

MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA, STANISŁAW DROZDOWSKI, HENRYK ŻYBURA

Wpływ mechanicznego przygotowania gleby na zrębie na jej cechy

Effect of mechanical site preparation on features of the soil in a clear-cut area

ABSTRACT

Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Żybura H. 2018. Wpływ mechanicznego przygotowania gleby na zrębie na jej cechy. Sylwan 162 (8): 648-657.

In most cases, mechanical site preparation (MSP) is a precondition if high-quality (natural or artificial) regeneration of forests is to be achieved. However, the measures involved here may differ in terms of the level of intervention of the soil environment, at both the surface and deeper down. The choice of MSP methods should be based on climatic conditions, site type and the species whose renewal is sought, while the effect should improve conditions for the emergence and growth of the young generation of trees, with the influence on the soil environment being limited as far as possible. The research sought to compare physical and chemical features of the soils of the microhabitats created in clear-cut areas as a result of MSP using either an LPz double mould-board forest plough (furrow and ridge), an active plough (furrow and ridge) and a forest mill (belt and beyond the belt) as compared with unscarified soil. Investigated physical features included grain size (content of sand, silt and clay), bulk density and actual moisture, while the chemical ones: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ and pH_{KCl} , exchangeable acidity, total content of N and C and the C/N ratio, P_2O_5 content and base cations Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ and Na^+ . The most invasive MSP method for the soil environment is the active plough, which leaves the ridge exposed to processes of the decomposition of organic matter (and the highest content of N, C, Mg^{2+} , Ca^{2+} and K^+). Equally, this method may pose the greatest threat of mineral components of the soil being leached, with impoverishment of the habitat ensuing. The forest mill in turn offers the least invasive MSP. Most of the physical and chemical features of soil (other than exchangeable acidity and $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ and pH_{KCl}) both in the belt areas and beyond them differed little from the those characterising non-scarified soil. Also the analysed features determined for the furrows ploughed by the active or LPz ploughs or the belt prepared using the forest mill did not differ significantly.

KEY WORDS

forest plough, active plough, forest mill, soil scarification, clear-cut

ADDRESSES

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

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

Wstęp

Mechaniczne przygotowanie gleby (MPG) odnawianej lub zalesieniowej powierzchni leśnej jest standardową czynnością hodowlaną poprzedzającą odnowienie. Jest ono powszechnie stosowane zarówno w przypadku odnowienia sztucznego, jak i naturalnego [Zasady... 2012]. Ma na celu stworzenie korzystnych warunków do kiełkowania nasion i wzrostu siewek lub sadzonek, m.in. poprzez odsłonięcie gleby mineralnej i udostępnienie kiełkującym nasionom i siewkom dostępu do wody w glebie, poprawę właściwości fizycznych gleby, ograniczenie konkurencji o wodę i składniki pokarmowe ze strony roślin runa, a także ułatwienie sadzenia. Zabieg skaryfikacji gleby polega zwykle na usunięciu z części powierzchni pokrywy roślinnej wraz z warstwą organiczną. Jest to szczególnie ważne w przypadku samosiewnego odnowienia sosny i innych gatunków lekkonasiennych [Peřina 1971; Drozdowski 2002; Andrzejczyk i in. 2003].

W Polsce przeprowadzono niewiele badań dotyczących wpływu sposobu przygotowania gleby na jej właściwości [Sewerniak i in. 2012; Sewerniak, Stelter 2016]. MPG może w znaczący sposób modyfikować właściwości gleby: fizyczne (zawartość wody, warunki powietrzne, temperaturę, gęstość objętościową), jak również chemiczne (odczyn gleby, zawartość materii organicznej, dostępność składników mineralnych) [Archibold i in. 2000; Block, Van Rees 2002; MacKenzie i in. 2005; Heiskanen i in. 2007]. Niekorzystnym efektem MPG może być wymywanie składników mineralnych, prowadzące do ubożenia gleby i spadku produktywności siedliska [Lundmark-Thelin, Johansson 1997; Piirainen i in. 2007, 2009].

Do MPG stosowane są różne narzędzia. Różnią się one stopniem ingerencji w środowisko glebowe – zarówno jeśli chodzi o powierzchnię, jak i głębokość. Powszechnie stosowany do MPG jest leśny pług dwuodkładnicowy LPz. Jest on uważany za narzędzie silnie ingerujące w środowisko glebowe ze względu na pozabawienie bruzdy poziomu próchnicznego i przemieszczenie go na zewnątrz wraz ze skibą. W ostatnich latach coraz częściej stosowane są również pługi aktywne (jedno- i dwutalerzowe) oraz frez leśny. Oba narzędzia uważane są za bardziej przyjazne środowisku glebowemu [Sewerniak i in. 2012].

Dotychczas wpływ MPG w warunkach przyrodniczych Polski był badany głównie w aspekcie udatności i tempa wzrostu sosny na uprawach odnowionych sztucznie [Andrzejczyk, Augustyniak 2007; Pigan 2009; Żybura i in. 2016] i naturalnie [Drozdowski 2002; Andrzejczyk i in. 2003; Pigan 2010; Aleksandrowicz-Trzcińska i in. 2014, 2017]. Badania te wykazały istotny wpływ porównywanych sposobów MPG na zagęszczenie i wzrost sosny. Wykazały również zróżnicowanie cech młodego pokolenia drzew w zależności od miejsca wzrostu siewek (bruzda/skiba) na powierzchni po orce pługiem dwuodkładnicowym [Andrzejczyk, Drozdowski 2003]. Różna zdolność kiełkowania nasion oraz przeżywania i wzrostu siewek sosny przy poszczególnych sposobach przygotowania gleby wynika z odmienności warunków mikrosiedliskowych i cech gleby w miejscu zastosowania danego narzędzia.

Celem badań było porównanie cech fizycznych i chemicznych gleby mikrosiedlisk utworzonych na zrębie w wyniku MPG trzema narzędziami – pługiem LPz, pługiem aktywnym i frezem leśnym – oraz gleby bez skaryfikacji. Uzyskane wyniki badań mogą być przydatne dla praktyki leśnej w zakresie podejmowania decyzji co do sposobu przygotowania gleby na zrębie w aspekcie odnowienia naturalnego lub sztucznego.

Materiał i metody

TEREN BADAŃ. Badania przeprowadzono w północno-wschodniej Polsce, w Nadleśnictwie Spychowo (RDLP w Olsztynie), w leśnictwie Spaliny, oddz. 188c (N 53°28'27, E 21°28'52, 132 m n.p.m.).

Obszar Nadleśnictwa Spychowo został zaliczony do Regionu Środkowo-Mazurskiego. Średnia roczna temperatura w latach 2009-2011 wyniosła 7,6°C. Występuje tu ciepłe lato oraz łagodna zima. Okres wegetacyjny jest krótki i trwa przeciętnie 207 dni. Roczne opady wynoszą około 650 mm. Obszar nadleśnictwa znajduje się w strefie o znacznym udziale wiatrów umiarkowanych (średnio 10,7 m/s), wiejących głównie z północnego zachodu i zachodu [Operat... 2013].

Badania zlokalizowano na powierzchni zrębowej o szerokości 39 m i długości 650 m, powstałej po usunięciu 128-letniego drzewostanu sosnowego, na siedlisku boru świeżego z glebą rdzawą biellicową wytworzoną z piasku luźnego z ektopróchnicą typu mor [Operat... 2013]. Od strony zachodniej zrąb graniczył ze 120-letnim drzewostanem sosnowym, natomiast od wschodniej z 5-letnią uprawą sosnową z odnowienia naturalnego.

OPIS DOŚWIADCZENIA. Doświadczenie obejmuje 4 warianty wyróżnione ze względu na sposób MPG i wykonane przy użyciu: 1) leśnego pługa dwuodkładnicowego (LPz), 2) jednotalerzowego pługa aktywnego (PA), 3) frezu leśnego (F) oraz 4) wariant kontrolny bez przygotowania gleby (K). Każdy wariant powtórzono 3 razy (3 bloki). Łącznie założono 12 działek/pól badawczych o wymiarach 39×50 m. W rezultacie zastosowanych sposobów przygotowania gleby powstało 6 różnych mikrosiedlisk. W wariacie LPz są to bruzda (b) i skiba (s). LPz wyoruje bruzdę o kształcie prostokątnym, odsłaniając glebę mineralną. Górną warstwę odciętej i odłożonej skiby stanowi gleba mineralna, niżej położona jest warstwa próchniczna, ściółka i roślinność runa. Użycie PA również powoduje powstanie bruzdy (b) i skiby (s). Obracający się talerz pługa aktywnego nadaje bruzdzie kształt paraboli, z odsłoniętą glebą mineralną często pokrytą niewielką ilością pozostającej lub osypującej się z talerza warstwy próchnicznej, a na skibach następuje częściowe wymieszanie ściółki, warstwy próchnicznej i gleby mineralnej. Mikrosiedliska powstałe w wyniku zastosowania F to pas (p) i nienaruszona gleba poza pasem (pp). Frez leśny rozdrabnia i miesza roślinność runa, ściółkę, warstwę próchniczną i glebę mineralną do głębokości 35 cm w pasach o szerokości 40 cm. Odległość pomiędzy pasami, gdzie gleba pozostaje nienaruszona, wynosi 110 cm [Neugebauer 2008].

LICZBA I SPOSÓB POBIERANIA PRÓBEK GLEBOWYCH. Próbki glebowe pobrano jesienią w następnym roku po przygotowaniu gleby. Z każdej działki z wariantami LPz, PA i F pobrano po 6 próbek cylinderkiem o objętości 100 cm³ oraz 6 próbek łączonych (po około 0,5 kg gleby): po 3 próbki z bruzdy (b) oraz ze skiby (s) (warianty LPz i PA) oraz po 3 próbki z pasa (p) i z gleby pomiędzy pasami (pp) bez przygotowania (wariant F). W wariacie K pobrano po 3 próbki cylinderkiem i 3 próbki łączone. Próbki pobierano z powierzchni gleby (do 10 cm) z trzech lokalizacji: od strony drzewostanu obsiewającego, pośrodku zrębu i od strony uprawy. Łącznie pobrano 63 próbki cylinderkami glebowymi i 63 próbki łączone.

ANALIZY LABORATORYJNE. W glebie pobranej jako próbki łączone oznaczono pH w KCl i H₂O metodą potencjometryczną (PN-ISO 10390:1997), zawartość azotu i węgla ogólnego metodą wysokotemperaturowego spalania z detekcją TCD (N – PN-ISO 13878:2002, C – PN-ISO 10694:2002), P₂O₅ metodą Egnera-Riehma (PB-20 ed.2 z dnia 01.01.2010), zawartość kationów wymiennych Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ w wyciągu octanu amonu o pH 7,0 metodą ICP (PB-05 ed. 2, z dnia 01.01.2010) oraz kwasowość wymienną metodą Sokołowa. Analiza frakcji granulometrycznych gleby została wykonana metodą sedymentacyjną (pipetową), zgodnie z normą PN-ISO 11277:2005. Próbki pobrane cylinderkiem posłużyły do oznaczenia gęstości objętościowej i wilgotności aktualnej gleby metodą wagową. Analizy gleby przeprowadzono w Instytucie Badawczym Leśnictwa w Samodzielnej Pracowni Chemii Środowiska Leśnego (akredytacja PCA nr AB 740).

ANALIZY STATYSTYCZNE. 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. W przypadku cech, które były wyrażone w wartościach procentowych (zawartość azotu, węgla oraz udział frakcji piasku, pyłu i łu), wykonano transformację na wartości kątowe (transformacja Blissa). Do obliczeń zastosowano ogólny model liniowy (GLM) z pakietu Statistica (StatSoft Inc.):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

gdzie:

μ – średnia ogólna,

α_i – wpływ bloku ($i=1-3$),

β_j – mikrosiedlisko wynikające z wpływu sposobu przygotowania gleby ($j=1-7$),

ε_{ij} – składnik losowy.

W celu wyłonienia grup jednorodnych użyto testu *post-hoc* HSD Tukeya ($\alpha=0,05$).

Wyniki

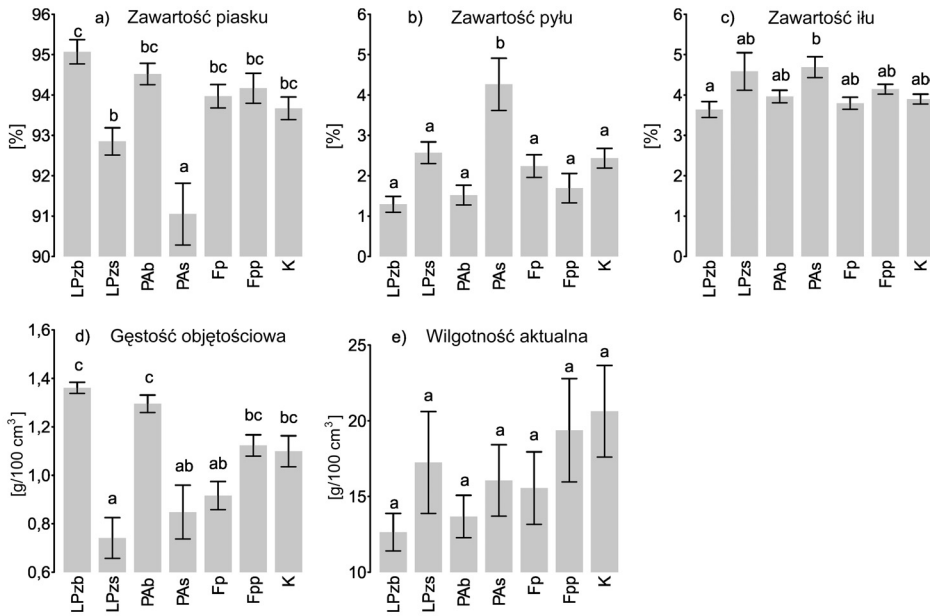
Spośród 16 analizowanych cech gleby w 11 stwierdzono różnice istotne statystycznie w stosunku do kontroli (wariantu bez przygotowania gleby). W obrębie cech fizycznych różnice stwierdzono w uziarnieniu i gęstości objętościowej. Specyfika miejsca badań i sposobu pracy (orka na zmierzonych głębokościach oraz mieszanie i przemieszczanie warstw gleby) PA spowodowały, że skiby przygotowane tym narzędziem różniły się od pozostałych mikrosiedlisk wyższą zawartością pyłu i niższą piasku (ryc. 1a i b). Gęstość objętościowa skiby przygotowanej LPz była niższa w porównaniu z glebą bez przygotowania (ryc. 1d). W przypadku wilgotności aktualnej nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie między średnimi uzyskanymi dla poszczególnych mikrosiedlisk powstałych w wyniku przygotowania gleby i wariantu kontrolnego (ryc. 1e).

Odczyn gleby w H_2O w bruzdach przygotowanych LPz i PA oraz na pasie przygotowanym F był mniej kwaśny w porównaniu z kontrolą, natomiast w przypadku pH w KCl różnice stwierdzono tylko w dla bruzd (ryc. 2a i b). W związku z tym kwasowość wymienna była istotnie niższa w bruzdach wykonanych LPz i PA oraz na pasie przygotowanym F w porównaniu do kontroli (ryc. 2c). Zawartość azotu w obu rodzajach skib (LPz i PA) była wyższa od zawartości tego pierwiastka w glebie bez przygotowania (ryc. 2e). Podobne zależności stwierdzono dla kationów: K^+ i Mg^{2+} (ryc. 2i i j). Zawartość węgla oraz wapnia (Ca^{2+}) wzrosła istotnie tylko na skibach wykonanych PA w porównaniu do wariantu kontrolnego (ryc. 2d i h). Dla pozostałych cech – stosunku węgla do azotu (ryc. 2f) oraz zawartości P_2O_5 (ryc. 2g), Na^+ (ryc. 2k) i łu (ryc. 1c) – nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie między średnimi uzyskanymi dla poszczególnych mikrosiedlisk powstałych w wyniku różnego przygotowania gleby oraz wariantu kontrolnego.

Dyskusja

Dla uzyskania dobrego jakościowo odnowienia (naturalnego lub sztucznego) w większości przypadków niezbędne jest MPG [Löf i in. 2012; Zasady... 2012]. Wybór metody MPG należy uzależnić od warunków klimatycznych (mikroklimatycznych), rodzaju siedliska oraz odnawianego gatunku i powinien on prowadzić do poprawy warunków powstawania i wzrostu uprawy przy jednoczesnym jak najmniejszym wpływie na środowisko glebowe [Löf i in. 2012].

Wyniki uzyskane w prezentowanych badaniach pokazały, że poszczególne sposoby przygotowania gleby powodują powstanie mikrosiedlisk różniących się istotnie zarówno cechami fizycznymi, jak i chemicznymi. Ponieważ próbki glebowe zostały pobrane jesienią, rok po przy-



Ryc. 1.

Średnia zawartość [%] piasku (a), pyłu (b) i ilu (c) oraz gęstość objętościowa [g/100 cm³] (d) i aktualna wilgotność [%] (e) gleby na zrębie w zależności od sposobu jej przygotowania i mikrosiedliska

Mean sand (a), silt (b) and clay (c) content [%], bulk density [g/100 cm³] (d) and actual moisture [%] (e) of soils in a clear-cut area in relation to MSP means and microhabitat

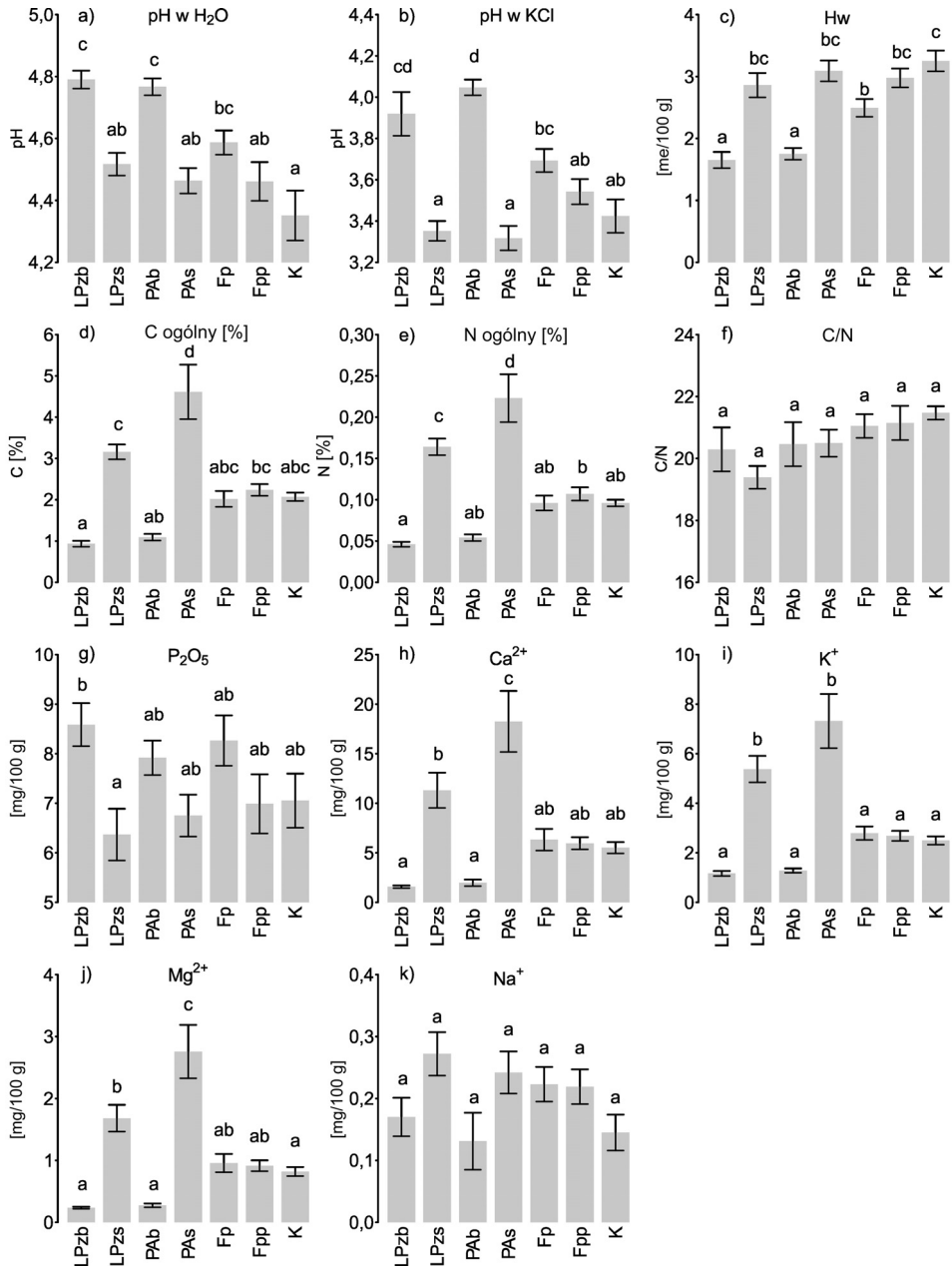
LPz – leśny pług dwuodkładnicowy, PA – jednotalerzowy pług aktywny, F – frez leśny, K – wariant kontrolny bez przygotowania gleby, b – bruzda, s – skiba, p – pas, pp – poza pasem; te same litery wskazują brak istotnych różnic w teście HSD Tukeya ($\alpha=0,05$)

LPz – double mould-board forest plough, PA – active plough, F – forest mill, K – unscarified soil (control), b – furrow, s – ridge, p – belt, pp – beyond belt; the same letter indicates insignificant differences in Tukey's HSD test ($\alpha=0.05$)

gotowaniu gleby, wskazują, jakie warunki zostały stworzone przez poszczególne sposoby MPG do powstania uprawy sosnowej i jej wzrostu w pierwszym sezonie wegetacyjnym.

Wszystkie sposoby przygotowania gleby spowodowały wzrost wartości pH w brzdach (LPz i PA) i na pasie (F), czyli kwasowość wymienna w tych mikrosiedliskach była niższa w porównaniu do wariantu kontrolnego. Wynika to z odsłonięcia poziomów gleby o mniejszej kwasowości (wyższym pH) w brzdach LPz i PA lub w przypadku F wymieszania poziomów o różnym odczynie (bardziej kwaśna warstwa organiczna i mniej kwaśna gleba mineralna). MacKenzie i in. [2005], badając pH wierzchnich (do 10 cm) poziomów gleby, wykazali wzrost wartości pH w brzdach (podobnie jak w niniejszych badaniach), lecz już homogenizowane wierzchnie poziomy gleby na pasach nie różniły się wielkością odczynu w stosunku do kontroli. Z kolei w badaniach Bilodeau-Gauthiera i in. [2011], obejmujących cztery sposoby MPG, nie stwierdzono różnic w wartości pH gleby. Odczyn gleby uzyskany w wyniku MPG jest w prezentowanych badaniach nieco korzystniejszy w porównaniu z wariantem kontrolnym [Kramer i in. 2014].

Kwasowość wymienna pochodzi od jonów H⁺ i Al³⁺ i ujawnia się w glebach o pH_{KCl} < 5,5. Przy silnym zakwaszeniu (pH poniżej 4,5) o kwasowości wymiennej w większym stopniu decydują jony Al³⁺. Wolne jony glinu są toksyczne dla roślin. Mogą one ograniczać powstawanie odnowienia naturalnego przez hamowanie wzrostu pędów i korzeni siewek [Nosko, Kershaw 1992]. MPG może powodować wzrost zawartości Fe i Al. Toksyczny poziom glinu w igłach obserwowano u siewek świerka rosnących w różnych wariantach MPG [Macdonald i in. 1998].



Ryc. 2.

Średnia wartość pH w H₂O (a) i w KCl (b), kwasowości wymiennej [mg/100g] (c), zawartości [%] węgla (d) i azotu (e) ogółem, stosunek C/N (f) oraz zawartości [mg/100g] P₂O₅ (g), Ca²⁺ (h), K⁺ (i), Mg²⁺ (j) i Na⁺ (k) na zrębiec w zależności od sposobu przygotowania gleby i mikrosiedliska

Mean pH in H₂O (a) and KCl (b), exchangeable acidity [mg/100g] (c), carbon (d) and nitrogen (e) total content [%], C/N ratio (f) as well as content [mg/100g] of P₂O₅ (g), Ca²⁺ (h), K⁺ (i), Mg²⁺ (j) i Na⁺ (k) of soils in a clear-cut area in relation to means of preparation and microhabitat

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as in figure 1

Wyniki uzyskane w prezentowanych badaniach nie pokazują powstawania takiego zagrożenia dla siewek i sadzonek w wyniku MPG.

Wyższa zawartość C i N oraz kationów Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^+ na obu rodzajach skib wskazuje, że wywyższenie tych mikrosiedlisk najprawdopodobniej powoduje wzrost temperatury [MacKenzie i in. 2005], co skutkuje wzrostem aktywności biologicznej gleby i przyspiesza proces dekompozycji i mineralizacji materii organicznej [Lundmark-Thelin, Johansson 1997], przy czym procesy te intensywniej przebiegają na bruzdach przygotowanych PA. Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach są zgodne z otrzymanymi przez Piirainen [2009]. Natomiast w badaniach Bilodeau-Gauthiera i in. [2011] wykazano, że MPG powoduje spadek zawartości C i N w glebie w porównaniu do powierzchni bez MPG. Autorzy ci wykazali jednocześnie, że podobnie jak w niniejszych badaniach, stosunek C/N pozostał niezmienny. Macdonald i in. [1998] twierdzą, że w lasach borealnych, ze względu na warunki klimatyczne, często obserwuje się redukcję lub brak zmian w zawartości C i N oraz C/N w efekcie MPG. Wzrost zawartości makro- i mikroelementów w zasięgu rozwoju korzeni z jednej strony wpływa korzystnie na wzrost drzewek na uprawie, lecz z drugiej strony powoduje zagrożenie wymywaniem składników mineralnych i ubożeniem siedliska.

Wiele badań wskazuje, że w wyniku MPG następują zmiany w gęstości objętościowej gleby [Archibold i in. 2000; MacKenzie i in. 2005; Heiskanen i in. 2007; Sewerniak, Stelter 2016]. W prezentowanych badaniach oba rodzaje bruzd i pas przygotowany F charakteryzowały się nieznacznie większą gęstością objętościową, natomiast skiby i gleba poza pasem – mniejszą gęstością objętościową od gleby bez przygotowania, lecz tylko gleba na skibach LPz różniła się istotnie wielkością tej cechy od wariantu kontrolnego. Zmiany w gęstości objętościowej gleby mogą mieć różne przyczyny. Archibold i in. [2000] wskazują, że wyższa wartość gęstości objętościowej w wariantach z MPG wiązała się z użyciem ciężkiego sprzętu do wykonania tego zadania. MacKenzie i in. [2005] wykazali, że niższą gęstością objętościową charakteryzowały się mikrosiedliska z wyższą zawartością materii organicznej. W badaniach Sewerniaka i Stelera [2016] gęstość objętościowa gleby na pasach przygotowanych frezem, w przeciwieństwie do wyników uzyskanych w niniejszych badaniach, była niższa niż w bruzdach LPz. Niższa gęstość objętościowa sprzyja lepszemu rozwojowi korzeni i szybszemu wzrostowi siewek lub sadzonek, lecz z drugiej strony zbyt niska może uniemożliwiać podsiąkanie wody w glebie oraz uzależniać wzrost i przeżycie roślin od ilości opadów [Heiskanen i in. 2007].

Wyniki badań prezentowanych w niniejszym opracowaniu wskazują, że oba rodzaje bruzd (przygotowanych LPz i PA) nie różnią się pod względem cech chemicznych gleby. Często uważa się, że zastosowanie PA jest korzystniejszym rozwiązaniem, bo takie MPG oszczędza poziom próchniczny, stwarzając lepsze warunki dla wzrostu młodego pokolenia [Andrzejczyk, Augustyniak 2007]. Brak różnic w zawartości C, N i P oraz kationów w obu rodzajach bruzd może być spowodowany bardzo płytkim poziomem próchnicznym, co często ma miejsce w przypadku gleby rdzawej bielcowanej. W takiej sytuacji w obu wariantach w wyniku orki został usunięty z bruzd zarówno poziom organiczny, jak i próchniczny.

Najmniejsze zmiany w środowisku glebowym w stosunku do wariantu kontrolnego stwierdzono w wyniku przygotowania gleby F. Dotyczyły one jedynie wartości pH gleby w wodzie i kwasowości wymiennej na pasach i wynikały z wymieszania poziomów (organicznego z glebą mineralną) o różnym odczynie. Wszystkie pozostałe cechy fizyczne i chemiczne gleby kształtowały się podobnie jak w wariantcie K. Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach wskazują ten sposób jako najmniej ingerujący w środowisko glebowe. Skaryfikacja gleby ma miejsce jedynie na wąskich (40 cm) pasach bez ich wywyższenia, co najprawdopodobniej w niewielkim stopniu wpływa na wzrost temperatury i wilgotności gleby oraz aktywność mikroorganizmów oddziałują-

ych na procesy dekompozycji i mineralizacji [Lundmark-Thelin, Johansson 1997; MacKenzie i in. 2005]. Wyniki te różnią się od uzyskanych przez Sewerniaka i in. [2012], którzy wykazali istotne różnice w gęstości objętościowej oraz zawartości Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^{+} między bruzdą wyoraną LPz i pasem przygotowanym F. Być może różnice te wynikają z terminu pobierania próbek glebowych do badań. Autorzy nie podają, jaki czas upłynął od momentu przygotowania gleby do pobrania próbek. Wymieszanie na pasach materii organicznej, gleby mineralnej i rozdrobnionych pozostałości zrębowych wymaga najprawdopodobniej czasu dłuższego niż rok do rozkładu i uwolnienia składników mineralnych [Lundmark-Thelin, Johansson 1997].

Największe zmiany w środowisku glebowym spowodowało użycie PA. O ile zmiany cech gleby w bruzdach w stosunku do wariantu bez MPG były niewielkie i dotyczyły wyłącznie odczynu i kwasowości wymiennej, to skiby okazały się mikrosiedliskiem, gdzie procesy mineralizacji przebiegały najintensywniej. Wywyższenie i wymieszanie ściółki, warstwy próchnicznej i gleby mineralnej na skibach najprawdopodobniej podniosło temperaturę podłoża i przy wystarczającej wilgotności [MacKenzie i in. 2005] zostały stworzone sprzyjające warunki mikroklimatyczne do rozwoju mikroorganizmów glebowych rozkładających materię organiczną [Lundmark-Thelin, Johansson 1997]. To mikrosiedlisko jest jednocześnie najbardziej zagrożone wymywaniem składników mineralnych, chociaż większość autorów uważa, że w długim okresie czasu nie ma zagrożenia spadkiem produktywności siedliska w wyniku MPG [Örlander i in. 1996; MacKenzie i in. 2005; Piirainen i in. 2007].

Pod względem wielkości zmian cech fizycznych i chemicznych gleby powstających w wyniku MPG zabieg wykonany LPz plasuje się pomiędzy dwoma pozostałymi metodami. Warunki uzyskane dla bruzd są zbliżone do tych uzyskanych na glebie nieprzygotowanej, natomiast procesy mineralizacji na skibach są znacząco mniej zaawansowane niż w przypadku wariantu PA. Można przypuszczać, że wolniejszy rozkład materii organicznej wynika z różnic w budowie i składzie granulometrycznym obu rodzajów skib. Wymieszanie ściółki, warstwy próchnicznej i gleby mineralnej na skibach stwarza korzystniejsze warunki do mineralizacji w porównaniu z odwróceniem skiby [Örlander i in. 1996]. Ponadto specyfika miejsca badań i pracy obracającego się talerza PA (orka na zmiennych głębokościach i mieszanie oraz przemieszczanie warstw gleby) spowodowały, że skiby wykonane PA zawierają mniej piasku, natomiast więcej pyłu w porównaniu z pozostałymi mikrosiedliskami. Takie uziarnienie powoduje lepsze zatrzymywanie wody i związane z tym wyższe tempo mineralizacji. Wprawdzie w końcu sezonu wegetacyjnego nie stwierdzono różnic w wilgotności aktualnej gleby między badanymi mikrosiedliskami, lecz nie oznacza to, że takie warunki wilgotnościowe utrzymywały się przez cały sezon wegetacyjny.

Z punktu widzenia wpływu sposobów MPG na cechy gleby najbardziej odpowiednim narzędziem jest frez leśny. Jest to narzędzie najbardziej przyjazne środowisku glebowemu. Jednak jeżeli będziemy oceniać sposoby MPG z punktu widzenia jakości uzyskanego odnowienia (szczególnie naturalnego), to ocena ta może być inna i uzależniona od wielu czynników, takich jak np. żyzność siedliska i tendencja do jego zachwaszczania oraz warunki klimatyczne (mikroklimatyczne), szczególnie ilość opadów w okresie wegetacyjnym [Aleksandrowicz-Trzcńska i in. 2014, 2017; Żybura i in. 2016].

Wnioski

- ✦ Przygotowanie gleby pługiem LPz, pługiem aktywnym i frezem leśnym powoduje powstanie mikrosiedlisk różniących się istotnie zarówno cechami fizycznymi, jak i chemicznymi.
- ✦ Bruzdy wykonane pługiem aktywnym nie różniły się pod względem badanych cech od bruzd wyoranych pługiem LPz.

- ✚ Narzędziem najsilniej ingerującym w środowisko glebowe był pług aktywny, który stwarzając na skibach najlepsze warunki do rozkładu materii organicznej, może powodować jednocześnie największe zagrożenie wymywaniem składników mineralnych i ubożeniem siedliska.
- ✚ Najmniej ingerującym narzędziem był frez leśny. Większość cech fizycznych i chemicznych gleby zarówno na pasach, jak i poza pasami nie różniła się od cech gleby bez przygotowania.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania Panu Nadleśniczemu Nadleśnictwa Spychowo mgr. inż. Krzysztofowi Krasuli i zastępcy nadleśniczego Panu mgr. inż. Maciejowi Ligoickiemu oraz leśniczemu leśnictwa Spaliny Panu Krzysztofowi Kilijańskiemu za pomoc w realizacji prac terenowych. Panu dr. Józefowi Wójcikowi z Instytutu Badawczego Leśnictwa dziękujemy za pomoc w oznaczeniu cech gleb, a Panu prof. dr. hab. Tadeuszowi Andrzejczykowi oraz anonimowemu Recenzentowi – za uwagi do manuskryptu.

Literatura

- 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.
- Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Wołczyk Z., Bielak K., Żybura H. 2017. Effects of reforestation and site preparation methods on early growth and survival of Scots pine. *Forests* 8 (421): 1-17.
- Andrzejczyk T., Augustyniak G. 2007. Wpływ przygotowania gleby na wzrost sosny zwyczajnej w pierwszych latach uprawy. *Sylvan* 151 (8): 3-8.
- Andrzejczyk T., Drozdowski S. 2003. Rozwój naturalnego odnowienia sosny zwyczajnej na powierzchni przygotowanej pługiem dwuodkładnicowym. *Sylvan* 147 (5): 28-35.
- Andrzejczyk T., Drozdowski S., Szeligowski H. 2003. Wpływ przygotowania gleby na zagęszczenie, wzrost i jakość samosiewów sosny w warunkach podokopowych. *Sylvan* 147 (3): 19-27.
- 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.
- Bilodeau-Gauthier S., Paré D., Messier C., Bélanger N. 2011. Juvenile growth of hybrid poplars on acidic 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.
- Drozdowski S. 2002. Wpływ różnych sposobów przygotowania gleby na wyniki naturalnego odnowienia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Acta Sci. Pol. Silv. Col. Ratio et Ind. Lign.* 1 (1): 27-34.
- 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.
- Kramer K., Brang P., Bachofen H., Bugmann H., Wohlgemuth T. 2014. Site factors are more important than salvage logging for tree regeneration after wind disturbance in Central European forests. *Forest Ecology and Management* 331: 116-128.
- Löf M., Dey D. C., Navarro R. M., Jacobs D. F. 2012. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forest* 43: 825-848.
- Lundmark-Thelin A., Johansson M. B. 1997. Influence of mechanical site preparation on decomposition and nutrient dynamics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle litter and slash needles. *Forest Ecology and Management* 97: 101-110.
- Macdonald S. E., Schmidt M. G., Rothwell R. L. 1998. Impacts of mechanical site preparation on foliar nutrients of planted white spruce seedlings on mixed-wood boreal forest sites in Alberta. *Forest Ecology and Management* 110: 35-48.
- 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.
- Neugebauer Z. 2008. Poradnik dla operatorów maszyn leśnych agregowanych na ciągnikach. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa – Bedoń.
- Nosko P., Kershaw K. A. 1992. The influence of pH on the toxicity of a low concentration of aluminum to white spruce seedlings. *Canadian Journal of Botany* 70: 1488-1492.

- Operat urządzenia lasu dla Nadleśnictwa Spychowo na lata 2013-2022. 2013. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Oddział w Olsztynie.
- Örlander G., Egnell G., Albrektson A. 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management* 86: 27-37.
- Perina V. 1971. Vliv přípravy pudy na přirozenou obnovu borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). *Lesnictví* 6: 563-590.
- Pigan I. 2009. Wpływ sposobu przygotowania gleby na stan upraw sosnowych w warunkach siedlisk wilgotnych. *Sylvan* 153 (11): 745-757.
- Pigan I. 2010. Odnowienie naturalne sosny (*Pinus sylvestris* L.) na siedliskach wilgotnych przy zastosowaniu różnych metod przygotowania gleby. *Sylvan* 154 (8): 524-534.
- Piirainen S., Finér L., Mannerkoski H., Starr M. 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after mechanical site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10-18.
- Piirainen S., Finér L., Mannerkoski H., Starr M. 2009. Leaching of cations and sulphate after mechanical site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Geoderma* 149: 386-392.
- Sewerniak P., Gonet S. S., Quaium M. 2012. Wpływ przygotowania gleby frezem leśnym na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej w warunkach ubogich siedlisk Puszczy Bydgoskiej. *Sylvan* 156 (11): 871-880.
- Sewerniak P., Stelter P. 2016. Wpływ sposobu przygotowania gleby na dynamikę jej temperatury na wydmach Kotliny Toruńskiej. *Sylvan* 160 (11): 923-932.
- Zasady hodowli lasu. 2012. DGLP, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu.
- Żybura H., Aleksandrowicz-Trzcińska 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. *Sylvan* 160 (4): 267-276.