

Dariusz BŁAŻEJCZAK, Jan B. DAWIDOWSKI

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
ul. Papieża Pawła VI/3; 71-459 Szczecin
e-mail: dariusz.blazejczak@zut.edu.pl

Tomasz TOMASZEWICZ

Zakład Rekultywacji i Chemii Środowiska, ZUT w Szczecinie

CHOSEN PHYSICAL PROPERTIES OF OVERLAYS USED IN THE EXPERIMENT WITH THE RECLAMATION OF COAL ASH IN THE "DOLNA ODRA" POWER STATION

Summary

Overlays of 40 cm (II and IV) forming the top layer of ash disposal, created by using sludge and compost were the object of the study. Overlay II contained about two times less organic matter than IV. Clean ash was the object of comparison. At depths of 5-10 and 15-20 cm were determined: moisture content (W_{aw}), bulk density (ρ_d), shear resistance (S_c) and soil penetration resistance (Z_w). ρ_d values differed significantly - the lowest were in the overlay IV ($0,77 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), and the highest in the second ($1,19 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Strength parameters S_c (33-61 kPa) and Z_w (497-1121 kPa), measured in overlays, were similar to those found in natural soils, in the ashes were significantly higher, and were respectively in the ranges 90-218 and 2021-4020 kPa.

Key words: ashes, coal, sludge, reclamation

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE NADKLADÓW ZASTOSOWANYCH W DOŚWIADCZENIU Z REKULTYWACJĄ POPIOŁÓW Z WĘGLA KAMIENNEGO W ZESPOLE ELEKTROWNI „DOLNA ODRA”

Streszczenie

Przedmiotem badań były nadkłady o grubości 40 cm tworzące wierzchnią warstwę składowiska popiołu, wytworzone z zastosowaniem osadów i kompostów. Nadkład II zawierał około dwa razy mniej materii organicznej od nadkładu IV. Obiektem porównawczym był czysty popiół. Na głębokościach 5-10 i 15-20 cm oznaczono wilgotność aktualną (W_{aw}), gęstość objętościową (ρ_d), opór ścinania (S_c) i zwięzłość gleby (Z_w). Wartości ρ_d różniły się istotnie, najniższe były w nadkładzie IV ($0,77 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), najwyższe zaś w II ($1,19 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Zmierzone w nadkładach S_c (33-61 kPa) i Z_w (497-1121 kPa) były zbliżone do stwierdzanych w glebach naturalnych. W popiele były one istotnie wyższe i mieściły się odpowiednio w przedziałach 90-218 oraz 2021 – 4020 kPa.

Słowa kluczowe: popiół, węgiel kamienny, osady, rekultywacja

1. Wstęp i cel pracy

Jednym z problemów współczesności jest powstawanie, podczas wytwarzania energii elektrycznej z węgla kamiennego i brunatnego, ogromnych ilości ubocznych produktów spalania (popioły, żużle). Dąży się do ich całkowitego zagospodarowania, np. w drogownictwie, budownictwie, rekultywacji oraz rolnictwie [1-3]. Jednak część z nich podlega składowaniu, co wynika stąd, że w okresie, kiedy wzrasta produkcja energii jednocześnie zmniejsza się zakres robót, w których te odpady się wykorzystuje. W celu zmniejszenia oddziaływania tych składowisk na środowisko podejmowane są różne działania rekultywacyjne polegające na stosowaniu okryw roślinnych. Rekultywując składowisko popiołu należy określić sposób, który pozwalałby na szybkie i tanie stworzenie warunków rozwoju roślin oraz zapoczątkowanie procesu glebotwórczego. Końcowym efektem działań było by stworzenie gleb, przydatnych do produkcji biomasy do celów niespożywczych, np. w energetyce odnawialnej.

W literaturze opisującej rekultywację składowisk popiołów prezentowane są głównie wyniki badań chemizmu powstającej gleby [3]. Brakuje natomiast wiedzy dotyczącej właściwości fizycznych tworzonej gleby. Znajomość tych właściwości jest przydatna dla potrzeb oceny warunków

rozwoju roślin i kierunków procesów glebotwórczych. Dlatego jako cel niniejszej pracy przyjęto określenie wybranych właściwości fizycznych nadkładów wytworzonych z mieszaniny popiołu i odpadów substancji organicznych oraz czystego popiołu (kontrola).

2. Materiał i metody

Na terenie Zespołu Elektrowni „Dolna Odra” założono w 2003 roku doświadczenie nad zastosowaniem odpadów organicznych do rekultywacji składowisk popiołów. Z mieszaniny popiołów i odpadów organicznych utworzono warstwy (nadkłady) o miąższości 40 cm, które położone na popiele miały spełniać funkcję poziomów próchnicznych powstających gleb antropogenicznych. Poletka badawcze wykonano z zastosowaniem sześciu nadkładów, różniących się doborem materiałów, które posłużyły do ich powstania. Jako wariant kontrolny przyjęto obiekt bez nadkładu, powstały wyłącznie z popiołu [4].

Po czterech latach (wiosną i jesienią 2007 r.) przeprowadzono badania na dwóch nadkładach (II i IV), o największej różnicy zawartości materii organicznej oraz czystym popiele jako kontroli.

Nadkład II wytworzono przez wymieszanie kory drzew iglastych, piasku luźnego, kompostu produkowanego meto-

dą GWDA oraz popiołu w proporcji 1:1:2:4.

Nadkład IV wytworzono z piasku luźnego, popiołu, kompostu produkowanego metodą GWDA oraz preferentowanego komunalnego osadu ściekowego w proporcji 1:1:2:4 [2].

Podstawowe właściwości badanych nadkładów przedstawiono w tab. 1.

Wybrane poletka były obsiane mieszanką czterech gatunków traw, nadających się do rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych: wiechlina łąkowej, kostrzewy czerwonej, kostrzewy trzcinowej i życicy trwałej [6]. Na nadkładach II i IV wytworzyły one zwartą darń, a na obiekcie kontrolnym stwierdzono występowanie pojedynczych kęp traw.

Na badanych obiektach w warstwach 5-10 i 15-20 cm, zmierzono:

- opór ścinania ścinarką krzyżakową (VANE TESTER H-60, firmy Geonor), wyposażoną w końcówkę o wymiarach 16 x 32 mm, o zakresie pomiarowym od 0 do 260 kPa;
- zwięzłość gleby zwięzłościomierzem (penetrologer – firmy Eijkelkamp), stosując stożek o kącie wierzchołkowym równym 30o i powierzchni jego podstawy wynoszącym 1 cm², przy prędkości posuwu 2 cm·s⁻¹;

- gęstość objętościową szkieletu i wilgotność aktualną wagową gleby, metodą suszarkowo-wagową w cylinderkach Kopecky'ego o pojemności 100 cm³, zgodnie z normą PN-88/B-04481 [12].

Do oceny istotności różnic pomiędzy badanymi właściwościami gleb zastosowano program Statistica, przeprowadzając wieloczynnikową analizę wariancji, a grupy jednorodnie tworząc za pomocą testu Newmana-Keulusa.

3. Wyniki i dyskusja

Wartości właściwości fizycznych dla poszczególnych nadkładów i warstw przedstawiono w tab. 2.

Wiosną istotnie najwyższą wilgotnością aktualną wagową (W_{aw}) odznaczał się w warstwie 5-10 cm czysty popiół, z głębszej nie zdołano pobrać próbek do cylinderków Kopecky'ego. Spośród badanych nadkładów istotnie większą ilość wody zawierał IV (tab. 2), o blisko dwukrotnie wyższej zasobności w materię organiczną (tab. 1) niż nadkład II. Także jesienią, w warstwie 5-10 cm, najmniej wody zawierał nadkład II. W czystym popiele W_{aw} była istotnie wyższa, zaś najzasobniejszy w wodę był nadkład IV. Głębiej (15-20 cm) zróżnicowanie wilgotności było zbliżone, W_{aw} była najniższa w nadkładzie II, istotnie wyższa w IV i popiele (tab. 2).

Tab. 1. Zawartość materii organicznej [4], grupy granulometryczne oraz procentowa zawartość frakcji granulometrycznych w nadkładach II i IV [5] oraz popiele [6] w warstwie 0-40 cm

Table 1. Organic matter content [4], the soil textural group and the percentage of the granulometric fractions in overlays II and IV [5] and ash [6] in a layer 0-40 cm

Nadkład Overlay	Zawartość materii organicznej [%]/ Organic matter content [%]	Grupa granulometryczna Textural group	Procentowa zawartość frakcji o średnicy w mm Percentage of fraction of the diameter in mm				
			> 1	1-0,1	0,1-0,02	< 0,02	< 0,002
II	7,7	piasek gliniasty mocny pylasty	0,0	49,7	31,3	19,0	3,0
IV	13,6	piasek gliniasty lekki	0,0	69,6	19,4	11,0	2,0
popiół	n.o.	glina lekka pylasta	0,0	49,2	29,3	21,5	1,0

Źródło / source: opracowanie własne / own work

Tab. 2. Uśrednione wartości wilgotności aktualnej wagowej (W_{aw}), gęstości objętościowej szkieletu (ρ_d), oporu ścinania (S_c) i zwięzłości (Z_w), dla warstw i terminów wykonywania pomiarów (wiosna i jesień 2007 r.)

Table 2. Average gravimetric moisture content (W_{aw}), packing density (ρ_d), shear strength (S_c) and penetration resistance (Z_w) for layers and time of measurement (30.04.2007 and 20.09.2007)

Nadkład Overlay	Warstwa Layer [cm]	W_{aw} [%]		ρ_d [g·cm ⁻³]		S_c [kPa]		Z_w [kPa]	
		wiosna	jesień	wiosna	jesień	wiosna	jesień	wiosna	jesień
II	5-10	5,0a	20,5ab	1,19f	1,03def	60a	46a	1121a	947bc
		0,6	2,3	0,05	0,08	16	9	446	209
IV	15-20	10,8b	17,4a	1,02de	1,10ef	49a	56a	827a	507ab
		2,4	1,4	0,07	0,04	15	13	311	183
IV	5-10	12,1bc	39,6d	0,84abc	0,73a	47a	33a	1082a	788abc
		2,5	4,8	0,11	0,07	13	11	390	363
IV	15-20	14,9c	25,5bc	0,77ab	0,80abc	61a	48a	1105a	497a
		2,5	5,6	0,09	0,14	26	18	395	226
popiół	5-10	28,8d	29,9c	0,95cde	0,95 cde	90b	92b	1040a	1021c
		0,9	3,4	0,03	0,06	25	17	196	244
popiół	15-20	–	32,4c	–	0,92bcd	170c	218c	3722b	4020d
		–	1,5	–	0,06	31	34	1090	842
NIR		3,7	7,0	0,17		26	26	684	496

Źródło / source: opracowanie własne / own work

Uwaga: małymi cyframi podano wartość odchylenia standardowego; NIR – najmniejsza istotna różnica; litery a, b, c, d, e, f – grupy jednorodnie; „–” pobór prób był niemożliwy ze względu na stan aktualny gruntu

Analizując wyniki oznaczeń gęstości objętościowej szkieletu (ρ_d) dla poszczególnych nadkładów i terminów poboru próbek (tab. 2) stwierdzono, że parametr ten zawierał się w przedziale 0,73-1,19 g.cm⁻³. Pod względem gęstości objętościowej szkieletu badane nadkłady można porównać do gleb mineralnych próchnicznych, dla których wartość ρ_d wynosi od 0,75 do 1,30 g.cm⁻³ [7], jak też poziomów orno-próchnicznych gleb namurszowych o gęstości w granicach 0,92-1,08 g.cm⁻³ [8].

Małe wartości ρ_d w badanych obiektach można tłumaczyć składem nadkładów, zawierających piasek luźny, popiół i materię organiczną. Popiół jako produkt spalania węgla kamiennego w wysokiej temperaturze (1450-1600°C) składający się z kulistych cząstek, o niewielkiej gęstości właściwej (1,70-2,40 g.cm⁻³) obniża wartość ρ_d . Podobnie oddziałuje materia organiczna powodując spadek gęstości objętościowej przy wzroście jej zawartości. Dla odmiany piasek luźny o gęstości właściwej 2,65 g.cm⁻³ podnosi gęstość objętościową szkieletu (ρ_d). Pozwala to przypuszczać, że przyczyną, dla której nadkład II miał najwyższą gęstość objętościową, przy identycznym udziale piasku w obu badanych nadkładach, była dwukrotnie niższa zawartość materii organicznej niż w nadkładzie IV (tab. 1).

Różnice wartości ρ_d pomiędzy nadkładami przekraczały 0,1 g.cm⁻³. Analiza statystyczna pozwoliła na stwierdzenie, że pomiędzy nadkładem II i IV różnica gęstości była istotna, dla obu głębokości i terminów. Gęstość objętościowa szkieletu (ρ_d) zmierzona na obiekcie kontrolnym – czystym popiele – miała wartości pośrednie pomiędzy stwierdzonymi dla nadkładu II i IV. Podane w tab. 2 wartości odchyliły standardowych (małe cyfry) wskazują, że wilgotność i gęstość badanych nadkładów wykazywały dużą zmienność, szczególnie w odniesieniu do nadkładu IV, co może świadczyć o znacznej niejednorodności ich budowy, w czwartym roku od założenia doświadczenia.

Brak wiosennych wyników pomiarów wilgotności aktualnej wagowej i gęstości objętościowej szkieletu dla popiołu (warstwa 15-20 cm) wynikał z faktu, że stan obiektu uniemożliwiał pobór próbek z zachowaniem struktury. Powodem była zwarta konsystencja popiołu, o czym świadczą wyniki pomiarów oporów ścinania i zwięzłości.

Zarówno wiosną, jak i jesienią nie stwierdzono istotnych różnic w wartościach oporu ścinania (S_c) pomiędzy badanymi nadkładami (tab. 2). Zmierzone wartości S_c (33-61 kPa) były niższe od uzyskanych dla gleby o zbliżonym uziarnieniu, uprawianej sposobem uproszczonym (69-86 kPa), a zbliżone do zmierzonych w uprawianej sposobem tradycyjnym (51-58 kPa) [9]. Wartości oporu ścinania popiołu były istotnie wyższe niż w nadkładach (tab. 2). Stwierdzono także istotne różnice S_c pomiędzy warstwami popiołu. O ile w warstwie 5-10 cm opór ścinania miał wartości nieznacznie wyższe od średnich przedstawionych przez Białczyka [9], to wiosną w warstwie 15-20 cm S_c był blisko dwukrotnie, a jesienią przeszło 2,5-razy wyższy od maksymalnego.

Oceniając wartości zwięzłości (Z_w) można stwierdzić, że w warstwach 5-10 (wszystkich obiektów) i 15-20 cm nadkładów II i IV (tab. 2) były one zbliżone do przedstawionych przez Włodka [10], dla gliny lekkiej uprawianej sposobem tradycyjnym (orka) i pogłębionym (głęboszowanie + orka), a wynoszących 780 i 1080 kPa. Jedynie w warstwie 15-20 cm poletka z popiołem stwierdzono istotnie wyższą wartość Z_w , na poziomie zmierzonym dla uprawy zerowej i wynoszącym 4110 kPa [10]. Można stwierdzić, że warto-

ści Z_w (3722-4020 kPa) uzyskane dla tej warstwy zbliżyły się do uważanych za graniczne przy identyfikacji gleby zagęszczanej [11]. Różnice wartości zwięzłości pomiędzy badanymi warstwami popiołu można wyjaśnić tym, że do głębokości 10 cm znajduje się przeważająca część korzeni traw porastających poletko kontrolne.

4. Podsumowanie

Gęstość objętościowa szkieletu (ρ_d) badanych nadkładów (II i IV), o zawartości materii organicznej od 7,7 do 13,6% i składzie granulometrycznym od piasku gliniastego pylastego do gliny lekkiej pylastej, odpowiadała wartościom stwierdzonym dla gleb mineralnych próchnicznych lub poziomów orno-próchnicznych gleb namurszowych lub składowanego popiołu (kontrola) i wynosiła od 0,73 do 1,19 g.cm⁻³.

Wytrzymałość badanych nadkładów (II i IV) wyrażona wartościami oporu ścinania (S_c) i zwięzłości (Z_w), zmierzona wiosną i jesienią, nie wykazywała istotnych różnic pomiędzy obiektami oraz nie odbiegała od stwierdzonych w glebach uprawnych i wynosiła odpowiednio 33-61 oraz 497-1121 kPa. Popiół natomiast, w obu terminach badań, charakteryzował się istotnie wyższymi wartościami S_c (90-218 kPa) oraz Z_w dla warstwy 15-20 cm (3722-4020 kPa). Brak istotnych różnic wartości Z_w pomiędzy warstwą 5-10 cm popiołu a nadkładami wskazują na oddziaływanie na systemów korzeniowych traw porastających obiekt.

Zaobserwowane stosunkowo małe wartości oporu ścinania, gęstości objętościowej i zwięzłości w nadkładach oraz warstwie wierzchniej popiołu upoważniają do stwierdzenia, że są one podatne na ugniatanie. W przypadku zastosowania tego typu nadkładów do rekultywacji większych obszarów gruntów bezglebowych należy brać to pod uwagę, przy doborze maszyn wykorzystywanych do przeprowadzania ewentualnych zabiegów agrotechnicznych.

Mała gęstość objętościowa, duża zawartość materii organicznej oraz małe wartości oporu ścinania i zwięzłości tworzą warunki ułatwiające przerastanie masy glebowej przez korzenie.

5. Bibliografia

- [1] Bielińska E. J., Baran S., Stankowski S.: Ocena przydatności popiołów fluidalnych z węgla kamiennego do celów rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*, 2009: 6(115): 7-15.
- [2] Krzywy E., Stankowski S., Krzywy-Gawrońska E.: Zawartość form ogólnych i rozpuszczalnych w 1 m HCl kadmu, miedzi, niklu, ołowiu i cynku w nadkładach modeli rekultywacyjnych *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2008: 533: 231-238
- [3] Zawisza E.: Analiza przydatności drobnoziarnistych odpadów przemysłowych do uszczelniania obwałowań przeciwpowodziowych. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, PAN, Oddział w Krakowie, 2007: 4/2: 223-230.
- [4] Chudecka J., Tomaszewicz T.: Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne gleb antropogenicznych wytworzonych na bazie odpadów paleniskowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2009: 540: 321-327.
- [5] Giegużyńska E.: Ilościowa i jakościowa ewolucja substancji organicznej w procesie rekultywacji przyrodniczej prowadzonej z zastosowaniem odpadowych materiałów organicznych oraz popiołów lotnych. *Raport końcowy z wykonania projektu badawczego nr NN 305 3623 33. Sprawozdanie merytoryczne*. ZUT w Szczecinie, 2010: 93.

- [6] Stankowski S., Maciorowski R., Krzywy E., Krzywy J., Koćmit A., Tomaszewicz T., Chudecka J., Nowak A., Bacieczko W., Zieliński J., Nowak G., Czyż H., Kitczak T.: Sprawozdania etapowe od I do VI, do umowy „Zaprojektowanie i wykonanie modelu rekultywacji odpadami paleniskowymi z Zespołu Elektrowni Dolna Odra S.A. w Nowym Czarnowie oraz ocena właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych środowiska glebowego oraz wzrostu, rozwoju i jakości roślin”, 2003-2006. Nr umowy 029/03/EAE, nr umowy AR 223/2003.
- [7] Skawina T., Kossowski J., Stępniewski W.: Fizyczne właściwości gleb. W: Gleboznawstwo (red. Dobrzański B., Zawadzki S.), Warszawa: PWRiL, 1993.
- [8] Sowiński P., Smółczyński S., Orzechowski M.: Wpływ rolniczego użytkowania na właściwości fizyczno-wodne gleb w katenie moreny dennej Pojezierza Mazurskiego. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin – Polonia*, 2004, 59, 3 Sectio E: 1057–1064.
- [9] Białczyk W., Jędrzejewski M., Kordas L.: Ocena zmian niektórych parametrów mechanicznych gleby w różnych technologiach uprawy wybranych roślin. *Inżynieria Rolnicza*, 2001, 13 (33): 64-70.
- [10] Włodek S., Kukuła S., Pabin J., Biskupski A., Kaus A.: Zmiany gęstości, zwięzłości i wilgotności gleby powodowane różnymi sposobami uprawy roli. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1998, 460: 413-420.
- [11] Iancu M. 2001. Technique for Reducing Subsoil Compaction of Pedogenetic Origin. *Proceedings of the 3rd INCO Copernicus Workshop on Subsoil Compaction. Busteni-Romania. June 14-18. 2001: 437-451.*
- [12] Norma PN-88/B-04481.