

CHARAKTERYSTYKA GEOTECHNICZNA OSADÓW DENNYCH W COFCE ZBIORNIKA CZORSZTYŃSKIEGO

Karolina Koś

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań osadów dennych zdeponowanych w rejonie cofki Zbiornika Czorsztyńskiego. Stwierdzono, że w badanym rejonie zalegają naprzemianległe warstwy osadów spoistych i piaszczystych z przewagą piaszczystych. Osady denne spoiste sklasyfikowano jako pyły lub pyły piaszczyste w stanie płynnym; ze względu na zawartość części organicznych większą od 2% zaliczają się one do gruntów niskoorganicznych. Osady niespoiste sklasyfikowano jako piaski pylaste lub piaski, mineralne, słabo zagęszczone.

Słowa kluczowe: zbiorniki wodne, osady denne, charakterystyka geotechniczna

WSTĘP

Jednym z poważniejszych problemów występujących w trakcie eksploatacji zbiorników wodnych jest ich zamulenie. Proces ten spowodowany jest głównie osadzaniem się rumowiska niesionego przez dopływy oraz materiału pochodzącego z abrazji brzegów. Zamulenie zbiorników wpływa w negatywny sposób na funkcjonowanie danego obiektu: osady zmniejszają pojemność przewidzianą na magazynowanie wody, utrudniając prowadzenie prawidłowej gospodarki wodnej. Nagromadzone osady powodują zmętnienie wód, mogą być siedliskiem zanieczyszczeń, mają również negatywny wpływ na jakość wody pitnej. Problem zamulania dotyczy głównie części cofkowych zbiorników – ujść rzek i potoków do zbiornika, czyli miejsc gdzie zaczynają odkładać się najgrubsze frakcje i najwcześniej mogą wystąpić problemy eksploatacyjne. Odkładanie się osadów w tym rejonie powoduje zmniejszenie spadku zwierciadła wody w górnej części zbiornika, przez co przekrój końcowy cofki przemieszcza się w górę rzeki, a rzędne wody spiętrzonej wzrastają. Sedymentujące osady zmieniają linię brzegową i powodują s płycenie, tworząc obszar delty.

Problem zamulania małych zbiorników wodnych został szeroko omówiony na łamach literatury specjalistycznej [Bednarczyk i in. 2002, Madeyski i Bednarz 2004, Madeyski i Tarnawski 2006, Kasparek i Wiatkowski 2008, Michalec 2008]. Poruszano głównie prob-

lem intensywności procesu zamulania, ilości osadów, stopnia zanieczyszczenia, a także możliwości ich wykorzystania do celów rolniczych. Problem zamulania dużych zbiorników zaporowych nie został przedstawiony w tak szerokim zakresie. Poza wspomnianym już wykorzystaniem osadów do celów rolniczych (jako dodatku do gleb lekkich w celu poprawienia ich wartości produkcyjnych lub rekultywacji gruntów bezglebowych), rozważano również możliwość wykorzystania wydobytych osadów w funkcji materiału do nadbudowy i modernizacji grobli lub skarp zbiorników [Madeyski i Bednarz 2004, Dymkowski i Lewandowski 2001] albo do uszczelnień wałów przeciwpowodziowych oraz składowisk odpadów [Gwóźdź 2007, 2008, Kozielska-Sroka i Chęć 2009, Sudyka 2009].

Wykorzystanie osadów dennych zbiorników wodnych może przynieść wiele korzyści. Z jednej strony rozwiązuje problem zagospodarowania materiału wydobytego w czasie odmulania zbiornika, a z drugiej pozwala na obniżenie kosztów planowanych inwestycji o dużym udziale robót ziemnych, gdy w pobliżu miejsca budowy brak jest gruntów o odpowiednich właściwościach geotechnicznych. By ustalić możliwość wykorzystania osadów dennych do celów budownictwa ziemnego, niezbędne jest określenie ich parametrów geotechnicznych. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań podjętych w celu opracowania charakterystyki geotechnicznej osadów zdeponowanych w cofce Zbiornika Czorszyńskiego.

Ogólna charakterystyka Zbiornika Czorszyńskiego

Zbiornik Czorszyński powstał w roku 1997 przez spiętrzenie wód Dunajca zaporą ziemną w Niedzicy. Zapora główna Zbiornika Czorszyńskiego to największa w Polsce zapora ziemna o wysokości 56 i długości 404 m, zlokalizowana w 173,3 km biegu rzeki. Powierzchnia zalewu przy normalnym poziomie piętrzenia to 1340 ha, pojemność całkowita wynosi 234 mln m³, z czego pojemność użytkowa to 198 mln m³. Główną funkcją zbiornika jest ochrona przeciwpowodziowa doliny Dunajca, możliwość wykorzystania pełnej pojemności retencyjnej ma zatem duże znaczenie. Kolejnymi funkcjami zbiornika są wyrównanie przepływów poniżej zapory oraz produkcja energii elektrycznej, dzięki elektrowni szczytowo-pompowej o mocy 92 MW. Zbiornik Czorszyński spełnia również funkcję krajobrazową i rekreacyjną [www.zzw-niedzica.com.pl].

Powierzchnia zlewni akwenu wynosi 1147 km², co stanowi 16,4% powierzchni dorzecza Dunajca. W regionie występują najwyższe opady w Polsce, w granicach 700–1800 mm, których skutkiem są częste i nagłe wezbrania rzek [Sudyka 2009]. Białka, ze względu na znacznie mniejszą wielkość dorzecza, dostarcza do Zbiornika Czorszyńskiego znikomą w stosunku do Dunajca ilość rumowiska. Zamulanie zbiornika postępuje głównie w wyniku sedimentacji osadów niesionych przez Dunajec. W czasie 14 lat eksploatacji zbiornika przy jego ujściu utworzył się już cypel o długości ponad 200 m przy normalnym poziomie piętrzenia i szerokości około 20–30 m [Kozielska-Sroka i in. 2010].

MATERIAŁ I METODY

Próbki analizowanych osadów dennych pobierano w rejonie cofki Zbiornika Czorszyńskiego przy ujściu rzeki Dunajec (rys. 1) z odkrywek, których głębokość była zależna od występującego w danym okresie poziomu wody. Po raz pierwszy próbki



Rys. 1. Rejon cofki Zbiornika Czorsztyńskiego z orientacyjną lokalizacją odkrywek [na podstawie www.google.maps.pl]

Fig. 1. Area of Czorsztyn reservoir's backwater with approximate location of pits [based on www.google.maps.pl]

pobrano w lutym 2008 roku, gdy poziom wody w zbiorniku był obniżony, co umożliwiło przeprowadzenie prac technicznych na zaporze ziemnej. Pobrano wówczas próbki osadów z odkrywki oznaczonej jako O-I, z głębokości 0,0–1,1 m. W grudniu 2009 wykonano cztery odkrywki zlokalizowane w wyższej części cofki w stosunku do odkrywki z 2008 roku, oznaczone jako O-II–O-V, w których pobrano próbki osadów z głębokości 0,0–0,4 m. Kolejne badania terenowe odbyły się w lutym 2010 roku, w okresie obniżonego poziomu wody w zbiorniku. Umożliwiło to wykonanie trzech odkrywek (O-VI–O-VIII), zlokalizowanych około 300 m od ujścia Dunajca w głąb zbiornika; pobrano z nich próbki osadów dennych z głębokości 0,0–0,6 m (rys. 2).



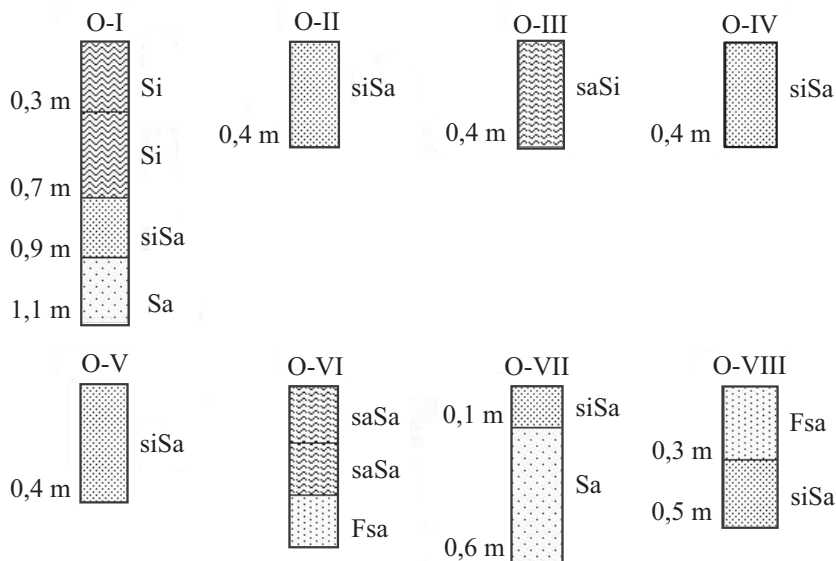
Rys. 2. Wykonywanie odkrywki do poboru próbek osadów dennych, luty 2010 (fot. Karolina Koś)

Fig. 2. Making a pit for taking samples of bottom sediments, February 2010 (photo Karolina Koś)

Badania właściwości geotechnicznych pobranych próbek osadów przeprowadzono w Laboratorium Geotechnicznym Katedry Inżynierii Wodnej i Geotechniki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Skład uziarnienia oznaczono metodą łączoną, to jest sitową „na mokro” i areometryczną dla cząstek mniejszych od 0,063 mm, w dwóch powtórzeniach, zgodnie z normą [PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009]. Wilgotność naturalną oznaczono metodą suszarkową w temperaturze 105°C, w dwóch powtórzeniach [PKN-CEN ISO/TS 17892-1:2009]. Granicę płynności oznaczono metodą Casagrande’a, natomiast granice plastyczności metodą waleczkowania [PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009]. Wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu określono w aparacie Proctora przy energii zagęszczenia 0,59 J · cm⁻³. Oznaczenie zawartości części organicznych przeprowadzono metodą utleniania oraz strat prażenia w dwóch powtórzeniach.

WYNIKI I DYSKUSJA

Profile wykonanych odkrywek (rys. 3) oraz uziarnienie osadów dennych wskazują na ich zróżnicowanie zarówno przestrzenne, jak i w profilu pionowym. Na podstawie składu uziarnienia wydzielono dwie grupy osadów: pierwszą zbudowaną z gruntów spoiстых, a drugą z gruntów sypkich. Charakterystykę uziarnienia oraz wartości parametrów geotechnicznych osadów spoiстых zestawiono w tabeli 1. Na ich podstawie można stwierdzić, że osady pobrane z odkrywki O-I z głębokości do 0,7 m sklasyfikowano jako pyły kilkufrakcyjne (Si), o zawartości frakcji pyłowej 81–85%. Osady pobrane z odkrywki O-III z głębokości 0,0–0,4 m sklasyfikowano jako pyły piaszczyste jednofrakcyjne (saSi), o zawartości frakcji piaszkowej 56% i pyłowej z iłową 44%.



Rys. 3. Profile odkrywek wykonanych w czasie badań terenowych
Fig. 3. Profiles of pits that were made during field research

Tabela 1. Skład granulometryczny oraz parametry geotechniczne osadów spoiстых
 Table 1. Grain composition and geotechnical parameters of cohesive sediments

Parametr Parameter	Symbol	Jednostka Unit	O-I 0,0–0,3 m*	O-I 0,5–0,7 m*	O-III 0,0–0,4 m	O-VI 0,15–0,25 m
Zawartość frakcji – Fraction content						
• piaskowej – sand 2–0,063 mm	Sa	%	9,8	13,4	56,0	35,0
• pyłowej – silt 0,063–0,002 mm	Si		85,0	81,2	42,0	63,0
• ilowej – clay <0,002 mm	Cl		5,2	5,4	2,0	2,0
Zawartość cząstek – Particles content:						
• <0,075 mm		%	94,0	90,0	52,0	84,0
• <0,02 mm			48,0	53,0	9,0	30,0
Wskaźnik różnoziarnistości Uniformity coefficient	C_U	–	11,7	10,9	3,8	7,9
Nazwa gruntu wg – Name according to PN-EN ISO 14688-2:2004	–	–	Si	Si	saSi	saSi
Wilgotność naturalna – Natural moisture content	w_n	%	55,53	62,32	39,9	–
Straty prażenia – Ignition loss	I_z	%	6,37	7,30	4,15	4,96
Zawartość części organicznych Organic parts content	I_{om}	%	2,09	3,13	2,12	–
Wilgotność optymalna Optimum moisture content	w_{opt}	%	25,2	27,9	–	19,8
Maksymalna. gęstość objętościowa szkieletu gruntowego Maximum dry density by Proctor's method	ρ_{ds}	$g \cdot cm^{-3}$	1,438	1,418	–	1,593
Granica płynności – Liquid limit	w_L		42,9	50,2	36,6	39,8
Granica plastyczności – Plastic limit	W_P	%	27,7	32,0	28,5	27,9
Wskaźnik plastyczności – Plasticity index	I_P		15,2	18,2	8,1	11,9
Wskaźnik konsystencji – Consistency index	I_C	–	–0,83	–0,66	–0,41	–

* wg – acc. to Sudyka 2009

Osady pobrane z odkrywki O-VI, z głębokości 0,0–0,15 m sklasyfikowano jako pyły piaszczyste kilkufrakcyjne o zawartości frakcji piaskowej 35%, a pyłowej z ilową 65%.

Zawartość części organicznych oznaczona metodą utleniania wahała się od 2,1 do 3,1% w obydwu rodzajach osadów spoiстых. Znacznie większe były straty prażenia, które wynosiły od około 4,2 do 7,2%, nie wykazując istotnego zróżnicowania w obydwu

Tabela 2. Skład granulometryczny oraz parametry geotechniczne osadów sypkich
 Table 2. Grain composition and geotechnical parameters of non-cohesive sediments

Parametr Parameter	Symbol	Jednostka Unit	O-I 0,7-0,8 m ^x	O-I <0,9 m ^x	O-II 0,0-0,4 m	O-IV 0,0-0,4 m	O-V 0,0-0,4 m	O-VI 0,25-0,45 m	O-VII 0,0-0,1 m	O-VII 0,1-0,6 m	O-VIII 0,0-0,3 m	O-VIII 0,3-0,5 m
Zawartość frakcji – Fraction content:												
• piaskowej – sand 2-0,063 mm	Sa	%	83,2	97,9	61,0	82,0	80,0	98,0	67,0	99,5	95,0	68,0
• pyłowej – silt 0,063-0,002 mm	Si	%	16,6		37,0	17,0	19,5		32,5			32,0
• ilowej – clay <0,002 mm	Cl	%	0,2	2,1	2,0	1,0	0,5	2,0	0,5	0,5	5,0	0,0
Zawartość cząstek – Particles content:												
• <0,075 mm	–	%	23,5	4,0	50,0	20,0	24,0	8,0	37,0	1,0	15,0	38,0
• <0,02 mm	–	%	2,0	1,0	10,0	2,0	3,0	1,0	7,0	0,0	0,0	5,0
Wskaźnik różnorodności Uniformity coefficient	C_u	–	2,6	2,4	4,1	3,6	–	2,0	5,4	1,6	2,2	2,7
Nazwa gruntu wg – Name according to PN-EN ISO 14688-2:2004	–	–	siSa	Sa	siSa	siSa	siSa	FSa	siSa	Sa	FSa	siSa
Wilgotność naturalna Natural moisture content	w_n	%	21,6	10,0	32,0	41,9	43,0	19,9	37,2	7,5	13,5	33,7
Straty prażenia – Ignition loss	I_z	%	2,49	1,74	2,13	1,56	1,76	0,88	5,10	0,77	1,55	2,60
Zawartość części organicznych Organic parts content	I_{om}	%	1,00	0,75	1,45	0,98	1,05	0,81	1,88	0,50	0,97	2,49
Wilgotność optymalna Optimum moisture content	w_{opt}	%	–	–	19,30	19,20	16,80	–	17,3	–	18,0	19,7
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego wg metody Maximum dry density by method: – Proctora – Proctor's – wibracyjnej – vibration	ρ_{ds} ρ_{dmax}	$G \cdot cm^{-3}$	–	–	1,576	1,565	1,617	–	1,718	–	1,586	1,555
			1,47	1,52	–	–	–	1,48	–	1,49	–	–

* wg – acc. to Sudyka 2009

rodzajach osadów spoistych. Na podstawie powyższych wyników osady można zaliczyć do gruntów niskoorganicznych.

Wilgotność naturalna była wysoka i w przypadku pyłów osiągała wartość od około 56 do ponad 62%, natomiast w przypadku pyłów piaszczystych około 40%.

Wilgotność optymalna pyłów wynosiła od 25 do około 28%, a pyłów piaszczystych była wyraźnie mniejsza – około 20%. Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu pyłów kształtowała się na poziomie $1,42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, a pyłów piaszczystych była wyraźnie większa – około $1,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Granica płynności pyłów sięgała od około 43 do 50%; wartość ta dla pyłów piaszczystych była niższa – od około 37 do 40%. Wartość granicy plastyczności wynosiła od około 28 do 32% i nie wykazywała zróżnicowania w obydwu rodzajach gruntów spoistych. Wskaźnik plastyczności pyłów wynosił od około 15 do 18%, natomiast pyłów piaszczystych okazał się niższy – od około 8 do 12%. Wszystkie osady spoiste znajdowały się w stanie płynnym (wskaźnik konsystencji poniżej 0,25).

Charakterystykę uziarnienia oraz wartości parametrów geotechnicznych osadów sypkich zestawiono w tabeli 2. Sklasyfikowano je jako piaski, piaski drobne oraz piaski pylaste. W piaskach (Sa) udział frakcji piaszkowej wynosił powyżej 98%. W piaskach drobnych (FSa) zawartość frakcji piaszkowej kształtowała się na poziomie od 95 do 98%. Piaski pylaste (siSa) charakteryzowały się zawartością frakcji piaszkowej od 61 do 83%, a pyłowej od około 17 do 37%. W wydzielonych gruntach sypkich zawartość frakcji iłowej była śladowa, co wynika z procesu sedymentacji w warunkach wodnych; najdrobniejsze frakcje zostały uniesione przez wodę i zdeponowane w podwodnej części zbiornika, bliżej zapory. Wskaźnik uziarnienia wyniósł od 1,6 do 5,4, zatem wszystkie próbki osadów sypkich można uznać za grunty jednofrakcyjne.

Zawartość części organicznych oznaczona metodą utleniania wynosiła przeważnie od 0,5 do 1,9%, incydentalnie 2,5%. Również straty prażenia były na ogół nieduże – od 0,8 do 2,6%, dlatego osady sypkie zaliczyć można do grupy gruntów mineralnych.

Wilgotność naturalna piasków pylastych wyniosła od około 22 do 43% i była wyraźnie wyższa niż piasków – od 7,5 do 10%, oraz piasków drobnych – od 14 do 20%.

Wilgotność optymalna, oznaczona dla piasków pylastych i drobnych, kształtowała się na poziomie od około 17–20%, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu oznaczona w aparacie Proctora (ρ_{ds}) wynosiła przeważnie od $1,56$ do $1,62 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, lokalnie – $1,72 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, nie wykazując istotnego zróżnicowania pomiędzy wydzielonymi rodzajami gruntów sypkich.

Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego oznaczona metodą wibracyjną (ρ_{dmax}) wynosiła od $1,47$ do $1,52 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, również nie wykazując istotnych różnic pomiędzy poszczególnymi rodzajami gruntów sypkich.

PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników badań i ich analizy można stwierdzić, że w rejonie cofki Zbiornika Czorszyńskiego zalegają naprzemianległe warstwy osadów spoistych oraz piaszczystych, z przewagą piaszczystych. Osady denne spoiste sklasyfikowano jako grunty pylaste, przeważnie kilkufrakcyjne, w stanie płynnym. Charakteryzują się one zawartością części organicznych przekraczającą 2%, przez co zaliczają się do gruntów niskoorganicznych. Osady sypkie sklasyfikowano jako grunty piaszczyste, z przewagą piasków pylastych. Są to grunty mineralne, jednofrakcyjne, słabo zagęszczone.

Przedstawione wyniki mają charakter wstępny; dalsze badania będą miały na celu oznaczenie wodoprzepuszczalności oraz właściwości mechanicznych osadów dennych cofki Zbiornika Czorsztyńskiego. Niezależnie od powyższego prowadzone są badania dotyczące tempa przyrostu osadów w zależności od stanów wody rzeki i zbiorniku oraz ewentualnego zróżnicowania rodzajów gruntów w profilu podłużnym i przekrojach poprzecznych stożka osadowego. Ogólnym celem przedstawionych i planowanych badań osadów jest przeprowadzenie analizy możliwości ich zastosowania w ziemnych konstrukcjach inżynierskich.

PIŚMIENNICTWO

- Bednarzyk T., Michalec B., Tarnawski M., 2002. Intensywność zamulania się małych zbiorników wodnych. *Zesz. Nauk. AR Krak.* 393, *Inż. Środ.* 23, 275–282.
- Dymkowski A., Lewandowski R., 2001. Rekultywacja wybranych stref brzegowych i częściowe odmulenie zbiorników Rożnów i Czchów. *Gosp. Wod.* 10, 420–423.
- Gwóźdź R., 2007. Właściwości osadów spoistych Jeziora Rożnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania. *Rozprawa doktorska. Politechnika Krakowska. Maszynopis.*
- Gwóźdź R., 2008. Właściwości geotechniczne osadów zdeponowanych w Jeziorze Rożnowskim oraz możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon mineralnych w składowiskach odpadów komunalnych. *Czasop. Techn.* 1-Ś, 13–23.
- Kasperek R., Wiatkowski M., 2008. Badania osadów dennych ze zbiornika Mściwojów. *Prz. Nauk. Inż. Kształ. Środ.* 17, 2(40), 194–201.
- Kozielska-Sroka E., Chęć M., 2009. Właściwości osadów dennych Jeziora Czorsztyńskiego w aspekcie ich wykorzystania w budownictwie ziemnym. *Górn. Inż.* 1, 369–375.
- Kozielska-Sroka E., Michalski P., Zydróż T., 2010. Uwarunkowania geotechniczne i hydrodynamiczne transformacji północnej strefy brzegowej zbiornika Czorsztyń–Niedzica w trakcie jego eksploatacji. *Pieniny – Zapora – Zmiany. Monografie Pienińskie* 2, 63–82.
- Madeyski M., Bednarz J., 2004. Wykorzystanie osadów dennych wybranego zbiornika wodnego. *Zesz. Nauk. AR Krak.* 412, *Inż. Środ.* 25, 283–292.
- Madeyski M., Tarnawski M., 2006. Ocena stanu ekologicznego osadów dennych wybranych małych zbiorników wodnych. *Infrastr. Ekol. Teren. Wiejs.* 4(3), 107–116.
- Michalec B., 2008. Prognoza zamulania i ocena zasobów wodnych planowanych zbiorników małej retencji wodnej. *Woda Środ. Obsz. Wiejs.* 8, 2b(24), 81–96.
- PN-EN ISO 14688-2:2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Cz. 2: Zasady klasyfikowania. *Polski Komitet Normalizacyjny Warszawa.*
- PKN-CEN ISO/TS 17892-1 2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Cz. 1: Oznaczanie wilgotności. *Polski Komitet Normalizacyjny Warszawa.*
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4 2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Cz. 4: Oznaczanie składu granulometrycznego. *Polski Komitet Normalizacyjny Warszawa.*
- PKN-CEN ISO/TS 17892-12 2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Cz. 12: Oznaczanie granic Atterberga. *Polski Komitet Normalizacyjny Warszawa.*
- Sudyka K., 2009. Analiza geotechniczna i chemiczna osadów dennych zbiornika Czorsztyń–Niedzica i ich wykorzystanie w budownictwie ziemnym. *Praca magisterska. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie. Maszynopis.*
- www.google.maps.pl
- www.zzw-niedzica.com.pl

GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF BOTTOM SEDIMENTS FROM CZORSZTYN RESERVOIR'S BACKWATER

Abstract. The paper presents the results of preliminary research of bottom sediments from Czorsztyn Reservoir's backwater. It was stated that in researched area alternate layers of cohesive and sandy sediments are deposited, with majority of sand ones. Cohesive sediments were classified as silts or sandy silts, in liquid state, because of organic parts content above 2% classified as organic. Non-cohesive sediments were classified as silty sands or sands, mineral, poorly compacted.

Key words: water reservoirs, bottom sediments, geotechnical characteristics

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 1.09.2011