

Charakterystyka osadów facji powodziowej współcześnie deponowanych w dolinie rzeki Dunajec i w Jeziorze Rożnowskim (południowa Polska)

Rafał Gwóźdź¹



Characteristics of flood sediments recently deposited in the Dunajec River valley and Rożnowskie Lake. Prz. Geol., 64: 799–805.

Abstract. The paper presents the results of geotechnical properties of cohesive soil recently deposited in Rożnowskie Lake and on the floodplain of the Dunajec River. The results show that cohesive soils of Rożnowskie Lake are represented mainly by silt, clay and silty clay. Sandy silt and silt are deposited predominantly on the floodplain of the Dunajec River. The soils contain a few percent of organic matter; however, there is more organic matter in the sediments of Rożnowskie Lake. The variability of deposited soils is due to different periods of sedimentation on an annual basis. The time of sedimentation on the Dunajec River floodplain is short and associated with flooding during the summer culmination, thus the sediments (sandy silt and silt) are coarsest. In the area of Rożnowskie Lake, sludge sedimentation occurs throughout the year, especially during the spring and summer flood flow. This sludge has finer grain size (silt and clay). The soils show a variation in their vertical profile, and are characterized by a layered structure.

Keywords: alluvial soils, flood sediments, river sediments, physical analysis of soil, Rożnowskie Lake

W okresach powodziowych rzeki górskie transportują znaczną ilość osadów mineralnych, które są produktem wietrzenia i erozji zachodzącej na powierzchni. Są one deponowane w różnych miejscach doliny rzecznej. Na ogół w górnym biegu rzeki, w korycie osadza się frakcja gruboziarnista, natomiast materiał drobnoziarnisty zazwyczaj w środkowym i dolnym odcinku doliny rzecznej, gdzie następuje spadek energii transportującej osad. Niewielka część materiału drobnoziarnistego może osadzać się w górnym odcinku doliny, często na równi zalewowej, w czasie maksymalnych stanów powodziowych. Sytuacja diametralnie zmienia się, gdy w górnym odcinku rzek powstają naturalne lub sztuczne przeszkody, np. zapory wodne. Stanowią one barierę, która powoduje, że znaczna część materiału drobnoziarnistego osadza się w jeziorze tworzącym się powyżej zapory. Obserwacje zbiorników retencyjnych w regionie karpackim wykazują, że szczególnie w tzw. cofce gromadzą się duże ilości osadu (Stanowski, 1993; Mroczek i in., 1997). Osady te zaburzają prawidłowe funkcjonowanie zbiorników, gdyż ujemnie wpływają na ich zdolności retencyjne. Utrudnia to prowadzenie właściwej gospodarki wodnej związanej z ochroną przeciwpowodziową i produkcją energii elektrycznej. Stwarza też problemy związane z utrzymaniem wysokiej jakości wód w zbiornikach pełniących funkcję rezerwarów wody pitnej, gdyż może stanowić miejsce gromadzenia się zanieczyszczeń. Deponowane osady ograniczają również walory rekreacyjno-turystyczne jezior. W regionie karpackim występuje duża liczba zbiorników retencyjnych, m.in. w Solinie, Rożnowie, Dobczycach, Żywcu, Goczałkowicach, Niedzicy czy Świnnej Porębie. Największa ilość zdeponowanego materiału spośród wszystkich sztucznych zbiorników zlokalizowanych w dorzeczu górnej Wisły występuje w Jeziorze Rożnowskim (Stanowski, 1993; Łajczak, 1995). Wielkość zgromadzonego osadu na dnie tego zbiornika szacuje się na ok. 50 mln m³, co w przybliżeniu stanowi ok. 30% jego całkowitej pojemności (Wojciechowski, 1994). Ze względu na wyżej przedstawione problemy oraz znaczący rozmiar tego zjawiska, w niektórych zbiornikach retencyjnych

autor podjął prace badawcze, mające na celu analizę osadów deponowanych w zbiornikach retencyjnych.

W artykule zaprezentowano charakterystykę granulometryczną osadów gromadzonych w cofce Jeziora Rożnowskiego oraz na równi zalewowej rzeki Dunajec bezpośrednio powyżej jeziora. Celem pracy jest przedstawienie różnic występujących w deponowanych osadach. Dotyczą one składu granulometrycznego oraz właściwości fizycznych, na tle odmiennych warunków sedimentacji, w obrębie wytypowanych obszarów badawczych.

ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE REGIONU

W warunkach słabo przepuszczalnego podłoża, budującego strefę przypowierzchniową zlewni karpackich, głównym czynnikiem powodującym transport klastycznych zwietrzelin i materiału organicznego w zlewniach jest wpływ powierzchniowy. Główne czynniki wpływające na rozwój erozji stokowej w obrębie zlewni to obecność gruntów rolnych o wysokiej podatności erozyjnej, wzrastające nachylenie stoków, duża intensywność opadów atmosferycznych i ich gwałtowny charakter (Łajczak, 1989). Materiał budujący warstwę przypowierzchniową znacznej części terenów w Karpatach to utwory pylasto-ilaste, o bardzo dużej podatności erozyjnej. W wyniku szybko rozwijającego się rolnictwa w okresie powojennym, do końca lat 80. XX w., znaczna część Karpat była zagospodarowana rolniczo. Nastąpiło intensywne wylesianie, zaorywanie stoków i przygotowywanie pod uprawy. Odslonięcie gleb ornych, ich spulchnianie w okresie wiosennym i jesiennym oraz użytkowanie dróg polnych przez maszyny rolnicze miało znaczący wpływ na rozwój erozji stokowej i dostarczanie splekiwanego przez opady atmosferyczne materiału gruntowego do rzek. W cyklu rocznym zmaczenie rzek karpackich wykazuje dwa główne maksima, letnie deszczowe i wiosenne roztopowe, a także dwa drugorzędne – jesienne deszczowe i zimowe roztopowe (Łajczak, 1989). Letnia kulminacja zamulania jest największa (zazwyczaj w lipcu) i związana z maksymalnymi opadami. Kulminacja wiosenna

¹ Instytut Geotechniki, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; rgwozd@pk.edu.pl.

jest znacznie mniejsza, gdyż stopniowe topnienie pokrywy śnieżnej i powolne odmarzanie gruntu na ogół nie sprzyja gwałtownej dostawie materiału zwietrzelinowego do rzek. W okresie jesienno-zimowym do rzek jest dostarczana mniejsza ilość materiału i jest on stosunkowo najdrobniejszy.

Efektom tych procesów jest rozwój tzw. denudacji odpływowej. Jej wielkość i charakter wykazuje sezonowe, strefowe i zarazem piętrowe zróżnicowanie. W rejonie Pogórza Karpackiego wynosi ona od 200 do 1000 t/rok*km², we wschodniej części Beskidów, w Beskidzie Małym i Śląskim nie przekracza 90 t/rok*km², w pozostałej części Beskidów oraz kotlinach śródgórskich ok. 150–270 t/rok*km² (Łajczak, 1989). Maksymalne nasilenie tego procesu przypada na okres wiosenno-letni. W czerwcu i lipcu w zachodniej części Beskidów zwykle przekracza 50, a lokalnie 100 t/km² (Łajczak, 1989), a w pozostałej części jest dwukrotnie mniejszy. Najmniejsza denudacja zachodzi w okresie od września do listopada i nie przekracza 2 t/km². Najbardziej rozwinięta jest w zlewni rzeki Dunajec, w okresach przepływów wezbraniowych. Ilość materiału unoszonego przez rzekę w rejonie Nowego Sącza może dochodzić nawet do 10 000 kg/s (Łajczak, 1989). Duża część tego osadu jest deponowana w zbiornikach Rożnowskim i Czchowskim. W okresach maksymalnych wezbrań może następować tak znaczące podniesienie się poziomu wody, że rzeka zalewa obszar międzywala. Towarzyszy temu proces sedimentacji osadów pozakorytowych (facji powodziowej), na najniższych holocenicznych tarasach rzek górskich, takich jak np. Dunajec.

Tempo oraz przebieg procesu zamulania jest odmienny dla każdego ze zbiorników karpackich, jednak ogólny charakter tego procesu jest zbliżony (Onoszko, 1962). Najwięcej osadów jest deponowanych w górnych partiach zbiornika, w strefie tzw. cofki. Dominującym osadem są utwory pylasto-ilaste i pylasto-piaszczyste osadzone w formie łach korytowych. W miarę deponowania osadów w części cofkowej, tworzące się łachy stanowią naturalną barierę, która ogranicza transport zawiesiny mineralnej i powoduje zwiększenie akumulacji na równi zalewowej powyżej zbiornika retencyjnego (Onoszko, 1962).

Stan zamulenia zbiornika Rożnowskiego, który został oddany do użytkowania w 1941 r., był cyklicznie prowadzony przez różne ośrodki naukowe. Zbiornik ten jest jednym z większych w polskiej części Karpat. Jego powierzchnia wynosi 1776 ha, całkowita pojemność 228,7 mln m³, średni roczny spływ wody 2,35 mld m³, natomiast całkowita powierzchnia zlewni 4883 km² (Gwóźdź, 2007). Pierwszy pomiar stanu zamulenia zbiornika Rożnowskiego został przeprowadzony po 15 latach jego użytkowania, w 1957 r. i 1960 r. (Onoszko, 1959; 1962). Dał on ogólny pogląd dotyczący przebiegu tego procesu oraz ilościowej oceny zdeponowanego materiału. Wykazano, że maksymalna miąższość osadów wynosiła ok. 6 m i występowała w rejonie Tęgoborzy, natomiast średnie zamulenie zbiornika to ok. 1,6–1,8 mln m³/rok (Onoszko, 1962). Badania powtórzone w latach 80. (Sobczak, 1985) i 90. XX w. (Wojciechowski, 1994). Oszacowano, że objętość zdeponowanego osadu w przybliżeniu wynosi ok. 50 mln m³, a maksymalna miąższość to 8,2 m (Wojciechowski, 1994). Gruntowna analiza dotycząca tempa zamulenia większości zbiorników retencyjnych w dorzeczu górnej Wisły jest przedstawiona w pracach Stanowskiego (1993) i Łajczaka (1995). Wykazali oni, że roczne zamulenie zbiorników retencyjnych w dorzeczu górnej Wisły, wynosi 0,052–1,359 mln m³/rok (Stanowski, 1993), a najintensywniej zachodzi w zespole

zbiorników Rożnów–Czchów. Prace badawcze dotyczące rodzaju osadów i ich właściwości zostały zrealizowane również dla innych zbiorników południowej Polski, m.in. dla zbiornika Tresna (Mroczek i in., 1997), zbiornika w Dobczycach (Wójcik, 1991; Reczyński i in. 2006) i w Rzeszowie (Koś & Zawisza, 2012), zbiornika Czorsztyn-Niedzica (Kozińska-Sroka & Chęć, 2009; Koś, 2013) oraz Goczałkowice (Czaplicka-Kotas & Ślusarczyk, 2013). Potwierdzają one podobieństwo, co do drobnoziarnistego charakteru deponowanego na dnie zbiorników osadu i ich właściwości fizycznych.

BUDOWA GEOLOGICZNA I GEOMORFOLOGICZNA

Teren badań znajduje się w Karpatach Zewnętrznych stanowiących masyw o skomplikowanej tektonice płaszczowinowo-łańdowej. Serie skalne, głównie osadów fliszowych jury górnej, kredy i paleogenu, zostały sfałdowane i nasunięte na siebie w czasie orogenezy alpejskiej. Zlewnia Dunajca, do początku zbiornika w Rożnowie, prawie w całości występuje w obrębie płaszczowiny magurskiej. Pogórze Rożnowskie, w obszarze którego jest zbudowana zapora w Rożnowie, należy już do Płaszczowiny Śląskiej. Odsłaniają się tu głównie wschodnie warstw istebniańskich, krośnieńskich i grybowski, wykształcone jako piaskowce gruboławicowe, zapieńce i łupki, piaskowce cienkoławicowe, lokalnie wapińskie, i łupki ilaste, należące do kredy górnej-paleogenu (Waclawski, 2005). Na zboczach utwory podłoża fliszowego są przykryte gruntami zwietrzelinowymi, które w górnych partiach są wykształcone głównie jako grunty spoiste, pylasto-ilasto-piaszczyste. W dolinach rzek Karpackich podłoża fliszowe przykrywają czwartorzędowe osady rzeczne, fluwioglacjalne, a lokalnie glacialne, zbudowane z gruboziarnistych utworów (kamienistych i żwirowo-piaszczystych) należących do facji korytowej. Utwory te są przykryte madami (utwory facji powodziowej) lub pokrywami utworów zboczowych. Osady przypowierzchniowe występujące w Karpatach są głównym materiałem spłukiwanym przez wody opadowe, a następnie deponowanym w zbiornikach retencyjnych.

Obecna morfologia dna Jeziora Rożnowskiego jest znacząco zmieniona w stosunku do stanu pierwotnego. Osady deponowane w cofce zbiornika uformowały wyniesienie w kształcie półwyspu, który ciągnie się od Kurowa wzdłuż dawnego koryta Dunajca, następnie za Cyplem Zbyszyckim skręca w kierunku Znamirów. Ponadto w strefie między Tęgoborzą a Znamirówkami uformowało się kilka łach tworzących okresowe wyspy, odsłaniające się przy niższych stanach wody w jeziorze (ryc. 1). Utworzone wyniesienia bujnie porasta roślinność bagienna, szczególnie wierzba oraz wysokie trawy, które mogą stanowić dodatkową barierę dla osadu transportowanego przez rzekę Dunajec. Tak ukształtowane dno spowodowało niejako oddzielenie części zbiornika w rejonie Tęgoborzy od głównego jeziora, co w konsekwencji ogranicza swobodną wymianę wód w cofce zbiornika. Dodatkowo w Tęgoborzy do jeziora wpływa potok, który również może zaburzać warunki sedimentacji w zbiorniku.

METODYKA BADAWCZA

W latach 2002–2014 w rejonie cofki Jeziora Rożnowskiego oraz na terenie równi zalewowej rzeki Dunajec bezpośrednio przed zbiornikiem wykonano 11 otworów

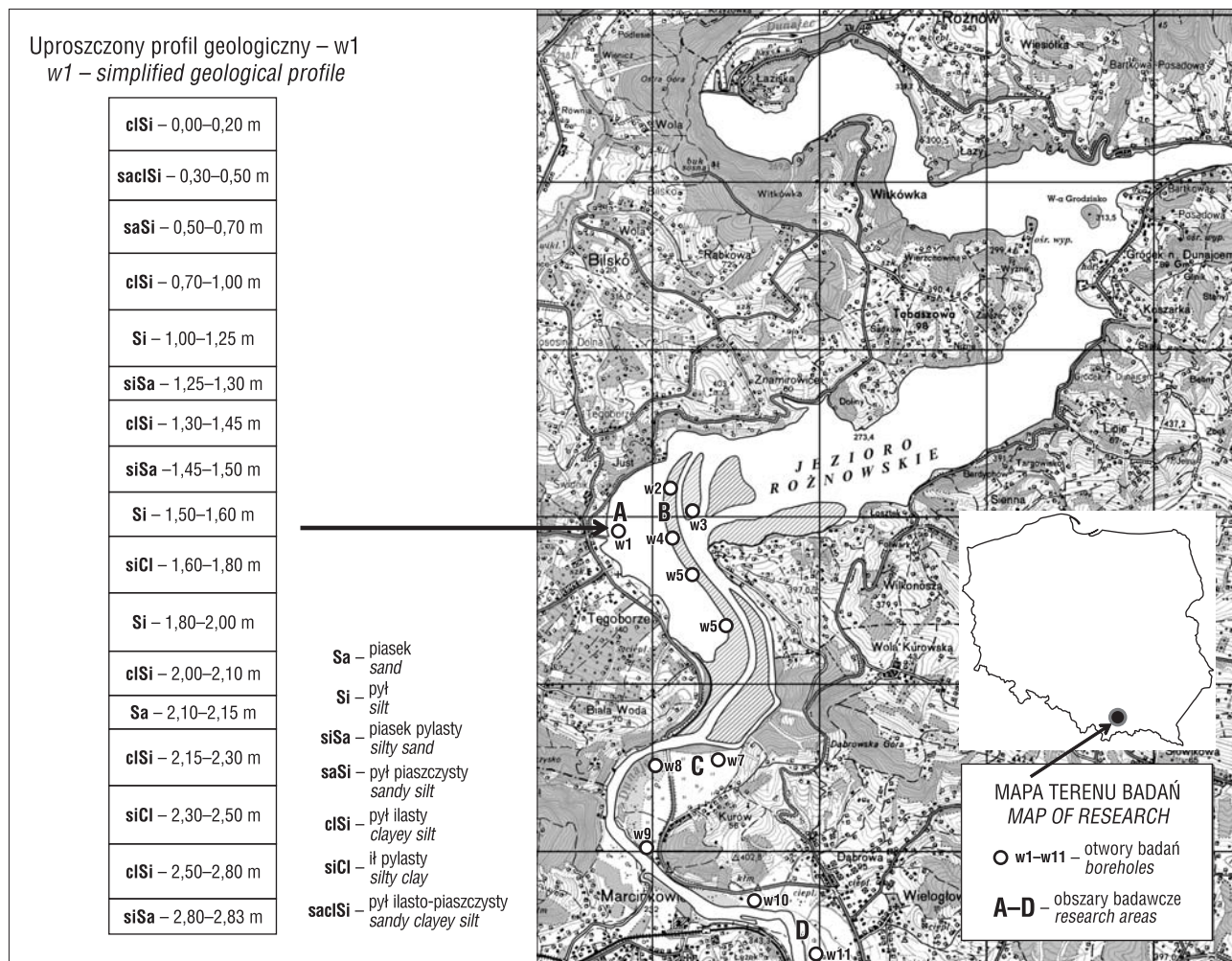


Ryc. 1. Jezioro Roznowskiego w rejonie Tęgorz
Fig. 1. Roznowskie Lake near Tęgorz

badawczych penetrometrem ręcznym o średnicy 70–100 mm (ryc. 2). Wiercenie wykonywano w interwale co 20 cm, a cały urobek, pozyskiwany podczas wiercenia, został pobrany do badań laboratoryjnych. Część pobranych próbek było w stanie nienaruszonej struktury (klasa A), a część o naruszonej strukturze (klasa B). Do poboru próbek klasy A stosowano stalowy cienkościenny próbnik cylindryczny o średnicy 36 mm. Głębokość otworów badawczych wynosiła od 1,0 do 3,0 m p.p.t. Próbkę z dna zbiornika pobrano w czasie konserwacji zapory, w wyniku czego nastąpiło znaczne obniżenie zwierciadła wody i odsłonięcie osadów dennych. Maksymalna miąższość osadów w cofce wynosi 8 m (Wojciechowski 1994), jednak trudne warunki związane z techniczną możliwością poboru próbek (wiercenia wykonywano z łodzi) i dużą wilgotnością osadów spowodowały, że w otworach 2–6 pobrano próbki klasy B do głębokości 2 m p.p.t.

W ramach badań laboratoryjnych oznaczono skład mineralny metodą rentgenostrukturalną dla 3 próbek gruntu. Do badań wykorzystano dyfraktometr rentgenowski PHILIPS X'PERT z monochromatyzatorem refleksyjnym. Stosowano promieniowanie charakterystyczne CuK_α oraz filtr Ni. Dyfraktogramy interpretowano za pomocą programu identyfikacyjnego XRAYAN z bazą minerałów ICPDS (Diduszko & Marciniak, 1995). Skład granulometryczny gruntu określono, stosując analizę areometryczną. Przed wytypowaniem próbek do analizy granulometrycznej grunt z każdego otworu badawczego został podsuszony do stanu powietrzno-suchego i dokładnie wymieszany. Do badania pobrano po 3–5 próbek o masie 50–60 g z każdego otworu badawczego, łącznie wykonano 44 badania. Wil-

gotność naturalną określono dla 106 próbek pobranych w otworach badawczych nr 1 oraz 7 do 11. W otworach 2 do 6 wilgotności naturalnej nie oznaczano, gdyż próbki były pobierane spod wody. Gęstość objętościową szkieletu gruntowego oznaczono w wybranych próbkach w otworach nr 1 oraz 7 do 11. Łącznie wykonano 53 oznaczenia dla próbek o średnicy 38 i wysokości od 20 do 50 mm oraz o średnicy 25,6 mm i wysokości 24,7 mm. Gęstość właściwą szkieletu gruntowego nie oznaczano laboratoryjnie, gdyż w gruntach organicznych jest to uciążliwe i nie zawsze daje dobre rezultaty (Myślińska, 2001). Zastosowano więc metodę empiryczną wg Skempton'a i Petle'a (Myślińska, 2001). Granicę plastyczności i płynności określono metodą Casagrande'a dla 30 próbek, pobranych w otworach wiertniczych 1–6 oraz 9 i 10. Ocena zawartości części organicznych jest trudnym zagadnieniem, gdyż metodyka badań gruntów (na pograniczu mineralnych i organicznych) do celów geologiczno-inżynierskich nie została do tej pory ujednoczona. Najczęściej stosuje się metodę strat prażenia. Jest ona najprostszą, jednak daje zawyżone wyniki w gruntach spoistych ze względu na dehydroksylację minerałów ilastych, bardziej jest więc zalecana w torfach. W przypadku gruntów o niskiej zawartości części organicznych wiarygodniejsza jest metoda z zastosowaniem 30% roztworu wody utlenionej (Myślińska, 2001). Badania przeprowadzono więc z zastosowaniem wody utlenionej (31 próbek) oraz metodą strat prażenia w temperaturze 440°C (24 próbki). Pojemność sorpcyjną i powierzchnię właściwą określono metodą sorpcji błękitu metylowego (Myślińska, 1998). Do badań wytypowano



Ryc. 2. Mapa Jeziora Rożnowskiego z lokalizacją punktów badawczych

Fig. 2. Map of Rożnowskie Lake with sampling sites indicated

Tab. 1. Parametry geotechniczne osadów Jeziora Rożnowskiego i mad Dunajca (Gwóźdź, 2007)

Table 1. Geotechnical parameters of the sediments of Rożnowskie Lake and the Dunajec River (Gwóźdź, 2007)

Parametry fizyczne Physical parameters	Symbol Symbol	Jednostka Unit	Osady Jeziora Rożnowskiego Sediments of Rożnowskie Lake		Mady rzeczne Dunajca Floodplain sediments of the Dunajec River	
			przedział wartości Range of values	wartość średnia Average values	przedział wartości Range of values	wartość średnia Average values
Frakcja piaszczysta / Sand fraction	f_p	%	14–39	27	35–62	49
Frakcja pyłowa / Silt fraction	f_s	%	51–75	60	31–55	41
Frakcja ilowa / Clay fraction	f_i	%	8–19	13	7–13	10
Wskaźnik uziarnienia / Uniformity coefficient	U	–	3,4–40	20,2	17–23	20
Wilgotność naturalna / Natural moisture	W_n	%	23,8–83,1	38,2	11,2–22,3	16,2
Gęstość objętościowa / Bulk density	ρ	g/cm ³	1,67–1,99	1,85	1,96–2,14	2,05
Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego Dry density	ρ_d	g/cm ³	1,11–1,51	1,38	1,60–1,90	1,77
Gęstość właściwa / Particle density	ρ_s	g/cm ³	2,61–2,65	2,62	2,65	2,65
Porowatość całkowita / Total porosity	n	–	0,41–0,58	0,47	0,30–0,40	0,33
Wskaźnik porowatości / Void ratio	e	–	0,69–1,36	0,92	0,39–0,65	0,50
Granica plastyczności / Plastic limit	W_p	%	20,0–28,0	25,2	19,0–23,6	21,2
Granica płynności / Liquid limit	W_L	%	41,6–49,5	45,7	30,1–37,0	32,6
Wskaźnik plastyczności / Plasticity index	I_p	–	17,5–22,0	20,1	10,3–13,6	11,6
Aktywność wg Skemptona / Activity	A	–	1,12–2,36	1,71	0,76–1,39	1,07
Pojemność sorpcyjna / Sorption capacity	MBC	g/100g	1,7–2,9	2,2	1,2–1,9	1,6
Powierzchnia właściwa / Specific surface area	S_s	m ² /g	36,3–59,8	47,3	25,6–39,3	32,6
Zawartość CaCO ₃ / CaCO ₃ content	–	%	<1	–	<1	–
Zawartość części organicznych / Organic matter content	I_{om}	%	0,80–2,89	1,83	0,72–1,61	1,12
Straty prażenia w 440°C / Loss on ignition	–	%	2,69–4,91	3,77	2,91–3,53	3,37

3–5 uśrednionych próbek pobranych z otworów 1, 2, 4, 5, 9, 10. Łącznie wykonano 24 badania.

Na podstawie przeprowadzonych badań obliczono pozostałe właściwości gruntu, takie jak: gęstość objętościową szkieletu gruntowego, porowatość, wskaźnik porowatości, wskaźnik plastyczności, aktywność wg Skemptona. Badania właściwości fizycznych określono wg normy PN-B-04481:1998. Nazwy gruntów są przedstawione wg nowej normy geotechnicznej PN-EN ISO 14 688-1. Zbiorcze zestawienie parametrów fizycznych badanych osadów znajduje się w tabeli 1.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badania rentgenograficzne wykazały, że skład fazowy badanych osadów w trzech próbkach jest praktycznie identyczny, co świadczy o jego dużej jednorodności (ryc. 3). W składzie mineralnym występuje głównie kwarc, minerały ilaste, a także kalcyt, anhydryt i muskowitz. Minerale ilaste są reprezentowane przez illit oraz kaolinit. Kaolinit charakteryzuje się nieznacznie wielkością kryształitów. O drobnodispersyjności kryształitów świadczy niska intensywność głównej linii dyfrakcyjnej ($d_{hkl} = 7,15 \text{ \AA}$) względem pozostałych. Stwierdzono także śladowe ilości pakietów pęczniących montmorillonitu wapniowego ($d_{hkl} = 14,9 \text{ \AA}$). Na podstawie jednorodności w składzie mineralnym przyjęto, że skład mineralny frakcji ilowej wykonanych próbek jest jednakowy dla całego obszaru badawczego, gdyż materiał jest dostarczany ze zlewni w ciągu bardzo krótkiego okresu (w sensie czasu geologicznego) wynoszącego zaledwie 50 lat.

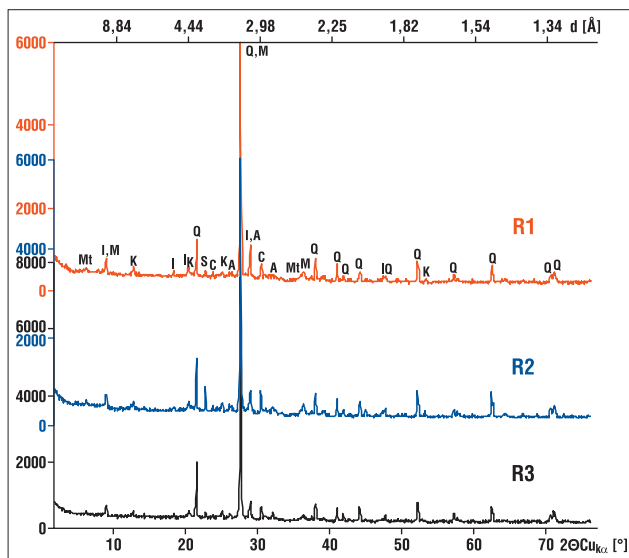
Na podstawie analizy areometrycznej stwierdzono, że dominującym osadem deponowanym w cofce Jeziora Rożnowskiego są pyły (Si), pyły ilaste (clSi) oraz pyły piaszczysto-ilaste (clsaSi). Uogólniona zawartość frakcji piaszczysto-ilaste mieści się w przedziale 14–39%, pyłowej 51–75% i ilowej 8–19% (ryc. 4). W strefie przypowierzchniowej, do głębokości 0,5 m można zaobserwować obecność nierozłożonych części organicznych (korzenie,

kawałki drewna, szczątki kostne, pokruszone muszle małży itp.). Zdeponowany materiał ma barwę jasnoszarą, przy czym w przypadku wkładek utworów o większej zawartości części organicznych barwa przechodzi w ciemnoszarą do czarnej (ryc. 5a). W strefie zbiornika Tęgoborze (otwór 1) deponowane osady charakteryzuje struktura warstwowa, które uwidacznia się przez zmianę barwy oraz uziarnienie frakcyjne, prawdopodobnie związane z jednym cyklem powodziowym. W dolnej części pakietu występuje warstwa piasku przechodząca w piasek pylasty, następnie jest warstwa pyłu przechodząca stopniowo w pył ilasty, a nawet il pylasty. Przemieszczając się w kierunku drobniejszej frakcji, zauważa się zmianę barwy na ciemnoszarą do czarnej i zwiększoną zawartość części organicznych. Całość takiego pakietu ma miąższość od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów (ryc. 2). W strefie przypowierzchniowej do ok. 0,3 m p.p.t. grunt jest w stanie płynnym, tylko w części centralnej cofki, gdzie w okresie letnim osady są odsłonięte, przypowierzchniowa część mułu ulega przesuszaniu, tworząc twardszą pokrywę. W dół profilu osad staje się bardziej skonsolidowany na skutek wzrostu ciężaru nadległych warstw, jednak ogólnie można uznać, że jest on w stanie miękkoplastycznym. Zawartość węglanu wapnia CaCO_3 badana 5% roztworem kwasu solnego jest poniżej 1%.

Mady Dunajca to głównie pyły (Si), pyły piaszczyste (saSi) i pyły piaszczysto-ilaste (clsaSi) o zawartości frakcji piaszczysto-ilastej w przedziale 35–62%, pyłowej 31–55% i ilowej 7–13% (ryc. 4). Grunt jest zabarwiony na brązowo i posiada strukturę warstwową (ryc. 5b). Osad w strefie przypowierzchniowej jest przesuszony, w stanie półwartym, z głębokością przechodzi w twardoplastyczny. Miąższość osadów pylasto-ilastych wynosi ok. 1,0–1,2 m. Zawartość węglanu wapnia jest znikoma, grunt nie wykazywał reakcji z kwasem solnym.

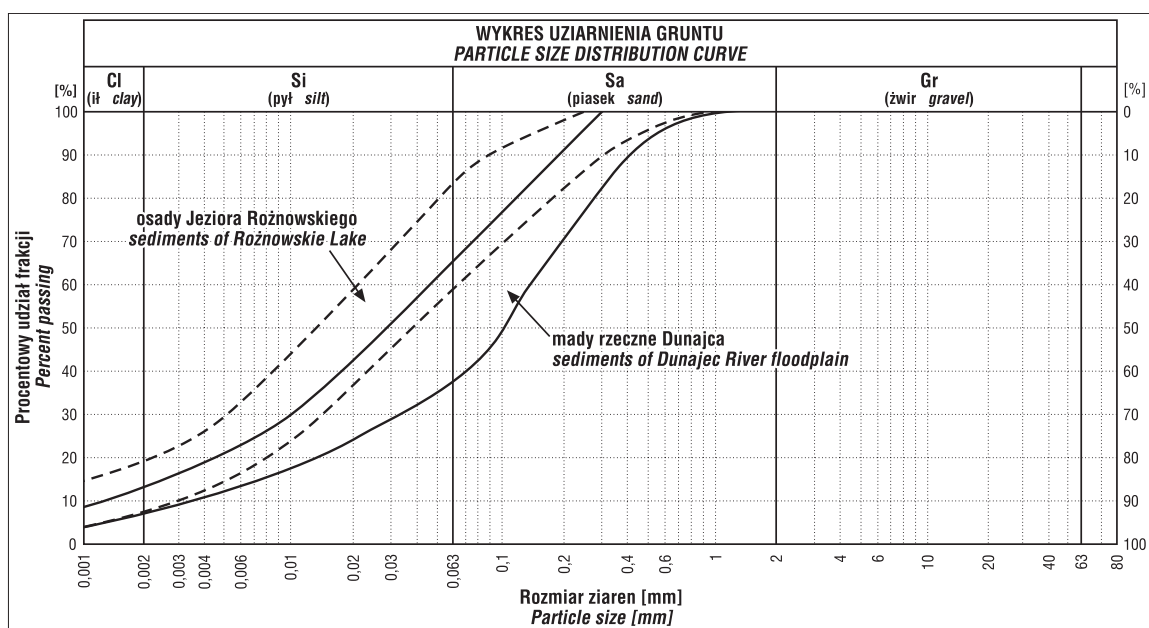
Rozpatrując rozmieszczenie poziome osadów, zauważono pewne ich zróżnicowanie. W rejonie Tęgoborzy występuje największa niejednorodność osadów. Charakteryzuje je uziarnienie frakcyjne, jest to szczególnie widoczne w strefie brzegowej (obszar A). Może to wpływać na częściowe odizolowanie basenu Tęgoborze od głównego nurtu Dunajca, a w konsekwencji utrudniać migrację osadu drobnoziarnistego po przejściu fali powodziowej. Dodatkowym czynnikiem wydaje się być wpływający w tym rejonie potok, który może dostarczać grubszą frakcję. W profilu pionowym pojawiają się 1–2-centymetrowe wkładki piasku, czego nie obserwuje się w innych obszarach. Osady występujące w centralnej części cofki zbiornika (między obszarem B i C) są bardziej jednorodne i dominują tu utwory pylasto-ilaste. Osady tworzące się na równi zalewowej Dunajca (między obszarem C i D) są gruntami o grubszym uziarnieniu, głównie pylasto-piaszczystymi (ryc. 4).

W osadach Jeziora Rożnowskiego procentowa zawartość części organicznych oznaczona za pomocą wody utlenionej wynosi 0,92–2,89%, natomiast w przypadku strat prażenia 2,69–4,91%. W badanych osadach zwrócono również uwagę na stopień rozkładu materii organicznej. W profilu pionowym można zaobserwować cienkie wkładki próchnicze, o ciemnoszarej barwie i gnilnym zapachu. Świadczy to o zaawansowanym stopniu rozkładu materii organicznej, co jest charakterystyczne dla osadów zbiorników zaporowych (Wójcik, 1991). W madach Dunajca zawartość części organicznych jest niższa i wynosi 0,72–1,61, natomiast w przypadku strat prażenia od 2,91 do 3,53. Osady te nie wykazują jednak cech gruntów organicznych. Wskazuje na to brązowe zabarwienie,



Ryc. 3. Dyfraktogramy próbek R1, R2, R3. A – anhydryt, C – kalcyt, I – illit, K – kaolinit, M – muskowitz, Mt – montmorillonit, S – skałen, Q – kwarc

Fig. 3. Diffractograms of the samples R1, R2, R3. A – anhydrite, C – calcite, I – illite, K – kaolinite, M – muscovite, Mt – montmorillonite, S – feldspar, Q – quartz



Ryc. 4. Wykres uziarnienia gruntów spoistych zdeponowanych w cofce Jeziora Rożnowskiego oraz mad Dunajca
 Fig. 4. Particle size distribution of cohesive soils deposited in Rożnowskie Lake and the Dunajec River

brak gnilnego zapachu. Widoczne są natomiast nierozłożone korzenie roślin. Można więc uznać, że mady mają niski stopień rozkładu materii organicznej.

Wilgotność naturalna osadów występujących w strefie brzegowej (obszar A) waha się w szerokim zakresie od 23,8 do 83,1%. Zauważono, że bardzo wysoka wilgotność występuje w warstwie przypowierzchniowej do głębokości ok. 0,3–0,4 m, i mieści się w przedziale 58,6–83,1%. Poniżej, wilgotność stopniowo maleje. Wilgotność naturalna osadów pobranych w otworach 6 i 7 (obszar C) również jest wysoka, szczególnie poniżej 1 m. W warstwach przypowierzchniowych wilgotność jest w granicach ok. 25% w partiach głębszych wzrasta do ok. 50%. Wilgotność naturalna mad rzecznych Dunajca jest niska w przedziale 11,2–22,3%. Są to utwory przypowierzchniowe, podścielone osadami piaszczysto-żwirowymi, więc szybko ulegają przesuszeniu (strefa aeracji). Ich wilgotność może jednak ulegać okresowym zmianom.

Gęstość objętościowa osadów mieści się w przedziale 1,67–1,99 g/cm³. Niskie wartości gęstości są związane z dużą porowatością badanych osadów od 0,41 do 0,58. Niższe wartości, w przedziale 1,67–1,81 g/cm³ są charakterystyczne dla wkładek o podwyższonej zawartości części organicznych. Dominujące w profilu pionowym pyły ilaste i pyły charakteryzują się gęstością od 1,83 do 1,99 g/cm³. Gęstość objętościowa mad Dunajca waha się od 1,96 do 2,14 g/cm³. Są one bardziej skonsolidowane, ich porowatość wynosi 0,30–0,40. Jest to wynikiem ciągłego przesuszania i przemarzania osadów, czemu towarzyszy tzw. efekt prekonsolidacji (Wierzbiński, 2010).

Granica plastyczności osadów rożnowskich wynosi od 20,0 do 28,0%, granicy płynności 41,6–49,5%, a wskaźnik plastyczności 17,5–22,0%. W madach Dunajca granica plastyczności jest od 19,0 do 23,6%, granica płynności 30,1–37,0%, a wskaźnik plastyczności 10,3–13,6%. Można tu zauważyć, wyraźny wzrost plastyczności w osadach jeziornych w stosunku do mad rzecznych (wskaźnik plastyczności jest prawie dwukrotnie większy). Kolejna cecha, która wykazuje podobną prawidłowość to aktywność



Ryc. 5. Próbkę gruntu; A – Jezioro Rożnowskie, B – Dunajec
 Fig. 5. Soil samples; A – Rożnowskie Lake, B – Dunajec River

wg. Skemptona. W osadach zbiornika rożnowskiego aktywność jest wysoka, od 1,12 do 2,36, natomiast w madach niska, od 0,76 do 1,39. Dla porównania w podobnych gruntach mineralnych aktywność wynosi od 0,75 do 1,25 (Myślińska, 2001). Uzyskiwane wartości dla powyższych właściwości gruntu, należy łączyć z obecnością w osadach z dna zbiornika Rożnowskiego substancji organicznej o wysokim stopniu rozkładu.

Pojemność sorpcyjna ($MBC = 1,7\text{--}2,9 \text{ g}/100\text{g}$) i powierzchnia właściwa ($St = 36,3\text{--}59,8 \text{ m}^2/\text{g}$) z osadów jeziornych są prawie dwukrotnie wyższe niż w madach Dunajca ($MBC = 1,2\text{--}1,9 \text{ g}/100\text{g}$, $St = 25,6\text{--}39,3 \text{ m}^2/\text{g}$). Jest to również wynikiem wyższej zawartości części organicznych. Na pojemność sorpcyjną i powierzchnię właściwą największy wpływ ma obecność w składzie mineralnym minerałów ilastych z grupy montmorylonitu. W badanych osadach minerały ilaste są reprezentowane głównie przez illit i kaolinit oraz śladowe ilości pakietów pęczniejących montmorillonitu wapniowego. Osady z dna zbiornika należy zaliczyć do grupy gruntów o średniej, a mady Dunajca o niskiej pojemności sorpcyjnej i powierzchni właściwej (Myślińska, 2001).

WNIOSKI

Wyniki badań laboratoryjnych właściwości geotechnicznych osadów spoistych deponowanych współcześnie w cofce Jeziora Rożnowskiego i osadów powstających na tarasach zalewowych Dunajca pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. W cofce zbiornika rożnowskiego grunty spoiste są wykształcone głównie jako pyły, pyły ilaste i pyły piaszczysto-ilaste. W osadach zaznacza się wyraźna dominacja frakcji pyłowej nad piaszkową i ilową. Badane grunty zawierają od 0,80 do ok. 3% części organicznych, co pozwala zaliczyć je do gruntów mineralnych na pograniczu z gruntami organicznymi. Części organiczne cechują się wysokim stopniem rozkładu, co ma znaczący wpływ na właściwości fizyczne gruntów;

2. Na tarasach zalewowych Dunajca występują grunty spoiste wykształcone głównie jako pyły i pyły piaszczyste, natomiast zawartość frakcji ilowej jest o kilka procent niższa niż w osadach Jeziora Rożnowskiego. W madach Dunajca zawartość części organicznych jest niższa i waha się od ok. 0,70 do 1,60%. Charakteryzuje je niski stopień rozkładu części organicznych, a właściwości fizyczne są typowe dla gruntów mineralnych;

3. Na badanym terenie wydzielono trzy obszary charakteryzujące się różnym środowiskiem sedymentacji. Pierwszy to rejon najniższego tarasu rzeki Dunajec, tzw. równi zalewowej. Okres sedymentacji jest tu krótkotrwały, związany z czasowym zalaniem podczas letnich kulminacji powodziowych, co powoduje, że deponowane są osady najgrubsze, głównie pylasto-piaszczyste.

Drugi obszar znajduje się w centralnej części cofki jeziora, wzdłuż dawnego koryta rzeki. Występują tu przede wszystkim utwory pylaste. Sedymentacja osadów zachodzi przez cały rok, ale najintensywniej w okresach wezbrań powodziowych.

Obszar trzeci (subbasen Tęgorzory) znajduje się również w rejonie cofki zbiornika, ale jest okresowo (przy niż-

szych stanach wody w jeziorze) odizolowany od głównego transportu zawiesiny. W wyniku izolacji tego obszaru po przejściu fali powodziowej następuje sedymentacja nie tylko frakcji pylastej, ale również w większej ilości frakcji ilowej. Dodatkowo subbasen Tęgorzory jest zasilany przez lokalny potok, który dostarcza większą ilość frakcji piaszkowej. Obszar ten charakteryzuje największe zróżnicowanie osadu i uziarnienie frakcjonalne.

W pracy zaprezentowano wyniki badań prowadzonych w Instytucie Geotechniki PK w latach 2002–2005 i 2014, finansowane ze środków w ramach działalności statutowej. Autor składa podziękowania Recenzentom oraz Redaktorowi Naczelnemu za poświęcony czas oraz wszelkie uwagi merytoryczne i redakcyjne.

LITERATURA

- CZAPLICKA-KOTAS A. & ŚLUSARCZYK Z. 2013 – Przestrzenny rozkład niklu w osadach dennych Zbiornika Goczałkowice. *Technologia Wody*, 10 (30): 34–39.
- DIDUSZKO R. & MARCINIAK H. 1995 – XRAYAN program do rendgenowskiej analizy fazowej. Warszawa.
- GWÓŹDŹ R. 2007 – Właściwości osadów spoistych Jeziora Rożnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania. Rozprawa doktorska. Arch. PK., Kraków.
- KOŚ K. 2013 – Charakterystyka geotechniczna osadów dennych cofki Zbiornika Czorsztyn-Niedzica. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 2: 135–143.
- KOŚ K. & ZAWISZA E. 2012 – Ocena przydatności osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego do budowy uszczelnień w składowiskach odpadów komunalnych. *Acta Sc. Pol. Form. Circ.*, 11 (4): 49–60.
- KOZIELSKA-SROKA E. & CHEĆ M. 2009 – Właściwości osadów dennych Jeziora Czorszyńskiego w aspekcie ich wykorzystania w budownictwie ziemnym. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 33(1): 369–376.
- ŁAJCZAK A. 1989 – Zróżnicowanie transportu zawiesiny w karpacciej części dorzecza Wisły. *Dok. Geogr.*, 5: 5–94.
- ŁAJCZAK A. 1995 – Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły. *Of. Wyd. P.Warsz. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN*, Warszawa, 8, s. 108.
- MROCEK J., RATOMSKI J. & WACŁAWSKI M. 1997 – Sedymentacja rumowiska w zbiorniku Tresna. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN*, Kraków, 13: 31–45.
- MYŚLIŃSKA E. 1998 – *Laboratoryjne badania gruntów*. PWN, Warszawa
- MYŚLIŃSKA E. 2001 – *Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania*. PWN, Warszawa.
- ONOSZKO J. 1959 – Studia nad zamulaniem zbiornika rożnowskiego. *Zesz. Nauk. PGd.*, 17. *Budownictwo Wodne II*, Gdańsk: 3–24
- ONOSZKO J. 1962 – Zamulenie zbiornika rożnowskiego. *Rozpr. Hydrotech.*, 12: 107–112.
- PN-B-04481:1998 *Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu*.
- PN-EN ISO 14 688-1 *Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis. Część 2: Zasady klasyfikowania*.
- RECZYŃSKI W., KWIATEK W., KUBICA B., GOŁAŚ J., JAKUBOWSKA M., NIEWIARA E., DUTKIEWICZ E., STOBİŃSKI M. & SKIBA M. 2006 – Rozkład wybranych metali ciężkich w osadach dennych zbiornika dobczyckiego. *J. Elementol.*, 11 (3): 347–356.
- SOBCZAK J. (red) 1985 – *Badanie stanu załadowania zbiornika w Rożnowie. Praca zlecona nr TRH/HU/2906/83*, Arch. ZEW Rożnow.
- STANOWSKI J. 1993 – Hydrologiczno-fizjograficzne kryteria w prognozie załadowania zbiorników retencyjnych w dorzeczu górnej Wisły. *Rozprawa doktorska*, Arch. Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- WACŁAWSKI M. (red) 2005 – *Zarys geologii i hydrogeologii*. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- WIERZBICKI J. 2010 – Ocena prekonsolidacji podłoża metodami in situ w aspekcie jego genezy. *Rozpr. Naukowe*, 410, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
- WOJCIECHOWSKI A. 1994 – Kompleksowe wykorzystanie osadów deponowanych przez Dunajec w Jeziorze Rożnowskim. *PIG*. Warszawa.
- WÓJCIK D. 1991 – Charakterystyka osadów dennych zbiornika zaporowego Dobczyce. *Ochrona Środowiska*, 1 (42): 31–34.

Praca wpłynęła do redakcji 27.04.2015 r.

Akceptowano do druku 16.09.2015 r.