

Porównanie odnowień sosny zwyczajnej powstałych z siewu i sadzenia w różnych terminach

Comparing Scots pine regeneration established by sowing and planting at various times of year

Władysław Barzdajn^{1*}, Wojciech Kowalkowski¹, Robert Tomczak²

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Leśny, Katedra Hodowli Lasu, ul Wojska Polskiego 71A, 60-625 Poznań, Polska;

²Nadleśnictwo Złotoryja, ul. Stanisława Staszica 18, 59-500 Złotoryja, Polska

*Tel. +48 61 8487742, fax +48 61 8487734; e-mail: barzdajn@up.poznan.pl

Abstract. The aim of this study was to evaluate the practical feasibility of two forest regeneration methods using Scots pine *Pinus sylvestris* L. To this end, comparative experiments were established in the Złotoryja and Legnica Forest Districts. The site in Złotoryja had been clear cut, while the experimental plot in Legnica was established at a location damaged by wind in 2009 and cleared from wind throws and wind-broken trees before the experiment. Four different dates for sowing and two for planting were chosen in order to investigate the potential forest regeneration with respect to time. Both experiments were established according to the same design: a complete random block design with five replication blocks. To each plot we applied approximately 53 g (1.2 kg/ha) of seeds and planted 230 seedlings (10 200 seedlings/ha). In 2017, the height of the pine trees was recorded and their increment in height was measured in 2016 as well as 2017. A preliminary analysis of results was conducted using ANOVA for multiple experiments in order to identify significant differences and to then combine variables to form homogeneous groups to which the Duncan multiple range test could be applied. For growth traits, the ANOVA showed significant differences between experimental sites as well as a significant interaction of factors with the experimental site. In terms of planting, April was the most advantageous resulting in the greatest tree height in both forest districts, while in the Legnica Forest District the saplings planted in April also showed the greatest annual increments. Among the sowing dates, the most advantageous was the winter sowing, while the April sowing date produced the least desirable results. In conclusion, both sowing and planting are effective methods to establish pine cultures in coniferous forest.

Furthermore, both methods may be performed at the currently recommended spring date, but they may also be postponed to summer and winter dates provided favorable weather conditions prevail.

Keywords: methods of forest regeneration, pine growth, density

Słowa kluczowe: metody odnowienia lasu, wzrost sosny, zagęszczenie

1. Wstęp

Sztuczne odnowienie lasu odbywa się przez siew lub sadzenie. Każdy z tych sposobów ma swoje zalety, wady i zastosowanie. Ich porównywanie ma sens tylko w określonych warunkach przyrodniczych, ekonomicznych i technicznych. Tyszkiewicz i Obmiński (1963) oraz Puchniarski (2008) wymieniają szereg zalet odnowienia sztucznego, w tym siewu.

Historycznie najstarszą metodą odnowienia lasu było odnowienie samosiewem. Gdy ta forma odnowienia zawodziła, stosowano odnowienie sztuczne siewem, także siew szyszkami. Siewy i samosiewy uzupełniano sadzeniem. Odnowienie lasu poprzez sadzenie wykonywano najpierw siewkami wyjmowanymi z nalotów, a potem produkowanymi w szkółkach (Pfeil 1839; Burckhard 1870).

Zawodność odnowienia siewem sprawiła, że w przypadku sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L., za wskazaniem Pfeila (1839, 1843), rozpowszechniła się metoda sadzenia do przygotowanej gleby rocznych lub 2-letnich sadzonek wyprodukowanych w szkółce. Było to zapewne wymuszone stosowaniem dużych zrębów zupełnych, na których obsiew boczny był niedostateczny (Puchalski 1972).

Najmniej zawodne i najbardziej efektywne w ilości wysiewanych nasion jest odnowienie sosny przez sadzenie materiału sadzeniowego wyprodukowanego w szkółkach. Jednak odnowienie siewem jest tanie i można je szybko wykonać na dużych powierzchniach małym nakładem pracy. Dlatego metoda ta wciąż budzi zainteresowanie. Przegląd metod odnowienia siewem opublikowali Łukaszewicz i Gil (2007). Praktycy hodowli lasu konstruują nowe typy siewników

Wpłynęło: 20.05.2019 r., zrecenzowano: 21.08.2019 r., zaakceptowano: 17.09.2019 r.

i opracowują procedury zakładania upraw, którym nadaje się rangę nowych metod hodowlanych (Walachowski 1985; Niemiec 2003; Niemiec, Sobański 2007, 2009; Borysiewicz 2011). Inicjatywy te są bardzo cenne i przyczyniają się do znacznej poprawy jakości prac hodowlanych. Jednak badaniom praktyków zwykle brakuje metodycznych porównań pomiędzy różnymi technikami zakładania upraw.

Podjęto próbę określenia praktycznej przydatności oraz możliwości zastosowania sztucznego siewu i sadzenia jako sposobów odnowienia sosny zwyczajnej. Dodatkowo uwzględniono w badaniach różne terminy zakładania upraw. Przy gwałtownie zmieniających się i niestabilnych warunkach klimatycznych taka informacja nie tylko uzupełni braki teoretyczne w tym zakresie, ale także poszerzy możliwości działań uptylitarnych.

2. Metodyka

Doświadczenia porównawcze założono w Nadleśnictwie Złotoryja, w obrębie Chojnów, w leśnictwie Michałów, oddz. 7j oraz w Nadleśnictwie Legnica, obręb Prochowice, leśnictwo Mierzowice, oddz. 45c. W Złotoryi była to powierzchnia po planowym zrębie zupełnym. Siedlisko oznaczono jako bór świeży na glebie rdzawej bielcowanej wytworzonej z piasków luźnych. Bonitacja usuniętego drzewostanu wynosiła II,5. Powierzchnia zrębu sąsiadowała od strony zachodniej z dojrzałym drzewostanem sosnowym, otoczenie z innych stron stanowiły uprawy i młodniki. W Legnicy doświadczenie założono na powierzchni całkowicie odsłoniętej i uporządkowanej po wiatrowale i wiatrołomie z 2009 r. Siedlisko określono jako bór mieszany świeży z glebą brunatną bielcowaną.

Dobór obiektów doświadczalnych wynikał z potrzeby porównania nie tylko różnych sposobów odnowienia, ale także różnych jego terminów (tab.1). Stąd też w doświadczeniu są zarówno tradycyjne terminy siewu i sadzenia, jak i terminy potencjalnie możliwe, wymagające naukowej i praktycznej weryfikacji. W każdej lokalizacji do siewu i produkcji sadzonek w szkółce użyto nasion z jednej partii. Planowano siew w listopadzie, tzw. siew pod grudę. Nasiona miały przezimować i podjąć kiełkowanie jak najwcześniej na wiosnę. Niestety w przewidzianym terminie siewu gleba była już zamrznięta, zatem siew wykonano w czasie najbliższej przejściowej odwilży, tj. w styczniu 2011 r.

Oba doświadczenia założono wg tego samego układu: bloków losowanych kompletnych, z pięcioma blokami – powtórzeniami. Wielkość poletek wyniosła 225 m² a wymiary 15×15 m. Każde doświadczenie składa się z 30 poletek – jednostek eksperymentalnych (6 obiektów × 5 powtórzeń), a jego wielkość wynosi 0,675 ha. Na obu powierzchniach wyorano bruzdy pługiem dwuodkładnicowym w odstępie co 1,5 m. Zużycie nasion na poletko wyniosło ok. 53 g (1,2 kg/ha). Siew na uprawach wykonywano ręcznym siewnikiem taczkowym. W pierwszych dwóch latach na powierzchni w Złotoryi usuwano naloty, aby nie zagęszczały siewów. Na powierzchni w Legnicy pojawianie się nalotów było niemożliwe.

Na poletku posadzono 230 szt. sadzonek (ok. 10 200 szt./ha), które przeżyły jeden, pełny lub niepełny, sezon wegetacyjny (1/0).

W 2017 roku po zakończeniu przyrostu pomierzono wysokość wszystkich drzewek oraz przyrosty wysokości za 2016 i 2017 rok. Przy pomiarze drzewka kwalifikowano (według obowiązujących zasad przeprowadzania zabiegów pielęgnacyjnych) do pozostawienia po przypadającym na 2017 rok czyszczeniu późnym. Z liczby drzew kwalifikowanych do pozostawienia obliczono zagęszczenie (liczba drzew na ha).

Wyniki opracowano, stosując analizę wariancji dla doświadczenia wielokrotnego, wg następującego modelu stałego:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ij}$$

gdzie:

y_{ij} – średnie obiektowe w doświadczeniach,

μ – średnia ogólna,

α_i – efekty obiektowe,

β_j – efekty doświadczeń,

$(\alpha\beta)_{ij}$ – efekt interakcyjny,

e_{ij} – reszty (błędy).

Jeśli otrzymano istotny efekt interakcyjny, co oznacza że efekty obiektowe są inne w każdym doświadczeniu, wykonywano analizy wariancji dla każdego z doświadczeń oddzielnie, wg modelu:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

gdzie:

y_{ij} – średnia poletkowa,

μ – średnia dla doświadczenia,

α_{ij} – efekty obiektowe,

β_i – efekty blokowe,

e_{ij} – reszty (błędy).

W przypadku otrzymania istotnego zróżnicowania obiektów łączono je w grupy jednorodne przy zastosowaniu wielokrotnego testu rozstępu Duncana.

Tabela 1. Sposoby odnowienia i daty jego wykonania

Table 1. Forest regeneration methods and execution dates

Sposób odnowienia i planowana data wykonania Forest regeneration method and planned execution date	Rzeczywista data wykonania Actual execution date
Siew / Sowing VI 2010	28 czerwca / June 2010
Siew / Sowing VIII 2010	26 sierpnia / August 2010
Sadzenie / Planting VIII 2010	26 sierpnia / August 2010
Siew / Sowing XI 2010	18 stycznia / January 2011
Siew / Sowing IV 2011	31 marca / March 2011
Sadzenie / Planting IV 2011	31 marca / March 2011

3. Wyniki

Dla badanych cech analiza wariancji wykazała istnienie istotnych różnic między obiektami oraz istotnej interakcji obiektów z powierzchnią. Oznacza to konieczność analizowania wyników każdego doświadczenia oddzielnie.

Zrobiono tak dla wszystkich cech, pomimo że dla zagęszczenia drzewek nie wykazano istnienia różnic między doświadczeniami ($p=0,059$), ani istnienia interakcji 'obiekty \times doświadczenia' ($p=0,243$). Średnie obiektowe dla czterech analizowanych cech i obu doświadczeń zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów młodników doświadczalnych w nadleśnictwach Złotoryja i Legnica otrzymane w 2017 roku
Table 2. Results of measurements for experimental sapling stands in the Złotoryja and Legnica Forest Districts recorded in 2017

Obiekt Object	Wiek drzewek w 2017 [lata] Age of trees in 2017 [years]	Wysokość w 2017 r. Height in 2017 [cm]	Przyrost wysokości w 2016 r. Height increment in 2016 [cm]	Przyrost wysokości w 2017 r. Height increment in 2017 [cm]	Zagęszczenie na ha Density per ha
Powierzchnia w Nadleśnictwie Złotoryja Experimental site in the Złotoryja Forest District					
Siew w czerwcu 2010 Sowing in June 2010	8	239,04 b	42,95 a	55,06 ab	4524 bc
Siew w sierpniu 2010 Sowing in August 2010	8	221,83 c	41,81 a	53,60 b	3884 c
Sadzenie w sierpniu 2010 Planting in August 2010	8	242,51 b	41,72 a	57,16 ab	4738 b
Siew zimowy 2010 Sowing in winter 2010	7	201,77 d	29,49 b	44,25 d	5636 a
Sadzenie w kwietniu 2011 Planting in April 2011	8	260,75 a	42,90 a	57,44 a	4818 ab
Siew w kwietniu 2011 Sowing in April 2011	7	222,88 c	37,18 a	48,05 c	5253 ab
Średnia dla Złotoryji Mean in Złotoryja	-	230,69	38,92	52,22	4809
Powierzchnia w Nadleśnictwie Legnica Experimental site in the Legnica Forest District					
Siew w czerwcu 2010 Sowing in June 2010	8	238,16 d	41,05 c	45,58 e	5013 b
Siew w sierpniu 2010 Sowing in August 2010	8	236,98 d	42,19 c	46,88 d	4027 c
Sadzenie w sierpniu 2010 Planting in August 2010	8	292,38 b	49,62 b	54,76 b	5093 b
Siew zimowy 2010 Sowing in winter 2010	7	250,83 c	41,50 c	47,75 c	5440 ab
Sadzenie w kwietniu 2011 Planting in April 2011	8	301,54 a	52,23 a	60,17 a	5716 a
Siew w kwietniu 2011 Sowing in April 2011	7	224,64 e	38,92 d	43,93 f	5173 ab
Średnia dla Legnicy Mean in Legnica	-	258,93	44,45	50,13	5077

Litery a–f umieszczone obok wartości cech informują o istnieniu istotnych różnic pomiędzy obiektami. Obecność tej samej litery przy dwóch porównywanych średnich informuje o braku istotnej różnicy i zaliczeniu obu średnich do tej samej grupy, ale tylko w rozpatrywanym doświadczeniu.

W Nadleśnictwie Złotoryja największą wysokość osiągnął młodnik z sadzenia kwietniowego w 2011 r. Przyrosty wysokości za lata 2016 i 2017 także należały w tym obiekcie do najwyższych. Na drugim miejscu znalazł się młodnik powstały z sadzenia sierpniowego w poprzednim roku. Przyrosty wysokości w tym obiekcie należą do tej samej grupy co przyrosty w młodniku z sadzenia kwietniowego. Młodnik powstały z siewu czerwcowego w 2010 roku wykazał wzrost bardzo zbliżony do wzrostu młodnika z sadzenia sierpniowego w 2010 roku. Najniższą wysokość i najniższe przyrosty wykazał w Złotoryi młodnik powstały z siewu zimowego. Były one istotnie mniejsze od cech wzrostowych młodnika powstałego z siewu kwietniowego, czyli wykonanego w tradycyjnym terminie. Różne terminy siewu i sadzenia wygenerowały różnice wiekowe pomiędzy drzewkami z siewu zimowego i wiosennego a pozostałymi obiektami, wynoszące 1 rok. Różnica wysokości pomiędzy młodnikiem z sadzenia w kwietniu a młodnikiem z siewu zimowego wynosząca 59 cm może wynikać jedynie z różnicy wieku, gdyż ośmioletnie obiekty wykazywały w wieku 7 lat przyrosty wysokości wynoszące 42–43 cm, a młodnik z siewu zimowego przyrósł w wieku 7 lat (w następnym roku) ponad 44 cm.

W Nadleśnictwie Legnica największą wysokość i największe przyrosty roczne wykazał młodnik z sadzenia kwietniowego i pod względem cech wzrostowych grupowanie obiektów wg testu Duncana nie łączy go z żadnymi innymi obiektami. Największy przyrost uzyskany w 2017 roku sugeruje, że w kolejnych latach różnice mogą się pogłębiać. Drugim z kolei obiektem pod względem wzrostu i przyrostów jest młodnik z sadzenia sierpniowego.

Spośród terminów siewu najkorzystniejszy okazał się siew zimowy, a najmniej korzystny był siew w kwietniu. Drzewka z siewu zimowego były wyższe od drzewek z siewu czerwcowego i sierpniowego, pomimo tego że były młodsze od nich o jeden sezon wegetacyjny. Po porównaniu terminów siewu otrzymano więc w Legnicy wynik odwrotny od wyniku w Złotoryi. Różnice w wysokości drzewek z tradycyjnego kwietniowego terminu siewu z drzewkami z siewu czerwcowego i sierpniowego można wytłumaczyć różnicami wieku.

4. Dyskusja

Odnowienie lasu jest koniecznością w każdym gospodarstwie leśnym i dlatego jego sposoby były rozpatrywane od początków istnienia nowoczesnego leśnictwa, czyli od XVIII wieku. Decyzję o odnowieniu należy podejmować wg Puchalskiego (1972), opierając się na trzech zasadach: 1) wszystkie biologiczno-ekologiczne możliwości odnowienia naturalnego należy wykorzystywać zgodnie z celem odnowienia, 2) należy zrezygnować z odnowienia naturalnego, gdy gleba nie wykazuje sprawności i gdy jakość odnawia-

nego drzewostanu bądź jego otoczenia jest niedostateczna albo gdy są one niewłaściwej proveniencji, 3) przy rezygnacji z odnowienia naturalnego, odnowienie sztuczne należy wykonać niezwłocznie, aby zapobiec degradacji siedliska i stratom na przyroście. Według Jabłońskiego (2015) bieżący roczny przyrost miąższości w polskich lasach wynosi średnio 9,1 m³/ha i jego wartość rynkowa stanowi stratę finansową za każdy rok opóźnienia odnowienia.

W literaturze przedmiotu brakuje prac traktujących o porównaniach wzrostu odnowień sosnowych założonych siewem i sadzeniem, wykonanych na podstawie metodycznie założonych eksperymentów. Jest to jeszcze jedna luka w wiedzy. Istniejąca literatura dotyczy odległych regionów geograficznych. Mäkitalo (1999) w eksperymencie przeprowadzonym w północnej Finlandii porównując metody przygotowania gleby i metody zakładania upraw stwierdził w 16-letnim młodniku przewagę wysokościową drzewek rozmnażanych z sadzonek z nagim korzeniem (295 cm) nad drzewkami z sadzonek kontenerowych (261 cm) i drzewkami z siewu na uprawie (186 cm). Wynik ten nie jest zgodny z potocznym przekonaniem o wyższej jakości sadzonek z bryłką. W Nadleśnictwie Oleśnica porównywano wzrost sosen z sadzonek nagokorzeniowych i z sadzonek z bryłką sadzonych w terminach późnoletnich, jesiennych i wiosennych, wykazując, że drzewostany wyrosłe z sadzonek kontenerowych nie mają żadnej przewagi wzrostowej nad drzewostanami z sadzonek nagokorzeniowych, jeśli sadzenie wykonano w okresie sierpień – październik (Barzdajn 2010; Barzdajn, Kowalkowski 2016). W środkowej części europejskiej Rosji, w lasach Moskiewskiego Instytutu Techniczno-Leśnego Merzlenko i Muhamedšin (1987) przeprowadzili porównawczą analizę wzrostu dwóch drzewostanów sosny zwyczajnej w wieku 110 lat założonych w 1874 r. siewem i sadzeniem. W związku z brakiem powtórzeń wyniki nie są pełnowartościowe, jednakże wskazują na intensywniejszy przyrost drzewostanu powstałego z sadzenia aż do wieku 110 lat. Przyrost bieżący drzewostanu powstałego z siewu był po tym okresie wyższy niż drzewostanu z sadzenia. Różnice te autorzy tłumaczą wyłącznie większym zagęszczeniem odnowień powstałych z siewu i wpływem konkurencji między drzewami. W Polsce wykonano szereg porównań upraw i młodników powstałych z siewu i sadzenia, jednak na podstawie obserwacji obiektów gospodarczych, założonych bez celu badawczego. Wyniki takich porównań, w których nie można obliczyć błędu eksperymentalnego (wpływu niekontrolowanych czynników), są niemiarodajne. W badaniach Hawrysia i in. (2004) na pożarysku z 1992 r. w nadleśnictwie Rudy Raciborskie odnowienia sosny wykonane sadzeniem rosły lepiej od odnowień samosiewnych, a w Nadleśnictwie Potrzebowice rosły lepiej od odnowień wykonanych siewem. Obserwacje Okonia (2016) z lasów Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu (nadleśnictwa: Grójec, Koźnice, Barycz, Włoszczowa, Ruda Maleniecka, Zwoleń i Stąporków) dały wynik podobny – odnowienia wykonane sadzeniem rosną szybciej od odnowień siewem, przynajmniej do wieku młodnika. Wyniki naszego eksperymentu wyraźnie wskazują na

bardziej intensywny wzrost upraw powstałych z sadzenia niż z siewu i są w całkowitej zgodności z danymi literaturowymi. Różnice we wzroście utrzymały się do wieku młodnika i nie wykazują tendencji do zanikania. Wynika z tego, że spodziewane straty we wzroście związane z tzw. szokiem przesadzeniowym nie są uzasadnione.

Dotychczas daty siewu nasion sosny na uprawach nie podejmowano w badaniach. Jedynie w Finlandii w doświadczeniu Chantal i in. (2003) jednym z czynników był termin siewu (wiosenny i letni). Siew letni nie sprzyjał dobremu przeziębieniu siewek sosny i na skutek uszkodzeń mrozowych korzeni w następnym sezonie wegetacyjnym zanotowano zwiększoną śmiertelność.

Niezależnie od daty i od sposobu zakładania upraw doświadczalnych we wszystkich obiektach młodniki wykazały pełną przydatność do dalszej hodowli. Jest to tym bardziej cenne, że zastosowano w doświadczeniach niekonwencjonalne terminy siewu i sadzenia. Nawet siew zimowy nasion sosny, nigdzie do tej pory niestosowany, wykazał swoją przydatność w warunkach, w jakich założono oba doświadczenia. Z praktycznego punktu widzenia pozwala to na zakładanie upraw sosnowych w znacznie dłuższym czasie, co jest ważne w sytuacjach, gdy prace odnowieniowe są rozległe i muszą być wykonane szybko.

5. Wnioski

1. Obie metody zakładania upraw sosnowych na siedliskach borowych, siewem i sadzeniem, mogą być skuteczne i pełnowartościowe.

2. Zarówno siew, jak i sadzenie mogą być wykonywane w dotychczas akceptowanym terminie wiosennym, jak i rozciągnięte na lato i na zimę, w przypadku wystąpienia korzystnych warunków atmosferycznych.

3. Lepszy wzrost upraw i młodników powstałych z sadzenia w porównaniu z odnowieniami z siewu na uprawie wymaga głębszego wyjaśnienia.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania badań

Badania sfinansowano ze źródeł własnych Katedry Hodowli lasu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Literatura

- Barzdajn W. 2010. Wzrost uprawy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) założonej przy użyciu sadzonek z bryłką i z nagim korzeniem w różnych terminach sadzenia. *Sylvan* 154(5): 312–322. DOI 10.26202/sylvan.2009059.
- Barzdajn W., Kowalkowski W. 2016. Wpływ pory sadzenia i technologii produkcji sadzonek na wzrost sosny zwyczajnej

w doświadczeniu w Nadleśnictwie Oleśnica. *Sylvan* 160(2): 127–134. DOI 10.26202/sylvan.2015065.

- Borysiewicz J. 2011. Sosna – odnowienie siewem w praktyce. *Biblioteczka Leśniczego* 332: 1–14.
- Burckhardt H. 1870. Säen und Pflanzen nach forstlicher Praxis. *Handbuch der Holzeziehung*. Carl Rümpler, Hannover, 527 s.
- Chantal M., Leinonen K., Ilvesniemi H., Westman C.J. 2003. Combined effects of site preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds. *Canadian Journal of Forest Research* 33(5): 931–945.
- Hawryś Z., Zwoliński J., Kwapis Z., Małecka M. 2004. Rozwój sosny zwyczajnej na terenie pożarysk leśnych z 1992 r. w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice. *Leśne Prace Badawcze* 2: 7–20.
- Jabłoński M. 2015. Zasobność i przyrost drzewostanów na podstawie wyników wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (WISL), w: Wawrzoniak J. Stan zdrowotny lasów Polski w 2014 roku. Synteza opracowania pt. „Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 2014 roku na podstawie badań monitoringowych”, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, 59–61.
- Łukaszewicz J., Gil W. 2007. Historia i terażniejszość zalesiania i odnawiania lasu siewem. *Sylvan* 151(3): 11–22. DOI 10.26202/sylvan.2006013.
- Mäkitalo K. 1999. Effect of Site Preparation and Reforestation Method on Survival and Height Growth of Scots Pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(6): 512–525.
- Merzlenko M. D., Muhamedšin R. K. 1987. Sravnitelnyj analiz drevostoev sosny, sozdannyh posevom i posadkoj v sosniakach-černičnikah svežih. *Lesnoj Žurnal* 6: 21–26.
- Niemiec P. 2003. Metoda Sobańskiego. *Las Polski* 19: 19–21.
- Niemiec P., Sobański S. 2007. Zachęcające efekty metody Sobańskiego. *Las Polski* 13–14: 20–22.
- Niemiec P., Sobański S. 2009. Ekonomiczne aspekty metody Sobańskiego. *Las Polski* 7: 14–15.
- Okoń S. 2016. Wpływ sposobu odnowienia na wzrost i jakość hodowlaną upraw sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na przykładzie wybranych obiektów Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu. SGGW, Warszawa, diss.
- Pfeil W. 1839. Das forstliche Verhalten der deutschen Waldbäume und ihre Erziehung. Verlag von Veit u. Comb, Berlin, 410 s.
- Pfeil W. 1843. Die Forstwirtschaft nach rein praktischer Ansicht. Ein Handbuch für Privatforstbesitzer, Verwalter und insbesondere für Forstlehrlinge. 3. Aufl. Baumgartner's Buchhandlung, Leipzig, 364 s.
- Puchalski T. 1972. Rębnie w gospodarstwie leśnym. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 258 s.
- Puchniarski T. 2008. Sosna zwyczajna hodowla i ochrona. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 276 s. ISBN 9788309990062.
- Tyszkiewicz S., Obmiński Z. 1963. Hodowla i uprawa lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 812 s.
- Walachowski K. 1985. Odnowienie pożarysk siewem sosny zwyczajnej. *Las Polski* 22: 14–15.

Wkład autorów

W.B. – koncepcja, założenia metodyczne, opracowania statystyczne, przygotowanie tekstu; W.K. – założenie doświadczeń, organizacja pomiarów, przygotowanie literatury; R.T. – wykonanie pomiarów, zestawienie wyników.

Comparing Scots pine regeneration established by sowing and planting at various times of year

Władysław Barzdajn^{1*} , Wojciech Kowalkowski¹ , Robert Tomczak²

Poznań University of Life Sciences, Faculty of Forestry, Department of Silviculture, ul Wojska Polskiego 71A, 60-625 Poznań, Poland

*Tel. +48 61 8487742, fax +48 61 8487734; e-mail: barzdajn@up.poznan.pl

Abstract: The aim of this study was to evaluate the practical feasibility of two forest regeneration methods using Scots pine *Pinus sylvestris* L. To this end, comparative experiments were established in the Złotoryja and Legnica Forest Districts. The site in Złotoryja had been clear cut, while the experimental plot in Legnica was established at a location damaged by wind in 2009 and cleared from wind throws and wind-broken trees before the experiment. Four different dates for sowing and two for planting were chosen in order to investigate the potential forest regeneration with respect to time. Both experiments were established according to the same design: a complete random block design with five replication blocks. To each plot we applied approximately 53 g (1.2 kg/ha) of seeds and planted 230 seedlings (10 200 seedlings/ha). In 2017, the height of the pine trees was recorded and their increment in height was measured in 2016 as well as 2017. A preliminary analysis of results was conducted using ANOVA for multiple experiments in order to identify significant differences and to then combine variables to form homogeneous groups to which the Duncan multiple range test could be applied. For growth traits, the ANOVA showed significant differences between experimental sights as well as a significant interaction of factors with the experimental site. In terms of planting, April was the most advantageous resulting in the greatest tree height in both forest districts, while in the Legnica Forest District the saplings planted in April also showed the greatest annual increments. Among the sowing dates, the most advantageous was the winter sowing, while the April sowing date produced the least desirable results. In conclusion, both sowing and planting are effective methods to establish pine cultures in coniferous forest.

Furthermore, both methods may be performed at the currently recommended spring date, but they may also be postponed to summer and winter dates provided favorable weather conditions prevail.

Keywords: methods of forest regeneration, pine growth, density

1. Introduction

Artificial forest regeneration is performed by sowing or planting. Each of these methods has its own advantages, disadvantages and application. Comparing them makes sense only under certain natural, economic and technical conditions. Tyszkiewicz and Obmiński (1963) and Puchniarski (2008) mention a number of advantages of both artificial renewal planting and sowing.

Historically, the oldest method of forest regeneration was self-seeding. When this form of renewal failed, artificial sowing was used, including cone sowing. Sowing and self-seeding were supplemented with planting. Forest regeneration by planting was first performed with seedlings taken from

among those that self-seeded and then produced in nurseries (Pfeil 1839; Burckhard 1870). The unreliability of sowing regeneration resulted, in the case of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), in the widespread method of planting one- or two-year-old nursery-produced seedlings in prepared soil in accordance with the guidelines of Pfeil (1839, 1843). This was probably forced by the extensive use of large clearcuts, on which regeneration from the self-sown seeds of adjacent stands was insufficient (Puchalski 1972).

The most reliable and effective method of regenerating pine in terms of the amount of sown seeds is to plant seedlings produced in nurseries. However, sowing regeneration is inexpensive and can be done quickly on large areas with little labour. Therefore, this method is still of interest. Łukaszewicz and

Received: 20.05.2019 r., accepted after revision: 17.09.2019 r.

Gil (2007) reviewed sowing regeneration methods. Silviculture practitioners are constructing new types of seed drills and developing procedures for establishing crops, which are considered to be new silvicultural methods (Walachowski 1985; Niemiec 2003; Niemiec, Sobański 2007, 2009; Borysiewicz 2011). These initiatives are very valuable and contribute to a significant improvement in the quality of the silvicultural work. However, practitioners' research is usually lacking systematic comparisons between different regeneration techniques.

An attempt was made to determine the practical usefulness and possibilities of using artificial sowing and planting as ways of regenerating Scots pine. Additionally, various dates of establishing crops were included in the study. Given rapidly changing and unstable climatic conditions, this information will not only supplement the theoretical deficiencies in this field, but also expand the possibilities of undertaking practical activities.

2. Methodology

Comparative experimental sites were established in the Złotoryja Forest District, within Chojnów working circle, in the Michałów forest range, compartment 7j, and in the Legnica Forest District, Prochowice working circle t, Mierzowice forest range, compartment 45c. The area in Złotoryja was after clearcut. The habitat is categorised as a fresh coniferous forest on rusty podzolic soils made of loose sands. The site index of the removed stand was II, 5. The logged area was adjacent to a mature pine stand on the west side, and from the other sides it was surrounded by forest cultures and pole stands. In Legnica, the experimental site was established in an area that was completely exposed and cleared of wind-broken trees and windthrows from 2009. The habitat is defined as a fresh mixed coniferous forest site on brown podzolic soils.

The selection of the experimental sites resulted from the need to compare not only different regeneration methods, but also their varied timing (Table 1). Hence, the experiment includes both traditional sowing and planting dates as well as potentially possible dates requiring scientific and practical verification. In each location, seeds from one batch were used for sowing and producing seedlings in the nursery. Sowing was planned for November, the so-called sowing under clods. The seeds were to winter over and begin germinating as early as possible in the spring. Unfortunately, the soil was already frozen on the planned sowing date, so the seeds were sown during the closest temporary thaw (i.e. in January 2011).

Both experimental sites were designed similarly: complete random blocks, with five replication blocks. The size of the plots was 225 m² with dimensions of 15 m × 15 m. Each experiment consisted of 30 plots – experimental units (6 objects × 5 repetitions), and its size was 0.675 ha. The

soil was plowed into furrows with a two-bladed plow at an interval of 1.5 m in both sites. On each plot, about 53 g (1.2 kg/ha) of seed was used. The seeds for the crops were sown with a manual barrow seeder. In the first two years, self-sown seedlings were removed from the site in Złotoryja so that they would not increase the density of the crops. The appearance of self-sown seedlings at the site in Legnica was not possible.

Two hundred and thirty seedlings were planted on a plot (approximately 10,200 items/ha), which survived one, full or incomplete, growing season (1/0).

In 2017, after the tree growth ended, the height of all trees and the height increments for 2016 and 2017 were measured. During the measurements, the trees were qualified (in accordance with the applicable rules for conducting silviculture treatments) for continued growing after late cleaning in 2017. The density (number of trees per hectare) was calculated from the number of trees qualified for further growth.

The results were calculated using analysis of variance (ANOVA) for multiple experiments, in accordance with the following fixed model:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ij}$$

where

y_{ij} – means for the objects in the experiments,

μ – overall mean,

α_i – effects of the objects,

β_j – effects of the experiments,

$(\alpha\beta)_{ij}$ – interactive effect,

e_{ij} – residuals (errors).

If a significant interactive effect was obtained, which means that the effects of the objects are different in each experiment, the ANOVA for each experiment was performed separately, in accordance with the model:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

where

y_{ij} – plot average,

μ – average for the experiment,

Table 1. Forest regeneration methods and execution dates

Forest regeneration method and planned execution date	Actual execution date
Sowing VI 2010	28 June 2010
Sowing VIII 2010	26 August 2010
Planting VIII 2010	26 August 2010
Sowing XI 2010	18 January 2011
Sowing IV 2011	31 March 2011
Planting IV 2011	31 March 2011

α_i – effects of the objects,
 β_j – effects of the blocks,
 e_{ij} – residuals (errors).

If the objects were found to differ significantly, they were combined into homogeneous groups using Duncan's Multiple Range test.

3. Results

The ANOVA of the examined characteristics showed the existence of significant differences between the objects and a significant interaction of the objects with the site. This means that the results of each experiment must be analysed separately. This was done for all characteristics, despite the fact that no differences between the experiments ($p = 0.059$) and no 'objects \times experiments' interaction ($p = 0.243$) were demonstrated for tree density. Object averages for the four analysed characteristics and both experiments are summarised in Table 2.

The letters a–f placed next to the values of the characteristics inform about the existence of significant differences

between the objects. The presence of the same letter next to two compared means indicates that there is no significant difference and that both means are included in the same group, but only for the experiment being considered.

In the Złotoryja Forest District, the saplings planted as seedlings in April 2011 reached the highest height. The height increments for 2016 and 2017 were also among the highest in this site. The saplings from the August planting of the previous year were in second place. The height increments of this site belong to the same group as the height increments of the saplings from the April planting. The saplings resulting from the June sowing in 2010 exhibited very similar growth to that of the saplings from the August planting in 2010. The lowest height and the lowest height increments were found in the sapling stand established by winter sowing in Złotoryja. These trees were significantly smaller than the growth characteristics of the young tree stand established from the April sowing, that is, done at the traditional time. The different dates of sowing and planting generated age differences among the trees from winter and spring sowing and the remaining objects, amounting to 1 year. The height difference

Table 2. Results of measurements for experimental sapling stands in the Złotoryja and Legnica Forest Districts recorded in 2017

Object	Age of trees in 2017 [years]	Height in 2017 [cm]	Height increment in 2016 [cm]	Height increment in 2017 [cm]	Density per ha
Experimental site in the Złotoryja Forest District					
Sowing in June 2010	8	239.04 b	42.95 a	55.06 ab	4524 bc
Sowing in August 2010	8	221.83 c	41.81 a	53.60 b	3884 c
Planting in August 2010	8	242.51 b	41.72 a	57.16 ab	4738 b
Sowing in winter 2010	7	201.77 d	29.49 b	44.25 d	5636 a
Planting in April 2011	8	260.75 a	42.90 a	57.44 a	4818 ab
Sowing in April 2011	7	222.88 c	37.18 a	48.05 c	5253 ab
Mean in Złotoryja	-	230.69	38.92	52.22	4809
Experimental site in the Legnica Forest District					
Sowing in June 2010	8	238.16 d	41.05 c	45.58 e	5013 b
Sowing in August 2010	8	236.98 d	42.19 c	46.88 d	4027 c
Planting in August 2010	8	292.38 b	49.62 b	54.76 b	5093 b
Sowing in winter 2010	7	250.83 c	41.50 c	47.75 c	5440 ab
Planting in April 2011	8	301.54 a	52.23 a	60.17 a	5716 a
Sowing in April 2011	7	224.64 e	38.92 d	43.93 f	5173 ab
Mean in Legnica	-	258.93	44.45	50.13	5077

of 59 cm between the trees planted in April and the trees sown in winter can only be due to the age difference, because the eight-year-old objects had height increments of 7–42 cm at the age of 7, and the winter-sown saplings increased in height over 44 cm at the age of 7 (in the next year).

In the Legnica Forest District, the highest height and the largest annual increments were found for saplings planted from seedlings in April and, in terms of grouping objects by growth characteristics using Duncan's Multiple Range test, this group was not linked to any other object. The largest increment achieved in 2017 suggests that the differences may increase in subsequent years. The second object in terms of height and height increment was the sapling stand from the August planting.

Of the sowing dates, winter sowing turned out to be the most beneficial, whereas the least favourable was sowing in April. Winter-sown trees were higher than those sown in June and August, despite the fact that they were younger by one growing season. After comparing the sowing dates, the opposite result was obtained in Legnica from the result in Złotoryja. The differences in tree heights between those sown at the traditional April date and those sown in June and August can be explained by age differences.

4. Discussion

Forest regeneration is a necessity in every managed forest, which is why its methods have been appraised since the beginning of modern forestry, that is, from the 18th century. According to Puchalski (1972), regeneration decisions should be based on three principles: 1) all biological and ecological possibilities of natural regeneration should be used in accordance with the purpose of the renewal, 2) natural regeneration should be rejected when the soil is not functional and when the quality of the regenerated tree stand or its surroundings are deficient or when they are of inappropriate provenance and 3) if natural regeneration is rejected, artificial regeneration should be performed immediately to prevent habitat degradation and losses of growth. According to Jabłoński (2015), the current annual volume increase of Polish forests is on average 9.1 m³/ha and their market value loses financially for each year of regeneration delay.

The literature on the subject lacks studies that compare the growth of pine regeneration established by sowing or planting, performed on the basis of methodically established experiments. This is an additional gap in knowledge. Existing literature concerns remote geographical regions. Mäkitalo (1999), in an experiment conducted in northern Finland comparing methods of soil preparation and establishing crops, found a height advantage of trees propagated from bare-root seedlings (295 cm) over trees from contain-

er seedlings (261 cm) and those sown (186 cm) in a crop of 16-year-old trees. This result is not consistent with the popular belief that container seedlings have a higher quality. The Oleśnica Forest District compared the growth of pines from bare-root seedlings and container-grown seedlings planted in late summer, autumn or spring, and found that the stands grown from container seedlings had no growth advantage over stands from bare-root seedlings if they were planted in the period of August to October (Barzdajn 2010; Barzdajn, Kowalkowski 2016). In the central European part of Russia, in the forests of the Moscow Technical Institute of Forestry, Merzlenko and Muhamedšin (1987) conducted a comparative growth analysis of two Scots pine stands at the age of 110, established in 1874 by sowing and planting. Due to the lack of repetitions, the results are not of full value; however, they indicate more intensive growth increments of the stand that was planted, up to the age of 110 years. After this period, the ongoing growth increment of the sown stand was higher than that of the planted stand. The authors explained these differences only by the higher density of the trees regenerated by sowing and the influence of competition among the trees. In Poland, a number of comparisons were made of crops and seedlings that were sown or planted; however, on the basis of observing business entities established without a research purpose. The results of such comparisons, in which the experimental error (influence of uncontrolled factors) cannot be calculated, are unreliable. In the research of Hawryś et al. (2004) of a site cleared by a fire in 1992 in the Rudy Raciborskie Forest District, planted pine regeneration grew better than self-sown regeneration, and, in the Potrzebowice Forest District, plantings grew better than sown regeneration. The observation of Okoń (2016) from the forests of the Regional Directorate of State Forests in Radom (forest districts of Grójec, Koźnice, Barycz, Włoszczowa, Ruda Maleniecka, Zwolen and Stąporków) provided a similar result – renewals from plants grew faster than sown renewals, at least until the sapling age. The results of our experiment clearly indicate a more intensive growth of crops resulting from planting than from sowing and are in complete agreement with the data in the literature. The differences in growth remained until sapling age and did not show a tendency to disappear. It follows that the expected growth losses relating to what is known as transplant shock are not justified.

So far, the dates of sowing pine seeds for tree crops have not been studied in the research. Only in Finland in the experiments of Chantal et al. (2003) was sowing date (spring and summer) one of the factors. Summer sowing was not conducive to the good wintering over of pine seedlings and increased mortality was noted in the next growing season due to frost damage to the roots.

Regardless of the date and method of establishing experimental crops in all the sites, the saplings were fully suitable for further cultivation. This is even more valuable information, because unconventional dates of sowing and planting were used in these experiments. Even sowing pine seeds in winter, not used anywhere so far, proved to be useful under the conditions in which both experiments were established. From a practical point of view, this allows pine crops to be established over a much longer timeframe, which is important in situations where regeneration work is extensive and must be performed quickly.

5. Conclusions

1. Both methods of establishing pine forest cultures at coniferous site types, sowing and planting, can be effective and productive.

2. Both sowing and planting can be performed in the previously accepted spring time, as well as extended to summer and winter in the event of favourable weather conditions.

3. The better height increment of crops and saplings resulting from planting compared to regeneration from sowing crops requires deeper analysis.

Conflict of interest

The authors declare that there are no potential conflicts of interest.

Acknowledgements and source funding

The research was financed by the Department of Silviculture at the Poznań University of Life Sciences.

References

- Barzdajn W. 2010. Wzrost uprawy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) założonej przy użyciu sadzonek z bryłką i z nagim korzeniem w różnych terminach sadzenia. *Sylwan* 154(5): 312–322. DOI 10.26202/sylwan.2009059.
- Barzdajn W., Kowalkowski W. 2016. Wpływ pory sadzenia i technologii produkcji sadzonek na wzrost sosny zwyczajnej w doświadczeniu w Nadleśnictwie Oleśnica. *Sylwan* 160(2): 127–134. DOI 10.26202/sylwan.2015065.
- Borysiewicz J. 2011. Sosna – odnowienie siewem w praktyce. *Biblioteczka Leśniczego* 332: 1–14.
- Burckhardt H. 1870. Säen und Pflanzen nach forstlicher Praxis. Handbuch der Holzziehung. Carl Rümpler, Hannover, 527 s.
- Chantal M., Leinonen K., Ilvesniemi H., Westman C.J. 2003. Combined effects of site preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds. *Canadian Journal of Forest Research* 33(5): 931–945.
- Hawryś Z., Zwoliński J., Kwapis Z., Małecka M. 2004. Rozwój sosny zwyczajnej na terenie pożarzysk leśnych z 1992 r. w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice. *Leśne Prace Badawcze* 2: 7–20.
- Jabłoński M. 2015. Zasobność i przyrost drzewostanów na podstawie wyników wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (WISL), w: Wawrzoniak J. Stan zdrowotny lasów Polski w 2014 roku. Synteza opracowania pt. „Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 2014 roku na podstawie badań monitoringowych”, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, 59–61.
- Łukaszewicz J., Gil W. 2007. Historia i terażniejszość zalesiania i odnawiania lasu siewem. *Sylwan* 151(3): 11–22. DOI 10.26202/sylwan.2006013.
- Mäkitalo K. 1999. Effect of Site Preparation and Reforestation Method on Survival and Height Growth of Scots Pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(6): 512–525.
- Merzlenko M. D., Muhamedšin R. K. 1987. Sravnitelnyj analiz drevostoev cocny, sozdannyh posevom i posadkoj v sosniakach-černičnikah svežih. *Lesnoj Žurnal* 6: 21–26.
- Niemiec P. 2003. Metoda Sobańskiego. *Las Polski* 19: 19–21.
- Niemiec P., Sobański S. 2007. Zachęcające efekty metody Sobańskiego. *Las Polski* 13–14: 20–22.
- Niemiec P., Sobański S. 2009. Ekonomiczne aspekty metody Sobańskiego. *Las Polski* 7: 14–15.
- Okoń S. 2016. Wpływ sposobu odnowienia na wzrost i jakość hodowlaną upraw sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na przykładzie wybranych obiektów Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu. SGGW, Warszawa, diss.
- Pfeil W. 1839. Das forstliche Verhalten der deutschen Waldbäume und ihre Erziehung. Verlag von Veit u. Comb, Berlin, 410 s.
- Pfeil W. 1843. Die Forstwirtschaft nach rein praktischer Ansicht. Ein Handbuch für Privatforstbesitzer, Verwalter und insbesondere für Forstlehrlinge. 3. Aufl. Baumgartner's Buchhandlung, Leipzig, 364 s.
- Puchalski T. 1972. Rębnie w gospodarstwie leśnym. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 258 s.
- Puchniarski T. 2008. Sosna zwyczajna hodowla i ochrona. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 276 s. ISBN 9788309990062.
- Tyszkiewicz S., Obmiński Z. 1963. Hodowla i uprawa lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 812 s.
- Walachowski K. 1985. Odnowienie pożarzysk siewem sosny zwyczajnej. *Las Polski* 22: 14–15.

Authors' contribution

W.B. contributed to the concept, methodology, statistical calculations and preparation of manuscript. W.K. involved in experimental design, organising the measurements and preparing the literature. R.T. performed the measurements and prepared the results.