

MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA, STANISŁAW DROZDOWSKI,
MACIEJ LIGOCKI, HENRYK ŻYBURA

Wpływ sposobu przygotowania gleby na cechy odnowienia naturalnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Nadleśnictwie Spychowo

Effect of mechanical site preparation methods on characteristics of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Spychowo Forest District

ABSTRACT

Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Ligocki M., Żybura H. 2017. Wpływ sposobu przygotowania gleby na cechy odnowienia naturalnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Nadleśnictwie Spychowo. Sylwan 161 (3): 196-207.

Mechanical site preparation is recommended to create optimum conditions for seed germination and seedling growth in a clear-cut area. Lack of soil scarification or less-intense methods may be more suitable from an environmental point of view, but can result in a failure to obtain natural regeneration. This study compared the effects of three mechanical site preparation methods (SPM) characterized by different levels of soil scarification (i.e. double mould-board forest plough (LPz), active plough (PA) or forest mill (FL)), as well as a control variant without mechanical site preparation, on height, density, spatial distribution and survival among naturally regenerating Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) in the first 2 years of growth in a clear-cut area of NE Poland. The experiment was based around a four-block randomized block design involving the four variants. Seedling height was measured at the end of the first and second growing seasons, with measurements performed on 8 meter-wide transects extending across the entire width of the clear-cut. We found no effect of SPM on seedling height, though the density of seedlings regenerating naturally was found to be dependent. After two years, the highest density was achieved in the PA variant (8.1 seedlings/m²) and the FL variant (7.0 seedlings/m²). A significantly lower density characterized the LPz variant (5.1 seedlings/m²) and the lowest of all the variant without soil scarification (3.2 seedlings/m²). The most homogeneous natural regeneration was achieved following the use of PA (2.6% of 1 m² plots without seedlings after two growing seasons), while the least homogeneous was the variant without soil scarification (22.4% of 1 m² plots). Survival of pines after the second growing seasons was quite high (over 80%), and did not differ significantly depending on the SPM. Our research therefore confirmed that, in the absence of mechanical site preparation, natural regeneration of sufficient density and homogeneity cannot be obtained. The best natural regeneration was obtained on sites prepared with PA, and FL scarification being only slightly less favorable. The low density and uneven distribution of seedlings on the soil prepared with LPz was a surprising result. The probable reason for this lay in the high precipitation in the first growing season. On one hand, this provided very good moisture conditions for seed germination and seedling growth on a substrate with high porosity in the PA and FL variants, but on the other the high bulk density of mineral soil in the LPz variant led to oxygen deficit.

KEY WORDS

soil scarification, self-sowing, seedling density, seedling growth, clear-cut

ADDRESSES

Marta Aleksandrowicz-Trzcńska ⁽¹⁾ – e-mail: marta_aleksandrowicz_trzcinska@sggw.pl

Stanisław Drozdowski ⁽²⁾ – e-mail: stanislaw_drozdowski@sggw.pl

Maciej Ligocki ⁽³⁾ – e-mail: maciej.ligocki@olsztyn.lasy.gov.pl

Henryk Żybura ⁽²⁾ – e-mail: henryk_zybura@sggw.pl

⁽¹⁾ Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽³⁾ Nadleśnictwo Spychowo; ul. Mazurska 3, 12-150 Spychowo

Wstęp

Sosnę zwyczajną (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce odnawia się głównie sadzeniem. W ostatnich latach jednak coraz częściej promowane jest odnowienie samosiewne. Udział odnowień naturalnych wszystkich gatunków w 2014 roku wyniósł 15,5%. Dalszy wzrost udziału odnowień naturalnych w Polsce jest możliwy głównie dzięki inicjowaniu odnowień naturalnych sosny [Raport... 2014]. Odnowieniu naturalnemu sosny sprzyjają warunki przyrodnicze – dominacja siedlisk borowych, częsty urodzaj nasion sosny oraz promowanie tej metody odnowienia w przekonaniu, że jest ona bardziej korzystna z ekologicznego i ekonomicznego punktu widzenia [Mattsson, Li 1993; Tomczyk 1993].

Uzyskanie odnowienia naturalnego sosny jest warunkowane czynnikami pogodowymi, takimi jak opady i temperatura [Oleskog, Sahlén 2000; Puhlick i in. 2012], oraz właściwościami powierzchni gleby, przede wszystkim grubością warstw ściółki i próchnicy oraz ich wilgotnością. Wysoka zawartość materii organicznej powoduje szybkie przesychnienie tych warstw i dużą zmienność ich wilgotności [Hille, den Ouden 2004]. Ponadto grubość warstw ściółki i próchnicy, bez skaryfikacji gleby, często uniemożliwia lub opóźnia kontakt korzeni siewek z glebą mineralną [Caccia, Ballaré 1998; Ibáñez, Schupp 2002]. Czynniki te silnie uzależniają kiełkowanie nasion i przeżycie siewek od ilości i intensywności opadów. Dlatego też w celu stworzenia optymalnych warunków do kiełkowania nasion i wzrostu siewek na zrębie zalecane jest mechaniczne przygotowanie gleby (MPG) [Löf i in. 2012; Zasady... 2012]. Jest ono niezbędne w celu ograniczenia konkurencji siewek z roślinnością zielną na zrębie o światło, wodę i składniki pokarmowe [Nilsson, Örlander 1999]. Roślinność runa może hamować kiełkowanie nasion i ograniczać wzrost siewek również w wyniku działania allelopatycznego [Steijlen i in. 1995; Jäderlund i in. 1998].

MPG modyfikuje warunki fizyczne gleby, takie jak zawartość wody, napowietrzanie gleby, jej temperaturę i gęstość objętościową, jak również właściwości chemiczne: zawartość materii organicznej, dostępność składników pokarmowych i odczyn [Archibold i in. 2000; Block, Van Rees 2002; MacKenzie i in. 2005; Heiskanen i in. 2007]. Wpływ MPG na kiełkowanie nasion, wzrost i przeżywalność siewek może być zróżnicowany w zależności od warunków klimatycznych, typu siedliskowego lasu i odnawianego gatunku [Munson, Timmer 1995; Mäkitalo 1999; MacKenzie i in. 2005; Löf i in. 2012; Wallertz, Malmqvist 2013].

Do MPG można stosować wiele różnych maszyn, które w różnym stopniu ingerują w środowisko glebowe. Wielkość zaburzeń w środowisku glebowym może być mierzona ich powierzchnią i/lub głębokością [Bedford, Sutton 2000; Neugebauer 2008]. Większość badań wskazuje, że zastosowanie metod silniej ingerujących w środowisko glebowe skutkuje wyższym

początkowym zagęszczeniem siewek, szybszym ich wzrostem i lepszą przeżywalnością [Prévost 1997; Mattsson, Bergsten 2003; Nordborg, Nilsson 2003; Bilodeau-Gauthier i in. 2011].

W polskim leśnictwie przez lata stosowano do przygotowania gleby na zrębie leśny pług dwuodkładnicowy LPz. Użycie tego narzędzia prowadzi do znacznej ingerencji w środowisko glebowe, obejmującej całą powierzchnię zrębu. Od niedawna stosuje się również pługi aktywne jedno- lub dwutalerzowe oraz frez leśny. Ich zaletą jest znacznie mniejsza ingerencja w środowisko glebowe [Neugebauer 2008].

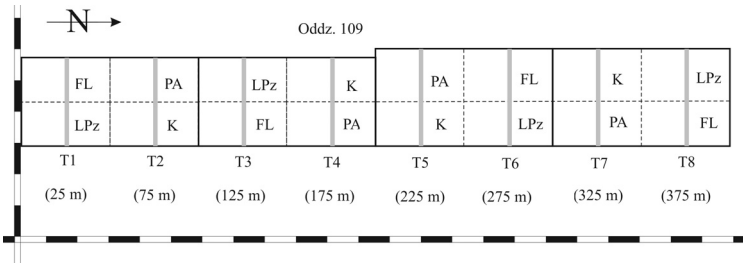
Dotychczasowe wyniki badań pokazały, że w długich przedziałach czasowych najniższy wzrost drzew uzyskuje się w wyniku MPG polegającego na usunięciu roślinności runa, ściółki, warstwy organicznej i odsłonięciu gleby mineralnej, a najlepszy przez wymieszanie warstw organicznych z glebą mineralną [MacKenzie i in. 2005; Boateng i in. 2006]. W polskich warunkach uprawy powstałe z sadzenia i samosiewu na glebie przygotowanej frezem leśnym charakteryzowały się niskim zagęszczeniem i przeżywalnością, ale bardzo dobrym wzrostem w porównaniu z innymi metodami MPG. Z kolei przygotowanie gleby pługiem LPz skutkuje uzyskaniem odnowienia o wysokim zagęszczeniu [Pigan 2009, 2010; Aleksandrowicz-Trzczińska i in. 2014].

Celem badań było porównanie wpływu trzech metod MPG oraz jego braku na wzrost, przeżywalność i zagęszczenie sosny zwyczajnej w pierwszych 2 latach wzrostu w odnowieniu naturalnym. Zakładano, że odnowienie naturalne o najlepszych parametrach zostanie uzyskane w wyniku przygotowania gleby w tradycyjny sposób leśnym pługiem LPz. Miało się ono charakteryzować najwyższym zagęszczeniem i porównywalnym lub nieznacznie słabszym wzrostem w porównaniu z pozostałymi metodami MPG.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono w Nadleśnictwie Spychowo (RDLP Olsztyn), w leśnictwie Kolonia. Doświadczenie założono na zrębie o długości 400 m i szerokości 50 m w węższej połowie oraz 64 m w szerszej połowie. Zrąb powstał po usunięciu drzewostanu sosnowego w wieku 129 lat rosnącego na siedlisku Bśw. Od strony wschodniej zrąb graniczy z uprawą sosnową naturalnego pochodzenia z domieszką świerka. Z pozostałych trzech stron otoczony jest drzewostanami sosnowymi: w wieku 79 lat (od południa), 102 lat (od zachodu) i 56 lat (od północnego zachodu) [Operat... 2013]. Zrąb podzielono na 4 równe części (bloki) o długości 100 m. W każdym z bloków wyodrębniono 4 działki (50×25 m lub 50×32 m), na których zastosowano odmienne MPG: leśnym pługiem dwuodkładnicowym LPz (LPz), pługiem aktywnym jednotalerzowym (PA) i frezem leśnym (FL). Jedną z działek w każdym bloku pozostawiono bez przygotowania gleby (kontrola – K) (ryc. 1). Przed przygotowaniem gleby, zgodnie z praktyką stosowaną w Nadleśnictwie Spychowo, zbierano urodzaj sosny. W tym celu policzono wszystkie szyszki zebrane z 5 ściętych drzew. W drzewostanie od strony nawietrznej urodzaj wyniósł przeciętnie 360 szyszek/drzewo, co określono jako urodzaj średni. Glebę przygotowano w grudniu 2013 roku. Wiosną następnego roku nastąpił obsiew. Źródłem nasion były otaczające drzewostany oraz nasienniki pozostawione na zrębie w liczbie 20 szt./ha.

Pomiary sosen wykonano na stałych, oznaczonych w terenie transektach o szerokości 1 m. Łącznie na zrębie założono 8 transektów, odległych od siebie o 50 m. Każdy z nich obejmował całą szerokość zrębu. Transekty przebiegały środkiem działek wyodrębnionych ze względu na MPG (ryc. 1). Pomiarów dokonano jesienią po pierwszym i drugim roku wzrostu samosiewu. Każdorazowo mierzono wysokość wszystkich sosen na transektach, określając mikrosiedlisko ich występowania – dla LPz i PA: bruzda (b), skiba (s), dla FL: pas (p), poza pasem (pp) i gleba bez przygotowania (bp) – przypisując siewki do kolejnych metrowych poletek na transektcie.



Ryc. 1.

Schemat doświadczenia

Experimental design

LPz – pług LPz, FL – frez leśny, PA – pług aktywny, K – kontrola, bez przygotowania gleby, T – transekt (odległość od linii oddziałowej [m])
 LPz – doublemouldboard forest plough, FL – forest mill, PA – active plough, K – control, without site preparation, T – transect (distance from the division line [m])

Dane meteorologiczne – temperatura powietrza i suma opadów – pochodzą ze stacji meteorologicznej Nadleśnictwa Spychowo. W celu lepszego zobrazowania warunków wilgotnościowych obliczono dla poszczególnych miesięcy sezonu wegetacyjnego indeks de Martonne’a [1926] według wzoru:

$$IM = 12 \times P / (T + 10)$$

gdzie:

P – średnia miesięczna ilość opadów [mm],

T – średnia miesięczna temperatura powietrza [°C].

Według Światowej Organizacji Meteorologicznej indeks de Martonne’a wskazuje miesiące, w których konieczne jest nawadnianie. Generalnie za takie uznaje się miesiące, w których IM jest niższy od 20 [Drought... 1975].

Przed przystąpieniem do analiz statystycznych policzono wartości średnie analizowanych cech dla każdego wariantu w bloku i sprawdzono zgodność rozkładu tych cech z rozkładem normalnym, stosując test W Shapiro-Wilka, oraz porównano jednorodność wariancji testem Levene’a. Wysokość i zagęszczenie sosen spełniły powyższe założenia. W tym przypadku wykonano dwuczynnikową analizę wariancji oraz test *post-hoc* HSD Tukeya ($\alpha=0,05$). Do obliczeń zastosowano ogólny model liniowy (GLM) z pakietu Statistica (StatSoft Inc.):

$$Y_{ijm} = \mu + \alpha_i + \gamma_m + (\beta\gamma)_{jm} + \varepsilon_{ijm}$$

gdzie:

μ – średnia ogólna,

α_i – wpływ bloku ($i=1-4$),

γ_m – wpływ sposobu przygotowania gleby ($m=1-4$),

ε_{ijm} – składnik losowy.

W przypadku przeżywalności sosen wyrażonej w procentach użyto nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa ($\alpha=0,05$).

W celu zobrazowania równomierności występowania siewek w odnowieniu naturalnym na transektach w wariantach przygotowania gleby określono strukturę metrowych poletek w zależności od zagęszczenia sosen. Poletka zostały przypisane do klas zagęszczenia w zależności od liczby drzewek na nich występujących. Wyróżniono następujące klasy zagęszczenia sosen: 0 – poletka zerowe, bez sosen, 1 – 1-5 sosen, 2 – 6-10 sosen, 3 – 11-15 sosen, 4 – 16-20 sosen i 5 – powyżej 20 sosen/m².

Wyniki

Wysokość sosen po pierwszym roku wzrostu zawierała się w przedziale od 7,1 cm dla nalotów rosnących w bruzdach przygotowanych LPz do 8,3 cm dla sosen występujących na skibach wykonanych PA. Podobnie kształtowała się wysokość sosen po drugim roku: najniższe były drzewka rosnące w bruzdach LPz – 13,4 cm, a najwyższe na skibach LPz – 15,8 cm. Nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie w wartości tej cechy dla średnich pochodzących z poszczególnych mikrosiedlisk ($p=0,9010$ po pierwszym roku; $p=0,0501$ po drugim roku), jak również z poszczególnych wariantów przygotowania gleby ($p=0,1317$ po pierwszym roku; $p=0,1301$ po drugim roku) (ryc. 2).

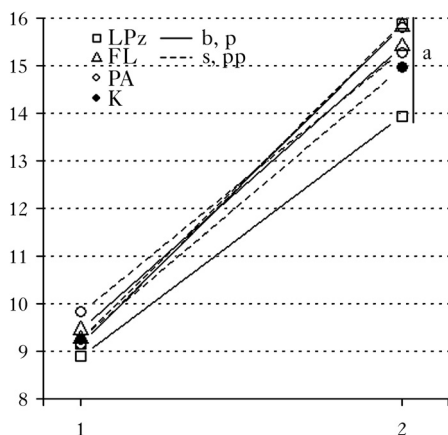
Zagęszczenie sosen po pierwszym roku było zróżnicowane: istotnie niższe w wariantach bez przygotowania gleby i z przygotowaniem gleby LPz w porównaniu z dwoma pozostałymi wariantami ($p<0,0001$). Różnice stwierdzono również w zagęszczeniu drzewek rosnących na poszczególnych mikrosiedliskach. Najliczniej sosna odnowiła się na pasach przygotowanych FL – 21,6 sosen/m², a najmniej licznie w wariantcie bez przygotowania gleby – 3,9 sosen/m² ($p<0,0001$; ryc. 3A). W drugim roku trwania doświadczenia zagęszczenie sosen kształtowało się podobnie jak w pierwszym roku. Najniższe zagęszczenie stwierdzono na glebie bez przygotowania (3,2 sosny/m²), istotnie wyższe na glebie przygotowanej pługiem LPz (5,1 sosny/m²), a najwyższe na glebie przygotowanej frezem i pługiem aktywnym (odpowiednio 7,0 i 8,1 sosen/m²) ($p<0,0001$; ryc. 3B).

Najkorzystniejszą strukturą charakteryzowało się odnowienie powstałe na glebie przygotowanej pługiem aktywnym (0,9% poletek zerowych po pierwszym roku i 2,6% po drugim roku wzrostu). Najmniej korzystną strukturę, z największą liczbą poletek zerowych (17,9% – po pierwszym roku, 22,4% – po drugim roku) posiadał wariant bez przygotowania gleby. W obu sezonach wegetacyjnych korzystniejszą strukturę poletek stwierdzono w wariantcie FL w porównaniu z LPz (ryc. 4).

Przeżywalność sosen po drugim roku była wysoka i wynosiła: 84,2% (LPz), 86,7% (PA), 82,1% (FL) i 80,9% (kontrola). Nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie w wartości tej cechy w zależności od MPG ($p=0,1278$).

Dyskusja

Wyniki niniejszych badań pokazały brak istotnego wpływu sposobu przygotowania gleby na parametry wzrostu siewek sosnowych. Dotyczy to również braku różnic w wysokości nalotów rosnących na różnych mikrosiedliskach utworzonych przez przygotowanie gleby (bruzda, skiba,



Ryc. 2.

Średnia wysokość [cm] rocznej (1) i dwuletniej (2) sosny w odnowieniu naturalnym w zależności od sposobu przygotowania gleby

Mean height [cm] of one- (1) and two-year-old Scots pine seedlings from natural regeneration in relation to site preparation methods

b – bruzda, s – skiba, p – pas, pp – poza pasem, pozostałe oznaczenia jak na rycinie 1; ta sama litera oznacza brak istotnych różnic (test F, $p\leq 0,05$)

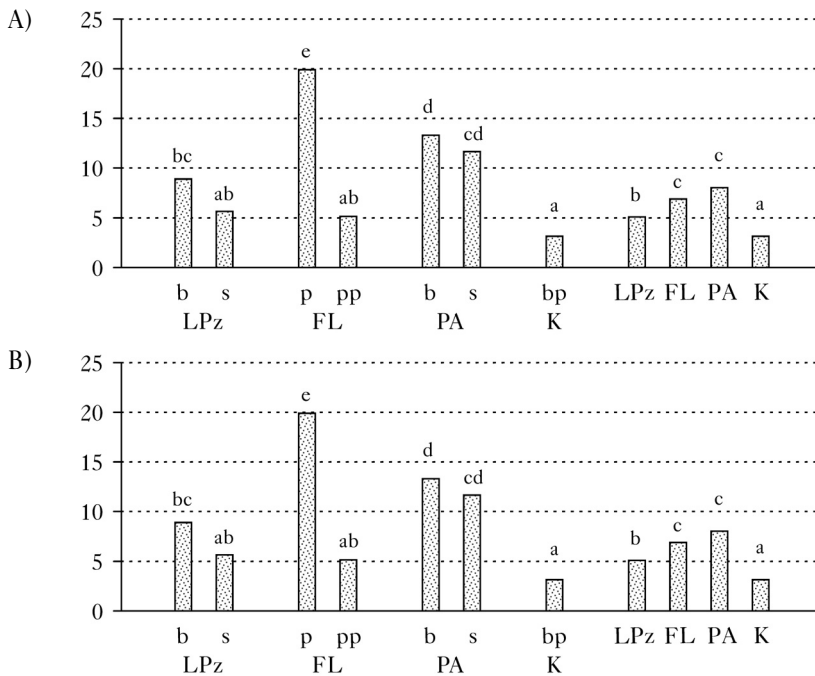
b – furrow, s – ridge, p – strip, pp – outside strip, other denotes as in figure 1; the same letter indicates lack of significant difference (F test, $p\leq 0,05$)

pas, poza pasem, gleba bez przygotowania). Wyniki uzyskiwane przez innych autorów, dotyczące parametrów biometrycznych drzew w zależności od sposobu przygotowania gleby, nie są jednoznaczne. Pigan [2009, 2010] stwierdziła lepszy wzrost sosny rosnącej na glebie przygotowanej frezem leśnym w porównaniu z innymi metodami. Andrzejczyk i Augustyniak [2007] wykazali szybszy wzrost sosny na glebie przygotowanej pługiem aktywnym w porównaniu z pługiem dwuodkładnicowym LPz. Z kolei Sewerniak i in. [2012] odnotowali lepszy wzrost w wyniku

Tabela.

Średnia miesięczna temperatura powietrza (T [°C]) i suma opadów (P [mm]) oraz indeks de Martonne'a (IM) w sezonach wegetacyjnych 2014-2015 w Nadleśnictwie Sychowo
 Mean monthly air temperature (T [°C]) and precipitation total (P [mm]) and de Martonne aridity index (IM) during the 2014-2015 growing seasons in Sychowo Forest District

	T ₂₀₁₄	T ₂₀₁₅	P ₂₀₁₄	P ₂₀₁₅	IM ₂₀₁₄	IM ₂₀₁₅
IV	8,2	6,6	60,3	69,1	39,72	49,96
V	12,8	11,5	42,9	60,7	22,61	33,91
VI	14,4	15,4	65,9	37,6	32,49	17,76
VII	19,6	17,7	180,2	99,4	73,10	43,01
VIII	17,0	19,8	126,8	6,9	56,38	2,76
IX	13,5	14,1	43,7	77,2	22,31	38,46
X	8,0	6,1	22,8	12,5	15,18	9,31



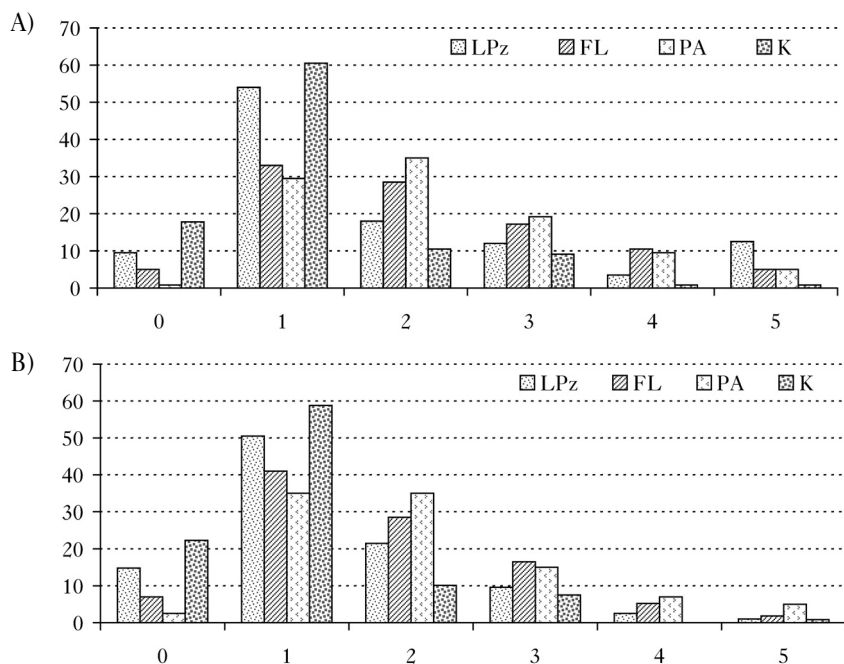
Ryc. 3.

Średnie zagęszczenie [szt./m²] rocznej (A) i dwuletniej (B) sosny w odnowieniu naturalnym w zależności od mikrosiedliska i sposobu przygotowania gleby

Average density [N/m²] of one- (A) and two-year-old (B) Scots pine seedlings from natural regeneration in relation to microsite and site preparation method

bp – bez przygotowania gleby; pozostałe oznaczenia jak na rycinie 2

bp – without scarification; other denotes as in figure 2



Ryc. 4.

Struktura [%] metrowych poletek w klasach zagęszczenia sosen w rocznym (A) i dwuletnim (B) naturalnym odnowieniu sosnowym w zależności od sposobu przygotowania gleby

Structure [%] of meter-plots in one- (A) and two-years-old (B) Scots pine natural regeneration in density classes in relation to mechanical site preparation methods

0 – poletki zerowe, bez sosen, 1 – 1-5 sosen, 2 – 6-10 sosen, 3 – 11-15 sosen, 4 – 16-20 sosen, 5 – powyżej 20 sosen/m²; pozostałe oznaczenia jak na rycinie 1

0 – zero plots, without seedlings, 1 – 1-5 seedlings, 2 – 6-10 seedlings, 3 – 11-15 seedlings, 4 – 16-20 seedlings, 5 – more than 20 seedlings/m²; other denotes as in figure 1

przygotowania gleby pługiem LPz w porównaniu z frezem. Niektórzy autorzy nie wykazali wpływu sposobu przygotowania gleby na parametry wzrostowe odnowienia [Aleksandrowicz-Trzcńska i in. 2014; Żybura i in. 2016].

Poszczególne sposoby MPG kształtują odmienne warunki troficzne i wilgotnościowe [MacKenzie i in. 2005; Bilodeau-Gauthier i in. 2011]. Odsłonięcie gleby mineralnej przez wyoranie bruzd pługiem LPz powoduje, że zawartość azotu i kationów Ca, Mg, K i Na w strefie korzenia się siewek jest dwu- lub nawet trzykrotnie mniejsza niż na pasach wykonanych FL [Sewerniak i in. 2012]. Można przypuszczać, że zawartość składników mineralnych w glebie na dnie bruzd w wariantcie PA, gdzie niewielka ilość próchnicy została wymieszana z glebą mineralną, będzie pośrednia między LPz i FL. Z kolei powierzchnia gleby mineralnej charakteryzuje się najczęściej dobrymi warunkami wilgotnościowymi. Nasiona, a później siewki korzystają nie tylko z wody opadowej, ale również z wody zgromadzonej w glebie przez podsiąkanie. Wymieszanie części organicznych z glebą mineralną, które ma miejsce szczególnie na pasach przygotowanych FL, ale również w wyniku przygotowania gleby PA, stwarza bardzo zmienne warunki wilgotnościowe. Substrat taki szybko przesyca, charakteryzuje się niską zwilżalnością i uzależnia przeżycie oraz wzrost siewek od ilości i intensywności opadów [Sewerniak i in. 2012].

Tempo wzrostu sosny w odnowieniu jest zależne od szeregu czynników. Do najważniejszych, kształtowanych przez sposób przygotowania gleby, należą warunki troficzne, wilgotnościowe

i świetlne, a także konkurencja z roślinnością runa [Tomczyk 1993]. Czynniki te działają synergistycznie. Dlatego też niedobór lub nadmiar jednego z nich może ograniczająco wpływać na wzrost drzewek. Ponadto pomimo że poszczególne metody przygotowania gleby stwarzają odmienne warunki do wzrostu odnowienia [MacKenzie i in. 2005], ich wpływ może być zróżnicowany w zależności od cech odnawianego gatunku oraz warunków lokalnych, takich jak żyzność siedliska i warunki mikroklimatyczne [Löf i in. 2012; Wallertz, Malmqvist 2013]. Stąd też może wynikać rozbieżność wartości parametrów wzrostowych sosny uzyskiwanych przez różnych autorów. Jest też możliwe, że brak różnic we wzroście sosen wynika z krótkiego okresu badań (2 lata) i że ujawnią się one w kolejnych latach wzrostu.

Oceniając przydatność hodowlaną odnowienia naturalnego, pracownicy PGL LP posługują się normą określającą przeciętną liczbę siewek na 1 m² płatu odnowienia. Do 2012 roku wartość ta była ustalona na poziomie co najmniej 5 szt./m² [Zarządzenie... 2005]. Od 2012 roku, w celu uproszczenia procedur oraz zwiększenia możliwości uznawania odnowień naturalnych, normę tę ustala nadleśniczy [Zarządzenie... 2012b]. W Nadleśnictwie Spychowo dla odnowień naturalnych sosny w wieku do 3 lat jako minimalną przyjęto liczbę 3 szt./m² [Zarządzenie... 2012a]. Stosując takie kryterium, we wszystkich wariantach doświadczenia uzyskano odnowienie naturalne o zadowalającym zagęszczeniu. Karlsson i Nilsson [2005] uważają, że skaryfikacja gleby jest generalnie korzystna dla gatunków drzew o małych nasionach, rozsiewanych przez wiatr. Jednak nie odnosi się to do wszystkich gatunków w takim samym stopniu. Wspomniani autorzy uzyskali wyższe zagęszczenie odnowienia brzozy na zrębie w wariantach bez skaryfikacji gleby w porównaniu z jej zastosowaniem. W przypadku świerka również stwierdzono brak efektu skaryfikacji gleby [Karlsson, Nilsson 2005]. Badania przeprowadzone w krajach europejskich wskazują jednak na korzystny wpływ przygotowania gleby na zagęszczenie i równomierność pokrycia powierzchni przez siewki w odnowieniu naturalnym sosny [Karlsson, Örlander 2000; Hille, den Ouden 2004; Karlsson, Nilsson 2005]. Wyniki niniejszych badań wskazują, że odnowienie naturalne sosny bez przygotowania gleby jest możliwe, ale było ono najrzadsze i nierównomierne. Należy też zaznaczyć, że siewki pojawiły się głównie w miejscach naruszenia wierzchnich warstw gleby w trakcie prowadzenia prac pozyskaniowych i porządkowania zrębu. Jednocześnie wyniki badań nie potwierdziły hipotezy, że odnowienie naturalne o najwyższym zagęszczeniu powstanie w wyniku przygotowania gleby LPz. Ten zaskakujący fakt jest najprawdopodobniej spowodowany lokalnymi warunkami mikroklimatycznymi, wysoką ilością opadów i stosunkowo wysoką temperaturą w okresie kiełkowania nasion i pierwszych tygodni życia siewek [Puhlick i in. 2012]. Minimalna średnia suma opadów pozwalająca na uzyskanie odnowienia naturalnego wynosi 550 mm [Tomczyk 1993]. Przy tak niewielkiej ilości opadów najwyższe zagęszczenie odnowienia naturalnego uzyskuje się na glebie przygotowanej LPz, w porównaniu z PA czy też FL [Aleksandrowicz-Trześcińska i in. 2014]. W doświadczeniu opisanym w niniejszym opracowaniu ilość opadów w okresie kiełkowania nasion była wysoka: 60,3 mm w kwietniu i 42,9 mm w maju, a indeks de Martonne'a wynosił odpowiednio 39,72 i 22,61. To spowodowało nie tylko wysoką wilgotność dna bruzdy z wymieszaną glebą mineralną i próchnicą w wariantach z PA, ale również na pasach wykonanych FL, gdzie miało miejsce wymieszanie rozdrobnionej roślinności runa, ściółki, próchnicy i gleby mineralnej, co zapewniło równie dobre warunki wilgotnościowe do kiełkowania nasion jak w przypadku bruzd z odsłoniętą glebą mineralną wykonanych pługiem LPz. Również warunki termiczne do kiełkowania nasion były dobre, chociaż zróżnicowane. Sosna może kiełkować już w temperaturze 5°C, a temperatura optymalna zawiera się w przedziale 20-25°C [Bergsten 1989]. W kwietniu średnia dobowa temperatura wynosiła 8,2°C, występowały jednak dni ze średnią temperaturą poniżej 5°C. Taka temperatura mogła spowodować

wystąpienie lepszych warunków do kiełkowania nasion na glebie przygotowanej PA i FL. Temperatura powierzchni gleby na pasach przygotowanych FL może być nawet o 2°C wyższa w porównaniu z bruzdami odsłaniającymi glebę mineralną w wariantcie z LPz [MacKenzie i in. 2005]. Podobnie temperatura nasion leżących na glebie mineralnej jest niższa o około 2°C w porównaniu z nasionami leżącymi na podłożu organicznym czy humusie [Oleskog, Sahlén 2000]. Tak więc warunki termiczne do kiełkowania nasion były prawdopodobnie lepsze w wariantach PA i FL niż LPz. W efekcie mogło to być przyczyną wyższego zagęszczenia siewek na glebie przygotowanej FL i PA w porównaniu z wariantami bez przygotowania gleby i z pługiem LPz.

Obok zagęszczenia ważnym parametrem charakteryzującym odnowienie naturalne jest równomierność pokrycia powierzchni przez siewki. Wysoki udział poletek zerowych (bez siewek) najczęściej wskazuje na duże zróżnicowanie mikrosiedliskowe powierzchni zrębu [Karlsson, Nilson 2005]. Analiza struktury metrowych poletek w klasach zagęszczenia sosny potwierdziła w niniejszym doświadczeniu wystąpienie zróżnicowanych warunków do kiełkowania nasion i wzrostu siewek w pierwszym i drugim roku trwania doświadczenia oraz zależność zagęszczenia od MPG. W wariantcie bez przygotowania gleby udział poletek zerowych był bardzo wysoki: 17,9% po pierwszym roku i 22,4% po drugim. Wynik ten wskazuje, że odnowienie naturalne powstałe bez przygotowania gleby charakteryzuje się nie tylko niskim zagęszczeniem, ale również nierównomiernym pokryciem. Najlepszą strukturę poletek w klasach zagęszczenia sosen po pierwszym i drugim roku wzrostu odnowienia naturalnego uzyskano w wyniku przygotowania gleby PA. Wyniki niniejszych badań pokazały również, że w warunkach wysokiej sumy opadów można uzyskać odnowienie naturalne o równomiernym pokryciu i pożądanym zagęszczeniu na glebie przygotowanej FL.

Zaskakującym wynikiem jest uzyskanie wyższego zagęszczenia siewek i lepszej struktury poletek w wariantcie z FL w porównaniu z LPz w obu sezonach wegetacyjnych. Taki wynik sugeruje, że warunki mikroklimatyczne na zrębie nie tylko sprzyjały kiełkowaniu nasion i wzrostowi siewek na glebie przygotowanej FL, ale również były mniej korzystne dla powstawania odnowienia w wariantcie z LPz. Wydaje się, że przyczynami takiego stanu były wysokie sumy opadów w pierwszym roku odnowienia oraz różnice w związku podłoża wynikające z różnych sposobów przygotowania gleby. Wymieszanie rozdrobnionej roślinności, części organicznych i gleby mineralnej na pasach wykonanych FL powoduje powstanie podłoża o wielokrotnie wyższej porowatości w porównaniu z glebą mineralną o nienaruszonej strukturze. Dlatego też wysoka wilgotność dna bruzdy wykonanej LPz lub nawet stagnująca woda (w lipcu 2014 roku suma opadów wynosiła 180,2 mm, a indeks de Martonne'a 73,1) mogły powodować niekorzystne warunki powietrzne, prowadzące do deficytu tlenu [Oleskog i in. 2000], co mogło ograniczyć kiełkowanie nasion lub być przyczyną zamierania siewek.

Przeżywalność sosen po dwóch latach wzrostu była wysoka, powyżej 80%, i nie różniła się w zależności od sposobu przygotowania gleby. Cechą charakterystyczną odnowień naturalnych we wczesnych stadiach rozwoju jest wysoka liczba siewek, a także wysoka śmiertelność [Collet, Moguedec 2007]. Do czynników wpływających na śmiertelność odnowień należą: wysokie ich zagęszczenie i związana z nim konkurencja, małe rozmiary siewek, konkurencja z roślinnością na zrębie, niekorzystne warunki klimatyczne, choroby oraz uszkodzenia przez owady i zwierzęcą [Akashi 1997; Willoughby i in. 2004; Collet, Moguedec 2007; Rodriguez-Garcia i in. 2011]. Wydaje się, że w niniejszym doświadczeniu na zamieranie siewek wpłynęła głównie konkurencja związana z ich zagęszczeniem oraz małe rozmiary siewek. W drugim roku wzrostu wystąpiły w czerwcu, sierpniu i październiku niekorzystne warunki wilgotnościowe. Indeks de Martonne'a

wynosił odpowiednio 17,76, 2,76 i 9,31. Wydaje się jednak, że susza letnia, najbardziej dotkliwa w sierpniu, nie miała dużego wpływu na przeżywalność sosny, dobrze już w tym czasie ukorzonionej.

Podsumowanie

Badania pokazały, że mechaniczne przygotowanie gleby pozwala na uzyskanie odnowienia naturalnego o istotnie lepszych cechach, szczególnie w zakresie zagęszczenia i równomierności pokrycia powierzchni przez siewki, w porównaniu z odnowieniem bez skaryfikacji gleby. Naloty o najkorzystniejszych parametrach uzyskano w wyniku przygotowania gleby PA i tylko nieco słabsze na glebie przygotowanej FL. Zaskakującym wynikiem jest niskie zagęszczenie i nierównomierne rozmieszczenie siewek w odnowieniu powstałym na glebie przygotowanej LPz. Wydaje się, że przyczyną takiego stanu była wysoka suma opadów w pierwszym roku powstania odnowienia. Zapewniło to z jednej strony bardzo dobre warunki wilgotnościowe do kiełkowania nasion i wzrostu siewek na podłożu o wysokiej porowatości w wariantach PA i FL, lecz z drugiej strony mogło spowodować deficyt tlenu na zwięzłej glebie mineralnej dna bruzdy przygotowanej LPz.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania Panu Nadleśniczemu Nadleśnictwa Spychowo mgr. inż. Krzysztofowi Krasuli, Pani Leśniczcy Leśnictwa Kolonia Alicji Bartnik-Krzyśków oraz pracownikom i stażystom Nadleśnictwa za pomoc w realizacji prac terenowych.

Literatura

- Akashi N. 1997. Dispersion pattern and mortality of seeds and seedlings of *Fagus crenata* Blume in a cool temperate forest in western Japan. *Ecological Research* 12: 159-165.
- Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Brzeziecki B., Rutkowska P., Jabłońska B. 2014. Effect of different methods of site preparation on natural regeneration of *Pinus sylvestris* in eastern Poland. *Dendrobiology* 71: 73-81.
- Andrzejczyk T., Augustyniak G. 2007. Wpływ przygotowania gleby na wzrost sosny zwyczajnej w pierwszych latach uprawy. *Sylwan* 151 (8): 3-8.
- Archibold O. W., Acton C., Ripley E. A. 2000. Effect of site preparation on soil properties and vegetation cover, and the growth and survival of white spruce (*Picea glauca*) seedlings, in Saskatchewan. *Forest Ecology and Management* 131: 127-141.
- Bedford L., Sutton R. F. 2000. Site preparation for establishing lodgepole pine in the sub-boreal spruce zone of interior British Columbia: the Bednesti trial, 10-year results. *Forest Ecology and Management* 126: 227-238.
- Bergsten U. 1989. Temperature tolerance of invigorated seeds of *Pinus sylvestris* L., and *Picea abies* (L.) Karst. using TTGP-test. *Forestry (Supplement)* 62: 107-115.
- Bilodeau-Gauthier S., Paré D., Messier C., Bélanger N. 2011. Juvenile growth of hybrid poplars on acid boreal soil determined by environmental effects of soil preparation, vegetation control, and fertilization. *Forest Ecology and Management* 261: 620-629.
- Block M. D., Van Rees K. C. J. 2002. Mechanical site preparation impacts on soil properties and vegetation communities in the Northwest Territories. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1381-1392.
- Boateng J. O., Heineman J. L., McClarnon J., Bedford L. 2006. Twenty year responses of white spruce to mechanical site preparation and early chemical release in the boreal region of northeastern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 2386-2399.
- Caccia F. D., Ballaré C. L. 1998. Effects of tree cover, understory vegetation, and litter on regeneration of Douglas-fir (*Pseudotsuga mansuetii*) in southwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 683-692.
- Collet C., Moguedec G. 2007. Individual seedling mortality as a function in naturally regenerated beech seedlings. *Forestry* 80: 359-370.
- Drought and agriculture. 1975. WMO Note 138. Publ. WMO-392. Geneva.
- Heiskanen J., Mäkitalo K., Hyvönen J. 2007. Long-term influence of site preparation on water-retention characteristics of forest soil in Finnish Lapland. *Forest Ecology and Management* 241: 127-133.

- Hille M., den Ouden J. 2004. Improved recruitment and early growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings after fire and soil scarification. *European Journal of Forest Research* 123: 213-218.
- Ibáñez I., Schupp E. W. 2002. Effects of litter, soil surface conditions, and microhabitat on *Cerocarpus ledifolius* Nutt. seedling emergence and establishment. *Journal of Arid Environments* 52: 209-221.
- Jäderlund A., Norberg G., Zackrisson O., Dahlberg A., Teketay D., Dolling A., Nilsson M. C. 1998. Control of bilberry vegetation by steam treatment – effects on seeded Scots pine and associated mycorrhizal fungi. *Forest Ecology and Management* 108: 275-285.
- Karlsson M., Nilsson U. 2005. The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 205: 183-197.
- Karlsson C., Örlander G. 2000. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 256-266.
- Löf M., Dey D. C., Navarro R. M., Jacobs D. F. 2012. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests* 43: 825-848.
- MacKenzie M. D., Schmidt M. G., Bedford L. 2005. Soil microclimate and nitrogen availability 10 years after mechanical site preparation in northern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 1854-1866.
- Mäkitalo K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 512-525.
- de Martonne E. 1926. Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. *La Météorologie* 2: 449-458.
- Mattsson S., Bergsten U. 2003. *Pinus contorta* growth in northern Sweden as affected by soil scarification. *New Forests* 26: 217-231.
- Mattsson L., Li C.-Z. 1993. The non-timber value of northern Swedish Forest – an economic analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 426-434.
- Munson A. D., Timmer V. R. 1995. Soil nitrogen dynamics and nutrition of pine following silvicultural treatments in boreal and Great lakes – St. Lawrence plantations. *Forest Ecology and Management* 76: 169-179.
- Neugebauer Z. 2008. Poradnik dla operatorów maszyn leśnych agregowanych na ciągnikach. DGLP, Warszawa – Bedoń.
- Nilsson U., Örlander G. 1999. Vegetation management on grass – dominated clearcuts planted with Norway spruce in southern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1015-1026.
- Nordborg F., Nilsson U. 2003. Growth, damage and net nitrogen uptake in *Picea abies* (L.) Karst. seedlings, effects of site preparation and fertilization. *Annals of Forest Science* 60: 657-666.
- Oleskog G., Grip H., Bergsten U., Sahlén K. 2000. Seedling emergence of *Pinus sylvestris* in characterized seedbed substrates under different moisture conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1766-1777.
- Oleskog G., Sahlén K. 2000. Effect of seedbed substrate on moisture conditions and germination of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seeds in a mixed conifer stand. *New Forests* 20: 119-133.
- Operat Urządzenia Lasu dla Nadleśnictwa Spychowo na lata 2013-2022. 2013. RDLP w Olsztynie.
- Piğan I. 2009. Wpływ sposobu przygotowania gleby na stan upraw sosnowych w warunkach siedlisk wilgotnych. *Sylwan* 153 (11): 745-757.
- Piğan I. 2010. Odnowienie naturalne sosny (*Pinus sylvestris* L.) na siedliskach wilgotnych przy zastosowaniu różnych metod przygotowania gleby. *Sylwan* 154 (8): 524-534.
- Prévost M. 1997. Effects of scarification on seedbed coverage and natural regeneration after a group seed-tree cutting in a black spruce (*Picea mariana*) stand. *Forest Ecology and Management* 94: 219-231.
- Puhlick J. J., Laughlin D. C., Moor M. M. 2012. Factors influencing ponderosa pine regeneration in the southwestern USA. *Forest Ecology and Management* 264: 10-19.
- Raport o stanie lasów. 2014. <http://www.lasy.gov.pl/informacje/publikacje/informacje-statystyczne-i-raporty/raport-o-stanie-lasow/raport-o-stanie-lasow-w-polsce-2014/view>. Dostęp: 28 września 2016.
- Rodríguez-García E., Grater G., Bravo F. 2011. Climatic variability and Rother site factor influence on natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forests. *Annals of Forest Science* 68: 811-823.
- Sewerniak P., Gonet S. S., Quaium M. 2012. Wpływ przygotowania gleby frezem leśnym na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej w warunkach ubogich siedlisk Puszczy Bydgoskiej. *Sylwan* 156 (11): 871-880.
- Steijlen I., Nilsson M.-C., Zackrisson O. 1995. Seed regeneration of Scots pine in boreal forest stands dominated by lichen and feather moss. *Canadian Journal of Forest Research* 25 (5): 713-723.
- Tomczyk S. 1993. Odnowienie naturalne. Sosna. Biblioteczka Leśniczego 29.
- Wallertz K., Malmqvist C. 2013. The effect of mechanical site preparation methods on the establishment of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in southern Sweden. *Forestry* 86: 71-78.
- Willoughby I., Jinks R. L., Kerr G., Gosling P. G. 2004. Factors affecting the success of direct seeding for lowland afforestation in the UK. *Forestry* 77: 467-482.
- Zarządzenie Nr 15/2012 z dnia 20.09.2012 Nadleśniczego Nadleśnictwa Spychowo w sprawie kryteriów uznawania odnowień naturalnych oraz w sprawie przeprowadzania ocen upraw w Nadleśnictwie Spychowo. 2012a.

- Zarządzenie Nr 47A z dnia 30 września 2005 r. Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych w sprawie nowelizacji zaleceń w zakresie uznawania, oceny i ewidencjonowania odnowień naturalnych. 2005.
- Zarządzenie Nr 58/2012 z dnia 31.08.2012 r. Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych w sprawie zaleceń w zakresie uznawania, ewidencjonowania i oceny odnowień naturalnych. 2012b.
- Zasady hodowli lasu. 2012. DGLP. Warszawa.
- Żybura H., Aleksandrowicz-Trzecińska M., Drozdowski S., Wołczyk Z. 2016. Wpływ sposobu postępowania z pozostałościami zrębowymi i przygotowania gleby na zrębie na wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w 6-letniej uprawie. Sylwan 160 (4): 267-276.