

UBOCZNE PRODUKTY SPALANIA W REMONTACH I MODERNIZACJI WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH

KLEDYŃSKI Z.¹, FALACIŃSKI P.¹, MACHOWSKA A.¹

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa, Polska
e-mail: zbigniew.kledynski@is.pw.edu.pl; pawel.falacinski@is.pw.edu.pl; agnieszka.machowska@is.pw.edu.pl

Streszczenie : W artykule przedstawiono technologie modernizacji wałów przeciwpowodziowych, wykorzystujące zawiesiny twardniejące skomponowane m.in. z ubocznych produktów spalania - popiołów fluidalnych z węgla kamiennego lub brunatnego, a także z odpadu z hutnictwa stali – granulowanego żużla wielkopiecowego. Scharakteryzowano rodzaje i właściwości zawiesin twardniejących. Opisano realizację odcinka przesłony przeciwfiltracyjnej z zawiesiny twardniejącej zawierającej uboczne produkty spalania oraz przedstawiono wyniki badań kontrolnych wbudowanej zawiesiny.

W artykule scharakteryzowano rodzaje, właściwości i potencjalne pola zastosowania zawiesin twardniejących wytwarzanych z udziałem ubocznych produktów spalania. Opisano zrealizowany odcinek przesłony przeciwfiltracyjnej wykonanej z zawiesiny twardniejącej na bazie ubocznych produktów spalania.

Słowa kluczowe: popiół lotny, mielony granulowany żużel wielkopiecowy, zawiesina twardniejąca, uboczne produkty spalania, przesłony przeciwfiltracyjne

Abstract: The article describes technologies for embankments' modernization with utilization of hardening slurries composed of by-products – fluidal fly ashes from black coal and lignite combustion and a waste product of ferrous and non ferrous metal industries – ground granulated blast furnace slag. The article shows the types of hardening slurries and their properties. The article describes the execution of cut-off wall made of hardening slurry composed of by-products and the results of control tests conducted on the samples taken from the cut-off wall.

Key words: fly ash, ground granulated blast furnace slag, hardening slurry, by-products of combustion, cut-off walls

1. Wprowadzenie

Wezbrania są zjawiskami naturalnymi. Największe z nich powodują jednak najczęściej dotkliwe straty materialne, a często także ofiary w ludziach. Zdarzenia tego rodzaju to powodzie, które wynikają z natury, ale mają swoje konsekwencje gospodarcze i społeczne.

Powodzie były, są i będą, o czym świadczą źródła historyczne i bieżące doświadczenia, a prognozy klimatyczne wskazują na dynamizowanie się zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych.

Wśród różnych koncepcji ochrony przed powodzią współcześnie dominuje podejście związane z szacowaniem ryzyka powodziowego i próbami zarządzania nim [3]. Wśród narzędzi służących do ograniczania ryzyka powodzi rosnącego znaczenia nabierają wprawdzie tzw. środki nietechniczne, ale intensywne zagospodarowanie dolin rzecznych w Europie sprawia, iż znaczący udział mają i będą wciąż miały środki techniczne, które dzielimy na środki ochrony czynnej i biernej.

W Polsce zagrożonych powodzią jest około 2 mln ha gruntów rolnych, co stanowi ok. 7% powierzchni kraju, z czego połowa jest chroniona wałami. Ich łączna długość wynosi około 8,5 tys. kilometrów. Szacuje się, że ich budowa zmniejszyła powierzchnię zalewanych obszarów o 25% [14].

Wiek obwałowań i związany z nim ich stan techniczny oraz niedostateczne środki przeznaczone na konserwację i remonty obwałowań przeciwpowodziowych sprawiają, że ryzyko powodziowe na terenach chronionych wałami jest wyższe, niż wynikałoby to z geometrycznych parametrów wałów i wezbrań przyjmowanych do ich zaprojektowania [7].

Potrzeby w zakresie modernizacji wałów przeciwpowodziowych na tyle przewyższają dostępne środki na ten cel, że decyzje o alokacji nakładów na remonty muszą być przemyślane i związane z szacowaniem poziomu zagrożenia. Istotny jest także wybór skutecznych i efektywnych ekonomicznie technologii naprawy wałów. Duże znaczenie mają stosowane materiały, które – jak staramy się to dalej wykazać – mogą w znacznej mierze bazować na odpadach mineralnych generowanych m.in. w energetyce i hutnictwie.

Wobec dominującego udziału paliw stałych w polskiej energetyce kierunek poszukiwań jest szczególnie interesujący, gdyż kojarzy zabezpieczenia przeciwpowodziowe z ekonomiką i ochroną środowiska przyczyniając się do zagospodarowania odpadów w wielko kubaturowym budownictwie wodnym.

2. Awarie wałów przeciwpowodziowych i skala potrzeb remontowych

Według Rządowego Centrum Bezpieczeństwa powódzie w 2010 roku spowodowały straty materialne przekraczające 3 mld zł. Zalanych zostało 550 tys. ha, w tym 470 tys. ha użytków rolnych. Powódzie dotknęły 2200 miejscowości i 67 tys. gospodarstw rolnych. Na zalanych terenach mieszkało 280 tys. ludzi, z których ponad 35 tys. było ewakuowanych.

Podana wyżej kwota stanowi oszacowanie tylko strat bezpośrednich i najłatwiej policzalnych. Późniejsze i dokładniejsze wyliczenia dają kwoty ponad dwukrotnie wyższe.

Według danych Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego [20] w powodziach z maja i czerwca 2010 wystąpiło 77 przerw wałów. Warto przy tym zauważyć, że nie wszystkie z tych zdarzeń uznano za katastrofy budowlane w sensie formalno-prawnym; katastrof budowli hydrotechnicznych spowodowanych przez powódzie było w roku 2010 w Polsce 53 [6].

Szerzej ujęta ankieta dotycząca przerw i uszkodzeń obwałowań przeciwpowodziowych w roku 2010 [11] wskazuje na ponad sto trzydzieści przerw i około 550 poważnych uszkodzeń, z których prawie 190 spowodowała działalność dzikich zwierząt (głównie bobry, lisy). Uszkodzenia spowodowane przez bobry w kilku przypadkach co najmniej przyczyniły się do szczególnie dotkliwych, katastrofalnych przerw obwałowań (np. na Mazowszu i Lubelszczyźnie).

Przytoczone dane – mimo różnic wynikających z odmiennych metodyk zbierania i kwalifikowania zdarzeń – wskazują na znaczącą skalę problemu i potrzeb związanych z prawidłowym utrzymaniem wałów przeciwpowodziowych. Istotną częścią potencjalnych rozwiązań muszą być nowoczesne technologie modernizacji ziemnych budowli hydrotechnicznych oraz innowacyjne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe w tym zakresie.

3. Metody modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych

Współcześnie modernizacja wałów przeciwpowodziowych polega na wykonaniu w korpusie lub u podstawy wału przesłony przeciwfiltracyjnej odcinającej lub w znacznym stopniu ograniczającej przepływ wody w gruncie lub korpusie wału.

Przesłony przeciwfiltracyjne są najczęściej wykonywane metodą wgłębnego mieszania *DSM* (ang. *Deep Soil Mixing*), polegającą na mieszaniu *in situ* gruntu z zaczynem cementowym, cementowo-bentonitowym lub cementowo-popiołowo-bentonitowym, zależnie od wymagań stawianych przesłonie odnośnie wytrzymałości i szczelności. W metodzie tej mieszadło, w postaci końcówki wiertniczej o specjalnym kształcie, wprowadza się w grunt. Po osiągnięciu przewidzianej głębokości następuje właściwa faza mieszania wgłębnego, w której mieszadło podciągane jest do góry i jednocześnie podaje się zaczyn. Przesłona przeciwfiltracyjna formowana tą metodą ma postać palisady z kolumn gruntowo-cementowych lub gruntowo-cementowo-bentonitowych. Wykonuje się ją za pomocą stosunkowo lekkiego sprzętu, bez stosowania wibracji. Kolumny mają średnice ok. 0,80 m i wysokości rzędu kilkunastu metrów. Ponadto możliwe jest wykonanie przesłony jako elementu oporowego (np. przy zastosowaniu profili stalowych pograżanych w

plastyczną jeszcze kolumnę cementogruntu). W metodzie DSM stosunkowo łatwo kontrolować zużycie iniektu. Nie ma także sedimentacji zawieszin. Jednak metoda *DSM* ma mniejszą wydajność niż np. metoda *WIPS* (*Wibracyjnie Iniektowana Przesłona Szczelinowa*), brakuje efektu dogęszczenia podłoża, występuje możliwość powstawania urobku oraz wyższy jest koszt wykonania przesłony w stosunku do *WIPS*.

W metodzie *WIPS* (*Wibracyjnie Iniektowana Przesłona Szczelinowa*) za pomocą wibracji zagłębia się w podłoże kształtownik stalowy i wyciągając go wypełnia się powstałą przestrzeń zawiesziną twardniejącą. Metoda ta jest wydajna i niedroga i pozwala na wykonywanie przesłon do znacznej głębokości (do 20 m), dogęszczenie podłoża, likwidację pustek i rozluźnień w zasięgu do kilku metrów od przesłony. Jednak podczas wykonywania przesłony metodą *WIPS* może nastąpić zaciśnięcie szczeliny i sedimentacja zawiesziny. Ponadto metoda ta wymaga użycia ciężkiego sprzętu, a pojawiające się wibracje oddziałują na otaczające obiekty. Występuje także możliwość „klawiszowania” przesłony, tj. nie uzyskania jej ciągłości na skutek odchylen od pionu kolejnych zagłębień kształtownika.

Przesłonę przeciwfiltracyjną wykonuje się również w wykopach wąskoprzestrzennych, przy czym możliwe jest wykonanie wykopu *metodą szczeliny ciągłej*, którą głębi się koparką lub tzw. trenczerem (koparka wielonaczyniowa pracy ciągłej) i jednocześnie podaje do wykopu zawiesziną rurociągiem lub *metodą kolejnych sekcji*, w której wykop wykonuje się i wypełnia zawiesziną sekcjami, realizując w pierwszej fazie co drugą sekcję, a w drugiej fazie sekcje zamykające. Ze względu na skład zawiesziny można wyróżnić technologię jednofazową polegającą na głębieniu wykopu pod osłoną zawiesziny twardniejącej, którą następnie pozostawia się do związania i stwardnienia we właściwą przesłonę, lub technologię dwufazową (z dwiema odmianami) polegającą na głębieniu wykopu pod osłoną zawiesziny bentonitowo-wodnej (faza I), która w następnej fazie jest wypierana z wykopu przez zawiesziną twardniejącą (faza II), stanowiącą właściwy materiał przesłony albo polegającą na głębieniu wykopu pod osłoną zawiesziny bentonitowo-wodnej, a później wytworzeniu w wykopie z zawiesziny roboczej zawiesziny twardniejącej przez dodanie zaczynu cementowego.

Przesłonę przeciwfiltracyjną można także wykonać metodą iniekcji strumieniowej wysokociśnieniowej (ang. *jet grouting*), w której w pierwszym etapie rozluźnia się grunt za pomocą strumienia wody lub zaczynu cementowego podawanego pod ciśnieniem przez specjalną dyszę, a następnie miesza go z zaczynem cementowym. Ewentualna nadwyżka mieszaniny wypływa wzdłuż żerdzi iniekcyjnej na powierzchnię. Zasięg oddziaływania strumienia zależy od rodzaju gruntu oraz wariantu zastosowanej technologii i dochodzi do 3-4 m. Za pomocą tej metody można formować w gruncie bryły o dowolnych kształtach.

4. Przesłony przeciwfiltracyjne z zawieszin twardniejących

W budownictwie wodnym od kilkudziesięciu lat wykorzystuje się przesłony przeciwfiltracyjne wykonywane w wykopach wąsko przestrzennych. Wykopy rozpierane zawieszinami bentonitowo-wodnymi są wypełniane gruntem spoistym, modyfikowanymi gruntami miejscowymi, betonem, łobetonem lub tzw. zawiesziną twardniejącą.

Zawieszina twardniejąca, będąc wysokowodną mieszaniną bentonitu i spoiwa mineralnego oraz (opcjonalnie) dodatkowych wypełniaczy lub nieinertnych dodatków zachowuje przez pewien czas ciekłość i właściwość tiksotropii (przydatne na etapie drażenia wykopu szczelinowego), aby po pozostawieniu jej w gotowym wykopie stężyć w materiał stały o pożądanych cechach użytkowych, tworzący docelową przesłonę.

Jeśli wyłączyć ze składu zawieszin domieszki chemiczne, to pozostałe składniki stałe mają charakter mineralny. Niektóre z nich są produktami ubocznymi procesów technologicznych, odpadami.

Zawiesiny stosowane lub badane w Polsce można usystematyzować pod względem rodzaju zastosowanych składników w następujący sposób [10]:

- cementowo-bentonitowo-wodne,
- cementowo-bentonitowo-wodne z domieszkami chemicznymi,
- cementowo-bentonitowo-wodne z dodatkami, takimi jak: piasek, popiół z węgla kamiennego lub brunatnego, popiół fluidalny z węgla kamiennego lub brunatnego, żużel wielkopiecowy,
- bentonitowo-wodne z dodatkami, takimi jak: popiół z węgla brunatnego, popiół z węgla kamiennego, wapno,
- cementowo-bentonitowo-wodne z dodatkami, tzw. mieszanki firmowe.

Informacje o właściwościach wyżej wymienionych zawiesin można znaleźć w literaturze przedmiotu, np. [12], a w odniesieniu do gotowych mieszanek w aprobach technicznych wydanych dla tych wyrobów.

5. Materiały mineralne do zawiesin twardniejących

5.1. Odpady z hutnictwa

Stosunkowo najlepiej w hydrotechnice rozpoznane jest stosowanie żużli wielkopiecowych. Przede wszystkim jako dominującego składnika cementów hutniczych – CEM III według PN-EN 197-1:2002 [15], wykorzystywanych na szeroką skalę w masowym budownictwie betonowym. Z większą nieufnością hydrotechnicy podchodzą do wykorzystania cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II oraz cementów wieloskładnikowych CEM V, mimo że i one zawierają żużel. Większą kontrolę nad składnikami spoiwa zapewnia stosowanie żużla wielkopiecowego jako zamiennika części cementu, czyli dodatku do betonu typu II według PN-EN 206-1:2003 [16].

Niewątpliwie do jeszcze szerszego wykorzystania mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego, także w hydrotechnice, może przyczynić się ustanowienie norm PN-EN 15167-1 [18] i PN-EN 15167-2 [19], w których określono wymagania stawiane temu dodatkowi do betonów.

Mielony żużel wielkopiecowy, jako materiał o utajonych właściwościach hydraulicznych, może być także stosowany jako samodzielne spoiwo, po odpowiedniej aktywacji chemicznej [2]. Aktywatorami mogą być: wapno palone, wapno sucho gaszone, gips naturalny, anhydryt, węglan sodu lub potasu, ługi alkaliczne, roztwory szkła wodnego o różnych modułach krzemianowych oraz zmielony klinkier lub cement portlandzki.

5.2. Uboczne produkty spalania (ups)

Wykorzystywanym od lat materiałem odpadowym są popioły lotne ze spalania węgla. W polskiej energetyce, w której dominuje spalanie węgla, corocznie powstaje około piętnastu milionów ton ubocznych produktów spalania: żużle i pyły dymnicowe. Z reguły są transportowane hydraulicznie na składowiska i tam deponowane na mokro w tzw. stawach osadowych. Wykorzystanie popiołów w budownictwie jest szerokie – obejmuje makronielacje i budowę dróg oraz produkcję cementów, zapraw i betonów [1], [5].

Stosowanie popiołów do betonu może się odbywać według reguł normy PN-EN 206-1:2003 [16], gdy tylko popioły te spełniają wymagania ujęte w PN-EN 450-1:2006 [17].

Wśród ubocznych produktów spalania są także tzw. popioły fluidalne. Powstają w kotłach z cyrkulacyjną warstwą fluidalną, gdzie spalanie węgla dokonuje się w temperaturze +800 do +900°C, tj. niższej niż w konwencjonalnym kotle i najczęściej w skojarzeniu z suchą lub półsuchą metodą odsiarczania spalin (obecność sorbentu). Niższa temperatura spalania obniża emisję szkodliwych związków, zwłaszcza tlenków azotu, a odsiarczanie eliminuje związki siarki. Są to środowiskowe efekty wprowadzania kotłów fluidalnych do energetyki. Powstające przy tym żużle i

pyły mają jednak specyficzne właściwości, nie spełniają wszystkich wymagań normy PN-EN 450-1:2006 [17], przez co szerokie wykorzystanie tego odpadu, analogiczne do wykorzystania popiołów konwencjonalnych, np. w betonie, nie jest możliwe.

Jedną z przyczyn trudności w szerszym wykorzystaniu popiołów fluidalnych jest obecność w nich wolnego wapna oraz związków siarki. W wypadku dodania takiego popiołu, np. do betonu, istnieje niebezpieczeństwo, że powstający etryngit wtórny zniszczy w dłuższym czasie strukturę materiału (rozsadzanie). Niebezpieczeństwo tego rodzaju jest znikome lub wręcz żadne, gdy popiół fluidalny staje się nieinertnym dodatkiem do wysokowodnych zawiesin twardniejących [8]. W tym wypadku ekspansja etryngitu doszczelnia wręcz strukturę materiału.

6. Badania wdrożeniowe zawiesin z popiołami fluidalnymi

Przesłone przeciwfiltracyjną zrealizowano u podnóża modernizowanego wału przeciwpowodziowego, na lewym brzegu rzeki Wisły w Mniszewie koło Warszawy. Na potrzeby inwestycji zaprojektowano zawiesinę twardniejącą na bazie popiołu fluidalnego z węgla kamiennego, którą wbudowano w odcinek doświadczalny przesłony o długości około 60 m. Skład oraz parametry wyjściowe zawiesiny przedstawiono w tablicach 1 i 2. W ramach modernizacji wału przeciwpowodziowego przesłone przeciwfiltracyjną zabezpieczono od góry bentomatą. Przekrój pionowy projektowanego rozwiązania wału po modernizacji przedstawiono na rysunku 1.

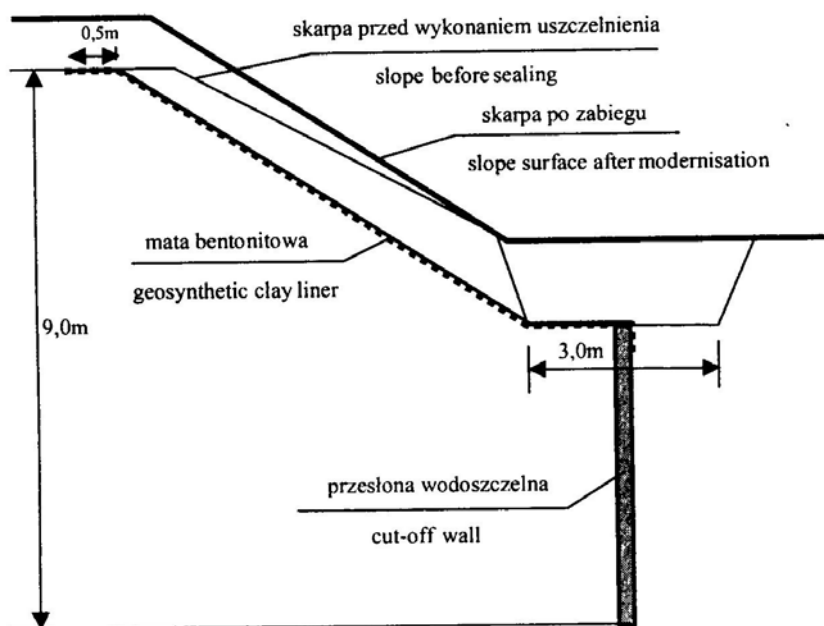
Tablica 1. Receptura zawiesiny twardniejącej przewidziana do wykorzystania w badaniach wdrożeniowych

L p.	Składniki	Ilość [kg]
1	woda wodociągowa	1000
2	bentonit Dywonit S	40
3	aktywowany mechanicznie popiół fluidalny z węgla kamiennego	260
4	cement CEM I 32,5R Ożarów	140

Tablica 2. Właściwości zawiesiny twardniejącej przewidzianej do wykorzystania w badaniach wdrożeniowych, określone na podstawie badań laboratoryjnych; receptura jak w tablicy 1

Lp.	Parametr		Wynik oznaczenia
1	Gęstość objętościowa (zawiesina płynna) [g/cm ³]		1,28
2	Lepkość umowna [s]		39
3	Odstój dobowy wody [%]		4,0
4	Gęstość objętościowa (zawiesina stwardniała) [g/cm ³]	po 14 dniach	1,21
5	Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe [MPa]	po 14 dniach	1,51
6	Przepuszczalność hydrauliczna [m/s]	po 14 dniach	7,23·10 ⁻⁹

Odcinek doświadczalny przesłony przeciwfiltracyjnej wykonano w wykopie wąskoprzestrzennym, głębionym koparką podsiębierną. Projektowana głębokość przesłony wynosiła około 6,15 m od powierzchni terenu, a jej wysokość konstrukcyjna 5 m (rysunek 1).



Rys. 1. Przekrój poprzeczny przez podłoże i fragment wału po modernizacji [4]

Podczas realizacji odcinka doświadczalnego przesłony przeciwfiltracyjnej pobierano próbki zawiesiny przy węźle produkcyjnym oraz z wykopu kontrolując właściwości zawiesiny w stanie płynnym (gęstość objętościowa, lepkość umowna i odstój dobowy wody). Pobraną zawiesinę badano także po stwardnieniu (po 28 dniach) oznaczając gęstość objętościową, wytrzymałość na ściskanie i przepuszczalność hydrauliczną.

Badania kontrolne stwardniałej zawiesiny wykonano także bezpośrednio w przesłonie (in situ) po 28 dniach i po 7 miesiącach. Uzyskane wyniki wytrzymałości na ściskanie i przepuszczalności hydraulicznej potwierdziły bardzo dobrą jakość tworzywa (tablica 3).

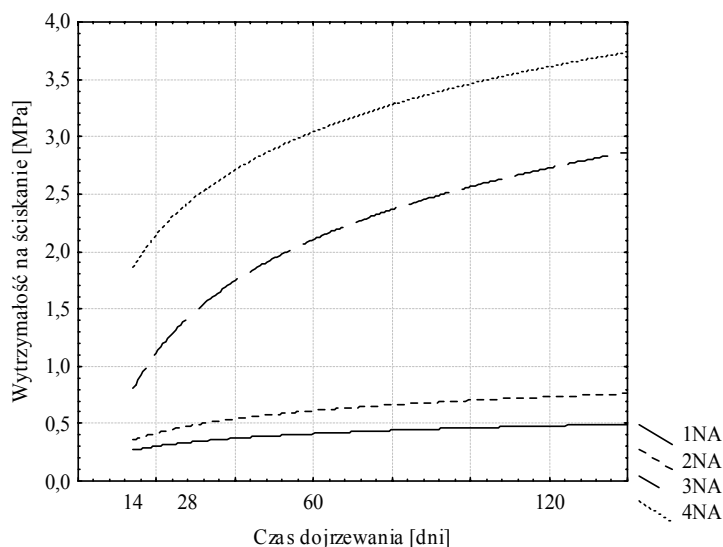
Tablica 3. Wyniki badań kontrolnych wybranych właściwości zawiesiny wbudowanej w przesłonę przeciwfiltracyjną wału przeciwpowodziowego w Mniszewie nad Wisłą [4]

Czas dojrzewania zawiesiny/ pochodzenie próbek/ metoda badania	Przepuszczalność hydrauliczna k_{10} [m/s]	Wytrzymałość na ściskanie f_c [MPa]
Po 28 dniach/ Próbki z węzła produkcyjnego/ laboratoryjnie	$7,95 \cdot 10^{-9} \div 4,51 \cdot 10^{-8}$	$0,49 \div 0,94$
Jak wyżej, ale na próbkach z wykopu	$3,18 \cdot 10^{-9} \div 2,91 \cdot 10^{-8}$	$0,53 \div 2,25$
Po 30 dniach/ in situ/ sondą BAT	$1,9 \cdot 10^{-10} \div 2,5 \cdot 10^{-9}$	$3,5 \div 20$
Po 7 miesiącach/ in situ/ k_{10} metodą zalewania otworu, R_c presjometrycznie: k_{10} i R_c / laboratoryjnie:	$4,1 \cdot 10^{-8}$ $6,2 \cdot 10^{-9}$	$> 1,0$ $3,1$

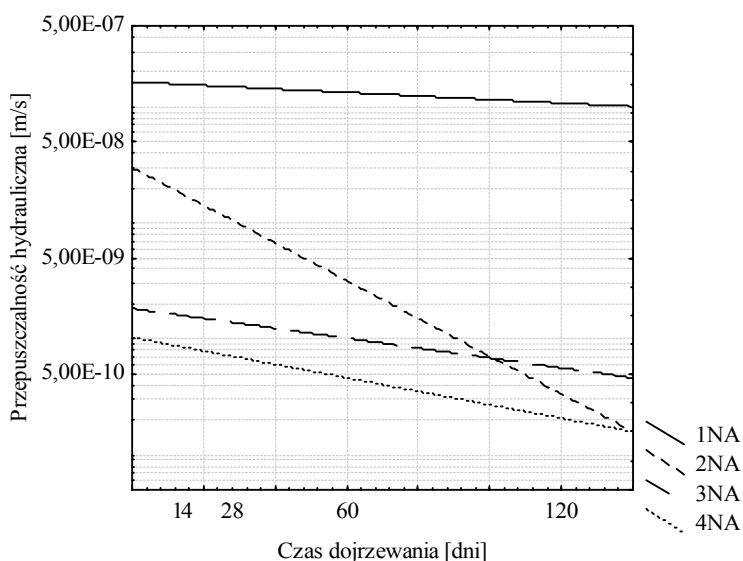
7. Nowe kierunki badań nad wykorzystaniem mineralnych materiałów odpadowych

Aby wyeliminować ryzyko utraty trwałości zawiesiny po stwardnieniu, a jednocześnie móc swobodnie kształtować jej właściwości mechaniczne zaproponowano, aby zamiast cementu dodawać do zawiesin spoiwo żużlowe. Odnacza się ono wieloma korzystnymi cechami, w tym także – mimo zbliżonej do zaczynów z cementu portlandzkiego struktury C-S-H – znacząco większą odpornością korozyjną. Pomysł został zrealizowany i sprawdzony w pracy [13]. Polega on na tym, aby mielony żużel wielkopiecowy aktywizować chemicznie popiołem fluidalnym ze

spalania węgla brunatnego, wykorzystując znacząco w nim zawartość związków wapnia, dających wysoki odczyn pH.



Rys. 2. Wytrzymałość zawieszin na ściskanie f_c w funkcji czasu dojrzewania [9]



Rys. 3. Przepuszczalność hydrauliczna zawieszin w funkcji czasu dojrzewania [9]

Na rysunkach 2 i 3 pokazano zmienność w czasie wytrzymałości na ściskanie oraz przepuszczalności hydraulicznej suspensji bentonitowo-żużlowo-popiołowych o różnych proporcjach składników. Rezultaty badań – także w zakresie mikrostruktury i składu fazowego zawieszin bentonitowo-żużlowo-popiołowych (popiół fluidalny z węgla brunatnego) – wodnych – wskazują na możliwość projektowania zawieszin w szerokim zakresie ich właściwości użytkowych, o bardzo obiecujących prognozach dotyczących ich trwałości, także w warunkach agresywności chemicznej.

8. Podsumowanie

Przegląd mineralnych materiałów odpadowych, w tym ubocznych produktów spalania, znajdujących zastosowanie w hydrotechnice oraz zakres ich wykorzystania w tej gałęzi budownictwa wskazują, że - obok technologii betonów hydrotechnicznych – materiały te mogą być

szeroko stosowane w stabilizacji podłoża gruntowego i nasypów ziemnych budowli wodnych, w tym wałów przeciwpowodziowych.

Rozwój technologii budowlanych, skala potrzeb w zakresie modernizacji kilku tysięcy kilometrów obwałowań przeciwpowodziowych oraz rosnąca presja na zagospodarowanie odpadów będą sprzyjały poszerzaniu zakresu wykorzystania różnorodnych odpadów w budownictwie wodnym, z natury wielko kubaturowym, a więc stwarzającym szansę na znaczącą absorpcję ubocznych produktów różnych procesów przemysłowych. Prymat utrzymują odpady o charakterze mineralnym, w tym uboczne produkty spalania (ups), jako że dają największą gwarancję trwałości w kontakcie ze środowiskiem wodnym. Wykorzystanie rodzajowo innych odpadów musi być poprzedzone wnikliwymi badaniami, w tym przedwdrożeniowymi i wdrożeniowymi. Za korzystne dla promowania tego rodzaju badań należy uznać regulacje prawne i ekonomiczne dotyczące postępowania z odpadami.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bastian S. „Betony konstrukcyjne z popiołem lotnym” *Arkady*, Warszawa 1980
- [2] Brylicki W., Małolepszy J., Stryczek S., Gonet A., Dziewański J. „Własności spoiw żużlowo-alkalicznych stosowanych do prac uszczelniających w budownictwie hydrotechnicznym” *VII Konf. Tech. Kontroli Zapór, Rytro*, Tom 1, 8-10.10.1996r., s. 41-47
- [3] Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim
- [4] Fałaciński P., Kledyński Z., Ziarkowska K., Garbulewski K., Skutnik Z.: „Realizacja i badania kontrolne przesłony przeciwfiltracyjnej zawiesziny twardniejącej z dodatkiem popiołów fluidalnych”. *Gospodarka Wodna* nr 4/2005, s. 156-162.
- [5] Giergiczny Z. „Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych” *Monografia 325, Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Seria: Inżynieria Lądowa*, Kraków 2006
- [6] GUNB, 2011, „Katastrofy budowlane w 2010 roku”, Warszawa, maj 2011
- [7] Kledyński Z. „Stan infrastruktury przeciwpowodziowej – obecny i potrzeby, ze szczególnym uwzględnieniem zbiorników wodnych: Świnna Poręba, Kąty Myscowa, Racibórz i Włocławek”. *Kancelaria Sejmu RP – Biuro Analiz Sejmowych*, Warszawa 2010
- [8] Kledyński Z., Fałaciński P., Ziarkowska K. „Aktywny dodatek do zawiesin twardniejących na przesłony przeciwfiltracyjne w obiektach ochrony środowiska”. *Projekt celowy Nr ROW-85-2002, IZWiBW PW*, Warszawa, 28 maj 2004r.; s. 152
- [9] Kledyński Z., Machowska A. „Mechaniczne i filtracyjne właściwości zawiesin twardniejących wykonanych ze spoiwa żużlowego aktywowanego fluidalnym popiołem lotnym z węgla brunatnego” *Mat. V Konf. N-T „Zagadnienia materiałowe w Inżynierii Lądowej MATBUD ‘2007’*. PK, Kraków, 20-22.06.2007, s. 239-246
- [10] Kledyński Z., Machowska A. „Stan i perspektywy wykorzystania materiałów mineralnych w konstrukcji przesłon przeciwfiltracyjnych” *Materiały Budowlane 2/2005*, s. 71-74
- [11] Kledyński Z., Mioduszewski W. „Ankieta dotycząca awarii i uszkodzeń wałów przeciwpowodziowych w roku 2010”, materiały niepublikowane
- [12] Kledyński Z., Rafalski L. „Zawiesziny twardniejące” KILiW PAN, IPPT PAN, Warszawa, 2009
- [13] Machowska A. „Wpływ aktywacji spoiwa żużlowego fluidalnym popiołem lotnym z węgla brunatnego na właściwości zawiesin twardniejących” *Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska*, Warszawa 2007
- [14] Mioduszewski W. „Ochrona przed powodzią”, *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, Tom LIII, Nr 4, 2010
- [15] PN-EN 197-1:2002 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”
- [16] PN-EN 206-1:2003 „Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”
- [17] PN-EN 450-1:2006 „Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności”

- [18] PN-EN 15167-1:2007 „Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie. Część 2: Ocena zgodności”
- [19] PN-EN 15167-2:2006(U) „Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności”
- [20] Świderska I., Lebiecki P. „Stan bezpieczeństwa budowli piętrzących wodę w Polsce na koniec 2009 roku”. *XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane 2011*, Tom 1, Międzyzdroje 24-27 maja 2011, s. 283-290