

Wpływ podcinania korzeni i nawożenia na cechy biometryczne dwuletnich sadzonek buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.)

Effects of root pruning and fertilization on biometric traits of 2-year-old seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.)

Winicjusz Kasprzyk¹, Szymon Jastrzębowski^{2*}

¹PGL Lasy Państwowe, Nadleśnictwo Jawor, ul. Myśliborska 3, 59-400 Jawor;

²Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

*Tel. +48 22 7150474, e-mail: s.jastrzebowski@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of this study was to examine the effects of pruning the root system and different doses of nitrogen fertilization on the height and root collar diameter of 2-year-old beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.). This research was conducted in the forest nursery Muchów (Jawor Forest District, regional directorate of State Forests in Wrocław) and two different pruning treatments (no pruning and at 12 cm depth) and nitrogen fertilization doses (25 and 50 kg×ha⁻¹) were applied. Results from an ANOVA showed statistically significant differences between the two pruning treatments ($p=0.000$) as well as for the interaction of both treatment factors ($p=0.019$). Root collar diameter correlated with seedling height, both of which were significantly different for the two pruning treatments ($p=0.000$). No statistically significant impact by the nitrogen fertilization doses on seedling height could be observed ($p=0.125$). To conclude, we found that it is reasonable to reduce the doses of nitrogen fertilization to half the recommended amount, 25 kg×ha⁻¹, if the root system is not pruned during the second growth year. Seedlings that do receive pruning should be fertilized using the recommended nitrogen doses.

Keywords: root pruning, fertilization, European beech, forest nursery

1. Wstęp

Podstawowym celem produkcji szkółkarskiej jest dostarczenie na potrzeby odnowień, zalesień, poprawek i uzupełnień materiału sadzeniowego charakteryzującego się ściśle określonymi minimalnymi wartościami cech biometrycznych, przy czym podstawowe znaczenie mają wysokość i średnica w szyjce korzeniowej sadzonek stanowiących finalny efekt produkcji szkółkarskiej.

System korzeniowy pełni niezwykle istotną rolę w zapatrywaniu rośliny w substancje odżywcze oraz wodę (Atkinson, Wilson 1980). Wspiera także wymianę gazową oraz umożliwia rozmnażanie wegetatywne. Przeżycie i dalszy wzrost siewek w dużej mierze uzależnione są od właściwie uformowanego systemu korzeniowego (Buraczyk, Kapuścińska 2010). Powszechnie stosowaną praktyką szkółkarską w zakresie formowania systemu korzeniowego jest jego podcinanie, zarówno gatunków iglastych, jak i liściastych.

Do podstawowych zabiegów mających wpływ na parametry wzrostowe sadzonek oraz na ich udatność w uprawach leśnych

należy także zaliczyć odpowiednio zbilansowane nawożenie organiczne i mineralne (Walendzik, Szoltyk 1990). Trzeba zwrócić jednak uwagę, że zmodyfikowane prawo Liebiga uwzględnia dziś również niedobór lub nadmiar czynników innych niż nawożeniowe oraz wpływ wzajemnego oddziaływania czynników na siebie (Kozłowska 2007). W takim ujęciu również redukcja systemu korzeniowego, jaka ma miejsce podczas zabiegu formowania korzeni, jest istotnym czynnikiem mającym wpływ na podstawowe parametry materiału sadzeniowego, w szczególności na zahamowanie przyrostu na wysokość i grubość w szyjce korzeniowej przy jednoczesnej poprawie stosunku suchej masy systemu korzeniowego do masy części nadziemnej (Kłoskowska 1995; Sobczak et al. 1999). W wyniku podcinania usuwane są bardzo duże rezerwy węglowodanów i składników odżywczych, które normalnie zostałyby wykorzystane do regeneracji systemu korzeniowego i wzrostu rośliny po przesadzeniu na uprawę leśną (Canham et al. 1999; McArtney, Ferree 1999). Tym samym, po wykonaniu zabiegu należy dostarczyć sadzonkom duże ilości wody oraz nawozów, głównie azotowych w formie dolistnej lub doglebowej.

Wpłynęło: 9.05.2016 r., zrecenzowano: 23.06.2016 r., zaakceptowano: 4.07.2016 r.

Proces ten ma również na celu ukształtowanie zwartej i niepodatnego na uszkodzenia w procesie wyorywania systemu korzeniowego (Białobok et al. 1990).

2. Materiał i metodyka badań

Badania przeprowadzono na dwuletnich sadzonkach buka zwyczajnego w szkółce leśnej Muchów (Leśnictwo Muchów, Nadleśnictwo Jawor). Nasiona wysiano ręcznie 9 maja 2013 r. na powierzchni 8 ar w ilości $4,4 \text{ kg} \times \text{ar}^{-1}$. Zastosowano wariant technologii siewu TL-5 (ZHL 2003).

W drugim roku życia sadzonek wyznaczono na czteroarowym fragmencie powierzchni objętej siewem dwadzieścia cztery odcinki o długości dziesięciu metrów każdy i losowo przypisano im cztery warianty postępowania hodowlanego tj.

- podcinanie systemów korzeniowych oraz dostarczenie azotu w ilości $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$
- podcinanie systemów korzeniowych oraz dostarczenie azotu w ilości $2 \times 25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$
- brak podcinania systemów korzeniowych oraz dostarczenie azotu w ilości $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$
- brak podcinania systemów korzeniowych oraz dostarczenie azotu w ilości $2 \times 25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$

W czasie trwania eksperymentu szkółka leśna posiadała aktualne „Zalecenia gleboznawczo-nawożeniowe” opracowane w marcu 2014 roku. Zalecenia dla fragmentu objętego doświadczeniem ograniczały się do zastosowania pogłównego nawożenia azotem w dwóch dawkach tj. $2 \times 25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. Ze względu na konieczność przeznaczenia materiału sadzeniowego pochodzącego z doświadczenia na potrzeby odnowień i zalesień nie przewidziano wariantu bez nawożenia.

Dla każdego z wariantów zastosowano sześć powtórzeń, zachowując głębokość cięcia poziomego na wysokości około 12 cm poniżej powierzchni gleby. Zabieg podcinania korzeni wykonano w lutym 2014 roku podcinaczem klamrowym typu BRS firmy Egedal umożliwiającym wykonywanie wyłącznie cięcia poziomego.

Pierwszy zabieg nawożenia azotowego przeprowadzono 12 maja 2014 r. w ilości $25 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$ zastosowano saletrę amonową dla wszystkich wariantów doświadczenia. Drugi

zabieg nawożenia azotowego przeprowadzono 20 czerwca 2014 r. w ilości $25 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$ tylko dla wariantów przeznaczonych do pełnego nawożenia celem uzupełnienia ilości zastosowanego nawozu do $50 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. Jako nawóz w drugim terminie zastosowano mocznik. Wszystkie nawozy azotowe stosowano doglebowo.

W listopadzie 2014 r. sadzonki zostały wyorane wyorywaczem aktywnym firmy Egedal typu SR2 i losowo pobrano z każdego z poletek elementarnych od ośmiu do piętnastu sztuk celem określenia wysokości i średnicy w szyjce korzeniowej.

Uzyskane wyniki uśredniono w ramach poszczególnych powtórzeń i każdej kombinacji zabiegów hodowlanych.

W dalszym etapie prac kameralnych uzyskane dane poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem modelu dwuczynnikowej analizy wariancji z interakcją (Dobek, Szwaczkowski 2003).

$$y_{ijk} = \mu + P_i + N_j + PN_{ij} + e_{ijk}$$

gdzie:

y_{ijk} – wysokość/średnica w szyi korzeniowej dla i -tego poziomu podcinania korzeni i j -tej dawki azotu,

μ – średnia ogólna,

P_i – efekt i -tego poziomu podcinania korzeni,

N_j – efekt j -tego poziomu dawki azotu,

PN_{ij} – efekt interakcji i -tego poziomu podcinania korzeni i j -tego poziomu dawki azotu,

e_{ijk} – błąd losowy.

Grupy jednorodne średnich wyznaczono za pomocą HSD Tukeya. Obliczenia wykonano w programie Statistica 6.0 (Statsoft 2006).

3. Wyniki

Wyniki przeprowadzonej analizy wariancji (tab. 1) wykazały istotne statystyczne różnice w wysokości sadzonek w zależności od tego, czy poddano je zabiegowi formowania korzeni ($p=0,000$). Również istotny wynik uzyskano dla efektu interakcji działania obu czynników ($p=0,019$) (ryc. 1). Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu dawki zastosowanego azotu na wysokość materiału sadzeniowego ($p=0,125$).

Tabela 1. Analiza wariancji wysokości sadzonek

Table 1. Analysis of variance for seedlings height

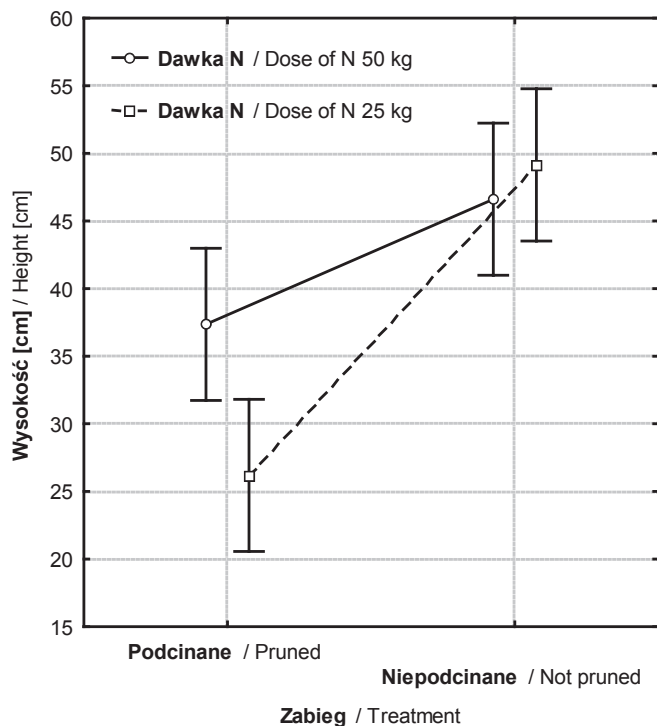
	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean square	F	p
Zabieg formowania					
Treatment	1556,23	1	1556,23	35,65	<0,001
Dawka N/ha					
Dose ($\text{N} \times \text{ha}^{-1}$)	111,72	1	111,72	2,56	0,125
Formowanie x Dawka N					
Treatment x Dose (N)	281,95	1	281,95	6,46	0,019
Błąd					
Error	872,99	20	43,65		

Analiza wariancji przeprowadzona dla średnicy w szyjce korzeniowej (tab. 2) wykazała istotne statystyczne różnice w grubości sadzonek w zależności od tego, czy poddano je zabiegowi formowania korzeni ($p=0,000$). Również istotne statystycznie wyniki uzyskano dla zastosowanej dawki nawożenia azotowego ($p=0,034$) oraz dla efektu interakcji działania obu czynników ($p=0,005$) (ryc. 2).

Obserwowana zmienność wysokości oraz średnic w szyjkach korzeniowych sadzonek była analizowana tylko dla dwóch poziomów każdego z czynników głównych, w dalszej

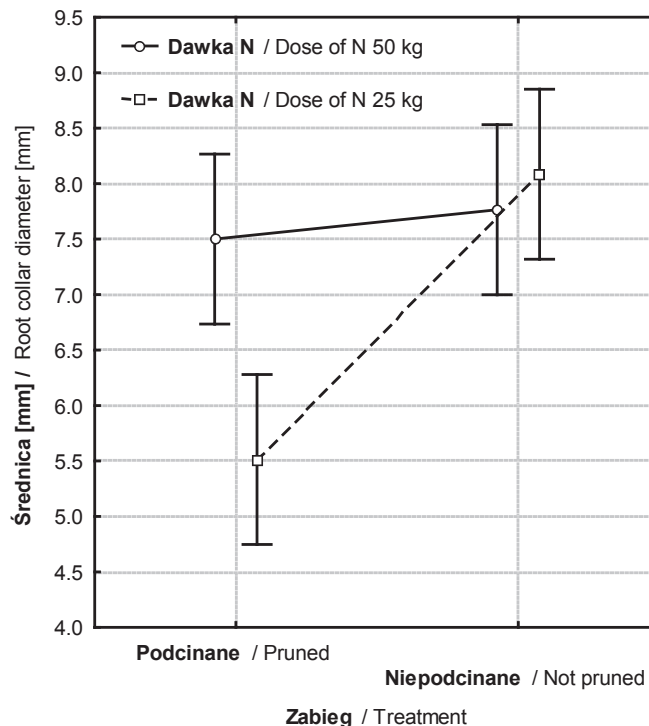
analizie statystycznej skupiono się na ocenie efektów łącznego działania obu czynników dzieląc kombinacje poszczególnych poziomów czynników na grupy jednorodne w teście Tukeya (tab. 3).

Podział kombinacji wariantów na grupy jednorodne dla wysokości (tab. 3) wskazuje na wyraźnie niższe parametry sadzonek podcinanych przy jednoczesnym zastosowaniu dawki azotu obniżonej do $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. Najwyższe pochodziły z grupy niepodcinanych niezależnie od dawki zastosowanego nawożenia azotowego. W przypadku średnicy w szyjce



Rycina 1. Średnie wysokości sadzonek dla badanych wariantów hodowlanych; P – sadzonki z podcinanym systemem korzeniowym, N – sadzonki bez podcinanego systemu korzeniowego

Figure 1. Average height of seedlings for different silvicultural treatments; P – seedlings with pruning root system, N – seedlings without pruning root system



Rycina 2. Średnie grubości w szyi korzeniowej dla badanych wariantów hodowlanych; P – sadzonki z podcinanym systemem korzeniowym, N – sadzonki bez podcinanego systemu korzeniowego

Figure 2. Average of root collar diameter for different treatments; P – seedlings with pruning root system, N – seedlings without pruning root system

Tabela 2. Analiza wariancji średnicy w szyjce korzeniowej

Table 2. Analysis of variance of root collar diameter

	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean of square	F	p
Zabieg formowania Treatment	12,07	1	12,07	14,904	0,000975
Dawka N/ha Dose ($\text{N} \times \text{ha}^{-1}$)	4,167	1	4,167	5,145	0,034544
Formowanie x Dawka N Treatment x Dose (N)	7,981	1	7,981	9,855	0,005164
Błąd Error	16,197	20	0,81		

Tabela 3. Grupy jednorodnych średnich wysokości i średnic w szyi korzeniowej dla badanych wariantów. Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie ($p \leq 0,05$); P – sadzonki z podcinanym systemem korzeniowym, N – sadzonki bez podcinanego systemu korzeniowego
 Table 3. The homogeneous groups of mean height and diameter in root collar. Means with the same letter are not significantly different at $p \leq 0,05$; P – seedlings with pruning root system, N – seedlings without pruning root system

Zabieg Treatment	Dawka Dose [N×ha ⁻¹]	Wysokość Height [cm]	Zmienność Variability [%]	Średnica w szyi korzeniowej Root collar diameter [mm]	Zmienność Variability [%]
P	25 kg	26,2 a	13,54	5,51 a	14,79
P	50 kg	37,3 b	21,36	7,50 b	13,42
N	50 kg	46,6 bc	12,91	7,77 b	11,64
N	25 kg	49,1 c	18,37	8,09 b	9,93

korzeniowej również kombinacja podcinania i dawki azotu w ilości 25 kg×ha⁻¹ powodowała wyraźne obniżenie tego parametru (tab. 3). Zastosowanie dawki 50 kg×ha⁻¹ przy jednoczesnym podcinaniu korzeni nie wpływało w istotny sposób na grubość w szyi korzeniowej w porównaniu do sadzonek u których nie podcinano korzeni niezależnie od podanej dawki azotu (50 lub 25 kg×ha⁻¹). Najwyższą zmiennością wysokości charakteryzowała się grupa sadzonek podcinanych z zastosowaną ilością azotu rzędu 50 kg×ha⁻¹, najniższą zmienność tej cechy obserwowano u sadzonek niepodcinanych z dawką azotu 50 kg×ha⁻¹. W przypadku grubości w szyjce korzeniowej najwyższą zmiennością wykazała się partia sadzonek podcinanych potraktowanych obniżoną dawką azotu, natomiast najniższą zmienność wykazała grupa sadzonek niepodcinanych również potraktowana dawką 25 kg×ha⁻¹ (tab. 3).

4. Podsumowanie i dyskusja

Zagadnienie wpływu podcinania korzeni na cechy biometryczne sadzonek drzew leśnych z uwzględnieniem dawek nawożenia nie było do tej pory szerzej opisywane. Dostępna literatura dotyczy gatunków drzew owocowych lub systemów agroleśnych z uwzględnieniem konkurencji drzewo – zboża (Atkinson, Wilson 1980; Peter, Lehmann 2000).

Brak wpływu zróżnicowania dawki azotu na badane cechy biometryczne w grupie sadzonek niepodcinanych wskazuje, że w przypadku rezygnacji z zabiegu formowania korzeni istnieje możliwość obniżenia na etapie produkcji szkółkarskiej stosowanych dawek azotu do 25 kg×ha⁻¹ w drugim roku życia. Sadzonki podcinane, z racji konieczności odbudowania utraconej części systemu korzeniowego, należy nawozić zalecanymi dawkami azotu, na co wskazuje statystycznie istotny efekt interakcji pomiędzy zabiegiem formowania a dawką azotu w grupie sadzonek podcinanych dla obu badanych cech. Badania przeprowadzone przez Andersen (2001) dotyczące wpływu podcinania na przeżywalność i wzrost sadzonek buka w warunkach silnej konkurencji wskazują, że u buków w których zastosowano silne skrócenie systemu korzeniowego (do 7 cm) śmiertelność sadzonek sięgnęła 99% niezależnie od warunków wzrostu. Zmniejszeniu uległa także sucha masa pędu i korzeni.

Podobne wyniki Andersen i inni (2000) otrzymali w przypadku sadzonek dębu szypułkowego. Podcinanie silnie redukowało wzrost oraz alokację suchej masy pędu i korzeni. Zastosowany zabieg bardziej wpływał na całkowitą suchą masę pędu niż korzenia. W warunkach konkurencji roślin zielnych stwierdzono, że stosunek części nadziemnej do podziemnej zmienia się na korzyść systemu korzeniowego. W badaniach Buraczyka i innych (2011) skrócenie korzeni szkieletowych u dwuletnich sadzonek świerka pospolitego przeznaczonych do szkółkowania spowodowało istotną i proporcjonalną do wielkości skrócenia (5, 10 i 15 cm) redukcję łącznej długości korzeni oraz liczby wierzchołków. Autorzy podają też jako zalecenia dla praktyki, stosowanie dwuletnich sadzonek o korzeniach szkieletowych skróconych do 10 cm, gdyż mocniejsza redukcja systemu korzeniowego może prowadzić do zmniejszenia przeżywalności zwłaszcza w okresach suszy.

Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują na silny wpływ wykonanego zabiegu podcinania przy jednoczesnym zastosowaniu dawki azotu w ilości 25 kg×ha⁻¹ na zmniejszenie wysokości oraz średnicy w szyjce korzeniowej, co w określonych przypadkach, takich jak powierzchnie upraw o pokrywie skłonnej do silnego zachwaszczania lub gleby silnie przepuszczalne, powinno skłaniać do stosowania sadzonek o dość długich korzeniach i znacznej wysokości części nadziemnej (Wesoły et al. 2009), a więc wykorzystanie sadzonek niepodcinanych bez względu na zastosowaną dawkę azotu, lub ewentualnie podcinanych, lecz nawożonych pełną dawką azotu. Wpływ konkurencji pomiędzy sadzonkami drzew leśnych a chwastami powinien być szczególnie uwzględniany w przypadku zalesień gruntów trudnych. Korzenie buka zwyczajnego są bardziej wrażliwe na wysychanie niż korzenie dębu szypułkowego (McKay et al. 1999).

Interesujące badania nad wpływem podcinania korzeni na jakość sadzonek modrzewia japońskiego wykonali także Morrissey i O'Reilly (2002). Zabieg przeprowadzono w czerwcu, lipcu, sierpniu i październiku wraz z dodatkowym nawożeniem. Oceniano wpływ podcinania korzeni na wzrost, pędzenie wiosenne, rozwój pąków, a także morfologię po zakończeniu sezonu wegetacyjnego oraz potencjał wzrostowy korzeni. Wczesne wykonanie zabiegu (w czerwcu) powo-

dowało zwiększenie przyrostu na wysokość w stosunku do zabiegu wykonanego w lipcu i w sierpniu. Podcinanie w październiku nie miało żadnego wpływu na tempo wzrostu. Według tych autorów wczesne podcinanie korzeni powodowało zwiększenie średnicy w szyi korzeniowej oraz suchej masy korzenia. Zwiększeniu uległ także potencjał wzrostowy korzeni (dwu, trzykrotnie w stosunku do wariantu kontrolnego).

Przedstawiona analiza badań nie odpowiada na istotne pytanie, co do wpływu zastosowanych na etapie produkcji szkółkarskiej wariantów postępowania hodowlanego na dalszy wzrost i przeżywalność sadzonek w warunkach uprawy leśnej. Wstępne wyniki zastosowania zaproponowanych kombinacji w warunkach sztucznie odnowionej uprawy leśnej nie wykazują, po jednym roku trwania doświadczenia, zróżnicowania pod względem wielkości przyrostu na wysokość, choć wyraźnie zaznaczyła się niższa przeżywalność sadzonek niepodcinanych potraktowanych obniżoną do $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$ dawką azotu (dane niepublikowane). Buraczyk i Kapuścińska (2010) badając wpływ różnej głębokości podcinania korzeni na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej po szkółkowaniu, stwierdzili natomiast, że największą przeżywalnością charakteryzowały się sadzonki z najmniej podciętym systemem korzeniowym. Według tych autorów podcinanie korzeni ma większy wpływ na średnicę w szyi korzeniowej niż na wysokość sadzonek w pierwszym sezonie wegetacyjnym po szkółkowaniu. Pojawiające się wątpliwości dotyczące zasadności zabiegu formowania systemów korzeniowych w kontekście m.in. ewentualnej podatności sadzonek na infekcje grzybowe (Tkaczyk et al. 2014) powinny skutkować prowadzeniem wieloetapowych doświadczeń obejmujących nie tylko ocenę efektów końcowych produkcji w szkółkach leśnych, lecz przede wszystkim wpływ zastosowanych metod produkcji na wzrost, rozwój, zdrowotność oraz na zdolności adaptacyjne materiału sadzeniowego w zróżnicowanych warunkach upraw leśnych (Wesoły et al. 2009).

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów interesów.

Źródło finansowania

Badania sfinansowano ze środków własnych Autorów.

Literatura

- Andersen L., Rasmussen H.N., Brander P.E. 2000. Regrowth and dry matter allocation in *Quercus robur* (L.) seedlings root pruned prior to transplanting. *New Forests* 19: 205–213. DOI 10.1023/A:1006610805249.
- Andersen L. 2001. Survival and growth of *Fagus sylvatica* seedlings root-pruned prior to transplanting under competitive conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 318–323. DOI 10.1080/713785155.
- Atkinson, D., Wilson, S.A. 1980. The growth and distribution of fruit tree roots: some consequences for nutrient uptake, in: Atkinson D., Jackson J. E., Sharples R.O. Waller W.M. (eds.) *Mineral Nutrition of Fruit Trees*. Butterworths, London, 137–150.
- Białobok S. 1990. Buk zwyczajny. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Poznań, 477–478.
- Buraczyk W., Kapuścińska M. 2010. Effects of pruning of vertical roots on growth of one-year Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in the first year after transplanting. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry* 52(1): 26–32.
- Buraczyk W., Drozdowski S., Szeligowski H., Gawron L., Karpiuk M. 2011. Wpływ skracania systemów korzeniowych dwuletnich sadzonek świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.) na ich wzrost po posadzeniu. *Sylwan* 155(7): 482 – 492.
- Canham C.D., Kobe R.K., Latty E.F., Chazdon R.L. 1999. Interspecific and intraspecific variation in tree seedling survival: effects of allocation to roots versus carbohydrate resources. *Oecologia* 121: 1–11.
- Dobek A., Szwaczkowski T. 2007. *Statystyka matematyczna dla biologów*, Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, 211 s.
- Kłóskowska A. 1995. Wpływ podcinania systemów korzeniowych na wzrost jedno- i dwuletnich siewek dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w szkółce leśnej. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Seria A.*: 73–75.
- Kozłowska M. 2007. *Fizjologia roślin. Od teorii do nauk stosowanych*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 208–210.
- Morrissey N., O'Reilly C. 2002. Effect of root wrenching in the nursery on the quality of Japanese larch transplants. *Irish Forestry* 59 (1-2): 2–17.
- McArtney S.J., Ferree D.C. 1999. Shading effects on dry matter partitioning, remobilization of stored reserves and early season vegetative development of grapevines in the year after treatment. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124: 591–597.
- McKay H.M., Jinks R.L., McEvoy C. 1999. The effect of desiccation and rough-handling on the survival and early growth of ash, beech, birch and oak seedlings. *Annals of Forest Science* 56: 391–402.
- Sobczak R. (red.), 1999. *Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe*. Oficyna Edytorska „Wydawnictwo Świat”. Warszawa. 13: 88–90.
- StatSoft 2006. *Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL*, Kraków, WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>. [17.05.2016].
- Szołtyk G., Walendzik J. R. 1990. Wytyczne organicznego i mineralnego nawożenia szkółek leśnych. Instytut Badawczy Leśnictwa. Warszawa, 1–4.
- Tkaczyk M., Nowakowska J.A., Oszako T. 2014. Nawozy fosforowe jako stymulatory wzrostu roślin w szkółkach leśnych. *Sylwan* 158(1): 3–9.
- Wesoły W., Hauke M. 2009. *Szkółkarstwo leśne od A do Z*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 321–323.
- Zasady Hodowli Lasu 2003. Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu. Andrespol, 62–64.

Wkład autorów

W.K. – koncepcja badań, analizy statystyczne, ryciny, dyskusja, napisanie pracy; S.J. – koncepcja artykułu, dyskusja, korekta, napisanie pracy.

Effects of root pruning and fertilization on biometric traits of 2-year-old seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.)

Winicjusz Kasprzyk¹, Szymon Jastrzębowski^{2*}

¹The State Forests National Forest Holding, Forest District Jawor, ul. Myśluborska 3, 59–400 Jawor, Poland; ²Forest Research Institute, Department of Silviculture and Genetics of Forest Trees, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland

*Tel. +48 22 7150474, e-mail: s.jastrzebowski@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of this study was to examine the effects of pruning the root system and different doses of nitrogen fertilization on the height and root collar diameter of 2-year-old beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.). This research was conducted in the forest nursery Muchów (Jawor Forest District, regional directorate of State Forests in Wrocław) and two different pruning treatments (no pruning and at 12 cm depth) and nitrogen fertilization doses (25 and 50 kg×ha⁻¹) were applied. Results from an ANOVA showed statistically significant differences between the two pruning treatments ($p = 0.000$) as well as for the interaction of both treatment factors ($p = 0.019$). Root collar diameter correlated with seedling height, both of which were significantly different for the two pruning treatments ($p = 0.000$). No statistically significant impact by the nitrogen fertilization doses on seedling height could be observed ($p = 0.125$). To conclude, we found that it is reasonable to reduce the doses of nitrogen fertilization to half the recommended amount, 25 kg×ha⁻¹, if the root system is not pruned during the second growth year. Seedlings that do receive pruning should be fertilized using the recommended nitrogen doses.

Keywords: root pruning, fertilization, European beech, forest nursery

1. Introduction

The main goal of nursery production is delivering planting material for needs of renewal, afforestation, repair planting and completing. The planting material should be characterized by strictly defined biometric features, where the basic meaning have height and diameter in root collar of plants, which are a final effect of nursery production.

The root system is essential when it comes to supplying plant in nutrients and water (Atkinson, Wilson 1980). It also supports gas exchange and allows for vegetative reproduction. The survival and further growth of seedlings is dependent largely on properly formed root system (Buraczyk, Kapuścińska 2010). A common practice in nursery production within the forming of root system is pruning of both coniferous and deciduous species.

The basic treatments influencing the growth parameters and success in forest culture should also include properly balanced organic and mineral fertilization (Walendzik,

Szołtyk 1990). However, it should be noticed that the modified Liebig's Law of the Minimum today also includes the deficiency or excess of factors different than fertilization and an impact of interaction of factors on each other (Kozłowska 2007). On this basis, the reduction of root system, which takes places during the treatment of root forming, is also a significant factor influencing the basic parameters of planting material. It influences, in particular, the increase in height and thickness in root collar while improving the ratio of dry mass of root system to mass of over-ground part of plant (Kłoskowska 1995; Sobczak et al. 1999). As a consequence of pruning, large reserves of carbohydrates and nutrients are being cut, which would normally be used for root system regeneration and growth of plant after transplantation to forest culture (Canham et al. 1999; McArtney, Ferree 1999). Therefore, after the performance of this treatment, seedlings should be supplied with large amounts of water, and mainly nitrogen fertilizers, in the form of foliar or soil application.

Submitted: 9.05.2016, reviewed: 23.06.2016, accepted after revision: 4.07.2016

This process is also intended to form compact and not susceptible to damage during the mechanical lifting of root system (Białobok et al. 1990).

2. Material and methodology of research

The research was conducted on two-year-old seedlings of European beech in forest nursery in Muchów (Muchów forest district, Jawor forest inspectorate). The seeds were sown by hand on May 9, 2013, in an area of 8 acres in the amount of $4,4 \text{ kg} \times \text{ar}^{-1}$. TL-5 variant of sowing technology was used in the research (ZHL 2003) [Forest Management Practices 2003].

In the second year of seedlings' life, designated were, on 4 acres fragment of area covered with sowing, twenty-four sections with a length of 9 meters each and then randomly they were assigned to four variants of breeding treatments, as described below:

- pruning of root system and providing nitrogen in the amount of $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$
- pruning of root system and providing nitrogen in the amount of $2 \times 25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$
- no pruning of root system and providing nitrogen in the amount of $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$
- no pruning of root system and providing nitrogen in the amount of $2 \times 25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$

During the experiment, the forest nursery was equipped in current 'pedology-fertilizer recommendations' developed in March 2014. The recommendations for fragment covered with experiment was limited to use for top-dressing nitrogen fertilization in two doses, that is, $2 \times 25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. A variant without fertilization was not designed due to the necessity of assigning planting material from the experiment to fulfil the needs of renewal and afforestation.

For each of the variants used, there were six repeats, while maintaining the depth of horizontal cut on the level around 12cm below the soil surface. The pruning treatment was performed in February 2014 using the root pruning machine type BRS from Egedal company that allows for performing horizontal cutting.

The first treatment of nitrogen fertilization was conducted on May 12, 2014 using the amount $25 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$. Ammonium nitrate was used for all the variants of experiment. The second treatment of nitrogen fertilization was conducted on June 20, 2014 using the amount $25 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$ only for variants designed for full fertilization in order to supplement the amount of used fertilizer to $50 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. Urea was used as a fertilizer in the second term. All nitrogen fertilizers were used in the form of soil application.

In November 2014, the seedlings were mechanically lifted with the use of a plant lifter type SR2 and then randomly were chosen from each of the experimental plots, from eight to fifteen pieces in order to define its height and diameter in the root collar.

The obtained results were averaged within particular repetitions and each combination of breeding treatments.

The obtained data, in further stage of indoor work, was subjected to a statistical analysis with the use of a two-factor analysis of variance with interaction (Dobek, Szwaczkowski 2003).

$$y_{ijk} = \mu + P_i + N_j + PN_{ij} + e_{ijk}$$

where:

y_{ijk} – height/diameter in root collar for i -level of root pruning and j -dose of nitrogen,

μ – grand mean,

P_i – effect of i - level of root pruning,

N_j – effect of j - level of nitrogen dose,

PN_{ij} – effect of interaction of i -level of root pruning and j -level of nitrogen dose

e_{ijk} – sampling error.

The groups of homogenous means were designated with the use of Tukey's HSD test. The calculations were made in Statistica 6.0 program (Statsoft 2006).

3. Results

Results of the conducted analysis of variance (Table 1) showed statistically significant differences in the height of seedlings, which was dependent on whether they were subjected to root pruning or not ($p = 0.000$). Significant result was also

Table 1. Analysis of variance for seedlings height

	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F	p
Treatment	1556.23	1	1556.23	35.65	<0.001
Dose ($\text{N} \times \text{ha}^{-1}$)	111.72	1	111.72	2.56	0.125
Treatment x Dose (N)	281.95	1	281.95	6.46	0.019
Error	872.99	20	43.65		

obtained for the effect of interaction of activity of both factors ($p = 0.019$) – (Fig. 1). No significant influence of dose of used nitrogen on height of planting material was stated ($p = 0.125$).

The analysis of variance conducted for diameter in root collar (Table 2) showed statistically significant differences in thickness of seedlings, which were dependent on whether they were subjected to a treatment of root forming ($p = 0.000$). Also, statistically significant results were obtained for the used dose of nitrogen fertilization ($p = 0.034$) and for the effect of interaction of activity of both factors ($p = 0.005$) (Fig. 2).

The observed changeability in height and diameter in root collars of seedlings was analysed only for two levels of each of the main factors. Further analysis was focused on the evaluation of effects of joint activity of both factors, which

involved dividing the combinations of particular levels of factors to homogenous groups in Tukey's test (Table 3).

The division of variants' combination to homogenous groups for height (Table 3) indicates visibly lower parameters of pruned seedling, while using a reduced dose of nitrogen to $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. The highest seedlings were in the unpruned group, regardless of the dose of used nitrogen fertilizer. Also, the combination of pruning and dose of nitrogen in the amount of $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$ caused a visible reduction in the diameter in root collar. The use of $50 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$ dose while root pruning did not influence the thickness in root collar significantly in comparison to the unpruned seedlings, regardless of the given dose of nitrogen (50 or $25 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$). The highest variability in terms of height had group of pruned seedlings with dose

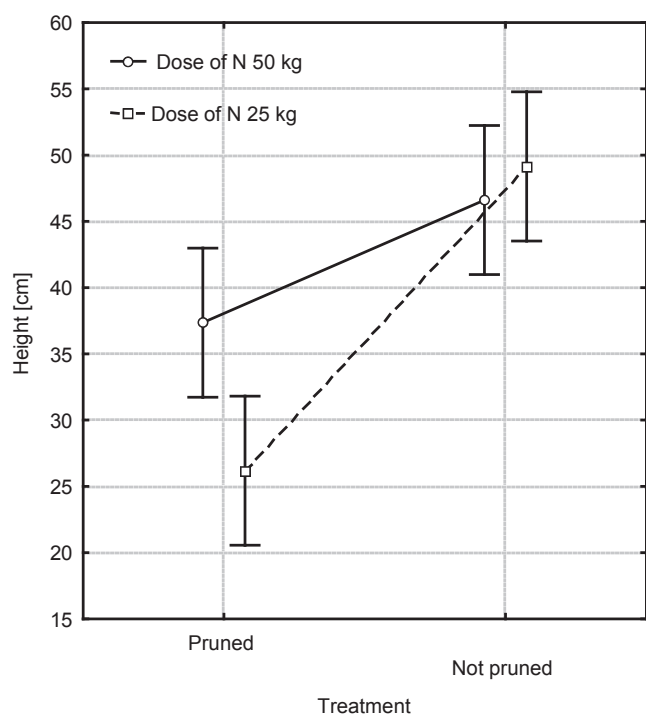


Figure 1. Average height of seedlings for different silvicultural treatment; P – seedlings with pruning root system, N – seedlings without pruning root system

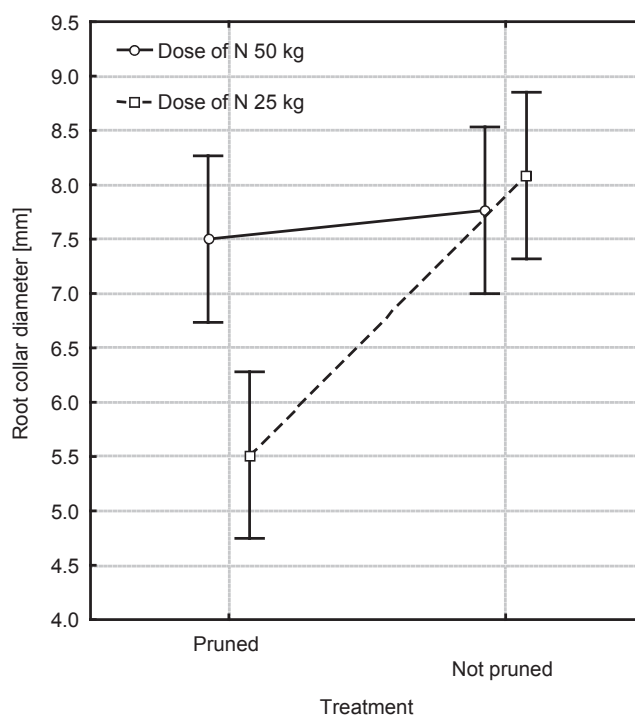


Figure 2. Average of root collar diameter for different treatments; P – seedlings with pruning root system, N – seedlings without pruning root system

Table 2. Analysis of variance of root collar diameter

	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean of square	F	p
Treatment	12.07	1	12.07	14.904	0.000975
Dose ($\text{N} \times \text{ha}^{-1}$)	4.167	1	4.167	5.145	0.034544
Treatment x Dose (N)	7.981	1	7.981	9.855	0.005164
Error	16.197	20	0.81		

Table 3. The homogeneous groups of mean height and diameter in root collar. Means with the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$; P – seedlings with pruning root system, N – seedlings without pruning root system

Treatment	Dose [N×ha ⁻¹]	Height [cm]	Variability [%]	Root collar diameter [mm]	Variability [%]
P	25 kg	26.2 a	13.54	5.51 a	14.79
P	50 kg	37.3 b	21.36	7.50 b	13.42
N	50 kg	46.6 bc	12.91	7.77 b	11.64
N	25 kg	49.1 c	18.37	8.09 b	9.93

of nitrogen in the amount of 50 kg×ha⁻¹. The smallest variability was observed in the case of unpruned seedlings with nitrogen dose in the amount of 50 kg×ha⁻¹. In the case of thickness in root collar, the group of pruned seedlings treated with reduced dose of nitrogen had the highest variability and the group of unpruned seedlings treated with dose in the amount of 25 kg×ha⁻¹ had the lowest variability.

4. Summary and discussion

An issue concerning the influence of root pruning on biometric features of forest trees' seedlings with regard to the doses of fertilization have not been widely described. Any available literature concerns the fruit trees or agro-forest systems with trees-grain competition (Atkinson, Wilson 1980; Peter, Lehmann 2000).

The lack of impact of nitrogen dose differentiation on the examined biometric features in the group of unpruned seedlings shows that in case of abandonment of root forming treatment, there is a possibility of reduction of used doses of nitrogen to 25 kg×ha⁻¹ in the second year of seedlings' life already on the stage of nursery production. The pruned seedlings, due to the necessity of reconstruction of the lost part of root system, should be fertilized with recommended doses of nitrogen. It is confirmed by the statistically significant effect of interaction between forming treatment and dose of nitrogen in group of pruned seedlings for both examined features. Research made by Andersen (2001) concerning the influence of root pruning on survivability and growth of beech seedlings in the condition of strong competition indicates that in the case of beech with strongly reduced root system (to 7 cm), the seedlings' mortality reached 99% regardless of growth conditions. Dry mass of shoot and roots was also reduced. Similar results were obtained by Andersen et al. (2000) in the case of seedlings of pedunculate oak. Pruning strongly reduced the growth and the allocation of dry mass of shoot and roots. The used treatment had more influence on total dry mass of shoot than on root. Regarding the conditions of herbaceous plants, it was stated that the ratio of aboveground to undergro-

und part changed in favour of the root system. In Buraczyk et al. (2011) research, the reduction of skeletal roots of two-years-old Norway spruce seedlings for transplanting caused a significant and proportional to size of reduction (5, 10 and 15 cm) of joint length of roots and number of tips. For practice, the authors also recommended the use of two-year-old seedlings with skeleton roots reduced to 10 cm. It results from the fact that the stronger reduction of root system may lead to the reduction of survivability, especially during droughts.

The obtained results clearly show a strong influence of performed pruning while using the dose of nitrogen in the amount of 25 kg×ha⁻¹ on the reduction of height and diameter in the root collar. In some cases, like the surfaces of cultures with covers liable to weed-growing or strongly permeable soils, such results should encourage the use of seedlings with quite long roots and substantial height of aboveground part (Wesoły et al. 2009). Therefore, the use of unpruned seedlings, regardless of the used dose of nitrogen, or the seedlings possibly pruned but fertilized with full dose of nitrogen. The influence of competition between forest trees' seedlings and weeds should be particularly considered in the case of afforestation of difficult grounds. The roots of European beech are more sensitive to drying than the roots of pedunculate oak (McKay et al. 1999).

An interesting research on the impact of root pruning on the quality of seedlings of Japanese larch was conducted by Morrissey and O'Reilly (2002). The treatment was performed in June, July, August and October with additional fertilization. The influence of root pruning on growth, spring growth and buds was evaluated. Also, the evaluation of morphology after the end of vegetation season and the root growth capability was carried out. The early performance of treatment (in June) caused an increase in height in comparison to the treatment performed in July and August. The pruning in October did not have any influence on the pace of growth. According to these authors, early pruning of roots caused the increase of diameter in root collar and dry mass of root. Also, an increment in root growth capability occurred (twice, three-times in comparison to control variant). The presented analysis of research does not answer an important question regarding the influence of

used on the stage of nursery production variants of breeding treatments on further growth and survivability of seedlings in the condition of forest culture. The preliminary results of proposed combinations' application in conditions of artificially renewed forest culture does not show, after one year of experiment, diversification in terms of increment in height. However, lower survivability of unpruned seedlings treated with reduced to 25 kg×ha⁻¹ dose of nitrogen (unpublished data) was visible. It was stated by Buraczyk and Kapuścińska (2010), who examined the influence of different depth of root pruning on growth of Scots pine after transplanting, that seedlings with least pruned root systems had the highest survivability. According to these authors, the root pruning has a bigger influence on diameter in root collar than on the growth of seedlings in first vegetation season after transplanting. Any queries or doubts regarding the legitimacy of root system forming treatment in the context of, among others, the possible susceptibility of seedlings to fungi infections (Tkaczyk et al. 2014), should result in running multi-stage research covering. There should not only be an evaluation of the final effects of the production in forest nurseries, but also the influence of methods of production used should be evaluated to understand their impact on growth, development, sanitary conditions and on adaptability of planting material in diversified conditions of forest cultures (Wesoły et al. 2009).

Conflict of interest

The authors declare lack of potential conflicts.

Acknowledgements and sources of funding

The research was financed from authors' own resources.

References

- Andersen L., Rasmussen H.N., Brander P.E. 2000. Regrowth and dry matter allocation in *Quercus robur* (L.) seedlings root pruned prior to transplanting. *New Forests* 19: 205–213. DOI 10.1023/A:1006610805249.
- Andersen L. 2001. Survival and growth of *Fagus sylvatica* seedlings root-pruned prior to transplanting under competitive conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 318–323. DOI 10.1080/713785155.
- Atkinson, D., Wilson, S.A. 1980. The growth and distribution of fruit tree roots: some consequences for nutrient uptake, in: Atkinson D., Jackson J. E., Sharples R.O. Waller W.M. (eds.) *Mineral Nutrition of Fruit Trees*. Butterworths, London, 137–150.
- Białobok S. 1990. *Buk zwyczajny*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Poznań, 477–478.
- Buraczyk W., Kapuścińska M. 2010. Effects of pruning of vertical roots on growth of one-year Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in the first year after transplanting. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry* 52(1): 26–32.
- Buraczyk W., Drozdowski S., Szeligowski H., Gawron L., Karpiuk M. 2011. Wpływ skracania systemów korzeniowych dwuletnich sadzonek świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.) na ich wzrost po posadzeniu. *Sylwan* 155(7): 482 – 492.
- Canham C.D., Kobe R.K., Latty E.F., Chazdon R.L. 1999. Interspecific and intraspecific variation in tree seedling survival: effects of allocation to roots versus carbohydrate resources. *Oecologia* 121: 1–11.
- Dobek A., Szwarczkowski T. 2007. *Statystyka matematyczna dla biologów*, Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, 211 s.
- Kłoskowska A. 1995. Wpływ podcinania systemów korzeniowych na wzrost jedno- i dwuletnich siewek dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w szkółce leśnej. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Seria A.*: 73–75.
- Kozłowska M. 2007. *Fizjologia roślin. Od teorii do nauk stosowanych*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 208–210.
- Morrissey N., O'Reilly C. 2002. Effect of root wrenching in the nursery on the quality of Japanese larch transplants. *Irish Forestry* 59 (1-2): 2–17.
- McArtney S.J., Ferree D.C. 1999. Shading effects on dry matter partitioning, remobilization of stored reserves and early season vegetative development of grapevines in the year after treatment. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124: 591–597.
- McKay H.M., Jinks R.L., McEvoy C. 1999. The effect of desiccation and rough-handling on the survival and early growth of ash, beech, birch and oak seedlings. *Annals of Forest Science* 56: 391–402.
- Sobczak R. (ed.), 1999. *Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe*. Oficyna Edytorska „Wydawnictwo Świat”. Warszawa. 13: 88–90.
- StatSoft 2006. *Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL*, Kraków, WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>. [17.05.2016].
- Szołtyk G., Walendzik J. R. 1990. Wytyczne organicznego i mineralnego nawożenia szkółek leśnych. *Instytut Badawczy Leśnictwa*. Warszawa, 1–4.
- Tkaczyk M., Nowakowska J.A., Oszako T. 2014. Nawozy fosforynowe jako stymulatory wzrostu roślin w szkółkach leśnych. *Sylwan* 158(1): 3–9.
- Wesoły W., Hauke M. 2009. *Szkółkarstwo leśne od A do Z*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 321–323.
- Zasady Hodowli Lasu 2003. *Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu*. Andrespol, 62–64.

Authors' contribution

W.K. – concept of research, statistical analysis, engravings, discussion, writing an article; S. J. – concept article, discussion, proofreading, writing an article