

Bartłomiej Woś*, Marcin Pietrzykowski, Marek Pająk

**WPLYW SKŁADU GATUNKOWEGO DRZEWOSTANÓW NA
CECHY JAKOŚCIOWE PRÓCHNICY GLEBOWEJ TWORZĄ-
CEJ SIĘ NA ZREKULTYWOWANYM WYROBISKU POPIA-
SKOWYM**

Streszczenie

W pracy omówiono wpływ składu gatunkowego drzewostanów na cechy jakościowe próchnicy glebowej tworzącej się na zrekultywowanym i zalesionym wyrobisku popiaskowym KP Szczakowa. Skład frakcyjny i właściwości optyczne badano na próbkach pobranych z wierzchnich poziomów inicjalnych gleb (0-5 cm) w litych drzewostanach: sosny zwyczajnej, modrzewia europejskiego, brzozy brodawkowatej i olszy czarnej. Badane próchnice charakteryzowały się przewagą węgla kwasów fulwowych (CKf) w stosunku do węgla kwasów huminowych (CKh) w składzie frakcyjnym puli węgla związanego (Cog) oraz stosunkowo niskim stosunkiem ekstynkcji kwasów huminowych (E_{465}/E_{665}). Czynniki gatunku zadziałały na właściwości próchnicy glebowej najsilniej w przypadku olszy czarnej. Gleby pod olszą charakteryzowały się większą zawartością węgla organicznego ogółem (Corg) i węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi (CKh+CKf) w porównaniu do pozostałych gatunków drzew. Potwierdza to duże zdolności fitomelioracyjne i przydatność do rekultywacji olszy czarnej.

Słowa kluczowe: zalesienie, glebowa materia organiczna, kwasy fulwowe, kwasy huminowe, gestość optyczna

* Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Instytut Ekologii i Hodowli Lasu

WSTĘP

Glebowa materia organiczna (próchnica) spełnia kluczową rolę w kształtowaniu właściwości fizyko-chemicznych i biologicznych gleb, szczególnie w przypadku inicjalnych procesów glebotwórczych zachodzących na terenach rekultywowanych [Wali 1999; Pietrzykowski 2010]. Oprócz parametrów gleb, wprowadzane w ramach rekultywacji drzewostany różnych gatunków, poprzez zróżnicowane właściwości podlegające rozkładowi i mineralizacji opadu organicznego, mogą wywierać istotny wpływ na cechy próchnicy glebowej [Woś i in. 2014]. Cechy jakościowe próchnic gleb, w tym zróżnicowany skład frakcyjny ma istotne znaczenie ze względu na różnorodne funkcje kwasów próchnicznych w procesach zachodzących w glebach [Stevenson 1994; Kononowa 1968]. Kwasy fulwowe, jako składniki bardziej mobilne i łatwiej rozpuszczalne w wodzie, mają wpływ na procesy ługowania i przemieszczania soli mineralnych do niższych poziomów glebowych, natomiast kwasy huminowe wpływają na rozwój i stabilność agregatów glebowych [Stevenson 1994]. Z kolei wyższy stopień kondensacji pierścieni aromatycznych i wynikające z niego właściwości optyczne wskazują na bardziej rozbudowane struktury próchnicy glebowej w procesie humifikacji [Kononowa 1968].

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości próchnic, w tym składu frakcyjnego i gęstości optycznej kwasów huminowych, wykształcających się w inicjalnych glebach piaszczystych pod różnymi gatunkami drzew na zrekultywowanym wyrobisku popiaskowym.

Material i metody

Badania przeprowadzono na powierzchniach testowych zlokalizowanych w litych płatach drzewostanów sosny zwyczajnej (So), modrzewia europejskiego (Md), brzozy brodawkowatej (Brz) i olszy czarnej (Ol) na zrekultywowanym wyrobisku Kopalni Piasku „Szczakowa” (GOP). Ogółem założono 16 kołowych, 1 arowych ($r = 5,64$ m) powierzchni, tj. po 4 powtórzenia dla każdego gatunku. Na powierzchniach pobrano zbiorcze próbki glebowe (według schematu w układzie koperty z 5 punktów na każdej powierzchni) z warstwy 0-5 cm (inicjalne poziomy próchniczne Ai).

W próbkach glebowych oznaczono podstawowe właściwości gleb, w tym: skład granulometryczny aparatem Fritsch GmbH Laser Particle Sizer ANALYSETTE 22; pH w H_2O i w KCl metodą potencjometryczną w proporcji 1:2,5, zawartość węgla organicznego ogółem (Corg) aparatem LECO TruMac® CNS. Skład frakcyjny próchnic oznaczono metodą Kononowej i Bielczikowej [Kononowa 1968]. Ekstrakcja kwasów próchnicznych prowadzona była w mieszaninie 0,1M NaOH i 0,1M $Na_4P_2O_7 \cdot 7H_2O$, a oznaczenie ilości węgla związanego (Cog) z poszczególnymi frakcjami (CKh - węgiel kwasów huminowych i CKf - węgiel

kwasów fulwowych) wykonano według metody Tiurina. Gęstość optyczną kwasów huminowych w roztworze określono na podstawie stosunku ekstynkcji przy długości fali 465 μm i 665 μm ($E_{465}:E_{665}$) [Kononowa 1968]. Pomiarów ekstynkcji dokonano spektrofotometrem Varian CARY 300 Conc UV-VS.

Opracowanie statystyczne obejmowało analizę korelacji liniowej Pearsona pomiędzy parametrami gleb i właściwościami próchnic. Istotność różnic wartości średnich parametrów sprawdzono za pomocą testu RIR Tukeya ($p = 0,05$) Do analiz wykorzystano oprogramowanie Statistica 12 [StatSoft, Inc. 2013].

WYNIKI BADAŃ

Badane gleby w wierzchnim poziomie 0-5 cm charakteryzowały się uziarnieniem piasków słabogliniastych i gliniastych [PTG 2009]. Zawartość pyłu wynosiła od 10% na powierzchniach badawczych pod modrzewiem do 18% pod olszą. Zawartość łu w glebach pod drzewostanami badanych gatunków drzew była bardzo niska i wynosiła od 1% do 2%. Poziom 0-5 cm charakteryzował się odczynem bardzo kwaśnym [według podziału Bednarek i in. 2004]. Wartość $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ wynosiła od 3,9 do 4,8, a w pH_{KCl} od 3,2 do 3,9, odpowiednio pod olszą i modrzewiem. Istotnie niższe średnie wartości $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ wystąpiły w glebach pod olszą w porównaniu do gleb pod modrzewiem i brzozą, a pH_{KCl} w glebach pod olszą w porównaniu do gleb pod pozostałymi gatunkami drzew (tab. 1).

Tabela 1. Uziarnienie i pH w poziomach 0-5 cm badanych gleb

Table 1. Investigated soil texture and pH of 0-5 cm deep layer

Parametry Parameters		Gatunek drzewa Tree species			
		So	Md	Brz	Ol
pył clay	[%]	15±3 ^{a 1}	10±1 ^a	16±5 ^a	18±4 ^a
ił silt		2±0 ^a	1±0 ^a	2±1 ^a	1±0 ^a
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$		4,3±0,1 ^{ab}	4,8±0,1 ^c	4,6±0,2 ^{bc}	3,9±0,1 ^a
pH_{KCl}		3,7±0,1 ^b	3,9±0,1 ^b	3,6±0,2 ^b	3,2±0,1 ^a
¹ - Średnia ± błąd standardowy; różne litery (a, b, c) oznaczają różnice istotne z $p=0,05$ ¹ - Mean ± SE; different letters (a, b, c) indicate differences significant at $p=0.05$					

Zawartość węgla organicznego ogółem (Corg) w wierzchnim poziomie 0-5 cm wynosiła od 0,76% pod modrzewiem i sosną do 1,77% pod olszą. Istotnie wyższe wartości Corg stwierdzono w glebach pod olszą w porównaniu do wartości notowanych w glebach pozostałymi gatunkami drzew (tab. 2).

Tabela 2. Skład frakcyjny i gęstość optyczna kwasów huminowych w próchnicy gleb pod różnymi gatunkami drzew

Table 2. Fractional composition and optical properties of humic acid in soil humus under varied tree species

Parametry Parameters		Gatunek Species			
		So	Md	Brz	Ol
Corg ¹	[%]	0,76±0,13 ^{a2}	0,76±0,03 ^a	0,89±0,15 ^a	1,77±0,12 ^b
Cog = CKh+CKf		0,36±0,04 ^a	0,26±0,02 ^a	0,40±0,04 ^a	0,77±0,07 ^b
Cog/Corg		54,83±15,24 ^a	34,15±1,85 ^a	50,90±14,05 ^a	42,98±0,86 ^a
CKh		0,11±0,03 ^a	0,11±0,01 ^a	0,08±0,01 ^a	0,22±0,03 ^b
CKf		0,25±0,04 ^{ab}	0,15±0,01 ^a	0,32±0,04 ^b	0,55±0,05 ^c
CKh/CKf		44,42±13,86 ^{ab}	71,40±2,95 ^b	25,31±5,93 ^a	39,51±3,91 ^{ab}
E ₄₆₅ /E ₆₆₅		2,42±1,69 ^a	1,71±0,15 ^a	1,52±0,90 ^a	2,16±0,43 ^a

¹ - Corg - organiczny węgiel glebowy; Cog = CKh+CKf - węgiel organiczny związany z kwasami huminowymi i fulwowymi; CKh - węgiel związany z frakcją kwasów huminowych; CKf - węgiel związany z frakcją kwasów fulwowych; E₄₆₅/E₆₆₅ - stosunek ekstynkcji kwasów huminowych przy długości fali 465 μm i 665 μm
² - Średnia ± błąd standardowy; różne litery (a, b, c) oznaczają różnice istotne z p=0,05
¹ - Corg - soil organic carbon; Cog = CKh+CKf - carbon trapped with humic and fulvic acids; CKh - carbon trapped with humic acids; CKf - carbon trapped with fulvic acids; E₄₆₅/E₆₆₅ - extinction rates of humic acids at wave's length 465 μm and 665 μm
² - mean ± SE; different letters (a, b, c) indicate differences significant at p=0.05

Zawartość węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi (Cog = CKh+CKf) wynosiła od 0,26% pod modrzewiem do 0,77% pod olszą. Podobnie, jak w przypadku Corg, istotnie wyższe wartości CKh+CKf stwierdzono w glebach pod olszą w porównaniu do wartości notowanych w glebach pod pozostałymi gatunkami drzew (tab. 2).

Zawartość węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi w puli węgla organicznego ogółem (Cog/Corg) wynosiła od 34,15% w glebach tworzących się pod modrzewiem do 54,83% pod sosną i nie były to różnice istotne statystycznie (tab. 2).

Zawartość węgla związanego z kwasami huminowymi (CKh) wynosiła od 0,08% pod brzozą do 0,22% pod olszą, przy czym istotnie wyższe wartości CKh stwierdzono pod olszą w porównaniu do gleb pod pozostałymi gatunkami drzew (tab. 2).

Zawartość węgla związanego z kwasami fulwowymi (CKf) wynosiła od 0,15% pod modrzewiem do 0,55% pod olszą. Istotnie wyższe wartości CKf

stwierdzono w glebach pod brzozą w porównaniu do wartości notowanych w glebach pod modrzewiem. Ponadto, gleby pod olszą charakteryzowały się również istotnie wyższymi wartościami CKf w porównaniu do wartości notowanych pod pozostałymi gatunkami drzew (tab. 2).

Badane gleby we wszystkich rozpatrywanych wariantach składu gatunkowego drzewostanów charakteryzowały się przewagą kwasów fulwowych nad huminowymi. Stosunek kwasów huminowych do fulwowych (CKh/CKf) wynosił od 25,31% pod brzozą do 71,40% pod modrzewiem, a różnice te były istotne statystycznie (tab. 2).

Stosunek ekstynkcji kwasów huminowych (E_{465}/E_{665}) wynosił od 1,52 w glebach pod brzozą do 2,42 w glebach pod sosną, a różnice te nie były istotne statystycznie (tab. 2).

Analiza korelacji liniowej nie wykazała związku pomiędzy uziarnieniem, tj. zawartością pyłu i iłu, a właściwościami próchnic (Cog, CKh+CKf, CKh, CKf, E_{465}/E_{665}). Istotny związek wystąpił pomiędzy pH, a zawartością Corg ($r=-0,56$ z pH_{H_2O} i $r=-0,67$ z pH_{KCl}), Cog ($r=-0,74$ z pH_{H_2O} i $r=-0,68$ z pH_{KCl}), CKf ($r=-0,70$ z pH_{H_2O} i $r=-0,70$ z pH_{KCl}) i CKh ($r=-0,61$ z pH_{H_2O} i $r=-0,55$ z pH_{KCl}).

DYSKUSJA

Stwierdzone zawartości węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi (Cog = 0,26-0,77%) można uznać za wysokie w porównaniu do próchnic gleb tworzących pod drzewostanami sosnowymi w II klasie wieku (20-40 lat) się na innych obiektach pogórnicych w Polsce zwałowiskach: Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” (Cog = 0,09-0,13%), górnictwa węgla kamiennego „Smolnica” (Cog = 0,45-0,47%) [Pietrzykowski 2010] i górnictwa siarki „Piaseczno” (Cog = 0,44-1,43%) [Woś i in. 2014]. Próchnice gleb, w porównaniu do danych pochodzących z wymienionych wyżej obiektów pogórnicych [Pietrzykowski 2010; Woś i in. 2014], charakteryzowały się również stosunkowo wysokim stosunkiem węgla związanego do węgla organicznego ogółem (Cog/Corg = 34,15-54,83%). Wartość ta świadczy o dobrym stopniu humifikacji materii organicznej. Kierunek procesu humifikacji w badanych glebach piaszczystych, określony na podstawie stosunku CKh/CKf wskazuje na przewagę kwasów fulwowych nad huminowymi, co jest naturalną cechą charakterystyczną gleb bielicoziemnych [Kononowa 1968]. Na podobne zależności upodabniania się próchnic utworów piaszczystych do próchnic gleb bielicoziemnych występujących na innych zrehabilitowanych obiektach pogórnicych wskazuje Pietrzykowski (2010). Określenie stosunku ekstynkcji kwasów huminowych (E_{465}/E_{665}) pozwala określić stopień rozwoju struktury próchnicy glebowej w procesie humifikacji. „Młodsze” pod względem chemicznym kwasy huminowe odznaczają się mniejszą gęstością optyczną w porównaniu z kwasami „dojrzałszymi”. Na tej podstawie wyróżniono

trzy podstawowe typy próchnic gleb naturalnych. Przykładowo dla żyznych gleb, takich jak czarnoziemy, rędziny, czarne ziemie czy gleby brunatne, stopień kondensacji pierścieni aromatycznych kwasów huminowych jest na ogół wysoki (E_{465}/E_{665} 3,5-4,0) [Kononowa 1968]. W porównaniu do tych wartości próchnicy gleb na wyrobisku popiaskowym charakteryzowały się niskim stosunkiem ekstrakcji (E_{465}/E_{665} 1,52-2,42). Podobne niskie wyniki uzyskiwano na zwałowisku „Piaseczno” (E_{465}/E_{665} 1,29-2,78) [Woś i in. 2014].

Badane gleby charakteryzowały się małym zróżnicowaniem uziarnienia, a przeprowadzone analizy korelacji nie wykazały w badanych glebach związku z uziarnieniem, (tj. zawartością pyłu i iłu), a analizowanymi właściwościami próchnicy glebowej. Wystąpił jednak istotny ujemny związek odczynu z zawartością Corg, Cog oraz CKf i CKh. W analizowanym układzie odczyn gleby modyfikowany był przede wszystkim składem gatunkowym drzewostanu, najniższe wartości pH notowane były pod olszą czarną. W przypadku oddziaływania olszy głównym czynnikiem powodującym obniżenie pH gleb jest zachodzący wskutek symbiozy z bakteriami z rodzaju *Frankia* sp., proces wiązania azotu atmosferycznego, w tym intensywne procesy mikrobiologiczne utleniania zachodzące w glebach podczas nityfikacji, powodują powstawanie kwasu azotowego HNO_3 , który następnie dysocjuje na wolne jony H^+ i NO_3^- [Van Miegroet i Cole 1984]. Podobny wyraźny efekt zakwaszający olsz stwierdzano w glebach na siedliskach „naturalnych” [Van Miegroet i Cole 1984], jak i na rekultywowanych terenach pogórnicych [Chodak and Niklińska 2010]. Z tych względów, należy uznać, że w badanym układzie głównym czynnikiem modyfikującym właściwości próchnicy glebowej jest zróżnicowany skład gatunkowy drzewostanu, a gatunkiem najsilniej wpływającym na cechy próchnicy glebowej była olsza czarna. Oprócz wzbogacania gleby w azot, korzystne oddziaływanie Olszy przejawia się produkcją szybko rozkładającego się opadu organicznego bogatego w składniki pokarmowe [Lefrançois et al., 2010]. Gleby pod olszą charakteryzowały się najwyższą zawartością węgla związanego z kwasami fulwowymi i huminowymi (Cog) oraz kwasów fulwowych (CKf) i huminowych (CKh). Podobne rezultaty silnego wpływu olszy na cechy próchnicy glebowej osiągnano w glebach wykształcających się na zredukowanym zwałowisku po górnictwie siarki „Piaseczno” [Woś i in. 2014]. Olsza na terenach przekształconych może stanowić przedplon dla wprowadzenia bardziej wymagających gatunków drzew lub szczególnie na słabszych siedliskach gleb piaszczystych ze względu na osiągnięte niskie parametry wzrostowe, może być wprowadzana jednocześnie z innymi gatunkami w celu pobudzenia ich wzrostu. Ze względu na swoje znaczne wymagania wilgotnościowe i troficzne, pomimo dobrego przystosowania, olsza w warunkach ekosystemów przemysłowych nie utrzymuje się zbyt długo, tj. maksymalnie do 20 - 30 lat, zamierając i wydzielając się potem samoistnie. Jest to korzystne dla dalszej pielęgnacji lasu po etapie "przygotowania" siedliska dla bardziej wymagających

gatunków docelowych, dla których olsza w tych warunkach nie stanowi konkurencji [Krzaklewski 2009; Krzaklewski i in. 2012; Pietrzykowski i in. 2015].

WNIOSKI

- Próchnice gleb wykształcających się na wyrobisku popiaskowym upodabniały się do próchnic gleb bielicoziemnych i charakteryzowały się przewagą węgla związanego z frakcją kwasów fulwowych (CKf) w stosunku do węgla związanego z kwasami huminowymi (CKh) oraz względnie niską wartością stosunku ekstynkcji kwasów huminowych (E_{465}/E_{665});
- badane drzewostany złożone z wybranych gatunków drzew zastosowanych w zalesieniu wyrobiska popiaskowego korzystnie wpłynęły na właściwości tworzącej się próchnicy glebowej, co jest jednym z podstawowych i pierwszoplanowych zadań rekultywacji.
- Spośród badanych gatunków najsilniejszym modyfikującym oddziaływaniem na właściwości tworzącej się próchnicy glebowej, w tym najwyższą zawartość węgla organicznego (Corg) oraz węgla kwasów huminowych (CKf) i fulwowych (CKh), charakteryzowała się olsza czarna. Potwierdza to duże zdolności fitomelioracyjne tego gatunku i przydatność do rekultywacji wyrobisk popiaskowych, na których, choć warunki siedliskowe nie są korzystne, pełnić ona powinna rolę domieszki czasowej.

LITERATURA

1. BEDNAREK, R.; DZIADOWIEC, H.; POKOJSKA, U.; PRUSINKIEWICZ, Z.; 2004. Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa; ss. 344.
2. CHODAK, M.; NIKLIŃSKA, M.; 2010. The effect of different tree species on the chemical and microbial properties of reclaimed mine soils. *Biology and Fertility of Soils*, 46(6), 555–566
3. KONONOWA, M.; 1968. Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań. PWRiL, Warszawa.
4. KRZAKLEWSKI, W.; 2009. Wybrane problemy rekultywacji leśnej. [W]: Leśnictwo w górach i regionach przemysłowych. Monografia wydana z okazji 60-lecia powołania Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Wyd. UR w Krakowie, 83–97.
5. KRZAKLEWSKI, W.; PIETRZYKOWSKI, M.; WOŚ, B.; 2012. Survival and growth of alders (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. and *Alnus incana* (L.) Moench) on fly ash technosols at different substrate improvement. *Ecological Engineering*, 49, 35–40.

6. LEFRANÇOIS, E.; QUORESHI, A.; KHASA, D.; FUNG, M.; WHYTE, L.G.; ROY, S.; GREER, C.W.; 2010. Field performance of alder-Frankia symbionts for the reclamation of oil sands sites. *Applied Soil Ecology*, 46(2), 183–191.
7. PIETRZYKOWSKI, M.; 2010. Skład frakcyjny i właściwości optyczne próchnic gleb powstających na terenach pogórnicznych rekultywowanych dla leśnictwa. *Sylvan* 154(11), 742–749.
8. PIETRZYKOWSKI, M., KRZAKLEWSKI, W.; WOŚ, B.; 2015. Preliminary assessment of growth and survival of green alder (*Alnus viridis*), a potential biological stabilizer on fly ash disposal sites. *Journal of Forestry Research* 26(1), 131–136.
9. POLSKIE TOWARZYSTWO GLEBOZNAWCZE; 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych - PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze*, 60(2), 5–16.
10. STATSOFT, INC.; 2013. STATISTICA (data analysis software system). Version 12.
11. STEVENSON, F.J.; 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons Inc., New York.
12. VAN MIEGROET, H.; COLE, D.W.; 1984. The impact of nitrification on soil acidification and cation leaching in red alder ecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 13, 586–590.
13. Wali, M.K.; 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil*, 213, 195–220.
14. WOŚ, B.; PIETRZYKOWSKI, M.; KRZAKLEWSKI, W.; 2014. Właściwości próchnic gleb tworzących się w warunkach zalesionego zwałowiska po odkrywkowej kopalni siarki. *Sylvan*, 158(12), 893–900.

INFLUENCE OF TREE SPECIES COMPOSITION ON QUALITATIVE PROPERTIES OF SOIL HUMUS FORMED ON RECLAIMED SAND MINE EXCAVATION

Summary

The paper presents influence of tree species composition on qualitative properties of humus in soil developed on reclaimed and afforested sand mine excavation KP Szczakowa. Fractional composition and optical properties were determined on 16 samples collected from top soil layer (0-5 cm) under different species: pure stands of Scots pine, European larch, common

birch and black alder. The examined humus were generally characterized by predominance of fulvic acids (CKf) in relation to humic acids (CKh) and relatively low optical density of humic acid (E465/E665). Black alder in comparison to other species, most significantly modified the properties of soil humus. Soil under alder were characterized higher content of soil organic carbon (SOC) and carbon associated with humic and fulvic acid (CKh+CKf). The results confirm high phytomeliorative effect and usefulness of black alder to reclamation.

Key words: afforestation, soil organic matter, fulvic acid, humic acid, humus optical density