

MARCIN PIETRZYKOWSKI

Skład frakcyjny i właściwości optyczne próchnic gleb powstających na terenach pogórnich rekultywowanych dla leśnictwa

Fractional composition and optical properties of humus of soils developing on post-mining areas reclaimed for forest use

ABSTRACT

Pietrzykowski M. 2010. Skład frakcyjny i właściwości optyczne próchnic gleb powstających na terenach pogórnich rekultywowanych dla leśnictwa. Sylwan 154 (11): 742-749.

The paper describes the fractional composition and optical properties of humus of soils developed on post-mining areas reclaimed for forest use. The examined humus samples were characterised by high degree of humification, significant content of carbon bound in humin and fulvic acid structures and high optical density of humin acids. Significant correlation was found between humus qualitative properties and the fine fraction content (silt and clay) and absorbing complex properties of the soil. However, the humus properties were varied significantly and the features useful for the natural soil humus classification did not allow for clear classification of post-mining soil humus.

KEY WORDS

reclamation, post-mining soils, humus composition, humus optical density

ADDRESSES

Marcin Pietrzykowski – e-mail: rlpietrz@cyf-kr.edu.pl

Katedra Ekologii Lasu, Uniwersytet Rolniczy; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

Wstęp

Jednym z podstawowych zadań biologicznej rekultywacji terenów bezglebowych jest zainicjowanie procesu glebotwórczego [Skawina, Wąchalewski 1972]. Powstająca w trakcie tego procesu próchnica wpływa znacząco na zmianę pozostałych właściwości tworzących się gleb na terenach pogórnich, w tym właściwości sorpcyjnych, powietrzno-wodnych, biochemicznych i mikrobiologicznych [Skawina, Wąchalewski 1972; Insam, Domsch 1988; Leirós 1996; Wali 1999]. Rozwój poziomów organicznych gleby oraz zasoby i tempo akumulacji próchnicy mogą stanowić kryteria oceny efektywności rekultywacji [Roberts i in. 1988; Rumpel i in. 1999; Ellerbrock i in. 1999]. Z kolei skład chemiczny (udział grup funkcyjnych) i frakcyjny (udział i wzajemne stosunki węgla frakcji kwasów huminowych i fulwowych) oraz stopień rozbudowy struktury (zagęszczenie pierścieni aromatycznych i wynikające z tego właściwości optyczne) mogą stanowić kryteria jakościowej oceny powstającej próchnicy gleb na terenach pogórnich [Anderson 1977; Wójcik, Krzaklewski 1999; Pietrzykowski, Krzaklewski 2007].

Celem pracy była ocena jakościowa próchnicy gleb powstających na obiektach pogórnich rekultywowanych dla leśnictwa w oparciu o skład frakcyjny oraz właściwości optyczne kwasów huminowych.

Metodyka

Badania przeprowadzono na czterech obiektach pogórnich rekultywowanych dla leśnictwa. Znajdowały się one na wierzchołkach zwałowisk zewnętrznych kopalni odkrywkowych węgla brunatnego „Bełchatów” i siarki „Piaseczno”, składowisku centralnym odpadów górnictwa węgla kamiennego „Smolnica” i wyrobisku kopalni piasków podsadzkowych „Szczakowa”. W każdym z obiektów, w obrębie fragmentów zalesionych sosną zwyczajną, wyróżniono wstępnie dwa warianty siedliskowe (żyźnościowe). Wariant potencjalnie żyźniejszy (V1) reprezentował utwory o uziarnieniu z większą domieszką części spławialnych. Wariant potencjalnie uboższy (V2) reprezentował jałowe piaski („Piaseczno” i „Szczakowa”) bądź zawęglone piaski mioceńskie po neutralizacji („Bełchatów”). Na zwałowisku skał karbońskich „Smolnica” warianty różniły się wykonanym przed 30 laty nawożeniem mineralnym. Sosna na tym obiekcie pochodziła z samo-siewu i pojawiła się na poletkach doświadczalnych wcześniej założonych przez IPIŚ PAN w Zabrze [Harabin 1978; Strzyszczyński, Harabin 2004], na których oceniano pierwotnie wzrost nasadzeń topoli [Stolarska i in. 2006].

Na każdym obiekcie wyznaczono kwadratowe powierzchnie (10×10 m) w czterech powtórzeniach dla przyjętego wariantu siedliskowego. Następnie pobrano na nich mieszane próbki glebowe (z 5 punktów w układzie koperty) z poziomów organiczno-mineralnych AinCan (0-8 cm). Analogicznie pobrano próbki na 4 powierzchniach porównawczych założonych w sąsiedztwie każdego z obiektów pogórnich z poziomów organiczno-mineralnych gleb leśnych (bielicoziemnych).

W pobranych próbkach glebowych w laboratorium oznaczono skład frakcyjny próchnicy z zastosowaniem metody Kononowej i Bielczikowej, w której ekstrakcja odbywa się w mieszaninie 0,1 M NaOH i 0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, a oznaczenie ilości węgla związanego z poszczególnymi frakcjami według metody Tiurina [Kononowa 1968]. Gęstość optyczną kwasów huminowych określono na podstawie stosunku ekstynkcji E_{465}/E_{665} przy długości fali 465 μm i 665 μm [Kononowa 1968]. Pomiarów ekstynkcji dokonano aparatem Varian CARY 300 Conc UV-VIS. Wyniki badań opracowano statystycznie z wykorzystaniem programu Statistica 8.1. (StatSoft, Inc.).

Wyniki i dyskusja

Wybrane właściwości gleb pogórnich przedstawia tabela 1, a pełną charakterystykę i klasyfikację zawiera opracowanie Pietrzykowskiego i in. [2009]. Zgodnie z Klasyfikacją Gleb Leśnych Polski [2000] gleby na terenach pogórnich zaliczono do antropogenicznych urbanoziemnych o niewykształconym profilu, a gleby naturalne – do rdzawych bielicowych i bielicowych właściwych. Wyróżnione warianty w obrębie poszczególnych obiektów różniły się istotnie udziałem frakcji pyłu i iltu, pH i przewodnictwem elektrolitycznym właściwym. Najmniejsze zróżnicowanie gleb wystąpiło w obrębie zwałowiska „Smolnica”, a gleby te wyróżniały się również znacznym udziałem szkieletu (około 70% objętościowo).

Analiza frakcyjna próchnicy gleb pogórnich wykazała bardzo zróżnicowany udział węgla związanego (Cog) z grupą kwasów huminowych (CKh) i fulwowych (CKf) w stosunku do całkowitej zawartości węgla organicznego w glebie (Corg) (tab. 2). Najniższy udział Cog w stosunku do Corg wystąpił w próchnicy na zwałowisku „Smolnica”. Zawartość Corg w poziomach AinCan tych gleb była jednak bardzo wysoka (średnio od 14,02 do 16,61%, tab. 2). Cog związany ze strukturami próchnicy tworzącej się *in situ* stanowił tylko około 0,03 do 0,04%. Pozostały węgiel znajdujący się w tej glebie miał charakter geogeniczny, tzn. związany był z genezą skał karbońskich, z których zbudowany jest zwał. Zawartość węgla geogenicznego wpływa znacząco

Tabela 1.

Wybrane właściwości gleb inicjalnych występujących na badanych obiektach pogórnictwa
Selected characteristics of initial soils on studied post-mining sites

Cecha	Bełchatów			Smolnica			Szczakowa			Piaseczno		
	V1	V2	n.w.	V1	V2	n.w.	V1	V2	n.w.	V1	V2	n.w.
Poziom glebowy	M	SD	n.w.	M	SD	n.w.	M	SD	n.w.	M	SD	n.w.
Szkielet [%]	32	11	8	2	36	2	37	7	8	3	5	1
Pył [%]	3	3	3	2	24	2	21	3	4	1	1	1
H [%]	7,4	0,2	5,0	1,7	3,4	0,2	3,5	0,6	4,2	0,1	5,9	2,1
pH KCl	7,5	0,1	4,7	1,5	3,6	0,4	3,1	0,2	4,6	0,2	6,2	1,6
PEW	126,3	34,0	52,8	32,5	74,8	11,5	94,3	62,1	14,5	3,1	34,8	30,4
[$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	108,8	16,0	88,6	31,5	342,4	83,8	289,8	105,9	12,0	1,6	18,8	12,8

V1 – wariant potencjalnie żyzniejszy; V2 – wariant uboższy w obrębie obiektu; n.w. – nie wystąpił; PEW – przewodnictwo elektryczne właściwe; M – średnia; SD – odchylenie standardowe
V1 – potential fertile variant; V2 – poorer variant on object; n.w. – not occurred; PEW – electrical conductivity; M – mean; SD – standard deviation

na wielkość puli węgla glebowego, ale nie jest on łatwo włączany do obiegu biologicznego. Rozpatrując jednak bezwzględną zawartość Cog w stosunku do masy gleby można wnioskować o dobrej humifikacji próchnicy. Biorąc pod uwagę to kryterium, gleby na utworach karbońskich wykazywały wyższą zawartość Cog w próchnicy (tj. odpowiednio 0,47 i 0,45% w wariantach V1 i V2) w porównaniu do pozostałych badanych gleb pogórnictwa. Wysoka zawartość węgla związanego (0,43%) wystąpiła również w próchnicy gleb powstających na piaskach z ilami (wariant V1) na zwałowisku „Piaseczno” (tab. 2). Gleby pogórnictwa tworzące się na utworach lżejszych (piaszczystych), tj. na wyrobisku „Szczakowa” oraz na zwałowiskach „Bełchatów” i „Piaseczno” w wariantach uboższych V2, charakteryzowały się stosunkowo niską zawartością węgla związanego (tab. 2).

Zawartość Cog w próchnicy istotnie korelowała z zawartością procentową frakcji pyłu i łu (tab. 3). Z tego powodu wyższa zawartość Cog w próchnicy gleb na zwałowiskach „Bełchatów” i „Piaseczno” występowała w wariantach żyzniejszych, z większym udziałem części spławialnych w składzie granulometrycznym gleb (odpowiednio 0,37 i 0,43%), w porównaniu do wariantów uboższych na piaskach (odpowiednio 0,17 i 0,14%). Z kolei na wyrobisku popiaskowym „Szczakowa” wystąpiła sytuacja odwrotna. W wariantach uboższych na utworach piaszczystych zawartość węgla związanego była wyższa niż w wariantach potencjalnie żyzniejszych na utworach piaszczystych z domieszką glin (tab. 2). Stąd trudno sformułować ogólny schemat opisujący zależność pomiędzy zawartością procentową Cog w próchnicy glebowej a rodzajem skały macierzystej i uziarnieniem gleb pogórnictwa oraz typem obiektu pogórnictwa (zwałowiska czy wyrobiska).

Porównanie składu frakcyjnego próchnicy gleb naturalnych ze stanowisk kontrolnych z glebami pogórnictwa nie wskazywało jednoznacznie, że udział procentowy węgla związanego może być dobrym kryterium oceny „jakości” próchnicy. W glebach naturalnych na stanowiskach kontrolnych zawartość procentowa Cog wynosiła od 0,40 do 0,73%, przy ogólnej zawartości węgla organicz-

Tabela 2. Skład frakcyjny i gęstość optyczna kwasów huminowych próchnicy gleb pogórnicych oraz gleb leśnych ze stanowisk kontrolnych
Humus composition and optical density of humic acids of post-mine and forest soil from control plots

Obiekt	Wariant	Corg [%]	Cog [%]	Cog/Corg [%]	CKh [%]	CKf [%]	CKh/CKf	E_{465}/E_{665}
Bełchatów	V1	0,61 (0,28)**	0,37 (0,02)	0,61	0,22 (0,18)	0,15 (0,06)	1,38 (0,93)	5,63 (0,21)
	V2	0,27 (0,04)	0,17 (0,03)	0,63	0,07 (0,02)	0,10 (0,01)	0,69 (0,18)	5,25 (0,25)
Smolnica	V1	16,61 (1,30)	0,47 (0,12)	0,03	0,17 (0,03)	0,30 (0,09)	0,61 (0,16)	5,80 (0,36)
	V2	14,02 (3,10)	0,45 (0,05)	0,04	0,23 (0,05)	0,22 (0,04)	1,07 (0,34)	5,43 (0,35)
Szczakowa	V1	0,46 (0,12)*	0,09 (0,01)*	0,20	0,04 (0,01)	0,05 (0,01)	0,90 (0,2)	4,13 (0,47)*
	V2	0,23 (0,12)*	0,13 (0,03)*	0,57	0,06 (0,03)	0,07 (0,02)	0,94 (0,53)	5,53 (0,94)*
Piaseczno	V1	1,32 (0,19)*	0,43 (0,15)*	0,33	0,23 (0,06)*	0,20 (0,11)	1,70 (1,54)	4,80 (0,94)
	V2	0,48 (0,04)*	0,14 (0,03)*	0,29	0,06 (0,01)*	0,08 (0,024)	0,86 (0,28)	5,18 (0,72)
Stanowiska kontrolne								
Bełchatów, rdzawa bielcowa		0,99	0,71	0,72	0,43	0,28	1,54	5,80
Piaseczno, bielcowa właściwa		1,09	0,73	0,67	0,58	0,15	3,87	5,30
Smolnica, rdzawa bielcowa		0,90	0,40	0,44	0,22	0,18	1,22	5,00
Szczakowa, rdzawa bielcowa		1,03	0,43	0,42	0,24	0,19	1,26	4,80
Średnio dla gleb naturalnych		1,00 (0,08)	0,57 (0,18)	0,57	0,37 (0,17)	0,20 (0,06)	1,97 (1,27)	5,23 (0,43)

Corg – organiczny węgiel glebowy; Cog – węgiel związany ogółem (CKh + CKf); CKh – węgiel związany z frakcją kwasów huminowych; CKf – węgiel związany z frakcją kwasów fulwowych; E_{465}/E_{665} – stosunek ekstynkcji kwasów huminowych przy długości fali 465 nm i 665 nm; * różnice między wariantami V1 i V2 w obrębie poszczególnych obiektów, istotne z $p=0,05$; ** średnia (odchylenie standardowe)
Corg – soil organic carbon; Cog – trapped carbon total (CKh + CKf); CKh – carbon trapped with humic acids; CKf – carbon trapped with fulvic acids; E_{465}/E_{665} – extinction rates of humic acids at wave's length 465 nm and 665 nm; * differences between variants V1 and V2 significant at $p=0,05$; ** mean (standard deviation)

nego średnio około 1% (tab. 2). Wartości te nie w każdym przypadku były wyższe w porównaniu do gleb pogórnicych. Próchnica gleb na zwałowiskach „Smolnica” i „Piaseczno” w wariantach żyzniejszych wykazywała wyższą zawartość procentową Cog w porównaniu do próchnicy gleb bielicoziemnych ze stanowisk kontrolnych na siedliskach leśnych (tab. 2).

Z punktu widzenia oceny kierunku rozwoju próchnicy istotne jest określenie stosunku węgla związanego z kwasami huminowymi do węgla związanego z fulwokokwasami (CKh/CKf). Przyjmuje się, że cechą charakterystyczną próchnicy naturalnych kwaśnych gleb bielicoziemnych jest przewaga fulwokokwasów nad kwasami huminowymi, tj. stosunek $CKh/CKf < 1,0$ [Kononowa 1968]. W przypadku gleb ze stanowisk kontrolnych zawartość CKh w poziomach AEes była jednak wyższa niż CKf (tab. 2). Z kolei w przypadku gleb pogórnicych przewaga kwasów huminowych nad fulwowymi w próchnicy wystąpiła na zwałowiskach „Bełchatów” i „Piaseczno” w wariantach żyzniejszych (CKh/CKf odpowiednio 1,38 i 1,70) oraz na zwałowisku „Smolnica” w wariantcie nienawożonym (1,07). W pozostałych przypadkach w próchnicy glebowej przeważały kwasy fulwowe nad huminowymi ($CKh/CKf < 1,0$). W żadnym z badanych przypadków stosunek CKh/CKf nie był jednak czynnikiem istotnie różnicującym próchnice gleb w przyjętych wariantach żyznościowych w obrębie obiektów.

Zawartość CKh w próchnicy różnicowała istotnie warianty żyznościowe tylko na zwałowisku „Piaseczno”. Próchnica gleb na piaskach czwartorzędowych z domieszką ilów krakowieckich (wariant V1) charakteryzowała się istotnie wyższym udziałem CKh (0,23%) niż próchnica gleb na piaskach czwartorzędowych w wariantcie V2 (0,06%). Z innych badań właściwości próchnic pogórnicych gleb piaszczystych na rekultywowanych fragmentach wyrobiska „Szczakowa” wskazywano na większy udział fulwokokwasów w stosunku do kwasów huminowych [Pietrzykowski, Krzaklewski 2007]. Fakt ten, zgodnie z podawanymi w literaturze podziałami typów próchnic gleb naturalnych w zależności od stosunku CKh/CKf [Kononowa 1968] pozwala przypuszczać, że powstająca próchnica w większości przypadków na utworach piaszczystych może upodabniać się do próchnic gleb bielicoziemnych. W przypadku gleb zwałowiska „Smolnica”, powstających z potencjalnie zasobnej zwietrzliny łupków i piaskowców karbońskich, stosowanie tego kryterium jest wątpliwe. Z kolei Wójcik [2002] stwierdził przewagę fulwokokwasów nad kwasami huminowym w tworzącej się próchnicy gleb pogórnicych z większym udziałem piasków pod drzewostanami sosnowymi na rekultywowanym zwałowisku KWB „Adamów”. Natomiast na gruntach zwięzlejszych, bez udziału sosny w drzewostanie, w próchnicy przeważały kwasy huminowe nad fulwowymi. Podobne wyniki z badań prowadzonych w Kanadzie na zwałowiskach węgla brunatnego zbudowanych z utworów cięższych podawał Anderson [1977]. W przypadku gleb na badanych obiektach pogórnicych wystąpiła dodatnia korelacja pomiędzy zawartością kwasów huminowych a udziałem frakcji pyłu i ilu (tab. 3), co potwierdza podawane dane literaturowe na temat wpływu uziarnienia gleb na cechy jakościowe tworzącej się próchnicy. W przeprowadzonych badaniach nie wykazano natomiast istotnej korelacji między zawartością kwasów fulwowych w próchnicy a kwasowością gleb (pH i kwasowość hydrolityczna Hh – tab. 3), co mogłoby wskazywać na związek z mechanizmem oddziaływania sosny poprzez opad organiczny na glebach piaszczystych. Trudno więc stosować prawidłowości obserwowane w przypadku gleb naturalnych do jednoznacznej klasyfikacji i prognozy kierunku rozwoju próchnicy badanych gleb pogórnicych.

Oznaczenia gęstości optycznej na podstawie stosunku ekstynkcji, czyli osłabienia światła przechodzącego przez roztwór przy długościach fali 465 i 665 μm (E_{465}/E_{665}), pozwala określić stopień kondensacji pierścieni aromatycznych [Kononowa 1968]. Daje to informację na temat rozwoju struktury glebowej próchnicy w procesie humifikacji. Oznaczenie gęstości optycznej

Tabela 3.

Korelacja niektórych właściwości próchnic z właściwościami gleb pogórnich
Correlation of some humus and post-mine soil characteristics

	Cog [%]	CKh [%]	CKf [%]	CKh/CKf	E_{465}/E_{665}
pH H ₂ O	-0,18	0,00	-0,34	0,28	0,17
pH KCl	-0,13	0,04	-0,28	0,28	0,25
Węgiel organiczny Corg [%]	0,61*	0,39*	0,72	-0,14	0,33
Azot ogólny Nog [%]	0,65*	0,43*	0,75	-0,11	0,31
C/N	0,63*	0,43*	0,71	-0,11	0,34
Pył [%]	0,68*	0,59*	0,65	0,02	0,39*
H [%]	0,62*	0,40*	0,73	-0,14	0,26
Suma zasad SH	0,37*	0,47	0,19	0,26	0,29
Kwasowość hydrolytyczna Hh	0,56	0,32*	0,70	-0,16	0,24
Pojemność sorpcyjna Th	0,67*	0,62*	0,58	0,14	0,41*
Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami V%	-0,12	0,02	-0,25	0,24	0,08

* współczynniki korelacji istotne z $p=0,05$; * coefficients significant at $p=0.05$

najczęściej stosuje się w odniesieniu do kwasów huminowych. Na tej podstawie wyróżniono trzy podstawowe typy próchnic gleb naturalnych [Kononowa 1968]. 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} w przedziale od 3,5 do 4,0). Próchnica badanych gleb pogórnich wykazywała stosunkowo dużą gęstość optyczną kwasów huminowych wynoszącą od 4,13 dla gleb w wariantcie V1 na wyrobisku „Szczakowa” do 5,80 dla gleb w wariantcie V1 na zwałowiskach „Smolnica”. W większości przypadków przekraczała wartość 5,00 (tab. 2). Wskazuje to na wysoką kondensację pierścieni aromatycznych w strukturze tych kwasów i dobrą jakość próchnicy. Wartości tej cechy były jednak bardzo niejednorodne i nie różnicowały istotnie wariantów żyznościowych w obrębie obiektów pogórnich. Wyjątek stanowiło wyrobisko „Szczakowa”, gdzie stosunek E_{465}/E_{665} był istotnie wyższy w wariantcie uboższym V2 na piaskach (5,53) niż w wariantcie żyźniejszym V1 na piaskach z glinami (4,13). Podawany przez Kononową [1968] zakres wartości E_{465}/E_{665} dla odpowiednich typów gleb naturalnych jest jednak szeroki i stąd różnice na wyrobisku „Szczakowa” można uznać za nieznaczne. Podobne do stwierdzonych w przeprowadzonych badaniach wielkości ekstynkcji próchnicy gleb pogórnich w wieku 28 lat na terenach rekultywowanych stwierdzał Anderson [1977]. Wójcik [2002] podał również wysoki stosunek E_{465}/E_{665} kwasów huminowych w próchnicy gleb na rekultywowanym zwałowisku po eksploatacji węgla brunatnego „Adamów”. Z kolei analiza korelacji właściwości optycznych próchnic z innymi cechami gleb wskazywała na istotny związek z zawartością frakcji pylastej w glebie oraz pojemnością kompleksu sorpcyjnego (tab. 3). Cechy stanowiące składowe oceny żyzności gleb wpływają na jakość powstającej próchnicy. Na podstawie badań porównawczych między terenami rekultywowanymi i pozostawionymi sukcesji na przykładzie wyrobiska „Szczakowa” wykazano ponadto pozytywny wpływ zabiegów rekultywacyjnych na jakość próchnicy [Pietrzykowski, Krzaklewski 2007].

Wnioski

✦ Właściwości próchnicy badanych gleb pogórnich były bardzo niejednorodne, a cechy, na podstawie których wydzielono grupy charakterystyczne dla gleb naturalnych, nie pozwalają

jednoznacznie klasyfikować i uszeregować analizowanych gleb pogórnicych. Dotyczyło to szczególnie próchnicy gleb powstających z utworów zawęglonych na zwałowiskach „Bełchatów” i „Smolnica”.

- ✦ Cechy jakościowe próchnicy gleb pogórnicych (ilość węgla związanego ogółem, w tym szczególnie węgla kwasów huminowych, oraz gęstość optyczna tych kwasów) mają związek z cechami stanowiącymi istotne składowe w ocenie żyzności gleb, w tym z zawartością frakcji spalialnych i właściwościami kompleksu sorpcyjnego.
- ✦ Najlepsza jakościowo próchnica, tzn. o stosunkowo wysokiej zawartości węgla związanego, wystąpiła na zwałowisku „Smolnica” zbudowanym z łupków i piaskowców karbońskich oraz na zwałowisku po odkrywkowej eksploatacji siarki „Piaseczno” na fragmentach zbudowanych z piasków przemieszanych z ilami. Próchnica gleb tworzących się na utworach lżejszych (piaszczystych) charakteryzowała się stosunkowo niskim udziałem węgla związanego.

Literatura

- Anderson D. W. 1977. Early stages of soil formation of glacial ill mine spoils in semiarid climate. *Geoderma* 19: 11-19.
- Ellerbrock R. H., Höhn A., Gereke H. H. 1999. Characterization of soil organic matter from a sandy soil in relation to management practice using FT-IR spectroscopy. *Plant Soil* 213: 55-61.
- Harabin Z. 1978. Zastosowanie zrzędów topolowych do przejściowego zagospodarowania zwałowisk towarzyszących górnictwu węgla kamiennego. IPIŚ PAN, Zabrze.
- Insam H., Domsch K. H. 1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microb. Ecol.* 15: 177-188.
- Klasyfikacja Gleb Leśnych Polski. 2000. Opracowanie Zespołu Klasyfikacji Gleb Leśnych PTG. Red. A. Kowalkowski i zespół. Centrum Informacyjne LP, Warszawa.
- Kononowa M. 1968. Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań. PWRiL, Warszawa.
- Leirós M. C., Gil-Sotres F., Trasar-Cepeda M. C., Saa A., Seoane S. 1996. Soil recovery at the Meirema open-cast lignite mine in northwest Spain: a comparison of the effectiveness of cattle slurry and inorganic fertilizer. *Water, Air, Soil Poll.* 91: 109-124.
- Pietrzykowski M., Krzaklewski W., Pająk M., Socha J. 2009. Opracowanie metod klasyfikacji siedlisk i kryteriów oceny efektów rekultywacji leśnej terenów pogórnicych. Raport roczny z Grantu N 309 013 32/2076, Katedra Ekologii Lasu UR w Krakowie, maszynopis.
- Pietrzykowski M., Krzaklewski W. 2007. Soil organic matter, C and N accumulation during natural succession and reclamation in open-cast sand quarry (southern Poland). *Archives of Agronomy and Soil Science* 53 (5): 473-483.
- Roberts J. A., Daniels W. L., Bell J. C., Burger J. A. 1988. Early stages of mine soil genesis in a southwest Virginia spoil lithosequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 716-723.
- Rumpel C., Kögel-Knabner I., Hüttl R. F. 1999. Organic matter composition and degree of humification on lignite-rich mine soils under a chronosequence of pine. *Plant Soil* 213: 161-168.
- Skawina T., Wąchalewski T. 1972. Powstawanie próchnicy w wyniku biologicznej rekultywacji gleb na terenach pogórnicych. XIX Ogólnopolski Zjazd Naukowy PTG, Ochrona Środowiska Glebowego, Katowice-Kraków-Puławy. 424-433.
- Stolarska M., Stolarski R., Harabin Z., Krzaklewski W., Pietrzykowski M. 2006. Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) z sukcesji na centralnym zwałowisku odpadów górnictwa węgla kamiennego. *Rocz. Glebozn.* 57 (1/2): 183-191.
- Strzyszczyk Z., Harabin Z. 2004. Rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie odpadów górnictwa węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem centralnych zwałowisk. *Prace i Studia IPIŚ PAN* 61.
- Wali M. K. 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant Soil* 213: 195-220.
- Wójcik J. 2002. Biodynamiczna metoda leśnej rekultywacji na przykładzie zboczy zwałowiska kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”. Praca doktorska AGH w Krakowie, maszynopis.
- Wójcik J., Krzaklewski W. 1999. Kształtowanie się cech inicjalnej gleby w toku leśnej rekultywacji zwałowiska zewnętrznego KWB „Adamów”. *Mat. Konf. „Górnictwo Odkrywkowe-Środowisko-Rekultywacja, ze szczególnym uwzględnieniem KWB Bełchatów”*, Kraków. 95-109.

SUMMARY

Fractional composition and optical properties of humus of soils developing on post-mining areas reclaimed for forest use

The paper describes the fractional composition and optical properties of humus types and their association with other properties of post-mining soils. Soil humus developed under pine stands in four reclaimed post-mining areas differentiated by the soil textural group and parent rocks or applied neutralisation and mineral fertilization treatments. Forest soil humus types from the sites located in the vicinity of post-mining areas were compared. The humus samples were characterised by a high degree of humification, including a significant share of carbon (C_{org}) bound in humin and fulvic acids in total carbon C_{org} in the soil, and the large optical density of humin acids (E_{465}/E_{665} extinction ratio). It was found out that the qualitative properties of humus significantly correlated with the content of fine particles (silt and clay) and absorbing complex properties of the soil. The post-mining soils being formed on sandy soils are characterised by a lower content of bound carbon in the humin and fulvic acid soils. The humus properties, however, were very heterogeneous and the features useful for the natural soil humus classification did not allow for a clear-cut classification of post-mining soil humus types and to predict the direction of their development. In particular, this refers to the humus formed from the carbon-containing soils on the 'Bełchatów' and 'Smolnica' mine dumps.