

Magdalena Borys, Joanna Rycharska

**WPLYW PRZEMARZANIA NA WYTRZYMAŁOŚĆ
NA ŚCISKANIE ZAWIESIN TWARDNIEJĄCYCH
W PRZEGRODACH PRZECIWFILTRACYJNYCH**

***INFLUENCE OF FROST PENETRATION ON RESISTANCE
TO COMPRESSION OF SUSPENSION HARDENING
IN ANTI-FILTRATION SLURRY-WALLS***

Streszczenie

Przegrody przeciwfiltacyjne wykonywane w korpusach wałów przeciwpowodziowych, aby pełnić swoją rolę, muszą być zbudowane z materiału o odpowiedniej odporności na oddziaływanie czynników zewnętrznych, w tym przemarzanie. Odporność ta decyduje o zachowaniu przez nie określonej wytrzymałości na obciążenia, a pośrednio o trwałości wałów. W artykule omówiono laboratoryjne badania wpływu cyklicznego przemarzania na wytrzymałość na ściskanie zawiesin twardniejących stosowanych do budowy przegród przeciwfiltacyjnych w wałach przeciwpowodziowych metodami wglębnego mieszania i szczelinową. Przeprowadzone badania wykazały, że zawiesiny twardniejące ulegają z czasem destrukcji pod wpływem przemarzania, czego następstwem jest spadek wytrzymałości na ściskanie materiału tworzącego przegrodę. Największe spadki wytrzymałości zaobserwowano dla próbek cyklicznie mrożonych i odmrażanych w warunkach pełnego nasycenia wodą.

Słowa kluczowe: przegrody przeciwfiltacyjne, zawiesiny twardniejące, wytrzymałość na ściskanie, metoda wglębnego mieszania, metoda szczelinowa

Summary

The material of slurry walls in river levees in order to satisfy role, have to be resistant on outside factors also frost penetration. This resistance decide on compressive strength and indirect about stability river levees. This article present laboratory tests connected with the influence of cycles frost penetration on self-

hardening slurries compressive strength. The tests were performed for samples of two materials i.e. used for slurry walls build by deep soil mixing method and cut-off method. The results of tests shown that self-hardening slurries undergo a deformation and destruction under frost penetration influence, which result is strength decrease of slurry walls material. The highest decreases were observed in cycles frosting and defrosting samples in full water-saturated conditions.

Key words: *slurry walls, self-hardening slurry, compressive strength, deep soil mixing method, cut-off method*

WSTĘP

Wały przeciwpowodziowe w Polsce wymagają modernizacji na długości około 2,8 tys. kilometrów (ponad 30% łącznej długości). W ostatnich latach coraz częściej stosuje się w tym celu technologie związane z zastosowaniem tzw. zawiesin twardniejących do budowy cienkich pionowych przegród przeciwfiltracyjnych w korpusach i podłożu wałów. Pierwszymi obiektami, na których zastosowano zawiesiny były [Borys 2006]:

prawy wał rzeki Wisły w Spytkowicach w województwie małopolskim, gdzie w 1998 roku rozpoczęto wykonanie przegrody przeciwfiltracyjnej metodą wibracyjną, o projektowanej grubości 0,15 m i głębokości w granicach 4–13,4 m.

wały Górnej Odry i Olzy w województwie śląskim, gdzie w 1998 roku wykonano przegrody przeciwfiltracyjne metodą szczeliny kopanej, o projektowanej grubości 0,3 m i głębokości 6 m p.p.t.

Przegrody przeciwfiltracyjne w wałach z zastosowaniem zawiesin twardniejących są najczęściej wykonywane przy wykorzystaniu jednej z trzech metod:

– wgłębnego mieszania, w której grunt jest mieszany przy użyciu specjalnych mieszadeł na mokro z zawiesiną, w rezultacie czego powstaje przegroda w postaci wzajemnie zachodzących na siebie pali (fot. 1), o grubości najczęściej w granicach 0,40–0,60 m;

– szczelinowej, w której grunt wydobyty z wąskiego wykopu (szczeliny), wykonywanego najczęściej koparką wieloczerpakową lub jednonaczyniową, jest zastępowany przez zawiesinę, która po stwardnieniu tworzy ciągłą przegrodę przeciwfiltracyjną (fot. 2), o grubości zależnej od zastosowanego narzędzia do kopania i wynoszącej 0,30–0,60 m;

– wibracyjnej, w której grunt rodzimy jest rozpychany poprzez wciskanie kształtownika w postaci teownika lub skrzydełka, przy jednoczesnym nadaniu mu wibracji, a na jego miejsce jest włączana zawiesina, która po stwardnieniu tworzy bardzo cienką przegrodę filtracyjną o grubości uzależnionej w bardzo dużym stopniu od rodzaju gruntu w miejscu jej wykonywania, najczęściej w granicach 0,08–0,20 m.



Fotografia 1. Widok odsłoniętej przegrody przeciwfiltracyjnej z pionowych pali wykonanych metodą głębokiego mieszania
Photo 1. View of slurry wall uncover built by deep soil mixing method



Fotografia 2. Widok odsłoniętej przegrody przeciwfiltracyjnej wykonanej metodą szczeliny kopanej
Photo 2. View of slurry wall uncover built by cut-off method

Aby spełniać swoją rolę, przegrody przeciwfiltracyjne wykonywane w korpusach i podłożu wałów przeciwpowodziowych muszą być zbudowane z materiału o odpowiedniej odporności, m.in. na przemarzanie [Borys i in. 2006; Kledyński 1989]. Odporność ta decyduje o zachowaniu przez nie określonej wytrzymałości na obciążenia (m.in. na ściskanie), a pośrednio także o trwałości wałów.

Parametry zawiesiny twardniejącej dobiera się zależnie od metody wykonywania przegrody przeciwfiltracyjnej. W niniejszym artykule omówiono wyniki laboratoryjnych badań modelowych wpływu cyklicznego przemarzania na wytrzymałość zawiesin twardniejących mających praktyczne zastosowanie w metodach głębokiego mieszania i szczelinowej.

Wyniki badań wykorzystanych w niniejszym artykule uzyskano w ramach projektu badawczego nr 2 PO6S 019 29.

METODYKA BADAŃ

Po analizie receptur zawiesin twardniejących stosowanych w praktyce do modernizacji wałów przeciwpowodziowych do badań wytypowano dwie następujące:

– zawiesina oznaczona w niniejszej pracy symbolem M1 została wybrana z grupy zawiesin wykorzystywanych przy budowie przegród przeciwfiltracyjnych w wałach metodą wgłębnego mieszania, składała się z cementu (12% obj.), popiołu lotnego (35% obj.) i wody (53% obj.). Przed przystąpieniem do badań wytrzymałości zawiesinę zmieszano z piaskiem średnim w celu uzyskania mieszaniny odwzorowującej materiał występujący w przegrodzie filtracyjnej wykonywanej metodą wgłębnego mieszania. W sporządzonej mieszaninie objętościowy udział zawiesiny w stanie płynnym wynosił 40% (podobną proporcję uzyskuje się w warunkach terenowych);

– zawiesina oznaczona w niniejszej pracy symbolem S1 została wybrana z grupy zawiesin wykorzystywanych przy budowie przegród przeciwfiltracyjnych metodą szczelinową, składała się z bentonitu (2%), cementu (13%), popiołu lotnego (13%), mielonego żużlu wielkopiecowego (14%) i wody (58%).

Dla zawiesin S1 i M1 (bez piasku) oznaczono w stanie ciekłym gęstość objętościową, lepkość umowną (lejkiem Marsha) oraz odstój dobowy (dla S1). Oznaczenia wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe prowadzono dla zawiesiny S1 i mieszaniny zawiesiny M1 z piaskiem po ich stwardnieniu. Do badań wytrzymałości na ściskanie przygotowano próbki (sześciiany o bokach 15 cm zgodnie z PN-EN 12390-1:2002), które były przechowywane w celu stwardnienia przez okres 28 dni w temperaturze $+18^{\circ}\text{C}$ w warunkach pełnego nasycenia, tj. w szczelnych pojemnikach, przez 14 dni pod wodą, a następnie przez 14 dni w powietrzu w temperaturze pokojowej. Po okresie 28 dni oznaczono wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe (tzw. cykl „O”) w aparacie jednoosiowego ściskania [PN-EN 12390-3:2002], po czym poszczególne partie próbek zostały poddane:

– cyklicznemu mrożeniu – odmrażaniu: mrożenie w temperaturze -20°C (czas trwania – 24 godziny) i odmrożenie (24 godziny), w warunkach:

– dla części próbek – pełnego nasycenia wodą (tj. w warunkach zatopienia próbki pod wodą w temperaturze $+18^{\circ}\text{C}$),

– dla części próbek – w powietrzu w temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$.

– stałemu przechowywaniu w warunkach:

– dla części próbek – pełnego nasycenia wodą (tj. zatopienia próbki pod wodą w temperaturze $+18^{\circ}\text{C}$),

– dla części próbek – w powietrzu w temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$.

W trakcie prowadzenia cyklicznego mrożenia lub przechowywania próbek w warunkach pełnego nasycenia, bądź w powietrzu, próbki były kolejno pobierane do badań wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe. Wszystkie oznaczenia prowadzono w 3 powtórzeniach.

WYNIKI BADAŃ

Badane zawiesiny w stanie ciekłym charakteryzowały się następującymi parametrami:

- M1 – gęstością objętościową $1,35 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$, lepkością umowną 37 s;
- S1 – gęstością objętościową $1,30 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$, lepkością umowną 45 s, odstożem dobowym 4%.

Początkowa wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe próbek mieszaniny zawiesiny M1 z piaskiem po okresie 28 dni twardnienia (w tzw. cyklu „0”) wynosiła około 1,6 MPa. Wytrzymałość na ściskanie próbek tej mieszaniny poddanych cyklicznemu mrożeniu malała po kolejnych cyklach badawczych, niezależnie od warunków w jakich prowadzono odmrażanie próbki (rys. 1). Dla próbek odmrażanych w powietrzu, już po 1 cyklu mrożenia – odmrażania wytrzymałość na ściskanie zmalała do średniej wartości 1,0 MPa, a po 5 cyklu do wartości 0,4 MPa, którą utrzymała po 10 cyklach. Podobnie zachowały się próbki mieszaniny M1 poddane cyklicznemu mrożeniu i odmrażaniu przy ich pełnym nasyceniu wodą. Wartości wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe po 1 cyklu wyniosły około 1,2 MPa, natomiast po 5 cyklu 0,4 MPa, a po 10–0,3 MPa. Próbki mieszaniny M1 po 5 cyklach „mrożenie – odmrożenie” zaczęły pękać i łuszczyć się w warstwie przypowierzchniowej, co widać na zamieszczonej fotografii (fot. 3). Po 10 cyklach mrożenia próbki uległy tak dużym spękanom, że dalszej kontynuacji zaniechano badań.

Natomiast wytrzymałość na ściskanie próbek mieszaniny M1 niemrożonych nie malała w stosunku do wartości wyjściowej, co pokazano na rysunku 2. Dla próbek poddanych stałemu wysychaniu zwiększała się w okresie badań do 100 dni, osiągając maksymalne wartości do 3,1 MPa, a więc prawie dwukrotnie większe niż na początku badań (w cyklu „0”), gdy wynosiła ok. 1,6 MPa. Po kolejnych dniach stałego wysychania próbek wartość wytrzymałości zaczęła maleć, by po około 130 dniach ustabilizować się na wartości wynoszącej ok. 2,0 MPa. W przypadku próbek przechowywanych w warunkach pełnego nasycenia zanotowany wzrost wartości wytrzymałości na ściskanie był jeszcze wyższy niż dla próbek stale suszowych na powietrzu (wytrzymałość po 100 dniach – około 3,5 MPa, po 160 dniach – 4,4 MPa) i mimo długiego okresu badań nie zanotowano spadku jej wartości (rys. 2). Dla próbek niepodlegających przemarzaniu nie zauważono wyraźnych pęknięć, ani złuszczeń na ich powierzchni, jakie obserwowano dla próbek mrożonych.

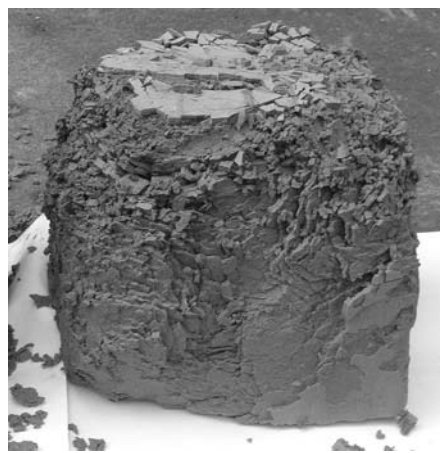
Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe próbek stwardniałej zawiesiny S1 poddanych cyklicznemu mrożeniu-odmrażaniu również malała po kolejnych cyklach badawczych (rys. 3), z tym że zmniejszanie się tej wartości w kolejnych

cyklach miało nieco inny przebieg niż w przypadku omawianej wcześniej mieszanki zawiesiny M1 z piaskiem. Wytrzymałość początkowa zawiesiny S1 przed mrożeniem (w cyklu „0”) wynosiła około 1,0 MPa. Dla próbek odmrażanych w powietrzu wartość wytrzymałości zbliżona do 1,0 MPa utrzymywała się przez 2 kolejne cykle mrożenia-odmrażania, a następnie po 3 cyklu zmalała do 0,9 MPa i w kolejnych cyklach, tj. od 4 do 20, ustabilizowała się w granicach 0,74–0,85 MPa. Dla próbek odmrażanych na powietrzu, mimo stosunkowo dużej liczby cykli mrożenia (20), zaobserwowano jedynie bardzo drobne i płytkie rysy na ich powierzchni. W przypadku próbek zawiesiny S1, które odmrażano przy ich pełnym nasyceniu wodą, wartości wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe zaczęły spadać zdecydowanie bardziej i to już począwszy od 1 cyklu mrożenia-odmrażania. Po 2 cyklu ich wytrzymałość wynosiła około 0,5 MPa, a więc o połowę mniej niż przed przystąpieniem do mrożenia próbek, natomiast po 5 cyklu – 0,35 MPa. Na próbkach mieszanki S1 już po 3 cyklu mrożenia i odmrażania przy pełnym nasyceniu wodą pojawiły się liczne złuszczenia, rysy i pęknięcia w rezultacie czego próbki zaczęły się rozpadać, a po 5 cyklu nastąpił praktycznie ich całkowity rozpad uniemożliwiający dalsze badania wytrzymałości (fot. 4).



Fotografia 3. Pęknięcia i rysy w próbkach mieszanki M1 po 5 cyklach mrożenia i odmrażania w warunkach pełnego nasycenia wodą

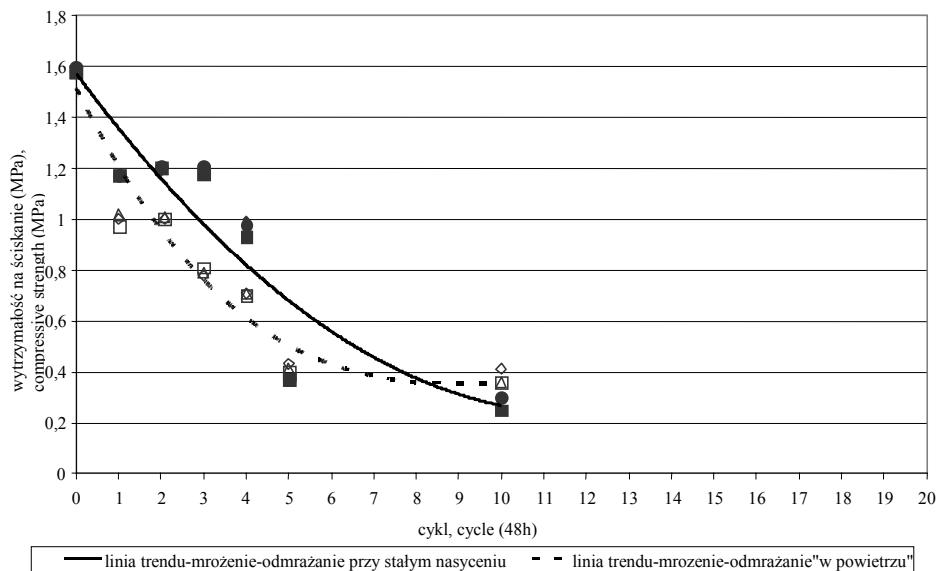
Photo 3. Cracks and scratches in mixing samples M1 after 5 cycles of frosting and defrosting in full water saturated condition



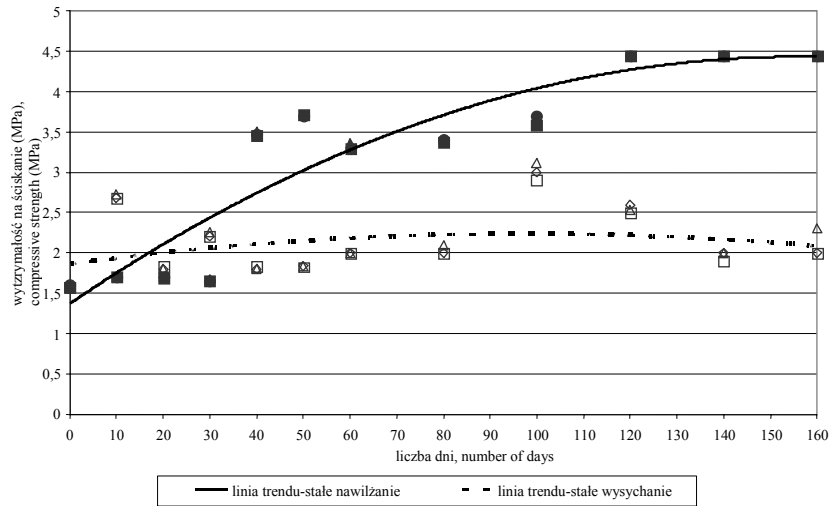
Fotografia 4. Pęknięcie i kruszenie próbek mieszanki S1 po 5 cyklach mrożenia i odmrażania w warunkach pełnego nasycenia wodą

Photo 4. Cracks and crushing in mixing samples S1 after 5 cycles of frosting and defrosting in full water saturated condition

Podobnie jak to miało miejsce w przypadku próbek mieszanki zawiesiny M1 z piaskiem, wytrzymałość na ściskanie próbek stwardniałej zawiesiny S1 niepoddanych cyklicznemu mrożeniu nie malała, a zwiększała się w stosunku do wartości wyjściowej. Wzrost ten był także wyższy dla próbek przechowywanych w warunkach pełnego nasycenia, niż dla próbek poddanych stałemu wysychaniu, co pokazano na rysunku 4. Różnica wartości wytrzymałości w zależności od warunków przechowywania próbek nie była tak duża jak mieszanki M1 pokazanych na rysunku 2. Wytrzymałość na ściskanie próbek zawiesiny S1 po 40 dniach stałego wysychania bądź nawilżania zawierała się w granicach 2,5-3,0 MPa, a więc zwiększyła się w stosunku do wartości początkowej wynoszącej 1,0 MPa około 2,5-3 krotnie. W okresie wykonywania badań wynoszącym 40 dni nie zanotowano ustabilizowania się wartości wytrzymałości. Badania te będą kontynuowane.

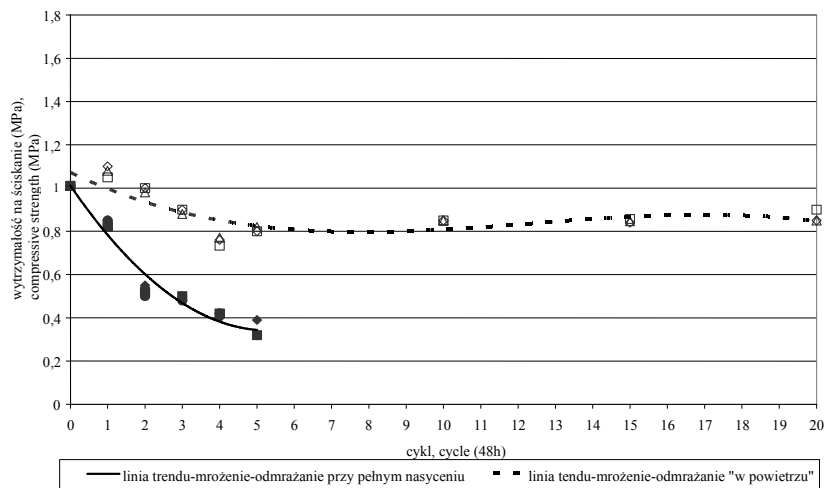


Rysunek 1. Zmiany wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe próbek mieszanki zawiesiny twardniejącej z piaskiem M1 poddanych cyklicznemu mrożeniu i odmrzaniu
Figure 1. The changes of self-hardening slurry with sand samples M1 compressive strength put on frosting and defrosting cycles



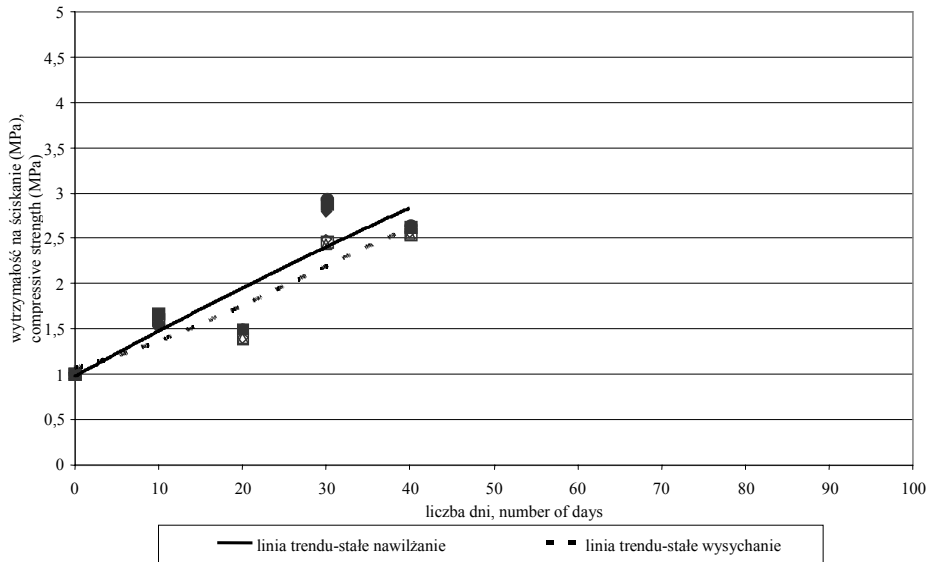
Rysunek 2. Zmiany wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe próbek mieszaniny zawiesiny twardniejącej M1 z piaskiem przechowywanych w warunkach pełnego nasycenia lub próbek poddanych stałemu wysychaniu

Figure 2. The changes of self-hardening slurry with sand samples M1 compressive strength storage in full water-saturated condition or dry constantly



Rysunek 3. Zmiany wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe próbek zawiesiny twardniejącej S1 poddanych cyklicznemu mrożeniu i odmrażaniu

Figure 3. The changes of self-hardening slurry with sand samples S1 compressive strength put on frosting and defrosting cycles



Rysunek 4. Zmiany wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe próbek zawiesiny twardniejącej S1 przechowywanych w warunkach pełnego nasycenia lub próbek poddanych stałemu wysychaniu

Figure 4. The changes of self-hardening slurry with sand samples S1 compressive strength storage in full water-saturated condition or dry constantly

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że materiał tworzący przegrody przeciwfiltracyjne budowane z użyciem zawiesin twardniejących podczas modernizacji wałów przeciwpowodziowych ulega z czasem destrukcji pod wpływem przemarzania, czego następstwem jest zmniejszanie wytrzymałości na ściskanie.

Największe spadki wytrzymałości zaobserwowano w przypadku zawiesiny S1 (wykorzystywanej w metodzie szczelinowej) dla próbek odmrażanych w warunkach pełnego nasycenia wodą. Już po 3 cyklach mrożenia-odmrażania na próbkach pojawiły się liczne złuszczenia, rysy i pęknięcia w rezultacie czego próbki zaczęły się rozpadać, a po 5 cyklach kruszyły się na drobne fragmenty. Natomiast w przypadku próbek tej zawiesiny odmrażanych w powietrzu nie obserwowano tak znaczącej utraty wytrzymałości, ani pęknięcia próbek.

W przypadku mieszaniny zawiesiny twardniejącej M1 z piaskiem wykorzystywanej w metodzie wgłębnego mieszania, również nastąpił spadek wytrzymałości na ściskanie w wyniku jej cyklicznego przemarzania z tym, że to

czy odmrażanie następowało w warunkach stałego nasycenia wodą, czy w powietrzu nie miało praktycznie większego znaczenia. Natomiast pękanie próbek nie było tak intensywne, jak dla zawiesziny S1 wykorzystywanej w metodzie szczelinowej.

Obie zawiesziny przechowywane w warunkach stałego pełnego nasycenia lub wysychania wykazywały, w odróżnieniu od próbek mrożonych, nie zmniejszanie się, lecz zwiększanie wartości wytrzymałości na ściskanie.

Analiza otrzymanych wyników badań pozwala wysunąć również wnioski odnoszące się do praktyki wykonawczej, które można sformułować następująco – konieczne jest:

- wykonywanie robót w warunkach atmosferycznych, zapewniających w okresie wiązania utrzymanie dodatniej temperatury materiału w przegrodzie przeciwfiltracyjnej;
- niezwłoczne zabezpieczanie i przykrywanie świeżo wykonanej przegrody z zawiesziny twardniejącej w okresach przymrozków;
- uwzględnianie w rozwiązaniach projektowych odpowiedniej grubości przykrycia przegrody zabezpieczającego przed przemarzaniem.

BIBLIOGRAFIA

- Borys M. *Pionowe przegrody przeciwfiltracyjne z zawieszin twardniejących w korpusach i podłożu wałów przeciwpowodziowych*. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie nr 2/2006, s. 56–59.
- Borys M., Mosiej K., Topolnicki M. *Projektowanie i wykonawstwo pionowych przegród przeciwfiltracyjnych z zawieszin twardniejących w korpusach i podłożu wałów przeciwpowodziowych*. Wyd. IMUZ. Falenty 2006, s. 4.
- Klędyński Z. *Wykorzystanie statystycznego planowania doświadczeń w poszukiwaniu mrozooodpornej zawiesziny twardniejącej*. Gospodarka Wodna nr 9/1989, s. 181–184.
- Klędyński Z. *Remonty budowli wodnych*. Ofic Wyd. Politechniki Warszawskiej 2006, s. 12.
- PN-EN 12390-1:2002 *Badania betonu cz. 1. Kształt, wymiar i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form*.
- PN-EN 12390-3:2002 *Badania betonu cz. 3. Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań*

Doc. dr hab. Magdalena Borys, mgr inż. Joanna Rycharska
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych
Al. Hrabka 3 05-090 Falenty
e-mail: m.borys@imuz.edu.pl
j.rycharska@imuz.edu.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marek Madeyski