microbial activity in decomposing leaf litter.* Oecologia, 38, 93–99 (1979).
10. **Hanlon R.D., Anderson J.M.:** *The influence of macroarthropod feeding activities on microflora in decomposing leaf litter.* Soil Biology & Biochemistry, 12, 255–261 (1980).
11. **Hilszczańska D., Sierota Z.:** *Wpływ inokulum mikoryzowego grzyba *Thelephora terrestris* na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. II. Badania polowe.* Sylwan, 2, 20–28 (2006).
12. **Ibanez I., Schupp E.W.:** *Effects of litter, soil surface condition and microhabitat on *Cercocarpus ledifolius* Nutt. seedling emergence and establishment.* Journal of Arid Environment, 52, 209–221 (2002).
13. **Klimek A.:** *Wpływ zanieczyszczeń emitowanych przez wybrane zakłady przemysłowe na roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych, ze szczególnym uwzględnieniem mechowców (Oribatida).* Wydawnictwa Uczelniane ATR, Rozprawy, 99, Bydgoszcz 2000.
14. **Klimek A., Rolbiecki S.:** *Wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i występowanie roztoczy (Acari) glebowych na rekultywowanym terenie popolygonowym w Nadleśnictwie Żołędowo.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1, 249–262 (2011).
15. **Koreleski K.:** *Systematyka zabiegów sanacji gruntów ze szczególnym uwzględnieniem rekultywacji.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3/1, 5–15 (2006).
16. **Koreleski K.:** *Wstępna ocena wpływu lasów i zadrzewień na wartość gruntów ornych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2/1, 5–14 (2006).
17. **Leski T., Rudawska M., Aučina A., Skridaila A., Riepišas E., Pietras M.:** *Wpływ ściółki sosnowej i dębowej na wzrost sadzonek sosny i zbiorowiska grzybów mikoryzowych w warunkach szkółki leśnej.* Sylwan, 153(10), 675–683 (2009).
18. **Lussenhop J.:** *Mechanisms of microarthropod-microbial interactions in soil.* Advances in Ecological Research, 23, 1–33 (1992).
19. **Luxton M.:** *Studies on the oribatid mites of a Danish beech wood soil. I. Nutritional biology.* Pedobiologia, 12, 434–463 (1972).
20. **Magurran A.E.:** *Ecological diversity and its measurement.* Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey 1988.
21. **Marcinek J., Komisarek J.:** *Systematyka Gleb Polski, wydanie piąte.* Roczn. Glebozn., 62, 3, 144–150 (2011).
22. **Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis Z., Dudzińska M.:** *Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia wskaźnika żyzności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego.* Leśne Prace Badawcze, 3, 17–37 (2005).

23. **Pierzgalski E., Tyszka J., Boczoń A., Wiśniewski S., Jeznach J., Żakowicz S.:** *Wytyczne nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych*. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa 2002.
24. **Ponge I.F.:** *Succession of fungi and fauna during decomposition of needles in a small area of Scots pine litter*. Plant Soil, 138, 99–113 (1991).
25. **Remén C., Fransson P., Persson T.:** *Population responses of oribatids and enchytraeids to ectomycorrhizal and saprotrophic fungi in plant-soil microcosms*. Soil Biol. Biochem. 42, 978–985 (2010).
26. **Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Długosz J., Musiał M.:** *Wstępne badania nad wykorzystaniem kompostowanego osadu ściekowego i ekto-próchnicy leśnej do wzbogacania gleb w rocznym cyklu produkcji sadzonek buka zwyczajnego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 10, 219–243 (2011).
27. **Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Długosz J., Musiał M.:** *Wstępne badania nad wykorzystaniem kompostowanego osadu ściekowego i ekto-próchnicy do wzbogacania gleb w rocznym cyklu produkcji sadzonek lipy drobnolistnej (Tilia cordata Mill.)*. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus (w druku).
28. **Rolbiecki S., Rolbiecki R., Klimek A.:** *Wpływ mikronawodnień i nawożenia organicznego na produkcję jednorocznych sadzonek brzozy brodawkowatej (Betula verrucosa Ehrh) z udziałem zabiegu zoomielioracji*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 506, 345–353 (2005).
29. **Sayer E. J.:** *Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems*. Biol. Rev., 81, 1–31 (2006).
30. **Schneider K., Renker C., Maraun M.:** *Oribatid mite (Acari, Oribatida) feeding on ectomycorrhizal fungi*. Mycorrhiza, 16, 67–72 (2005).
31. **Schneider K., Renker C., Scheu S., Maraun M.:** *Feeding biology of oribatid mites: a minireview*. Phytophaga, XIV, 247–256 (2004).
32. **Seniczak S.:** *Fauna mechowców (Acari, Oribatei) jako indyktor biologicznych właściwości próchnic leśnych*. Prace Komisji Naukowej Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, V/37, 157–166 (1979).
33. **Setälä H.:** *Growth of birch and pine seedlings in relation to grazing by soil fauna on ectomycorrhizal fungi*. Ecology, 76, 6, 1844–1851 (1995).
34. **Siepel H.:** *Life – history tactics of soil microarthropods*. Biol. Fertil. Soils, 18, 263–278 (1994).
35. **Skolud P.:** *Zalesianie gruntów rolnych i nieużytków – poradnik właściciela*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, DGLP, Warszawa 2006.
36. **Skubała P., Gulvik M.:** *Pioneer oribatid mite communities (Acari: Oribatida) in natural (glacier foreland) and anthropogenic (post-industrial dumps) habitats*. Pol. J. Ecol., 53, 105–111 (2005).

37. **Sobczak R. (red.):** *Szółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe*. Wydawnictwo Świat, Warszawa 1999.
38. **Stachowski P., Markiewicz J.:** *Potrzeba nawodnień w centralnej Polsce na przykładzie powiatu kutnowskiego*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1453–1472 (2011).
39. **Stańczyk E.:** *Przydatność kompostów osadowych do sporządzania podłoży ogrodniczych*. W: *Kompostowanie i użytkowanie kompostu* (pod red. J. Siuty i G. Wasiak). I Konferencja Naukowo-Techniczna, Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin, 139–146 (1999).
40. **Szujecki A.:** *Ekologiczne aspekty odtwarzania ekosystemów leśnych na gruntach porolnych*. Sylwan, 3/12, 23–40 (1990).
41. **Werner M.R., Dindal D.L.:** *Effects of conversion to organic practices agricultural on soil biota*. Am. J. Altern. Agric., 5, 24–32 (1990).
42. **Zajączkowski K.:** *Dobór drzew i krzewów do zadrzewień na obszarach wiejskich*. IBL, Warszawa 2001.
43. **Żarski J., Dudek S.:** *Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w regionie Bydgoszczy*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 141–149 (2009).
44. **Żarski J.:** *Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, 29–37 (2011).

The Use of Compost from Sewage Sludge and Forest Ectohumus for Enrichment of Soils in the Nursery Cultivation of Littleleaf Linden (*Tilia cordata* Mill.)

Abstract

The influence of fertilization with the compost prepared from treated sewage sludge with bark additive and mulching with the fresh forest ectohumus on the soil conditions, chosen parameters of two- and three-year old littleleaf linden seedlings growth as well as the occurrence of soil mites (Acari) was investigated in the paper. The experiments were carried out in 2009–2010 at forest nursery Białe Błota (Forest District Bydgoszcz) on the rusty soil. The whole area of the experiment was irrigated with the use of stationary sprinkling machine. The soil was characterized by the alkaline reaction (pH in H₂O was in the range 7.2–7.4), the low content of available potassium and available phosphorus as well as the content of C-org from 35.7 to 38.4 g·kg⁻¹. The C:N ratio ranged from 14.3 to 14.9. Two- and three-year old seedlings of littleleaf linden grown

on plots fertilized with the compost were higher than those cultivated on plots with mineral fertilizer and they were also characterized by the higher number of leaves and the higher leaf area. Mulching – which was carried out in September of the first growing season – did not influence significantly on the growth parameters of two-year old seedlings (with the exception of the decrease in a leaf area). In the third growing season the mulching significantly influenced on all the seedling growth parameters tested, and – furthermore – there was also a significant interaction between the both studied treatments in shaping of the all growth parameters (with the exception of the plant height) of littleleaf linden seedlings. The density of mites in the soil was distinctly increased after the mulching treatment, and it was many fold higher as compared to the control plot MC. On the base of the analysis it was found that the mulching and the fertilization with compost prepared from municipal sewage sludge influenced positively on the abundance of mites, especially oribatid mites as well as on their species diversity. *Tectocephus velatus* was the most abundant species among the oribatid mites on all the stands of littleleaf linden cultivation. Abundance dynamics of this oribatid species in the two-years period of the study, especially on the variant with mulching and organic fertilization, indicates the upward trend in the number of its population.