

Marcin Pietrzykowski, Wojciech Krzaklewski
Katedra Ekologii Lasu, Akademia Rolnicza w Krakowie

AKUMULACJA MATERII ORGANICZNEJ, WĘGLA I AZOTU W PROCESIE SUKCESJI INICJALNEJ GLEBY NA NIEREKULTYWOWANYCH FRAGMENTACH WYROBISKA PO KOPALNI PIASKU

THE ACCUMULATION OF ORGANIC MATTER, CARBON AND NITROGEN DURING THE DEVELOPMENT OF INITIAL SOIL ON THE NON-RE-CULTIVATED PARTS OF SAND EXPLOITATION AREA

Słowa kluczowe: sukcesja, węgiel, azot, materia organiczna, gleby inicjalne, wyrobisko popiaskowe.

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań nad kumulacją materii organicznej, węgla i azotu oraz wybranymi właściwościami próchnicy inicjalnych gleb tworzących się pod zbiorowiskami z sukcesji na nierekultywowanych fragmentach wyrobiska po kopalni piasku. Stwierdzono przyrost miąższości inicjalnego poziomu akumulacji próchnicy (Ai) oraz kumulację materii organicznej, węgla i azotu w czasie. Nastąpił wzrost procentowego udziału węgla związanego z grupą kwasów huminowych i fulwowych w stosunku do pozostałego węgla w materii organicznej. Wykazano progresywny przebieg procesu rozwoju gleb pod zbiorowiskami z sukcesji.

Key words: ecological succession, Carbon, Nitrogen, organic matter, initial soil, sandpit works.

Summary: The results of research on organic matter, Carbon and Nitrogen accumulation and on selected properties of initial humus in soils building up under communities resulting from succession on an area of a sandpit works were presented. A growth of thickness in the initial humus accumulation horizon (Ai) and an accumulation of organic matter, Carbon and Nitrogen over time was found. A growth of percentage content of Carbon related to a group of humic and fulvic acids in soils was established in the post-extraction humus compared to remaining Carbon. The data indicates a progressive course of the soil development process under communities from succession on sandpit works.

WSTĘP

Określenie na terenach pogórnicznych zmian zachodzących w inicjalnych glebach, w tym szczególnie pod względem składu chemicznego, zasobów i dynamiki kumulacji materii organicznej, węgla organicznego i azotu oraz przyrostu miąższości poziomów próchnicznych i kształtowania się typu próchnicy pod wprowadzanymi drzewostanami może być istotnym wskaźnikiem oceny postępu procesu odtwarzania gleb oraz powodzenia rekultywacji [Roberts et al., 1988; Insam, Domsch, 1988; Rumpel et al., 1999; Ellerbrock et al., 1999; Leirós et al., 1996, Wali, 1999, Wójcik, Krzaklewski, 1999; Wójcik, 2002; West, Wali, 2002]. Badania takie prowadzono na terenach o charakterze naturalnym [Dickson and Crocker, 1954; Syers et al., 1970; Little and Ward, 1981; Hobbie et al., 1998; Elgersma 1998, Burt, Alexander, 1996; De Kovel et al., 2000], jak i na pogórnicznych terenach rekultywowanych [Anderson, 1977; Prosser, Roseby, 1995; Pietch, 1996; Rumpel et al., 1999] oraz terenach pozostawionych bez rekultywacji [Wali, 1999; West and Wali, 2002]. Sukcesji gleb nie sposób oddzielić od sukcesji roślin i zwierząt [Braun-Blanquet, 1951; Wali and Freeman, 1973; Jochimsen, 1996; Krzaklewski, Frączek, 1999; Wali, 1999]. Zmiany roślinności współgrają z rozwojem gleby, w tym szczególnie ze stopniem zaawansowania rozwoju poziomów organicznych oraz kumulacją węgla i azotu [Uggla, 1965; Elgersma, 1998]. Na terenach objętych rekultywacją procesy te są przyspieszane poprzez zabiegi, a na terenach pozostawionych bez rekultywacji procesy te zachodzą w drodze sukcesji samorzutnej.

METODYKA

Teren badań

Powierzchnie badawcze zlokalizowane były na wyrobisku Kopalni Piasku „Szczakowa” w okolicach Jaworzna w Polsce Południowej w obrębie kotliny rzeki Przemszy. Zdeponowane w przedczwartorzędowym obniżeniu morfologicznym piaski są pochodzenia fluwioglacjalnego [Gilewska, 1972; Dokumentacja Geologiczna Kopalni Piasku „Szczakowa”], a ich przybliżony wiek zawiera się w granicach 80 do 240 tysięcy lat [Lewandowski i Zieliński, 1990]. Ogólnie klimat tego regionu charakteryzuje się średnią roczną temperaturą powietrza 8° C i średnią roczną sumą opadów 700 mm [Wiszniewski, Chełchowski, 1975]. Przed rozpoczęciem eksploatacji większą część rejonu złoża porastały bory sosnowe. Obszar wyrobiska (ponad 2700 ha) w większości został już zrekultywowany w kierunku leśnym. Powierzchnie badawcze zlokalizowano na fragmentach wyrobiska pozostawionych w latach 70. i 80. po eksploatacji, porośniętych roślinnością z sukcesji samorzutnej [Krzaklewski, Frączek, 1999]. Wiek wybranych powierzchni ustalono na ok. 5, 17, 20, 25 lat [Mapa Wyrobisk Górniczych KP „Szczakowa”]. Woda gruntowa na powierzchniach badawczych występowała na głębokości średnio od około 90 do 160 cm, tylko na dwóch powierzchniach w wieku 17 i 25 lat lustro wód gruntowych znajdowało się poniżej 220 cm.

Prace terenowe

W grupach wiekowych 17, 20 i 25 lat założono po 3 powierzchnie badawcze w biogrupach drzewiastych z pokryciem w warstwie drzew powyżej 50% z przewagą sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.) i brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) oraz ze sporadycznie występującą topolą osiką (*Populus tremula* L.). W grupie wiekowej 5 lat wyznaczono jedną powierzchnię, ponieważ występowały bardzo podobne zbiorowiska z przewagą *Corynephorus canescens* (25–50% pokrycia powierzchni) i pojedynczymi siewkami sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*). Do badań na powierzchni 5-letniej wyznaczono 6 punktów, a na powierzchniach 17, 20, i 25-letnich po 12 punktów w siatce kwadratów i w każdym z punktów wykonano odwierty świdrem glebowym. W odkrywkach w terenie wyróżniono wstępnie poziomy glebowe Olf, Ai, AC i pobrano z nich próby do analiz laboratoryjnych. Z poziomu Olf próby pobrano z czterech punktów na każdej z powierzchni. Określono masę w stanie suchym prób pobranych z poziomu Olf z powierzchni 1 m² w 3 powtórzeniach oraz oznaczono gęstość objętościową poziomów Ai, AC w cylinderkach 250 cm³ (po 3 na każdej powierzchni).

Analizy laboratoryjne

W laboratorium próby wysuszono i przesiano przez sito Ø 2 mm, a do oznaczeń węgla i azotu przez sito Ø 0,2 mm oraz wykonano orientacyjne oznaczenie zawartości CaCO₃ poprzez traktowanie 10% HCl. W pobranych próbach glebowych oznaczono: pH w H₂O potencjometrycznie (proporcja 1:2.5); zawartość węgla i azotu ogólnego na aparacie Leco CNS 2000. Żadna z badanych próbek nie wykazywały widocznej reakcji z 10% HCl i wydzielania CO₂, a oznaczony węgiel był pochodzenia organicznego. Na podstawie zawartości węgla i materii organicznej pogrupowano próby przyjmując umownie jako kryterium dla poziom Ai minimalną zawartość materii organicznej 5g kg⁻¹, a następnie wykonano próby mieszane z wyróżnionych poziomów i oznaczono ich skład granulometryczny (aerometrycznie), barwę w stanie suchym (zgodnie ze Standard Soil Colour Charts) oraz wykonano ekstrakcję próchnicy w mieszaninie 0,1 n NaOH i 0,1 mol Na₄P₂O₇ 10H₂O [Kononowa, 1968]. Wyliczono całkowitą kumulację materii organicznej, węgla i azotu w poziomach. Wyniki, tj. miąższość poziomów, stosunek C/N, zawartość węgla i azotu ogólnego poddano analizie statystycznej przy użyciu analizy wariancji i testu istotności różnic T-Tukey (p<0,05). W niektórych przypadkach dokonano transformacji danych poprzez logarytmowanie.

WYNIKI I DYSKUSJA

Inicjalne poziomy organiczno-mineralne badanych gleb charakteryzowały się składem granulometrycznym z przewagą frakcji piasku (od 83 do 97%) i niewielkim udziałem frakcji pyłu (od 2 do 14%) oraz iłu (od 1 do 4%) oraz gęstością objętościową średnio od 1,63 do 1,66 g/cm³. Odczyn badanych poziomów był bardzo kwaśny i kwaśny (pH H₂O średnio od 4,4 w poziomie Olf na powierzchniach 20-letnich do 5,6 w

poziomie AC na powierzchniach 5 letnich (tab. 1). Poziom Olf miał niższe pH ponieważ sosna (*Pinus silvestris*) przez opad organiczny zakwasza środowisko glebowe [Obmiński 1970]. Jak stwierdzono w innych badaniach w przypadku dominacji w drzewostanach sosny (*Pinus sylvestris*) na terenach rekultywowanych próchnica gleb przechodzi stopniowo przemianę z typu moder do mor [Elgersma, 1998; Rumpel et al., 1999].

Inicjalny poziom organiczny Ai z zawartością minimum $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ nie wytworzył się jeszcze na powierzchniach najmłodszych, 5-letnich, na których stwierdzono występowanie poziomu AC z zawartością materii organicznej średnio $1,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Na powierzchniach 17-letnich stwierdzono występowanie poziomu Ai w 22 na 36 punktach. Na powierzchniach starszych, 20- i 25-letnich poziom Ai wystąpił we wszystkich punktach pomiarowych (tab. 1). Miąższość poziomu Ai na najstarszych 25-letnich powierzchniach osiągnęła średnio 1,9 cm a przyrost miąższości poziomu Ai był wolny i w przedziale od 17 do 25 lat i wyniósł średnio $0,08 \text{ cm/rok}$ (rys. 1). Statystycznie istotne różnice ($p < 0,05$) w miąższości poziomu Ai wystąpiły pomiędzy powierzchniami 25 i 17 letnimi. Wzrost miąższości poziomu Ai w czasie stwierdzano także pod drzewostanami sosnowymi na piaszczystych gruntach rekultywowanych (Dolnołużyckie Zagłębie Węglowe) [Rumpel et al., 1999] i na rekultywowanych terenach wyrobisk po eksploatacji piasków mineralnych na Florydzie w USA [Daniels et al., 1992].

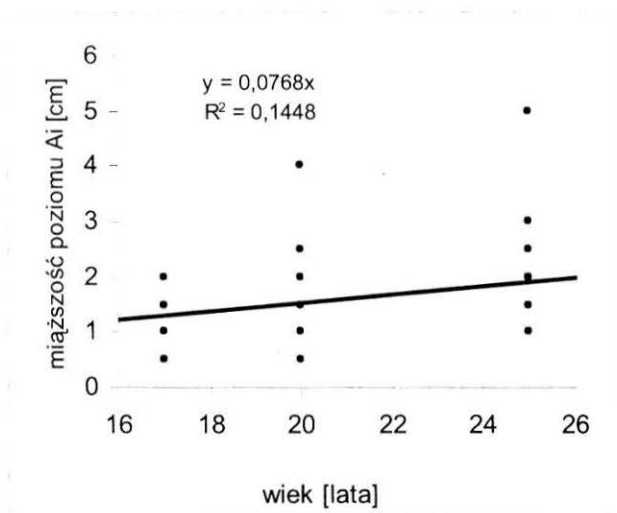
Zawartość węgla organicznego w stosunku do masy gleby w poziomie Ai w ciągu badanego okresu 20 lat wzrosła o $2,45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, jednak różnice w zawartości C_{org} pomiędzy badanymi grupami wiekowymi nie były jeszcze statystycznie istotne ($p < 0,05$). W badaniach niemieckich na terenach rekultywowanych (zagłębie Dolnołużyckie) stwierdzono znacznie wyższą zawartość węgla organicznego w wierzchnich poziomach gleb pod drzewostanami sosnowymi ($65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ w wieku 32 lat) [Rumpel et al., 1999], a w badaniach hiszpańskich średnio $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ C_{org} już w 5 roku od rozpoczęcia rekultywacji [Valera et al., 1993]. Na zwałowisku Sophienhöhe w Nadreńskim Zagłębiu Węgla Brunatnego zawartość C_{org} w glebach tworzących się pod zbiorowiskami z sukcesji wynosiła średnio $7,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Krzaklewski, dane niepublikowane]. Całkowita kumulacja węgla organicznego w poziomach Olf, Ai, AC osiągnęła na najstarszych powierzchniach ponad 9000 kg/ha i w ciągu 20 lat wzrosła o ponad 8600 kg/ha , przy czym najbardziej dynamiczny wzrost obserwowano w poziomie Olf (rys. 2). W badaniach niemieckich stwierdzono, że większość węgla organicznego pod drzewostanami sosnowymi do 17 lat kumulowana była w poziomie próchnicy nadkładowej, a w starszych 32 letnich głównie w poziomie Ai [Rumpel et al. 1999]. Tempo kumulacji węgla łącznie w poziomach organiczno-mineralnych (Ai, AC) badanych gleb wykazywało znaczną dynamikę i w ciągu 20 lat wyniosło średnio o 212 kg/ha/rok , a w przedziale wieku od 17 do 25 lat osiągnęła nawet 277 kg/ha/rok . Tempo kumulacji C_{org} w glebie na terenach pozostawionych sukcesji podawano na poziomie 131 kg/ha/rok [Wali, 1999], a na terenach rekultywowanych 282 kg/ha/rok [Anderson, 1977] i 256 kg/ha/rok [Nielsen i Schafer, 1979].

Zawartość azotu w stosunku do masy gleby w poziomie Ai wzrosła w ciągu 8 lat o około $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, jednak nie były to różnice statystycznie istotne ($p < 0,05$). Tempo kumulacji azotu w porównaniu do węgla organicznego było relatywnie niższe. Średnia

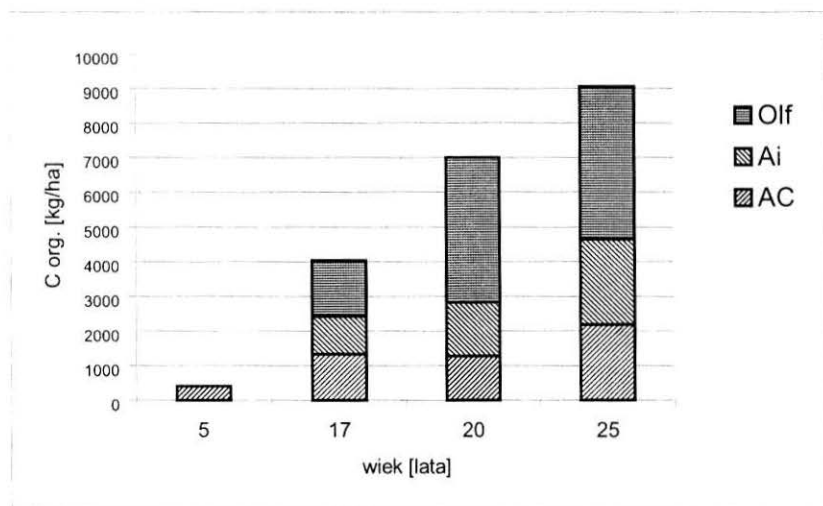
roczna kumulacja azotu łącznie w poziomach A_i , AC w ciągu 20 lat wyniosła 2,6 kg/ha/rok. Najwyższe tempo kumulacji N (23,2 kg/ha/rok) stwierdzono w przedziale 20 do 25 lat (rys. 3). W przypadku powierzchni 17-letnich zaobserwowano pewne zaburzenia związane prawdopodobnie z procesem mineralizacji azotu. Wzrost kumulacji azotu w wierzchnich poziomach gleb pod zbiorowiskami z sukcesji na terenach pogórnicznych podawali również Wali [1999], a dla terenów objętych rekultywacją Anderson [1977] i Leirós et al. [1996].

Stosunek C:N w inicjalnym poziomie A_i badanych gleb wykazywał trend wzrostowy w czasie i kształtował się średnio od około 14 (na powierzchniach 17 letnich) do 22 (na powierzchniach 20 letnich) (rys. 4). Statystycznie istotne różnice wystąpiły pomiędzy powierzchniami 25-letnimi i 17-letnimi oraz pomiędzy powierzchniami 17 i 20 letnimi. Na powierzchniach w przedziale 20 i 25 lat różnice te nie były statystycznie istotne. W poziomach organicznych Olf zaobserwowano szeroki i zróżnicowany zakres C:N (od 27 do 138). Średnie wartości C:N w poziomie Olf obniżały się w czasie od 64 na powierzchniach 17-letnich do około 37 na powierzchniach 25-letnich. Szeroki stosunek C:N w glebach inicjalnych może mieć związek ze spowolnioną dekompozycją biomasy produkowanej przez zbiorowiska roślinności pionierskiej [Schafer and Nielsen, 1979, Wali, 1999]. Przyjmuje się, że dla wystarczającego przebiegu procesu mineralizacji azotu na gruntach rekultywowanych, stosunek C:N powinien być niższy od 20–25.

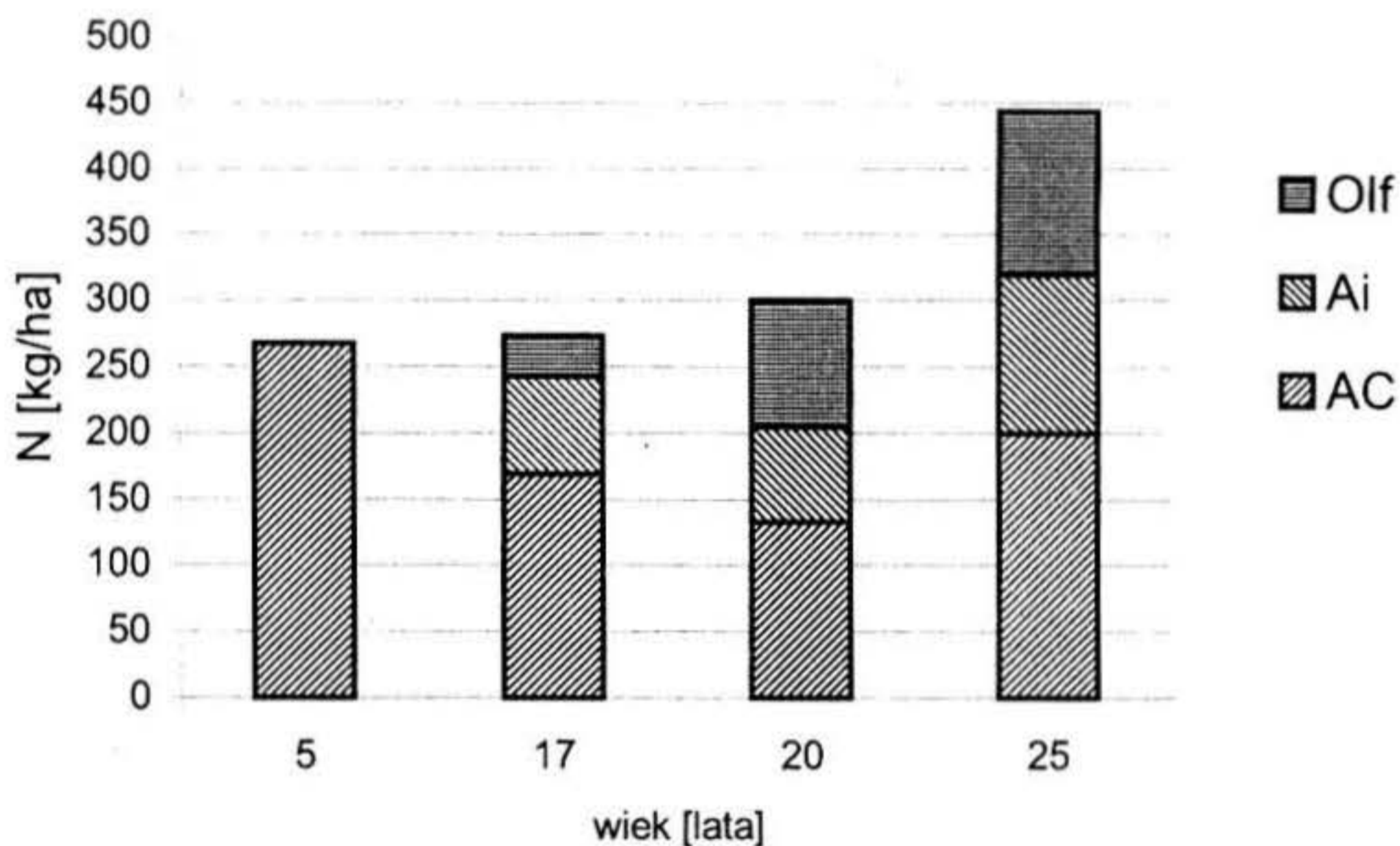
Analiza frakcyjna materii organicznej wykazała wzrost procentowego udziału węgla związanego z grupą kwasów huminowych i fulwowych w stosunku do węgla pozostałego w glebie po ekstrakcji (tab. 2), co związane było z poprawą procesów humifikacji materii organicznej. Stosunek kwasów huminowych do fulwowych przyjmował wartości poniżej 1 i nieznacznie rósł w czasie. Może to wskazywać na upodobnianie tworzącej się próchnicy do próchnic gleb bielicoziemnych [Kononowa, 1968; Dobrzański, Zawadzki, 1995]. Wzrost szybkości dekompozycji materii organicznej w glebach z postępem wieku stwierdzono również na rekultywowanych zwałowiskach w górnictwie węgla brunatnego [Rumpel et al., 1999]. Według Wójcika (2002) próchnica gleb piaszczystych pod 30 letnimi drzewostanami sosnowymi na rekultywowanym zwałowisku po wydobyciu węgla brunatnego charakteryzowała się dużą zawartością frakcji ruchomych związków próchnicznych oraz przewagą kwasów fulwowych nad kwasami huminowymi. Podobnie wysoki stosunek kwasów huminowych do fulwowych w materii organicznej na zwałowiskach po eksploatacji węgla brunatnego podawał Anderson [1977]. Oznaczenia gęstości optycznej kwasów huminowych jako stosunku ekstynkcji $E_{465}:E_{665}$ (tab. 2) wskazuje na wzrost kondensacji pierścieni aromatycznych, oraz postępującą w czasie rozbudowę ich struktury [Kononowa 1968]. Podobne wielkości ekstynkcji $E_{465}:E_{665}$ dla frakcji kwasów huminowych inicjalnych gleb w wieku 28 lat stwierdzał Anderson [1979]. Wójcik [2002] podawał wysoki stosunek $E_{465}:E_{665}$ kwasów huminowych w próchnicy gleb piaszczystych pod drzewostanami sosnowymi na zwałowisku po eksploatacji węgla brunatnego.



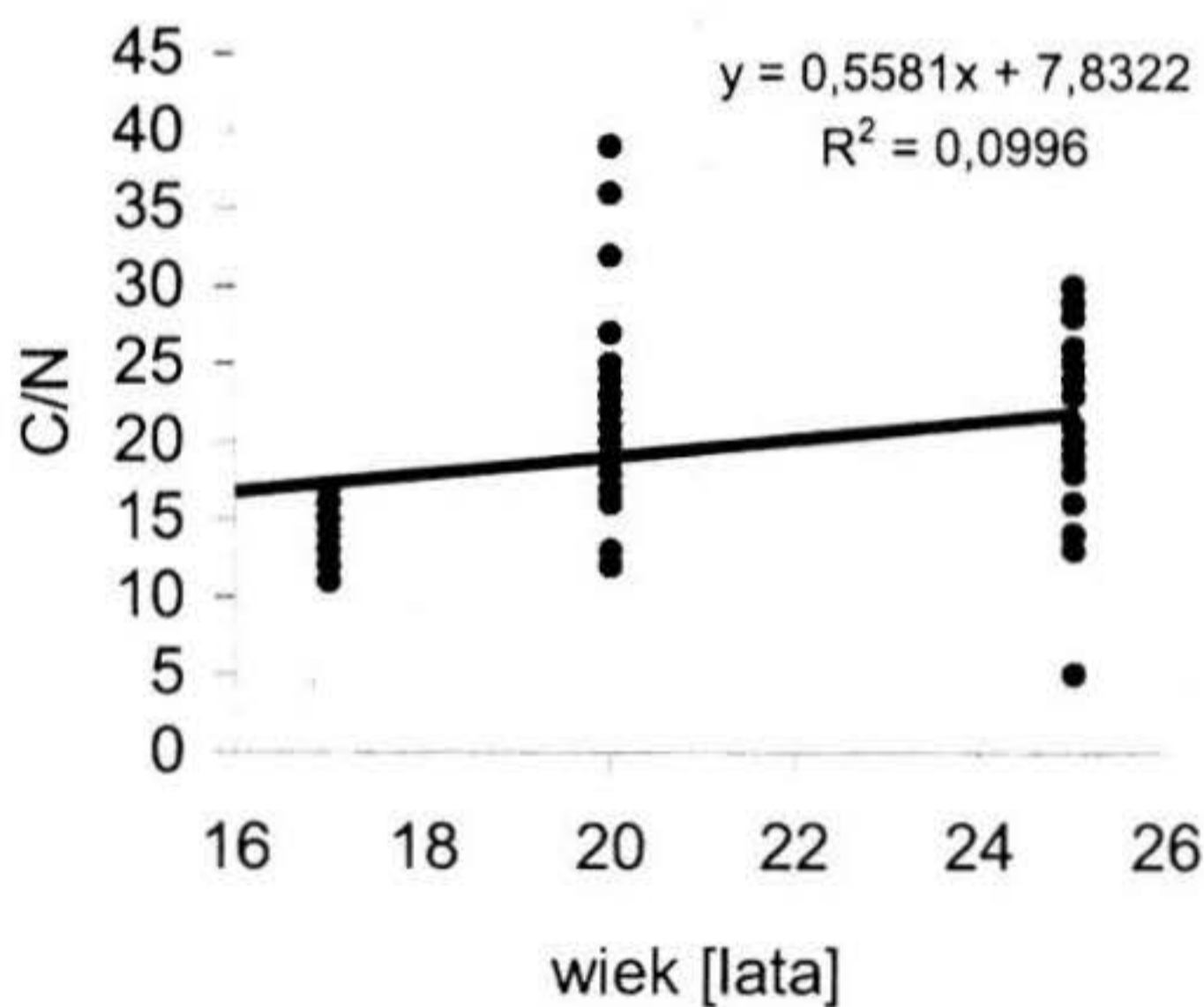
Rys. 1. Przyrost miąższości inicjalnego poziomu Ai w czasie pod zbiorowiskami z sukcesją na nierekultywowanych fragmentach wyrobiska KP „Szczakowa”



Rys. 2. Kumulacja węgla organicznego w poziomach Olf, Ai, AC w inicjalnych glebach powstających pod zbiorowiskami z sukcesji na nierekultywowanych fragmentach wyrobiska KP „Szczakowa”



Rys. 3. Kumulacja azotu ogólnego w poziomach Olf, Ai, AC w inicjalnych glebach powstających pod zbiorowiskami z sukcesji na nierekultywowanych fragmentach wyrobiska KP „Szczakowa”



Rys. 4. Zmiany stosunku C:N w czasie w inicjalnym poziomie akumulacji próchnicy pod zbiorowiskami z sukcesji na nierekultywowanych fragmentach wyrobiska KP „Szczakowa”

Tab. 1. Wybrane właściwości poziomów organicznych i organiczno-mineralnych inicjalnych gleb powstających pod zbiorowiskami z sukcesji na nerekultywowanych fragmentach wyrobiska KP „Szczakowa”

Wiek [lata]	n	Miąższność [cm]			pH H ₂ O			C _{org} [g kg ⁻¹]			Materia org. [g kg ⁻¹]			N _{og} [g kg ⁻¹]			C/N			
		średnia	odch. st.	zakres	średnia	odch. st.	zakres	średnia	odch. st.	zakres	średnia	odch. st.	zakres	średnia	odch. st.	zakres	średnia	odch. st.	zakres	
poziom Olf																				
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	12	0.83	0.64	0.5 3.0	4.51	0.37	4.0 5.4	449.6	45.8	367 503	775.1	790.0	632.0 867.0	8.3	3.6	3.5 16.7	64.1	30.3	28 138	
20	12	1.43	0.61	0.5 3.0	4.42	0.45	3.5 5.2	391.4	65.4	247 472	674.6	112.6	421.5 814.0	9.0	2.4	5.4 14.2	46.1	13.6	29 80	
25	12	1.79	0.81	0.5 3.5	5.13	0.46	4.3 5.7	390.6	103.6	326 495	673.4	178.6	290.0 854.0	10.9	3.2	4.5 17.0	36.8	7.9	27 55	
poziom Ai																				
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
17	22	1.23	0.40	0.5 2.0	5.05	0.28	4.7 5.8	5.47	1.91	2.90 10.90	9.4	3.3	5.0 19.0	3.7	1.3	0.02 0.72	14.3	1.7	11 17	
20	36	1.60	0.62	0.5 4.0	5.44	0.20	4.9 5.8	5.80	2.68	3.40 15.10	10.0	4.6	6.0 26.0	2.6	0.9	0.13 0.59	22.0	5.7	12 39	
25	36	1.90	0.73	1.0 5.0	5.42	0.48	4.4 6.4	7.92	5.12	2.90 26.6	13.7	8.8	5.0 46.0	3.9	2.3	0.15 1.20	20.7	5.2	5 30	
poziom AC																				
5	6	4	0.84	3.0 5.0	5.58	0.12	5.4 5.7	0.62	0.15	0.40 0.80	1.1	0.3	0.7 1.3	0.4	0.02	0.395 0.450	1.5	0.6	1 2	
17	33	5.06	3.07	1.0 12	5.49	0.29	5.0 6.1	1.61	0.52	0.60 20.8	2.8	0.9	1.0 4.8	0.2	0.04	0.137 0.291	7.7	1.8	4 11	
20	35	6.09	2.75	1.5 16	5.40	0.20	5.0 5.9	1.27	0.46	0.50 2.50	2.2	0.8	0.9 4.4	0.1	0.05	0.050 0.222	10.6	5.0	3 25	
25	36	7.58	2.83	4.0 14.0	5.41	0.41	4.7 6.3	1.77	0.56	0.60 2.70	3.1	1.0	1.0 4.7	0.2	0.05	0.065 0.261	11.4	2.9	5 18	

* - nie stwierdzono występowania poziomu

Tab. 2. Wybrane właściwości materii organicznej ekstrahowanej z poziomu A_i inicjalnych gleb powstających pod zbiorowiskami z sukcesji na niereaktywowanych fragmentach wyrobiska KP „Szcakowa”

Wiek [lata]	C _{org} w glebie [%]	C _H + C _F / C _{org} [%]	C _H [%]	C _F [%]	C _H / C _F	E ₄ : E ₆ / H
16	0.55	23.7	9.1	14.6	0.6	2.9
22	0.58	21.9	8.6	13.3	0.7	3.1
24	0.79	30.2	12.0	18.2	0.8	4.3

C_H – węgiel kwasów huminowych; C_F – węgiel kwasów fulwowych; n = 3

PODSUMOWANIE

1. Miąższość inicjalnego poziomu A_i rosła w czasie, a różnice pomiędzy powierzchniami 17- i 25-letnimi były statystycznie istotne.
2. Najbardziej dynamiczny wzrost kumulacji materii organicznej i węgla obserwowano w warstwie próchnicy nadkładowej, a najwyższa wartość kumulacji wystąpiła na powierzchniach najstarszych (25-letnich).
3. Kumulacja azotu ogólnego w porównaniu do węgla organicznego miała relatywnie niższą dynamikę, jednak całkowita kumulacja azotu w poziomach organicznych i organiczno-mineralnych wykazywała również tendencję wzrostową w czasie.
4. Stosunek kwasów huminowych do fulwowych może wskazywać na upodobnianie tworzącej się próchnicy do próchnic gleb bielicoziemnych.
5. W poziomach organicznych Olf zaobserwowano szeroki i zróżnicowany stosunek C:N, jednak ogólnie średnie wartości C:N obniżały się w czasie. W poziomie A_i stosunek C:N badanych gleb wykazywał trend wzrostowy.
6. Można przypuszczać, że tworząca się próchnica badanych gleb będzie się upodabniać do typu moder, a w przypadku znacznej dominacji sosny zwyczajnej w drzewostanie do typu mor.

LITERATURA

- ANDERSON D. W., 1977: Early stages of soil formation on glacial till mine spoils in a semi-arid climate, *Geoderma* 19, s. 11-19.
- BRAUN-BLANQUET J., 1951: *Pflanzensoziologie*. (Zweite Auflage), Springer-Verlag Wien, s. 58 - 62.
- BURT R., ALEXANDER E. B., 1996: Soil development on moraines of Mendenhall Glacier, southeast Alaska. 2. Chemical transformations and soil micromorphology. *Geoderma* 72, 19-36.
- DANIELS W. L., GENTHNER M. H., HODGES R. L., 1992: Soil development in sandy tailings derived from mineral sands mining in Florida. Proceedings National Meeting of the American Society for Surface Mining and Reclamation, Duluth, MN, June 14-18, 1992. ASSMR, Lexington, 37-47.

- DE KOVEL C. G. F., VAN MIERLO A. (J) E. M., WILMS Y. J. O., BERENDSE F., 2000: Carbon and nitrogen in soil and vegetation at sites differing in successional age. *Plant Ecology* 149 (1), 43–50.
- DICKSON B. A., CROCKER R. L., 1954: A chronosequence of soil and vegetation near Mt. Shasta, California. III. Some properties of mineral soil. *J. Soil Sci.* 5, 173–191.
- DOBRZAŃSKI B., ZAWADZKI S., 1995: *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa, s. 228.
- ELGERSMA A. M., 1998: Primary forest succession on poor sandy soil as related to site factors. *Biodivers. Conserv.* 7, 193–206.
- 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 and Soil* 213, 55–61.
- GILEWSKA S., 1972: Wyżyny Śląsko-Małopolskie. [w:] *Geomorfologia Polski, Polska Południowa Góry i Wyżyny* Vol I, pod red. M Klimaszewskiego, s. 232. PWN, Warszawa.
- HOBBIE E. A., MACKO S. A., SHUGART H. H., 1998: Patterns in N dynamics and N isotopes during primary succession Glacier Bay, Alaska. *Chemical Geology* 152, 3–1.
- INSAM H., DOMSCH K. H., 1988: Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microb. Ecol.* 15, 177–188.
- JOCHIMSEN M. E. A., 1996: Reclamation of colliery mine spoil founded on natural succession, *Water, Air and Soil Pollution* 91, 99–108.
- KONONOWA M., 1968: *Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań*. PWRiL, Warszawa, ss. 273.
- KRZAKLEWSKI W., FRĄCZEK M., 1999: Metoda rekultywacji leśnej starych wyrobisk popiaskowych z wykorzystaniem roślinności z sukcesji samorzutnej. Materiały konf. "Górnictwo Odkrywkowe – Środowisko – Rekultywacja, ze szczególnym uwzględnieniem KWB Bełchatów". Vol 1. S. C. Drukrol, Kraków, 111–127.
- LEIRÓS M. C., GIL-SOTRES F., TRASAR-CEPEDA M. C., SAA A., SEOANE S., 1996: Soil recovery at the Meirema opencast lignite mine in northwest Spain: a comparison of the effectiveness of cattle slurry and inorganic fertilizer. *Water, Air and Soil Pollution* 91, 109–124.
- LEWANDOWSKI J., ZIELIŃSKI T., 1990: Wiek i geneza osadów kopalnej doliny Białej Przemszy. *Biul. Państw. Instyt. Geol.* 364.
- LITTLE I. P. and WARD W. T., 1981: Chemical and mineralogical trends in a chronosequence developed on alluvium in Eastern Victoria, Australia. *Geoderma* 25, 173–188.
- OBIŃSKI Z., 1970: *Zarys ekologii*. [w:] *Nasze drzewa leśne, Monografie popularnonaukowe, Sosna zwyczajna (Pinus silvestris L.)* Vol 1. pod red. S. Białobok. PWN, Warszawa-Poznań, 203–231.
- PIETCH W. H. O., 1996: Recolonization and development of vegetation on mine spoils following brown coal mining in Lusatia. *Water, Air and Soil Pollution* 91, 1–15.

- PROSSER I. P., ROSEBY S. J., 1995: A chronosequence of rapid leaching of mixed podzol soil materials following sand mining. *Geoderma* 64, 297–308.
- 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 and Soil* 213, 161–168.
- SCHAFFER W. M., NIELSEN G. A., 1979: Soil development and plant succession on 1- to 50-year old strip mine spoils in southeastern Montana, w: *Ecology and Coal resource Development*, red. Wali M. K., Vol 2, s. 541-649. Pergamon Press, New York, NY, USA.
- SYERS J. K., CAMPBELL A. S., WALKER T. W., 1970: *Contribution of organic carbon and clay to cation exchange capacity in a chronosequence of sandy soils.* *Plant and Soil* 33, 104–112.
- UGGLA H., 1965: *Gleboznawstwo leśne szczegółowe.* PWRiL, Warszawa. 31 pp.
- VALERA C., VASQUEZ C., GONZALEZ-SENGREGORIO M., LEIRTOS M. C., GIL-SOTRES F., 1993: Chemical and physical properties of opencast lignite minesoils. *Soil Science* 156, 193-204.
- WALI M. K., 1999: Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213, s. 195-220.
- WALI M. K., FREEMAN P. G., 1973: Ecology of some mined areas in North Dakota, w: *Some Environmental Aspects of Strip mining in North Dakota*, (red.) Wali M. K, s. 25-47. Education Series 5. North Dakota Geological Survey, Grand Forks, ND, USA.
- WEST T. O., WALI M. K., 2002: Modeling regional carbon dynamics and soil erosion in disturbed and rehabilitated ecosystems as affected by land use and climate. *Water, Air and Soil Pollution* 138, 41–163.
- WISZNIEWSKI W., CHEŁCHOWSKI W., 1975: *Charakterystyka klimatu i regionalizacja klimatologiczna Polski.* IMiGW. Warszawa.
- WÓJCIK J., 2002: Biodynamiczna metoda rekultywacji leśnej na przykładzie zboczy zwałowiska KWB Adamów. Maszynopis pracy doktorskiej. AGH, Kraków, s. 67.
- WÓJCIK J., KRZAKLEWSKI W., 1999: Kształtowanie się cech inicjalnej gleby w toku leśnej rekultywacji zwałowiska zewnętrznego KWB Adamów. Materiały konf. "Górnictwo Odkrywkowe – Środowisko – Rekultywacja, ze szczególnym uwzględnieniem KWB Bełchatów". Vol 1. S. C. Drukrol, Kraków, 95-109.

*Praca Naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych
w latach 2003 - 2005 jako projekt badawczy Nr 3P06S03925*