

BEATA KOŁODZIEJ¹, ANNA SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ¹,
MAREK JONĆA²

WŁAŚCIWOŚCI POWIETRZNE GLEBY REKULTYWOWANEJ NA TERENIE PO KOPALNI SIARKI

AIR PROPERTIES OF RECLAIMED SOIL ON THE AREA OF ABANDONED SULPHUR MINE

¹Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska, Akademia Rolnicza
w Lublinie; ²Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych w Tarnobrzegu

Abstract: The present project aims at research on the air properties of soil on a devastated area of abandoned sulphur mine in Jeziórko near Tarnobrzeg. Serious problem of this area is not only chemical degradation, but also degradation of physical properties of soil cover, first of all, water-air properties of soil. The research was conducted on fields of different reclamation direction (meadow and forest) and on fields during reclamation. It was stated that the most advantageous air properties occurred on the fields (especially meadow) six years after reclamation, the worst on the field directly after technical reclamation and introduction of sewage sludge.

Słowa kluczowe: właściwości powietrzne, gleby zdegradowane, rekultywacja.

Key words: air properties, deformed soils, reclamation.

WSTĘP

Bardzo ważnym czynnikiem decydującym o warunkach w środowisku glebowym jest, obok wody, powietrze. Powietrze wypełnia znaczną część porów w górnej części pedonu. Tylko w stanie ekstremalnego uwilgotnienia gleby woda znajduje się we wszystkich porach. Zwykle powietrze zajmuje makropory, a przy niskiej wilgotności również część mezoporów. Zarówno objętość porów zajętych przez powietrze, skład powietrza, jak i zdolność do jego wymiany z atmosferą mają ogromny wpływ na stan środowiska glebowego. Od napowietrzenia gleby zależy intensywność i kierunek przebiegu procesów utleniania i redukcji, rozwój systemu korzeniowego roślin, pobieranie składników pokarmowych przez rośliny, aktywność biologiczna mikroorganizmów glebowych. Warunki powietrzne, szczególnie zawartość tlenu, wpływają również na

odczyn gleby oraz na przemiany wielu jej składników zarówno organicznych, jak i nieorganicznych prowadząc do powstawania charakterystycznych cech morfologicznych w pedonie [Gliński, Stępniewski 1985].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie właściwości powietrznych gleby antropogenicznej na obszarze po Kopalni Siarki Jeziórko, na którym poważnym problemem jest degradacja nie tylko chemizmu środowiska glebowego, lecz również stanu fizycznego, przede wszystkim stosunków wodno-powietrznych. Na mapie obszarów degradacji górniczej w Polsce teren Zagłębia Siarkowego wyróżniony jest jako obszar o szczególnym zagrożeniu gleb (degradacja mechaniczna, podtapianie lub przesuszenie, skażenie chemiczne) [Bukowska-Jania i in. 1994].

OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono na obszarze po otworowej kopalni siarki w Jeziórku na Równinie Tarnobrzeskiej. W latach pięćdziesiątych XX wieku rozpoznano na tym terenie bogate mioceńskie złoża siarkonośne i rozwinięto wydobywanie siarki zarówno metodą odkrywkową, jak i wytopienia podziemnego. Jeszcze przed zakończeniem w 2001 r. funkcjonowania kopalni podjęto działalność rekultywacyjną. Obecnie ponad 70% obszaru jest już zrekultywowane. Teren po kopalni siarki charakteryzuje się przewagą gleb o niskiej jakości, piaszczystych, z wysokim poziomem wód gruntowych występującym na głębokości od 0,5 m pod użytkami zielonymi do 2 m pod gruntami ornymi [Gołda 2000]. Typologicznie gleby te należy określić jako antropogeniczne o niewykształconym profilu lub, po wprowadzeniu bardzo dużych ilości wapna poflotacyjnego, pararezydny antropogeniczne.

Próbki glebowe pobrano z obiektów zrekultywowanych, po sześciu latach od czasu zakończenia prac oraz z obiektów będących w różnych fazach zabiegów rekultywacyjnych. Prace rekultywacyjne prowadziło Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych. Obiekty w pełni zrekultywowane reprezentowały dwa kierunki zagospodarowania: Pole nr II – obszar użytkowany łąkowo i Pole nr VI – obszar zalesiony. Z pól tych usunięto powierzchnię, silnie zsiarczoną warstwę i zastosowano wapno poflotacyjne jako materiał neutralizujący, a następnie wprowadzono rośliny. Nie stosowano tu osadu ściekowego jako źródła materii organicznej. Obszar rekultywowany obejmował następujące pola: Pole nr X – bezpośrednio przed rekultywacją, Pole nr VIII E „b”, na którym przeprowadzono częściową rekultywację techniczną, polegającą na uporządkowaniu i wyrównaniu terenu spychaczami, pole nr VIII E „a” – po zakończeniu rekultywacji technicznej, w tym zastosowaniu wapna poflotacyjnego oraz rozprowadzeniu osadu ściekowego.

Próbki glebowe o nienaruszonej strukturze zostały pobrane w sześciu powtórzeniach do standardowych metalowych cylindrów o objętości 100 cm³ z warstw 0–10, 10–20 i 20–30 cm. Gęstość objętościową gleby wyznaczono metodą grawimetryczną na podstawie stosunku masy gleby wysuszonej w temperaturze 105°C do objętości gleby. Porowatość ogólną gleby obliczono na podstawie gęstości fazy stałej i gęstości objętościowej gleby. Aktualną pojemność powietrzną gleby obliczono jako różnicę pomiędzy porowatością ogólną gleby a aktualną zawartością wody wyrażoną w cm³

na 100 cm³. Analogicznie obliczono pojemność powietrzną dla wybranych stanów potencjału wody glebowej -0,98; -9,81; -15,54 kPa. Zawartość wody w poszczególnych stanach potencjału określono w komorach niskociśnieniowych na porowatych płytach ceramicznych firmy Eijkelkamp [Kołodziej 2005]. Dla warunków badanego obszaru potencjał wody glebowej -9,81 kPa przyjęto jako stan połowej pojemności wodnej. Zawartość powietrza w tym stanie określono jako połowę pojemność powietrzną. Dla każdego z wymienionych powyżej stanów potencjału dokonano również pomiarów przepuszczalności powietrznej gleby aparatem LPiR-1.

WYNIKI I DYSKUSJA

W warstwie 0–30 cm zakres wartości gęstości objętościowej gleby wahał się od 1,30 do 1,87 Mg · m⁻³ (tab. 1). Najniższa gęstość wystąpiła na Polu II, czyli na obiekcie zagospodarowanym łąkowo sześć lat przed pobraniem próbek. Najwyższą wartość gęstości stwierdzono na Polu VIII E „a”, bezpośrednio po zakończeniu rekultywacji technicznej i rozprowadzeniu osadu ściekowego. Warto zwrócić uwagę, że prace rekultywacyjne systematycznie zwiększały zagęszczenie gleby, gęstość po częściowej rekultywacji technicznej gleby (Pole VIII E „b”) była większa niż gleby przed rozpoczęciem zabiegów (Pole X). Jest to niewątpliwie efekt wielokrotnego, niemożliwego do uniknięcia przemieszczania się po polach ciężkich maszyn. Wyniki uzyskane dla Pola II, a także dla Pola VI świadczą jednak o tym, że wprowadzenie roślin i działanie ich systemów korzeniowych prowadzi do znaczącego zmniejszenia zagęszczenia.

Porowatość ogólna na Polu II, o najmniejszej gęstości, wynosiła średnio 51,3 cm³ · 100 cm⁻³ w warstwie 0–30 cm, co należy ocenić jako wartość bardzo korzystną. Odmienna sytuacja wystąpiła oczywiście na najbardziej zagęszczonym Polu VIII E „a”, gdzie stwierdzono porowatość ogólną równą tylko 30,6 cm³ · 100 cm⁻³.

W przypadku aktualnej pojemności powietrznej powtórzył się układ wyników opisany powyżej dla porowatości ogólnej. Gleba obu pól po sześciu latach od przeprowadzenia rekultywacji, szczególnie Pola II pod łąką, wykazywała wysoką aktualną pojemność powietrzną, natomiast na Polu VIII E „a” cecha ta miała wartość bardzo niską, średnio 5,1 cm³ · 100 cm⁻³ dla warstwy 0–30 cm. Różnice w wartościach aktualnej pojemności powietrznej między obiektami są większe niż różnice porowatości ogólnej, co wynika z faktu, że pojemność powietrzną kształtują przede wszystkim makropory i największe mezopory, najbardziej podatne na zniszczenie podczas ugniatania gleby.

Przy potencjale wody -0,98 kPa znaczna część makroporów jest wypełniona wodą. Wartości pojemności powietrznej uzyskane dla tego stanu były więc niewielkie. W warstwie 0–30 cm najwyższą pojemność powietrzną - 4,2 cm³ · 100 cm⁻³ stwierdzono w glebie zalesionej. Bardzo niskie wartości wykazywała gleba przed i w trakcie rekultywacji (1,0 i 0,9 cm³ · 100 cm⁻³), natomiast w glebie Pola VIII E „a” w następstwie przejazdów ciężkich maszyn nastąpiło zredukowanie pojemności powietrznej przy potencjale wody -0,98 kPa do zera.

TABELA 1. Właściwości powietrzne i gęstość objętościowa badanych gleb – TABLE 1. Air properties and bulk density of investigated soils

Obiekt Field	Warstwa Layer [cm]	Gęstość Bulk density [Mg · m ⁻³]	Porowatość Porosity [cm ³ · 100 cm ⁻³]	Pojemność powietrzna				Przepuszczalność powietrzna			
				aktual	-0,98	-9,81	-15,54	aktual	-0,98	-9,81	-15,54
				cm ³ · 100 cm ⁻³				× 10 ⁻⁸ m ² · Pa ⁻¹ · s ⁻¹			
	0-10	1,35	48,7	28,4	1,2	15,0	18,0	27,7	2,3	15,4	16,7
	10-20	1,26	51,6	36,2	0,3	22,1	25,3	95,8	38,0	49,0	54,0
	20-30	1,29	53,5	37,2	6,5	29,6	31,5	83,7	2,0	71,2	73,7
	\bar{x}_{0-30}	1,30	51,3	33,9	2,7	22,2	24,9	69,1	14,1	37,8	48,1
Pole VI (las) Field VI (forest)	0-10	1,45	45,3	34,2	0,5	21,6	24,0	43,2	2,0	12,2	12,6
	10-20	1,60	42,2	24,1	7,9	21,0	22,5	54,3	10,7	18,8	10,4
	20-30	1,67	37,2	18,9	4,2	18,4	19,5	23,3	32,2	23,2	15,4
	\bar{x}_{0-30}	1,57	41,5	25,7	4,2	20,3	22,0	40,3	15,0	18,1	12,8
Pole VIII E "a" (osad ściekowy) Field VIII E "a" (sewage sludge)	0-10	1,78	32,2	3,7	0	0,5	1,1	14,6	5,0	5,6	4,5
	10-20	1,92	29,8	7,5	0	0	0,5	17,3	5,3	8,7	4,7
	20-30	1,93	29,7	4,2	0	0	0,0	5,9	5,7	7,2	5,0
	\bar{x}_{0-30}	1,87	30,6	5,1	0	0,2	0,5	12,6	5,4	7,2	4,7
Pole VIII E "b" (wyrównane) Field VIII E "b" (equalled)	0-10	1,66	36,7	22,8	2,7	14,6	18,5	86,8	13,6	13,7	20,8
	10-20	1,78	31,4	9,0	0	5,5	7,2	13,5	26,5	18,6	12,1
	20-30	1,72	34,0	11,9	0	9,5	11,1	35,2	6,1	26,8	21,3
	\bar{x}_{0-30}	1,72	34,1	14,6	0,9	9,9	12,3	45,2	15,4	19,7	18,1
Pole X (przed rekultywacją) Field X (before reclamation)	0-10	1,47	41,8	17,0	1,1	13,7	15,2	43,5	43,3	22,8	23,1
	10-20	1,82	29,8	12,1	1,3	11,8	13,1	19,9	18,2	13,1	22,4
	20-30	1,74	33,8	23,8	0,7	20,8	21,9	150,8	7,2	79,6	98,7
	\bar{x}_{0-30}	1,68	35,2	17,6	1,0	15,4	16,7	71,4	22,9	38,5	48,1
NIR _{0,05}	w × o	0,12	4,67	0,20	0,12	0,14	0,16	52,17	34,21	39,28	33,35
	o	0,06	2,15	0,09	0,05	0,06	0,07	23,98	15,72	18,05	15,32

w – warstwa; o – obiekt; aktual – aktualna – actual; pojemność powietrzna – pojemność powietrzna przy potencjale wody glebowej [kPa] – air capacity at soil water potential [kPa]; przepuszczalność powietrzna – przepuszczalność powietrzna przy potencjale wody glebowej [kPa] – air permeability at soil water potential [kPa]

W stanie połowej pojemności wodnej, czyli potencjału wody glebowej $-9,81$ kPa, nastąpił na większości obiektów radykalny wzrost pojemności powietrznej. Podobnie jak w przypadku wcześniej analizowanych cech, najwyższe wartości połowej pojemności powietrznej wystąpiły na polu pod roślinnością łąkową ($22,2 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$) i na polu zalesionym ($20,3 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$). Wartości te należy uznać za bardzo korzystne, zdecydowanie przekraczające minimalną graniczną dla większości roślin pojemność powietrzną, czyli $10 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$. Wartość graniczną przekraczała również połowa pojemność powietrzna na polu przed rekultywacją ($15,4 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$). Prace związane z wyrównaniem pola zmniejszyły połową pojemność powietrzną do $9,9 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$, natomiast konsekwencją silnego ugniatania gleby na Polu VIII E „a” była ekstremalnie niska wartość tej cechy – $0,2 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$.

Zmniejszeniu potencjału wody glebowej z $-9,81$ do $-15,54$ kPa towarzyszyło we wszystkich przypadkach zwiększenie pojemności powietrznej najczęściej o około $2 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$. Wyjątkiem było pole najbardziej zagęszczone, na którym pojemność powietrzna wzrosła tylko o $0,3 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$ i wynosiła $0,5 \text{ cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$.

Jednym z najbardziej czułych wskaźników zmian budowy gleby jest jej przepuszczalność powietrzna, która jest cechą charakteryzującą zdolność gleby do wymiany gazowej w sytuacji występowania różnicy ciśnień. Rozpatrując aktualną przepuszczalność powietrzną, stwierdzono najwyższą jej wartość $71,4 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ na nienaruszonym jeszcze żadnymi zabiegami rekultywacyjnymi Polu X oraz na Polu II (łąka), $69,1 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, co wynikało z dużej drożności porów, uwarunkowanej oddziaływaniem systemów korzeniowych roślin i fauny glebowej. Wartość przepuszczalności powietrznej około $70 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ jest charakterystyczna dla odleżałej warstwy uprawnej [Słowińska-Jurkiewicz 1995]. Najniższa aktualna przepuszczalność powietrzna ($12,6 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) wystąpiła na ugniatanym Polu VIII E „a”. Gleba tego pola charakteryzowała się najniższymi wartościami przepuszczalności powietrznej również we wszystkich analizowanych stanach potencjału wody glebowej.

WNIOSKI

1. Bezpośrednio po wykonaniu prac rekultywacyjnych nastąpiło zdecydowane pogorszenie właściwości powietrznych gleby w stosunku do stanu przed rekultywacją. Było to skutkiem wielokrotnych przejazdów ciężkich maszyn podczas wyrównywania pola oraz rozprowadzania wapna poflotacyjnego i osadu ściekowego.
2. Najkorzystniejsze właściwości powietrzne spośród badanych obiektów wykazywała gleba zrekultywowana sześć lat przed pobraniem próbek glebowych, szczególnie użytkowana łąkowo.
3. Degradację stanu fizycznego gleby, związaną z wykonaniem koniecznych zabiegów rekultywacyjnych, należy traktować jako przejściową i ustępującą dzięki spulchniającemu oddziaływaniu systemów korzeniowych roślin.

LITERATURA

- BUKOWSKA-JANIA E., JANIA J., TREMBACZOWSKI J. 1994: Obszary degradacji górniczej. W: Atlas Zasobów, Walorów i Zagrożeń Środowiska Geograficznego Polski – Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, 97 tablic.
- GLIŃSKI J., STĘPNIEWSKI W. 1985: Reakcja roślin na stan aeracji gleby. *Probl. Agrofiz.* **46**: 48 ss.
- GOŁDA T. 2000: Podstawowe uwarunkowania rekultywacji terenów pogórnich Kopalni Siarki Jeziórko. *PTIE, Inżynieria Ekologiczna*, **1** „Ochrona i rekultywacja gruntów”: 31–37.
- KOŁODZIEJ B. 2005: Retencja wody użytecznej i produkcyjnej gleby antropogenicznej na terenie po otworowej kopalni siarki. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **505**: 169–175.
- SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ A. 1995: The influence of rainfalls and cultivation measures on the structure and physical properties of typical lessivé soil (haplic luvisol) derived from silt formation. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **419**: 103–108.

Dr inż. Beata Kołodziej
Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska, AR
ul. S. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail: beata.kolodziej@ar.lublin.pl