

ROMAN GORNOWICZ, ZENON PILAREK, HANNA KWAŚNA, PIOTR ŁAKOMY,  
ROBERT KUŹMIŃSKI, JAKUB JAKUBOWSKI, WŁODZIMIERZ STEMPSKI

## Biomasa upraw sosnowych na siedlisku boru świeżego w zależności od metod zagospodarowania pozostałości zrębowych i sposobu przygotowania gleby\*

Biomass of young Scots pine stand on dystrophic site type with regard to the method of logging residues management and way of soil preparation

### ABSTRACT

Gornowicz R., Pilarek Z., Kwaśna H., Łakomy P., Kuźmiński R., Jakubowski J., Stempki W. 2021. Biomasa upraw sosnowych na siedlisku boru świeżego w zależności od metod zagospodarowania pozostałości zrębowych i sposobu przygotowania gleby. Sylwan 165 (1): 21-29. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2020094>.

The paper presents the changes of biomass in the young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand growing on dystrophic site type on the plots, where various methods of soil preparation and ways of utilizing logging residues were used. The research was carried out on an experimental plot located in the north-western part of Poland, in the Kalisz Pomorski Forest District. The soil preparation methods included: ploughing furrows with the LPZ-75 plough, ploughing furrows with active U-162 plough and ploughing up ridges using a plough-miller. On the other hand, logging residues management involved the following methods: complete removal, leaving residues on the clear-cut, as well as comminution of all residues. Methods of soil preparation and the ways of logging residues management significantly affected biomass of Scots pine regeneration. Among the methods of logging residues management, the most favourable effect was noted on the areas where logging residues were left. Mixing the litter with mineral soil promotes faster release of nutrients from the substrate. On the other hand, the lack of any soil preparation negatively affects the growth of Scots pine biomass. The optimal method of site preparation was the variant of leaving residues on the clear-cut, and then ploughing the furrows with the LPZ-75 plough.

### KEY WORDS

Scots pine cultivation, soil preparation, logging residues management, biomass

### ADDRESSES

Roman Gornowicz <sup>(1)</sup> – e-mail: [roman.gornowicz@up.poznan.pl](mailto:roman.gornowicz@up.poznan.pl)

Zenon Pilarek <sup>(1)</sup> – e-mail: [zenon.pilarek@up.poznan.pl](mailto:zenon.pilarek@up.poznan.pl)

Hanna Kwaśna <sup>(2)</sup> – e-mail: [kwasna@up.poznan.pl](mailto:kwasna@up.poznan.pl)

Piotr Łakomy <sup>(2)</sup> – e-mail: [plakomy@up.poznan.pl](mailto:plakomy@up.poznan.pl)

Robert Kuźmiński <sup>(3)</sup> – e-mail: [robert.kuzminski@up.poznan.pl](mailto:robert.kuzminski@up.poznan.pl)

Jakub Jakubowski <sup>(1)</sup> – e-mail: [jakub.jakubowski@up.poznan.pl](mailto:jakub.jakubowski@up.poznan.pl)

Włodzimierz Stempki <sup>(1)</sup> – e-mail: [stempki@up.poznan.pl](mailto:stempki@up.poznan.pl)

<sup>(1)</sup> Katedra Techniki Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

\*Praca w ramach tematu „Wpływ likwidacji pozostałości zrębowych i sposobu przygotowania gleby na stan materii organicznej, zdrowotność i jakość hodowlaną upraw oraz wpływ na wiązanie węgla w glebie” zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych (umowa EO-2717-20/12).

<sup>(2)</sup> Katedra Fitopatologii Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

<sup>(3)</sup> Katedra Entomologii Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

## Wstęp

Proces odnowienia lasu wiąże się z czynnościami mającymi na celu ułatwienie powstania młodego pokolenia drzewostanu. Prace te są przeprowadzane jeszcze podczas cięć rębnych, zarówno przy odnowieniach naturalnych, jak i sztucznych. Mają one szczególne znaczenie przy zrębowym sposobie zagospodarowania lasu realizowanym za pomocą rębni zupełnych. Czynności te obejmują porządkowanie powierzchni zrębowej (zagospodarowanie pozostałości zrębowych oraz usunięcie roślinności hamującej odnowienie), a także przygotowanie gleby. Obydwie grupy prac są powiązane ze sobą technologicznie i często nie da się oddzielić jednych od drugich. Prawidłowo przygotowany teren pod odnowienie już w fazie uprawy korzystnie wpływa na wzrost sosny zwyczajnej, kształtując jej rozwój w kolejnych latach, aż po dojrzały drzewostan [Kocjan 2002; Gornowicz i in. 2007; Pigan 2009]. Sposoby utylizacji pozostałości zrębowych oraz przygotowanie gleby wpływają na edafon glebowy oraz obieg materii organicznej, w tym wiązanie węgla [Loycke 1963a, b; Gornowicz 2004; Gałązka i in. 2005]. Od właściwego zagospodarowania powierzchni zrębowej zależy także zachowanie różnorodności biologicznej na odnawianym obszarze [Żyburka i in. 2016]. Mając na uwadze skuteczne odnowienie lasu oraz uzyskanie upraw o wysokiej jakości i udatności, należy więc odpowiednio zestawić metodę przygotowania gleby ze sposobem utylizacji pozostałości zrębowych [Andrzejczyk, Augustyniak 2007]. Wybór metody lub technologii przygotowania gleby zależy od trzech grup czynników: siedliskowych, biocenotycznych i gospodarczych. Tworzą one skomplikowaną współzależność decydującą o warunkach glebowych [Sienkiewicz 1979]. Natomiast wybierając sposób zagospodarowania resztek zrębowych, należy zwrócić uwagę na aspekty technologiczne i ekonomiczne, ale także przyrodniczo-leśne. Pozostałości te utrudniają prace odnowieniowe i mogą być miejscem namnażania szkodliwych owadów leśnych, lecz jednocześnie są znaczącym rezerwuarem składników pokarmowych i względnie trwałego wiązania węgla oraz bazą do tworzenia warstwy próchnicznej [Burschel, Huss 1997; Gornowicz 2004]. Współcześnie, ze względów ekologicznych oraz ekonomicznych, z dotychczas stosowanych sposobów wyeliminowano spalanie pozostałości zrębowych na powierzchni.

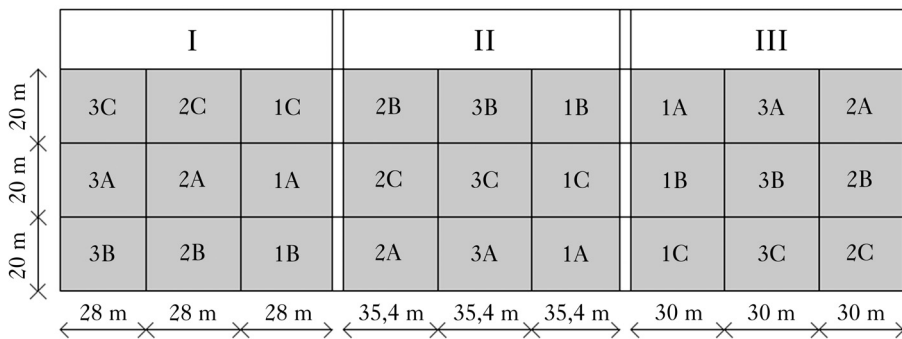
Obecnie, w dobie dużej presji na pobieranie biomasy, już nie tylko w postaci drewna strzały, ale całej arbomasy, a także z uwagi na duże zainteresowanie zagadnieniami związanymi z procesami alokacji węgla, wiedza na temat ilości biomasy w różnych fazach rozwojowych nabiera istotnego znaczenia. Alokacja węgla jest zmienna w czasie i odgrywa kluczową rolę w jego obiegu w ekosystemie leśnym [Litton i in. 2007]. Z kolei akumulacja biomasy, jako jeden z elementów alokacji węgla, odzwierciedla rzeczywistą produktywność drzewostanów [Chmura i in. 2014]. Produkcja biomasy w ekosystemach leśnych jest w dużej mierze uzależniona od ilości składników pokarmowych powracających do obiegu w postaci ściółki leśnej oraz stopnia jej dekompozycji przez mikroorganizmy glebowe [Jagodziński, Oleksyn 2009]. Zarówno proces aluwialny zachodzący w glebach dominujących na siedliskach borowych na niżu Polski, jak i utrata części substancji odżywczych po usunięciu surowca drzewnego przyczyniają się do stopniowego spadku żyzności siedliska. Pozyskanie pozostałości zrębowych po procesie pozyskania również zakłóca obieg składników pokarmowych. W związku z tym kluczowy jest mechanizm odzyskiwania substancji biogennych, warunkujący sprawny obieg materii ekosystemu leśnego [Gornowicz, Pilarek 2013]. Na wielkość produkcji i alokację biomasy w znacznym stopniu wpływa także zagęszczenie drzewostanu [Dicus, Dean 1998; Mátyás, Varga 2000; Barron-Gafford i in. 2003].

Celem badań było określenie wpływu różnych metod zagospodarowania pozostałości zrębowych i sposobów przygotowania gleby do odnowienia na kształtowanie się biomasy 9-letniej uprawy sosnowej rosnącej na siedlisku boru świeżego.

### Materiał i metody

Prace badawcze prowadzono na terenie Nadleśnictwa Kalisz Pomorski w obszarze administracyjnym Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Pile (RDLP Piła). Powierzchnię doświadczalną o wielkości 1,68 ha założono na zrębie zupełnym zlokalizowanym w leśnictwie Grzybów, w pododdziale 321a. Przed usunięciem (rębnia Ia) drzewostan stanowiła 90-letnia sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) II klasy bonitacji, wzrastająca na siedlisku boru świeżego (Bśw). Całą powierzchnię podzielono na trzy odrębne bloki o kształcie prostokąta: blok I – 0,5 ha (60×84 m), blok II – 0,64 ha (60×106,2 m), blok III – 0,54 ha (60×90 m). Bloki oddzielono od siebie pasami nieusuniętego drzewostanu, o powierzchni 20 arów każdy. Wzdłuż bloków przebiegały pasy z różnymi metodami przygotowania gleby: wyrwanie bruzd przy pomocy pługa dwuodkładnicowego LPZ-75, wyrwanie bruzd przy pomocy frezowego pługa talerzowego aktywnego (PTA) i uformowanie rabatowałków przy pomocy pługofrezarki (PgF). W poprzek rozmieszczono natomiast pasy z różnymi sposobami postępowania z pozostałościami zrębowymi: uprzątnięcie odpadów – zgrabienie i wyniesienie poza powierzchnię działki, pozostawienie odpadów w całości, rozdrobnienie odpadów i pozostawienie ich na powierzchni. W ten sposób wyodrębniono 9 różnych wariantów zagospodarowania powierzchni zrębowej na 27 działkach (ryc. 1). Pasy w poszczególnych blokach zostały rozmieszczone losowo (doświadczenie w układzie kompletnych bloków losowanych).

Biomasę określano dla części nadziemnej drzew na podstawie drzew próbnych, które wyznaczono dla 3 warstw wysokościowych. Dokonano pomiaru wysokości około 30% drzew na każdej z 27 działek za pomocą łąty geodezyjnej, z dokładnością do 1 cm. Do pomiaru wybrano po 3 rzędy drzew (te same dla każdej działki), z pominięciem rzędów skrajnych. Pomiaru wysokości uporządkowano według rosnących wartości, następnie różnicę pomiędzy największą i najmniejszą wysokością podzielono na 3 równe przedziały. Wartość średniej wysokości z przedziału wyznaczała wymiary wysokościowe drzewa próbnego do wycięcia. Łącznie uzyskano 81 drzew próbnych, po jednym z każdej warstwy wysokościowej na działce. Po wykopaniu drzew próbnych zważono



Ryc. 1.

Rozmieszczenie poszczególnych wariantów na powierzchni doświadczalnej

Location of the experiment variants on the sample plot

1 – uprzątnięcie odpadów pozrębowych, 2 – pozostawienie odpadów, 3 – rozdrobnienie wszystkich pozostałości; A – orka pługiem LPZ-75, B – orka pługiem aktywnym U-162, C – naoranie rabatowałków pługofrezarką

1 – complete removal of the logging residues, 2 – leaving residues on the clear-cut, 3 – comminution of all residues; A – ploughing furrows with the LPZ-75 plough, B – ploughing furrows with active U-162 plough, C – ploughing up ridges using a plough-miller

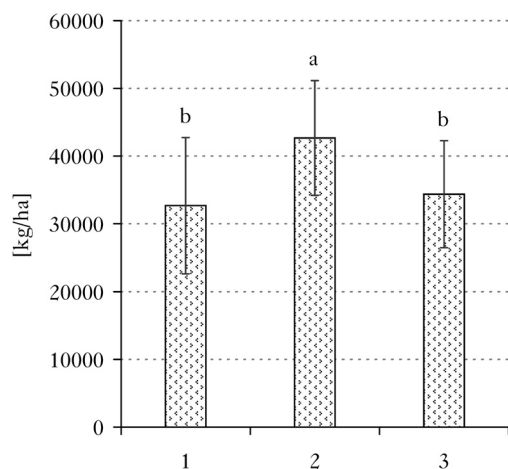
biomasę części nadziemnej (strzała + gałęzie wraz z igliwem) z dokładnością do 1 g. Biomasę teoretyczną na 1 ha obliczono, mnożąc zagęszczenie drzew (dla każdej klasy wysokości) i biomasę drzewa próbnego z danej klasy wysokości. Wnioskowanie o wpływie różnych kombinacji sposobów utylizacji pozostałości zrębowych i metod przygotowania gleby na biomasę oparto na jednoczynnikowej analizie wariancji dla bloków kompletnie randomizowanych. Normalność rozkładu sprawdzono testem Shapiro-Wilka. Dla metod przygotowania gleby oraz dla sposobów utylizacji pozostałości zrębowych wpływ analizowano oddzielnie. Hipoteza zerowa zakładała brak wpływu metod przygotowania gleby oraz sposobów utylizacji pozostałości zrębowych na biomasę części nadziemnej 9-letniej uprawy sosnowej. Jeśli wystąpiły istotne różnice, przeprowadzano analizę wielokrotnych porównań średnich (test Duncana). Przyjęto poziom istotności statystycznej  $\alpha=0,05$ .

## Wyniki

Najwyższą średnią biomasę części nadziemnej 9-letniego młodnika sosnowego stwierdzono dla metody pozostawiania resztek zrębowych w całości (ryc. 2). W przypadku tego sposobu biomasę części nadziemnej sosen była większa o ponad 24% od biomasę na pozostałych powierzchniach objętych badaniami. Najniższe wartości stwierdzono na działkach, gdzie uprzętnięto pozostałości – poniżej 33 ton biomasę/ha. Stwierdzono statystycznie istotną zależność pomiędzy sposobami utylizacji pozostałości zrębowych a biomasę części nadziemnej ( $p=0,005$ ). Po pozostawieniu resztek zrębowych na powierzchni uzyskano istotnie większą biomasę niż przy ich rozdrobieniu oraz uprzętnięciu. Biomasę części nadziemnej uzyskana w przypadku metod rozdrobnienia i uprzętnięcia nie różniła się istotnie.

Porównując biomasę części nadziemnej 9-letniego młodnika w zależności od różnych sposobów przygotowania gleby, zaobserwowano przewagę metody naorania rabatowałków za pomocą pługofrezarki (ryc. 3). Biomasę na działkach przygotowanych tym sposobem przewyższała o ponad 27% najmniej efektywną metodę, czyli orkę pługiem LPZ-75. Stwierdzono istotny wpływ metod przygotowania gleby na biomasę 9-letniego młodnika sosnowego ( $p=0,031$ ). Na działkach, gdzie przygotowano glebę pługofrezarką, uzyskano istotnie większą biomasę w porównaniu do działek, na których zastosowano pług aktywny oraz pług LPZ-75. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wartościami biomasę uzyskanymi przy orce pługiem aktywnym i orce pługiem LPZ-75.

Najwyższe wartości biomasę uzyskano dla kombinacji pozostawienia resztek zrębowych oraz naorania rabatowałków pługofrezarką – 2C (46,81 t/ha). Niewiele niższe wyniki odnotowano na



Ryc. 2.

Wpływ metod utylizacji pozostałości zrębowych na biomasę 9-letniego młodnika sosnowego  
Effect of logging residues management method on biomass of 9-year old Scots pines

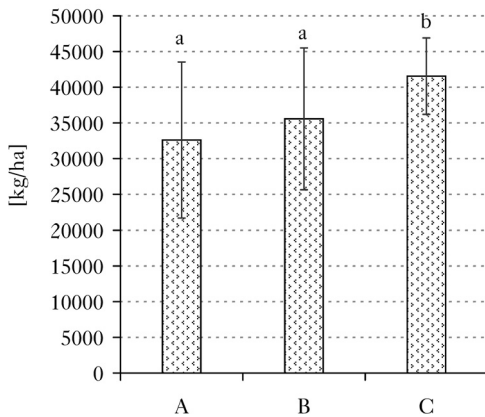
słupek – średnia, wąsy – odchylenie standardowe; te same litery (a, b) oznaczają brak istotnych różnic; oznaczenia metod jak na rycinie 1

bar – mean, whisker – standard deviation, the same letters (a, b) indicate lack of significant difference; variant denotes as in figure 1

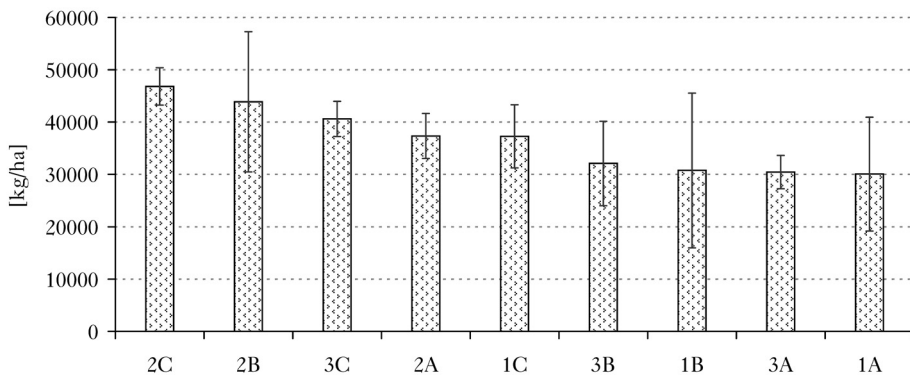
powierzchniach, gdzie pozostawiono resztki zrębowe oraz wyorano bruzdy pługiem aktywnym (2B). Najniższe wartości biomasy części nadziemnej otrzymano przy połączeniu uprzątnięcia resztek zrębowych i wyorania bruzd pługiem LPZ-75 (1A – 30,05 t/ha) – o ponad 35% mniej w porównaniu do najkorzystniejszego wariantu 2C. Zbliżone wyniki biomasy uzyskano w wariantach 1B, 1A i 3A (ryc. 4).

### Dyskusja

Pozostawienie resztek zrębowych zapobiega pogorszeniu warunków troficznych siedliska. W glebie oraz biomasy roślinnej w postaci resztek zrębowych (wierzchołki, gałęzie, igliwie, cienkie drzewka usunięte w zabiegach pielęgnacyjnych) znajduje się zapas składników odżywczych, m.in. azotu, fosforu oraz kationów zasadowych wapnia, magnezu i potasu. Utrzymanie tej bazy odżywczej warunkuje właściwy obieg pierwiastków w ekosystemie i gwarantuje zasoby niezbędne do produkcji biomasy [Ranius i in. 2018]. Rozdrobnienie pozostałości zrębowych również daje dobre efekty w postaci wyższej udatności upraw sosnowych, choć jest metodą dość kosztowną w porównaniu do pozostawiania czy uprzątnięcia odpadów [Sadowski i in. 2012; Gałęzia 2016]. Ponadto rozdrobnienie pozostałości i wymieszanie zrębków z glebą powoduje zwiększenie za-



**Ryc. 3.**  
 Wpływ sposobów przygotowania gleby na biomasę 9-letniego młodnika sosnowego  
 Effect of soil preparation methods on biomass of 9-year old trees  
 oznaczenia jak na rycinach 1 i 2; denotes as in figure 1 and 2



**Ryc. 4.**  
 Biomasa 9-letniego młodnika sosnowego w zależności od metody przygotowania gleby i sposobu zagospodarowania resztek zrębowych  
 Biomass of 9-year-old pine trees depending on the soil preparation methods and ways of logging residues management  
 oznaczenia jak na rycinach 1 i 2; denotes as in figure 1 and 2

wartości w niej węgla [Pilarek i in. 2002]. Z kolei Gomez i in. [2008] wykazali, że rozdrobnienie pozostałości wraz z rozrzuceniem ich na powierzchni wpłynęło na lepszy wzrost biomasy części podziemnej (korzeni) *Pinus pinaster* poprzez ograniczenie parowania wody z gleby. Metoda uprzątnięcia resztek zrębowych powoduje zubożenie gleby i ściółki leśnej poprzez ubytek zasobów materii organicznej. Według Gornowicza i in. [2015] biomasa części nadziemnej sosny w wieku rębności w stanie świeżym to około 300 ton/ha, natomiast pozostałości poeksploatacyjne stanowią 20% masy (około 60 ton/ha). Autorzy wykazali, że w efekcie usunięcia pozostałości zrębowych następuje ubytek o 40% azotu, o 55% fosforu, o 76% potasu, o 31% wapnia oraz o 22% magnezu. O negatywnym wpływie uprzątnięcia odpadów ze zrębu na wzrost sosny świadczą również badania sosny i świerka przeprowadzone w środkowej Finlandii. Helmisaari i in. [2011] wykazali, że przyrost miąższości drzewostanów w pierwszym i drugim dziesięcioleciu był odpowiednio o 4 i 8% mniejszy dla sosny oraz o 5 i 13% dla świerka. Choć sosna nie jest gatunkiem o dużych wymaganiach siedliskowych, sposób zagospodarowania resztek zrębowych może mieć istotny wpływ na wielkość biomasy, co potwierdzają niniejsze badania. Z kolei badania Żybury i in. [2016] nie wykazały istotnego wpływu metod przygotowania gleby (pług LPZ, frez leśny, pług aktywny) ani sposobów zagospodarowania resztek zrębowych (zrębkowanie i pozostawienie na powierzchni, usunięcie z powierzchni, rozdrobnienie i wymieszanie z glebą) na wzrost 6-letniej uprawy sosnowej na siedlisku Bśw. Według autorów przy doborze optymalnej metody zagospodarowania zrębu kluczowe znaczenie mają wskazania ekologiczne i ekonomiczne oraz warunki mikroklimatyczne.

Wpływ przygotowania gleby na parametry wzrostu sosny potwierdzono wielokrotnie [MacKee, Shoulder 1974; Kocjan 2002; Andrzejczyk, Augustyniak 2007; Gornowicz i in. 2007; Pigan 2009; Sewerniak i in. 2012]. Okazuje się, że wpływa ono najkorzystniej na przeżywalność i równomierny wzrost zwłaszcza w młodocianych fazach rozwojowych drzewostanu [Loycke 1963a, b; Burschel, Huss 1997]. Badania na 8-letnich plantacjach *Pinus elliotti* [MacKee, Shoulders 1974] wykazały o około  $\frac{1}{3}$  większą biomasa części nadziemnej na glebie przygotowanej (na wywyższeniu) w stosunku do nieprzygotowanej (51 t/ha w porównaniu do 39 t/ha). Podobnie jak w niniejszych badaniach, Andrzejczyk i Augustyniak [2007] w pierwszych 4 latach uprawy sosnowej na borze świeżym wykazali przewagę metody przygotowania gleby pługiem aktywnym U162 nad orką pługiem LPZ-75 pod względem parametrów wzrostowych. Wynikało to z różnego stopnia ingerencji w środowisko glebowe – pług U162 poprzez mniejszą inwazyjność zachowuje poziom akumulacyjny gleby, natomiast pług LPZ-75 na ubogich siedliskach zdiera i odkłada większą część gleby mineralnej na bok. W brzdach wyoranych pługiem LPZ-75 sadzonki wykazywały mniejszą przeżywalność, słabszy wzrost i mniejszą żywotność w porównaniu do tych wyrosłych na glebie przygotowanej pługiem aktywnym. Sewerniak i in. [2012] porównali przeżywalność i dynamikę wzrostu sosny w pierwszych 6 latach hodowli na glebie przygotowanej frezem leśnym oraz pługiem LPZ-75. Okazało się, że pomimo gorszych warunków wodnych w strefie ukorzenienia sadzonek wyoranie brzd pługiem LPZ-75 korzystniej wpłynęło na wzrost młodych drzewek. Choć zdarcie pasów frezem leśnym wiąże się z pochłanianiem większej ilości wody opadowej w rzędach niż po zabiegu orki, to może przyczyniać się do zwiększenia stresu wodnego sadzonek w suchych okresach wiosenno-letnich, a także do wzrostu konkurencji ze strony roślinności zielnej. Podobne efekty uzyskano w badaniach Jakubowskiego i Gornowicza [2014], w których określono biomasa 3-letniej uprawy sosnowej na powierzchniach przygotowanych za pomocą frezu leśnego, pługa LPZ-75 oraz naorywacza wałków. Najwyższe wartości biomasy części nadziemnej uzyskano dla sposobu orki pługiem LPZ-75 (1,41 t/ha). Istotnie niższe wyniki stwierdzono na działkach, gdzie przygotowano glebę frezem leśnym (0,38 t/ha) oraz naorano wałki (0,37 t/ha). Z kolei Drozdowski [2002] wykazał, że w porównaniu do pługa talerzowego, brony talerzowej

i powierzchni nieprzygotowanej wyoranie bruzd pługiem LPZ-75 stworzyło najlepsze warunki do kiełkowania i rozwoju nasion w pierwszym sezonie wegetacyjnym odnowienia naturalnego. Na tak przygotowanej glebie (zwłaszcza na skibach) siewki sosnowe łatwiej kiełkowały i rozwijały się, dzięki udostępnieniu dużej powierzchni zmineralizowanej gleby w porównaniu do pozostałych metod. Potwierdzenie można znaleźć w badaniach Aleksandrowicz-Trzciskiej i in. [2018], którzy analizowali wpływ mechanicznego przygotowania gleby (pług leśny, pług aktywny i mulczer leśny) na wzrost odnowienia naturalnego sosny zwyczajnej we wschodniej Polsce. Na powierzchni przygotowanej pługiem leśnym uzyskano najwyższą przeżywalność siewek, a także najszybszy ich wzrost w stosunku do dwóch pozostałych badanych metod.

Pigan [2009] porównała 3 metody przygotowania gleby (rabaty pełne, rabatowałki wykonane pługofrezarką U-049 oraz pasy wykonane frezarką) na trudniejszych do odnowienia siedliskach wilgotnych. Wyniki pokazały, że największą udatność 5-letnich upraw uzyskano na rabatach, ale najlepsze parametry wzrostowe i jakościowe sadzonek zaobserwowano na pasach. Częściowe przygotowanie gleby w postaci rabatowałków zapewniało lepszą udatność upraw w porównaniu do pasów, jednak tempo wzrostu sadzonek okazało się wolniejsze. W efekcie zaleca się zakładanie pasów na siedliskach umiarkowanie wilgotnych, natomiast rabatowałki na siedliskach silnie uwilgotnionych. Autorka zbadała także wpływ tych samych metod przygotowania gleby na możliwość naturalnego odnowienia sosny na siedliskach wilgotnych [Pigan 2010]. Podobnie jak w przypadku 5-letnich upraw, optymalne warunki dla kiełkujących nasion oraz przeżywalności i wzrostu siewek stwierdzono na rabatach pełnych, a najmniej korzystne na rabatowałkach. Z kolei odnowienie na pasach cechowało się najlepszym wzrostem i jakością sadzonek.

## Wnioski

- ✦ Na siedlisku boru świeżego zarówno sposoby postępowania z pozostałościami zrębowymi, jak i metody przygotowania gleby miały istotny wpływ na biomasa nadziemną sosny w fazie rozwojowej uprawy pochodzącej z sadzenia.
- ✦ Pozostawienie resztek zrębowych na powierzchni wpływa korzystnie na biomasa części nadziemnej sosny. Lepsze efekty uzyskuje się po pozostawieniu resztek zrębowych w całości, gdyż wolny rozkład jest korzystniejszy niż szybkie uwalnianie składników pokarmowych z rozkładającej się substancji organicznej.
- ✦ Metoda naorania wałków pługofrezarką daje najlepsze warunki do wzrostu biomasy uprawy. Przygotowanie gleby poprzez wyoranie bruzd pługiem LPZ-75 wpływa na spadek przyrostu biomasy drzew na 1 ha.
- ✦ Optymalnym sposobem przygotowania powierzchni zrębowej do odnowienia okazał się wariant polegający na pozostawieniu resztek zrębowych w całości, a następnie naoraniu rabatowałków przy pomocy pługofrezarki. Jednak dopiero po analizie drzewostanu w późniejszych latach hodowli będzie można uzyskać znacznie większą pewność co do efektywności danego sposobu zagospodarowania zrębu.

## Literatura

- Aleksandrowicz-Trzciska M., Drozdowski S., Brzeziecki B., Rutkowska P., Jabłońska B. 2018. 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. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2006103>.
- Barron-Gafford G. A., Will R. E., Burkes E. C., Shiver B., Teskey R. O. 2003. Nutrient concentrations and contents and their relation to stem growth, of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different planting densities. *Forest Science* 49 (2): 291-300.

- Burschel P., Huss J. 1997. Grundriß des Waldbaus. Parey Buchverlag, Berlin.
- Chmura D. J., Guzicka M., Rożkowski R., Michałowicz D., Grodzicki W., Chałupka W. 2014. Produktynność biomasy nadziemnej i podziemnej w doświadczeniu proveniencyjno-rodowym z dębem szypułkowym. Sylwan 158 (11): 829-839. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2014076>.
- Dicus Ch. A., Dean T. J. 1998. Stand density effects on biomass allocation patterns and subsequent soil nitrogen demand. W: Waldrop T. A. [red.]. Proceedings of the ninth biennial southern silvicultural research conference. 25-27 February 1997. Clemson, SC. Gen. Tech. Rep. SRS-20. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 564-568.
- Drozdowski S. 2002. Wpływ różnych sposobów przygotowania gleby na wyniki naturalnego odnowienia sosny zwyczajnej. Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 1 (1): 27-34.
- Gałązka S., Pilarek Z., Gornowicz R. 2005. Carbon and nitrogen content in the near-surface horizons of forest mineral soils on areas with different logging residue treatments. W: Gworek B. [red.]. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia. T III. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa. 133-136.
- Gałązka T. 2016. Economic methods for the utilisation of logging residues. Forest Research Papers 77 (1): 50-55.
- Gomez-Rey M. X., Madeira M., Vasconcelos E. 2008. Effects of organic residue man-agement and legume cover on growth of pine seedlings, nutrient leaching and soil properties. Annals of Forest Science 65 (8): 1.
- Gornowicz R. 2004. Wpływ wybranych sposobów utylizacji pozostałości zrębowych na środowisko i chemizm gleby. Post. Techn. Leśn. 87: 31-37.
- Gornowicz R., Gałązka S., Kuźmiński R., Kwaśna H., Łabędzki A., Łakomy P., Pilarek Z., Polowy K. 2015. Biomasa leśna jako źródło bioenergii i istotny składnik ekosystemu leśnego. W: Sierota Z. [red.]. Wyzwania i szanse leśnictwa XXI wieku. IBL, Sękocin Stary. 61-67.
- Gornowicz R., Pilarek Z. 2013. Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogenych ze środowiska leśnego. W: Gołos P., Kaliszewski A. [red.]. Biomasa leśna na cele energetyczne. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Gornowicz R., Pilarek Z., Gałązka S. 2007. Height changes of a five-year old pine plantation depending on the method of management of cutting residues and way of soil preparation. Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 6 (3): 25-31.
- Helmisaari S., Hanssen K. H., Jacobson S., Kukkola M., Liiro J., Saarsalmi A., Tamminen P., Tveite B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. Forest Ecology and Management 261: 1919-1927.
- Jażdżiński A. M., Oleksyn J. 2009. Ekologiczne konsekwencje hodowli drzew w różnym zagęszczeniu. II. Produkcja i alokacja biomasy, retencja biogenów. Sylwan 153 (3): 147-157. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2008062>.
- Jakubowski J., Gornowicz R. 2014. Wpływ metod przygotowania gleby oraz sposobów utylizacji pozostałości zrębowych na kształtowanie się wielkości biomasy frakcji nadziemnej sadzonek 3-letniej uprawy sosnowej. Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 13 (4): 5-14.
- Kocjan H. 2002. Wzrost sosny zwyczajnej w 25-letnim drzewostanie na powierzchni z różnym przygotowaniem gleby. Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 1 (1): 59-65.
- Litton C. M., Raich J. W., Ryan M. G. 2007. Carbon allocation in forest ecosystems. Global Change Biology 13: 2089-2109. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01420.x>.
- Loycke H. J. 1963a. Die Geschichte der Forstkulturtechnik. W: Loycke H. J. [red.]. Die Technik der Forstkultur. BLV Verlagsgesellschaft München, Basel, Wien. 1-7.
- Loycke H. J. 1963b. Die Bodenbearbeitung. W: Loycke H. J. [red.]. Die Technik der Forstkultur. BLV Verlagsgesellschaft München, Basel, Wien. 104-227.
- MacKee W. H., Shoulders E. 1974. Slash Pine Biomass Response to Site Preparation and Soil Properties. Soil science Society of America Journal 38 (1): 144-148.
- Mátyás C., Varga G. 2000. Effect of intra-specific competition on tree architecture and aboveground dry matter allocation in Scots pine. Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales 1: 111-119.
- Piğan I. 2009. Wpływ sposobu przygotowania gleby na stan upraw sosnowych w warunkach siedlisk wilgotnych. Sylwan 153 (11): 745-757. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2009038>.
- Piğan I. 2010. Odnowienie naturalne sosny (*Pinus sylvestris* L.) na siedliskach wilgotnych przy zastosowaniu różnych metod przygotowania gleby. Sylwan 154 (8): 524-534. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2009213>.
- Pilarek Z., Gałązka S., Gornowicz R. 2002. Wpływ sposobu zagospodarowania pozostałości pozrębowych na niektóre właściwości chemiczne gleb. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 486: 215-222.
- Ranius T., Hämäläinen A., Egnell G., Olsson B., Eklöf K., Stendahl J., Rudolphi J., Sténs A., Felton A. 2018. The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis. Journal of Environmental Management 209: 409-425.
- Sadowski J., Moskalik T., Zastocki D., Wrona T. 2012. Wybrane gospodarcze i przyrodnicze aspekty zagospodarowania pozostałości zrębowych. Studia i Materiały CEPL 32: 228-235.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2011115>.



- Sienkiewicz A. 1979. Wpływ różnych zabiegów agrotechnicznych na kształtowanie się chemicznych właściwości gleb leśnych w Puszczy Noteckiej. PTPN, Prace Kom. Nauk Rol. i Leś. 48: 133-149.
- Żybura H., Aleksandrowicz-Trzcńska 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. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2015142>.