



Analiza możliwości zagospodarowania osadów z wód dołowych kopalni węgla kamiennego

Andrzej Gruchot, Ewelina Zajac, Jan Zarzycki
Uniwersytet Rolniczy, Kraków

1. Wstęp

Podziemna eksploatacja węgla kamiennego wymaga ciągłego odwadniania wyrobisk górniczych. Wielkość i jakość wód dopływających do kopalń wynika między innymi z budowy geologicznej złoża, jego litologii, wodoprzepuszczalności oraz możliwości zasilania górotworu przez wody powierzchniowe. Wody podziemne pochodzą z różnych poziomów wodonośnych, a więc mają zróżnicowaną mineralizację, dotyczy to głównie chlorków i siarczanów. Wody te są również zanieczyszczone mechaniczne, głównie ziarnami skały płonnej i węgla, pochodzącymi z procesów górniczych. Szacuje się, że koncentracja tych zanieczyszczeń znacznie przekracza poziom $30 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ [3]. Część tych zanieczyszczeń, głównie grubsza frakcja wytrąca się i pozostaje w chodnikach. Natomiast wody z najdrobniejszą frakcją są odprowadzane do osadników powierzchniowych i tam oczyszczane, a następnie odprowadzane do cieków powierzchniowych [13, 15]. Eksploatowane osadniki ziemne zajmują znaczne powierzchnie terenu i wymagają oczyszczania. Materiał zdeponowany w osadnikach stanowi w niektórych przypadkach potencjalne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego i wymaga odpowiednich badań pozwalających na określenie możliwości ich wykorzystania.

Obowiązujące przepisy prawne, w tym ustawa o odpadach [23] oraz ustawa o odpadach wydobywczych [22], obligują posiadaczy odpadów do poddania ich w pierwszej kolejności odzyskowi, a dopiero w przypadku gdy z przyczyn technologicznych, ekologicznych lub ekonomicznych nie jest to możliwe, należy je unieszkodliwić poprzez skła-

dowanie w odpowiadającym wymogom ochrony środowiska obiekcie unieszkodliwiania odpadów. W świetle takich przepisów ważnym staje się rozpoznanie możliwości różnych form odzysku i zagospodarowania osadów wód dołowych.

Celem przeprowadzonych badań było określenie możliwości zagospodarowania osadów wód dołowych jednej z kopalń węgla kamiennego Katowickiego Holdingu Węglowego S.A., w rozwiązaniach geotechnicznych oraz w rekultywacji terenów zdegradowanych przez działalność wydobywczą lub przemysłową. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów z dnia 27 września 2001 roku [16] osady z obiegów wodno-mułowych kopalni stanowią odpad o kodzie 19 13 06 tj. „Szlamy z oczyszczania wód podziemnych inne niż wymienione w 19 13 05”.

2. Materiały i metodyka badań

Ocenę właściwości geotechnicznych, fizycznych i chemicznych osadów wód dołowych przeprowadzono na średniej próbce osadu pobranego na wlocie rury dolotowej do osadnika wód dołowych z okresu 2 miesięcy (sierpień–wrzesień 2013 rok). Badania podstawowych właściwości geotechnicznych przeprowadzono metodami standardowymi. Wilgotność naturalną oznaczono metodą suszarkową w temperaturze 105°C, skład granulometryczny metodą analizy sitowej i areometrycznej, gęstość właściwą metodą kolby miarowej w wodzie destylowanej, a zawartość części organicznych metodą prażenia w temperaturze 550°C. Parametry zagęszczalności to jest wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu oznaczono w standardowym aparacie Proctora w cylindrze o objętości 1,0 dm³ przy energii zagęszczania 0,59 J·cm⁻³.

Współczynnik filtracji oznaczono w edometrach wyposażonych w oprzyrządowanie do pomiarów wodoprzepuszczalności, na próbkach o średnicy 6,5 cm i wysokości 2,0 cm formowanych przy wilgotności optymalnej do uzyskania wskaźnika zagęszczenia $I_s = 0,90, 0,95$ i 1,00. Przygotowane próbki umieszczono w edometrach, a następnie przykładano obciążenie o wartości 12,5 kPa. Pomiary filtracji rozpoczęto po całkowitym przepływie wody przez próbkę i polegały one na pomiarze przepływu wody z dołu do góry próbki w warunkach zmiennego spadku hydraulicznego. Badania polegały na rejestracji zmian poziomu wody

w rurce aparatu w jednostce czasu. Współczynnik filtracji (k_T) obliczono w oparciu o równanie [12, 24]:

$$k_T = \frac{a \cdot l}{A \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

a – powierzchnia pola przekroju rurki szklanej, m^2 ,

l – wysokość próbki, m,

A – pole powierzchni próbki, m^2 ,

$(t_2 - t_1)$ – różnica czasu pomiędzy dwoma kolejnymi odczytami wysokości słupa wody w rurce szklanej, s,

h_1, h_2 – początkowa i końcowa wysokość słupa wody w rurce, m.

Uzyskaną wartość współczynnika filtracji przeliczono w odniesieniu do umownej temperatury 10°C ze wzoru:

$$k_{10} = \frac{k_T}{0,7 + 0,03T} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

T – temperatura wody, $^\circ\text{C}$.

Analizę właściwości chemicznych osadów ukierunkowano na sprawdzenie ich wpływu na środowisko. Zakres badań obejmował oznaczenie:

- składu chemicznego z wykorzystaniem mikroskopu elektronowego,
- zawartości C_{og} , S_{og} , N_{og} analizatorem TruMac firmy Leco,
- odczynu (pH w 1M KCl, H_2O , 30% H_2O_2) metodą elektrometryczną w proporcji 1:5; pH w H_2O i H_2O_2 oznaczono po 1 i 7 dobach,
- zawartości węglanów metodą Scheiblera,
- kwasowości hydrolitycznej metodą Kappena,
- zawartości wymiennych form Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} w wyciągu 1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ metodą ICP OES,
- pojemności sorpcyjnej na podstawie kwasowości hydrolitycznej i sumy zasad z sumowania oznaczonych kationów wymiennych,
- przewodności elektrycznej właściwej (EC) metodą konduktometryczną w proporcji 1:5,
- zawartości pierwiastków śladowych metodą ICP OES: Ni, Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Mn,

- zawartości składników pokarmowych dla roślin (Ca, Mg, Na, K, P) rozpuszczalnych w 0,05 M HCl metodą ICP OES,
- stężenia składników rozpuszczalnych w wyciągu wodnym (formy jonowe metodą chromatografii jonowej, formy całkowite metodą ICP OES).

Wyniki badań odniesiono do właściwości naturalnych gleb oraz ich jakości określonej w stosownych aktach prawnych cytowanych w niniejszej pracy.

Ponadto dokonano oceny rekultywacji obniżenia terenu znajdującego się w pobliżu przedmiotowych osadników z wykorzystaniem osadów pochodzących z ich oczyszczania i pogłębiania. Podstawą oceny były badania właściwości fizycznych i chemicznych gruntów podłoża oraz składu gatunkowego i stanu roślinności porastającej zrekultywowany teren. Rekultywację przeprowadzono w latach 1999–2002 i polegała ona na niwelacji obniżenia terenu o głębokości od 2 do 3 m i powierzchni około 1 ha powstałego na skutek szkód górniczych. Osady ze względu na znaczną wilgotność nie były zagęszczane, a ich deponowanie prowadzono w sposób niekontrolowany. Osuszenie osadów przebiegało w sposób naturalny, powstające odcieki w większości były odprowadzane rowami otwartymi poza rekultywowany teren, a w nieznacznej części wsiąkały w podłoże zbudowane z utworów piaszczystych. Kolejnym etapem prac wykonanych po około 3 miesięcznym okresie osuszania osadu było jego przykrycie izolacyjną warstwą mineralnego gruntu rodzimego o miąższości od 0,5 do 1,0 m (średnio 0,8 m).

W celu rozpoznania budowy podłoża na zrekultywowanym terenie wykonano dwa otwory badawcze do głębokości 2,1 oraz 2,5 m odpowiadającej poziomowi zalegania gruntu rodzimego. Z wyróżnionych poziomów pobrano próbki gruntu do oznaczenia podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych. Oceny stanu szaty roślinnej dokonano na podstawie inwentaryzacji gatunków roślinności zielnej i drzewiastej na wyznaczonych czterech powierzchniach badawczych o wymiarach 10 × 10 m. Udział poszczególnych gatunków w warstwie zielnej oceniano przy użyciu sześciostopniowej skali Brauna-Blanqueta [1], przeliczonej następnie na wartości procentowe. Zmierzono także pierśnicę wszystkich drzew o średnicy ponad 1 cm.

3. Wyniki badań i dyskusja

Właściwości geotechniczne

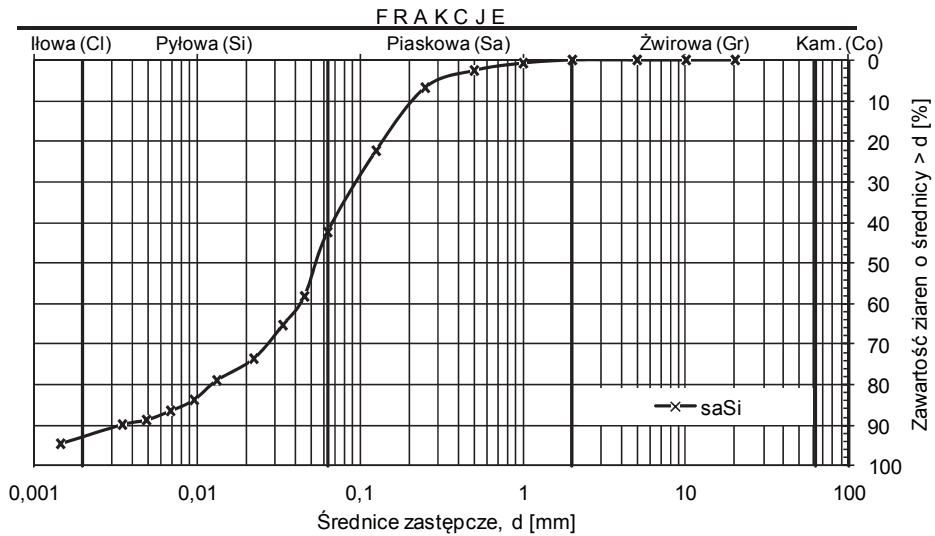
Pod względem geotechnicznym osady pobrane na wlocie do osadnika odpowiadały wielofrakcyjnym pyłom piaszczystym z nieznaczną przewagą frakcji pylastej, której było 50% w stosunku do frakcji piaskowej (42,5%), natomiast frakcji ilastej było 7,5% (rys. 1). Wilgotność naturalna wynosiła ponad 45%, przy gęstości właściwej $2,03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ i zawartości części organicznych – 42% (tab. 1).

Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu wynosił $1,32 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, przy wilgotności optymalnej 20,3%. Współczynnik filtracji przy wzroście zagęszczenia od $I_s = 0,90$ do 1,00 co odpowiadało gęstości objętościowej od $1,43$ do $1,60 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ zmniejszył się od $4,94\cdot 10^{-8}$ do $1,28\cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (rys. 2) i odpowiadał gruntom mineralnym nieprzepuszczalnym [11].

Tabela 1. Charakterystyka geotechniczna osadów

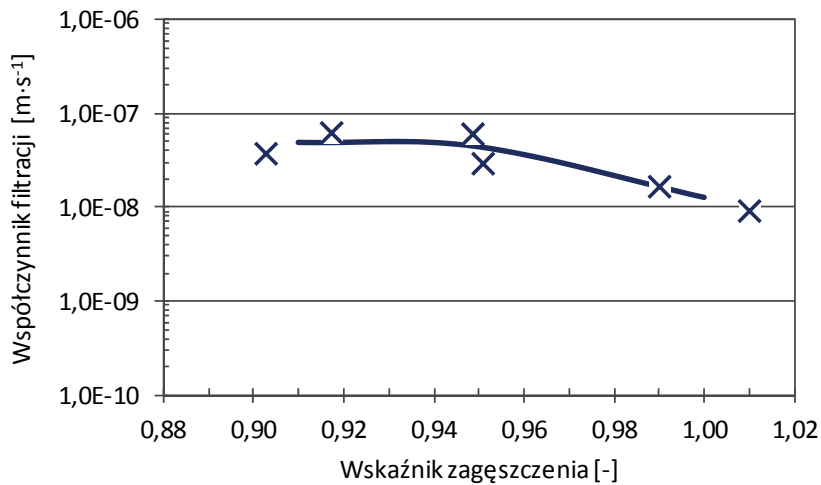
Table 1. Geotechnical properties of sediments

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
Zawartość frakcji [%]			
▪ piaskowa ($2 \div 0,063 \text{ mm}$)	Sa	%	42,5
▪ pyłowa ($0,063 \div 0,002 \text{ mm}$)	Si		50,0
▪ ilowa ($< 0,002 \text{ mm}$)	Cl		7,5
Nazwa wg [14]		saSi pył piaszczysty	
Średnice miarodajne	d_{10}		0,004
	d_{30}	-	0,027
	d_{60}		0,069
Wskaźnik różnoziarnistości	C_U	-	19,2
Wilgotność naturalna	w_n	%	45,15
Gęstość właściwa szkieletu	ρ_s	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	2,03
Wilgotność optymalna	w_{opt}	%	20,25
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu	ρ_{ds}	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,32
Zawartość części organicznych	I_{om}	%	41,9
Współczynnik filtracji przy wskaźniku zagęszczenia I_s [-]	0,90	k_{10}	$4,94\cdot 10^{-8}$
	0,95		$4,46\cdot 10^{-8}$
	1,00		$1,28\cdot 10^{-8}$



Rys. 1. Krzywa uziarnienia osadów

Fig. 1. Particle size distribution curve of sediments



Rys. 2. Zależność współczynnika filtracji osadów od zagęszczenia

Fig. 2. Relationship between the permeability coefficient index of sediments and the compaction index

Właściwości chemiczne

W składzie chemicznym osadów dennych (tab. 2) dominującymi składnikami były krzemionka (SiO_2) oraz tlenki żelaza i glinu (Al_2O_3 , Fe_2O_3) stanowiące około 80% masy próby. W osadzie występowała znaczna zawartość tlenków wapnia i magnezu (CaO , MgO), a ich suma (ponad 10%) przewyższała zawartość sodu i potasu (ponad 4%). Podwyższona zawartość żelaza i siarki w odpadach górniczych jest często związana z obecnością pirytu (FeS_2), którego wietrzenie powoduje zakwaszenie podłoża [21].

Tabela 2. Skład chemiczny osadów

Table 2. Chemical composition of sediments

Składnik	Zawartość [% s.m.]
SiO_2	50,68
Al_2O_3	25,82
Fe_2O_3	4,50
TiO_2	1,14
CaO	6,68
MgO	3,59
K_2O	3,13
Na_2O	0,96
SO_3	3,09

Odczyn badanego materiału mierzony w H_2O i KCl był zasadowy (tab. 3). Ze względu na dużą zawartość siarki w osadach pomiar pH wykonano również w H_2O_2 po 1 i 7 dobach, w celu oceny możliwości utleniania pirytu oraz zdolności buforowych materiału [20]. Uzyskane wyniki pomiarów pH tak w H_2O oraz H_2O_2 wykazały, że badany materiał posiadał duże zdolności buforowe – odczyn z zasadowego zmienił się w obojętny. Ważnym czynnikiem neutralizującym kwas siarkowy powstający podczas utleniania siarczków była obecność węglanów (CaCO_3) w badanym materiale (tab. 3). O jego zdolnościach buforowych decydowała również wysoka zawartość kationów wymiennych o charakterze zasadowym (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), których sumaryczna zawartość wynosiła blisko $16 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$. Procentowy udział kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym przekracza 96%. Biorąc pod uwagę najbardziej korzystne dla gleb zawartości poszczególnych kationów można

stwierdzić, że udział Ca^{2+} był optymalny, natomiast udział Mg^{2+} i K^+ nieco za niski, a Na^+ za wysoki (tab. 3) [25]. Przewodność właściwa materiału mieściła się w górnym zakresie podawanym dla gleb lekko zasolonych, zgodnie z klasami zasolenia gleb według zaleceń FAO tj. 0,8–1,6 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ [7]. Przy takim poziomie zasolenia gleb obserwuje się wyraźny spadek plonów większości roślin.

Tabela 3. Właściwości chemiczne osadów
Table 3. Chemical properties of sediments

Parametr		Jednostka	Wartość
Węgiel całkowity (C_c)		%	29,58
Azot ogólny (N_{og})		%	0,48
Siarka całkowita (S_c)		%	0,91
Węglany (CaCO_3)		%	8,70
Przewodność właściwa		$\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$	1,55
pH w KCl		-	7,34
pH po 1 dobie	w H_2O	-	7,61
	w H_2O_2	-	6,15
pH po 7 dobach	w H_2O	-	7,70
	w H_2O_2	-	6,79
Kationy zasadowe	Ca^{2+}	me·100 g ⁻¹	12,59
	Mg^{2+}		1,69
	Na^+		1,44
	K^+		0,19
Udział kationów zasadowych		%	96,26
Kwasowość hydrolytyczna		me·100 g ⁻¹	0,62
Pojemność sorpcyjna		me·100 g ⁻¹	16,54
Składniki pokarmowe	Ca^{2+}	mg·100 g ⁻¹	1155,10
	Mg^{2+}		343,30
	Na^+		40,86
	K^+		13,99
	P^+		0

W porównaniu do typowych gleb mineralnych osad wykazywał niższą gęstość właściwą (2,03 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), co związane było ze znaczną zawartością części organicznych (tab. 1). Jego uziarnienie zgodnie z podziałem utworów glebowych na grupy i podgrupy granulometryczne odpowiadało glinom ilastym [8]. Zawartość azotu ogólnego (N_{og}) w bada-

nej próbie dochodziła do 0,5% (tab. 3). Tak wysokie wartości spotykane są w mułach węglowych i związane są z wysoką zawartością węgla utleniającego [21]. Materiał był zasobny w wapń i magnez, a nieco uboższy w potas, przy braku fosforu. Zawartość sodu była prawie 3-krotnie wyższa niż potasu.

Analiza zawartości metali ciężkich w osadach nie wykazała przekroczeń stężeń dopuszczalnych dla grupy gruntów B (tab. 4). Wskaźniki nieujęte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [17], również nie odbiegają od wartości obserwowanych w naturalnych glebach mineralnych [6]. Zawartość żelaza była zbliżona do wartości spotykanych w powierzchniowych poziomach gleb Polski (0,8–1,8%), natomiast zawartość manganu nie przekraczała wartości dopuszczalnej w glebach uprawnych, czyli 1500–3000 mg·kg⁻¹ s.m.

Tabela 4. Stężenie pierwiastków śladowych w wyciągu wodnym osadów
Table 4. Concentration of trace elements in sediments water solution

Lp.	Pierwiastek śladowy	Stężenie [mg·kg ⁻¹ s.m.]	Stężenie dopuszczalne w gruntach grupy B ¹⁾ dla zakresu głębokości [m ppt]		
			0,0–0,3	0,3–15,0	
				do	poniżej
			współczynnika filtracji 1·10 ⁻⁷ m·s ⁻¹		
1	Nikiel (Ni)	10,37	100	50	100
2	Kadm (Cd)	1,97	4	5	6
3	Miedź (Cu)	11,06	150	100	100
4	Cynk (Zn)	178,01	300	350	300
5	Ołów (Pb)	85,78	100	100	200
6	Chrom (Cr)	6,82	150	150	190
7	Żelazo (Fe)	6672,39	nn ²⁾	nn	nn
8	Mangan (Mn)	508,79	nn	nn	nn

¹⁾ obszar sklasyfikowany zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [17], jako grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki

²⁾ nn – nie normowane

Dokonując oceny właściwości chemicznych badanych osadów odniesiono się do opracowań dotyczących gleb, gdyż rozpatrywana jest możliwość ich wykorzystania do tworzenia mieszanek stanowiących substytuty gleb, które mogłyby zostać wykorzystane m.in. w biologicznej rekultywacji terenów zdegradowanych.

Stężenia poszczególnych wskaźników w wyciągu wodnym osadów (tab. 5) były przeważnie wielokrotnie niższe niż dopuszczalne wartości dla oczyszczonych ścieków przemysłowych [19]. Wyjątek stanowił nikiel, którego dopuszczalna wartość została przekroczona 2-krotnie.

Tabela 5. Stężenie składników rozpuszczalnych w wyciągu wodnym osadów
Table 5. Concentration of dissolved elements in sediments water extract

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Stężenie w ekstrakcie wodnym próbki	Dopuszczalna wartość dla pozostałych ścieków przemysłowych ¹⁾
1	pH	-	7,20	6,5–9,0
2	Przewodność właściwa	mS·cm ⁻¹	0,595	-
3	Azot amonowy	mg N _{NH4} ·l ⁻¹	0,364	10
4	Azot azotanowy	mg N _{NO3} ·l ⁻¹	0,14	30
5	Fosfor ogólny	mg P·l ⁻¹	0,0087	3
6	Chlorki	mg Cl·l ⁻¹	36,10	1000
7	Siarczany	mg SO ₄ ·l ⁻¹	50,12	500
8	Sód	mg Na·l ⁻¹	41,78	800
9	Potas	mg K·l ⁻¹	5,94	80
10	Żelazo ogólne	mg Fe·l ⁻¹	0,013	10
11	Cynk	mg Zn·l ⁻¹	0,014	2
12	Chrom ogólny	mg Cr·l ⁻¹	<0,01	0,5
13	Nikiel	mg Ni·l ⁻¹	1,071	0,5
14	Ołów	mg Pb·l ⁻¹	<0,01	0,5

¹⁾ Zał. nr 4. Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń dla ścieków przemysłowych do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Tabela II. Najwyższe dopuszczalne wartości dla pozostałych wskaźników zanieczyszczeń [19]

Ocena rekultywacji z wykorzystaniem osadów

Na podstawie przeprowadzonych badań wyodrębniono w profilu wierceń 3 grupy utworów o dużej zawartości części organicznych, których uziarnienie i właściwości fizyczno-chemiczne omówiono pod względem klasyfikacji geotechnicznej i gleboznawczej.

Warstwę izolacyjną do głębokości około 0,7 m w otworze 1 i 0,5 m w otworze 2 stanowił pod względem geotechnicznym pył piaszczysty [12] o wilgotności wahającej się od około 8 do blisko 19% (tab. 6). Gęstość właściwa wynosiła od 2,52 do 2,61 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ i była niższa niż dla gruntów mineralnych o podobnym uziarnieniu. Wynikało to z dużej, bo od 8 do ponad 22% zawartości części organicznych, spowodowanej użyciem do wykonania tej warstwy, gleby leśnej pozyskanej w trakcie prac przygotowawczych o znacznej domieszce ściółki. Według klasyfikacji gleboznawczej utwór ten posiadał uziarnienie piasków gliniastych [8] o odczynie od lekko kwaśnego do kwaśnego.

Niżej do głębokości 2,00 m (otwór 1) i 1,60 m (otwór 2) zalegają w głównej mierze ropy pylasto piaszczyste oraz w otworze 1 stwierdzono występowanie warstw gruntów ilasto żwirowo-piaszczystych oraz ilów pylastych (tab. 6). Na podstawie analizy makroskopowej w utworach tych wyróżniono śladowe lub nieliczne części organiczne w postaci korzeni i liści, jak również laminacje piasku pylastego i drobne ziarna odpadów powęglowych. Gęstość właściwa gruntów wahała się od 2,24 do 2,32 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a objętościowa od 1,40 do 1,52 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ przy wilgotności od około 47 do 76%. Zawartość części organicznych wynosiła od około 26 do 31%. Poniżej do głębokości 2,5 m w otworze 1 zalegały ropy ilasto-piaszczyste oraz ropy piaszczysto-żwirowe, a w otworze 2 do głębokości 2,1 m ropy pylasto-piaszczyste. Pod względem makroskopowym grunty te sklasyfikowano jako osady denne o barwie czarnej lub szaro czarnej. Gęstość właściwa gruntów wahała się od 2,26 do 2,52 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a objętościowa od 1,42 do 1,70 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ przy wilgotności od około 29 do 60%. Zawartość części organicznych wynosiła od około 15% w przypadkach gruntów w otworze 1 do 25 i 30% w otworze 2. Pod względem gleboznawczym [8] utwory zalegające poniżej nadkładu mineralnego wykazywały uziarnienie odpowiadające generalnie utworom gliniastym z domieszką frakcji żwirowej. Odczyn mierzony w H_2O i KCl w poszczególnych poziomach był obojętny lub zasadowy, natomiast po 7 dobach w H_2O_2 obniżał się do lekko kwaśnego.

Analizując rozkład zasolenia w obydwu profilach gruntowych stwierdzono wyraźne zróżnicowanie przewodności właściwej (tab. 6). Na głębokości około dwóch metrów wartości przewodności były najniższe i wskazywały na lekkie zasolenie. Następnie stopniowo rosły ku górze, a na głębokości około jednego metra wynosiły powyżej $3,2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zgodnie z zaleceniami FAO [7] świadczy to o wysokim zasoleniu, które jest tolerowane wyłącznie przez rośliny odporne na takie warunki. Natomiast w nadkładzie mineralnym, stanowiącym warstwę izolacyjną nie stwierdzono zasolenia. Taki rozkład przewodności właściwej w profilu jest najprawdopodobniej wynikiem wysokiego poziomu wód gruntowych (około 1,4 m) i występującego podsiąku kapilarnego.

Należy zaznaczyć, że zgodnie z aktualnym stanem prawnym, a więc Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami [18], odpady o kodzie 19.13.06 mogą być wykorzystane jedynie w podziemnych technikach górniczych.

Na zrehabilitowanym terenie z diaspor zawartych w warstwie nadkładu mineralnego oraz migrujących z terenów sąsiednich, spontanicznie wykształciło się zbiorowisko roślinne. Roślinność ta została wykorzystana jako wskaźnik istniejących warunków siedliskowych. Po 12 latach zbiorowisko stanowi stadium seralne we wtórnej sukcesji leśnej.

Warstwa zielna jest dobrze rozwinięta i pokrywała od 90 do 100% powierzchni. Stwierdzono występowanie 40 gatunków roślin, jednak tylko pięć z nich pokrywało ponad 10% powierzchni (tab. 7). Na podstawie składu gatunkowego roślinności zielnej oraz wyliczonych średnich liczb wskaźnikowych Ellenberga i in. [4] dla wilgotności ($F = 6,3$), odczynu ($R = 6,0$) i żyzności ($N = 6,8$), można stwierdzić, że przeważają rośliny siedlisk silnie wilgotnych, o glebie obojętnej i zasobnej w związki azotowe. Pod względem fitosocjologicznym większość gatunków reprezentuje podklasę *Galio-Urticenea*, a więc naturalnych i półnaturalnych nitrofilnych zbiorowisk typu okrajkowego na żyznych siedliskach świeżych, wilgotnych i mokrych, w różnym stopniu zacienionych [10]. Pod wieloma względami, np. występowania turzycy drżączkowatej, siedlisko to zbliżone jest do zdegenerowanych lasów powszechnych na Wyżynie Śląskiej [2].

Tabela 6. Właściwości fizyczno-chemiczne podłoża na zrehabilitowanym obiekcie
Table 6. Physical and chemical properties of the substratum on reclaimed area

Otwór	Głębokość poboru [m]	Zawartość frakcji [%]				Nazwa gruntu wg [12]	Gęstość właściwa [g·cm ⁻³]	Wilgotność naturalna [%]	Gęstość objętościowa [g·cm ⁻³]	Straty przazenia [%]	pH H ₂ O	pH H ₂ O ₂	pH KCl	Przewodność właściwa [mS cm ⁻¹]
		Gr	Sa	Si	Cl									
Warstwa izolacyjna														
	0,0-0,3							11,8		22,43	5,57		5,35	0,18
	0,5-0,6										6,10		6,06	0,20
Osad														
1	0,7-0,9	34,8	23,0	29,5	12,7	sagrcIS	2,24	38,9	1,54	27,72	7,50 7,33 ¹⁾	7,16 7,12 ¹⁾	7,25	1,75
	0,9-1,0	8,4	20,9	46,7	24,0	sasiCl	2,33	49,9	1,52	26,55	7,02 7,10 ¹⁾	6,48 6,70 ¹⁾	6,77	3,40
	1,4-1,5	8,9	30,0	45,8	15,3	sasiCl	2,31	47,3	1,51	27,36	7,37 7,26 ¹⁾	6,58 6,88 ¹⁾	7,07	1,48
	2,0-2,05	1,4	39,7	52,0	6,8	sacISi	2,52	47,3	1,52	15,28	7,52 7,32 ¹⁾	6,36 6,67 ¹⁾	7,23	1,24
	2,4-2,5	24,3	31,1	32,5	12,1	grsaCl	2,45	29,2	1,70	15,19	7,62 7,34 ¹⁾	6,89 7,15 ¹⁾	7,26	1,10

¹⁾wartości oznaczone po 7 dobach

Opis frakcji: Gr – żwirowa, Sa – piaskowa, Si – pylkowa, Cl – ilasta

Tabela 6. cd

Table 6. cont.

Otwór	Głębokość poboru [m]	Zawartość frakcji [%]				Nazwa gruntu wg [12]	Gęstość właściwa [g·cm ⁻³]	Wilgotność naturalna [%]	Gęstość objętościowa [g·cm ⁻³]	Straty prążenia [%]	pH H ₂ O	pH H ₂ O ₂	pH KCl	Przewodność właściwa [mS cm ⁻¹]
		Gr	Sa	Si	Cl									
Warstwa izolacyjna														
	0,0–0,1	0	73,8	21,8	4,4	saSi	2,52	18,7		8,22	5,99	5,20	0,64	
	0,1–0,3	0	80,9	17,6	1,5	saSi	2,61	11,3			5,56	4,93	0,48	
	0,4–0,5							7,7			6,23	6,16	0,25	
Osad														
2	0,5–0,7	1,9	19,3	59,9	18,9	sasiCl	2,25	48,7	1,48	30,92	7,56 7,39 ¹⁾	7,36 7,20 ¹⁾	7,26	1,80
	1,0–1,05	8,9	25,4	49,2	16,5	sasiCl	2,32	52,9	1,43	26,44	7,46 7,42 ¹⁾	7,11 7,07 ¹⁾	7,37	3,95
	1,3–1,4	10,3	20,7	51,4	17,6	sasiCl	2,22	49,3	1,48	30,3	7,38 7,18 ¹⁾	6,62 6,95 ¹⁾	7,22	2,10
	1,6–1,7	6,3	19,2	58,1	16,4	sasiCl	2,26	59,4	1,42	30,44	7,34 7,22 ¹⁾	6,83 6,98 ¹⁾	7,13	1,70
	2,0–2,1	10,1	23,6	51,8	14,5	sasiCl	2,33	59,9	1,51	24,19	7,41 7,27 ¹⁾	6,70 6,95 ¹⁾	7,08	1,62

¹⁾wartości oznaczone po 7 dobach

Opis frakcji: Gr – żwirowa, Sa – piaskowa, Si – pyłowa, Cl – ilasta

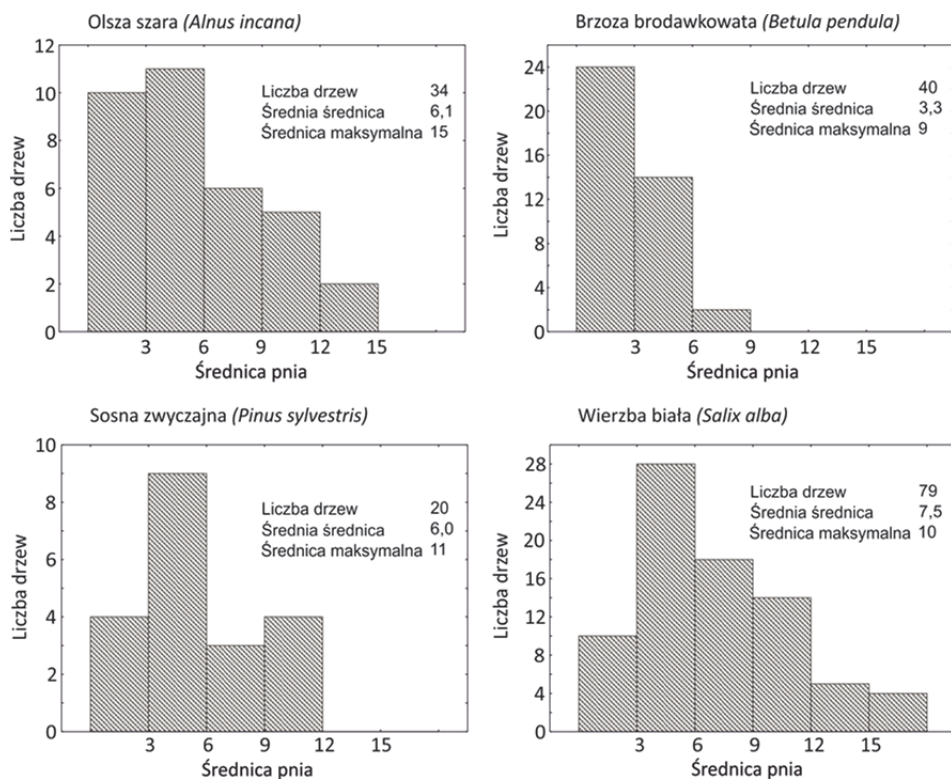
Tabela 7. Dominujące gatunki w warstwie roślin zielnych**Table 7.** Dominant species in herbaceous plants layer

Gatunek		Średnie pokrycie powierzchni [%]
Pokrzywa zwyczajna	<i>Urtica dioica</i>	44
Turzyca drżączkowata	<i>Carex brizoides</i>	39
Nawłóć późna	<i>Solidago gigantea</i>	24
Trzcina pospolita	<i>Phragmites Australis</i>	14
Sadziec konopiasty	<i>Eupatorium cannabinum</i>	13
Kuklik pospolity	<i>Geum urbanum</i>	5
Gwiazdnica gajowa	<i>Stellaria nemorum</i>	3
Trybula leśna	<i>Anthriscus sylvestris</i>	2

W drzewostanie występują cztery gatunki: olsza szara (*Alnus incana*), brzoza brodawkowata (*Betula pendula*), sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*) i wierzba biała (*Salix alba*) (rys. 2). Dominującym gatunkiem była wierzba biała – 79 osobników i brzoza brodawkowata – 40 osobników łącznie na czterech powierzchniach. Także pod względem średniej i maksymalnej pierśnicy najwyższe wartości stwierdzono dla wierzby białej. Wśród wszystkich gatunków przeważały drzewa o średnicy do 6 cm. Przeciętna wysokość drzew nie przekraczała 8 m. Skład gatunkowy drzewostanu był typowy dla wczesnych faz sukcesji i stanowiły go gatunki przedplonowe [5].

Analizując średnicę pnia osobników poszczególnych gatunków można stwierdzić, że większość z nich mieściła się w klasie grubości do 6 cm (rys. 2), co według Łukaszewicza [9] odpowiada w dużym przybliżeniu drzewom 10 letnim.

W przypadku olszy szarej i wierzby białej występowały drzewa o większej średnicy, co wynika z obecności w zastosowanym w trakcie rekultywacji nadkładzie pędów lub korzeni tych rozmnażających się wegetatywnie gatunków. Występująca na zrehabilitowanym obszarze roślinność, zarówno zielna jak i drzewiasta nie wykazuje widocznych zaburzeń morfologicznych czy fizjologicznych. Rozwijają się podobnie jak na otaczających obiekt siedliskach.



Rys. 2. Liczba i średnica pnia gatunków roślinności drzewiastej

Fig. 2. Number and mean trunk diameter of arborescent vegetation

4. Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wskazują, że przedmiotowe osady pod względem geotechnicznym odpowiadały mało przepuszczalnym pyłom piaszczystym o dużej zawartości części organicznych. Charakteryzowały się niską zawartością składników ekotoksycznych. Stężenia metali ciężkich nie przekraczały wartości dopuszczalnych dla grupy gruntów B, a więc gruntów rolnych, leśnych oraz terenów zadrzewionych i zakrzewionych [17]. Test wymywalności wykazał, że jedynie nikiel podlega w pewnym stopniu wymywaniu. Pozostałe parametry nie przekraczały dopuszczalnych wartości określonych dla oczyszczonych ścieków przemysłowych [19]. Zasolenie, choć dość wysokie, jest jednak czynnikiem ustępującym z czasem pod wpływem przemywania przez wody opadowe.

Standardy jakości gleby i ziemi [17] nie określają w tym przypadku dopuszczalnego poziomu.

Badania przeprowadzone na zrehabilitowanym terenie wykazały, że po około 12 latach od zakończenia rekultywacji spontaniczna roślinność zielna i drzewiasta porastająca teren i korzeniąca się w warstwie izolacyjnej nie wykazuje zaburzeń morfologicznych czy fizjologicznych i rozwija się podobnie jak na otaczających obiekt siedliskach.

Problematyka związana z możliwościami odzysku osadów zgromadzonych w osadnikach wód dołowych jest słabo rozpoznana i opisana w literaturze. Przeprowadzone badania pozwoliły na analizę możliwości modyfikacji właściwości osadów pod kątem ich wykorzystania do tworzenia substytutów gleb wzbogaconych odpowiednimi dodatkami. Jako potencjalne składniki mieszanek stanowiących substytut glebowy można rozpatrywać łupki przywęglowe pochodzące z wydobycia węgla kamiennego, osad ściekowy, wapno lub popiół lotny ze spalania węgla kamiennego. Wykorzystując osady do niwelacji terenu, należałoby zastosować dodatek spoiwa hydraulicznego w postaci wapna, czy cementu w celu zmniejszenia ich wilgotności, a także zwiększenia wartości parametrów wytrzymałościowych.

Należy jednak zaznaczyć, że w celu pełnej oceny przydatności osadów wód dołowych do zagospodarowania, zaleca się każdorazowo przeprowadzić badania materiału zdeponowanego w osadniku, ponieważ zawarty w nim osad może ulegać przemianom fizycznym i chemicznym.

Literatura

1. **Braun-Blanquet J.:** *Plant Sociology*. 3 Aufl. Springer Verl. Wien 1964.
2. **Chmura D., Sierka E.:** *The invasibility of deciduous forest communities after disturbance: A case study of Carex brizoides and Impatiens parviflora invasion*. *Forest Ecology and Management*. 487–495 (2007).
3. **Dyduch F., Aleksa H.:** *Oczyszczanie wód z zanieczyszczeń mechanicznych w osadnikach dołowych*. *Inżynieria Mineralna*. Polskie Towarzystwo Przeróbki Kopaliny, Kraków, 2(6), 35–47 (2002).
4. **Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D.:** *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. *Scripta Geobot.* 18: 1–258 (1992).
5. **Jaworski A.:** *Ekologiczne podstawy projektowania składu gatunkowego odnowień. Zagadnienia wybrane*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Krakowie 1988.

6. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** *Biochemia pierwiastków śladowych.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
7. **Karczewska A.:** *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych.* Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu 2008.
8. Klasyfikacja Uziarnienia Gleb PTG 2008. Uchwała Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego z dnia 5 marca 2008.
9. **Łukaszewicz J.:** *Szacowanie obwodów pni drzew 10-letnich na potrzeby zieleni miejskiej.* Rocznik Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego. 61, 87–95 (2013).
10. **Matuszkiewicz W.:** *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski.* Wydawnictwo Naukowe PWN 2012.
11. **Pazdro Z.:** *Hydrogeologia ogólna.* Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1983.
12. **Piekarski J.:** *Numeryczne modelowanie procesu filtracji i sorpcji.* Monografia, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej 2009.
13. **Piekarski J., Piecuch T., Malatyńska G.:** *Filtracja przy stałym przepływie mieszanin tworzących osady o małej ściśliwości.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 16, 239–359 (2014).
14. PN EN-ISO-14688-2:2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikacji.
15. **Policht-Latawiec A., Kapica A.:** *Wpływ kopalni węgla kamiennego na jakość wody rzeki Wisły.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 15, 2640–2651 (2013).
16. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów z dnia 27 września 2001 r. [Dz.U. z 2001 r., nr 112, poz.1206].
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [Dz.U. z 2002 r., nr 165, poz. 1359].
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami [Dz.U. z 2006 r., nr 49, poz. 356].
19. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [Dz.U. z 2014 r., poz. 1800].
20. **Strzyszczyński Z.:** *Verwitterungsprozesse und Verwitterungsprognostik in Bergbau-Halden für die Rekultivierung.* Mitt. Deut.Boden. Ges. 43, 897–901 (1985).
21. **Strzyszczyński Z.:** *Ocena przydatności i zasady stosowania różnych odpadów do rekultywacji zwalowisk oraz terenów zdegradowanych działalnością przemysłową.* Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze 2004.

22. Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych [Dz.U. z 2008 r., nr 138 poz. 865] z późniejszymi zmianami [Dz.U. z 2012 poz. 1513].
23. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [Dz.U. z 2013 r., poz. 21].
24. **Wilun Z.:** *Zarys geotechniki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2003.
25. **Zawadzki S.:** *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa 1999.

Analysis of Possibilities for Management of Hard Coal Mine Water Sediments

Abstract

The aim of this study was to determine possibilities for management of hard coal mine water sediments in geotechnical solutions and reclamation of lands degraded by mining and industrial activities. The mean sample of sediment collected at settling tank inlet was examined to assess geotechnical, physical and chemical properties of this material. Furthermore the effect of reclamation of subsidence trough where the mine water sediment were used was evaluated. Evaluation was carried out on the basis of substratum properties and examination of spontaneous vegetation (species composition and condition) overgrowing the reclaimed area. Survey results revealed that in geological respect water mine sediments responded to sandy silt of low permeability and high organic parts content. It also showed low contamination level. Heavy metals concentration did not exceed threshold limit values for group of grounds B, which were farmlands, forest lands and trees and shrubs covered lands. The washout test discovered that only nickel concentration was exceeded. The stated salinity was rather high, but would be possible to reduce by washing through the profile e.g. by precipitation. Survey of spontaneous vegetation that had developed on the reclaimed area indicated that after 12 years trees and herbaceous plants rooted in the isolation mineral layer did not show any morphological or physiological disorders and it developed similar to vegetation in neighbouring natural habitats. Preliminary studies show that some modifications of mine water sediments properties should be applied to use it e.g. for levelling the ground or soil substitutes production. The mixtures that would be managed as soil substitutes potential ingredients could be e.g. hard coal shales, sewage sludge, lime or fly-ash produced from burning of hard coal.

Słowa kluczowe:

osady wód dołowych, właściwości fizyczno-chemiczne, rekultywacja

Keywords:

mine water sediments, physical and chemical properties, reclamation