

Wpływ zagęszczenia sadzonek buka zwyczajnego w pojemnikach na jego cechy morfologiczne

The influence of seedling density in containers on morphological characteristics of European beech

Piotr Wrzeński

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Tel. +48 227150687, e-mail: P.Wrzesinski@ibles.waw.pl

Abstract. This study examines the influence on growth parameters, in particular the morphological features of the root system, of 1-year-old European beech seedlings cultivated in containers with two different densities. The experiment was conducted in the container nursery in Skierdy (Forest District of Jabłonna) in spring 2011. After 10 months of cultivation in Hiko polyethylene containers, above- and below-ground parts of the seedlings were measured. The measurements of the root system were conducted with a scanner and the WinRHIZO software. No influence due to the seedling density on either shoot height or thickness was observed, but instead the research showed that different seedling densities affected the development of root systems. The mean root thickness and dry mass of the European beech seedlings were significantly higher at the lower density. The influence of seedling density on the development of root mass deserves special attention as it is the most important factor affecting future growth of the seedlings during cultivation. This tendency also suggests that the amount of nutrients allocated to shoot development may be higher in order to improve the efficiency of photosynthesis. At both densities, differences in biomass accumulation affected the root-to-shoot ratio. In seedlings cultivated at the lower density, the increased dry root matter of the seedlings resulted in a significant increase in the root-to-shoot ratio. This may cause a potential growth advantage of these seedlings after they are planted and may thus result in a more productive cultivation.

Keywords: seedling density, seedling size, shoot height, seedling root system, container type, container nursery

1. Wstęp

Celem produkcji szkółkarskiej jest hodowla materiału sadzeniowego o odpowiedniej jakości, który zapewni uzyskanie wysokiej udatności zakładanych upraw leśnych. W tym aspekcie szkółki odgrywają ważną rolę w procesie kształtowania przyszłych drzewostanów. Tu bowiem kształtowana jest jakość i odporność sadzonek na czynniki stresowe po posadzeniu.

Podstawę szkółkarstwa leśnego w Polsce stanowi hodowla sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym w tradycyjnych szkółkach polowych. Jednakże produkcja sadzonek pojemnikowych w szkółkach kontenerowych stanowi z roku na rok coraz większy udział w sumarycznej hodowli pomimo, że stwarza dla praktyki leśnej wiele nowych problemów technicznych i organizacyjnych. Istotne znaczenie ma właściwy dobór parametrów oraz kształtu pojemników, ponieważ mają one zasadniczy wpływ na morfologię i fizjologię sadzonek, głównie ze względu na systemy korzeniowe (Gilman 2001), ich jakość, potencjał wzrostu (Davis, Jacobs 2005) oraz ich masę (Haase 2011). Przedstawione parametry często decy-

dują o udatności upraw. Liczba i objętość cel w pojemniku to dwa istotne determinanty kształtujące jakość sadzonek (Kinghorn 1974), ściśle ze sobą powiązane i zależne przede wszystkim od potrzeb fizjologicznych hodowanego gatunku, cyklu hodowli, warunków wzrostu oraz stopnia mechanizacji i automatyzacji (Szabla, Pabian 2009). Są one również jednymi z najważniejszych czynników wpływających na koszty produkcji (Chirino et al. 2008).

Wielu naukowców badało, które zmienne pojemnika (tj.: średnica, głębokość, objętość i liczba cel) mają największy wpływ na wzrost i jakość materiału sadzeniowego w szkółce oraz po posadzeniu. Sprawdzano również, które sadzonki wykazują najwyższą przeżywalność w określonych warunkach siedliskowych (troficznych, wilgotnościowych) (Rose et al. 1997; Dominguez-Lerena et al. 2006; Pinto et al. 2011; Aghai et al. 2013), konkurencji (Newton et al. 1993; Hunt 2002), i innych czynników ograniczających występujących w uprawie (Lamhamedi et al. 1997; South et al. 2005). W związku z tym, badanie wpływu tych zmiennych jest ważne dla optymalizacji przestrzeni użytkowej w produkcji kontenerowej przy

Wpłynęło: 7.01.2015 r., zrecenzowano: 31.03.2015 r., zaakceptowano: 14.04.2015 r.

jednoczesnej maksymalizacji jakości sadzonek. Analizowano również wpływ zagęszczenia sadzonek w pojemnikach na ich cechy morfologiczne, w odniesieniu do wybranych gatunków i rodzajów pojemnika (Barnett, Brissette 1986; Simpson 1991).

Celem przedstawionych badań było porównanie wpływu dwóch różnych zagęszczeń sadzonek buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w pojemniku typu Hiko, na ich parametry wzrostowe, a w szczególności cechy morfologiczne systemu korzeniowego.

2. Metodyka i materiał badań

Doświadczenie przeprowadzono w warunkach gospodarczych szkółki kontenerowej Skierdy, Nadleśnictwa Jabłonna. Obiektem badań były jednoroczne sadzonki buka zwyczajnego z zakrytym systemem korzeniowym. Do hodowli kontenerowej sadzonek zastosowano pojemniki polietylenowe typu Hiko produkowane przez Szwedzką firmę BCC AB, w dwóch wariantach zagęszczenia cel, determinującego więźbę sadzonek. Pierwszy wariant Hiko V-250 o wymiarach 352 x 216 x 160 mm, składał się z 18 cel w więźbie 72 x 59 mm, każda o pojemności 250 cm³. Drugi wariant Hiko V-265 o wymiarach 352 x 216 x 150 mm, składał się z 28 cel w więźbie 54 x 50 mm, każda o pojemności 265 cm³. Pojedyncze cele w pojemniku miały kwadratowy górny przekrój, zwężający się ku dołowi z ażurowym dnem oraz 4 żeberka przebiegające pionowo po wewnętrznych ściankach. Oba typy pojemników zastosowane w badaniach były dobrane zgodnie z potrzebami hodowanego gatunku. Sadzonki z obu wariantów poddane były sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.

Pojemniki po napełnieniu substratem obsiano 11 maja 2011 roku, wysiewając po jednym skielkowanym nasieniu buka do każdej celi. Przez trzy tygodnie pojemniki znajdowały się w bloku cieplarnianym, który zapewnia optymalne warunki mikroklimatyczne do rozwoju siewek. Następnie sadzonki przeniesiono na otwarte pole produkcyjne, gdzie przebywały przez okres 10 miesięcy do końca trwania doświadczenia. Pojemniki zawierające 18 i 28 cel ustawione były na oddzielnych paletach. Po okresie 10 miesięcy z każdego wariantu, pobrano losowo po 30 sadzonek.

Każdą sadzonkę traktowano, jako jednostkę eksperymentalną (powtórzenie) tj. reprezentującą pojedynczy pojemnik. Wylosowane sadzonki do badań stanowiły część materiału sadzeniowego produkowanego na potrzeby gospodarcze Nadleśnictwa. Sadzonki przewieziono do laboratorium, gdzie wyjęto je z pojemników, a z systemów korzeniowych usunięto substrat i poddano skanowaniu oraz kompleksowym analizom przy pomocy programu komputerowego WinRHIZO firmy Regent Instruments (2008). Wykonane analizy pozwoliły na określenie następujących cech morfologicznych badanych systemów korzeniowych: łącznej długości wszystkich korzeni w systemie korzeniowym [cm], średniej grubości korzeni [mm] i objętości systemu korzeniowego [cm³]. Określono również suchą masę systemu korzeniowego [g]. Deformacje systemów korzeniowych oceniono wzrokowo, wyróżniając

dwie klasy: (1) właściwie ukształtowane i (2) ze zmienionym kierunkiem wzrostu. Charakterystykę części nadziemnej przeprowadzono na podstawie pomiaru następujących cech: wysokości [cm] i grubości w szyi korzeniowej pędu [mm] oraz całkowitej suchej masy pędu [g]. Części nadziemne i korzenie sadzonek suszono w temperaturze 104°C przez 24 godziny, a następnie ważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,001 g. W doświadczeniu obliczono stosunek wysokości do grubości pędu (smukłość H/D) oraz suchej masy korzeni do suchej masy pędu, ponieważ są to jedne z parametrów wykorzystywanych do oceny jakości sadzonek, pozwalające prognozować ich przeżywalność i wzrost w uprawie.

Analizy statystyczne wykonano stosując program komputerowy Statistica 10 (StatSoft 2011). Przystępując do nich sprawdzono rozkład normalny spostrzeżeń w poszczególnych wariantach doświadczenia testem W Shapiro–Wilka i jednorodność wariancji testem Browna–Forsytha. Do oceny wpływu gęstości rozmieszczenia cel w pojemniku na cechy morfologiczne badanych sadzonek zastosowano jednoczynnikowy model analizy wariancji (ANOVA). Istotność różnic na poziomie $\alpha = 0,05$ określono przez zastosowanie testu t-Studenta. Przeprowadzono również analizę korelacji prostoliniowej określającej wpływ wysokości i grubości w szyi korzeniowej sadzonek na inne cechy po 10 miesiącach wzrostu sadzonek. Siłę związku oceniono istotnością współczynnika korelacji prostoliniowej przy poziomie $\alpha = 0,01$ oraz $\alpha = 0,05$. Poza cechami wykorzystanymi w analizie wariancji, w korelacji dodatkowo uwzględniono liczbę pędów bocznych oraz liczbę wierzchołków i rozgałęzień korzeni.

3. Wyniki

Średnia wysokość sadzonek buka zwyczajnego z pojemników o 18 celach wyniosła 36,6 cm, natomiast z pojemników o 28 celach 39,7 cm. Sadzonki rosnące w większym zagęszczeniu miały, zatem wyższy pęd niż sadzonki z drugiego wariantu doświadczenia, ale różnica nie była istotna statystycznie. Średnia grubość w szyi korzeniowej wyhodowanych sadzonek wyniosła 6,11 mm w pojemnikach o 18 celach, zaś w pojemnikach o 28 celach 5,73 mm. Pod względem analizowanej cechy również nie udowodniono istotnych różnic statystycznych między wariantami zagęszczenia. Całkowita sucha masa pędu jednej sadzonki kształtowała się od 0,41 g w wariancie pojemników o 18 celach do 5,56 g. Średnia masa pędu sadzonek buka zwyczajnego wyhodowanych w pojemnikach z 28 sadzonymi wyniosła 2,78 g, zaś w pojemnikach z 18 sadzonymi była nieistotnie niższa o 0,07 g. Obliczona smukłość sadzonek wyniosła dla wariantu o mniejszym zagęszczeniu 1:6, zaś o większym zagęszczeniu 1:7. Smukłość sadzonek (H/D) pomiędzy wariantami różniła się istotnie statystycznie (tab. 1).

Przy mniejszym zagęszczeniu sadzonki rozwinęły największe systemy korzeniowe, których łączna długość wyniosła 11410,6 cm. W tym samym wariancie pojemnika średnia łączna długość korzeni sadzonki osiągnęła wartość 5702,3 cm, zaś w pojemnikach o większym zagęszczeniu 5581,2 cm. Naj-

krótsza łączna długość korzeni wśród analizowanych sadzonek wyniosła 716,2 cm. Analiza wariacji wykazała, że cecha ta między wariantami nie różni się istotnie (tab. 1).

Średnia grubość korzeni sadzonek wyhodowanych w pojemnikach o 18 celach wyniosła 0,30 mm, natomiast w kasetach o 28 celach 0,28 mm. Różnice między tymi wartościami były istotne statystycznie. Jednoroczne sadzonki buka zwyczajnego wyhodowane w szkółce kontenerowej w pojemnikach o mniejszym zagęszczeniu miały średnią objętość systemu korzeniowego 4,1 cm³, zaś sadzonki z drugiego wariantu zagęszczenia cel w pojemniku miały nieznacznie mniejszą średnią objętość systemu korzeniowego wynoszącą 3,4 cm³. Różnica ta nie była istotnie statystycznie (tab. 1).

Sadzonki pochodzące z pojemników o mniejszym zagęszczeniu cel cechowały się istotnie wyższymi wartościami całkowitej suchej masy korzeni w porównaniu z sadzonkami z drugiego wariantu doświadczenia. Na podstawie przeprowadzonej analizy proporcji suchej masy korzeni do suchej masy pędu stwierdzono istotny wpływ zagęszczenia sadzonek w pojemniku na tę cechę. Stosunek masy systemu korzeniowego do masy części nadziemnej wynosił średnio 1:1,4 dla sadzonek z pojemników o 18 celach oraz 1:1,0 dla sadzonek z pojemników o 28 celach (tab. 1).

Ważnym elementem oceny sadzonek pojemnikowych jest budowa systemu korzeniowego, a zwłaszcza występowanie

jego deformacji. W niniejszej pracy wśród wszystkich badanych sadzonek buka zwyczajnego, aż 65% miało zdeformowany system korzeniowy. Zaobserwowano, że zwiększona deformacja korzeni występuje, gdy sadzonki hodowane są przy większym zagęszczeniu.

W celu określenia związków pomiędzy wysokością i grubością w szyi korzeniowej sadzonek a pozostałymi cechami morfologicznymi, obliczono współczynniki korelacji liniowej. Z przeprowadzonych analiz wynika, że wysokość sadzonek bez względu na wariant zagęszczenia ma dodatni związek na grubość w szyi korzeniowej, suchą masę pędu, suchą masę korzeni oraz łączną długość korzeni. Stwierdzono dodatnie korelacje pomiędzy wysokością a objętością systemu korzeniowego i liczbą wierzchołków korzeni tylko w pojemnikach o 18 celach.

Wysokość sadzonek nie ma związku ze średnią grubością korzeni oraz liczbą rozgałęzień w obu wariantach doświadczenia. Liczba pędów bocznych była skorelowana z wysokością sadzonek tylko w wariantcie o większym zagęszczeniu. Analiza prostoliniowej zależności korelacyjnej wykazała, że z wyjątkiem grubości korzenia, istnieje istotna zależność pomiędzy grubością w szyi korzeniowej a pozostałymi wartościami cech sadzonek. Najsilniejsza korelacja spośród wszystkich analizowanych dotyczyła całkowitej suchej masy korzeni bez względu na wariant zagęszczenia.

Tabela 1. Wpływ zagęszczenia sadzonek na analizowane parametry buka zwyczajnego

Table 1. Effect of density of seedlings on the analysed parameters of European beech

(P – significance level)

Parametr Variable	Średnia wartość przy zagęszczeniu: Average calculated for density:		Współczynnik zmienności przy zagęszczeniu: Coefficient of variation calculated for density:		Poziom istotności Significance level (P)
	18 sadzonek 18 seedlings	28 sadzonek 28 seedlings	18 sadzonek 18 seedlings	28 sadzonek 28 seedlings	
	Wysokość sadzonek Height of the seedlings (H)	36,6	39,7	19,1	
Grubość w szyi korzeniowej Thickness of the neck root (D)	6,11	5,73	16,3	15,1	0,124
Sucha masa pędu Dry mass of the shoot (SMP)	2,71	2,78	36,0	38,3	0,797
Sucha masa korzeni Root dry mass (SMK)	3,75	2,93	40,4	42,8	0,027
Łączna długość korzeni Total root length	5702,3	5581,2	41,9	39,5	0,839
Grubość korzeni Thickness of the roots	0,30	0,28	12,3	16,6	0,021
Objętość systemu korzeniowego Root system of volume	4,10	3,40	38,6	47,0	0,092
H/D The ratio of height to thickness of the neck root	1:6	1:7	17,5	12,3	0,001
SMK/SMP The ratio of dry mass of the shoot to root dry mass	1:1,4	1:1,0	8,6	23,4	0,001
Procent deformacji korzeni Percentage of root deformation	68,0	62,0	24,9	24,0	0,599

Nieco słabiej grubość pędu była skorelowana z jego suchą masą (tab. 2).

4. Dyskusja

Gęstość rozmieszczenia sadzonek może mieć wpływ na ich rozwój zarówno w szkółkach otwartych, jaki i w warunkach kontrolowanych. Barnett i Brissette (1986) doszli do wniosku, że głównym czynnikiem wpływającym na fenotyp sadzonek pojemnikowych było zagęszczenie cel pojemnika, a nie ich kształt czy objętość. Timmis i Tanaka (1976) oraz Simpson (1991) stwierdzili, że hodowla sadzonek w pojemnikach o większym zagęszczeniu skutkuje wysokimi i cienkimi sadzonkami gatunków iglastych, podczas gdy hodowla w pojemnikach o mniejszym zagęszczeniu cel skutkuje niższymi i grubszyimi sadzonkami. Wyniki niniejszej pracy z bukiem zwyczajnym potwierdzają te ogólne stwierdzenia. Należy jednak pamiętać o braku istotnych statystycznie różnic wysokości i grubości pędu sadzonek pomiędzy badanymi wariantami zagęszczenia. Podobną prawidłowość zaobserwowano również u sadzonek *Pinus nigra* i *Pinus sylvestris* (Jinks, Mason 1997), *Picea mariana* (Salonius et al. 2000). Odmienne rezultaty otrzymał Paterson (1996), który zaobserwował zmniejszanie się wysokości sadzonek *Picea mariana* wraz ze zwiększaniem się ich zagęszczenia w pojemniku.

Rozmiar pędu jest bardzo ważny, ponieważ w miejscach z dostępem do wody i składników pokarmowych w glebie, zasoby związane z przestrzenią, a tym samym konkurencja o światło pomiędzy sadzonkami a roślinnością runa leśnego, wydają się być głównym czynnikiem ograniczającym ich wzrost i rozwój. Według licznych badań, w przypadku silnej konkurencji, lepszą przeżywalnością i wzrostem cechują się wyższe sadzonki, które hodowane były w wyższych gęstościach (Mason et al. 1996; Mohammed et al. 1998; South, Mitchell 1999; Puértolas et al. 2003). Stosunek wysokości do grubości pędu sadzonek (H/D) jest również dobrym wskaźnikiem mówiącym o ich jakości. Niski stosunek H/D wskazuje, że sadzonki są bardziej odporne na wiatr i suszę, a także wpływa na wyższy wzrost i przeżywalność w suchych miejscach (Johnson, Cline 1991). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono istotny statystycznie wpływ zastosowanego zagęszczenia sadzonek w pojemniku na stosunek wysokości do grubości pędu. Sadzonki rosące w mniejszym zagęszczeniu charakteryzowały się niższym stosunkiem H/D, co może sugerować ich lepszą jakość hodowlaną. Istotne jest stwierdzenie, że grubość pędu wykazuje większy stopień korelacji z ciężarem korzeni, niż z masą części nadziemnej. Większy rozmiar systemu korzeniowego występuje w miarę wzrostu grubości w szyi korzeniowej sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym (Janson 1969; Ritchie 1984) oraz

Tabela 2. Współczynniki korelacji r między wysokością i grubością w szyi korzeniowej sadzonek a pozostałymi cechami morfologicznymi
Table 3. Coefficients of correlation (r) between height of the seedlings and thickness of the neck root and other characteristics morphologic

X	Zmienne Variables	Y	Współczynnik r przy zagęszczeniu: r coefficient calculated for density:	
			18 sadzonek 18 seedlings	28 sadzonek 28 seedlings
Wysokość sadzonek Height of the seedlings	Grubość w szyi korzeniowej / Thickness of the neck root		0,609**	0,688**
	Liczba pędów bocznych / Number of the offshoots		0,259	0,624**
	Sucha masa pędu / Dry mass of the shoot		0,712**	0,856**
	Sucha masa korzeni / Root dry mass		0,578**	0,702**
	Łączna długość korzeni / Total root length		0,492**	0,356**
	Grubość korzeni / Thickness of the roots		0,277	0,062
	Objętość systemu korzeniowego / Root system of volume		0,681**	0,272
	Liczba wierzchołków korzeni / The number of roots' tops		0,578**	0,270
	Liczba rozgałęzień korzeni / Number of roots' branching		0,239	0,316
Grubość w szyi korzeniowej Thickness of the neck root	Liczba pędów bocznych / Number of the offshoots		0,492**	0,652**
	Sucha masa pędu / Dry mass of the shoot		0,893**	0,863**
	Sucha masa korzeni / Root dry mass		0,931**	0,926**
	Łączna długość korzeni / Total root length		0,599**	0,521**
	Grubość korzeni / Thickness of the roots		0,263	0,141
	Objętość systemu korzeniowego / Root system of volume		0,771**	0,562**
	Liczba wierzchołków korzeni / The number of roots' tops		0,576**	0,412*
Liczba rozgałęzień korzeni / Number of roots' branching		0,385*	0,391*	

** – zależność istotna statystycznie na poziomie $P = 0,01$ / relationship significant at $P = 0.01$

* – zależność istotna statystycznie na poziomie $P = 0,05$ / relationship significant at $P = 0.05$

pojemnikowych (Grossnickle 2000). Zależność tą zanotowano również u sadzonek buka zwyczajnego w prezentowanym doświadczeniu.

Przy większym zagęszczeniu sadzonek buka zwyczajnego w pojemniku, wartości średniej grubości i suchej masy korzenia były istotnie niższe niż przy mniejszym zagęszczeniu. Potwierdzają to liczne rezultaty badań, m.in. na przykładzie *Picea glauca* (Scarratt 1972), *Pseudotsuga menziesii* i *Pinus contorta* (Simpson 1994), *Betula pendula* (Aphalo, Rikala 2002), *Pinus palustris* (South et al. 2005), *Pinus pinea* (Dominguez-Lerena et al. 2006). Zaobserwowano również, że wartości objętości systemu korzeniowego pozostawały niezmiennie pomiędzy dwoma poziomami zagęszczenia, pomimo znaczących różnic w suchej masie korzeni. Podobną zależność wykazali Aghai i inni (2013) przy hodowli *Larix occidentalis*.

Do cech najlepiej charakteryzujących jakość sadzonek należy zaliczyć parametry systemu korzeniowego. Do parametrycznej charakterystyki korzeni najlepiej nadaje się masa systemu korzeniowego. Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że sadzonki z większą masą korzeni w czasie sadzenia, miały większy wzrost i udatność w porównaniu z tymi o mniejszej masie, nawet, jeśli miały mniejsze średnice pędu (Jacobs et al. 2005; Grossnickle 2012). Większa masa korzeni jest wskaźnikiem ich zdolności chłonnej oraz zwiększa możliwość pokonania stresu sadzenia. Skutki początkowej wielkości systemu korzeniowego mogą mieć trwały wpływ na dalszy wzrost sadzonek. Sundström i Keane (1999) w wykopanych 10-letnich dąglęzjach zauważyli, że początkowy rozmiar systemu korzeniowego był skorelowany z przyrostem pierśnicy oraz biomasy korzeni.

Morfologia sadzonek jest wyraźnie zależna od ich zagęszczenia w pojemniku, która znacząco wpływa na dostępność oraz jakość światła. Powszechnie wiadomo, że gęstość listowia wpływa na rozwój całej sadzonki poprzez zacienienie, a dokładniej, że zmiana promieniowania fotosyntetycznego i jakości światła ma wpływ na fenotyp pędu oraz tempo wzrostu korzenia (Aphalo, Ballare 1995). Wcześniejsze badania (Vance, Running 1985) analizowane z punktu widzenia zacienienia wskazują, że niższe poziomy oświetlenia przy większym zagęszczeniu powinny wzmacniać wzrost wysokości, nie ograniczając zarazem średnicy korzenia i suchej masy korzenia. Mitchell i Arnott (1995) stwierdzili, że zacienianie sadzonek iglastych powoduje przesunięcie na rzecz wzrostu wysokości i zmniejszenia wzrostu gałęzi i korzeni. Tendencja sadzonek do rekompensowania ograniczenia światła przez przeznaczenie większej części produktów fotosyntezy na wzrost pędu kosztem wzrostu korzenia (Drew 1983) może wyjaśniać, dlaczego sadzonki buka zwyczajnego w tym badaniu wykazują mniejszą akumulację masy w korzeniach wraz ze wzrostem zagęszczenia hodowli. Różnice w akumulacji biomasy odpowiednio znacząco zmieniły stosunek korzenia do pędu pomiędzy badanymi poziomami zagęszczenia.

Odpowiednia równowaga korzeni i pędów jest ważnym atrybutem morfologicznym, ponieważ jest ona miarą utraty wody i zdolności wychwytywania wody przez sadzonkę w okresie sadzenia (Burdett 1990; Grossnickle 2000). Pro-

porcja części nadziemnej do podziemnej, jest także predyktorem tolerancji sadzonki na stres przesadzania i odporności na suszę (Grossnickle 2005). Przesuszenie należy do najbardziej stresogennych czynników, które działają na młode sadzonki. Stres ten obniża przydatność sadzonek do odnowień i zalesień, dlatego potrzebna jest wcześniejsza informacja, charakteryzująca jakość materiału sadzeniowego oraz znane miejsce planowanego wysadzania. Uważa się, że wartość użytkowa sadzonek jest tym większa, im większy jest stosunek masy systemu korzeniowego do masy części nadziemnej (Gunia, Sobczak 1981). Tym samym wyższe wartości systemu korzeniowego wśród badanych sadzonek buka zwyczajnego mogą być łączone z większą wydajnością upraw. Przy mniejszym zagęszczeniu hodowli, większa sucha masa korzenia sadzonek oznaczała wzrost stosunku korzenia do pędu. Implikuje to potencjalną przewagę tych sadzonek po przesadzeniu w stosunku do sadzonek wyhodowanych przy wysokim zagęszczeniu. Potwierdzają to wyniki badań Aghai i in. (2013) w symulowanych próbach polowych, w których sadzonki *Larix occidentalis* z układu o mniejszej gęstości po przesadzeniu miały istotnie większy przyrost masy korzeni oraz wydajność. Również Aphalo i Rikala (2002) stwierdzili, że zmniejszenie zagęszczenia *Betula pendula* w szkółce ma wpływ na morfologię sadzonek po posadzeniu, ale niewielki wpływ na przeżywalność. Natomiast według Dominguez-Lerena i in. (2006) gęstość siewek wpływała na morfologię, odżywianie i wydajność tylko w szkółce.

Większość przytoczonych badań oraz wyniki uzyskane w prezentowanej pracy sugerują, że większe zagęszczenie prowadzi sadzonki do przeznaczenia nieproporcjonalnie dużej ilości produktów fotosyntezy na wzrost pędu, co skutkuje mniej rozwiniętymi korzeniami. Wzrost wysokości sadzonki kosztem systemu korzeniowego może być niekorzystną zmianą pod względem jakości produkcji. Natomiast wzrost suchej masy korzenia, średnicy korzenia i stosunku korzenia do pędu uzyskany poprzez hodowlę w mniejszym zagęszczeniu, może być opłacalną inwestycją, szczególnie, jeśli jej skutkiem jest bardziej wytrzymała sadzonka, która może wykazywać większy potencjał wzrostu, a tym samym przypuszczalnie większą przeżywalność po posadzeniu, której efektem jest mniejsza liczba poprawek. Generalnie korzyści płynące z lepiej rozbudowanego systemu korzeniowego w wyniku mniejszego zagęszczenia, wydają się przewyższać korzyści wynikające ze wzrostu tkanki fotosyntetyzującej. Hodowla sadzonek w pojemnikach o mniejszym zagęszczeniu cel będzie oczywiście uzasadniona tylko wtedy, jeśli tak produkowane sadzonki będą skutkowały wysoką udatnością upraw. Zagadnienie to stwarza nowe wyzwanie dla szkółkarstwa leśnego w Polsce i wymaga prowadzenia dalszych badań oceniających wpływ zastosowanych metod produkcji sadzonek na udatność i rozwój w różnych warunkach siedliskowych.

5. Wnioski

Na podstawie wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Zastosowanie różnego zagęszczenia sadzonek buka zwyczajnego w pojemniku nie miało istotnego wpływu na ich wysokość oraz grubość pędu.

2. Stwierdzono istotny wpływ zagęszczenia na smukłość sadzonek (H/D).

3. Badania wykazały, że zmiana zagęszczenia sadzonek w pojemniku ma duży wpływ na rozwój systemów korzeniowych. Szczególnie należy podkreślić wpływ tego czynnika na rozwój masy korzeni, a więc elementu najbardziej istotnego dla ich późniejszego rozwoju na uprawie.

4. Zagęszczenie sadzonek w pojemniku jest ważnym czynnikiem wpływającym na wzrost i jakość wyhodowanego materiału sadzeniowego. Przy mniejszym z badanych zagęszczeń sadzonek, większa sucha masa korzenia sadzonek wpłynęła na istotny wzrost stosunku masy korzenia do pędu. Stwarza to potencjalną przewagę we wzroście tych sadzonek po posadzeniu i może skutkować większą udatnością upraw.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Niniejsze badania były wykonane w ramach pracy magisterskiej. Na wykonanie ich nie otrzymano żadnego dofinansowania.

Literatura

- Aghai M.M., Pinto J.R., Davis A.S. 2013. Container volume and growing density influence western larch (*Larix occidentalis* Nutt.) seedling development during nursery culture and establishment. *New Forests*, 45: 199–213. DOI: 10.1007/s11056-013-9402-8.
- Aphalo P., Rikala R. 2002. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25: 93–108.
- Aphalo P.J., Ballare C.L. 1995. On the importance of information-acquiring systems in plant-plant interactions. *Functional Ecology*, 9: 5–14.
- Barnett J.P., Brissette J.C. 1986. Producing southern pine seedlings in containers. Gen. Tech. Rep. SO-59. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, s. 71.
- Burdett A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 415–427. DOI: 10.1139/x90-059.
- Chirino E., Vilagrosa A., Hernandez E.L., Matos A., Vallejo V.R. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber*. Seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management*, 256: 779–785. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.05.035.
- Davis A.S., Jacobs D.F. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*, 30: 295–311. DOI: 10.1007/s11056-005-7480-y.
- Dominguez-Lerena S., Herrero Sierra N., Carrasco Manzano I., Ocana Bueno L., Penuelas Rubira J.L., Mexal J.G. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 221: 63–71. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.08.031.
- Drew A.P. 1983. Optimizing growth and development of 2-0 Douglas-fir seedlings by altering light intensity. *Canadian Journal of Forest Research*, 13: 425–428. DOI: 10.1139/x83-064.
- Gilman E.F. 2001. Effect of nursery production method, irrigation, and inoculation with mycorrhizae-forming fungi on establishment of *Quercus virginiana*. *Journal of Arboriculture*, 27: 30–39.
- Grossnickle S.C. 2012. Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests*, 43: 711–738. DOI: 10.1007/s11056-012-9336-6.
- Grossnickle S.C. 2000. Ecophysiology of northern spruce species: The performance of planted spruce seedlings. Ottawa, Ontario, Canada. *NRC Research Press*, s.407. ISBN 978-0-660-17959-9.
- Grossnickle S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30: 273–294. DOI: 10.1007/s11056-004-8303-2.
- Gunia S., Sobczak R. 1981. Metody intensywnej produkcji sadzonek drzew leśnych. Biblioteczka Leśnika. Warszawa, PWRiL, s.167. ISBN 83-09-00453-2.
- Haase D.L. 2011. Seedling Root Targets. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-65*: 80–82.
- Hunt J.A. 2002. Effects of stock type on seedling performance in the northern interior of British Columbia: twenty-year results. *British Columbia Ministry of Forests, Silviculture Note*, 29: 1–6.
- Jacobs D.F., Salifu K.F., Seifert J.R. 2005. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests*, 30: 235–251. DOI: 10.1007/s11056-005-5419-y.
- Janson L. 1969. Korelacja między cechami biometrycznymi siewek sosny a ich zagęszczeniem. *Sylvan*, 2: 11–15.
- Jinks R., Mason B. 1997. Effects of seedling density on the growth of Corsican pine (*Pinus nigra* var. *maritima* Melv.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) in containers. *Annals of Forest Science*, 55: 407–423. DOI: 10.1051/forest:19980402.
- Johnson J.D., Cline M.L. 1991. Seedling quality of southern pines. In: Duryea M.L., Dougherty P.M. (Eds.). *Forest regeneration manual*. Kluwer Dordrecht Publishers, s. 143–162.
- Kinghorn J.M. 1974. Principles and concepts in container planting. In: Tinus R.W., Stein W.I., Balmer W.E. (Eds.). *Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium*. Under section: The containerized seedling: An important new development in forestry. Denver, Colorado, August 26-29, 1974. *Great Plains Agricultural Council Publications*, 68: 8–18.
- Lamhamedi M.S., Bernier P.Y., Hébert C. 1997. Effect of shoot size on the gas exchange and growth of containerized *Picea mariana* seedlings under different watering regimes. *New Forests*, 13: 209–22.
- Mason E.G., South D.B., Weizhong Z. 1996. Performance of *Pinus radiata* in relation to seedling grade, weed control, and soil cultivation in the central North Island of New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 26: 173–183.
- Mitchell A.K., Arnott J.T. 1995. Effects of shade on the morphology and physiology of amabilis fir and western hemlock seedlings. *New Forests*, 10: 79–98.
- Mohammed G.H., Noland T.L., Wagner R.G. 1998. Physiological perturbation in jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in the presence of competing herbaceous vegetation. *Forest Ecology and Management*, 103: 77–85. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00178-3.

- Newton M., Cole E.C., White D.E. 1993. Tall planting stock for enhanced growth and domination of brush in the Douglas-fir region. *New Forests*, 7: 107–121.
- Paterson J. 1996. Growing environment and container type influence field performance of black spruce container stock. *New Forests*, 13: 325–335.
- Pinto J.R., Dumroese R.K., Davis A.S., Landis T.D. 2011. Conducting seedling stocktype trials: a new approach to an old question. *Journal of Forestry*, 109: 293–299.
- Puértolas J., Gil L., Pardos J.A. 2003. Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted in former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry*, 76: 159–168.
- Regent Instruments Inc. 2008. User Guide, WinRHIZO For Root Analysis. Reference, Regent Instruments. www.regentinstruments.com.
- Ritchie G.A. 1984. Assessing seedling quality. In: Duryea M.L., Landis T.D. (Eds.). *Forest nursery manual: production of bare-root seedlings*. Martinus Nijhoff / Dr W Junk Publishers. Oregon State University, *The Hague Forestry Research Laboratory*, s: 243–259.
- Rose R., Haase D.L., Kroihner F., Sabin T. 1997. Root volume and growth of ponderosa pine and Douglas-fir seedlings: a summary of eight growing seasons. *Western Journal of Applied Forestry*, 12: 69–73.
- Salonius P., Beaton K., Roze B. 2000. Effects of cell size and spacing on root density and field performance of container-reared black spruce. Canadian Forest Service, Atlantic Forestry Centre, Fredericton, New Brunswick. Information Report M-X-208E, s.21. ISBN 0-662-29222-7.
- Scarratt J.B. 1972. Effect of tube diameter and spacing on the size of tubed seedling planting stock. Report O-X-170. Ontario: Canadian Forestry Service, *Great Lakes Forest Research Centre*, s. 10.
- Simpson D.G. 1991. Growing density and container volume affect nursery and field growth of interior spruce seedlings. *Northern Journal of Applied Forestry*, 8: 160–165.
- Simpson D.G. 1994. Nursery growing density and container volume affect nursery and field growth of Douglas-fir and lodgepole pine seedlings. In National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service *General Technical Report*, 257: 105–115.
- South D.B., Harris S.W., Barnett J.P., Hains M.J., Gjerstad D.H. 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. *Forest Ecology and Management*, 204: 385–398. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.09.016.
- South D.B., Mitchell R.J. 1999. Determining the “optimum” slash pine seedling size for use with four levels of vegetative management on flatwoods site in Georgia, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 1039–1046. DOI: 10.1139/x99-048.
- StatSoft Inc. 2011. STATISTICA. Data analysis software system, version 10. www.statsoft.com [12.019.2013].
- Sundström E., Keane M. 1999. Root architecture, early development and basal sweep in containerized and bare-rooted Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Plant and Soil*, 217: 65–78.
- Szabla K., Pabian R. 2009. Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym. Warszawa, *Centrum Informacyjne Lasów Państwowych*, s.251. ISBN 978-83-89744-80-7.
- Timmis R., Tanaka Y. 1976. Effects of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of Douglas-fir seedlings. *Forest Science*, 22: 167–172.
- Vance N.C., Running S.W. 1985. Light reduction and moisture stress: effects on growth and water relations of western larch seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 15: 72–77. DOI: 10.1139/x85-013.