

STANISŁAW ORZEŁ

Biomasa sześćioletnich sosen wyrosłych z mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek

The biomass of 6-year-old pines grown from mycorrhized and non-mycorrhized seedlings

ABSTRACT

Orzeł S. 2009. Biomasa sześćioletnich sosen wyrosłych z mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek. Sylwan 153 (4): 274-280.

The research focuses on the effect of controlled mycorrhization of seedlings on growth parameters (height and diameter at the base) and biomass of Scots pine growing in two 6-year-old experimental plantations. Empirical equations were developed for the distinguished biomass fractions whose construction was based on a general formula for the allometric function.

KEY WORDS

Scots pine, seedling, controlled mycorrhization, biomass, empirical equations

ADDRESSES

Stanisław Orzeł – e-mail: rlorzel@cyf-kr.edu.pl

Katedra Dendrometrii; Uniwersytet Rolniczy; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

Wstęp

Szczegółowe badania nad rozwojem sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji jednoznacznie potwierdzają pozytywny wpływ tego zabiegu [Kowalski 2007]. Powstałe z takich sadzonek uprawy cechuje większa udatność i wyższa jakość [Szabla 2004, 2007]. W poszukiwaniu ilościowych wskaźników oceny zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek, poza ich cechami biometrycznymi [Szabla 2004], przydatną może się okazać biomasa różnych frakcji drzew. Badania takie w odniesieniu do sosny przeprowadzono na przykładzie dwóch sześćioletnich upraw doświadczalnych założonych w roku 2000 w Nadleśnictwie Chrzanów na zrehabilitowanym wyrobisku piasku w Bukownie oraz w Nadleśnictwie Świerkianiec w bezpośrednim sąsiedztwie huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim [Orzeł 2007].

Obiektywność oceny wpływu sposobu produkcji materiału sadzeniowego na procesy wzrostu i rozwoju drzew, zwłaszcza w pierwszych latach ich życia, wymaga spełnienia szeregu założeń. Nie wdając się w szczegółowe rozważania na ten temat, należy stwierdzić, że konieczne jest zapewnienie jednorodności warunków wzrostu na całym obszarze zakładanych upraw doświadczalnych. Szczegółowe rozpoznanie siedliskowo-glebowe przed podjęciem decyzji o lokalizacji uprawy jest w tym względzie niezbędne [Krzaklewski i in. 2000]. Drugi oczywisty wymóg dotyczy właściwego przygotowania gleby oraz poprawnego posadzenia sadzonek w odpowiednim terminie. Przyjęcie bez zastrzeżeń, że założenia te zostały spełnione, stanowiło nieodzowny warunek podjęcia badań nad wpływem sposobu produkcji materiału sadzeniowego na wielkość biomasy sosny rosnącej w wymienionych wyżej uprawach doświadczalnych. Tylko bowiem w takim przypadku można mówić o wyłącznym wpływie badanego czynnika, jakim jest

sposób produkcji materiału sadzeniowego, na wielkość biomasy poszczególnych części składowych sosenek w wymienionych uprawach.

Celem badań było określenie wpływu sposobu produkcji materiału sadzeniowego na wielkość cech biometrycznych (wysokość i grubość przy podstawie) i ciężar w stanie świeżym wyróżnionych frakcji (strzały, gałęzie, igliwie i korzenie) sosen w wieku 6 lat rosnących w dwóch uprawach doświadczalnych.

Metodyka i materiał badawczy

Badaniami objęto sześciolletnie sosenki z dwóch upraw doświadczalnych, w których wprowadzono w trzech powtórzeniach sadzonki wyprodukowane w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. Sosenki wysadzone jako jednolatki z bryłką substratu hodowlanego były wcześniej poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Laccaria bicolor* (L) lub *Hebeloma crustuliniforme* (H) oraz niepoddane takiemu zabiegowi (K) [Szabla 2004]. Wsadzono także sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym wyprodukowane w szkółce tradycyjnej.

Na przełomie sierpnia i września 2005 roku, z każdego powtórzenia pobrano po 10 drzewek. Ich wyboru dokonano sposobem losowania systematycznego. Wylosowane sosenki wydobyto z całym systemem korzeniowym, po czym pomierzono długość (wysokość) ich strzałek z zaokrągleniem do 1 cm, grubość z korą przy podstawie z zaokrągleniem do 0,1 cm oraz określono biomasę w stanie świeżym: drewna strzałek, gałęzi, korzeni i igliwia. W tym celu drzewka podzielono na część nadziemną i podziemną. Od strzałek odcięto wszystkie gałązki. Z nich oraz z pędu głównego pozyskano igliwie oddzielnie dla każdego rocznika.

Uzasadnione wątpliwości dotyczące prawidłowego posadzenia sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym, wyprodukowanych sposobem tradycyjnym, tj. w gruntowej szkółce leśnej [Orzeł 2007], były powodem pominięcia wyrosłych z nich sosenek w przeprowadzonych analizach. Badaniami objęto wyłącznie sosenki wyrosłe z sadzonek wyprodukowanych w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie i wysadzonych z bryłką substratu hodowlanego. W ten sposób spełnione zostało zarówno kryterium jednorodności materiału sadzeniowego, jak i właściwego założenia upraw.

Dla wyróżnionych frakcji biomasy opracowano empiryczne wzory, których konstrukcję oparto na funkcji allometrycznej o ogólnej postaci:

$$y = b_0 \cdot h^{b_1} \cdot d_0^{b_2} \quad [1]$$

gdzie:

- y – biomasa wyróżnionej frakcji drzewa
- b_0, b_1, b_2 – parametry równania
- h – wysokość
- d_0 – grubość przy podstawie

Przyjęta funkcja była często z powodzeniem stosowana w badaniach nad biomasą do opisu zależności różnych jej frakcji od pierśnicy i wysokości różnych gatunków drzew [Bartelink 1997; Monserud, Marshall 1999; Calamini, Gregori 2001; Lehtonen 2005; Orzeł i in. 2005].

Wyniki

Różnicowanie wysokości i grubości przy podstawie analizowanych sosenek związane jest zarówno z miejscem założenia uprawy, jak i sposobem produkcji materiału sadzeniowego (tab. 1). W obydwu uprawach średnie wartości tych cech określone dla sosenek pochodzących z poletek, na których wprowadzono sadzonki mikoryzowane (H i L), były większe od rosnących na poletkach, gdzie sadzonki nie były poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji (K).

Tabela 1.

Wysokość i grubość przy podstawie oraz wielkości wyróżnionych frakcji świeżej masy sześciolletnich sosen z uprawy w Bukownie i Świerkłańcu [Orzel 2007]
 Height and diameter at a base and the values of the distinguished fresh mass fractions in the Bukowna and Świerklaniec plantations [Orzel 2007]

Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Liczba drzew	Wysokość		Grubość przy podstawie		Ciężar [g] świeżej masy wyróżnionych frakcji		drzewa			
			średnia	min.-max.	średnia	min.-max.	igłowie	gąłzcie	korzenie	strzały	średnia	min.-max.
Bukowno	H	30	178,7	92,0-238,0	4,36	2,3-5,5	1261,6	839,5	390,9	959,1	3451,1	696-6318
	L	30	173,9	115,0-253,0	4,30	2,6-6,3	1183,9	804,9	357,0	888,5	3234,4	1040-8943
	K	30	161,4	85,0-222,0	4,12	1,8-6,0	1096,7	729,2	338,7	759,7	2924,4	465-7238
Świerklaniec	H	30	153,3	60,0-233,0	4,41	2,0-7,0	1126,8	820,9	340,3	734,6	3022,5	376-10647
	L	30	162,7	68,0-265,0	3,89	2,4-5,9	903,5	596,1	267,7	714,6	2481,9	607-6328
	K	30	124,4	38,0-203,0	3,23	1,5-5,0	644,5	403,5	180,6	410,0	1639,2	111-4434

Stwierdzone różnice w wysokości drzewek mikoryzowanych i niemikoryzowanych w uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie wynoszą średnio 12,5 oraz 17,1 cm i są statystycznie nieistotne na przyjętym poziomie istotności $\alpha=0,05$. Znacznie większe rozbieżności w średniej wysokości analizowanych sosenek stwierdzono w wypadku uprawy znajdującej się w pobliżu huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim. Największą wysokość osiągnęły drzewka z poletek, na których wysadzono sadzonki mikoryzowane grzybem *L. bicolor* (162,7 cm). Przeciętnie o 9,4 cm niższe były sosenki z poletek, gdzie wysadzono sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*. Różnice te są statystycznie nieistotne. Sosenki rosnące na poletkach, na których materiał sadzeniowy nie był poddany zabiegowi sterowanej mikoryzacji, były znacznie, bo średnio o 38,3 cm (23,5%) niższe w porównaniu z mikoryzowanymi grzybem *L. bicolor* oraz o 28,9 cm (18,9%) od mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme*. Wykazane różnice są statystycznie istotne na poziomie $\alpha=0,05$. Oznacza to, że w przypadku tej uprawy, z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż 95%, można stwierdzić pozytywny wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek na wysokość sosenek w wieku 6 lat.

W obydwu uprawach największą grubością przy podstawie charakteryzowały się sosenki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* (tab. 1). W uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie średnia ich grubość była tylko nieznacznie większa od mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* i niemikoryzowanych. Zdecydowanie większe rozbieżności stwierdzono w uprawie położonej w pobliżu huty metali kolorowych. Sosenki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* były średnio o 1,18 cm (36,5%) grubsze od rosnących na poletkach, gdzie wprowadzono sadzonki niemikoryzowane. Są to różnice statystycznie istotne.

Wielkości wyróżnionych frakcji biomasy analizowanych sosenek w oczywisty sposób zależą od ich wysokości i grubości. Współczynniki korelacji, opisujące siłę tych zależności, wynoszą od 0,6469 do 0,9118 (tab. 2), przy czym związek ten jest znacznie silniejszy z grubością przy podstawie (współczynniki korelacji od 0,8740 do 0,9118) niż z wysokością (współczynniki korelacji od 0,6469 do 0,8637). Tymi dwoma cechami biometrycznymi można wyjaśnić od 76,4 do 87,8% zmienności biomasy wyróżnionych frakcji (tab. 2).

Tak silna korelacyjna zależność ciężaru poszczególnych frakcji biomasy analizowanych sosenek od ich wysokości i grubości przy podstawie sprawia, że opisany wyżej wpływ sterowanej mikoryzacji sadzonek na osiągnięte przez drzewka wymiary przekłada się także na ciężar wyróżnionych części ich całkowitej biomasy. Niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego średnie ich wartości określone w uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie były znacznie większe niż w uprawie w Świerkłańcu (tab. 1). Z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, że świeża masa wyróżnionych części sosenek niemikoryzowanych (K) w uprawie

Tabela 2.

Współczynniki korelacji pomiędzy wysokością i grubością przy podstawie oraz świeżą masą wyróżnianych frakcji sześciolletnich sosen

Correlation coefficients between the height and diameter at a base and the values of the distinguished fresh mass fractions in six-year-old pines

Frakcja biomasy	Wysokość	Grubość przy podstawie	Korelacja wielokrotna
igłowie	0,6657	0,8740	0,8757
gałęzie	0,6469	0,8764	0,8785
korzenie	0,6928	0,8756	0,8753
strzały	0,8637	0,9028	0,9378
drzewa	0,7397	0,9118	0,9123

Tabela 3.

Parametry wzoru allometrycznego do określania świeżej masy (w gramach) wyróżnionych frakcji sześciolletnich sosen oraz wielkości wariancji wyjaśnionej i błędu oszacowania

Allometric equation parameters for fresh mass determination (in grams) of the distinguished fresh mass fractions in six-year-old pines and the values of explained variation and estimation error

Frakcja biomasy	b_0	b_1	b_2	Wariancja wyjaśniona (R^2)	Błąd procentowy wtórny średnia	Błąd standardowy
igliwie	28,46146	0,116940	2,081000	0,8072	-5,69	2,32
gałęzie	10,82454	0,093460	2,537390	0,8386	-4,51	2,13
korzenie	1,924220	0,377383	2,182774	0,8224	-4,61	1,98
strzały	0,124982	1,294220	1,434281	0,9456	-2,10	1,02
drzewa	15,40145	0,437750	2,049380	0,8918	-2,16	1,54

położonej w pobliżu huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim była istotnie (na poziomie 0,05) mniejsza w porównaniu z rosnącymi w uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie, a także w porównaniu z masą sosenek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* z uprawy w Świerklańcu.

W ogólnej świeżej masie analizowanych sosenek, niezależnie od położenia uprawy, zasadniczą część stanowi masa igliwia. Średni jego udział w ciężarze drzewek rosnących w uprawie założonej w Bukownie wynosił od 37,0% do 38,2%, zaś w uprawie położonej w pobliżu huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim od 37,9% do 39,9%. Masa drewna strzał była tylko nieznacznie większa od masy gałęzi. Średni jego udział wynosił od 24,5% do 28,0%, zaś udział gałęzi od 23,2% do 26,2%. Niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego system korzeniowy stanowi około 11% świeżej masy analizowanych sześciolletnich sosen.

Poszukiwanie funkcji najlepiej opisującej silny, istotny związek pomiędzy ciężarem wyróżnionych części analizowanych sosenek oraz ich wysokością i grubością przy podstawie doprowadziło do przyjęcia równania allometrycznego wyrażonego wzorem [1]. Z wielkości podanych w tabeli 3 wynika, że opracowanymi wzorami empirycznymi można wyjaśnić od 81% (ciężar igliwia) do 95% (ciężar strzał) zmienności świeżej masy wyróżnionych części składowych analizowanych sosen.

Dyskusja

Jednorodność warunków wzrostu na całym obszarze upraw doświadczalnych [Krzaklewski i in. 2000] i pochodzenia materiału sadzeniowego oraz zastosowany niezależny sposób pobierania próby stanowią uzasadnioną podstawę uznania sposobu produkcji materiału sadzeniowego za główną przyczynę wykazanych w pracy różnic we wzroście analizowanych drzew. Wyniki dotyczące wpływu mikoryzacji sadzonek na osiągnięte przez sosny wysokości i grubości przy podstawie są w pełni zbieżne także z rezultatami uzyskanymi przez Szablę [2007] w uprawach założonych zarówno na pożarzysku w Rudach Raciborskich, jak i gruntach leśnych. W uprawach tych przeprowadzenie sterowanej mikoryzacji sadzonek, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme*, wpłynęło również pozytywnie na wielkość wymienionych cech biometrycznych. Biorąc pod uwagę wykazane w pracy ściśle zależności korelacyjne pomiędzy wysokością i grubością przy podstawie oraz ciężarem wyróżnionych frakcji drzew, można także sądzić, że w analizowanych przez Szablę uprawach, mikoryzacja sadzonek istotnie pozytywnie wpłynęła na biomasę rosnących sosen.

W badaniach nad biomasą wyniki szczegółowych pomiarów pojedynczych drzew stanowią materiał do opracowania rozwiązań modelowych. Do takich należą wzory empiryczne, których podstawę stanowi często ogólna postać funkcji allometrycznej. Wzory te pozwalają na określe-

nie poszczególnych elementów biomasy drzew na podstawie cech łatwych do dokładnego pomiaru. Zazwyczaj są nimi pierśnica lub też pierśnica i wysokość drzew [Zianis i in. 2005]. Z uwagi na to, że badania przeprowadzono w sześciolletnich uprawach, w opracowanych wzorach zamiast pierśnicy uwzględniono grubość przy podstawie. Tym częściowo można wytłumaczyć na ogół mniejszą wielkość wyjaśnionej zmienności biomasy opracowanymi wzorami (od 81% do 95%) w porównaniu z rezultatami cytowanymi w literaturze [Bartelink 1996; Calamini, Gregori 2001; Lehtonen 2005]. Niewątpliwą tego przyczyną jest również wykorzystany w pracy bardziej zróżnicowany materiał pomiarowy, pochodzący z dwóch upraw, w których wysadzono w trzech powtórzeniach sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* oraz *L. bicolor*, a także niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji.

Wykazanie istotnie większych wartości cech biometrycznych i biomasy sosen mikoryzowanych, przy równocześnie większej udatności nasadzeń [Kowalski 2007; Szabla 2007], wskazuje na celowość stosowania zabiegu sterowanej mikoryzacji przy zakładaniu upraw, szczególnie w warunkach silnego stresu (skażenia przemysłowe, pożary) [Szabla 2007]. W świetle przeprowadzonych badań najlepsze rezultaty osiągnięto w przypadku zastosowania grzyba *H. crustuliniforme*.

Wnioski

- ✦ Wielkość cech biometrycznych i ciężar poszczególnych frakcji sześciolletnich sosen zależy zarówno od sposobu produkcji materiału sadzeniowego, jak i położenia uprawy doświadczalnej.
- ✦ Niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego analizowane cechy sosen z uprawy założonej na wyrobisku piasku w Bukownicy osiągają większe wartości niż w uprawie wzrastającej w warunkach silnego stresu przemysłowego.
- ✦ Świeża masa analizowanych frakcji sosenek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* jest większa niż mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*. Najmniejszą biomasę wykazują sosenki niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji, a wykazane różnice są często istotne statystycznie.
- ✦ Pozytywny wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek sosny na wielkość osiąganą biomasy jest obserwowany zwłaszcza w przypadku jej wzrostu w warunkach silnego stresu spowodowanego zanieczyszczeniami przemysłowymi.
- ✦ Stosowanie zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek sosny grzybem *H. crustuliniforme* jest szczególnie uzasadnione w przypadku zakładania upraw położonych w zasięgu emisji przemysłowych.

Literatura

- Bartelink H. H. 1997. Allometric relationship for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Forest Science* 54: 39-50.
- Calamini G., Gregori E. 2001. Study in a beech stand of Central Italy: allometric relations for the above ground biomass estimation. *L'Italia Forestale e Montana* 56 (1): 1-23.
- Krzaklewski W., Barszcz J., Pietrzykowski M., Pająk M. 2000. Charakterystyka gleb i ocena warunków siedliskowych powierzchni doświadczalnych Katedry Fitopatologii Leśnej AR w Krakowie w nadleśnictwach: Rudy Raciborskie, Chrzanów i Świerklaniec. Katedra Ekologii Lasu UR w Krakowie.
- Kowalski S. 2007. Charakterystyka ilościowa i jakościowa mikoryz sadzonek sosny zwyczajnej, poddanej i niepoddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme*. W: Kowalski S. [red.]. *Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkolkarstwie leśnym*. 276-288. CILP, Warszawa.
- Lehtonen A. 2005. Estimating foliage biomass for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) plots. *Tree Physiology* 25: 803-811.
- Monserud R. A., Marshall J. D. 1999. Allometric crown relations in three northern Idaho conifer species. *Can. J. For. Res.* 29: 521-536.

- Orzeł S. 2007. Biomasa sadzonek sosny zwyczajnej w uprawie doświadczalnej na rekultywowanym wyrobisku piasku i w terenie silnie skażonym imisjami przemysłowymi. W: Kowalski S. [red.]. Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym. 336-358. CILP, Warszawa.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005. Struktura biomasy podszytu występującego w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 149 (4): 40-47.
- Szabla K. 2004. Wpływ biopreparatów z grzybami ektomikoryzowymi na kształtowanie się mikoryz, wzrost i rozwój sadzonek wybranych gatunków drzew leśnych w szkółce kontenerowej i uprawach, w różnych warunkach środowiska. Praca doktorska. Wydz. Leśny, UR w Krakowie.
- Szabla K. 2007. Cechy morfologiczno-rozwojowe oraz przeżywalność sadzonek różnych gatunków drzew leśnych w uprawach doświadczalnych na gruntach nieleśnych i leśnych w różnym stopniu degradacji. W: Kowalski S. [red.]. Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym. 289-336. CILP, Warszawa
- Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. 2005. Biomass and stem volume equations for tree species In Europe. *Silva Fennica Monographs* 4: 1-63.

SUMMARY

The biomass of 6-year-old pines grown from mycorrhized and non-mycorrhized seedlings

The research material comprised measurements of height, diameter at the base and biomass (branches, needles and roots) of 180 six-year-old pines growing in two experimental plantations (Table 1). The first plantation was established on the reclaimed sand mine excavation in Bukowna (Chrzanów Forest District) while the other one – close to the colour metal ironworks in Miasteczko Śląskie (Świerklaniec Forest District). The seedlings with soil root balls planted in 2000 in both plantations in three replications included, among others, Scots pine seedlings grown in the Rudy Raciborskie Forest District container nursery to which controlled mycorrhization with the fungus *Laccaria bicolor* (L) or *Hebeloma crustuliniforme* (H) was applied, as well as seedlings which were not mycorrhized (K).

The performed analyses showed that plantation location had a significant effect on the dimensions of growing trees (Table 1). Regardless of the method of seedling production applied, the height and diameter of pines in the plantation located in Bukowna were superior to those from Świerklaniec.

The fresh mass of analysed pines ranged from 111 g up to 10647 g (Table 1). In both plantations, the fresh mass of distinguished fractions in seedlings mycorrhized with *H. crustuliniforme* was greater than in the seedlings mycorrhized with *L. bicolor*, particularly when compared with non-mycorrhized seedlings. In the plantation under strong impact of industrial emissions, the fresh mass of the distinguished fractions in non-mycorrhized seedlings was significantly lower (at $\alpha=0.05$) than in the seedlings mycorrhized with *H. crustuliniforme*.

A strong correlation was found between the fresh mass of distinguished fractions in the examined pines and their height and diameter at the base (Table 2). Among the functions describing this relationship the allometric equation proved best. Empirical equations developed on its basis can explain 81% (needle weight) to 95% (weight of stems with crowns) of the variation in the fresh mass of distinguished fractions (Table 3).