

## **ANALIZA MORFOLOGICZNA STRUKTURY GLEBY ANTROPOGENICZNEJ NA TERENIE PO OTWOROWEJ KOPALNI SIARKI**

*Beata Kołodziej, Anna Słowińska-Jurkiewicz*

Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,  
Akademia Rolnicza w Lublinie

### **Wstęp**

Wewnętrzna przestrzenna budowa gleby, czyli struktura, determinuje szereg właściwości gleby, przede wszystkim fizycznych: gęstość i porowatość, właściwości retencyjne i filtracyjne w stosunku do wody i powietrza, właściwości cieplne i właściwości mechaniczne, a pośrednio wpływa również na właściwości chemiczne i fizykochemiczne gleby. Warunki życia korzeni roślin i innych organizmów zasiedlających glebę uzależnione są w znacznym stopniu od struktury gleby, a szczególnie budowy jej strefy powierzchniowej [SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ 1998].

W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki morfologicznej analizy struktury gleby antropogenicznej na terenie po otworowej eksploatacji siarki w Jeziórku. Jest to kontynuacja opracowań dotyczących rekultywacji tego obszaru [KOŁODZIEJ, SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ 2004].

### **Materiał i metody badań**

Prace rekultywacyjne i doświadczenia polowe prowadził Oddział Rekultywacji Kopalni Siarki „Jeziórko”. Do badań wytypowano obiekty o różnym kierunku zagospodarowania: Pole nr II „a” – obszar poddany rekultywacji technicznej i biologicznej przeznaczony pod łąkowe użytkowanie oraz Pole nr VI – teren zrekultywowany w kierunku leśnym. Badaniami objęto również obiekty w różnych etapach rekultywacji: Pole nr X – obszar nierzekultywowany, Pole nr VIII E „a” – obszar po zakończeniu rekultywacji technicznej oraz rozproszonym osadów ściekowych, Pole nr VIII E „b” na którym przeprowadzono częściową rekultywację techniczną, teren uporządkowano i wyrównano przy użyciu spychaczy. W celu zbadania wpływu dawki i formy osadu ściekowego na strukturę odtwarzanej pokrywy glebowej wykorzystano doświadczenie polowe założone w 1994 roku na terenie po kopalni. Zrekultywowane Pola nr IV i II „b” podzielono, każde, na sześć poletek. Na pięciu z nich zastosowano osad w ilościach od 100 do 500 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Jedno poletko pozostawiono jako kontrolę, bez osadu ściekowego. W przypadku Pola II „b” osad w postaci płynnej (zawartość suchej masy około

10% wagowych, w/w) wstrzykiwano za pomocą Terragatora, zaś na Polu IV rozrzucono osad mazisty (około 20% w/w suchej masy). Materiał rodzimy miał skład piasku słabogliniastego. W glebie antropogenicznej, której faza stała jest mieszaniną rodzimego materiału piaszczystego, osadu ściekowego oraz wapna poflotacyjnego, nie można było oznaczyć składu granulometrycznego za pomocą metod sedimentacyjnych, ze względu na niemożność utrzymania zawiesiny w stanie dyspersji. Było to spowodowane wzbogaceniem wapna poflotacyjnego w substancje ulepszające, których skład chemiczny chroniony jest patentem.

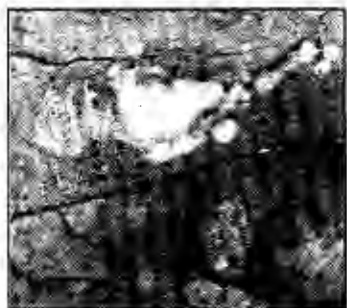
Badana gleba antropogeniczna charakteryzowała się następującymi zawartościami węgla wapnia: Pole II „a” – 383; Pole VI – 95; Pole X – 0; Pole VIII E „b” – 0; Pole VIII E „a” – 545 g·kg<sup>-1</sup>. Na doświadczeniu po zastosowaniu osadu ściekowego w postaci płynnej: poletko 1 (kontrola) 524; poletko 2 (100 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 351; poletko 3 (200 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 479; poletko 4 (300 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 474; poletko 5 (400 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 421; poletko 6 (500 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 499 g·kg<sup>-1</sup>. W przypadku wprowadzenia osadu mazistego zawartość węgla wapnia kształtowała się na poziomie: poletko A (kontrola) 591; poletko B (100 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 558; poletko C (200 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 562; poletko D (300 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 507; poletko E (400 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 525; poletko F (500 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) – 573 g·kg<sup>-1</sup>.

Do morfologicznej analizy struktury gleby pobrano próbki o zachowanej budowie do prostopadłościennych metalowych pojemników o wymiarach 8 × 9 × 4 cm, z warstw 2–10; 12–20 i 22–30 cm. Następnie wykonano zglądy jednostronne zgodnie z metodyką opracowaną w Instytucie Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Akademii Rolniczej w Lublinie [SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ, DOMZAŁ 1984]. Utwardzone próbki pocięto na plastry o grubości 1 cm za pomocą przecinarki z ostrzem diamentowym. Powierzchnie przekroju zostały następnie wyrównane i wyszlifowane na szlifierce za pomocą proszku korundowego i papieru ściernego. Otrzymano w ten sposób nieprzezroczyste szlify glebowe, czyli zglądy jednostronne. Oszlifowane powierzchnie przekrojów zglądów zostały zarejestrowane i wprowadzone do pamięci komputera za pomocą skanera, z rozdzielczością 600 × 600 punktów na cal.

## Wyniki

Z uwagi na ograniczoną objętość tekstu, w pracy zostały zamieszczone i omówione wybrane, charakterystyczne dla tego obszaru zglądy glebowe (fot. 1–12).

Gleba antropogeniczna z Pola II „a”, o łąkowym typie zagospodarowania, charakteryzowała się strukturą nieagregatową. Na zglądzie ujawniły się strefy jaśniejsze, znacznie bardziej zagęszczone niż pozostała masa glebowa, stanowiące prawdopodobnie pozostałości po wkładkach wapna poflotacyjnego, użytego do rekultywacji. Wystąpiły niewielkie pory drugiego rzędu, typu spękań, głównie o poziomym kierunku przekroju, jednak nie stwierdzono połączeń między tymi porami. W przypadku gleby antropogenicznej na Polu VI, o leśnym kierunku rekultywacji, również stwierdzono strukturę nieagregatową, typową dla gleb tego obszaru. W masie glebowej pojawiły się pory typu spękań, o poziomym kierunku przebiegu. Najciekawszym elementem zglądu z warstwy 22–30 cm była strefa od około 24 do 26 cm, w której ukazały się wyraźne skupiska siarki elementarnej o wymiarach dochodzących do 10 mm. Należy tu przypomnieć, że ciemna barwa



Fot. 1. Pole II „a” (zagospodarowanie łąkowe), warstwa 12–20 cm

Photo 1. Field II „a” (grassland reclamation), layer 12–20 cm



Fot. 2. Pole VI (zagospodarowanie leśne), warstwa 22–30 cm

Photo 2. Field VI (forest reclamation), layer 22–30 cm



Fot. 3. Pole X (nierekultywowane), warstwa 2–10 cm

Photo 3. Field X (before reclamation), layer 2–10 cm



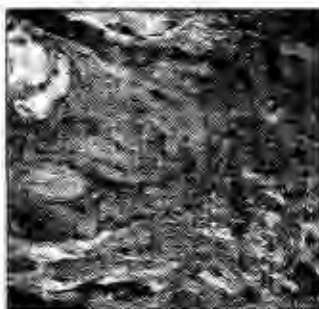
Fot. 4. Pole VIII E „b” (wyrównane), warstwa 22–30 cm

Photo 4. Field VIII E „b” (equalized), layer 22–30 cm



Fot. 5. Pole VIII E „a”, warstwa 2–10 cm

Photo 5. Field VIII E „a”, layer 2–10 cm



Fot. 6. Pole VIII E „a”, warstwa 12–20 cm

Photo 6. Field VIII E „a”, layer 12–20 cm

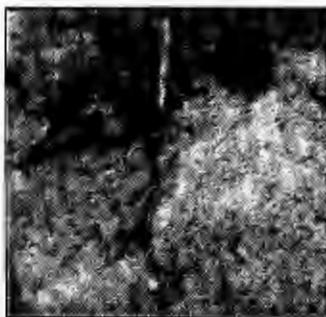
Fot. 1–6. Rzeczywiste zdjęcia jednostronnych zglądów gleby antropogenicznej o różnym kierunku zagospodarowania i w różnych etapach rekultywacji. Skala 1:2

Photos 1–6. Real photos of polished opaque blocks of anthropogenic soil from the fields of various types and stages of reclamation. Scale 1:2



Fot. 7. Doświadczenie z osadem płynnym, dawka  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , warstwa 22–30 cm

Photo 7. Field treated with liquid sewage sludge, dose  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , layer 22–30 cm



Fot. 8. Doświadczenie z osadem płynnym, dawka  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , warstwa 2–10 cm

Photo 8. Field treated with liquid sewage sludge, dose  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , layer 2–10 cm



Fot. 9. Doświadczenie z osadem płynnym, dawka  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , warstwa 12–20 cm

Photo 9. Field treated with liquid sewage sludge, dose  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , layer 12–20 cm



Fot. 10. Doświadczenie z osadem mazistym, dawka  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , warstwa 12–20 cm

Photo 10. Field treated with clammy sewage sludge, dose  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , layer 12–20 cm



Fot. 11. Doświadczenie z osadem mazistym, dawka  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , warstwa 22–30 cm

Photo 11. Field treated with clammy sewage sludge, dose  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , layer 22–30 cm



Fot. 12. Doświadczenie z osadem mazistym, dawka  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , warstwa 2–10 cm

Photo 12. Field treated with clammy sewage sludge, dose  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , layer 2–10 cm

Fot. 7–12. Rzeczywiste zdjęcia jednostronnych zglądów gleby antropogenicznej po doświadczeniu z osadem w postaci płynnej lub mazistej. Skala 1:2

Photos 7–12. Real photos of polished opaque blocks of anthropogenic soil from an experimental field treated with sewage sludge of liquid or clammy form. Scale 1:2

widoczna na zglądach nie zawsze pochodziła od związków próchnicznych, których było przeważnie bardzo mało w glebach na badanych obiektach, lecz od hydrotroilitu. Związek ten ( $\text{FeS}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) jest charakterystyczny dla poziomów redukcyjnych w przypadku gleb bogatych w siarkę i o wysokim poziomie wód gruntowych [KLASYFIKACJA GLEB LEŚNYCH POLSKI 2000].

Na Polu X, przed rekultywacją, gdzie tylko zdjęto górną kilkucentymetrową warstwę gleby mocno zanieczyszczonej siarką, brak było zakłóceń w strukturze, wynikających z mieszania czy przesuwania. Warstwa wierzchnia 2–10 cm była mocno zagęszczona i niewątpliwie ujawnił się tutaj hydrotroilit. Analizując glebę antropogeniczną na Polu VIII E „b”, po renielacji powierzchni, zauważono występowanie materiału rodzimego, ale silnie i nienaturalnie zniekształconego zarówno przez działalność górniczą (między innymi wpływem wody o bardzo wysokiej temperaturze, czy likwidacją otworów eksploatacyjnych), jak i późniejszym mieszaniem, przemieszczaniem i przesuwaniem tegoż materiału glebowego. Proces ten był szczególnie widoczny w trzeciej warstwie badanego obiektu. Na Polu VIII E „a”, po zastosowaniu osadu ściekowego i wapna poflotacyjnego, w wierzchniej warstwie gleby zaobserwowano głównie te dwa materiały. Osad, wprowadzony jako źródło substancji organicznej, był szczególnie widoczny w lewej części zglądu. Ponadto pojawiły się wyraźne granice między osadem ściekowym a materiałem mineralnym. Następną warstwę stanowiło głównie wapno poflotacyjne.

Na polu po doświadczeniu z osadem w postaci płynnej, zdejmując warstwę najsilniej zanieczyszczoną, zlikwidowano tym samym cały naturalny poziom próchniczny. Następnie odtwarzanie gleby przeprowadzono w kierunku powstania pararedziny antropogenicznej [SYSTEMATYKA GLEB POLSKI 1990]. W tym celu wprowadzono duże ilości wapna poflotacyjnego, aby zneutralizować zakwaszenie i zrenielować powierzchnię oraz, jako źródło substancji organicznej, zastosowano osad ściekowy z miejskiej oczyszczalni ścieków. Wapno poflotacyjne zostało wymieszane z naturalnym materiałem, zalegającym poniżej strefy zasiarczonej. Rozpatrując poletko 2, gdzie zastosowano  $100 \text{ m}^3$  osadu na hektar, można stwierdzić, że struktura w trzech analizowanych warstwach była identyczna, monolityczna i praktycznie pozbawiona porów drugiego rzędu. Występowały tylko nieliczne krótkie spękania. Przez wszystkie trzy zglądy przebiegał charakterystyczny pionowy kanał o czarnej barwie, szczególnie dobrze zauważalny w warstwie 22–30 cm. Niewykluczone, że był to ślad po wstrzyknięciu płynnego osadu ściekowego. Na poletku 4 (z dawką osadu  $300 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ) również stwierdzono strukturę typową dla gleb antropogenicznych tego obszaru (nieagregatową, monolityczną). W strefie 2–4 cm pojawiła się wkładka osadu ściekowego. Wokół wyraźnie widocznego korzenia utworzyła się wolna przestrzeń bardzo przydatna dla przemieszczania się w tej zagęszczonej masie zarówno wody, jak i powietrza. Na tym przykładzie można było zaobserwować, jak ważną rolę odgrywa rozpuszczające działanie systemu korzeniowego roślin. Poletko 6, na którym zastosowano największą dawkę osadu w ilości  $500 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ , charakteryzowało się masywną strukturą. W warstwie wierzchniej pojawiły się krótkie, niepołączone ze sobą spękania, głównie o kierunku poziomym oraz pozostałości osadu ściekowego. Wystąpiły skupiska siarki, rozproszone w całej opisywanej masie glebowej oraz czarne plamy hydrotroilitu.

Biorąc pod uwagę doświadczenie z zastosowaniem osadu ściekowego w postaci mazistej zauważono, iż w przypadku wierzchniej warstwy poletka C (dawka  $200 \text{ m}^3$  osadu na hektar), zaczęła tworzyć się struktura agregatowa. Poniżej tej warstwy widać było materiał rodzimy występujący wraz z wapnem poflotacyjnym. Jednak w niektórych miejscach zdecydowanie dominowało wapno, tworząc jedno-

lite warstewki. Zauważono też, że materiał rodzimy (zawierający liczne skupienia siarki) nie był dokładnie wymieszany z wapnem poflotacyjnym, ponieważ wyraźnie rozgraniczone były strefy ich występowania. Na poletku D, gdzie zastosowano osad w ilości  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , w warstwie 22–30 cm wapno poflotacyjne wykazało warstwowe ułożenie. Należy jeszcze zauważyć, że między warstwami wapna pojawiał się zasiarzony materiał rodzimy. Na poletku F (dawka osadu ściekowego  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) widoczny był korzystny efekt wprowadzenia materiału organicznego oraz działania systemu korzeniowego, przede wszystkim w powierzchniowej warstwie. To właśnie tutaj wystąpiło najwięcej dużych porów typu wydrążeń. Jednak zastosowanie nawet największej dawki osadu nie spowodowało utworzenia ujednoczonej mieszaniny materiału rodzimego, wapna poflotacyjnego i dodatku organicznego. Warto zwrócić uwagę, że bardzo dobrze widoczne były granice między tymi komponentami (podobnie jak i na pozostałych, analizowanych obiektach) oraz, że nie było widać tendencji do tworzenia zhomogenizowanej masy organiczno-mineralnej, charakterystycznej dla naturalnych poziomów próchnicznych.

### Dyskusja

Analiza morfologiczna gleb wykazała dominację struktury bezagregatowej, monolitycznej. Ponadto na niektórych zglądach glebowych pojawiała się siarka elementarna, nierzadko w dużych ilościach. Dzięki metodzie morfologicznej można było prześledzić losy trzech głównych komponentów, zastosowanych przy rekultywacji tego obszaru, to jest: resztek materiału rodzimego, wapna poflotacyjnego, a także osadu ściekowego. Szczególnie w przypadku doświadczenia po zastosowaniu osadu w formie mazistej w wierzchniej warstwie ujawniały się ślady wprowadzonej materii organicznej. Na niektórych zglądach odnotowano występowanie ciemnych plam hydrotroilitu, związku charakterystycznego dla poziomów redukcyjnych w glebach bogatych w siarkę i o wysokim poziomie wód gruntowych. Wszystkie pory typu wydrążeń, które zaobserwowano na analizowanych obrazach (czego przykładem jest fot. 8), były związane z występowaniem korzeni roślin, przede wszystkim lucerny. Jak z tego wynika, zagospodarowanie tego terenu za pomocą roślin motylkowych, dające korzystne efekty, ma swoje uzasadnienie. Biorąc pod uwagę specyfikę badanego siedliska nie należy także zapominać o wodnym kierunku zagospodarowania, w celu odwodnienia przylegających terenów.

### Wnioski

1. Analiza morfologiczna umożliwiła scharakteryzowanie struktury badanych gleb antropogenicznych. Dominował typ struktury bezagregatowej, monolitycznej, z niewielkim udziałem porów drugiego rzędu.
2. Korzystając z obrazów struktury można wyodrębnić poszczególne komponenty gleby antropogenicznej (materiał rodzimy, wapno poflotacyjne i osad ściekowy), ziarna siarki elementarnej, a także skupienia hydrotroilitu.
3. Najkorzystniejszy typ struktury, charakteryzujący się pojawianiem agregatów i porów typu wydrążeń, zaobserwowano w powierzchniowej (0–8 cm) warstwie poletek, na których zastosowano osad ściekowy w formie mazistej.

## Literatura

- KLASYFIKACJA GLEB LEŚNYCH POLSKI. 2000.** Zespół Klasyf. Gleb Leśnych, Polskie Towarz. Gleboznawcze: 123 ss.
- KOŁODZIEJ B, SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ A. 2004.** *Efekty rekultywacji pokrywy glebowej na terenie po Kopalni Siarki Jeziórko.* Roczn. Gleb. LV(2): 231–237.
- SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ A. 1998.** *Struktura gleby i jej rola w kształtowaniu stanu fizycznego środowiska glebowego.* Mat. X Szkoły „Fizyka z elementami agrofizyki”, Lublin, 22–23 IX 1998, pt. „Fizyczne właściwości gleby a rozwój roślin – metody badań”: 55–73.
- SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ A., DOMŻAŁ H. 1984.** *Wpływ działania narzędzi uprawowych na budowę warstwy ornej gleby.* Roczn. Gleb. 35(2): 165–175.
- SYSTEMATYKA GLEB POLSKI 1990.** Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Roczn. Gleb. 40(3/4): 150 ss.

**Słowa kluczowe:** gleba antropogeniczna, struktura, rekultywacja gruntu

## Streszczenie

Przeprowadzono morfologiczną analizę struktury gleby antropogenicznej na terenie po otworowej eksploatacji siarki w Jeziórku. Badania wykonano, wykorzystując zglądy jednostronne o wymiarach 8 x 9 cm. Zostały one sporządzone z próbek gleby z obiektów o różnym kierunku zagospodarowania i różnych etapach rekultywacji. W analizowanej glebie stwierdzono dominację struktury nieagregatowej, monolitycznej. Na niektórych zglądach widoczne były ziarna siarki elementarnej. Dzięki metodzie morfologicznej można było zidentyfikować w glebie antropogenicznej trzy podstawowe komponenty, które ją utworzyły. Był to materiał rodzimy, wapno poflotacyjne oraz osady ściekowe. Szczególnie w przypadku pola doświadczalnego, na którym zastosowano osady w formie mazistej, w powierzchniowej warstwie gleby widoczne były ślady wprowadzonej materii organicznej. Również tutaj zaobserwowano najkorzystniejszy typ struktury, charakteryzujący się pojawianiem agregatów i porów typu wydrzeń. Na niektórych zglądach odnotowano występowanie ciemnych plam hydrotroilu ( $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

## MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ANTHROPOGENIC SOIL ON POST-HOLE SULPHUR MINE AREA

*Beata Kołodziej, Anna Słowińska-Jurkiewicz*  
Institute of Soil Science and Environment Management,  
Agricultural University, Lublin

**Key words:** anthropogenic soil, structure, soil reclamation

### Summary

Morphological analysis of anthropogenic soil structure was carried out in Jeziórko on the area where previously the open sulphur mine exploitation was realized. Investigations were performed using the polished opaque soil blocks of dimensions 8 x 9 cm. They were made of the soil samples from the objects of various kind of reclamation, at different recultivation stages. In analysed soil the prevalence of the non-aggregate, monolithic structure was confirmed. On certain soil blocks the grains of elementary sulphur were visible. Owing to morphological method one could identify in the anthropogenic soil three basic components, which formed it. They consisted of a native material, post flotation lime and the sewage sludge. Especially in case of the experimental field, where the sludge was applied in form of mud, in surface soil layer the traces of introduced organic material were visible. Also in this case it was observed the most favourable type of structure characterized by formation of aggregates and cavity type pores. Dark spots of  $\text{FeS}\cdot n\text{H}_2\text{O}$  occurred on certain soil blocks.

Dr inż. Beata **Kołodziej**  
Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska  
Akademia Rolnicza  
ul. Leszczyńskiego 7  
20-069 LUBLIN  
e-mail: beata.kolodziej@ar.lublin.pl