

Stanisław Kowalik*, Jerzy Wójcik*

Symptomy rozwoju procesu glebotwórczego pod młodymi zalesieniami rekultywacyjnymi na spażu wyrobiska Kopalni Piasku „Szczakowa”**

1. Wstęp

Rekultywacja leśna pogórnich terenów bezglebowych w Polsce obejmuje szerokie spektrum gruntów zróżnicowanych zarówno pod względem składu ziarnowego, jak i właściwości chemicznych. Była realizowana m.in. na utworach bardzo ciężkich, lecz o korzystnym chemizmie na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Siarki „Machów”, ciężkich i kwaśnych utworach zwałowisk KWB „Turów”, na ogół średnio zwięzłych i o dobrych właściwościach chemicznych utworach w KWB „Konin”, urozmaiconych pod względem uziarnienia i chemizmu gruntach zwałowisk KWB „Bełchatów” i KWB „Adamów” oraz na luźnych piaskach terenów poeksploatacyjnych kopalń piasku [2, 3, 5, 6, 11, 12, 14, 15].

Dynamika procesu glebotwórczego na rekultywowanych metodami biologicznymi w kierunku leśnym i rolnym terenach bezglebowych w bardzo dużym stopniu zależy od stosunków wodno-powietrznych i właściwości chemicznych gruntu, w tym szczególnie odczynu i zasobności w składniki pokarmowe. W glebach wykształconych wadliwość skały macierzystej w tym zakresie jest łagodzona proporcjonalnie do zawartości w nich i jakości związków próchnicznych oraz typu struktury agregatowej, natomiast w przypadku objętych rekultywacją gruntów surowych zapewnienie wprowadzonym roślinom warunków wzrostu i rozwoju wymaga zastosowania odpowiednich zabiegów rekultywacyjnych.

W miarę postępu procesu glebotwórczego, którego miarą jest przede wszystkim akumulacja substancji organicznej, następuje poprawa stosunków wodno-powietrznych i właściwości chemicznych. Inicjalna gleba osiąga coraz większą równo-

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Praca wykonana w ramach badań statutowych w AGH, nr umowy 11.11.150.171

wagę chemiczną i biologiczną, stając się coraz sprawniejszym (efektywniejszym) komponentem ekosystemów leśnych lub rolnych [3, 4, 5, 10, 14].

Dynamiczny przyrost zasobów materii organicznej jest szczególnie ważny w przypadku gruntów „surowych” o składzie piasków luźnych. Grunty takie charakteryzują się znikomymi zdolnościami retencyjnymi i sorpcyjnymi i jedynie odpowiednia zawartość szumifikowanej substancji organicznej może nieco złagodzić te skrajnie wadliwe właściwości [1, 13, 15].

Celem podjętych badań było określenie symptomów zmian właściwości chemicznych inicjalnej gleby tworzącej się z piasku luźnego pod monokulturami modrzewia europejskiego i sosny zwyczajnej. Za główny wskaźnik postępującego procesu glebotwórczego przyjęto wzrost zasobności gleby w substancję organiczną i azot.

2. Obiekt i metodyka badań

Kopalnia Piasku „Szczakowa” na potrzeby swojej działalności przejęła ponad 3200 ha gruntów, głównie terenów leśnych. Występowały tu głównie gleby bielico-we i bielice wytworzone z piasków luźnych lub słabogliniastych, klasy VI, współtworzące ubogie siedliska borów świeżych, niekiedy suchych, z drzewostanem sosnowym, lokalnie z niewielką domieszką brzozy. Wyrobiska, po zakończeniu eksploatacji, są formowane w postaci zagłębionej, w stosunku do otaczającego terenu, czaszy o wyrównanym, w przybliżeniu poziomym spągu oraz otaczających go skarp, nachylnych w stosunku 1:3,5 lub 1:4 [9, 11].

Do badań wytypowano powierzchnie spągu wyrobiska na Polu I, które po wykonaniu zabiegów rekultywacyjnych zostały zalesione w 1994 r. jednogatunkowymi nasadzeniami modrzewia i sosny. Powierzchnie te występują w niedalekiej odległości od siebie i są praktycznie płaskie, posiadają bardzo zbliżone warunki gruntowe i wodne – do głębokości 90 cm występuje wyłącznie piasek luźny, a poziom wody gruntowej w okresie jesieni kształtował się na głębokości 70÷90 cm.

Cykl zabiegów rekultywacyjnych na spągu obejmował: niwelację powierzchni, wybudowanie sieci rowów otwartych regulujących nieco poziom wody gruntowej, nawiezenie i przemieszanie z przypowierzchniową warstwą 300 m³/ha humusu leśnego pozyskanego z terenów przygotowywanych do eksploatacji, obsiew powierzchni łubinem żółtym w okresie 2 lat i przyoranie jego biomasy, przeprowadzenie nasadzeń leśnych [11].

Na powierzchniach badawczych nastąpiło już, kilka lat temu, zwarcie koron drzew, przy czym w przypadku modrzewia występują lokalne prześwietlenia. W miejscach prześwietlonych rozciągają się płaty mchów. Po 10 latach wzrostu modrzew wykazuje znaczne zróżnicowanie parametrów wzrostowych: od 1,5 do

8 m wysokości (średnio 4,4 m) oraz od 1,2 do 8,8 cm pierśnicy (średnio 4,2 cm). Parametry wzrostowe sosny są bardziej wyrównane – wysokość drzew wynosi średnio 3,9 m ($3,0 \div 6,0$ m), a pierśnica 3,9 cm ($2,7 \div 7,2$ cm).

Badania gleboznawcze przeprowadzono jesienią 2003 r. po 10 okresach wegetacyjnych od wykonania nasadzeń. W kwaterach modrzewia wykonano sześć odkrywek do głębokości 90 cm (poziom wody gruntowej), a w kwaterach sosny cztery odkrywki takiej samej głębokości. Do badań laboratoryjnych pobrano próchnicę nadkładową (Olfh) oraz grunt z warstw $0 \div 10$ cm, $10 \div 30$ cm, $30 \div 50$ cm i $50 \div 70$ cm.

Laboratoryjnie oznaczono:

- w ściocie: suchą masę metodą suszarkową i zawartość materii organicznej metodą prażenia;
- w ściocie i gruncie mineralnym: pH metodą potencjometryczną, C org. metodą Tiurina, N og. metodą Kiejldahla;
- w gruncie mineralnym: skład ziarnowy metodą Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, przewodność elektrolityczną właściwą metodą konduktometryczną przy stosunku grunt : woda wynoszącym 1:5, kwasowość hydrolityczną metodą Kappena, zawartość zasadowych kationów wymiennych w 1 M octanie amonu, przyswajalny P i K metodą Egnera-Riehma, przyswajalny Mg metodą Schachtschabela.

3. Omówienie wyników i dyskusja

W profilu glebowym do głębokości 70 cm, zarówno w obrębie powierzchni porośniętej modrzewiem, jak i sosną, występuje grunt jednorodny pod względem składu ziarnowego – piaski luźne, często o zerowej zawartości ilu koloidalnego (tab. 1). Mineralna część fazy stałej gleby wytworzonej z takich utworów właściwie nie posiada zdolności sorpcyjnych i retencyjnych. Niewielką pojemność sorpcyjną gleby takiego gatunku mogą nabyć tylko dzięki wzbogaceniu się w substancję organiczną, w tym zwłaszcza w swoiste związki próchniczne [10, 15, 16, 17]. Stąd w procesie rekultywacji gruntów, na objętej badaniami powierzchni, podjęto działania wzbogacające je w materię organiczną poprzez zastosowanie $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ naturalnego humusu leśnego oraz przyoranie biomasy łubinu żółtego. Rozkładane substancje organiczne, zwłaszcza przyoranej biomasy łubinu, były także źródłem składników pokarmowych dla roślin, szczególnie zaś nie występującego w surowym gruncie azotu. W bardzo lekkich, „surowych” gruntach piaszczystych wprowadzone substancje organiczne stanowiły zatem bardzo cenny materiał użyźniający oraz inicjujący i stymulujący procesy glebotwórcze i siedliskotwórcze. Wielu autorów [3, 4, 8, 14, 16] podkreśla jednak, że najwartościowszą dla żyzności gleby jest próchnica wytworzona *in situ*, powiązana z warunkami siedliskowymi i występującą roślinnością.

Tabela 1. Skład granulometryczny utworów w profilu inicjalnej gleby na zrehabilitowanym i zalesionym w 1994 r. spągu Kopalni Piasku „Szczakowa” – 2003 r.

Głębokość [cm]	Przedziały wartości procentowego udziału cząstek o średnicy [mm]					
	1,0÷0÷1	0,1÷0,05	0,05÷0,02	0,02÷0,005	0,005÷0,002	< 0,002
Gleba spod modrzewia						
0÷10	92÷96	0÷3	0÷2	0÷3	0÷1	0÷1
10÷30	92÷95	0÷2	0÷2	0÷3	0÷1	0÷1
30÷50	96÷98	0÷1	0÷1	0÷2	0÷1	0
50÷70	93÷97	1÷7	0÷1	0÷2	0÷2	0
Gleba spod sosny						
0÷10	93÷97	1÷2	0÷1	0÷1	0÷1	0÷1
10÷30	95÷98	1÷2	0÷1	0÷1	0÷1	0÷1
30÷50	96÷98	0÷2	0	0÷2	0÷2	0
50÷70	94÷98	0÷1	0÷1	1÷2	0÷1	0÷1

Po 10 latach od wykonania rekultywacji technicznej i zalesienia objętej badaniami powierzchni zaznaczyło się czytelne zróżnicowanie morfologiczne profilu glebowego, związane głównie z akumulacją substancji organicznej powstałej *in situ*. Na powierzchni gleby, zarówno pod modrzewiem, jak i sosną zwyczajną, odłożyła się warstewka próchnicy nadkładowej (ścioly) o miąższości około 1 cm i masie rzędu 6÷15 t/ha (tab. 2). Dwukrotnie większe zasoby próchnicy nadkładowej stwierdzono pod sosną, natomiast zawarte w niej zasoby materii organicznej (oznaczonej metodą prażenia) oraz C org. i N og. kształtowały się na zbliżonym poziomie na obydwu powierzchniach. Próchnica nadkładowa modrzewia charakteryzowała się zatem około dwukrotnie wyższą zawartością C org. i N og. oraz węższym stosunkiem C:N.

Tabela 2. Masa ścioly i zawarte w niej zasoby substancji org. oraz C i N na zrehabilitowanym i zalesionym w 1994 r. spągu Kopalni Piasku „Szczakowa” – 2003 r.

Powierzchnia	Masa [kg/ha]			
	ścioly	w ściolie		
		materii org.*	C org.	N og.
Modrzew europejski	6393	3450	1284	43,47
Sosna pospolita	14625	2914	1543	38,41

* na podstawie strat prażenia

Obraz morfologiczny mineralnej części profilu obydwu badanych gleb wykazywał tylko nieznaczne zróżnicowanie – bezpośrednio pod warstewką próchnicy nadkładowej zaznaczył się cienki, zaledwie kilkucentymetrowej miąższości i o nieco ciemniejszym zabarwieniu inicjalny poziom próchniczny. Zawartość C org. w przypowierzchniowej dziesięciocentymetrowej warstwie mineralnej obejmującej ten poziom, w przypadku obydwu gleb, była kilkakrotnie wyższa niż w warstwach głębszych, w niewielkim stopniu dotyczy to także zawartości N og. Porównanie obydwu badanych gleb pod względem zawartości tych składników wskazuje, że gleba spod sosny do głębokości 30 cm charakteryzuje się dwukrotnie wyższą zawartością C org. i nieznacznie wyższą N og. w stosunku do gleby spod modrzewia. Występuje tu zatem inna zależność niż w przypadku próchnicy nadkładowej (tab. 3).

Tabela 3. Podstawowe właściwości chemiczne utworów w profilu inicjalnych gleb na zreultywowanym i zalesionym w 1994 r. spągu Kopalni Piasku „Szczakowa” – 2003 r.

Badane warstwy [cm]	pH		PEW	C org.	N og.	C/N
	H ₂ O	KCl	[μS/cm]	[%]		
Gleba spod modrzewia						
Olfh	4,7 (4,5÷5,0)	3,9 (3,8÷4,0)	n.o.	20,08	0,680	29,5
0÷10	5,3 (5,1÷5,5)	4,5 (4,4÷4,8)	14 (10÷22)	0,135	0,027	5,0
10÷30	6,0 (5,2÷6,9)	5,2 (4,3÷6,2)	17 (10÷30)	0,035	0,023	1,5
30÷50	6,1 (5,3÷6,7)	5,7 (4,5÷6,4)	14 (10÷20)	0,044	0,024	2,0
50÷70	6,2 (6,0÷6,5)	5,9 (5,4÷6,3)	15 (10÷20)	n.o.	n.o.	–
Gleba spod sosny						
Olfh	4,7 (4,5÷4,9)	4,3 (4,2÷4,4)	n.o.	10,55	0,263	40,0
0÷10	4,9 (4,7÷5,1)	4,3 (4,2÷4,5)	10 (10÷10)	0,230	0,034	6,5
10÷30	5,3 (5,0÷5,7)	4,7 (4,4÷5,2)	15 (10÷20)	0,064	0,030	2,0
30÷50	5,5 (5,2÷5,8)	5,1 (4,5÷5,7)	10 (10÷10)	0,0246	0,021	1,0
50÷70	6,0 (5,7÷6,2)	5,8 (5,4÷6,0)	13 (10÷20)	n.o.	n.o.	–

Badania Węgorka [16], a także obserwacje własne wskazują, że różnice te mogą wynikać zarówno z cech gatunkowych drzewostanów, jak również ze znacznie mniejszej więźby modrzewia i w związku z tym lepszego naświetlenia i bezpośredniego uwilgotnienia jego ścióły podczas opadów. Czynniki te mają wpływ na tempo i kierunek przemian szczątków roślinnych.

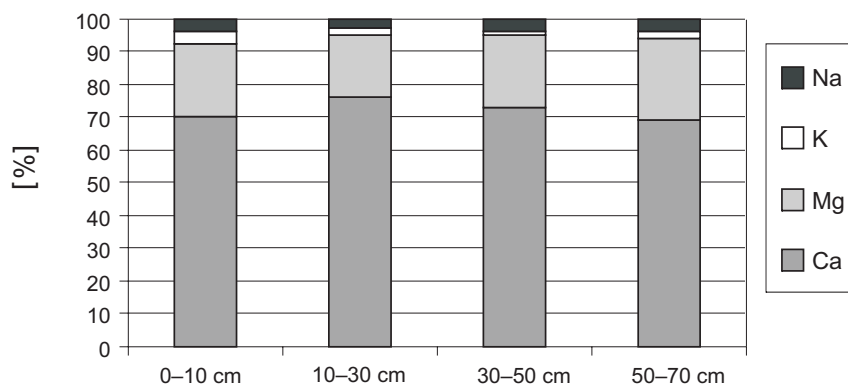
Istotne zróżnicowanie w profilu glebowym obydwu powierzchni wystąpiło także w przypadku odczynu. Stwierdzono jednoznaczny wzrostowy trend wartości pH w głąb profilów obydwu gleb (tab. 3). Próchnica nadkładowa zarówno modrzewia, jak i sosny wykazuje zbliżony, silnie kwaśny odczyn. Tylko minimalnie mniejsze zakwaszenie stwierdzono w dziesięciocentymetrowej warstwie mineralnej zalegającej bezpośrednio pod warstwą organiczną obydwu drzewostanów. W głąb profilu wartości pH w KCl rosną od 4,3÷4,5 w przypowierzchniowej warstwie mineralnej do prawie 6,0 na głębokości 50÷70 cm. Takim właśnie, lekko kwaśnym odczynem charakteryzują się najczęściej grunty spągu wyrobiska przed rozpoczęciem rekultywacji [6, 7]. Występuje tu zatem jednoznaczne zakwaszanie się warstw przypowierzchniowych, związane głównie z akumulacją i przemianami substancji organicznej. Pod tym względem nie stwierdzono różnic pomiędzy badanymi glebami.

Proces znacznego obniżenia się pH przypowierzchniowych warstw mineralnych nie może dziwić w kontekście minimalnej pojemności kompleksu sorpcji wymiennej, oscylującej w całym profilu wokół wartości 1 cmol(+)/kg (tab. 4).

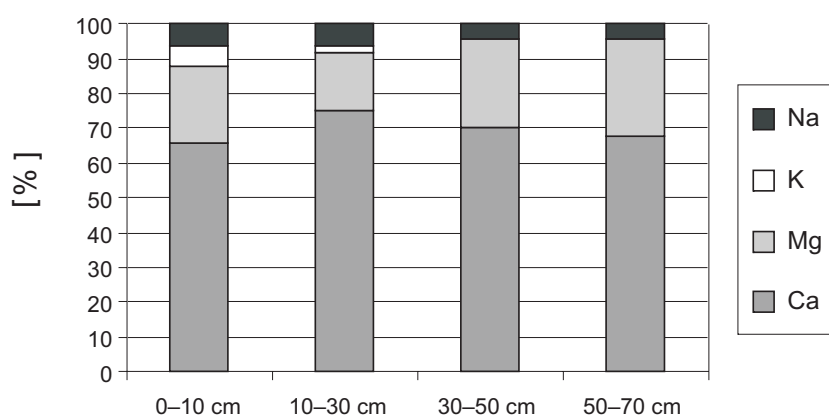
Tabela 4. Parametry kompleksu sorpcyjnego inicjalnych gleb na zrekultywowanym i zalesionym w 1994 r. spągu Kopalni Piasku „Szczakowa” – 2003 r.

Badane warstwy [cm]	Hh	Składniki rozpuszczalne w CH ₃ COONH ₄				S	T	V
		Ca	Mg	K	Na			
[cmol(+)/kg]								[%]
Gleba spod modrzewia								
0÷10	0,87	0,35	0,11	0,02	0,02	0,50	1,37	36,5
10÷30	0,70	0,47	0,12	0,01	0,02	0,62	1,32	47,0
30÷50	0,37	0,33	0,10	0,00	0,02	0,45	0,82	54,9
50÷70	0,30	0,41	0,15	0,01	0,02	0,59	0,89	66,3
Gleba spod sosny								
0÷10	1,30	0,20	0,07	0,02	0,02	0,31	1,61	19,3
10÷30	0,73	0,36	0,08	0,01	0,03	0,48	1,21	39,7
30÷50	0,50	0,32	0,12	0,00	0,02	0,46	0,96	47,9
50÷70	0,30	0,39	0,16	0,00	0,02	0,57	0,87	65,5

Analiza parametrów KSW pozwala jednak dostrzec wyraźny wpływ na właściwości chemiczne inicjalnej gleby tworzącego się poziomu próchnicznego, a także płytko zalegającej, wody gruntowej. Poziomy przypowierzchniowe 0÷10 i 10÷30 cm charakteryzują się wyraźnie wyższą pojemnością kompleksu sorpcji wymiennej, przy zbliżonym w całym profilu poziomie sumy zasad, co przekłada się na ich niższy stopień wysycenia zasadami. Właściwości te w obydwu glebach układają się proporcjonalnie do zawartości C org. w gruncie. Nieco inaczej przedstawia się sytuacja w najgłębszej z badanych warstw 50÷70 cm, w której przy niskiej pojemności kompleksu sorpcyjnego, występuje najwyższy stopień wysycenia zasadami – ponad 65%. We wszystkich warstwach mineralnych obydwu gleb największy udział w sumie zasad ma Ca – około 70%, następnie Mg – około 20%, K i Na od 1 do 4% (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Udział składników w sumie zasad w glebie spod modrzewia



Rys. 2. Udział składników w sumie zasad w glebie spod sosny

Skutkiem powyższych właściwości tworzących się gleb jest ich głębokie ubóstwo we wszystkie badane składniki pokarmowe roślin. Dane zawarte w tabeli 5 wskazują na skrajne niedobory przyswajalnego fosforu w całym profilu obydwu gleb. Wynika to zarówno z bardzo niskiej jego naturalnej zawartości, jak również z warunków sprzyjających jego retrogradacji. Przyswajalny magnez natomiast, przy ogólnym bardzo niskim poziomie jego zawartości, występuje w dwukrotnie większej ilości w warstwie 50÷70 cm, zalegającej bezpośrednio nad lustrem wody gruntowej. Stosunkowo płytko zalegająca ruchoma woda gruntowa jest zatem nie tylko źródłem wilgoci dla korzeni drzew, ale także niektórych składników pokarmowych [7, 9, 11]. Na dużą korzystną rolę wody gruntowej w kształtowaniu się siedliska badanych powierzchni wskazują także dobre parametry wzrostowe zarówno modrzewia, jak i sosny.

Tabela 5. Zawartość składników przyswajalnych w inicjalnej glebie na zrekultywowanym i zalesionym w 1994 r. spągu Kopalni Piasku „Szczakowa” – 2003 r.

Głębokość [cm]	Zawartość [mg/100 g]		
	P	K	Mg
Gleba spod modrzewia			
0÷10	sl*	0,98	1,07
10÷30	sl	0,68	1,13
30÷50	sl	0,45	1,07
50÷70	sl	0,73	1,87
Gleba spod sosny			
0÷10	sl	1,86	0,80
10÷30	sl	1,02	0,97
30÷50	sl	0,68	1,30
50÷70	sl	0,58	1,80

* sl - ilości śladowe

4. Wnioski

1. Drzewostany sosnowe i modrzewiowe znajdują na zrekultywowanym spągu wyrobiska kopalni piasku dość dobre warunki wzrostu, mimo że podłoże gruntowe posiada skład piasku luźnego, a to za sprawą płytko zalegającej wody gruntowej.
2. Dziesięcioletni okres wzrostu zalesień przyczynił się do wyraźnych zmian niektórych właściwości inicjalnej gleby. Dotyczą one szczególnie wzrostu zasobności w materię organiczną i azot oraz zakwaszania się warstw przypowierzchniowych.

3. Gleba spod sosny charakteryzuje się większą niż spod modrzewia masą próchnicy nadkładowej, lecz o mniejszej zawartości C org. i N og., wykazuje także wyższą zawartość substancji organicznej w przypowierzchniowej warstwie mineralnej.

Literatura

- [1] Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojka U., Prusinkiewicz Z.: *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN 2004
- [2] Bykov R.: *Litologiczne i morfologiczne uwarunkowania procesów glebowych na terenie zrehabilitowanego zwałowiska Zewnętrznej Kopalni Siarki „Piaseczno”*. Kraków, WGGiŚ AGH 2003 (praca doktorska)
- [3] Gilewska M.: *Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnich na przykładzie KWB „Konin”*. Poznań, Rozprawy Naukowe, Roczniki AR, nr 211, 1991
- [4] Gołębiowska J., Bender J.: *Czynniki warunkujące powstawanie poziomu próchnicznego w procesie rekultywacji zwałowisk*. Arch. Ochr. Środowiska, 1-2, 1983, 65-75
- [5] Kowalik S.: *Właściwości chemiczne gleb przemysłowych użytkowanych rolniczo i leśnie na zrehabilitowanym zwałowisku Kopalni Siarki „Machów”*. Roczn. Gleb., t. LV, nr 2, 2004, 239-249
- [6] Krzaklewski W., Kowalik S., Wójcik J.: *Badania glebowo-siedliskowe oraz opracowanie wytycznych rekultywacji szczegółowej na wybranych powierzchniach w obrębie pola I i pola II Kopalni Piasku „Szczakowa”*. Archiwum Zakładu Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH 1997
- [7] Krzaklewski W., Kowalik S., Wójcik J., Kozłowski T.: *Operat glebowo-siedliskowy wraz z wytycznymi rekultywacji dla powierzchni 170 ha na polu Kopalni Piasku „Szczakowa” – sektor 3 (skarpa 3c/3b1)*. Kraków, Archiwum Zakładu Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH 1998
- [8] Mucha W., Sienkiewicz A., Cichocka I.: *Wpływ różnych sposobów przygotowania gleb w ekosystemie leśnym na przemiany materii organicznej*. Roczn. Gleb., t. XXXVII, nr 2-3, 1986
- [9] Pietrzykowski M.: *Charakterystyka gleb i roślinności na gruntach rekultywowanych oraz na powierzchniach pozostawionych wyłącznie procesowi sukcesji na przykładzie wyrobiska Kopalni Piasku „Szczakowa”*. Kraków, Wydział Leśny AR 2004 (rozprawa doktorska)
- [10] Pokojka U.: *Rola próchnicy w kształtowaniu odczynu, właściwości buforowych i pojemności jonowymiennej gleb leśnych*. Roczn. Gleb., t. XXXVII, nr 2-3, 1986

- [11] Ropka T., Wyparło H.: *Położenie geograficzne i przyrodniczo-leśne Kopalni Piasku „Szczakowa” S.A. Kopaliny*, nr 3–4, 2004
- [12] Rumpel C., Kögel-Knabner I., Hüttl R.F.: *Organic matter composition and degree of humification in lignite-rich mine soils under a chronosequence of pine*. *Plant and Soil*, 213, 1999, 161–168
- [13] Skawina T., Wąchalewski T.: *Powstawanie próchnicy w wyniku biologicznej rekultywacji gleb na terenach pogórnich*. XIX Ogólnopolski Zjazd Naukowy P. T. Gleb., Katowice – Kraków – Puławy 1972
- [14] Strzyszczyński Z.: *Bezglebowa metoda rekultywacji terenów przemysłowych w woj. śląskim – osiągnięcia i zagrożenia*. *Rocz. Gleb.*, t. LV, nr 2, 2004, 405–418
- [15] Węgorek T.: *Zmiany właściwości utworów piaszczystych na zwałowisku zewnętrznym kopalni siarki w wyniku rekultywacji leśnej*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 418, cz. II, 1995, 731–736
- [16] Węgorek T.: *Zmiany niektórych właściwości materiału ziemnego i rozwój fitocenozy na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Siarki w wyniku leśnej rekultywacji docelowej*. *Rozprawy Naukowe AR, Lublin, Wydawnictwo AR* 2003
- [17] Wójcik J.: *Biodynamiczna metoda leśnej rekultywacji na przykładzie zboczy zwałowiska Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”*. Kraków, Arch. ZKIOS AGH 2002 (rozprawa doktorska)