

BARTŁOMIEJ WOŚ, MARCIN PIETRZYKOWSKI, WOJCIECH KRZAKLEWSKI

Właściwości próchnic gleb tworzących się w warunkach zalesionego zwałowiska po odkrywkowej kopalni siarki*

Properties of humus in soils formed on afforested dumping ground of the sulphur mine

ABSTRACT

Woś B., Pietrzykowski M., Krzaklewski W. 2014. Właściwości próchnic gleb tworzących się w warunkach zalesionego zwałowiska po odkrywkowej kopalni siarki. Sylwan 158 (12): 893-900.

The paper presents fractional composition and optical properties of the soil organic matter (SOM) developed on afforested dumping ground of the sulphur strip mine in Piaseczno near Tarnobrzeg (southern Poland). Research was designed for different soil-substrates and trees species. Soil-substrate type has the major impact on SOM characteristics at current stage of soil development. Black alder characterized with the strongest influence on SOM quality among species introduced on the dumping ground.

KEY WORDS

post-mining sites, afforestation, soil organic matter, fulvic acids, humic acids

ADDRESSES

Marcin Pietrzykowski – e-mail: rlpietrz@cyf-kr.edu.pl
Bartłomiej Woś, Wojciech Krzaklewski

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

Wstęp

Rekultywacja leśna jest optymalnym sposobem nadania wartości użytkowej gruntom zdewastowanym w wyniku eksploatacji górniczej. „Nowe lasy” na terenach przemysłowych łagodzą przekształcenia krajobrazowe i pełnią funkcje ochronne. Zabiegi rekultywacyjne mają na celu zainicjowanie rozwoju ekosystemu, którego podstawowym elementem jest gleba [Bradshaw 1983]. Główne procesy początkowego stadium tworzenia się gleby to akumulacja i humifikacja materii organicznej [Reintam i in. 2002; Fettweis i in. 2005]. Glebowa materia organiczna (próchnica) spełnia kluczową rolę w kształtowaniu właściwości fizykochemicznych i biologicznych gleb na terenach rekultywowanych [Insam, Domsch 1988; Leirós i in. 1996; Wali 1999]. Próchnica jest istotnym ogniwem w cyklu żywienia mineralnego zbiorowisk roślinnych i organizmów glebowych poprzez magazynowanie i zwiększanie dostępności składników pokarmowych, w tym głównie azotu i fosforu [Stevenson 1994; Frouz i in. 2007; Pietrzykowski 2010]. Próchnica wprowadzona w początkowych fazach rekultywacji w postaci dodatków organicznych lub wierzchnich poziomów gleb, zebranych uprzednio z pól eksploatacyjnych, wpływa na polepszenie właściwości gleb i dostarcza energii niezbędnej do podtrzymywania procesów metabolizmu ekosystemów [Bendfieldt i in. 2001; Frouz i in. 2006], stanowiąc ważny element w bilansie węgla

*Praca sfinansowana ze środków DS3420 Katedry Ekologii Lasu w ramach badań naukowych lub prac rozwojowych młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich finansowanych z dotacji celowej (nr 4433/KEkL/2013).

w tych systemach [Vindušková, Frouz 2013]. Badania ilościowe i jakościowe próchnicy są istotne dla monitorowania procesów glebotwórczych i rozwoju ekosystemów na terenach przemysłowych. Badania te mają znaczenie dla oceny kierunku rozwoju gleb i ich funkcji ekologicznych [Frouz i in. 2006; Pietrzykowski, Krzaklewski 2007]. W ocenie jakości tworzącej się próchnicy ważne jest określenie udziału związków próchnicznych (składu frakcyjnego), w tym szczególnie węgla związanego z kwasami huminowymi (CKh) i fulwowymi (CKf) [Kononowa 1968; Pietrzykowski, Krzaklewski 2007; Abakumov i in. 2013]. Ponadto oceniany może być stopień rozbudowy struktury związków próchnicznych, np. poprzez oznaczenie gęstości optycznej [Kononowa 1968]. Tego rodzaju badania na rekultywowanych terenach pogórnich prowadzili Anderson [1977], Wójcik [2002], Pietrzykowski i Krzaklewski [2007], Pietrzykowski [2010], Abakumov i in. [2013] oraz Pietrzykowski i Chodak [2014]. W badaniach wykazano wzrost zawartości związków próchnicznych wraz z wiekiem wprowadzonych fitocenoz, a ponadto przy porównaniu próchnic na terenach rekultywowanych wskazano na ich lepsze parametry (w tym gęstość optyczną) w stosunku do gleb pod zbiorowiskami z sukcesji [Pietrzykowski, Krzaklewski 2007; Abakumov i in. 2013]. Wykazano również związek pomiędzy parametrami próchnicy a uziarnieniem i właściwościami kompleksu sorpcyjnego gleb [Wójcik 2002; Pietrzykowski 2010].

W literaturze wciąż brakuje danych na temat wpływu gatunków drzew na cechy tworzącej się próchnicy [Gonet i in. 2007]. Dane dotyczące „naturalnych” gleb leśnych umiarkowanej strefy klimatycznej wskazują, że próchnice pod gatunkami liściastymi charakteryzują się większym udziałem CKh w stosunku do CKf oraz większą kondensacją pierścieni aromatycznych niż próchnice gleb pod gatunkami iglastymi [Kononowa 1968; Stevenson 1994]. Zachodzące prawidłowości stwierdzone w glebach naturalnych nie zawsze znajdują potwierdzenie w odniesieniu do gleb początkowego stadium rozwoju na terenach pogórnich. Może to wynikać ze znacznej zmienności i zróżnicowania substratów gleb pogórnich oraz nakładania się różnych innych czynników modyfikujących, w tym reliefu, stosunków powietrzno-wodnych, oddziaływania roślin wyższych i fauny glebowej [Frouz i in. 2006; Pietrzykowski i in. 2010], a także nieustabilizowanej aktywności mikroorganizmów glebowych [Chodak i in. 2009].

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości próchnicy gleb w zależności od rodzaju substratu glebowego oraz gatunku drzewa wprowadzonego 40 lat wcześniej w ramach zalesień zwałowiska po odkrywkowej kopalni siarki Piaseczno (rejon tarnobrzeski).

Material i metody

TEREN BADAŃ. Badania prowadzono na zwałowisku po odkrywkowej kopalni siarki „Piaseczno” (50°33,622N, 21°34,185E) w rejonie tarnobrzeskim. Rejon ten charakteryzuje się średnią temperaturą roczną 7°C, średnią sumą opadów atmosferycznych 650 mm oraz okresem wegetacji trwającym 212 dni. Zwałowisko zbudowane jest z neogeńskich utworów ilastych (pektenowe iły krakowieckie), domieszki czwartorzędowych utworów piaszczystych oraz ich mieszanin [Skawina 1974; Ziemiński 1980; Węgorz 2003]. Gleby tworzące się na badanych substratach zaliczono do typu gleb industrio- i urbanoziemnych i podtypu gleb o niewykształconym profilu [Klasyfikacja... 2000]. Charakteryzują się one występowaniem poziomów genetycznych Ol-Ainan-Can [Pietrzykowski i in. 2010].

PRACE TERENOWE. W ramach stałych badań monitoringowych na zwałowisku wyznaczono 73 kołowe powierzchnie o wielkości 1 ara w regularnej siatce kwadratów o boku 50×50 m. Następnie do badań próchnicy glebowej wybrano po 4 powierzchnie w jednorodnych płatach drzewostanów sosnowych, brzoźowych i dębowych na mieszaninach czwartorzędowych piasków i iłów neogeńskich (warianty odpowiednio So-PczIn, Brz-PczIn i Db-PczIn) oraz dębowych i olszowych

na łąkach neogeńskich (warianty odpowiednio Db-In i Ol-In). Dla modrzewia możliwe było wyznaczenie tylko 3 powierzchni na mieszaninach piasków i łąk (wariant Md-PczIn). Na każdej powierzchni badawczej pobrano zbiorcze próbki glebowe (z 5 punktów rozmieszczonych w układzie koperty) z warstwy 0-5 cm (poziomy Ainan). Przed pobraniem próbek usuwano z powierzchni warstwę świeżego opadu organicznego i inicjalną warstwę butwinową.

ANALIZY LABORATORYJNE I STATYSTYCZNE. W próbkach glebowych oznaczono: skład granulometryczny aparatem Fritsch GmbH Laser Particle Sizer ANALYSETTE 22; pH w H_2O i w KCl metodą potencjometryczną w proporcji 1:2,5 oraz zawartość węglanów metodą Scheiblera. Skład frakcyjny próchnic oznaczono metodą Kononowej i Bielczikowej [Kononowa 1968]. Ekstrakcja kwasów próchnicznych prowadzona była w mieszaninie 0,1 M NaOH i 0,1 M $Na_4P_2O_7 \cdot 7H_2O$, a oznaczenie ilości węgla związanego wykonano według metody Tiurina. Gęstość optyczną kwasów huminowych w roztworze określono na podstawie stosunku ekstynkcji E465:E665 przy długości fali 465 μm i 665 μm [Kononowa 1968]. Pomiarów ekstynkcji dokonano spektrofotometrem Varian CARY 300 Conc UV-VS.

Opracowanie statystyczne z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 10 (StatSoft, Inc.) obejmowało analizę korelacji Pearsona pomiędzy parametrami gleb a właściwościami próchnic. Istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi parametrów sprawdzono za pomocą testu RIR Tukeya ($p=0,05$).

Wyniki

WŁAŚCIWOŚCI GLEB. Gleby w zależności od substratu glebowego (PczIn lub In) różniły się istotnie udziałem frakcji pyłu i łąk oraz zawartością węglanów ($CaCO_3$). Uziarnienie wskazuje, że PczIn można zaliczyć do grupy granulometrycznej piasków gliniastych lub glin piaszczystych, a In do grupy pyłów łąk [Klasyfikacja... 2009]. Zawartość pyłu wynosiła od 20,7 (PczIn) do 78,6% (In), łąk od 2,3 (PczIn) do 17,3% (In), pH_{H_2O} wynosiło od 5,71 (PczIn) do 7,08 (In), pH_{KCl} od 5,04 (PczIn) do 6,78 (In), a zawartość węglanów ($CaCO_3$) wynosiła od 0,04 (PczIn) do 15,31% (In) (tab. 1). Różnice w zawartości węglanów pomiędzy substratami glebowymi wynikają z ich naturalnej zawartości w łąkach neogeńskich [Pawłowski i in. 1985].

WŁAŚCIWOŚCI PRÓCHNIC. Zawartość węgla organicznego ogółem (Cog) różniła istotnie próchnice w zależności od substratów glebowych (PczIn, In). Zawartość Cog wynosiła od 1,49 do 1,84% odpowiednio pod brzozą i sosną na PczIn oraz od 4,31 do 6,49%, odpowiednio pod dębem i olszą na In. W przypadku wariantów obejmujących różne gatunki na łąkach stwierdzone różnice zawartości Cog były istotne statystycznie (tab. 2).

Tabela 1.

Wybrane właściwości poziomów Ainan (0-5 cm) badanych gleb
Selected properties of Ainan (0-5 cm) horizon of analysed soils

Wariant	Pył (0,05-0,002 mm) [%]	Ił (<0,002 mm) [%]	pH		$CaCO_3$ [%]
			H_2O	KCl	
So-PczIn	22,8 ^a	2,7 ^a	5,71 ^a	5,04 ^a	0,07 ^a
Brz-PczIn	20,7 ^a	2,3 ^a	6,37 ^{ab}	5,86 ^{ab}	0,04 ^a
Db-PczIn	33,1 ^a	4,1 ^a	6,31 ^{ab}	5,81 ^{ab}	1,07 ^a
Md-PczIn	29,9 ^a	4,2 ^a	6,24 ^{ab}	5,79 ^{ab}	1,73 ^a
Db-In	77,3 ^b	17,3 ^b	7,08 ^b	6,73 ^b	15,31 ^b
Ol-In	78,6 ^b	13,6 ^b	7,02 ^b	6,78 ^b	14,51 ^b

ta sama litera oznacza grupy jednorodnie przy $p=0,05$; the same letter indicates homogenous groups at $p=0,05$

Tabela 2.

Skład frakcyjny i gęstość optyczna kwasów huminowych w próchnicy badanych gleb
fractional composition and optical properties of humic acids in humus of analysed soils

Wariant	CKh+CKf [% w suchej masie gleby]	Cog	[(CKh+CKf):Cog]·100 [% w stosunku do Cog]	CKh	CKf	CKh:CKf	E ₄₆₅ :E ₆₆₅
So-PczIn	0,69 ^{ab}	1,84 ^a	37,47 ^c	15,46 ^b	22,01 ^b	0,70 ^{ab}	1,72 ^{ab}
Brz-PczIn	0,44 ^a	1,49 ^a	29,90 ^{abc}	15,12 ^b	14,78 ^{ab}	1,02 ^b	1,29 ^a
Db-PczIn	0,48 ^a	1,57 ^a	33,70 ^c	17,11 ^b	16,59 ^{ab}	1,03 ^b	2,30 ^{ab}
Md-PczIn	0,54 ^a	1,65 ^a	33,37 ^{bc}	13,37 ^b	20,01 ^{ab}	0,67 ^{ab}	2,29 ^{ab}
Db-In	0,89 ^b	4,31 ^b	20,83 ^a	7,78 ^a	13,06 ^a	0,60 ^{ab}	2,78 ^b
Ol-In	1,43 ^c	6,49 ^c	22,11 ^{ab}	5,77 ^a	16,34 ^a	0,35 ^a	2,12 ^{ab}

ta sama litera oznacza grupy jednorodnie przy $p=0,05$
the same letter indicates homogenous groups at $p=0,05$

Zawartość węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi (CKh+CKf) różniła istotnie badane grupy substratów i wynosiła od 0,44 do 0,69% dla PczIn, odpowiednio pod brzozą i sosną, oraz od 0,89 do 1,43% dla In, odpowiednio pod dębem i olszą. Stwierdzone różnice dla poszczególnych gatunków w obrębie wariantów na łąkach były istotne statystycznie (tab. 2).

Zawartość węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi w puli węgla organicznego ogółem (CKh+CKf w stosunku do Cog) różniła istotnie grupy substratów PczIn oraz In. Stosunek ten w obrębie poszczególnych wariantów wynosił odpowiednio dla PczIn od 29,90 do 37,47 pod brzozą i sosną, a w obrębie In był podobny, niezależnie od gatunku i wynosił od 20,83 do 22,11, odpowiednio pod dębem i olszą (tab. 2).

W obrębie wariantów na PczIn węgiel związany z kwasami huminowymi (CKh) stanowił od 13,37 do 17,11%, a węgiel związany z kwasami fulwowych (CKf) od 14,78 do 22,01% w puli węgla organicznego ogółem (Cog). W obrębie grupy substratowej In węgiel CKh stanowił od 5,77 do 7,78%, a CKf od 13,06 do 16,34% w puli węgla organicznego ogółem, odpowiednio pod dębem i olszą (tab. 2).

W próchnicach gleb w grupie substratowej PczIn stosunek węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych (CKh:CKf) wynosił od 0,67 pod modrzewiem do 1,03 pod dębem, a w obrębie łąk neogeńskich był niższy i wynosił 0,35 pod olszą i 0,60 pod dębem (tab. 2).

Gęstość optyczna kwasów huminowych (stosunek ekstynkcji E₄₆₅:E₆₆₅) przyjmowała niskie wartości i nie różniła istotnie grup substratów. W obrębie grupy PczIn stosunek E₄₆₅:E₆₆₅ wynosił od 1,29 (pod brzozą) do 2,30 (pod dębem), a w obrębie grupy substratowej In 2,12 pod olszą i 2,78 pod dębem (tab. 2).

Analiza korelacji liniowej wykazała istotny związek pomiędzy zawartością węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi w próchnicy (CKh+CKf) a zawartością frakcji pyłu ($r=0,81$) i łąk ($r=0,71$), pH w KCl ($r=0,56$) oraz zawartością węglanów ($r=0,78$). Istotny związek wystąpił również pomiędzy wartościami ekstynkcji E₄₆₅:E₆₆₅ kwasów huminowych a zawartością frakcji pyłu ($r=0,42$) i łąk ($r=0,49$), pH w KCl ($r=0,51$) oraz zawartością węglanów ($r=0,52$).

Dyskusja

Właściwości substratów glebowych (w tym głównie uziarnienie) wpłynęły na skład frakcyjny próchnicy w glebie. Gleby tworzące się na łąkach neogeńskich charakteryzowały się istotnie większą zawartością węgla związanego z frakcją kwasów huminowych i fulwowych (CKh+CKf) w stosunku do gleb na mieszaninach czwartorzędowych piasków i łąk neogeńskich. Stwier-

dzone wartości można uznać za wysokie w porównaniu do próchnic gleb tworzących się na innych obiektach pogórnicych w Polsce: w tym zwałowisku KWB „Bełchatów” ($CKh+CKf=0,17-0,37\%$), wyrobisku piasków podsadzkowych Szczakowa ($CKh+CKf=0,09-0,13\%$) i zwałowisku górnictwa węgla kamiennego „Smolnica” ($CKh+CKf=0,45-0,47\%$) [Pietrzykowski 2010; Pietrzykowski, Chodak 2014]. Były to również wartości wyższe od podawanych np. dla „naturalnych” gleb biellicowych właściwych ($CKh+CKf=0,73\%$) występujących w pobliżu zwałowiska Piaseczno [Pietrzykowski 2010].

Badane próchnice na zwałowisku Piaseczno charakteryzowały się niskim udziałem węgla związanego z grupą kwasów huminowych i fulwowych w puli węgla organicznego ogółem ($CKh+CKf$ w stosunku do C_{og}). Najniższe wartości $CKh+CKf$ w stosunku do C_{og} stwierdzano w przypadku gleb na utworach ilastych, a wyższe w próchnicy gleb na utworach piaszczystych. Może to być związane z naturalną obecnością węgla „geogenicznego” w bituminach ilów neogeńskich [Pawłowski i in. 1985]. Jakkolwiek zawartość węgla w tej formie wpływa na ogólny bilans węgla glebowego w inicjalnych ekosystemach, a także ma znaczenie dla retencji wodnej gleb, to proces jego włączania do obiegu biogeochemicznego nie jest dokładnie zbadany, choć wiadomo, że kluczową rolę odgrywają tu mikroorganizmy glebowe [Rumpel, Kögel-Knabner 2003; Fettweis i in. 2005].

Z punktu widzenia oceny kierunku rozwoju próchnic ważne jest określenie stosunku $CKh:CKf$ [Filcheva i in. 2000; Pietrzykowski 2010; Abakumov i in. 2013]. Ma to znaczenie ze względu na różnorodne funkcje kwasów próchnicznych w procesie glebotwórczym [Stevenson 1994]. Kwasy fulwowe, jako składniki bardziej mobilne i łatwiej rozpuszczalne w wodzie, mają wpływ na procesy ługowania i przemieszczania soli mineralnych do niższych poziomów glebowych. Z kolei kwasy huminowe wpływają na rozwój i stabilność agregatów glebowych [Stevenson 1994; Abakumov, Gagarina 2008]. Cechą charakterystyczną naturalnych gleb bielicoziemnych jest przewaga kwasów fulwowych nad kwasami huminowymi ($CKh:CKf < 1$) [Kononowa 1968]. Takie zależności w inicjalnych próchnicach gleb pogórnicych stwierdzano także pod sosną zwyczajną [Reintam i in. 2002; Pietrzykowski 2010]. Badane próchnice na zwałowisku Piaseczno pod drzewostanami złożonymi z drzew liściastych (brzoza, dąb) na mieszaninach czwartorzędowych piasków i ilów neogeńskich charakteryzowały się nieznaczną przewagą kwasów huminowych nad fulwowymi (stosunek $CKh:CKf$ od 1,02-1,03). Potwierdza to dane literaturowe, według których próchnica pod gatunkami liściastymi zawiera więcej kwasów huminowych niż fulwowych [Kononowa 1968]. Ta prawidłowość nie potwierdziła się jednak na utworach ilastych, gdzie próchnice pod dębem i olszą zawierały więcej kwasów fulwowych niż kwasów huminowych. Może być to związane ze specyfiką substratu – podobne wyniki znacznej przewagi kwasów fulwowych uzyskali Abakumov i Gagarina [2008] w próchnicach inicjalnych gleb technogennych tworzących się na utworach wapiennych eluwiów. W przypadku próchnicy powstającej pod drzewostanem olszowym na terenach pogórnicych (zwałowiska kopalni węgla brunatnego w centralnej Serbii) Miletić i in. [2012] także stwierdzali przewagę kwasów fulwowych w stosunku do kwasów huminowych.

Próchnica badanych gleb wykazywała małą gęstość optyczną kwasów huminowych ($E_{465}:E_{665}$) (1,35-2,78) w porównaniu do danych uzyskanych na innych obiektach pogórnicych w Polsce (4,13-6,50) [Wójcik 2002; Pietrzykowski 2010]. W przypadku badanych próchnic na zwałowisku Piaseczno wskazuje to na mały stopień kondensacji jądra pierścieni aromatycznych, co z kolei związane jest z przewagą łańcuchów bocznych w kwasach huminowych. Jest to cecha charakterystyczna dla glebowej materii organicznej znajdującej się w początkowym stadium humifikacji [Kononowa 1968].

Wyniki analizy korelacji wskazują na istotny związek gęstości optycznej kwasów huminowych (E465:E665) z zawartością frakcji pyłu ($r=0,42$) i ilu ($r=0,49$) w glebach. Wskazuje to na związek pomiędzy uziarnieniem substratu glebowego a cechami jakościowymi tworzącej się próchnicy. Podobne zależności stwierdzali Wójcik [2002] i Pietrzykowski [2010] w badaniach próchnic tworzących się w warunkach obiektów pogórnich.

Po 40 latach od rozpoczęcia procesu rekultywacji nie ujawnił się jeszcze znacząco wpływ gatunku drzewa na zróżnicowanie właściwości próchnic. Spośród analizowanych przypadków istotne różnice pod względem cech ilościowych próchnicy w obrębie tych samych substratów glebowych wystąpiły jedynie pomiędzy dębem i olszą. Olsza, co wynika również z innych badań prowadzonych na terenach rekultywowanych [Miletić i in. 2012], oddziałuje najintensywniej spośród gatunków wprowadzonych w ramach zalesień. Próchnica pod olszą w stosunku do próchnicy pod dębem cechowała się istotnie wyższą zawartością węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi (CKh+CKf) w glebie. Na tym etapie rozwoju próchnic pozostałe gatunki nie wywarły istotnego modyfikującego wpływu na cechy jakościowe próchnic w obrębie grup substratowych.

Wnioski

- ✦ Na obecnym etapie rozwoju gleb na zwałowisku zalesionym 40 lat wcześniej wyraźny wpływ na kształtowanie się właściwości jakościowych próchnic wywarł rodzaj substratu glebowego, co uwidoczniło się wyraźnie w przypadku powierzchni z dębem wprowadzonym w ramach zalesień na obydwu rodzajach substratu.
- ✦ Gleby powstające na ilach neogeńskich charakteryzowały się istotnie większą zawartością procentową węgla organicznego ogółem (Cog) oraz węgla związanego z kwasami huminowymi i fulwowymi (CKh+CKf), co wynika z udziału węgla pochodzenia geogenicznego występującego w ilach w postaci bitumin. Jednak udział CKh+CKf, czyli węgla związanego w kwasach próchnicznych w puli węgla organicznego ogółem, był w przypadku próchnic tych gleb istotnie niższy w porównaniu do próchnic gleb na mieszaninach piasków i ilów. Ponadto próchnice na ilach charakteryzowały się większą przewagą kwasów fulwowych nad huminowymi.
- ✦ W analizowanych wariantach „gatunek drzewa – substrat glebowy” istotne różnice w cechach jakościowych próchnicy w obrębie grup substratowych wystąpiły jedynie pomiędzy olszą czarną i dębem szypułkowym na ilach neogeńskich. Gleby pod olszą charakteryzowały się istotnie większą zawartością węgla związanego z kwasami próchnicznymi (CKh+CKf) oraz większą przewagą kwasów fulwowych nad huminowymi w porównaniu do gleb pod dębem.

Literatura

- Abakumov E. V., Cajthaml T., Brus J., Frouz J. 2013. Humus accumulation, humification, and humic acid composition in soils of two post-mining chronosequences after coal mining. *Journal of Soils and Sediments* 13 (3): 491-500.
- Abakumov E. V., Gagarina E. I. 2008. Humus status of soils of overgrown quarries in Leningrad oblast. *Eurasian Soil Science* 41 (3): 255-264.
- Anderson D. W. 1977. Early stages of soil formation of glacial ill mine spoils in semiarid climate. *Geoderma* 19: 11-19.
- Bendfeldt E. S., Burger J. A., Daniels W. L. 2001. Quality of Amended Mine Soils After Sixteen Years. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1736-1744.
- Bradshaw A. D. 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20: 1-17.
- Chodak M., Pietrzykowski M., Niklińska M. 2009. Development of microbial properties in a chronosequence of sandy mine soils. *Applied Soil Ecology* 41 (3): 259-268.
- Fettweis U., Bens O., Hüttl R. F. 2005. Accumulation and properties of soil organic carbon at reclaimed sites in the Lusatian lignite mining district afforested with *Pinus* sp. *Geoderma* 129 (1-2): 81-91.
- Filcheva E., Noustorova M., Gentcheva-Kostadinova Sv., Haigh M. J. 2000. Organic accumulation and microbial action in surface coal-mine spoils, Pernik, Bulgaria. *Ecological Engineering* 15 (1-2): 1-15.

- Frouz J., Elhottová D., Kuráz V., Šourková M. 2006. Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: Results of a field microcosm experiment. *Applied Soil Ecology* 33 (3): 308-320.
- Frouz, J., Elhottová, D., Pižl, V., Tajovský, K., Šourková, M., Pícek, T., Malý, S. 2007. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: A laboratory study. *Applied Soil Ecology* 37: 72-80.
- Gonet S. S., Dębska B., Zaujec A., Banach-Szott M., Szobathowa N. 2007. Wpływ gatunków drzew i warunków glebowo-klimatycznych na właściwości próchnicy gleb leśnych. W: Gonet S. S., Markiewicz M. [red.]. *Rola materii organicznej w środowisku*. PTSH, Wrocław. 61-98.
- Insam H., Domsch K. H. 1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecology* 15: 177-188.
- Klasyfikacja gleb leśnych Polski. 2000. CILP, Warszawa.
- Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. 2009. *Roczniki Gleboznawcze* 60 (2): 5-16.
- 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 Pollution* 91: 109-124.
- Miletić Z., Knežević M., Stajić, S., Košanin, O., Đorđević, I. 2012. Effect of European Black alder monocultures on the characteristics of reclaimed mine soil. *International Journal of Environmental Research* 6 (3): 703-710.
- Pawłowski S., Pawłowska K., Kubica B. 1985. *Budowa geologiczna tarnobrzeskiego złoża siarki rodzimej*. Prace Instytutu Geologicznego CXIV, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Pietrzykowski M. 2010. Skład frakcyjny i właściwości optyczne próchnic gleb powstających na terenach pogórnich rekultywowanych dla leśnictwa. *Sylwan* 154 (11): 742-749.
- Pietrzykowski M., Chodak M. 2014. Near infrared spectroscopy – A tool for chemical properties and organic matter assessment of afforested mine soils. *Ecological Engineering* 62: 115-122.
- 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.
- Pietrzykowski M., Krzaklewski W., Pajak, M., Socha J., Ochał W. 2010. Analiza i optymalizacja metod klasyfikacji siedlisk i kryteriów oceny rekultywacji leśnej na wybranych terenach pogórnich w Polsce. Wydawnictwo UR Kraków, Kraków.
- Reintam L., Kaar E., Rooma I., 2002. Development of soil organic matter under pine on quarry detritus of open-cast oil-shale mining. *Forest Ecology and Management* 171 (1-2): 191-198.
- Rumpel C., Kögel-Knabner I. 2003. Characterisation of organic matter and carbon cycling in rehabilitated lignite-rich mine soils. *Water, Air and Soil Pollution*: 3 (1): 153-166.
- Skawina T. 1974. *Charakterystyka działalności rekultywacyjnej na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Siarki „Piaseczno”*. Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH, Kraków. Maszynopis.
- Stevenson F. J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Vindušková O., Frouz J. 2013. Soil carbon accumulation after open-cast coal and oil shale mining in Northern Hemisphere: a quantitative review. *Environmental Earth Sciences* 69 (5): 1685-1698.
- Wali M. K. 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213: 195-220.
- Węgoręć T. 2003. Zmiany niektórych właściwości materiału ziemnego i rozwój fitocenoz na zwałowisku zewnętrznym kopalni siarki w wyniku leśnej rekultywacji docelowej. *Rozprawy Naukowe AR w Lublinie* 275: 1-140.
- Woś A. 1999. *Klimat Polski*. PWN, Warszawa.
- Wójcik J. 2002. *Biodynamiczna metoda leśnej rekultywacji na przykładzie zboczy zwałowiska kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”*. Praca doktorska AGH w Krakowie, maszynopis.
- Ziemiński S. 1980. *Rekultywacja zwał kopalni odkrywkowej (na przykładzie Piaseczna)*. Problemy Rejonów Uprzemysłowionych. PAN, Komisja Badań Rejonów Uprzemysłowionych. PWN, Warszawa.

SUMMARY

Properties of humus in soils formed on afforested dumping ground of the sulphur mine

The paper presents fractional composition and optical properties of the soil organic matter (SOM) developed on afforested dumping ground of the sulphur strip mine in Piaseczno near Tarnobrzeg (southern Poland). Research was designed at different soil-substrates (mixture of

quaternary sands and neogene clays or neogene clays solely). The introduced trees species included Scots pine, European larch, silver birch, European oak and black alder. Major impact on SOM characteristics at current stage of soil development was exhibited by soil-substrate type. The SOM developed on clays characterized by significantly higher content of organic carbon and carbon associated with soil humic and fulvic acid (CKh+CKf). However in this substrate, CKh+CKf takes a smaller part in total pool of organic carbon compared to the mixture of quaternary sands and neogene clays. Additionally, humus on clays characterized with predominance of fulvic acids. In the analyzed variants, significant differences in humus properties occurred only between alder and oak on neogene clays. The SOM developed under black alder on neogene clays characterized with significantly higher content of carbon associated with CKh+CKf, and predominance of fulvic acids fraction.