Acta Agrophysica, 2001, 57, 39-48

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE GLEBY ANTROPOGENICZNEJ REKULTYWOWANEJ OSADEM ŚCIEKOWYM

B. Kołodziej, M. Bryk

Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin; e-mail: bkolodz@consus.ar.lublin.pl

S t r e s z c z e n i e: Celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie wybranych właściwości fizycznych gleby antropogenicznej o niewykształconym profilu, rekultywowanej osadem ściekowym, występującej na terenie po otworowej eksploatacji siarki w Kopalni Jeziórko. Badany obszar wyrównano wapnem poflotacyjnym. Następnie wydzielono sześć obiektów poletek; na poletka 26 naniesiono osad ściekowy (od 100 do 500 m^3 ha^{-1}); poletko 1 stanowiło obiekt kontrolny i nie było rekultywowane osadem. Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że zastosowanie różnych dawek osadu nie spowodowało kierunkowych zmian badanych cech. Ponadto można przypuszczać, że dopiero wprowadzenie większych dawek osadu ściekowego mogłoby wywołać pozytywne, z przyrodniczego punktu widzenia, zmiany właściwości fizycznych gleby.

S ł o w a k l u c z o w e: gleba antropogeniczna, porowatość, gęstość, struktura.

WSTĘP

Gleba jest podstawowym elementem środowiska przyrodniczego, a jej właściwości, kształtowane pod wpływem działania procesu glebotwórczego, znajdują się w stanie równowagi dynamicznej. Naruszenie tej równowagi pociąga za sobą naj-częściej negatywne skutki [7]. Jednym z wielu przejawów deformacji środowiska jest pogłębiający się proces dewastacji gleb, powodowany między innymi przez górnictwo. Rodzajem działalności górniczej jest otworowa eksploatacja siarki, która powoduje szereg przekształceń środowiska przyrodniczego. Degradacja ta dotyczy nie tylko właściwości chemicznych, ale także fizycznych gleby, w tym jej struktury. Z tego powodu rekultywacja tak zmienionych terenów jest zadaniem złożonym i trudnym [3,4]. Do rekultywacji, a szczególnie zagospodarowania obszarów zdegradowanych, przydatne są osady ściekowe, zasobne w substancję organiczną oraz mineralne składniki nawozowe [1].

Celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie wybranych właściwości fizycznych gleby antropogenicznej o niewykształconym profilu, rekultywowanej osadem ściekowym, występującej na terenie po otworowej eksploatacji siarki w Kopalni Jeziórko.

MATERIAŁ I METODY

Przeprowadzono badania nad wykorzystaniem osadów ściekowych do rekultywacji terenów po kopalni siarki. W tym rejonie występowały wcześniej gleby piaszczyste zaliczane do IV,V i VI klasy bonitacyjnej. W latach 1994-1997 Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych prowadziło na tym obszarze doświadczenie z zastosowaniem osadu płynnego (wtórnie uwodnionego osadu ma-zistego) ze ścieków komunalnych do celów rekultywacyjnych. Pierwszym etapem prac było wyrównanie powierzchni wapnem poflotacyjnym, doprowadzonym systemem rurociągów z Kopalni Siarki Machów. Następnie wydzielono sześć obiektów poletek; pięć z nich (poletka 26) poddano rekultywacji, stosując dawki osadu ście-kowego: 100, 200, 300, 400 i 500 m^3 ha^{-1}. Osad pochodził z miejskiej oczyszczalni ścieków w Stalowej Woli. Poletko 1, które stanowiło obiekt kontrolny, nie było rekultywowane osadem. Płynny osad ściekowy wprowadzono jednorazowo na powierzchnię przy użyciu cysterny Terra-gator, po czym wymieszano z wierzchnią warstwą gleby (20 cm) za pomocą brony talerzowej. Na obszarze objętym eksperymentem założono trwały użytek zielony, wysiewając mieszankę traw łąkowych.

W celu określenia stanu fizycznego gleby w 1998 roku pobrano materiał do badań z warstw 0-10, 10-20 i 20-30 cm. Próbki o nienaruszonej strukturze, pobrane do metalowych cylindrów Kopeckyego o objętości 100 cm^3, posłużyły do scharakteryzowania gęstości i porowatości gleby. Z próbek pobranych do prostopadłościennych pudełek o wymiarach 894 cm sporządzono nieprzezroczyste zgłady, zgodnie z metodyką opisywaną wcześniej [6]. Wykorzystano je następnie do określenia struktury badanej gleby. Gęstość gleby wyznaczono metodą grawimetryczną ze stosunku masy gleby wysuszonej w temperaturze 105 °C do wyjściowej objętości gleby (100 cm^3), natomiast gęstość stałej fazy metodą piknometryczną. Wartości obu cech podano w Mg m^{-3}. Na podstawie rezultatów gęstości stałej fazy i gęstości gleby obliczono porowatość ogólną i wyrażono ją w $cm^3/100cm^3$. Dodatkowo w tabeli 1 podano zawartość węglanu wapnia (oznaczoną metodą Scheiblera) oraz zawartość węgla organicznego (oznaczoną dla próbek glebowych metodą Tiurina w modyfikacji Simakowa, a dla osadu ściekowego ze strat podczas prażenia w temperaturze 480 ^{o}C)..

Aby stwierdzić istotności różnic między rezultatami przeprowadzono analizę wariancji dla klasyfikacji pojedynczej (czynnik zmienności to dawka osadu lub warstwa) i podwójnej (uwzględniającej jednocześnie oba czynniki). Testy statystyczne prowadzone były na poziomie istotności α= 0,05.

Tabela 1. Zawartość węglanu wapnia i węgla organicznego w badanej glebie i osadzie ściekowym
Table 1. Content of calcium carbonate and organic carbon in the examined soil and sewage sludge

Obiekt (dawka osadu)	Warstwa	Zawartość węglanu wapnia (g/100 g)	Zawartość węgla organicznego (g/100 g)
Poletko 1 ($0\ m^3\ ha^{-1}$)	0-10	44,8	0,25
	10-20	55,4	0,21
	20-30	57,0	0,17
Poletko 2 ($100\ m^3\ ha^{-1}$)	0-10	28,5	0,22
	10-20	36,0	0,12
	20-30	40,7	0,13
Poletko 3 ($200\ m^3\ ha^{-1}$)	0-10	34,4	0,35
	10-20	50,6	0,43
	20-30	58,6	0,10
Poletko 4 ($300\ m^3\ ha^{-1}$)	0-10	57,4	0,15
	10-20	52,4	0,20
	20-30	32,5	0,12
Poletko 5 ($400\ m^3\ ha^{-1}$)	0-10	25,6	0,17
	10-20	43,7	0,13
	20-30	57,0	0,12
Poletko 6 ($500\ m^3\ ha^{-1}$)	0-10	43,6	0,39
	10-20	43,7	0,31
	20-30	62,4	0,29
Osad ściekowy	-	-	39,0

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki dotyczące analiz gęstości stałej fazy, gęstości oraz porowatości ogólnej badanej gleby przedstawiono w tabeli 2.

Stwierdzono stosunkowo wysokie wartości gęstości stałej fazy gleby. Najniższą wartość, 2,52 Mg m^{-3}, zanotowano na poletku 2 z dawką osadu 100 $m^{-3}\ ha^{-1}$, a najwyższą, 2,92 Mg m^{-3}, na poletku 5 (400 $m^3\ ha^{-1}$). Wartość gęstości stałej fazy gleby jest cechą stosunkowo niezmienną, można ją modyfikować jedynie przez wprowadzanie dużych ilości substancji organicznej. Po czterech latach od zastosowania osadu ściekowego nie zauważono takiej zależności, co może świadczyć o szybkiej mineralizacji osadu, bez względu na użytą dawkę. Na wysoką wartość tej cechy mogło również wpłynąć zastosowane wapno poflotacyjne, odznaczające się gęstością stałej fazy równą 2,78 Mg m^{-3}. Traktując pole doświadczalne jako całość, stwierdzono wzrost wartości gęstości stałej fazy gleby wraz z głębokością. Dla warstwy powierzchniowej odnotowano wartość 2,64; dla warstwy 10-20 cm - 2,67; a dla najgłębszej 2,69 Mg m^{-3}. W przypadku gęstości gleby wartości wahały się w

T a b e l a 2. Wybrane właściwości fizyczne badanej gleby
T a b l e 2. Selected physical properties of the examined soil

Obiekt (dawka osadu)	Warstwa	Gęstość stałej fazy gleby (Mg m^{-3})	Gęstość gleby (Mg m^{-3})	Porowatość ogólna (cm^3/100 cm^3)
Poletko 1 (0 m^3 ha^{-1})	0-10	2,63	1,37	48,04
	10-20	2,71	1,22	55,09
	20-30	2,64	1,33	49,66
	$\bar{x}$ 0-30	2,66	1,30	50,93
Poletko 2 (100 m^3 ha^{-1})	0-10	2,52	1,30	48,39
	10-20	2,59	1,22	52,84
	20-30	2,62	1,23	53,20
	$\bar{x}$ 0-30	2,57	1,25	51,47
Poletko 3 (200 m^3 ha^{-1})	0-10	2,53	1,27	49,93
	10-20	2,59	1,32	48,96
	20-30	2,66	1,30	51,13
	$\bar{x}$ 0-30	2,59	1,30	50,01
Poletko 4 (300 m^3 ha^{-1})	0-10	2,69	1,42	47,40
	10-20	2,67	1,27	52,44
	20-30	2,60	1,27	51,07
	$\bar{x}$ 0-30	2,65	1,32	50,30
Poletko 5 (400 m^3 ha^{-1})	0-10	2,92	1,18	59,47
	10-20	2,89	1,17	59,34
	20-30	2,87	1,34	53,37
	$\bar{x}$ 0-30	2,89	1,23	57,40
Poletko 6 (500 m^3 ha^{-1})	0-10	2,59	1,21	53,38
	10-20	2,61	1,36	47,98
	20-30	2,77	1,42	48,77
	$\bar{x}$ 0-30	2,65	1,33	50,05
Poletka 1-6	$\bar{x}$ 0-10	2,64	1,29	51,10
	$\bar{x}$ 10-20	2,67	1,26	52,78
	$\bar{x}$ 20-30	2,69	1,31	51,20
NIR	warstwa x dawka	0,018	0,126	4,740
	dawka	0,008	0,059	2,211
	warstaw	0,005	0,034	1,278

zakresie od 1,7 do 1,42 Mg m^{-3}, co zawiera się w przedziale charakterystycznym dla gleby normalnie zwięzłej i słabo zbitej. Najwyższą wartość wykazywały poletka, na których zastosowano osad w dawce 300 i 500 m^3 ha^{-1}, zaś najniższą poletko 5 (400 m3 ha^{-1}). Podobnie i w tym przypadku zróżnicowane dawki substancji organicznej nie obniżyły proporcjonalnie gęstości gleby.

Odwrotny niż dla gęstości rozkład wartości zanotowano dla porowatości ogólnej, cechy te są bowiem ujemnie skorelowane. Porowatość ogólna kształtowała się

na dość wysokim poziomie, przyjmując wartości w przedziale od 47,40 (poletko 4 300 m^3 ha^{-1}) do 59,47 $cm^3/100$ cm^3 (poletko 5 - 400 m^3 ha^{-1}). Zastosowany do rekultywacji płynny osad ściekowy, bez względu na wielkość wprowadzonych dawek, nie powodował widocznych zmian wartości tej cechy.

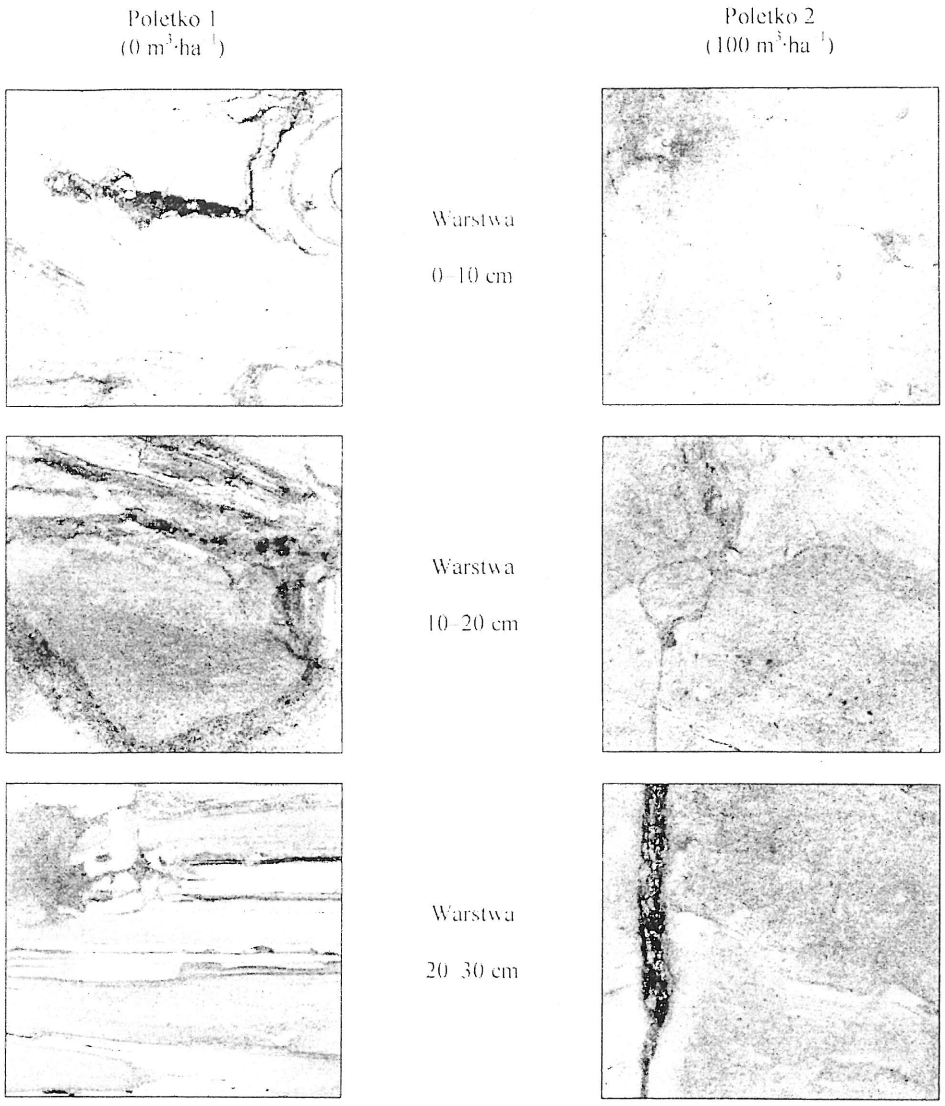
Na poletku 5 z dawką osadu 400 m^3 ha^{-1} pojawiły się ekstremalne wartości badanych cech (maksymalna gęstość stałej fazy gleby i porowatość ogólna oraz minimalna gęstość gleby). Można ten fakt wiązać z trudnością uzyskania na dużym obszarze, obejmującym wszystkie poletka, jednorodnego rozkładu stosowanych do rekultywacji materiałów wapna poflotacyjnego i osadu ściekowego.

Mimo stwierdzonych różnic statystycznych wartości testowanych cech mieściły się w stosunkowo wąskim przedziale dla wszystkich poletek niezależnie od zastosowanej dawki osadu ściekowego oraz głębokości.

Jednym z najistotniejszych elementów charakteryzujących glebę jest jej struktura. Jest ona cechą determinującą szereg właściwości gleby, zarówno fizycznych, chemicznych, jak też biologicznych [5]. Z przyrodniczego punktu widzenia najcenniejsza jest struktura agregatowa.

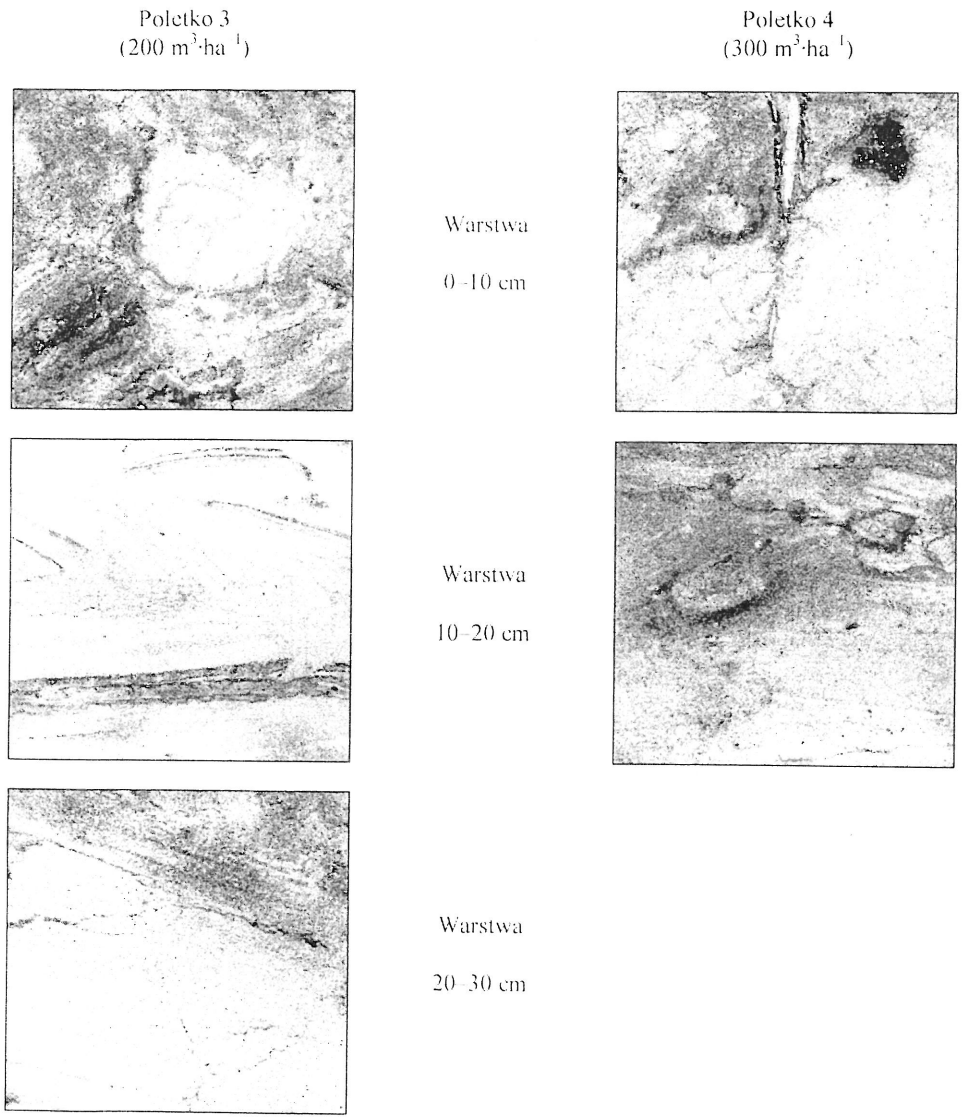
Zdjęcia siedemnastu zgładów przedstawiono na rys. 1-3. Ze względu na zbyt wysoką twardość podłoża nie udało się pobrać próbki, potrzebnej do wykonania zgładu, z warstwy 20-30 cm poletka 4. Badane próbki charakteryzowały się nieagregatową, monolityczną strukturą. Jeśli tworzyły się pory drugiego rzędu, to były to wąskie spękania, o różnokierunkowym przebiegu, widoczne zwłaszcza na zgładach z warstwy 20-30 cm poletka 3 (Rys. 2) i warstwy 10-20 cm poletka 6 (Rys. 3). W licznych przypadkach, a szczególnie dla wszystkich próbek z poletka 1 (kontrolnego), na zdjęciach dało się zaobserwować fragmenty wapna poflotacyjnego. Tworzyło ono wyraźne, wielokierunkowe smugi o jaśniejszej od tła barwie, pozwalającej odróżnić je od rodzimego materiału piaszczystego. Pierwotne ułożenie warstw wapna poflotacyjnego, stosowanego do wypełniania nierówności terenu, pokazuje zgład pochodzący z najgłębszej warstwy 20-30 cm poletka kontrolnego 1 (Rys. 1). Natomiast na poletkach 26, na których wykonano dodatkowe prace rekultywacyjne, związane z wprowadzaniem osadu ściekowego, i agrotechniczne, nastąpiła daleko bardziej idąca reorganizacja i homogenizacja materiału glebowego. Najbardziej jednolitą strukturą charakteryzowały się zwłaszcza próbki ze wszystkich warstw poletek 5 i 6 (Rys. 3).

Na różnych głębokościach w glebie badanego obszaru doświadczalnego występowały wyraźne skupienia siarki rodzimej, tworzącej pasma (poletko 6, warstwa 0-10 cm (Rys. 3) lub równomiernie rozproszonej w całej objętości



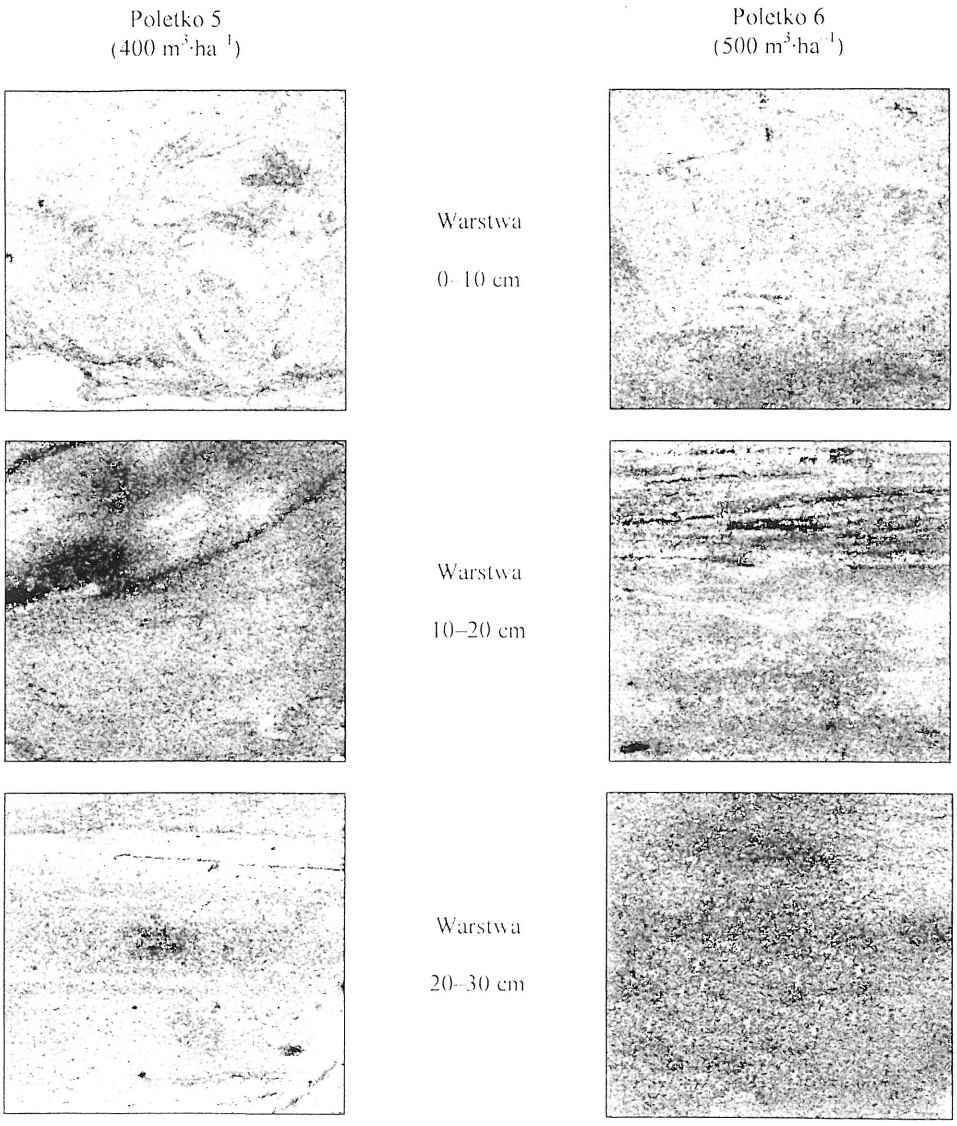
Rys. 1. Monochromatyczne zdjęcia zgładów. Rozmiar rzeczywisty: 7,5 cm x 7,0 cm (szerokość x wysokość).

Fig. 1. Monochromatic photographs of opaque soil blocks. Real dimensions: 7,5 cm x 7,0 cm (width x height).



Rys. 2. Monochromatyczne zdjęcia zgładów. Rozmiar rzeczywisty: 7,5 cm x 7,0 cm (szerokość x wysokość).

Fig. 2. Monochromatic photographs of opaque soil blocks. Real dimensions: 7,5 cm x 7,0 cm (width x height).



Rys. 3. Monochromatyczne zdjęcia zgładów. Rozmiar rzeczywisty: 7,5 cm x 7,0 cm (szerokość x wysokość).

Fig. 3. Monochromatic photographs of opaque soil blocks. Real dimensions: 7,5 cm x 7,0 cm (width x height).

(poletko 6, warstwa 10-20 cm (Rys. 3). Nieliczne pozostałości osadu odróżniały się ciemną barwą od tworzywa mineralnego, co widoczne jest na zdjęciach zgładów reprezentujących poletko 2, warstwę 20-30 cm (Rys. 1) oraz poletko 4, warstwę 0-10 cm (Rys. 2).

Biorąc pod uwagę obowiązujące przepisy prawne [2], zezwalające na stosowanie osadu ściekowego w dawce do 250 t ha^{-1} w przeliczeniu na suchą masę, na potrzeby nierolnicze, można uznać za celowe wprowadzanie większych dawek osadu niż 500 m^3 ha^{-1} (co stanowi około 60 ton s.m. na ha).

WNIOSKI

1. Uzyskane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że zastosowanie różnych dawek osadu nie wywołało kierunkowych zmian wartości gęstości stałej fazy, gęstości gleby i porowatości. Ponadto analiza morfologiczna zgładów nie wykazała obecności dobrze wykształconych agregatów glebowych.
2. Małe zróżnicowanie wartości badanych cech może być związane ze zbyt krótkim okresem, jaki upłynął od rozpoczęcia rekultywacji do pobrania próbek do badań.
3. Można przypuszczać, że dopiero wprowadzenie większych dawek osadu ściekowego mogłoby wywołać wyraźniejsze i pozytywne, z przyrodniczego punktu widzenia, zmiany właściwości fizycznych gleby: między innymi wytworzenie struktury agregatowej, zwiększenie porowatości.

PIŚMIENNICTWO

1. **Baran S., Turski R.:** Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. Wydawnictwo AR Lublin, 1999.
2. Dziennik Ustaw, nr 72, poz. 813. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe.
3. **Jońca M.:** Rekultywacyjna efektywność osadu ściekowego w Kopalni Siarki "Jeziórko". Mat. Teren. Konf. Nauk.-Techn., Lublin, 73-76, 1996.
4. **Puka T.:** Rekultywacyjne zadania Kopalni Siarki "Jeziórko". Mat. Teren. Konf. Nauk.-Techn., Lublin, 69-72, 1996.
5. **Słowińska-Jurkiewicz A.:** Struktura gleby i jej rola w kształtowaniu stanu fizycznego środowiska glebowego. Mat. X Szkoły "Fizyka z elementami agrofizyki", Lublin, 55-73, 1998.
6. **Słowińska-Jurkiewicz A., Domżał H.:** Stosowane metody analizy morfologicznej w badaniu struktury gleby. Roczn. Gleb., 39 (4), 7-19, 1988.
7. **Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K.:** Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 418, 45-59, 1995.

SELECTED PHYSICAL PROPERTIES OF ANTHROPOGENIC SOIL RECLAIMED WITH SEWAGE SLUDGE

B. Kołodziej, M. Bryk

Institute of Soil Science and Environment Management, University of Agriculture
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, Poland; e-mail: bkolodz@consus.ar.lublin.pl

S u m m a r y: Physical properties of anthropogenic soil of unformed profile reclaimed with sewage sludge on a devastated area after sulphur hole exploitation were investigated. In order to relevelling the surface post-flotation lime was used. Sewage sludge from municipal treatment plant was a source of organic matter. In 1998 the samples for the research were taken from the field where four years earlier the sewage sludge was introduced to the soil at different doses (0, 100, 200, 300, 400, 500 m^3 ha^{-1}). It was stated that the changes in the values of analysed parameters did not depend on the varied doses of sludge. It could be also presumed that introduction greater amounts of sewage sludge might cause positive modifications of physical properties of examined soil.

K e y w o r d s: anthropogenic soil, porosity, density, structure.