

BARTŁOMIEJ WOŚ, MARCIN PIETRZYKOWSKI

Wpływ gatunków drzew na zawartość makropierwiastków i właściwości gleb inicjalnych w warunkach zrehabilitowanego wyrobiska popiaskowego*

Impact of tree species on macroelements content and properties of the initial soils in condition of reclaimed sand pit

ABSTRACT

Woś B., Pietrzykowski M. 2019. Wpływ gatunków drzew na zawartość makropierwiastków i właściwości gleb inicjalnych w warunkach zrehabilitowanego wyrobiska popiaskowego. Sylwan 163 (5): 407-414. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018151>.

The paper presents the assessment of growth parameters and the impact of pure stands of Scots pine, European larch, common birch and black alder on the reaction and chemical properties of the initial soils developed on the reclaimed sand pit 'Szczakowa' (southern Poland). Pine, larch and birch stands were characterized by good growth parameters, which confirms high adaptability of these species to post-mining sites. The black alder was characterized by worse growth parameters. The organic horizon (Olf) under conifers (pine and larch) were characterized by higher mass and lower pH than under deciduous species (birch and larch). The alder litter contained more N, K and Mg compared to other tree species. In the A_{in} initial horizon, the modifying effect of tree species was only detected in the case of black alder by higher exchange acidity and cation exchange capacity (CEC), higher content of soil organic carbon (SOC) and total N, and a lower C:N ratio, compared to soils under influence of other species. The research confirms that the selection of species composition for afforestation is an important factor affecting the soil-forming processes on reclaimed sand pit. In particular, the alder was characterized by beneficial effects on soil properties, which confirms its usefulness as a phytomeliorative species.

KEY WORDS

afforestation, reclamation, species composition, post-mining soils

ADDRESSES

Bartłomiej Woś – e-mail: b.wos@ur.krakow.pl
 Marcin Pietrzykowski

Zakład Ekologii Lasu i Rekultywacji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

Górnictwo odkrywkowe wywiera negatywny wpływ na środowisko poprzez wielkoobszarowe przekształcenia powierzchni ziemi i krajobrazu. W wyniku udostępnienia i eksploatacji złóż naturalna pokrywa glebowa i roślinna zostają zdezastowane, a zdeponowane na zwalówiskach bądź odsłonięte w wyrobiskach utwory, często z różnych epok geologicznych, stają się skałą macierzystą powstających gleb [Pietrzykowski i in. 2010]. Rekultywacja leśna jest jednym ze sposobów

*Badania sfinansowano ze środków własnych DS3420 Zakładu Ekologii Lasu i Rekultywacji Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

przywrócenia wartości użytkowych terenów pogórnich. Wprowadzane gatunki drzew tworzące zwarte drzewostany stanowią czynnik kształtowania siedliska leśnego w interakcji z glebą i klimatem. Mechanizm siedliskotwórczego oddziaływania drzewostanów wyraża się poprzez zwarcie koron i regulację dostępu światła oraz stosunków mikroklimatycznych, oddziaływanie biochemiczne podkoronowego opadu organicznego oraz działalność korzeni i aktywnych biochemicznie wydzielin. Czynniki te w różny sposób modyfikują warunki siedliskowe, co w konsekwencji może prowadzić do rozwoju gleb zróżnicowanych pod względem właściwości [Augusto i in. 2002; Reich i in. 2005].

Istotnym problemem w ramach rekultywacji leśnej jest ocena wpływu składu gatunkowego zalesień po latach oddziaływania i wypracowanie zaleceń dla planowania hodowlanego na tego typu obiektach przejmowanych do zalesienia. Gatunki drzew wprowadzane na tereny pogórnice wykazują zróżnicowane zdolności adaptacji do warunków glebowo-siedliskowych odtwarzanych w procesie rekultywacji [Pietrzykowski i in. 2010]. Wielkość biomasy i opadu podkoronowego oraz intensywność przyrostu korzeni, w tym szczególnie korzeni drobnych, mają bezpośrednie przełożenie na intensywność oddziaływania na proces glebotwórczy. Dlatego jednym ze sposobów oceny sukcesu rekultywacji leśnej jest ocena stopnia adaptacji i stabilności gatunków drzew wprowadzanych do nowych warunków siedliskowych terenów pogórnich. Osiągane cechy wzrostowe drzewostanów są dobrą miarą stopnia adaptacji do nowych warunków, jako wynik oddziaływania całego kompleksu czynników siedliskowych [Pietrzykowski, Socha 2011].

Celem pracy była ocena wpływu litych drzewostanów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.), brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) i olszy czarnej (*Alnus glutinosa* Gaertn.) na odczyn i właściwości chemiczne gleb piaszczystych powstających na zrekultywowanym wyrobisku popiaskowym.

Materiał i metody

TEREN BADAŃ. Badania przeprowadzono na fragmentach zrekultywowanego (25-35 lat temu) w kierunku leśnym wyrobiska piasków podsadzkowych „Szczakowa” (rejon GOP). Rejon ten charakteryzuje się średnią temperaturą roczną 8,7°C i średnią sumą opadów atmosferycznych 735 mm (dane dla okresu 1990-2017; <https://en.tutiempo.net>). Gleby tworzące się na odsłoniętych substratach glebowych zaliczono do gleb industroziemnych inicjalnych [Systematyka... 2011], charakteryzujących się występowaniem poziomów Ol-Ain-Can [Pietrzykowski i in. 2010].

PRACE TERENOWE. W ramach stałych badań monitoringowych wyznaczono łącznie 34 kołowe powierzchnie o wielkości 1 ara w regularnej siatce kwadratów 50×50 m we fragmentach litych drzewostanów sosny zwyczajnej (So), modrzewia europejskiego (Md), brzozy brodawkowatej (Brz) i olszy czarnej (Ol). Powierzchnie lokalizowano w drzewostanach w wieku od 25 do 33 lat (II klasa) wzrastających na substratach charakteryzujących się uziarnieniem piasków gliniastych i glin piaszczystych, bez wód gruntowych w zasięgu systemu korzeniowego. Do badań cech wzrostowych drzewostanów możliwe było wyznaczenie po 10 powierzchni badawczych dla drzewostanów sosnowych i brzozowych, 6 dla modrzewiowych i 8 dla drzewostanów olszowych. W ramach badań cech wzrostowych zmierzono pierśnicę ($d_{1,3}$) i wysokość (h) wszystkich drzew. Do badań właściwości gleb wybrano po 4 powierzchnie dla każdego wariantu z gatunkami drzew. Na powierzchniach pobrano zbiorcze próbki glebowe z 5 punktów rozmieszczonych w układzie koperty: z poziomów organiczno-mineralnych (Ain) z głębokości 0-5 cm oraz z poziomów organicznych (Olf) z kwadratów o powierzchni 0,2 m². Każdą próbkę z poziomu organicznego zważono w terenie w stanie świeżym, a następnie z tak pobranych próbek utworzono próbki zbiorcze (o wadze około 1 kg w stanie świeżym), reprezentatywne dla każdej powierzchni badawczej.

ANALIZY LABORATORYJNE. W próbkach poziomów mineralnych (Ain) oznaczono: uziarnienie aparatem Fritsch GmbH Laser Particle Sizer ANALYSETTE 22, pH potencjometrycznie w 1 M KCl z zachowaniem 1:2,5 proporcji gleba-roztwór, zawartość C i N na aparacie TruMac[®] CNS, fosfor (P) przyswajalny metodą Egnera-Riehma, zawartość kationów wymiennych Na⁺, K⁺, Ca²⁺ i Mg²⁺ w wyciągu 1 M CH₃COONH₄ na spektrofotometrze ICP OES ICAP 6000 Series oraz kwasowość hydrolityczną (Hh) metodą Kappena. Pojemność sorpcyjną (Th) i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (V%) wyliczono odpowiednio z kwasowości hydrolitycznej (Hh) i sumy zasad (Sh).

W próbkach poziomów Olf oznaczono suchą masę metodą suszarkowo-wagową, pH potencjometrycznie w 1 M KCl z zachowaniem 1:5 proporcji gleba-roztwór, a zawartość C i N na aparacie TruMac[®] CNS. Zawartość Na, K, Ca, Mg oznaczono w wyciągu po mineralizacji na mokro w mieszaninie kwasów HNO₃ i HClO₄ (w stosunku 3:1) na spektrofotometrze ICP OES ICAP 6000 Series. Fosfor (P) oznaczono metodą molibdenianową kolorometrycznie z uzyskanego wyciągu w HNO₃ i HClO₄ aparatem CARY 300 Conc UV-Visible Spectrofotometr firmy Varian.

ANALIZY STATYSTYCZNE. Określono następujące cechy drzewostanów: zagęszczenie (N) jako liczbę drzew przypadających na 1 ha, przeciętną pierśnicę (Dg) i wysokość (Loreya; HL), wysokość górną (H100) liczoną jako średnia 100 najwyższych drzew na 1 ha, bonitację wzrostową z tablic przyrostu i miąższości drzewostanów Szymkiewicza [2001] oraz zasobność (miąższość) drzewostanów.

Opracowanie statystyczne z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 13.1 (StatSoft, Inc.) obejmowało analizę istotności różnic pomiędzy wartościami średnimi parametrów testem RIR Tukeya (p=0,05).

Wyniki badań

CECHY DRZEWOSTANÓW. Najwyższą przeciętną pierśnicą charakteryzowały się drzewostany modrzewiowe (17,7 cm), natomiast drzewostany sosnowe, brzożowe i olszowe charakteryzowały się podobną przeciętną pierśnicą, wynoszącą od 13,3 do 13,6 cm. Najwyższą przeciętną wysokość wykazywały drzewostany modrzewiowe (17,2 m), natomiast najniższą drzewostany olszowe (10,9 m). Podobnie wysokość górną najwyższą była w drzewostanach modrzewiowych (19,4 m), a najniższa w olszowych (13,2 m). Miąższość drzewostanów wynosiła od 108,0 m³/ha dla drzewostanów olszowych do 297,3 m³/ha dla drzewostanów modrzewiowych. Badane drzewostany charakteryzowały się Ia i I klasą bonitacji wzrostowej, z wyjątkiem drzewostanów olszowych, które wykazywały jedynie IV klasę bonitacji (tab. 1).

Tabela 1.

Średnie ± odchylenie standardowe zagęszczenie (N [szt./ha]), przeciętna pierśnica (Dg [cm]), przeciętna wysokość (HL [m]), wysokość górną (H100 [m]), bonitacja (SI) oraz zasobność (V [m³/ha]) drzewostanów wzrastających na zrehabilitowanym wyrobisku piasków podszadzowych

Mean ± standard deviation of stand density (N [trees/ha]), mean breast height diameter (Dg [cm]), average (HL) and to (H100) height [m], site index class (SI) and growing stock (V [m³/ha]) of stands growing on the reclaimed sand mine pit

	N	Dg	HL	H100	SI	V
So	2067±770	13,6±1,7	14,3±0,9	15,9±1,0	Ia	193,1±36,2
Md	1450±265	17,7±1,8	17,2±1,3	19,4±0,7	I	297,3±67,7
Brz	1480±454	13,3±2,2	15,2±2,1	18,0±1,6	I	146,6±40,9
Ol	1457±288	13,5±2,3	10,9±1,6	13,2±1,4	IV	108,0±22,8

So – Scots pine, Md – European larch, Brz – silver birch, Ol – black alder

WŁAŚCIWOŚCI POZIOMÓW ORGANICZNYCH. Sucha masa poziomu organicznego (Olf) była wyższa pod gatunkami iglastymi (So, Md) w porównaniu do gatunków liściastych (Brz, Ol) i wynosiła od 0,7 kg/m² pod brzozą i olszą do 1,9 kg/m² pod modrzewiem. Poziom Olf pod gatunkami iglastymi charakteryzował się niższą wartością pH w porównaniu do gatunków liściastych. Najwyższą zawartością makroelementów spośród badanych gatunków drzew charakteryzował się poziom organiczny pod olszą czarną. Zawartość N, Mg i K w poziomie Olf pod olszą czarną była istotnie wyższa w porównaniu do poziomów Olf pod pozostałymi gatunkami drzew. Poziom Olf pod olszą czarną charakteryzował się również największym stosunkiem C:N (tab. 2).

WŁAŚCIWOŚCI POZIOMÓW ORGANICZNO-MINERALNYCH. Inicjalne poziomy organiczno-mineralne Ain badanych gleb charakteryzowały się odczynem kwaśnym i uziarnieniem piasków gliniastych i glin piaszczystych. Spośród wprowadzonych gatunków drzew najsilniej właściwości gleb modyfikowała olsza czarna. Poziom Ain pod olszą czarną charakteryzował się istotnie wyższą wartością kwasowości hydrolitycznej (Hh) i pojemności wymiany kationów (PWK) w porównaniu do pozostałych gatunków drzew. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w zawartości kationów wymiennych (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) i przyswajalnego P₂O₅ w poziomach Ain pod badanymi gatunkami drzew (tab. 3).

Najwyższą zawartość węgla organicznego (Corg) i azotu ogólnego (Nt) stwierdzono w poziomie Ain pod olszą czarną. Poziom ten charakteryzował się również największym stosunkiem C:N (ryc.).

Dyskusja

Drzewostany sosny zwyczajnej, modrzewia europejskiego i brzozy brodawkowatej wykazywały dobre parametry wzrostowe, w tym Ia i I klasę bonitacji wzrostowej. Wskazuje to na ich duże możliwości przystosowawcze do nowo powstających siedlisk i potwierdza przydatność do zalesień terenów pogórniczych [Krzaklewski i in. 2011; Pietrzykowski, Socha 2011; Pietrzykowski i in. 2012]. Drzewostany olszy czarnej charakteryzowały się gorszym wzrostem, na co wskazuje uzyskana IV klasa bonitacji. Wynika to z dalekich od jej optimum ekologicznego warunków siedliskowych w zreaktywowanym wyrobisku, w tym opadowo-retencyjnej gospodarki wodnej i stosunkowo małej zasobności gleb [Pietrzykowski i in. 2010].

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że po 30 latach od rozpoczęcia procesu rekultywacji różnicujący się wpływ gatunków drzew na odczyn ujawnił się przede wszystkim w wierzchnim poziomie organicznym (Olf). Gatunki iglaste (So i Md) silniej zakwasały poziom organiczny w porównaniu do gatunków liściastych (Brz i Ol). Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic pomiędzy oddziałującymi gatunkami drzew na pH inicjalnych poziomów organiczno-mineralnych Ain (0-5 cm). Wyniki te potwierdzają znany fakt silniejszego wpływu zakwaszającego gatunków iglastych w porównaniu do liściastych [Augusto i in. 2002], choć nie można tego uogólnić dla olszy, która najsilniej wpłynęła na wzrost wartości kwasowości hydrolitycznej (Hh) poziomu Ain, co pośrednio przełożyło się na wzrost pojemności sorpcyjnej w glebach, na których rosła. Wzrost kwasowości hydrolitycznej gleb w wyniku oddziaływania olszy potwierdzają badania Cole i in. [1990] oraz Brożka [1993] w warunkach naturalnych ekosystemów leśnych. Zakwaszenie gleb pod olszą nie wynika bezpośrednio z oddziaływania opadu organicznego (gdyż wartości pH w poziomie Olf pod olszą są nawet istotnie wyższe w porównaniu do poziomów Olf pod gatunkami iglastymi), lecz z działalności symbiotycznych promieniowców *Frankia alni*. Reakcje utleniania zachodzące podczas procesu nityfikacji prowadzą do otrzymania HNO₃, który następnie dysocjuje na jony H⁺ i NO³⁻. Proces nityfikacji przeprowadzany przez mikroorganizmy powoduje

Tabela 2.

Średnia ± odchylenie standardowe sucha masa (SM [kg/m²]), odczyn (pH_{KCl}), stosunek C:N oraz zawartość [g/kg] wybranych pierwiastków w poziomie organicznym (Olf) pod badanymi drzewostanami

Mean ± standard deviation of dry biomass (SM [kg/m²]), reaction (pH_{KCl}), C:N ratio and content [g/kg] of selected elements in organic horizons (Olf) under the studied stands

	SM	pH _{KCl}	C:N	N	Ca	Mg	K	Na	P
So	1,8±0,4 ^b	3,6±0,2 ^a	38±5 ^c	11,25±1,38 ^a	4,49±0,93 ^a	0,42±0,03 ^a	0,69±0,20 ^a	0,03±0,01 ^a	0,55±0,05 ^a
Md	1,9±0,1 ^b	3,5±0,1 ^a	32±2 ^{b,c}	11,95±1,16 ^a	4,84±0,31 ^a	0,58±0,03 ^a	0,55±0,07 ^a	0,03±0,01 ^a	0,69±0,10 ^a
Brz	0,7±0,1 ^a	4,7±0,1 ^b	29±2 ^b	13,03±1,52 ^a	9,44±3,09 ^a	1,04±0,21 ^{ab}	0,97±0,10 ^a	0,04±0,01 ^a	0,70±0,19 ^a
OI	0,7±0,3 ^a	4,6±0,1 ^b	16±0 ^a	25,91±1,13 ^b	8,90±0,29 ^a	1,66±0,14 ^b	3,11±3,99 ^b	0,03±0,01 ^a	0,82±0,02 ^a

oznaczenia jak w tabeli 1; ta sama litera oznacza brak istotnych różnic
denotes as in table 1; the same letter indicates lack of significant differences

Tabela 3.

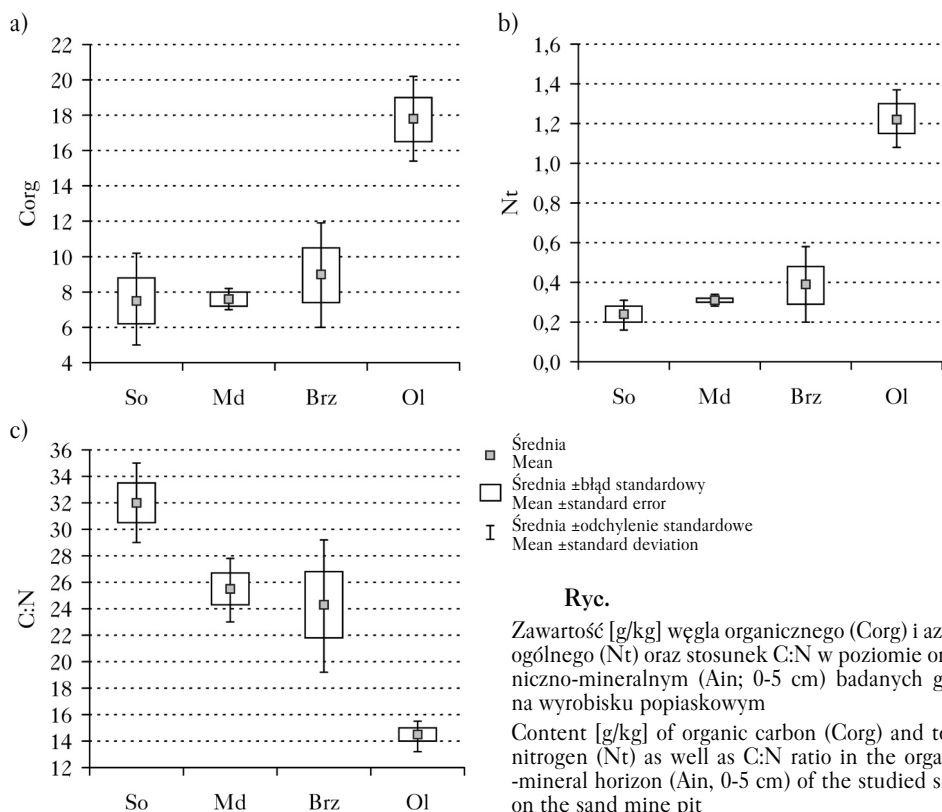
Średnia ± odchylenie standardowe zawartość pyłu (pt [%]) i ilu (il [%]), odczyn (pH_{KCl}), zawartość wybranych kationów [cmol(+)/kg] i fosforu (P₂O₅ [g/kg]) oraz właściwości kompleksu sorpcyjnego poziom A_{in} na zredukowanym wyrobisku popiaskowym

Mean ± standard deviation of silt (pt [%]) and clay (il [%]) content, reaction (pH_{KCl}), content [cmol(+)/kg] of selected cations and phosphorus (P₂O₅ [g/kg]) as well as sorption complex properties in A_{in} horizons on the reclaimed sand mine pit

Pł Silt	Il Clay	pH _{KCl}	Hh	S _H	PWK	V%	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	P ₂ O ₅
So	15±6 ^a	2±1 ^a	3,7±0,2 ^a	3,53±0,71 ^a	0,87±0,50 ^a	4,39±1,13 ^a	18,66±7,02 ^a	0,63±0,39 ^a	0,14±0,09 ^a	0,07±0,02 ^a	0,002±0,0002 ^a
Md	10±3 ^a	1±0 ^a	3,9±0,2 ^a	2,66±0,29 ^a	1,04±0,11 ^a	3,69±0,23 ^a	28,20±4,27 ^a	0,74±0,09 ^a	0,21±0,03 ^a	0,08±0,01 ^a	0,01±0,00 ^a
Brz	16±10 ^a	2±1 ^a	3,6±0,3 ^a	2,46±0,42 ^a	1,95±1,67 ^a	4,42±1,84 ^a	38,87±17,97 ^a	1,50±1,32 ^a	0,34±0,32 ^a	0,11±0,03 ^a	0,01±0,00 ^a
OI	18±9 ^a	1±1 ^a	3,2±0,1 ^a	6,63±0,56 ^b	1,58±0,41 ^a	8,21±0,28 ^b	19,29±5,27 ^a	1,10±0,32 ^a	0,36±0,09 ^a	0,10±0,02 ^a	0,02±0,01 ^b

Hh – kwasowość hydrolytyczna [cmol(+)/kg], SH – suma zasad [cmol(+)/kg], PWK – pojemność kompleksu sorpcyjnego [cmol(+)/kg], V% – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami [%], pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1; ta sama litera oznacza brak istotnych różnic

Hh – exchangeable acidity [cmol(+)/kg], SH – sum of cations [cmol(+)/kg], PWK – cation exchange capacity [cmol(+)/kg], V% – base saturation [%], other denotes as in table 1; the same letter indicates lack of significant differences



Ryc.

Zawartość [g/kg] węgla organicznego (Corg) i azotu ogólnego (Nt) oraz stosunek C:N w poziomie organiczno-mineralnym (Ain; 0-5 cm) badanych gleb na wyrobisku popiaskowym

Content [g/kg] of organic carbon (Corg) and total nitrogen (Nt) as well as C:N ratio in the organo-mineral horizon (Ain, 0-5 cm) of the studied soils on the sand mine pit

więc wzrost zakwaszenia gleb poprzez jony H^+ oraz ługowanie pierwiastków związanych z mobilnymi w glebie jonami NO_3^- [Cole i in. 1990].

Bezpośrednim efektem oddziaływania gatunków drzew na substraty glebowe jest wykształcanie się poziomu organicznego Olf, charakterystycznego dla gleb leśnych. Masa poziomu organicznego (Olf) była istotnie wyższa pod gatunkami iglastymi w porównaniu do gatunków liściastych. Podobne prawidłowości obserwuje się w naturalnych ekosystemach leśnych [Binkley 1995] oraz w warunkach zalesionych obiektów pogórnich [Pietrzykowski i in. 2010]. Wynika to z większej masy trudniej rozkładalnych resztek organicznych o wyższym stosunku C:N akumulowanych pod gatunkami iglastymi [Binkley 1995]. Rozwój poziomów organicznych i organiczno-mineralnych w glebach na terenach pogórnich jest nierozzerwanie związany ze wzrostem zawartości i akumulacji węgla organicznego i azotu [Bradshaw 1997; Pietrzykowski, Krzaklewski 2007]. Wpływ gatunku drzewa na zawartość węgla organicznego (Corg) w poziomie Ain ujawnił się tylko w przypadku olsy. Występowanie wyższej zawartości Corg w glebach pod drzewostanami gatunków drzew zdolnych do symbiozy z bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny w porównaniu do gleb pod innymi gatunkami podawane było zarówno z gleb naturalnych umiarkowanej [Binkley 2005], jak i tropikalnej strefy klimatycznej [Resh i in. 2002]. Spowodowane jest to dopływem bogatego w azot opadu organicznego [Binkley 2005]. Azot przyspiesza mineralizację materii organicznej w początkowej fazie dekompozycji, a następnie wraz z ligniną tworzy trudno rozkładalne związki aromatyczne, co powoduje, że ściółka bogata w azot szybciej akumuluje próchnicę w glebie niż ściółka uboga [Berg 2000; Kajak 2016].

Ściółki drzew liściastych, a szczególnie olszy, zawierały więcej makroelementów w porównaniu do ściółek drzew iglastych, jednakże różnice w poziomie Olf nie przełożyły się na poziomy organiczno-mineralne Ain. Potwierdza to dane literaturowe wskazujące, że w młodych drzewostanach (do około 40 lat) różnicowanie się właściwości chemicznych gleb pod różnymi gatunkami drzew przebiega głównie w poziomie organicznym, a dopiero w starszych klasach wieku oddziaływanie to przekłada się na poziomy organiczno-mineralne [Alriksson, Eriksson 1998]. Brak wyraźnych różnic zawartości makroelementów w glebach pod drzewostanami różnych gatunków drzew może wynikać z młodego wieku i zbyt krótkiego okresu oddziaływania wprowadzonych zalesień oraz z tego, że pomimo różnic w składzie chemicznym opadu organicznego składniki pokarmowe pochodzące z rozkładającej się materii organicznej nie zawsze trafiają do kompleksu sorpcyjnego, lecz są dostępne w roztworze glebowym i stamtąd bezpośrednio pobierane przez korzenie roślin lub ługowane w głąb profilu glebowego [Asp, Berggren 1990; Gruba 2012].

Ze względu na silne oddziaływanie olszy na właściwości inicjalnych gleb, w tym zwiększenie zawartości Corg i Nt, słaby wzrost olszy nie powinien być najważniejszym wykładnikiem dla oceny przydatności tego gatunku do zalesień terenów rekultywowanych. Najistotniejszym elementem są funkcje przedplonowe i fitomelioracyjne [Pietrzykowski i in. 2018a, b], tj. produkcja łatwo rozkładalnej materii organicznej o wysokiej zawartości składników pokarmowych, zdolność asymilacji azotu atmosferycznego przez symbiotyczne bakterie z rodzaju *Frankia* oraz najsilniejsza spośród badanych gatunków drzew do modyfikacji właściwości substratów glebowych. Właściwości te wykorzystuje się w ramach metody biodynamicznej zalesień terenów pogórnich, której założenia sformułował Krzaklewski [2009], a w praktyce ocenił Wójcik [2002] na zwałowisku Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”.

Wnioski

- ✦ Parametry wzrostowe drzewostanów sosnowych, modrzewiowych i brzoźowych, w tym wysokie Ia i I klasy bonitacji, wskazują na dobre przystosowanie i przydatność wprowadzonych gatunków drzew do zalesień wyrobisk popiaskowych na substratach wykazujących większą zawartość części spławialnych. Gorszymi parametrami wzrostowymi charakteryzowały się jedynie drzewostany olszowe, co wynika z wprowadzenia ich na dalekie od optimum ekologicznego tego gatunku warunki siedliskowe.
- ✦ Poziom organiczny Olf pod drzewostanami gatunków iglastych charakteryzował się wyższą masą, większym zakwaszeniem i niższą zawartością makroelementów w porównaniu do poziomu Olf pod gatunkami liściastymi. Jednak na tym etapie rozwoju gleb zmiany te nie wpłynęły na niżej leżące poziomy organiczno-mineralne Ain.
- ✦ Wykładnikiem przydatności olszy do zalesień terenów rekultywowanych nie powinien być jej słaby wzrost, lecz funkcje fitomelioracyjne i silny modyfikujący wpływ na właściwości gleb pogórnich. Gleby pod olszą charakteryzowały się większą kwasowością hydrolityczną (Hh), pojemnością wymiany kationów (PKW), zawartością Corg i Nt oraz niższym stosunkiem C:N w porównaniu do pozostałych gatunków drzew.

Literatura

- Alriksson A., Eriksson H. M. 1998. Variations in mineral nutrient and C distribution in the soil and vegetation compartments of five temperate tree species in NE Sweden. *Forest Ecology and Management* 108 (3): 261-273.
- Asp H., Berggren D. 1990. Phosphate and calcium uptake in beech (*Fagus sylvatica*) in the presence of aluminium and natural fulvic acids. *Physiologia Plantarum* 80: 307-314.
- Augusto L., Ranger J., Binkley D., Rothe A. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science* 59: 233-253.

- Berg B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133: 13-22.
- Binkley D. 2005. How nitrogen-fixing trees change soil carbon. W: Binkley D., Menyailo O. [red.]. *Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 155-164.
- Binkley D. 1995. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. W: Mead D., Comfort I. [red.]. *Proceedings of the Trees and Soil Workshop*. Agronomy Society of New Zealand, Lincoln University Press, Canterbury. 1-33.
- Bradshaw A. D. 1997. Restoration of mined lands-using natural processes. *Ecological Engineering* 8 (4): 255-269.
- Brożek S. 1993. Przekształcanie górskich gleb porolnych przez olszę szarą. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie* 194.
- Cole D. W., Compton J., Van Miegroet H., Homann P. 1990. Changes in soil properties and site productivity caused by red alder. *Water, Air and Soil Pollution* 54: 231-246.
- Gruba P. 2012. Zależności pomiędzy wybranymi właściwościami jonowymiennymi gleb leśnych oraz ich zmiany pod wpływem drzewostanów. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie* 489.
- Kajak A. 2016. *Biologia gleby*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Krzaklewski W. 2009. Wybrane problemy rekultywacji leśnej. *Leśnictwo w górach i regionach przemysłowych*. Wydawnictwo UR w Krakowie, Kraków.
- Krzaklewski W., Woś B., Stachnik B., Pietrzykowski M. 2011. Wpływ niektórych właściwości inicjalnych gleb na wzrost modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) w warunkach rekultywowanego wyrobiska po eksploatacji piasku. *Sylwan* 155 (10): 653-659. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2011009>.
- Pietrzykowski M., Krzaklewski W. 2007. Soil organic matter, C and N accumulation during natural succession and reclamation in an opencast sand quarry (southern Poland). *Archives of Agronomy and Soil Science* 53 (5): 473-483.
- Pietrzykowski M., Krzaklewski W., Pająk M., Socha J., Ochaf W. 2010. Analiza i optymalizacja metod klasyfikacji siedlisk i kryteriów oceny rekultywacji leśnej na wybranych terenach pogórnicznych w Polsce. Wydawnictwo UR Kraków, Kraków.
- Pietrzykowski M., Krzaklewski W., Woś B., Pietrzak W. 2012. Ocena zagospodarowania leśnego zrekultywowanych terenów po otworowej eksploatacji siarki. *Przegląd Górniczy. Miesięcznik Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa* 7 (68): 98-103.
- Pietrzykowski M., Socha J. 2011. An estimation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem productivity on reclaimed post-mining sites in Poland (central Europe) using of allometric equations. *Ecological Engineering* 37 (2): 381-386.
- Pietrzykowski M., Woś B., Pająk M., Wanic T., Krzaklewski W., Chodak M. 2018a. The impact of alders (*Alnus* sp.) on the physico-chemical properties of technosols on a lignite combustion waste disposal site. *Ecological Engineering* 120: 180-186.
- Pietrzykowski M., Woś B., Pająk M., Wanic T., Krzaklewski W., Chodak M. 2018b. Reclamation of a lignite combustion waste disposal site with alders (*Alnus* sp.): assessment of tree growth and nutrient status within 10 years of the experiment. *Environmental Science and Pollution Research* 25 (17): 17091-17099.
- Reich P. B., Oleksyn J., Modrzyński J., Mroziński P., Hobbie S. E., Eissenstat D. M., Chorover J., Chadwick O. A., Hale C. M., Tjoelker M. G. 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters* 8: 811-818.
- Resh S. C., Binkley D., Parrotta J. A. 2002. Greater Soil Carbon Sequestration under Nitrogen-fixing Trees Compared with Eucalyptus Species. *Ecosystems* 5: 217-231.
- Systematyka gleb Polski. 2011 *Soil Science Annual (Roczniki Gleboznawcze)* 62 (3): 5-142.
- Szymkiewicz B. 2001. *Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów ważniejszych gatunków drzew leśnych*. PWRiL, Warszawa.
- Wójcik J. 2002. Biodynamiczna metoda leśnej rekultywacji na przykładzie zboczy zwałowiska kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”. *Maszynopis. Praca doktorska*. AGH w Krakowie.