

*Ewa Kozielska-Sroka**, *Magdalena Chęć***

WŁAŚCIWOŚCI OSADÓW DENNYCH JEZIORA CZORSZTYŃSKIEGO W ASPEKCIE ICH WYKORZYSTANIA W BUDOWNICTWIE ZIEMNYM

1. Wstęp

Konieczność regulacji stosunków wodnych, ochrony przeciwpowodziowej, retencji wód do celów pitnych, energetycznych i przemysłowych jak również tworzenie akwenów do celów turystyczno-rekreacyjnych, wymusiło budowę sztucznych zbiorników wodnych, szczególnie w południowej Polsce. Do największych należą zapory w Solinie, Rożnowie, Dobczycach i Niedzicy.

Budowa zapory stanowi naturalną przeszkodę dla materiału wleczonego przez rzeki szczególnie w okresach powodziowych w wyniku czego rozwijają się procesy związane z zamulaniem i załadowywaniem zbiorników [1–4]. Transportowany materiał systematycznie osadza się na dnie zbiorników co negatywnie wpływa na zdolności retencyjne i ochronę przeciwpowodziową. Ponadto przy niskich stanach zbiornika osady przydenne mają negatywny wpływ na jakość wód pitnych, ograniczają prowadzenie i funkcjonowanie gospodarki wodnej oraz ograniczają produkcję energii elektrycznej. Dodatkowo przy intensywnym załadowaniu zbiorników retencyjnych następuje zmętnienie wód, a same osady mogą być siedliskiem wszelakich zanieczyszczeń chemicznych.

Załadowywanie Zbiornika Czorsztyn — Niedzica następuje poprzez osady niesione przez Dunajec szczególnie podczas wysokich stanów powodziowych oraz przez dynamiczne oddziaływanie wód zbiornika na brzegi, w wyniku czego rozwija się proces abrazji powodujący przebudowę jego brzegów. Widoczną formą działania wody w procesie abrazji są dwa podstawowe zjawiska: denudacja polegająca na wymywaniu cząstek i agregatów gruntowych w czasie jej fizycznego i chemicznego oddziaływania na podłoże oraz zjawisko aku-

* Zakład Mechaniki Gruntów i Budownictwa Ziemnego, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

** Absolwentka Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

mulacji polegające na sedymentacji materiału wymytego najczęściej w strefie przyboju. W procesie tym obserwuje się segregację materiału, polegającą na gromadzeniu się grubszych frakcji w obrębie linii brzegowej, a drobnych w głębi zbiornika.

W niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę właściwości geotechnicznych gruntów z obrzeży Zbiornika Czorsztyn — Niedzica i osadów przydennych gromadzonych w zbiorniku. Wskazano też możliwe kierunki wykorzystania osadów spoistych gromadzonych w zbiorniku do uszczelniania ziemnych budowli hydrotechnicznych oraz do wykonywania przesłon izolacyjnych w składowiskach odpadów.

2. Lokalizacja

Zbiornik wodny Czorsztyn — Niedzica powstał w latach 1975–1997 dzięki spiętrzeniu wód Dunajca zaporą ziemną. Położony jest we wschodniej części Kotliny Nowotarskiej i stanowi jedno z największych sztucznych jezior w Polsce. Rozciąga się na długości 10,5 km od wsi Dębno do Niedzicy. Badaniami objęto fragment brzegu przylegającego do Pienińskiego Parku Narodowego, w kierunku północno i północno-zachodnim od czoła zapory. Zbocza o dużym nachyleniu w rejonie wzgórza Wapiennik, zbudowane są ze skał wapiennych, margli i piaskowców, stoki łagodne tworzą grunty spoiste, gliny pylaste, rumosz i żwiry gliniaste oraz materiał zwietrzelinowy. Okrywą zboczy stanowią lasy, krzewy, a także łąki i pastwiska (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań

3. Zakres i metody badań

Badania abrazji na badanym obiekcie polegające na dokonywaniu obmiaru geodezyjnego przy pomocy niwelatora prowadzone są na przedmiotowym terenie od 2003 roku. Kolejne rokroczne pomiary pozwoliły na ilościową i jakościową ocenę przebudowy skarp obrzeży zbiornika oraz określenie objętości wyerodowanego materiału. Badania laboratoryjne przeprowadzone zostały dla gruntów pobranych ze skarp obrzeży oraz z tarasów abrazyjnych (osady denne) zlokalizowanych na przekrojach I–I — IV–IV (rys. 1) i stanowią podstawę rozpoznania ich właściwości fizyko-mechanicznych tj. wilgotności naturalnej, składu uziarnienia, granic konsystencji, gęstości właściwej, parametrów zagęszczenia (maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej) współczynnika filtracji oraz parametrów wytrzymałości na ścinanie (kąta tarcia wewnętrznego i kohezji). Oznaczenia wykonane zostały zgodnie z normą PN-88/B-04481 [6].

4. Wyniki badań

Charakterystykę właściwości gruntów pobranych z obrzeża zbiornika i osadów dennych przedstawiono zbiorczo w tabeli 1, natomiast ilościową ocenę objętości mas gruntu, które uległy przemieszczeniu zawiera tabela 2.

Zbocze zbiornika pod względem geotechnicznym budują żwiry gliniaste (Z_g) o następujących średnich zawartościach poszczególnych frakcji gruntowych $f_z = 62,5\%$, $f_p = 17,9\%$, $f_{\pi} = 15\%$ i $f_i = 4,6\%$. Materiał ten charakteryzuje się wysokim wskaźnikiem różnoziarnistości $U > 1000$, maksymalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego rzędu $1,87 \text{ g/cm}^3$ przy wilgotności optymalnej $14,8\%$, współczynnikiem filtracji rzędu 10^{-6} m/s , oraz wysokimi wartościami kąta tarcia wewnętrznego rzędu 39° .

Osady przydenne stanowią gliny (G) o średniej procentowej zawartości frakcji gruntowych wynoszących $f_z = 9,1\%$, $f_p = 42,2\%$, $f_{\pi} = 34,3\%$ i $f_i = 14,4\%$. Jak widać dominuje w nich frakcja piaskowa, pyłowa i ilowa. Materiał ten posiada wskaźnik różnoziarnistości rzędu $U = 57$, wskaźnik plastyczności $I_p = 12,14$, wysoką zawartość części organicznych $I_{om} = 5,46\%$, maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego rzędu $1,71 \text{ g/cm}^3$ przy wilgotności optymalnej $15,8\%$, współczynnikiem filtracji rzędu 10^{-9} m/s , oraz wysokie parametry wytrzymałości na ścinanie o wartościach kąta tarcia wewnętrznego rzędu 39° i kohezji od $25\div 43 \text{ kPa}$.

Badania transformacji gruntów tworzących obrzeże Jeziora Czorszyńskiego wykazały w oparciu o przeprowadzone obliczenia objętości przemieszczanych mas ziemnych, że proces denudacji (abrazji) znacznie przewyższa proces akumulacji materiału. Na badanym odcinku brzegu w wyniku abrazji ubyło za okres 2003–2008 roku $156,39 \text{ m}^3$ materiału ziemnego, a akumulacja wyniosła jedynie $16,55 \text{ m}^3$, co daje w bilansie ubytek gruntu $1,06 \text{ m}^3 \cdot \text{mb}^{-1}$ brzegu.

TABELA 1

Właściwości fizyczne gruntów tworzących obrzeże Jeziora Czorsztyńskiego i osadów dennych

Parametry fizyczne wg N-88/B-04481 [6]	Symbol	Jednostka miary	Grunt ze skarp obrzeża	Osady dennie Jeziora Czorsztyńskiego
Zawartość frakcji:				
— żwirowej,	f_z		62,5	9,1
— piaskowej,	f_p	%	17,9	42,2
— pyłowej,	f_π		15,0	34,3
— ilowej	f_i		4,6	14,4
Rodzaj gruntu	–	–	Żg	G
Wskaźnik uziarnienia	U	[–]	1073	57
Gęstość właściwa	ρ_s	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	2,69	2,71
Granica plastyczności	W_P	%	–	26,46
Granica płynności	W_L	%	–	43,60
Wskaźnik plastyczności	I_P	[–]	–	12,14
Zawartość CaCO_3	–	%	–	3 – 5
Zawartość części organicznych	I_{om}	%	–	5,46
Wilgotność optymalna	w_{opt}	%	14,75	15,82
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	ρ_{ds}	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,87	1,71
Kąt tarcia wewnętrznego:				
— $I_S = 0,90$,			–	37,1
— $I_S = 0,95$,	ϕ	%	39,2	37,6
— $I_S = 1,00$			–	38,6
Kohezja:				
— $I_S = 0,90$,			–	24,9
— $I_S = 0,95$,	c	kPa	25,0	36,0
— $I_S = 1,00$			–	43,2
Współczynnik filtracji:				
— $I_S = 0,90$,			$1,55\cdot 10^{-6}$	$8,20\cdot 10^{-9}$
— $I_S = 0,95$,	k_{10}	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	–	$5,90\cdot 10^{-9}$
— $I_S = 1,00$			$7,69\cdot 10^{-9}$	$6,03\cdot 10^{-9}$

TABELA 2

Obliczenia objętości mas ziemnych przemieszczanych w wyniku działania procesów denudacji (abrazji) i akumulacji

Numer przekroju	Wartości średnie [m ²]		Odległość [m]	Objętości [m ³]	
	Abrazja	Akumulacja		Abrazja	Akumulacja
I-I	1,160	0,145	54,0	62,64	7,83
II-II			31,5		
III-III	0,535	0,190	45,5	16,85	5,99
IV-IV	1,690	0,060		79,90	2,73
			Σ	156,39	16,55
W-I	5,600	0,125	16,0	89,0	2,0
W-II					

5. Ocena przydatności osadów przydennych do formowania budowli ziemnych

Aktualnie istnieje powszechna opinia o nieprzydatności osadów spoistych gromadzonych w zbiornikach w budownictwie jak również nieopłacalności ich eksploatacji dla celów rolniczych. Budowle ziemne stanowią bardzo ważne miejsce w budownictwie lądowym i hydrotechnicznym. W Polsce najczęściej stosowanym dokumentem określającym wymogi odnośnie przydatności gruntów, wykonywania robót i budowli ziemnych stanowi norma PN-B-06050 [7] z 1999 roku.

Analizując parametry geotechniczne zawarte w tabeli 3 oraz uwzględniając wyżej wymienione wymogi normowe oraz zalecenia [5] można stwierdzić, że osady denne Jeziora Czorsztyńskiego, z uwagi na współczynnik filtracji, niższy niż wymagany przy doborze gruntów na elementy uszczelniające zapór sypanych (tj. $k < 10^{-7}$ m/s) oraz wysoką zawartość frakcji drobnych mogą być stosowane na elementy uszczelniające ziemnych budowli hydrotechnicznych takich jak np. zapory ziemne, wały przeciwpowodziowe i groble.

Przy doborze gruntów do budowy nasypów drogowych najczęściej stosuje się normę PN-S-02205 [8], wymogi tej normy pokrywają się z normą PN-B-06050 [7].

Analizując tabelę 4 można stwierdzić, na podstawie głównego kryterium wysadziności tj. uziarnienia, że rozpatrywane osady denne gromadzone w Jeziorze Czorsztyńskim są gruntami wysadziniowymi o zawartości części organicznych $I_{om} > 2\%$ i wysokiej wartości

granicy płynności $W_L > 35\%$ i z tego też względu nie mogą być stosowane do budowy nasypów komunikacyjnych (drogowych i kolejowych).

TABELA 3

Kryterium przydatności gruntów do wykonywania uszczelnień nasypów hydrotechnicznych według PN-B-06050 [5, 7]

Parametry	Symbol	Jednostka	Według PN-B-06050 [7] i [5]	Osady denne
Zawartość frakcji $0,01 > d > 0,005$ mm	–	%	dopuszcza < 25	18
Zawartość części organicznych	I_{om}	%	< 3	5,46
Wskaźnik różnoziarnistości	U	%	> 60	56,9
Kąt tarcia wewnętrznego	ϕ	°	> 25	37
Współczynnik filtracji	k	$m \cdot s^{-1}$	10^{-7}	10^{-9}
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	ρ_{ds}	$g \cdot cm^{-3}$	$> 1,6$	1,71

TABELA 4

Kryterium przydatności gruntów do budowy nasypów drogowych wg PN-B-02205 [8]

Parametry	Symbol	Jednostka	Według PN-S-02205 [8]	Osady denne
Zawartość frakcji $< 0,075$ mm	–	%	< 30	26,3
Zawartość frakcji $< 0,02$ mm	–	%	< 10	21,1
Granica płynności	W_L	%	< 60	43,6
Wskaźnik różnoziarnistości	U	%	> 3	56,9
Zawartość części organicznych	I_{om}	%	< 2	5,46
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	ρ_{ds}	$g \cdot cm^{-3}$	$> 1,6$	1,71
Wysadzinowość	Grunt jest wysadzinowy z uwagi na niespełnienie kryterium uziarnienia			

Przesłony uszczelniające powierzchnię składowiska mają na celu uniemożliwienie migracji odcieków ze składowiska do środowiska naturalnego oraz wód gruntowych do wnętrza składowiska, dlatego najczęściej spotykanym kryterium jest odpowiednio niska wodoprzepuszczalność wyrażona współczynnikiem filtracji k , który powinien być mniejszy od $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. W ocenie tej winny być uwzględnione też inne kryteria jak wilgotności i plastyczności. W świetle danych zamieszczonych w tabeli 5 można stwierdzić, że badane osa-

dy spoiste można uznać jako odpowiednie do budowy warstw izolacyjnych w składowiskach odpadów, gdyż wartość głównego parametru kryterialnego tj. współczynnika filtracji nawet przy niskim wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,90$ jest mniejsza niż $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 1).

TABELA 5

Kryterium przydatności gruntów do budowy przesłon mineralnych w składowiskach odpadów według rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku [9]

Kryterium	Według	Zaleca się	Osady denne
Wodoprzepuszczalności	rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku	$k \leq 1 \cdot 10^{-9} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	$k < 1 \cdot 10^{-9} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
Uziarnienia	PN-B-06050 [7]	$f_i < 30\%$	$f_i = 14,3\%$
Plastyczności	źródła branżowe	$I_p \geq 10 \div 15$	$I_p = 17,14\%$

6. Wnioski

- 1) Przedstawione wyżej wartości parametrów geotechnicznych osadów dennych wynikają z rodzaju gruntów tworzących obrzeża i skarpy abrazyjne zbiornika.
- 2) Własności geotechniczne osadów pozwalają na stwierdzenie ich przydatności do elementów uszczelniających w ziemnych budowlach hydrotechnicznych.
- 3) Charakteryzująca odpady przydenne niska wartość współczynnika filtracji ($k < 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$) pozwala na wykorzystanie ich również na warstwy izolacyjne składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych.
- 4) Osady denne Jeziora Czorsztyńskiego nie są dobrym materiałem do budowy nasypów drogowych, ponieważ są gruntami wysadzinowymi i charakteryzują się zawartością części organicznych $I_{om} > 2\%$.
- 5) Pozyskiwanie osadów ze zbiorników zaporowych pozwala na oszczędność naturalnych gruntów mineralnych do wyżej wymienionych celów co ma znaczenie z punktu ochrony środowiska.

LITERATURA

- [1] Cyberski J.: Sedymentacja rumowiska w zbiorniku rożnowskim. Prace PIHM, z. 69, Warszawa, 1969
- [2] Dryś D.: Analiza wpływu czynników geotechnicznych i hydrologiczno-meteorologicznych na budowę nieubezpieczonych brzegów Jeziora Czorsztyńskiego. Kraków, 2007 (praca magisterska)
- [3] Gwóźdź R.: Właściwości osadów spoistych Jeziora Rożnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania. Kraków 2007 (praca doktorska)
- [4] Onyszko J.: Zamulanie zbiornika rożnowskiego. Rozprawy hydrotechniczne, 12, 1962
- [5] Sobczak J.: Zapory z materiałów miejscowych. Warszawa, PWN 1975
- [6] Norma PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. Warszawa, Wydawnictwo Normalizacyjne „Alfa” 1988

- [7] Norma PN-B-06050. Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 1999
- [8] Norma PN-S-02205. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 1998
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać szczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. z dnia 10 kwietnia 2003 r.)