INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/I/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 147–161
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

WYBRANE EFEKTY REWITALIZACJI TERENU POPOLIGONOWEGO W NADLEŚNICTWIE ŻOŁĘDOWO

Andrzej Klimek, Stanisław Rolbiecki, Jacek Długosz
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

SELECTED EFFECTS OF REVITALIZATION OF THE RECLAIMED POST-MILITARY AREA AT FOREST DISTRICT ŻOŁĘDOWO

Streszczenie

Celem badań było porównanie wzrostu brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) i sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) oraz stanu akarofauny (*Acari*) glebowej w 2-letnich uprawach na rekultywowanym terenie popoligonowym w Nadleśnictwie Żołędowo. Do zalesień wykorzystano 2-letnie sadzonki brzozy i sosny wyprodukowane w szkółkach polowych z zastosowaniem ściółkowania oraz metodą tradycyjną. Badania przeprowadzono w latach 2010-2011 na glebie rdzawej o uziarnieniu piasku słabogliniastego (texture loamy sand) w poziomie powierzchniowym i odczynie bardzo kwaśnym. Doświadczenie obejmowało następujące warianty: BrzC – uprawa brzozy zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi tradycyjnie (bez ściółkowania), BrzS – uprawa brzozy zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi z udziałem ściółkowania, SoC – uprawa sosny zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi tradycyjnie (bez ściółkowania), SoS – uprawa sosny zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi z udziałem ściółkowania. Znacznie lepszą udatność – przeprowadzonych z wykorzystaniem 2-letnich sadzonek – nasadzeń na terenie popoligonowym stwierdzono w uprawie sosny i wyniosła ona ponad 96%. Wystąpiło korzystne oddziaływanie przeprowadzonego w szkółce zabiegu ściółkowania na kształtowanie się wskaźników wzrostu brzozy i sosny w rocznej oraz dwuletniej uprawie leśnej. Na rewitalizowanym terenie popoligonowym stwierdzono niską liczebność i różnorodność gatunkową glebowych roztoczy, co świadczy o małej aktywności biologicznej badanych gleb. Stwierdzony – w dwuletnim okresie badań – wzrost liczebności i różnorodności gatunkowej mechowców (*Oribatida*) prognozuje zachodzące, aczkolwiek dość powolne, procesy rewitalizacji badanego terenu.

Słowa kluczowe: teren popoligonowy, rewitalizacja, sosna zwyczajna, brzoza brodawkowata, *Acari*, *Oribatida*

Summary

The aim of the study was to compare the growth of silver birch (Betula pendula Roth) and Scots pine (Pinus sylvestris L.) as well as the state of soil mites (Acari) in two-year cultivations on the reclaimed post-military area at Forest District Żołędowo. Afforestation was carried out with the use of two-year old birch and pine seedlings obtained from bare root nurseries (production with mulching and without mulching – traditional method). The experiments were conducted in 2010-2011 on Brunic Arenosols characterized by texture of loamy sand in the surface layer as well as by the strongly acid reaction. The experiments included the following variants: BrzC – birch cultivation which was afforested by the use of traditional seedlings (production of seedlings without mulching), BrzS – birch cultivation which was afforested by the use of seedlings produced with mulching, SoC – pine cultivation which was afforested by the use of traditional seedlings (production of seedlings without mulching), SoS – pine cultivation which was afforested by the use of seedlings produced with mulching. The cultivation of Scots pine was characterized by the better efficiency of planting (over 96 %). The mulching treatment – conducted at the nursery – had the positive influence on the growth indices of the birch and the pine in the first and in the second year of cultivation. The reclaimed post-military area was characterized by low abundance of soil mites and their low species diversity which indicates the low biological activity of the studied soils. It was found that during the two years of the study the abundance of oribatid mites (Oribatida) and their species diversity increased. This trend indicates slow process of revitalization of the studied area.

Key words: *post-military area, revitalization, Scots pine, silver birch, Acari, Oribatida*

WPROWADZENIE

Na zarządzanych obecnie przez Lasy Państwowe terenach, na których w przeszłości funkcjonowały poligony i inne obiekty wojskowe występuje ogromny problem związany z degradacją środowiska przyrodniczego. Oddane przez wojsko tereny popoligonowe często wymagają kompleksowych działań rekultywacyjnych, które przywrócą im funkcje użytkowe i przyrodnicze. W Nadleśnictwie Żołędowo na terenie byłego poligonu wojskowego Bydgoszcz-Jachcice prace związane z jego rewitalizacją rozpoczęto w 2006 r. Przed założeniem upraw leśnych na rekultywowany teren nawieziono warstwę gruntu pozyskanego z różnych gleb, głównie leśnych, a na wybranych powierzchniach wysiano łubin [Klimek i in. 2009].

O dobrej udatności upraw leśnych na glebach zdegradowanych w znacznej mierze decyduje przygotowanie odpowiedniego materiału sadzeniowego, odpornego na działanie czynników szkodotwórczych, m.in. patogenicznych grzybów [Oszako i Rakowski 2000]. Uważa się, że sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) powinna być podstawowym gatunkiem wprowadzanym na grunty słabe [Kocjan 1997]. Do tego celu doskonale nadaje się też brzoza brodawkowata (*Betula pen-*

dula Roth). Brzoza zaliczana jest do gatunków pionierskich, szybko zasiedlających otwarte tereny [OECD 2003], znany jest też pozytywny wpływ tego gatunku na biologiczne właściwości gleby [Klimek i in. 2009].

Warto pamiętać, iż jednym z warunków powodzenia zalesień na tzw. gruntach trudnych jest stosowanie sadzonek zaopatrzonych w obfitą i zróżnicowaną mikoryzę [Aleksandrowicz-Trzcińska 2004, Grzywacz 2009]. W glebach szkółek leśnych, szczególnie tych intensywnie użytkowanych, stan edafonu może być zakłócony, co w konsekwencji obniża jakość produkowanych sadzonek. Polepszenie biologicznego stanu gleb może odbywać się przez wzbogacanie szkółki w materię organiczną, np. przez ściółkowanie ektopróchnicą leśną [Klimek i in. 2011]. Szołtyk i Hilszczańska [2003] twierdzą, że wzbogacanie gleb szkółek leśną ściółką wpływa na dochodzący niekiedy nawet do 80% wzrost mikoryzacji sadzonek.

Jako wskaźniki aktywności biologicznej gleb najczęściej proponuje się: aktywność enzymatyczną, oddechową, biomasę drobnoustrojów, skład i liczebność drobnoustrojów [Brzezińska 2006, Olszowska i in. 2005]. Znacznie rzadziej przy określaniu stanu biologicznego gleb bierze się pod uwagę skład gatunkowy i liczebność fauny. Należy jednak pamiętać, iż ta część edafonu, szczególnie w glebach leśnych, spełnia bardzo istotne dla całego ekosystemu funkcje. W leśnych glebach żyje bardzo liczna akarofauna (*Acari*), zwłaszcza mechowce (*Oribatida*), które stanowią ok. 70% wszystkich roztoczy [Klimek 2000]. Roztocze te przez wielu autorów uważane są za dobre bioindykatory stanu środowiska [Axelsson i in. 1973, Seniczak 1979, Klimek 2000], a ponadto mogą być wektorami lub stymulować wzrost wielu mikroorganizmów, w tym bardzo pożądanych w środowisku grzybów saprotroficznych i tworzących mikoryzy [Renker i in. 2005, Schneider i in. 2004, 2005].

Celem niniejszych badań była analiza wybranych właściwości upraw sosny zwyczajnej i brzozy brodawkowatej na terenie rewitalizowanego byłego poligonu wojskowego Bydgoszcz-Jachcice. W dwuletnim cyklu badań analizowano: warunki glebowe, wzrost roślin oraz występowanie akarofauny glebowej. Do zalesień użyto dwuletnich sadzonek wyprodukowanych z zastosowaniem zabiegu ściółkowania lub metodą tradycyjną (bez ściółkowania).

MATERIAŁ I METODY

Opis doświadczenia. Badania przeprowadzono w latach 2010-2011 na terenie byłego poligonu wojskowego w Bydgoszczy-Jachcicach (Leśnictwo Jagodowo, Nadleśnictwo Żołędowo), w uprawach sosny zwyczajnej i brzozy brodawkowatej założonych wiosną 2010 r. na potencjalnym siedlisku boru świeżego. Do nasadzeń na terenie popoligonowym wykorzystano 2-letnie sadzonki pochodzące ze szkółki leśnej Bielawy należącej do Nadleśnictwa Do-

brzejewice. Sadzonki pochodziły z doświadczenia prowadzonego przez autorów w latach 2008-2009 na terenie wymienionej szkółki [Rolbiecki i in. 2010, 2011].

Doświadczenie obejmowało następujące warianty: BrzC – uprawa brzozy zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi tradycyjnie (bez ściółkowania), BrzS – uprawa brzozy zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi z udziałem ściółkowania, SoC – uprawa sosny zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi tradycyjnie (bez ściółkowania), SoS – uprawa sosny zalesiona sadzonkami wyprodukowanymi z udziałem ściółkowania. Pojedyncze poletko doświadczalne obejmowało 5 rzędów sadzonek i miało wymiary w uprawie sosny 7,5 m x 16 m, a w uprawie brzozy 7,5 m x 32 m. Brzozę posadzono w więźbie 1,5 m x 1,6 m, a sosnę 1,5 m x 0,8 m.

Warunki klimatyczne w latach 2010-2011. Według danych Zakładu Agrometeorologii UTP w Bydgoszczy, półrocze letnie (okres wegetacyjny) 2010 r. w rejonie Bydgoszczy charakteryzował się średnią temperaturą powietrza wyższą o 0,5°C od średniej wieloletniej (tab. 1). Zanotowano dwa miesiące o temperaturze zbliżonej do normy (kwiecień i czerwiec), dwa umiarkowanie chłodne (maj i wrzesień), umiarkowanie ciepły sierpień oraz anomalnie ciepły lipiec. Szczególnie wysoką temperaturą (najwyższą w wieloleciu) cechowała się druga dekada lipca.

Tabela 1. Temperatura powietrza (t) okresu wegetacji w latach 2010-2011 (°C)
Table 1. Air temperature (t) of the vegetation period in the years 2010-2011 (°C)

Wyszczególnienie Specification	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2010							
1 dekada First decade	6,1	9,9	17,5	20,6	19,2	12,2	x
2 dekada Second decade	7,8	11,3	15,1	24,7	20,2	12,0	x
3 dekada Third decade	9,4	13,0	17,5	19,7	16,0	12,3	x
Średnio $_{1-3}$ Mean $_{1-3}$	7,8	11,5	16,7	21,6	18,4	12,2	14,7
Klasyfikacja wg Lorenc Classification acc. to Lorenc	Normalny Normal	Umiark. chłodny Moderately cool	Normalny Normal	Anomal. Ciepły Anomalously warm	Umiark. ciepły Moderately warm	Umiark. chłodny Moderately cool	Umiark. ciepły Moderately warm

Wyszczególnienie Specification	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2011							
1 dekada First decade	9,4	9,2	19,5	17,0	18,2	15,0	x
2 dekada Second decade	8,6	14,8	16,5	19,0	17,4	15,0	x
3 dekada Third decade	13,5	16,3	17,2	16,7	17,6	12,8	x
Średnio $_{1-3}$ Mean $_{1-3}$	10,5	13,5	17,7	17,5	17,7	14,3	15,2
Klasyfikacja wg Lorenc Classification acc. to Lorenc	Anomal. ciepły Anomalo-usly warm	Normalny Normal	Ciepły Warm	Umiark. chłodny Moderately cool	Normalny Normal	Umiark. ciepły Moderately warm	Umiark. ciepły Modera-tely warm

Źródło: Zakład Agrometeorologii UTP

Okres wegetacyjny 2011 r. był – podobnie jak sezon poprzedniego roku – umiarkowanie ciepły. Anomalnie ciepły był kwiecień, umiarkowanie ciepły wrzesień, ciepły czerwiec, zaś za normalne uznać należy maj i sierpień. Umiarkowanie chłodny był lipiec.

Półrocze letnie (okres wegetacji) 2010 r. należało do skrajnie wilgotnych pod względem opadów atmosferycznych (tab. 2). Jednak rozkład opadów w poszczególnych jego miesiącach i dekadach był bardzo nierównomierny. Po skrajnie wilgotnym maju nastąpił bardzo suchy czerwiec.

Tabela 2. Opady atmosferyczne (P) okresu wegetacji w latach 2010-2011 (mm)
Table 2. Rainfall amounts (P) of the vegetation period in the years 2010-2011 (mm)

Wyszczególnienie Specification	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2010							
1 dekada First decade	20,3	22,0	9,0	2,4	81,0	12,8	X
2 dekada Second decade	2,5	48,2	8,5	4,8	12,5	19,5	X
3 dekada Third decade	11,0	22,4	0,6	100,2	57,2	42,4	X
Σ_{1-3} (2010)	33,8	92,6	18,1	107,4	150,7	74,7	477,3
% normy % of norm	122	218	34	150	293	183	166
Klasyfikacja RPI wg Kaczorowskiej Classification RPI acc. to Kaczorowska	Przeciętny Average	Skrajnie wilgotny Extremely wet	Bardzo suchy Very dry	Wilgotny Wet	Skrajnie wilgotny Extremely wet	Bardzo wilgotny Very wet	Skrajnie wilgotny Extremely wet

Wyszczególnienie Specification	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2011							
1 dekada First decade	12,8	7,1	52,0	48,3	18,8	14,2	X
2 dekada Second decade	0,7	24,2	17,0	59,6	35,3	22,8	X
3 dekada Third decade	0	7,1	31,8	24,6	13,6	0	X
Σ_{1-3} (2011)	13,5	38,4	100,8	132,5	67,7	37,0	389,9
% normy % of norm	50	77,9	190,9	189,8	108,1	80,4	126,8
Klasyfikacja RPI wg Kaczorowskiej Classification RPI acc. to Kaczorowska	Suchy Dry	Przeciętny Average	Bardzo wilgotny Very wet	Bardzo wilgotny Very wet	Przeciętny Average	Przeciętny Average	Bardzo wilgotny Very wet

Źródło: Zakład Agrometeorologii UTP

Okres posuszny utrzymywał się także przez dwie pierwsze dekady lipca. Dalsze dekady okresu wegetacji w 2010 r. cechowały nadmierne opady atmosferyczne, zwłaszcza III dekadę lipca oraz I i III dekadę sierpnia. Niedobory opadów atmosferycznych wystąpiły w bardzo suchym czerwcu i przez dwie pierwsze dekady lipca.

Zgodnie z klasyfikacją Kaczorowskiej [1962] sezon wegetacyjny 2011 r. trzeba określić jako bardzo wilgotny. Okres ten cechował się przy tym nierównomiernym rozkładem opadów w poszczególnych miesiącach. Bardzo wilgotne były czerwiec i lipiec, natomiast przeciętne maj, sierpień i wrzesień. Ubogi w opady był kwiecień (50% normy). Niedobory opadów wystąpiły w drugiej i trzeciej dekadzie kwietnia oraz pierwszej maja, a także w trzeciej dekadzie września.

Warunki glebowe. Doświadczenie zlokalizowano na glebie rdzawej (Brunic Arenosols wg FAO-WRB 2006/2007), którą można zaliczyć do gatunku piasek słabo gliniasty na piasku luźnym (ps·pl). Pod względem uziarnienia poziom powierzchniowy zaliczono do piasku słabo gliniastego. Zawartość frakcji ilastej mieściła się w zakresie 4-6%. Zawartość węgla organicznego mieściła się w zakresie 12,6-14,8 g · kg^{-1}. Poziom powierzchniowy tej gleby charakteryzował się odczynem bardzo kwaśnym (pH w 1M KCl 4,10-4,56), niską zawartością fosforu i bardzo niską potasu przyswajalnego.

Pomiary wzrostu sosny. Pomiary wybranych wskaźników wzrostu wykonano po zakończeniu sezonu wegetacyjnego w pierwszym i drugim roku badań. W uprawach brzozy i sosny wyznaczono wysokość roślin (cm) oraz średnicę pędu głównego – u podstawy (mm). Dodatkowo – tylko u sosny – określono: sumę długości przyrostów pędów bocznych ostatniego okółka (cm), liczbę tych przyrostów w ostatnim okółku (szt.) i średnią długość pojedynczego przyrostu

(cm). Pomiary te wykonano na 12 roślinach każdego wariantu doświadczenia. Wyznaczono również udatność nasadzenia brzozy i sosny na każdym poletku, licząc liczbę wypadów (w szt.) przypadającą na wszystkie rośliny każdego z wariantów doświadczenia.

Badania akarologiczne. Próbki gleby do badań akarologicznych pobierano w latach 2010-2011 czterokrotnie (wiosną – pod koniec maja oraz jesienią – w ostatniej dekadzie października), z każdej powierzchni doświadczalnej w 10 powtórzeniach. Ogółem z jednego wariantu doświadczenia pobrano 40 próbek gleby, każda z 17 cm^2 × 3 cm głębokości. Roztocze wypłaszano przez 7 dni w aparatach Tullgrena, a następnie konserwowano i preparowano. Do gatunku lub rodzaju oznaczono mechowce, łącznie ze stadiami młodocianymi. Pozostałe roztocze oznaczono do rzędów. Przedmiotem analizy było 1912 *Acari*, w tym 777 *Oribatida*. Średnie zagęszczenie (*N*) roztoczy podano w przeliczeniu na 1 m^2 gleby, a różnorodność gatunkową mechowców wyrażono za pomocą liczby gatunków (*S*), średniej liczby gatunków w próbce (*s*) oraz wskaźnika różnorodności gatunkowej Shannona. Obliczenia statystyczne przeprowadzono za pomocą programu Statistica (ANOVA) – istotność różnic weryfikowano stosując analizę wariancji (test post-hoc Tukey HSD). Przed analizą statystyczną dane liczbowe poddano logarytmowaniu – ln(x+1) [Berthet i Gerard 1965].

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki klimatyczne. Opady okresu letniego – ich wielkość i przebieg – odgrywają dużą rolę w młodych nasadzeniach sosny, ponieważ zużywa ona wtedy ponad ¾ swego rocznego zapotrzebowania [Bac i Ostrowski 1969]. Opady atmosferyczne w okresach wegetacyjnych lat 2010-2011 były znacznie wyższe od zarejestrowanych w latach 2008-2009 [Klimek i in. 2009, Klimek i Rolbiecki 2011]. Na podstawie cytowanych przez Baca i Ostrowskiego [1969] 5-letnich wyników z Doświadczalnej Stacji Leśnej w Eberswalde szacuje się, że ewapotranspiracja młodej uprawy sosny (wiek 3-7 lat) wynosi w kwietniu 41 mm, w maju 63,9 mm, w czerwcu 58,6 mm, w lipcu 61,5 mm, w sierpniu 61,1 mm i we wrześniu 48,4 mm. Z porównania tych liczb z danymi dla własnego doświadczenia wynika, że mniejsze (od podanych norm) ilości opadów wystąpiły w obu latach w kwietniu oraz czerwcu 2010 i wrześniu 2011. Sumy opadów wszystkich pozostałych miesięcy półrocza letniego przewyższały wartości ewapotranspiracji sosny. Z kolei w 6-letnich holenderskich doświadczeniach lizymetrycznych z młodymi drzewkami stwierdzono, że parowanie terenowe (ewapotranspiracja) – przy opadach 791 mm – wyniosło dla drzewostanu liściastego 266 mm, zaś iglastego 271 mm.

Charakterystyka wzrostu brzozy i sosny. Najczęściej rozpatrywane elementy biometryczne – wysokość i grubość (średnica) – wskazujące na wielkość biomasy [Orzeł 2007], były u drzewek brzozy i sosny w obu sezonach wegeta-

cyjnych większe na stanowiskach S, gdzie zastosowano sadzonki wyprodukowane z udziałem ściółkowania (tab. 3). Przy czym istotne różnice – w odniesieniu do stanowisk C – stwierdzono w pierwszym roku we wzroście brzozy, oraz w drugim – w średnicy sosny. Rośliny sosny rosnącej na stanowiskach S cechowały się także większą liczbą przyrostów bocznych ostatniego okółka oraz wyższą sumą ich długości.

Tabela 3. Wzrost brzozy i sosny w badanych wariantach doświadczenia w latach 2010 i 2011

Table 3. Growth of birch and pine in studied variants of the experiment in 2010-2011

Wskaźniki wzrostu roślin Indices of the plant growth	Rok Year	Wariant doświadczenia Variant of the experiment			
		BrzC	BrzS	SoC	SoS
Wysokość (cm) Height	2010	90,08[a]	92,01[a]	32,33[a]	32,67[a]
	2011	103,33[a]	118,75[a]	42,53[a]	47,50[b]
Średnica (mm) Diameter	2010	8,06[a]	9,77[b]	7,43[a]	8,02[a]
	2011	13,25[a]	14,29[a]	10,98[a]	12,42[a]
Liczba przyrostów (szt.) Number of shoots (pcs)	2010	-	-	4,33[a]	5,83[b]
	2011	-	-	4,83[a]	5,17[a]
Suma przyrostów pędów bocznych ostatniego okółka (cm)	2010	-	-	44,58[a]	60,92[b]
	2011	-	-	40,95[a]	44,63[a]
Średnia długość 1przyrostu Mean length of a shoot (cm)	2010	-	-	10,05[a]	10,52[a]
	2011	-	-	8,48[a]	8,37[a]
Wypadanie roślin (%) Plant losses	2010	41,0	35,0	8,7	3,5
	2011	48,9	38,9	9,1	3,7

Objaśnienia: [a,b] – te same litery (dla danego roku i danej cechy) oznaczają brak istotnych różnic pomiędzy wariantem C i S; test Tukey'a ($p<0,05$) Explanations: [a,b] –the same letter (for the year and the index) means the insignificant difference between variants C and S; Tukey's test ($p<0,05$)
Źródło: opracowanie własne.

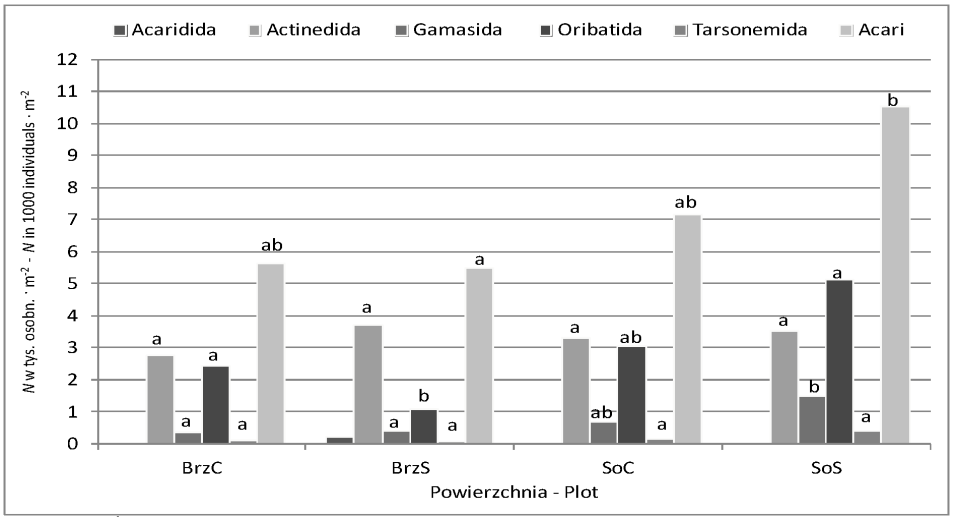
Uzyskane wyniki wskazują, że – przeprowadzony w szkółce – zabieg ściółkowania wpływał korzystnie na kształtowanie się rozpatrywanych wskaźników wzrostu uprawy brzozy i sosny. Potwierdza to tym samym wcześniejsze ustalenia z literatury [Orzeł 2007, Szabla 2007] oraz własne – z innych doświadczeń z sosną [Klimek i in. 2009, Klimek i Rolbiecki 2011], że różny sposób produkcji materiału sadzeniowego w szkółce jest czynnikiem wpływającym na późniejszy wzrost roślin po nasadzeniach i w rezultacie – na produkcję biomasy.

Występowanie roztoczy glebowych. Uważa się, że nawet w najbardziej zdegradowanych glebach możliwe jest życie wielu grup zwierząt, w tym roztoczy, a struktura ich zgrupowań może być wykładnikiem zmian zachodzących w inicjalnej glebie [Skubała 2002]. Sukcesja i aktywność organizmów glebowych, np. na surowych terenach poprzemysłowych, decyduje o kierunku i dynamice procesów glebotwórczych. Obecnie jako wskaźniki aktywności biologicznej gleb najczęściej proponuje się: aktywność enzymatyczną, oddechową, biomasę drobnoustrojów, skład i liczebność drobnoustrojów [Brzezińska 2006,

Olszowska i in. 2005]. Znacznie rzadziej przy określaniu stanu biologicznego gleb, z uwagi na trudności w oznaczaniu i małą liczbę specjalistów, bierze się pod uwagę skład gatunkowy i liczebność mezofauny.

Roztocze, w szczególności mechowce, przez wielu autorów uważane są za dobre bioindykatory stanu środowiska [Axelsson i in. 1973, Seniczak 1979, Klimek 2000, Behan-Pelletier 2003, Gulvik 2007]. Warto też pamiętać, że te drobne zwierzęta mogą być wektorami lub stymulować wzrost wielu mikroorganizmów, w tym bardzo pożytecznych w środowisku grzybów tworzących z korzeniami drzew mikoryzy [Schneider i in. 2004, 2005].

Na badanym terenie średnie dla dwuletniego cyklu badań zagęszczenie roztoczy wahało się w przedziale od 5,46 do 10,54 tys. osobn.· m^{-2} (rys. 1).



Rysunek 1. Średnie dla 2-letniego cyklu badań zagęszczenie roztoczy *N* w badanych wariantach doświadczenia
Figure 1. Average density of mites *N* for the 2-year cycle of research under examined variants of the experiments

Na innych powierzchniach doświadczalnych na tym samym poligonie w latach 2008-2009 zagęszczenie tych stawonogów było na zbliżonym poziomie [Klimek i in. 2009, Klimek i Rolbiecki 2011]. W latach 2010-2011 najwyższe zagęszczenie roztoczy odnotowano w uprawie sosny na stanowisku SoS. W zgrupowaniach tych stawonogów przeważnie dominowały roztocze z rzędu *Actinedida* – stanowiły 46-67% wszystkich *Acari*. Jedynie na stanowisku SoS najliczniejsze były *Oribatida* (49%). Gdy w zgrupowaniach roztoczy mechowce przeważają nad *Actinedida* ekosystemy uważa się za bardziej stabilne niż w sytuacji odwrotnej [Werner i Dindal 1990].

W pierwszym roku uprawy leśnej wyraźnie najliczniejszymi roztoczami na wszystkich stanowiskach były *Actinedida* (tab. 4). W tym okresie nieco mniej licznymi grupami tych stawonogów były: drapieżne *Mesostogmata*, *Oribatida* i *Tarsonemida*. W drugim roku uprawy (2011) zagęszczenie większości roztoczy utrzymało się na podobnym poziomie – różnice nie były istotne statystycznie.

Tabela 4. Zagęszczenie roztoczy (*N* w tys. osobn. · m^{-2}), liczba gatunków (*S*), wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona (*H*), średnia liczba gatunków (*s*), % stadiów młodocianych (% juv) mechowców oraz stosunek liczebny *Oribatida* do *Actinedida* (*Or/Ac*) w badanych wariantach doświadczenia w latach 2010 i 2011

Table 4. Abundance (*N* in 1000 individuals · m^{-2}) of mites, number species (*S*), average number of species (*s*), Shannon index (*H*), % of juvenile *Oribatida* forms and the *Oribatida/Actinedida* ratio in numbers in studied variants of the experiment in 2010-2011

Wskaźnik – Takson Index – Taxon	Rok	Wariant doświadczenia Variant of the experiment			
		BrzC	BrzS	SoC	SoS
N – Acaridida	2010	-	0,45	-	-
N – Actinedida	2010	3,58[a]	4,15[a]	3,31[a]	3,37[a]
	2011	1,90[a]	3,22[a]	3,31[a]	3,67[a]
N – Mesostigmata	2010	0,24[a]	0,48[a]	0,39[a]	1,60[a]
	2011	0,45[a]	0,27[a]	0,96[a]	1,35[a]
N – Oribatida	2010	1,14[a]	0,42[a]	0,27[a]	1,20[a]
	2011	3,70[b]	1,78[a]	5,81[b]	9,06[b]
N – Tarsonemida	2010	0,12[a]	0,15	0,15[a]	0,81
	2011	0,09[a]	-	0,12[a]	-
N – Acari (Razem – Total)	2010	5,09[a]	5,66[a]	4,12[a]	6,98[a]
	2011	6,14[a]	5,27[a]	10,20[a]	14,09[a]
Or/Ac	2010	0,32	0,10	0,08	0,36
	2011	1,95	0,55	1,75	2,47
% juv – Oribatida	2010	76,3	14,3	33,3	55,0
	2011	45,5	50,8	45,6	63,8
S – Oribatida	2010	3	4	5	5
	2011	3	3	6	5
s – Oribatida	2010	0,70[a]	0,25[a]	0,35[a]	0,55[a]
	2011	1,40[b]	0,55[a]	1,35[b]	1,60[b]
H – Oribatida	2010	0,79	1,03	1,52	1,02
	2011	0,64	0,65	1,41	0,99

Objaśnienia: jak w tab. 3. Explanations: see table 3.
Źródło: opracowanie własne.

Inaczej było w przypadku mechowców, u których w trakcie badań odnotowano wielokrotny wzrost liczebności. Różnice pomiędzy latami 2010 a 2011 na większości stanowisk były istotne statystycznie. Tak znaczący wzrost liczebności *Oribatida* rzutował na wartość wskaźnika *Or/Ac* (liczebność *Oribatida/Actinedida*), który na powierzchniach BrzC, SoC i SoS przekroczył wartość

1, co świadczy o rosnącej stabilności ekologicznej badanego ekosystemu [Gulvik 2007]. Udział form młodocianych mechowców, z wyjątkiem powierzchni BrzC, był większy w drugim roku uprawy leśnej.

Ogółem w uprawach sosny i brzozy stwierdzono występowanie 7 gatunków mechowców (tab. 5). Obliczony dla zgrupowań mechowców wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona *H* był na badanym terenie zróżnicowany – wahał się od 0,64 do 1,52 (tab. 4). Natomiast wskaźnik *s* (średnia liczba gatunków w próbce) wskazał na tendencję wzrostu różnorodności gatunkowej *Oribatida* w kolejnych latach badań. Na stanowiskach BrzC, SoC i SoS różnice pomiędzy latami 2010 a 2011 były istotne statystycznie.

Tabela. 5. Średnie zagęszczenie gatunków mechowców (*N* w tys. osobn. · m^{-2}) w badanych wariantach doświadczenia
Table 5. Mean species abundance of oribatid mites (*N* in 1000 individuals · m^{-2}) under different variants of the experiments

Gatunek Species	Wariant doświadczenia Variant of the experiment			
	BrzC	BrzS	SoC	SoS
Brachychthonius sp.	0,03[a]	0,02[a]	0,36[a]	0,23[a]
Latilamellobates incisellus (Kramer)	-	-	0,02[a]	0,02[a]
Liochthonius sp.	-	-	0,57[a]	0,12[a]
Oppiella minus (Paoli)	-	0,14[a]	0,05[a]	0,03[a]
Oppiella nova (Oudemans)	0,02[a]	0,06[a]	0,12[a]	0,05[a]
Scutovertex sculptus Michael	1,69[a]	0,18[b]	0,60[b]	1,94[a]
Tectocepheus velatus (Michael)	0,69[a]	0,71[a]	1,32[a]	2,75[a]
Oribatida (Razem – Total)	2,42[a]	1,10[b]	3,04[ab]	5,13[a]

Objaśnienia: jak w tab. 3. Explanations: see table 3.
Źródło: opracowanie własne.

Na większości stanowisk najliczniejszym mechowcem był *Tectocepheus velatus* – 0,71-2,75 tys. osobn. · m^{-2} (tab. 4). Jedynie na powierzchni BrzC mechowiec ten został zdominowany przez *Scutovertex sculptus*. Poza wymienionymi gatunkami, na wszystkich stanowiskach występowała też *Oppiella nova*. *Tectocepheus velatus* i *Oppiella nova* są zaliczane do najpospolitszych w Polsce i na świecie eurytopowych gatunków mechowców [Olszanowski i in. 1996, Klimek 2000, Skubała 2002]. Są to gatunki partenogenetyczne, które rozwijają się według strategii życiowej typu r [Siepel 1994, Skubała i Gulvik 2005]. Ponadto są one zaliczane do mykofagów [Luxton 1972, Ponge 1991] i mogą żerować na ektomikoryzach [Remén i in. 2010, Schneider i in. 2005], przyczyniając się do ich rozprzestrzeniania. Z informacji tych wynika, iż mechowce te mogą w początkowej fazie sukcesji leśnej odegrać znaczącą rolę w rewitalizacji terenu popoligonowego.

Na badanym terenie stosunkowo licznie występował też *Scutovertex sculptus*. Jest to gatunek przystosowany do życia w inicjalnych glebach w warunkach dużego nasłonecznienia, np. na nieużytkach i hałdach przemysłowych [Klimek i in. 1991, Rolbiecki i in. 2006, Skubała 1999]. Najprawdopodobniej w dalszych etapach sukcesji, po zacienieniu gleby przez roślinność, zostanie on zdominowany i ustąpi miejsca innym mechowcom.

Na poddanym rewitalizacji byłym poligonie wojskowym Bydgoszcz-Jachcice, zarówno w niniejszych, jak i wcześniej prowadzonych badaniach [Klimek i in. 2009, Klimek i Rolbiecki 2011], odnotowano niską liczebność i różnorodność gatunkową roztoczy, co świadczy o małej aktywności biologicznej gleb. Na odnawianych powierzchniach na glebach leśnych na podobnym siedlisku aktywność biologiczna w początkowej fazie sukcesji leśnej jest znacznie większa – notuje się występowanie przynajmniej kilkunastu gatunków mechowców i ich liczebności na poziomie ok. 8 tys. osobn. $\cdot$ m^{-2} [Klimek i Rolbiecki 2011]. Aby na terenie popoligonowym przyspieszyć procesy rewitalizacji i umożliwić szybsze ukształtowanie się stabilnych ekosystemów leśnych należałoby glebę wzbogacić w materię organiczną i reintrodukować leśny edafon. Z publikowanych i niepublikowanych badań autorów niniejszego opracowania – prowadzonych w rewitalizowanych szkółkach leśnych – wynika, iż doskonale do tego mogą nadawać się komposty z higienizowanych osadów ściekowych, komposty z ściółki leśnej, odpady pozrębowe (zrębki), a do introdukcji fauny świeża ektopróchnica [Klimek i in. 2009, 2011, 2012, Rolbiecki i in. 2010].

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, iż znacznie lepszą udatność nasadzeń na terenie popoligonowym stwierdzono w uprawie sosny niż brzozy i wyniosła ona ponad 96%. Wystąpiło korzystne oddziaływanie przeprowadzonego w szkółce zabiegu ściółkowania na kształtowanie się wskaźników wzrostu brzozy i sosny w rocznej oraz dwuletniej uprawie leśnej. Na rewitalizowanym terenie popoligonowym stwierdzono niską liczebność i różnorodność gatunkową glebowych roztoczy, co świadczy o małej aktywności biologicznej badanych gleb. Stwierdzony – w dwuletnim okresie badań – wzrost liczebności i różnorodności gatunkowej mechowców prognozuje zachodzące, aczkolwiek dość powolne, procesy rewitalizacji badanego terenu.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują pracownikom Nadleśnictwa Żołędowo za umożliwienie przeprowadzenia badań i cenną pomoc w trakcie realizacji doświadczenia.

BIBLIOGRAFIA

Aleksandrowicz-Trzcińska M. (2004). *Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych*. Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 3, s. 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 Coll. of Forestry 14, s. 5-10.

Bac S., Ostrowski S. (1969). *Podstawy leśnych melioracji wodnych*. PWRiL, Warszawa, 436 ss.

Behan-Pelletier V.M. 2003. *Acari and Collembola biodiversity in Canadian agricultural soils*. Can. J. Soil Sci. 83, s. 279-288.

Berthet P., Gerard G. (1965). *A statistical study of microdistribution of Oribatei (Acari) I. The distribution pattern*. Oikos 16, s. 214-227.

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 2006 (2), Lublin, 164 ss.

Grzywacz A. (2009). *Nowe możliwości i potrzeby w zakresie kontrolowanej mikoryzacji drzew i krzewów*. Sylwan 1, s. 8-15.

Gulvik M.E. (2007). *Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: a review*. Pol. J. Ecol. 55 (3), s. 415-440.

Kaczorowska Z. (1962). *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*. Prace Geogr. IG PAN 33, 102 ss.

Klimek A. (2000). *Wpływ zanieczyszczeń emitowanych przez wybrane zakłady przemysłowe na roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych, ze szczególnym uwzględnieniem mechowców (Oribatida)*. Wyd. Uczln. ATR w Bydgoszczy, Rozprawy 99, 93 ss.

Klimek A., Rolbiecki S. (2011). *Wzrost sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) i występowanie roztoczy (Acari) glebowych na rekultywowanym terenie popoligonowym w Nadleśnictwie Żołędowo*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 1, s. 249-262.

Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Malczyk P. (2009). *Impact of chosen bare root nursery practices on white birch seedling quality and soil mites (Acari)*. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 18, No. 6, s. 1013-1020.

Klimek A., Rolbiecki S., Długosz J., Stypczyńska Z. (2009). *Roślinność, wybrane właściwości gleby i roztocze (Acari) we wstępnej fazie sukcesji leśnej na rekultywowanym terenie popoligonowym Bydgoszcz-Jachcice*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5, s. 167-181.

Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Hilszczańska D. (2011). *Wpływ nawożenia organicznego i ściółkowania na wzrost modrzewia europejskiego (Larix decidua L.) oraz aktywność biologiczną gleb*. Leśne Prace Badawcze 72(3), s. 233-239.

Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Hilszczańska D., Malczyk P. (2012). *The effect of nursery measures on mycorrhizal colonisation of Scots pine and occurrence of soil mites*. Scientific Research and Essays Vol. 7(27), s. 2380-2389.

Klimek A., Seniczak S., Żelazna E., Dąbrowska B. (1991). *Akarofauna (Acari) skarp osadników produktów odpadowych Janikowskich Zakładów Sodowych*. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 22, Bydgoszcz, s. 151-165.

Kocjan H. (1997). *Możliwości wzbogacania najuboższych biocenoz leśnych na gruntach porolnych*. Przegląd Przyrodniczy VIII, 1/2, s. 43-46.

Luxton M. (1972). *Studies on the oribatid mites of a Danish beech wood soil. I. Nutritional biology*. Pedobiologia 12, s. 434-463.

Olszanowski Z., Rajski A., Niedbała W. (1996). *Roztocze – Acari. Mechowce – Oribatida.* Wyd. Sorus, Katalog Fauny Polski Cz. XXXIV, tom 9, Poznań, 243 ss.

Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis Z., Dudzińska M. (2005). *Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia wskaźnika żyzności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego*. Leśne Prace Badawcze 3, s. 17-37.

Organization for Economic Cooperation and Development [OECD] (2003). *Consensus Document on the Biology of European White Birch (Betula pendula Roth)*. ENV/JM/ MONO 28, Paris, 48 ss.

Orzeł S. (2007). *Biomasa sadzonek sosny zwyczajnej w uprawie doświadczalnej na rekultywowanym wyrobisku piasku i w terenie silnie skażonym imisjami przemysłowym*i. W: Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym (red. S. Kowalski), CILP, Warszawa, s. 336-358.

Oszako T., Rakowski K. (2000). *Przygotowanie materiału sadzeniowego z przeznaczeniem do zalesiania gruntów porolny*ch. Sylwan 4, Warszawa, s. 147-150.

Ponge I.F. (1991). *Succession of fungi and fauna during decomposition of needles in a small area of Scots pine litter*. Plant Soil 138, s. 99-113.

Remén C., Fransson P., Persson T. (2010). *Population responses of oribatids and enchytraeids to ectomycorrhizal and saprotrophic fungi in plantesoil microcosms*. Soil Biol. Biochem. 42, s. 978-985.

Renker C., Otto P., Schneider K., Zimdars B., Maraun M., Buscot F. (2005). *Oribatid Mites as Potential Vectors for Soil Microfungi: Study of Mite-Associated Fungal Species*. Microbial Ecology 50, s. 518-528.

Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Kuss M., Fórmaniak A., Ryterska H. (2010). *Wstępne badania nad oddziaływaniem wybranych zabiegów rewitalizacyjnych na wzrost dwuletnich siewek sosny zwyczajnej oraz występowanie roztoczy (Acari) glebowych w szkółce leśnej Bielawy w Nadleśnictwie Dobrzejewice*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 13, s. 51-62.

Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Kuss M., Fórmaniak A., Ryterska H. (2011). *Wpływ ściółkowania ektopróchnicą na wzrost siewek brzozy brodawkowatej oraz występowanie roztoczy glebowych w warunkach nawodnień w szkółce leśnej Bielawy*. Ekologia i Technika 19(2), s. 73-80.

Rolbiecki St., Stypczyńska Z., Klimek A., Długosz J., Rolbiecki R. (2006). *Roślinność i niektóre właściwości odłogowanej gleby piaszczystej uprzednio użytkowanej rolniczo w warunkach deszczowania.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2/1, s. 183-194.

Schneider K., Renker C., Maraun M. (2005). *Oribatid mite (Acari, Oribatida) feeding on ectomycorrhizal fungi*. Mycorrhiza 16, s. 67-72.

Schneider K., Renker C., Scheu S., Maraun M. (2004). *Feeding biology of oribatid mites: a minireview*. Phytophaga XIV, s. 247-256.

Seniczak S. (1979). *Fauna mechowców (Acari, Oribatei) jako indykator biologicznych właściwości próchnic leśnych*. Pr. Kom. Nauk. PTG V/37, s. 157-166.

Siepel H. (1994). *Life – history tactics of soil microarthropods*. Biol. Fertil. Soils 18, s. 263-278.

Skubała P. (1999). *Colonization of a dolomitic dump by oribatid mites (Acari, Oribatida)*. Pedobiologia 43(2), s. 145-159.

Skubała P. (2002). *Rozwój fauny roztoczy na hałdach, czyli jak przyroda walczy z przemysłem*. Kosmos – Problemy Nauk Biologicznych 51/2, s. 195-204.

Skubała P., Gulvik M. (2005). *Pioneer oribatid mite communities (Acari: Oribatida) in natural (glacier foreland) and anthropogenic (post-industrial dumps) habitats*. Pol. J. Ecol. 53, s. 105-111.

Szabla K. (2007). *Cechy morfologiczno-rozwojowe oraz przeżywalność sadzonek różnych gatunków drzew leśnych w uprawach doświadczalnych na gruntach nieleśnych i leśnych o różnym stopniu degradacji*. W: Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym (red. S. Kowalski), CILP, Warszawa, s. 289-336.

Szołtyk G., Hilszczańska D. (2003). *Rewitalizacja gleb w szkółkach leśnych*. CILP, Warszawa, 44 ss.
Werner M.R., Dindal D.L. (1990). *Effects of conversion to organic practices agricultural on soil biota*. Am. J. Altern. Agric. 5, s. 24-32.

Dr hab. inż. Andrzej Klimek, prof. UTP,
Katedra Zoologii i Kształtowania Krajobrazu UTP w Bydgoszczy
ul. Ks. Kordeckiego 20, 85-224 Bydgoszcz
tel. 0523749409,
e-mail: klimek@utp.edu.pl

Dr hab. inż. Stanisław Rolbiecki, prof. UTP,
Katedra Melioracji i Agrometeorologii UTP w Bydgoszczy
ul. Bernardyńska 6, 85-856 Bydgoszcz
tel. 0523749552,
e-mail: rolbs@utp.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Jacek Długosz
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz
tel. 0523749512,
e-mail: jacekd@utp.edu.pl