



ANDRZEJ GRUCHOT

Uniwersytet Rolniczy
w Krakowie
rmgrucho@cyf-kr.edu.pl



KAROLINA KOŚ

Uniwersytet Rolniczy
w Krakowie
karolinasudyka@wp.pl

Ocena przydatności osadów dennych cofki zbiornika wodnego Czorsztyń – Niedzica do celów budownictwa ziemnego

Zalądowanie (zamulenie) zbiornika wodnego to całokształt procesów morfologicznych prowadzących do stopniowego zmniejszania się jego pojemności [11]. Proces ten obejmuje akumulację materiału pochodzącego z abrazji brzegów, obumierania roślin oraz przede wszystkim akumulację rumowiska transportowanego przez dopływy. Zatrzymywanie rumowiska rzecznoego wywołuje w zbiornikach wodnych szereg negatywnych skutków, utrudniając ich prawidłowe funkcjonowanie. W większości zbiorników proces zamulania jest długo-

trwały, a kłopoty eksploatacyjne najwcześniej mogą wystąpić w części cofkowej, w której zaczynają się odkładać grubsze frakcje rumowiska.

Dlatego przy projektowaniu i eksploatacji sztucznych zbiorników wodnych istotne jest prawidłowe rozpoznanie procesu ich zamulania oraz uwzględnienie jego skutków, takich jak np. zmniejszanie pojemności użytkowej. W istniejących zbiornikach pomocne może być rozpoznanie właściwości zalegających osadów, zarówno pod kątem cech geotechnicznych jak i chemicznych, co pozwoli na ewentualne ich wydobycie i zagospodarowanie. W szczególności warta rozważenia jest kwestia wykorzystania tego materiału do celów budownictwa ziemnego.

Badania właściwości osadów dennych różnych zbiorników wodnych [3], [5], [6], [7], [11] wskazują, że mogą one stanowić wartościowy materiał do celów budownictwa ziemnego, zwłaszcza gdy brak jest gruntów mineralnych w pobliżu lokalizacji danej budowy. Osady bagrowane ze zbiorników wodnych mogą być wykorzystane w różny sposób:

- jako dodatek do gleb lekkich celem poprawienia ich wartości produkcyjnych,
- do niwelacji terenu,
- rekultywacji gruntów bezglebowych,
- do celów budownictwa ziemnego – drogowego i hydrotechnicznego.

Pomimo, że właściwości osadów pozwalają na ich użycie w budownictwie ziemnym, to trudności eksploatacyjne i obawy związane z ich stosowaniem sprawiają, że są one rzadko wykorzystywane. W praktyce, zużytkowanie wydobytych z dna osadów sprowadza się do ich rozplantowania na miejscu i ewentualnie do uzupełnienia lub nadbudowy skarp zbiornika.

Cel i zakres badań

Celem badań, prezentowanych w niniejszym artykule, było określenie geotechnicznych właściwości osadów dennych z cofki zbiornika wodnego Czorsztyń-Niedzica i zawartości w nich metali ciężkich oraz ocena ich przydatności do celów budownictwa ziemnego – drogowego i hydrotechnicznego.

Próbki osadów dennych pobrano z prawobrzeżnej części cofki zbiornika przy ujściu rzeki Dunajec w rejonie miejscowości Dębno. Próbki pobrano z warstw różniących się pod względem uziarnienia z głębokości: 0,3 m i 0,5–0,7 m (osady spoiste pylaste) oraz 0,7–0,8 m i 0,9–1,1 m (osady niespoiste piaszczyste).

Zakres badań właściwości geotechnicznych obejmował oznaczenie składu uziarnienia, gęstości właściwej szkieletu, parametrów zagęszczalności, granic konsystencji osadów spoistych, zawartości części organicznych, współczynnika filtracji, wskaźnika nośności oraz wytrzymałości na ścinanie.

Skład uziarnienia oraz podstawowe cechy fizyczne oznaczono w sposób standardowy zgodnie z Polskimi Normami. Wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu osadów określono w aparacie Proctora przy energii zagęszczenia $0,59 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Współczynnik filtracji osadów pylastych określono w edometrach przystosowanych do badań wodoprzepuszczalności, na próbkach o średnicy 7,5 cm i wysokości 1,9 cm. Badania przeprowadzono przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,95$ i wilgotności zbliżonej do optymalnej przy przepływie wody od dołu do góry przy zmiennym spadku hydraulicznym. Natomiast współczynnik filtracji osadów piaszczystych, określono w aparacie ITB-ZWk2 na próbkach o średnicy 11,2 cm i wysokości 6,2 cm przy wilgotności około 3% i zagęszczeniu odpowiadającym $I_s = 0,95$. Badanie wykonano przy przepływie wody w obydwu kierunkach i stałym spadku hydraulicznym.

Wskaźnik nośności osadów piaszczystych określono na próbkach bezpośrednio po zagęszczeniu oraz po 4 dobach nasączenia wodą [10], przy obciążeniu 22,0 N i penetracji trzpienia o powierzchni 20 cm² do głębokości 2,5 i 5,0 mm z prędkością 1,25 mm·min⁻¹. Jako wartość miarodajną przyjęto wyższą wartość wskaźnika nośności. W trakcie procesu nasączenia rejestrowano wielkość przyrostu wysokości próbki spowodowanego nasyceniem jej wodą. Pęcznienie liniowe określono jako stosunek przyrostu wysokości do początkowej wysokości próbki i wyrażono w procentach.

Badania wytrzymałości na ścinanie przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania w skrzynce o wymia-

rach 100 x 100 mm, z ramkami pośredni-
mi tworzącymi strefę ścinania o wysoko-
ści 4 mm. Do badań wytypowano osady
piaszczyste. Próbkę formowano bezpo-
średnio w skrzynce aparatu przy wilgot-
ności zbliżonej do optymalnej do uzy-
skania wskaźnika zagęszczenia $I_s = 1,00$.
Próbki poddano obciążeniu o wiel-
kości 100, 200 i 300 kPa, a następnie
ściano przy prędkości $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ do
uzyskania 10% odkształcenia poziomego
próbki. Obliczenia parametrów wy-
trzymałościowych wykonano dla warto-
ści maksymalnych naprężeń ścinających
(max τ_p).

Zawartość metali ciężkich tj. kadmu
(Cd), miedzi (Cu), cynku (Zn) i ołowiu (Pb)
przeprowadzono metodą FAAS przy uży-
ciu spektrometru UNICAM Solaar M6.

Charakterystyka właściwości geotechnicznych osadów dennych

Osady pobrane z głębokości do 0,7 m sklasyfikowano jako
kilkufrakcyjne pyły o dominującej frakcji pyłowej w ilości oko-
ło 80%, frakcji piaszkowej było około 11%, a ilowej około 9%
(tab. 1). Osady z głębokości od 0,7 m do 0,8 m sklasyfikowa-
no jako piaski pylaste jednofrakcyjne o zawartości frakcji pia-
skowej 83%, pyłowej z ilową około 17%. Natomiast osady
z głębokości od 0,9 do 1,1 m sklasyfikowano jako piaski
średnie jednofrakcyjne o zawartości 97% frakcji piaszkowej
i 3% frakcji pyłowej z ilową.

Wilgotność naturalna osadów pylastych wynosiła od około
55 do 62%. Osady piaszczyste z głębokości 0,7-0,8 m i 0,9-
1,1 m charakteryzowały się wilgotnością naturalną odpo-
wiednio około 21 i 10%.

Tabela 1. Właściwości fizyczne badanych osadów dennych

Parametry	Symbol	Jedno- stka	Głębokość poboru [m]			
			0,0–0,3	0,5–0,7	0,7–0,8	0,9–1,1
Zawartość frakcji: – piaszkowej 2–0,063 mm – pyłowej 0,063–0,002 mm – ilowej <0,002 mm	Sa Si Cl	%	9,0 83,0 8,0	13,0 77,0 10,0	83,0 17,0	97,0 3,0
Wskaźnik uziarnienia	C_u	–	11,7	10,9	2,6	2,4
Nazwa gruntu wg [9]			Si	Si	siSa	MSa
Wilgotność naturalna	w	%	55,5	62,3	21,6	10,0
Gęstość właściwa	ρ_s	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2,68	2,67	2,66	2,65
Zawartość części organicznych	I_{om}	%	2,09	3,13	1,00	0,75
Straty prażenia	I_z	%	6,37	7,30	2,49	1,74
Współczynnik filtracji	k_{10}	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-9}$	$3,3 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
Wilgotność optymalna	w_{opt}	%	25,2	27,9	19,2	18,0
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu	ρ_{ds}	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1,44	1,42	1,56	1,58
Granica plastyczności	w_p	%	27,67	32,04	–	–
Granica płynności	w_L	%	42,90	50,20	–	–

Tabela 2. Wartości wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego piaszczystych osadów dennych

Głębokość poboru (rodzaj gruntu)	Czas nasiąkliwości t [doby]	Wilgotność w strefie penetracji trzpienia w [%]		Wskaźnik nośności w_{nos} [%]		Pęcznienie liniowe p [%]	
		wyniki badania	średnia	wyniki badania	średnia	wyniki badania	średnia
0,7–0,8 m (siSa)	0	16,8	17,0	21,2	21,6	–	
		17,2		21,9			
	4	21,5	21,8	17,8	18,9	0,13	0,11
		22,1		20,0		0,08	
(0,9–1,1) (MSa)	0	16,3	16,5	22,6	24,5	–	
		16,7		26,3			
	4	21,1	21,0	16,5	18,1	0,22	0,14
		20,9		19,6		0,06	

Gęstość właściwa szkieletu wynosiła od $2,66$ do $2,68 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,
zarówno osadów pylastych jak i piaszczystych, i była zgodna
z wartościami podawanymi w literaturze w odniesieniu do
gruntów o analogicznym składzie uziarnienia co badane osa-
dy denne.

Parametry zagęszczalności osadów sklasyfikowanych jako
pyły wynosiły: wilgotność optymalna wahała się od około
25% do 28%, a maksymalna gęstość objętościowa szkieletu
od $1,44 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ do $1,42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Parametry osadów sklasyfiko-
wanych jako piasek pylasty wyniosły odpowiednio 19% oraz
 $1,56 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, natomiast w materiale pobranym z głębokości
większej niż 0,9 m, którego uziarnienie odpowiadało piaskom
średnim – 18% i $1,58 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Wielkość strat prażenia osadów pylastych wahała się od
6,4 do 7,3%. Dla osadów piaszczystych pobranych z głębo-
kości 0,8 i 1,1 m wynosiła odpowiednio 2,5 i 1,7%. Zawartość
części organicznych uzyskana przy zastosowaniu metody
utleniania wyniosła średnio 2,6% w osadach pylastych,
a w piaszczystych nie przekroczyła 1,0%. Ze względu na prze-
miany zachodzące w części mineralnej

podczas procesu prażenia, przy klasyfi-
kacji gruntów należy kierować się wyni-
kami uzyskanymi w metodzie utleniania,
traktując straty prażenia jako wartości
orientacyjne. Zgodnie z powyższym zale-
ceniem i normą [9] osady pobrane z głę-
bokości do 0,7 m to utwory niskoorga-
niczne. Osady zalegające poniżej 0,7 m
sklasyfikowano natomiast jako grunty mi-
neralne.

Współczynnik filtracji osadów pylastych
wynosił średnio $4,5 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Współ-
czynnik filtracji osadów piaszczystych
pobranych z głębokości 0,7-0,8 m wyno-
sił $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Podobną wartość uzy-
skano w osadzie pobranym z głębokości
większej niż 0,9 m – $6,2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Osady piaszczyste charakteryzowały
się wysokimi wartościami wskaźnika no-
śności, zależnymi od zmian wilgotności
spowodowanymi nasączeniem próbek.
W próbkach poddanych badaniu bezpo-

średnio po zagęszczeniu wynosił on od 21 do 24% (tab. 2) Natomiast po 4-dobowym czasie nasączenia, przy wzroście wilgotności o ponad 4%, nastąpiło zmniejszenie wskaźnika nośności do około 18,5%. Pęcznienie linowe wahało się w granicach od 0,11 do 0,14%.

Wartości uzyskanych parametrów wytrzymałości na ścinanie obydwu badanych osadów piaszczystych były wysokie i wahały się w przypadku kąta tarcia wewnętrznego od 35 do 38°, a spójności od 14 do 21 kPa (tab. 3).

Tabela 3. Wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności piaszczystych osadów dennych

Głębokość poboru (rodzaj gruntu)	Kąt tarcia wewnętrznego φ [°]		Spójność c [kPa]	
	wyniki badania	średnia	wyniki badania	średnia
0,7–0,8 m (siSa)	37,8	38,0	14,3	15,6
	38,2		16,8	
(0,9–1,1) (MSa)	36,2	35,8	15,1	18,1
	35,4		21,0	

Zawartość metali ciężkich

Ocena wykorzystania osadów dennych w budownictwie ziemnym wymaga również określenia zanieczyszczenia ich metalami ciężkimi. Stopień zanieczyszczenia osadów dennych cofki zbiornika czorszyńskiego oceniono przez oznaczenie zawartości kadmu, ołowiu, cynku i miedzi. Analizując zawartość tych metali w przedmiotowych osadach należy stwierdzić, że w osadach piaszczystych w przypadku cynku zawartość ta była mniejsza 2,3-krotnie, ołowiu i miedzi – blisko 3-krotnie oraz 3,3-krotnie kadmu w stosunku do osadów pylastych (tab. 4).

Na podstawie zawartości metali ciężkich osady można zakwalifikować do określonej klasy czystości na podstawie kryteriów geochemicznych [1]. Klasyfikacja ta nie stanowi o przydatności osadów do celów budownictwa ziemnego, a jest jedynie oceną czystości tych osadów. W przypadku

Tabela 4. Zawartość metali ciężkich w badanych osadach dennych i ich klasyfikacja

Głębokość poboru	Kadm (Cd)			Ołów (Pb)			Cynk (Zn)			Miedź (Cu)		
	Zawartość	Wartości progowe ¹⁾	Klasa czystości ²⁾	Zawartość	Wartości progowe	Klasa czystości	Zawartość	Wartości progowe	Klasa czystości	Zawartość	Wartości progowe	Klasa czystości
	[mg·kg ⁻¹ suchej masy]			[mg·kg ⁻¹ suchej masy]			[mg·kg ⁻¹ suchej masy]			[mg·kg ⁻¹ suchej masy]		
0,0–0,3	0,46	1,0	tł0	16,1	50	I	84,7	100	I	25,3	30	II
0,5–0,7	0,54		I	19,3		I	99,4		I	29,4		II
0,7–0,8	0,18		tł0	7,2		tł0	45,9		tł0	11,7		I
<0,9	0,12		tł0	5,2		tł0	32,0		tł0	7,2		I

¹⁾ na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska [2]

²⁾ na podstawie [1]

kadmu (Cd), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) osady pylaste zaliczono do I klasy czystości osadów. Natomiast w przypadku osadów piaszczystych zawartość tych metali nie przekroczyła tła geochemicznego. W przypadku miedzi osady pylaste zakwalifikowano do II klasy, a piaszczyste do I klasy czystości.

Natomiast kryteria dopuszczalnych wartości stężeń metali ciężkich, jakie mogą występować w glebie, jak i gruntach używanych w pracach ziemnych oraz osadów pochodzących z dna zbiorników powierzchniowych wód stojących lub płynących podaje Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz ziemi [2]. W myśl ustawy, glebę lub grunt uznaje się za zanieczyszczony, gdy stężenie co najmniej jednej substancji przekracza wartość dopuszczalną.

Porównując wartości stężeń wymienionych metali z dopuszczalnymi określonymi w ww. Rozporządzeniu Ministra Środowiska w gruntach grupy A, można stwierdzić, że żadne wartości progowe nie zostały przekroczone (tab. 4). Jedynie w przypadku osadów pylastych w odniesieniu do cynku i miedzi zawartość tych metali zbliżyła się do wartości progowych. W związku z tym zgodnie z cytowanym rozporządzeniem można dopuścić badane osady denne do celów budownictwa ziemnego.

Analiza przydatności osadów dennych do celów budownictwa ziemnego

Ocenę przydatności osadów dennych do celów budownictwa ziemnego przeprowadzono zgodnie z wymaganiami norm PN-B-06050:1999 oraz PN-S-02205:1998. Podawane w cytowanych normach zalecenia dotyczą głównie budowy nasypów, a w szczególności drogowych, dlatego analizując przydatność osadów w budownictwie hydrotechnicznym wykorzystano również wytyczne dostępne w literaturze fachowej.

Ocena przydatności do budowy nasypów drogowych

Osady denne sklasyfikowane pod względem geotechnicznym jako pyły oraz piaski pylaste mogą być wstępnie dopuszczone do stosowania na górne i dolne warstwy nasypów drogowych z zastrzeżeniami [10]. Zastrzeżenia te dotyczą wbudowywania ich w miejsca suche lub zabezpieczone od wód gruntowych i powierzchniowych oraz w strefie przemarzania – w tym przypadku po ulepszeniu ich spoiwami hydraulicznymi. Jedynie w przypadku piasków średnich norma [10] kwalifikuje je jako przydatne. Jednak zgodnie z cytowaną normą wybór tych gruntów do budowy nasypów powinien uwzględniać dodatkowe wymagania. Analiza wyników badań osadów dennych (tab. 5) wskazuje, że nie są one materiałem cechującym się parametrami geotechnicznymi spełniającymi wszystkie dodatkowe wymagania odnośnych norm.

Osady pylaste są gruntami wysadzinoowymi, o zawartości części organicznych

powyżej 2% i wartości maksymalnej gęstości objętościowej poniżej wymaganej 1,6 t·m⁻³. Również górna wartość granicy płynności została przekroczona w przypadku stosowania ich na górne warstwy nasypów.

W przypadku osadów niespoistych, piasek pylasty został sklasyfikowany jako wątpliwy pod względem wysadzinowości, jak również uzyskana wartość wskaźnika różnoziarności kwalifikuje go do gruntów dopuszczanych warunkowo po sprawdzeniu możliwości uzyskania wymaganego zagęszczenia na poletku doświadczalnym. Najlepszymi parametrami cechuje się piasek średni, który jednak ze względu na niską wartość wskaźnika uziarnienia może być również dopuszczony warunkowo. Należy jednak zaznaczyć, że wartości wskaźnika nośności po 4 dobach nasączenia wodą wynoszą znacznie powyżej 10% i pozwalają zaliczyć je do grupy nośności G1. Jedynie w przypadku osadów sklasyfikowanych jako piaski pylaste, ze względu na ich kategorię wysadzinowości należy grupę nośności obniżyć do G2 [4]. Pozwala to jednak ocenić wysoko ich przydatność do celów budownictwa drogowego. Również duże wartości parametrów wytrzymałościowych pozwalają prognozować wysoką nośność i stateczność nasypów wykonanych z przedmiotowych osadów piaszczystych.

Podsumowując można stwierdzić, że pomimo niespełnienia wszystkich wymagań normowych, to przy deficycie materiałów ziemnych do celów budownictwa drogowego, należy rozważyć możliwość dopuszczenia badanych osadów do budowy nasypów. Proponuje się poprawę części ich parametrów geotechnicznych np. przez doziarnienie, a w przypadku osadów pylastych ulepszenie spoiwami hydraulicznymi.

Tabela 5. Ocena przydatności osadów dennych do budowy nasypów zgodnie z [8], [10]

Kryterium oceny	Jednostka	Wymagania norm	Uzyskane wartości w zależności od głębokości poboru osadów		
			0,0–0,7 m	0,7–0,8 m	0,9–1,1 m
Nazwa wg [9]			Si	siSa	MSa
Maksymalny wymiar ziarn	mm	200	brak ziaren powyżej 200 mm		
Wskaźnik uziarnienia, C _U	–	≥ 3	10,9–11,7	2,6	2,4
Zawartość części organicznych, I _{om}	%	< 2	2,09–3,13	1,00	0,75
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu, ρ _{ds}	g·cm ⁻³	≥ 1,6	1,42–1,44	1,56	1,58
Granica płynności, w _L	%	górne warstwy nasypów	42,9–50,2	nie oznaczono	
		dolne warstwy nasypów			
Zawartość cząstek: ≤ 0,075 mm ≤ 0,02 mm	%	zależnie od grupy gruntów	91 51	23 2	3,5 1
Grupa wysadzinowości	–		wysadzinowy	wątpliwy	niewysadzinowy
Wskaźnik nośności po 4 dobach nasączenia wodą, w _{noś}	%	≥ 10	nie oznaczono	18,9	18,1
Kąt tarcia wewnętrznego, φ	°	brak	nie oznaczono	38,0	35,8

Tabela 6. Ocena przydatności osadów dennych do budowy nasypów hydrotechnicznych zgodnie z [12]

Kryterium oceny dla miejsca wbudowania w nasyp	Jednostka	Zalecenia	Uzyskane wartości w zależności od głębokości poboru osadów			
			0,0–0,7 m	0,7–0,8 m	> 0,9 m	
Nazwa wg [9]			Si	siSa	MSa	
Zawartość części organicznych, I _{om}	%	< 3	2,1÷3,1	1,0	0,75	
Wskaźnik uziarnienia, C _U	korpus	–	> 60	10,9÷11,7	2,6	2,4
Zawartość frakcji ilowej, Cl	uszczelnienie	%	> 20	5,2÷5,4	0,2	0
Współczynnik filtracji, k ₁₀	korpus	m·s ⁻¹	< 10 ⁻⁴	6,3·10 ⁻⁹ ÷3,3·10 ⁻⁹	2,2·10 ⁻⁵	6,2·10 ⁻⁵
	uszczelnienie		< 10 ⁻⁶			
Kąt tarcia wewnętrznego, φ	°	brak	nie oznaczono	38,0	35,8	

Ocena przydatności w budownictwie hydrotechnicznym

W przypadku wykorzystania osadów do celów budownictwa hydrotechnicznego nie osiągnięto wymaganego kryterium uziarnienia ze względu na zbyt niską zawartość frakcji piaszczysto-żwirowych (tab. 6). Sobczak [12] zaleca stosować do celów budownictwa hydrotechnicznego grunty wielofrakcyjne o C_U > 60, natomiast w przypadku badanych osadów pylastych uzyskano C_U < 12, a piaszczystych około 2,5. Również zawartość frakcji ilowej była znacznie poniżej 20%. Dodatkowo osady pylaste charakteryzowały się zbyt wysoką zawartością części organicznych – powyżej 2%. Należy jednak zaznaczyć, że minimalna wartość współczynnika filtracji przy zagęszczeniu odpowiadającym I_s = 0,95 została osiągnięta tak w osadach piaszczystych (zastosowanie do budowy korpusu), jak i pylastych (zastosowanie do budowy uszczelnień). Dlatego też uwzględniając uzyskane doświadczenia związane z wykorzystaniem mad rzecznych do formowania obwałowań [3], można stwierdzić, że osady piaszczyste można zastosować do formowania niskich nasypów w budownictwie hydrotechnicznym. Potwierdzają to również duże wartości kąta tarcia wewnętrznego, które pozwolą uzyskać odpowiednią stateczność nasypów wykonanych z osadów piaszczystych.

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników badań geotechnicznych i zawartości metali ciężkich w osadach dennych cofki zbiornika czorszyńskiego można stwierdzić, że:

1. Osady denne pobrane do głębokości 0,7 m sklasyfikowano jako grunty pylaste niskoorganiczne

ne, natomiast zalegające poniżej to grunty piaszczyste (piaski pylaste i średnie).

2. Analiza zawartości kadmu (Cd), cynku (Zn) i ołowiu (Pb) w badanych osadach dennych wykazała niskie stężenia tych metali, na poziomie tła geochemicznego lub I klasy czystości. Jedynie zawartość miedzi (Cu) wykazała podwyższone stężenie na poziomie II klasy czystości. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska, w sprawie standardów jakości gleby oraz ziemi [2], badane osady denne można dopuścić do wykorzystania w budownictwie ziemnym.

3. Badane osady nie spełniają części wymaganych kryteriów przydatności do celów budownictwa ziemnego. Według autorów mogą jednak stanowić wartościowy materiał po ulepszeniu ich parametrów geotechnicznych przez doziarnienie lub dodatek spoiw hydraulicznych.

Bibliografia

- [1] Bojakowska I., Sokołowska G. 1998. *Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych*. Przegląd geologiczny, 46, 1, 49-54
- [2] Dz.U. 2002, nr 165, poz. 1359. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi
- [3] Gwóźdź R. 2007. *Właściwości osadów spoistych jeziora różnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania*. Rozprawa doktorska. PK Kraków
- [4] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. 1997. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
- [5] Koziełska-Sroka E., Chęć M. 2009. *Właściwości osadów dennych Jeziora Czorszyńskiego w aspekcie ich wykorzystania w budownictwie ziemnym*. Górnictwo i Inżynieria, 1, 369-375
- [6] Loska K., Cebula J., Wiechuta D. 2002. *Analiza właściwości fizykochemicznych osadów dennych zbiornika rybnickiego w aspekcie ich wykorzystania do celów nieprzemysłowych*. Gospodarka Wodna, 7, 292-294
- [7] Madeyski M., Bednarz J. 2004. *Wykorzystanie osadów dennych wybranego zbiornika wodnego*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 412, Inżynieria Środowiska, 25, 283-292
- [8] PN-B-06050:1999. Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa
- [9] PN-EN ISO 14688-2:2004 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- [10] PN-S-02205:1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- [11] Rzętała M. A. 2003. *Procesy brzegowe i osady denne wybranych zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice
- [12] Sobczak J. 1975. *Zapory z materiałów miejscowych*. PWN, Warszawa ■



ANDRZEJ STAŃCZYK

Politechnika Warszawska
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

Miasto Złotego Buddy – Luang Prabang, zatopione w zielonej dżungli środkowego biegu Mekongu, u ujścia lewobrzeżnego dopływu – Nam Khan, było pierwszą, historyczną stolicą Laosu.

Nazwę swą wzięło od przechowywanej tu najcenniejszej relikwii wyznawców buddyjskiej Therawady – poślacanej figury Buddy (*Phra Bang*), pochodzącej prawdopodobnie z I w. ze Sri Lanki.

Ziemie te, na które przed wiekami napłynęły z południowych Chin plemiona Lao, stały się terenem ekspansji sąsiednich ludów: Tajów, Khmerów i Birmańczyków. W połowie VIII stulecia władca Khoun zjednoczył kilkanaście plemion laotańskich w jedno księstwo balansujące między Angkorem i państwami tajskimi, ale za pierwsze państwo laotańskie uważane jest Królestwo Milionów Stoni (Lang Czang) założone przez księcia Pha Ngum w 1354 r. Dwadzieścia lat trwało jednocześnie plemion przez władcę, a jego następcy na przeciąg dwóch wieków upodobali sobie to miejsce na siedzibę. Później stolicę przeniesiono do Wientian, 400 km na południe z biegiem Mekongu, lecz po rozpadzie państwa na trzy księstwa, Luang Prabang ponownie stało się centrum jednego z nich. Wkrótce księstwa te popadły w zależność najpierw od Syjamu, a następnie Wietnamu, by wreszcie znaleźć się we władaniu Francuzów, którzy w drugiej połowie XIX w. podbijają większość Półwyspu Indochińskiego. Wycofanie się

Mosty Luang Prabang

Francuzów po klęsce pod Dien Bien Fu powoduje nasilenie ruchów narodowo-wyzwoleńczych. Późniejszy konflikt wietnamski pogrążyła sąsiadujące kraje w długotrwałą, krwawą wojnę, zakończoną dopiero w połowie lat siedemdziesiątych [1], [2]. W czasie jej trwania, przez leżące na styku do Wietnamu tereny Laosu i Kambodży wiedzie Szlak Ho Szi Mina, którym z komunistycznego Wietnamu Północnego przerzucane są wojska i militarne zaopatrzenie do części południowej, gdzie stacjonują Amerykanie. W 1975 r. radykalna partyzantka detronizuje króla rezydującego w Luang Prabang. Wkrótce znika on wraz z rodziną bez wieści, a stolica zostaje przeniesiona do Wientian. Dziś Laos jest republiką ludowo-demokratyczną; obok flag państwowych wiszących na budynkach rządowych, ale też przy wejściach do świątyń odwieczanych przez turystów, powiewają czerwone chorągwie ze złotym sierpem i młotem.

W 1995 r. Luang Prabang zostaje uznane przez UNESCO za światowe dziedzictwo kultury, choć pagody, klasztory i buddyjskie świątynie, stojące ciasno przy zaledwie trzech ulicach najstarszej części miasta, odtworzono dopiero w XX w. [1]. Oryginalne, drewniane budowle strawił wielki pożar w 1887 r., kiedy to hordy „Czarnych Chorągwi” z południowych Chin najechały Laos. Pożogę przetrwała jedynie świątynia Wat Xieng Tong.

Nie byłbym mostowcem, gdybym do miejscowych atrakcji nie zaliczył mostów, zwłaszcza że dwa z nich są mocno osa-