

Odpadowe materiały mineralne w przegrodach przeciwnfiltracyjnych

prof. dr hab. inż. Zbigniew Kledyński, dr inż. Paweł Falaciński,

dr inż. Agnieszka Machowska,

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska

Wprowadzenie

Przesłony przeciwnfiltracyjne są to konstrukcje odcinające lub w znacznym stopniu ograniczające przepływ wody w gruncie. Wykonywane są w podłożach budowli piętrzących, w korpusach zapór ziemnych i obwałowań rzek, wokół ukopów gruntów przepuszczalnych i wykopów fundamentowych, na terenach składowisk odpadów (przesłony pionowe i poziome) w celu zapobiegania przenikaniu substancji szkodliwych do gruntu i wód gruntowych.

Współcześnie przesłony przeciwnfiltracyjne wykonuje się następującymi metodami:

□ wgłębnego mieszania DSM (ang. *Deep Soil Mixing*) – rysunek 1 a – polegającej na mieszanii in situ gruntu z zaczynem cementowym lub cementowo-bentonitowym, w zależności od wymogów stawianych przesłonie odnośnie do wytrzymałości i szczelności. Mieszadło – w postaci końcówki wiertniczej o specjalnym kształcie – wprowadza się w grunt i jednocześnie podaje gotowy zaczyn. Po osiągnięciu przewidzianej głębokości następuje właściwa faza mieszania wgłębnego, polegająca na podciąganiu mieszadła do góry i podawaniu zaczynu. Formowanie tą metodą kolumn grunto-cementowych lub grunto-cementowo-bentonitowych ma kilka znaczących zalet: możliwość wykonania przesłony za pomocą lekkiego sprzętu, bez wibracji, o znacznej grubości (do ok. 0,80 m), wykonanie przesłony jako elementu oporowego (np. przy zastosowaniu profili stalowych), możliwość kontroli zużycia materiału oraz brak sedymentacji zawieszin. Wadą metody jest ograniczona głębokość wykonywania kolumn (do 12 m), mniejsza wydajność niż np. w metodzie WIPS, brak efektu dogęszczenia podłoża, możliwość powstawania urobku oraz wyższy koszt wykonania w stosunku do WIPS;

□ wibracyjną WIPS (Wibracyjnie Iniektowana Przesłona Szczelinowa) – rysunek 1 b – w której za pomocą wibracji zagłębia się w podłoże kształtownik stalowy i wyciągając go wypełnia się powstałą przestrzeń zawiesziną twardniejącą. Metoda pozwala na wykonywanie przesłon do znacznej głębokości (do 20 m), dogęszczenie

podłoża, likwidację pustek i rozluźnień w zasięgu do kilku metrów od przesłony, charakteryzuje się dużą wydajnością i niską ceną. Jednak wykonywanie przesłon metodą WIPS jest obciążone ryzykiem zaciśnięcia szczeliny i sedymentacji zawiesziny, wymaga użycia ciężkiego sprzętu, a pojawiające się wibracje oddziałują na otaczające obiekty. Występuje także możliwość „klawiszowania” przesłony, tj. nie uzyskania jej ciągłości na skutek odchylenia od pionu kolejnych zagłębień kształtownika;

□ w wykopach wąskoprzestrzennych, przy czym możliwe jest wykonanie wykopu metodą szczeliny ciągłej – rysunek 1 c – którą głębi się koparką lub tzw. trencherem (koparka wielonaczyniowa pracy ciągłej) i jednocześnie podaje do wykopu zawieszinę rurociągiem oraz 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 lub dwufazową (z dwiema odmianami):

- głębenie wykopu odbywa się pod osłoną zawiesziny twardniejącej, a następnie pozostawia się ją do związania i stwardnienia we właściwą przesłonę (metoda jednofazowa),
- głębenie wykopu odbywa się pod osłoną zawiesziny bentonitowo-wodnej (faza I), która w następnej fazie jest wypierana z wykopu przez zawieszinę twardniejącą (faza II), stanowiącą właściwy materiał przesłony (technologia dwufazowa),
- głębenie wykopu odbywa się pod osłoną zawiesziny bentonitowo-wodnej, a później z zawiesziny tej wytwarza się w wykopie zawieszinę twardniejącą poprzez dodanie do zawiesziny roboczej zaczynu cementowego (wariant technologii dwufazowej);

□ iniekcji otworowej niskociśnieniowej, którą wykonuje się przesłonę jedno- lub wielorzędową, przy użyciu zaczynów cementowych lub iniektów chemicznych. Otwory iniekcyjne wykonuje się w rzędach, w określonym rozstawie. Rozstaw ten zagęszcza się, kontrolując przy tym

zasięg rozprzestrzeniania się iniektu z otworów wykonanych wcześniej. Zagęszczanie otworów w rzędach i wykonywanie kolejnych rzędów przesłony kontynuuje się do uzyskania ciągłości bariery (w gruntach ziarnistych) lub uzyskania ograniczonej przepuszczalności strefy przesłony (w skałach);

□ iniekcji strumieniowej wysokociśnieniowej (*jet grouting*) – rysunek 1d – w której grunt jest wstępnie rozluźniany za pomocą silnego strumienia wody lub zaczynu cementowego podawanego przez specjalną dyszę, a następnie mieszany z zaczynem cementowym. Ewentualna nadwyżka mieszaniny wypływa wzdłuż żerdzi wiertniczej na powierzchnię. Zasięg oddziaływania strumienia zależy od rodzaju gruntu oraz wariantu zastosowanej technologii i dochodzi do 2,5 m. Za pomocą tej metody można formować w gruncie bryły o dowolnych kształtach.

Projektowanie i wykonawstwo przesłon przeciwnfiltracyjnych nie jest aktualnie w pełni znormalizowane [3, 4], na co ma wpływ wycofanie polskich norm branżowych i stopniowe wprowadzanie norm europejskich. W odniesieniu do przesłon z zawieszin twardniejących realizowanych metodą jednofazową dostępna jest tylko norma [5], w której rozróżnia się ściany oporowe monolityczne, prefabrykowane i z zawiesziny zbrojonej oraz przegrody przeciwnfiltracyjne, tj.: przegrody (ściany formowane jednofazowo) z zawiesziny twardniejącej (ew. z przeponami lub ścianką z grodziec) oraz ściany z betonu plastycznego.

Przedmiotem artykułu jest przegląd materiałów stosowanych na przesłony przeciwnfiltracyjne realizowane z zawieszin twardniejących w wykopach wąskoprzestrzennych lub metodą wibracyjną. W tym zakresie dominują produkty mineralne, a udział gruntu w materiale przesłony wynika co najwyżej z ubocznych skutków techniki głębenia wykopu (zapiaszczenie zawiesziny).

Przedstawiono również przykład realizacji odcinka przesłony przeciwnfiltracyjnej z zawiesziny twardniejącej, w tym zakres badań kontrolnych zawiesziny i przesłony.



Rys. 1. Metody realizacji współczesnych przesłon przeciwfiltracyjnych: a) metoda DSM, b) metoda WIPS [8], c) metoda wykopu wąskoprzestrzennego, d) metoda iniekcji ciśnieniowej

Zawiesina twardniejąca – określenie materiału

Zawiesina twardniejąca jest to ciecz tiksotropowa utrzymująca w stanie stateczności wykop wąskoprzestrzenny lub otwór głębinowy w gruncie, a następnie wiążąca i przechodząca w ciało stałe [6]. Niniejsza definicja odwołuje się do właściwości materiału oraz wskazuje na zakres zastosowań, w których ważną cechą zawiesiny jest jej tiksotropia w stanie płynnym oraz właściwości konstrukcyjne po stwardnieniu [2].

W przypadku, gdy zawiesina płynna jest stosowana do wypełniania wcześniej przygotowanych wykopów lub otworów wierconych pod osłoną rur, nie pełni ona roli płuczki wiertniczej, ale jest traktowana jako ciekła masa o właściwościach wiążących i jej właściwości tiksotropowe mają drugorzędne znaczenie. Dlatego też nie należy wiązać definicji zawiesiny twardniejącej z jej potencjalnymi zastosowaniami [2].

Dostatecznie ogólną, a zarazem precyzyjną definicją zawiesiny twardniejącej może być następująca specyfikacja jej cech wyróżniających:

- przeważająca objętościowo zawartość wody,
- obecność składnika nadającego zawieszynie właściwości tiksotropowe (np. bentonit),
- wynikająca z obecności spoiwa zdolność do przechodzenia z postaci płynnej w ciało stałe,
- konieczność formułowania szczególnych wymagań technologicznych

wobec materiału w fazie płynnej, istotnych nie tylko z punktu widzenia docelowej użyteczności konstrukcji, lecz także sposobu jej wykonania [2].

W przeważającej liczbie przypadków konkretny skład zawiesiny twardniejącej określa się metodami doświadczalnymi w zależności od właściwości, jakimi ma się ona charakteryzować. W literaturze można znaleźć wskazówki dotyczące projektowania, a nawet szczegółowe składy zawiesin oraz charakterystykę wpływu poszczególnych składników na ich właściwości, np. [2, 6].

Zawiesiny twardniejące stosowane w Polsce

Zawiesiny stosowane lub badane w Polsce można usystematyzować w następujący sposób:

- cementowo-bentonitowo-wodne;
- cementowo-bentonitowo-wodne z domieszkami chemicznymi;
- cementowo-bentonitowo-wodne z dodatkami, takimi jak: piasek, popiół z węgla kamiennego, 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 szczegółowe na temat składów i właściwości wyżej wymienionych zawiesin można znaleźć w literaturze przedmiotu, np. [1, 2]. Ze względu na praktycznych i formalnych oraz w zwią-

ku z polityką jednostek aprobacyjnych w zakresie udzielania aprobat na materiały do produkcji zawiesin twardniejących największe znaczenie mają mieszanki gotowe, dopuszczone do użycia stosowną aprobatą.

W tabelicy 1 zestawiono podstawowe informacje o takich materiałach stosowanych w Polsce.

Wprowadzenie na rynek nowej mieszanki firmowej (o ustalonym składzie i proporcjach komponentów stałych) jest poprzedzone licznymi badaniami laboratoryjnymi i wdrożeniami.

Poniżej przedstawiono przebieg takich badań poprzedzających wystąpienie o aprobatę dla mieszanki firmowej Flucent. Oprócz testów laboratoryjnych zrealizowano próbną odcinek przesłony oraz kilka serii jej badań kontrolnych.

Realizacja i badania kontrolne przesłony przeciwfiltracyjnej na odcinku modernizowanego wału przeciwpowodziowego

Przesłonę przeciwfiltracyjną zrealizowano u podnóża modernizowanego wału przeciwpowodziowego, na lewym brzegu rzeki Wisły w okolicach Warszawy. W ramach zadania odcinek doświadczalny przesłony – ok. 60 m – zrealizowano z użyciem zawiesiny zaprojektowanej specjalnie na potrzeby tej inwestycji na bazie nowego dodatku – popiołu ze spalania fluidalnego węgla kamiennego. Skład oraz parametry wyjściowe zawiesiny przedstawiono w tabelicach 2 i 3. Przekrój pionowy projektowanego rozwiązania wału po modernizacji na rysunku 2.

Lp.	Nazwa handlowa	Informacje o składzie	Właściwości:											Nr aprobaty
			zawiesiny płynnej						zawiesiny stwardniałe			materiału w przegródzie przeciw-filtracyjnej		
			ρ [g/cm³]	L [s]	T _L [Pa]	O [%]	t _{doby} [doby]	t _{dyfuzji} [doby]	R ₃₈ [MPa]	k ₃₈ [m/s]	R ₂₈ [MPa]	k ₂₈ [m/s]		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Flucent	- aktywowany lotny popiół fluidalny, - cement portlandzki	1,25-1,50	35-70	4,5-8,5	≤7	1-4	2-6	≥0,5	≤10 ⁸	≥0,3	≤10 ⁷	AT/18-2004-0021-00-IMUJZ	
2	Clayfill 1	- wodna zawiesina gliny (ok. 45%), - cement portlandzki (min. 5%), - popiół lotny (ok. 50%)	≥1,6	¹⁾	>62	0	3-4	>4	≥0,5	≤10 ⁸	≥0,3	≤10 ⁷	AT/18-2004-0019-00-IMUJZ	
3	Geostat	- bentonit sodowy (ok. 20%), - mielone spoiwo żużłowe (pow. 75%), - cement hutniczy (do 5%)	1,14-1,20	≤55	≥2	≤3,5	≥5	≤10	≥0,5	≤10 ⁸	≥0,35	≤10 ⁷	AT/18-2004-0018-00-IMUJZ	
4	Bentocem K	- cement hutniczy (29-37%), - bentonit sodowy (6-8%), - bentonit sodowy (7-10%), - bentonit sodowy (2-5%), - mączka wapienna (29-41%), - cement hutniczy (7-10%), - bentonit sodowy (3-5%), - mączka wapienna (15-20%), - popioły normowe (15-20%)	1,30-1,40	40-45	≥30	1-4	≥1	≤4	≥1,0	<10 ⁸	≥0,5	<10 ⁷	AT/18-2004-0017-00-IMUJZ	
5	Bentocem 100	- cement hutniczy (2-5%), - mączka wapienna (29-41%), - cement hutniczy (7-10%), - bentonit sodowy (3-5%), - mączka wapienna (15-20%), - popioły normowe (15-20%)	1,35-1,50	35-45	≥20	2-5	≥5	≤20	≥0,5	<10 ⁸	≥0,3	≤10 ⁷	AT/18-2004-0017-00-IMUJZ	
6	Bentocem 200	- cement hutniczy (7-10%), - bentonit sodowy (3-5%), - mączka wapienna (15-20%), - popioły normowe (15-20%)	1,35-1,45	35-50	≥20	2-6	≥5	≤20	≥0,5	<10 ⁸	≥0,3	≤10 ⁷	AT/18-2004-0017-00-IMUJZ	
7	Roztwór hydroizolacyjny na bazie glin polimeralnych	- glina o wymaganym składzie granulometrycznym (19-43%), - cement portlandzki, hutniczy, specjalny (w zależności od chemizmu wód podziemnych); 6-15%), - szkło wodne sodowe (0,5-1%), - woda technologiczna (jako uzupełnienie do 100%)	1,20-1,35	⁷⁾	0	-	-	-	-	-	-	-	AT/18-2002-0011-00-IMUJZ	
8	Mixbent 1	cement: (11-19%), suchy popiół lotny (28-35%), cement (1,7-8%), bentonit sodowy (0-5%), suchy popiół lotny (0-26%), mielony żużel wielkopiecowy (14-49%).	1,33-1,45	37-38	≤5	≤39	≥1	≤5	≥0,5	<10 ⁸	≥0,3	<10 ⁷	AT/18-2005-0022-00-IMUJZ	
9	Mixbent 2	cement (1,7-8%), bentonit sodowy (0-5%), suchy popiół lotny (0-26%), mielony żużel wielkopiecowy (14-49%).	1,40-1,55	34-37	≤10	≤33	≥1	≤5	≥0,5	<10 ⁸	≥0,3	<10 ⁷	AT/18-2005-0022-00-IMUJZ	
10	Mixbent 3	cement (1,7-3,6%), bentonit sodowy (0,7-1,2%), suchy popiół lotny (0-29%), mielony żużel wielkopiecowy (21-45%).	1,40-1,55	40-49	≥10	≤12	≥1	≤5	≥0,5	<10 ⁸	≥0,3	<10 ⁷	AT/18-2005-0022-00-IMUJZ	
11	Solidur 274C	Aprobata podaje skład mineralogiczny: - substancje wiążące: SiO ₂ (ok. 40%), Al ₂ O ₃ (ok. 9%), Fe ₂ O ₃ (ok. 2%), CaO (ok. 38%), MgO (ok. 7%), Na ₂ O+K ₂ O (ok. 1,5%), SO ₃ ²⁻ (ok. 1%), Cl ⁻ (<0,1%), - Dywomit (30-50 kg/m ³ zawiesiny), - mączka wapienna,	1,35-1,50	40-70	≥47	⁸⁾	-	-	≥1,0	<2·10 ⁹	-	-	AT/15-2000-0003-00-IMUJZ	
12	Solidur 273	Aprobata podaje skład mineralogiczny: - substancje wiążące: SiO ₂ (ok. 9%), Fe ₂ O ₃ (ok. 2%), CaO (ok. 38%), MgO (ok. 7%), Na ₂ O+K ₂ O (ok. 1,5%), SO ₃ ²⁻ (ok. 1%), Cl ⁻ (<0,1%), - Dywomit (30-50 kg/m ³ zawiesiny), - mączka wapienna,	1,35-1,50	38-60	20-65	⁹⁾	-	-	≥0,5	≤10 ⁹	-	-	AT/18-2002-0003-01-IMUJZ	
13	Solidur 274 RV	Aprobata podaje, że jest to mieszanina cementu, bentonitu i/lub granulowanego żużla wielkopiecowego, i/lub mączki wapiennej	≥1,15±0,05	≥35	≥14,5	¹⁰⁾	≥2	≤7	≥0,5	<10 ⁸	≥0,3	<10 ⁷	AT/18-2006-0026-00-IMUJZ (zastępuje i rozszerza AT/18-2002-0003-01-IMUJZ)	
14	Solidur MIP 05	Aprobata podaje skład mineralogiczny: - substancje wiążące: SiO ₂ (ok. 24%), Al ₂ O ₃ (ok. 11%), CO ₂ (ok. 12,5%), CaO (ok. 39%), Fe ₂ O ₃ (ok. 4%), MgO (ok. 2%), SO ₃ (ok. 4%), K ₂ O (ok. 1,5%), pozostałe (ok. 2%), Cl ⁻ (<0,1%), - wypełniacze zawierające il,	1,45	35-40	-	¹⁰⁾	-	-	≥0,5	≤10 ⁹	-	-	AT/18-2003-0016-00-IMUJZ	
15	Solidur MIP 75	Aprobata podaje skład mineralogiczny: - substancje wiążące: SiO ₂ (ok. 27%), Al ₂ O ₃ (ok. 7%), CO ₂ (ok. 10%), CaO (ok. 45%), Fe ₂ O ₃ (ok. 2%), MgO (ok. 4%), SO ₃ (ok. 3%), K ₂ O (ok. 1%), pozostałe (ok. 1%), Cl ⁻ (<0,1%), - wypełniacze zawierające il,	1,60	40-50	-	¹²⁾	-	-	≥7,5	≤5·10 ⁹	-	-	AT/18-2003-0016-00-IMUJZ	
16	VECTIS	Aprobata podaje, że jest to mieszanina popiołu krzemionkowego, cementu, bentonitu i modyfikatorów.	1,40±0,15	≥38	-	¹³⁾	16	17	≥1,0	≤2·10 ⁸	-	-	AT-15-6555/2004-ITB	

Tab. 1. Mieszanki firmowe dostępne na polskim rynku

Oznaczenia do Tab. 1:

- ρ – gęstość objętościowa,
 L – lepkość umowna,
 τ_c – granica płynności,
 O_d – dobowy odstój wody,
 t_{pw} – czas początku wiązania,
 t_{zw} – czas końca wiązania,
 R_c^{28} – wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe po 28 dniach,
 k^{28} – współczynnik filtracji po 28 dniach,
¹⁾ lepkość dynamiczna > 0,7 Pa·s,
²⁾ odstój wody po 2h: 0%,
³⁾ odstój wody po 2h: ≤ 0,5%,
⁴⁾ odstój wody po 2h: 1–2%,
⁵⁾ odstój wody po 2h: 1–2,5%,
⁶⁾ odstój wody po 2h: 1,5–2%,
⁷⁾ lepkość dynamiczna: 0,02–0,07 Pa·s, rozlewność określana aparatem stożkowym 8–20 cm, statyczne naprężenia ścinające 20–160 Pa, dynamiczne naprężenia ścinające 20–120 Pa, wytrzymałość plastyczna po 1 dobie 10–150 kPa,
⁸⁾ odstój wody po 2h: ≤ 2,0%, woda odsączona ≤ 80 cm³,
⁹⁾ odstój wody po 2h: ≤ 3,0%, woda odsączona ≤ 90 cm³,
¹⁰⁾ odstój wody po 2h: ≤ 5,0%,
¹¹⁾ moduł odkształcenia 30 MPa,
¹²⁾ odstój wody po 2h: ≤ 6,0%,
¹³⁾ moduł odkształcenia 40 MPa.

Lp.	Składniki	Ilość [kg]
1	2	3
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

Tab. 2. Receptura zawiesiny twardniejącej przewidziana do wykorzystania w badaniach wdrożeniowych

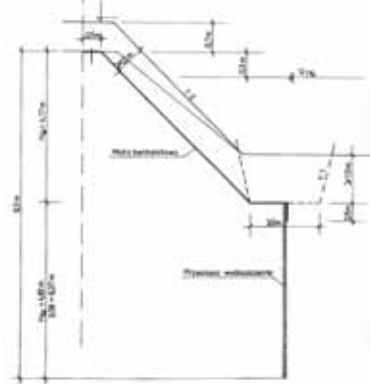
Lp.	Parametr	Wynik oznaczenia
1	2	3
1	Gęstość objętościowa (zawiesina płynna) [g/cm ³]	1,28
2	Lepkość umowna [s]	39
3	Odstój dobowy wody [%]	4,0
4	Gęstość objętościowa (zawiesina stwardniała) [g/cm ³]	po 14 dniach 1,21
5	Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe [MPa]	po 14 dniach 1,51
6	Przepuszczalność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

Tab. 3. Właściwości zawiesiny twardniejącej przewidzianej do wykorzystania w badaniach wdrożeniowych, określone na podstawie badań laboratoryjnych; receptura jak w tabelicy 2

Stacja wytwarzania zawiesin (rysunek 3), stosowana zwykle przez wykonawcę robót wykorzystującego mieszanki firmowe, nie była (z powodu zaplanowanych badań) poddana jakiegokolwiek modyfikacji. Wytwarzanie zawiesiny polegało na napełnieniu kontenera wodą w ilości 20 m³, jej przepompowywaniu w układzie obiegowym i stopniowym dodawaniu stałych składników przez lej zasypowy, umieszczony na odcinku tłocznym ru-

rociągu obiegowego. Oprócz mieszania wywołanego pracą pompy, w kontenerze pracowały dwa mieszadła o osiach pionowych, obracające się z prędkością stu kilkudziesięciu obrotów na minutę.

Odcinek doświadczalny przesłony przeciwfiltracyjnej wykonywano w wykopie wąsko przestrzennym, który głębiono koparką podsiębierną na pełną projektowaną głębokość (rysunek 5). Wynosiła ona ok. 6,15 m od powierzchni terenu, przy czym dążono do tego, aby górny poziom zawiesiny po stwardnieniu ustalał się ok. 1,15 m poniżej powierzchni gruntu (rysunek 6), co wynikało z projektułączenia przesłony z bentomatą na skarpie odwodnej wału (rysunek 2). Tym samym konstrukcyjna, ostateczna wysokość przesłony powinna wynosić ok. 5 m.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez podłoże i fragment wału po modernizacji [7]

Lokalizacja odcinka wypadła w odległości ok. 400 m od stacji wytwarzania zawiesiny, co wobec zastosowania do jej przetłaczania rurociągu parcianych o średnicy 75 mm i bez pompy pośredniej (rysunek 4) stanowiło istotne utrudnienie i ograniczenie dla możliwych do zastosowania lepkości tworzywa. Nie chcąc doprowadzić do kłopotów z przepompowaniem zawiesiny do wykopu ograniczono ilość cementu i popiołu tak, aby nie przekroczyć lepkości umownej 60–70 s.

Bentonit dozowano wagowo (workowany), cement, popiół fluidalny i wodę – objętościowo. Z tego powodu poprawność dozowania w znacznej mierze uwarunkowana była doświadczeniem obsługi i nadzoru technologicznego. Okazało się, że zamiast wykorzystywanego w badaniach wstępnych Dywonitu S konieczne było zastosowanie bentonitu Special z Zębca. Spowodowało to konieczność korygowania receptury na budowie.

Najpierw dozowano bentonit, przy czym czas namakania bentonitu był różny. Powodowało to, że lepkość zawiesiny bentonitowo-wodnej w momencie rozpoczęcia dozowania cementu była za każdym razem inna.

W trzech kolejnych dniach realizacji odcinka przesłony, wyprodukowano odpowiednio: 2, 3 i 3 zaroby zawiesiny o objętości dwudziestu kilku metrów sześciennych każdy.

W trakcie wytwarzania kolejnych zarobów wykonywano kontrolne pomiary lepkości umownej i gęstości zawiesiny, korygując dozowanie składników w zależności od uzyskiwanych wyników pomiarów. Po zakończeniu mieszania i uznaniu, że parametry tworzywa są właściwe rozpoczęto głębienie wykopu i jednocześnie przepompowywanie zawiesiny. W tabelicy 4 podano końcowe, uśrednione receptury zawiesiny podawanej w kolejnych dniach roboczych do wykopu.

Lp.	Składniki	Ilość [kg]		
		Podod-cinek I	Podod-cinek II	Podod-cinek III
1	2	3	4	5
1	woda wodociągowa	1000	1000	1000
2	bentonit Special z Zębca	45	45	45
3	aktywowany mechanicznie popiół fluidalny z węgla kamiennego	139	260	251
4	cement CEM I 32,5R Ożarów	184	154	136

Tab. 4. Uśrednione receptury robocze zawiesiny podawanej w kolejno realizowane pododcinki przestony

Zawiesina ulegała silnemu zapiaszczeniu, do ok. 25% masy. Analiza sitowa gruntu pobranego z wykopu wykazała, że wykop głębiono w silnie nawodnionych piaskach średnich z przewarstwieniem gliny (mada).

Niezależnie od operacyjnych badań parametrów zawiesiny płynnej, po ustaleniu składu zarobu, formowano z niej próbki do późniejszych badań laboratoryjnych. Próbkę formowano z zawiesiny pobieranej przy węźle oraz z wykopu, w trakcie jego głębienia. Te ostatnie próbki identyfikowano według przekrojów i głębokości pobrania.

Sposób realizacji odcinka upoważnia do wyodrębnienia na jego długości trzech mniejszych fragmentów, wykonanych w kolejnych dniach, ponieważ w czasie zmiany roboczej zaroby w wykopie w znacznej mierze mieszały się ze sobą, a po przerwie nocnej zawiesina tężała i jej mieszanie się z zawiesiną w budowaną następnego dnia było niemożliwe.

Zestawienie wyników badań laboratoryjnych zawiesiny pobranej w trakcie realizacji przesłony przedstawiono w tabelicy 5.

Porównując wyniki badań właściwości użytkowych zawiesin: laboratoryjnej (tablica 3) oraz wytwarzanej na budowie (tablica 5) można stwierdzić, że gęstości zawiesiny płynnej uzyskane na budowie były nieco niższe od zmierzonych w laboratorium, co jest uzasadnione zmianami w składzie materiału. W warunkach budowy, z powodu znacznie dłuższego niż w pracach laboratoryjnych czasu namakania bentonitu, uzyskano znacząco wyższe lepkości zawiesiny. Wyższa ilość bentonitu i lepsze jego uaktywnienie w dłuższym kontakcie z wodą zarobową spowodowały także, że stabilność zawiesiny w warunkach budowy była lepsza (niższe odstaje dobowe wody).



Rys. 3. Węzeł do wytwarzania zawiesiny twardniejącej



Rys. 4. Transport zawiesiny rurociągami ułożonymi na koronie wału

Przedstawione wyniki badań wskazują, iż parametry użytkowe, a zwłaszcza przepuszczalność hydrauliczna zawieszin z dodatkiem popiołów fluidalnych, są zgodne z wymaganiami stawianymi zwykle przesłonom przeciwfiltracyjnym; oznacza to, że możliwe jest wykonywanie z nich przesłon przeciwfiltracyjnych o wysokiej szczelności.

Po 30 dniach wykonano badania kontrolne zawiesziny stwardniałej bezpośrednio w przesłonie (badania sondą CPT) – tablica 6 [7]. Wyniki potwierdziły wysoką jakość materiału. Kolejne badania wykonano po siedmiu miesiącach na próbkach pobranych z przesłony. Uzyskane wyniki i tym razem potwierdziły bardzo dobrą jakość i trwałość materiału (tablica 7 [9]).

Podsumowanie

Popularne w innych krajach, np. w USA, przesłony z modyfikowanych gruntów miejscowych wydają się w polskich warunkach kłopotliwe do wykonania ze względu na ograniczenia miejsca realizacji przesłon, niepewną przydatność gruntów miejscowych, konieczność ich transportu, mieszania itp.

Mieszanki mineralne komponowane na placu budowy mają tę zaletę, że mogą być dobrze dostosowywane do miejscowych



Rys. 5. Wykop szczelinowy wypełniony zawiesiną twardniejącą. Kontrola głębokości wykopu



Rys. 6. Głębienie wykopu w trzecim dniu realizacji odcinka próbnego; na pierwszym planie widoczna powierzchnia zawiesziny po stwardnieniu

wych warunków gruntowo-wodnych, ale są kłopotliwe w przygotowaniu, gdyż wymagają od wykonawcy robót rozbudowanego zaplecza i odpowiedniej organizacji pracy.

Konfekcjonowane mieszanki mineral-

ne, tzw. mieszanki firmowe, często modyfikowane domieszkami chemicznymi, są wygodne do stosowania, ale stosunkowo drogie, a ich dobór do miejscowych warunków gruntowo-wodnych

Lp.	Pododcinek	Właściwości zawiesiny płynnej pobranej przy węźle produkcyjnym			Właściwości zawiesziny stwardniałej po 28 dniach na próbkach pobranych przy węźle produkcyjnym			Właściwości zawiesiny płynnej na próbkach pobranych z wykopu			Właściwości zawiesziny stwardniałej po 28 dniach na próbkach pobranych z wykopu		
		ρ_{pc} [g/cm ³]	L [s]	Od [%]	ρ_{sc} [g/cm ³]	Rc [MPa]	k_{10} [m/s]	ρ_{pc} [g/cm ³]	L [s]	O ₂ [%]	ρ_{sc} [g/cm ³]	R _c [MPa]	k_{10} [m/s]
1	2												
1	I	1,26	65	2,0	1,24	0,93	7,95·10 ⁻⁹	1,50	-	-	1,53	1,27	1,84·10 ⁻⁸
2	II	1,27	56	2,0	1,20	0,94	2,16·10 ⁻⁸	-	-	-	1,66	2,25	3,18·10 ⁻⁹
3	III	1,24	56	3,5	1,18	0,49	4,51·10 ⁻⁸	1,24	67	2,0	1,19	0,53	2,91·10 ⁻⁸

Tab. 5. Zbiorcze zestawienie wyników badań zawiesziny pobranej w czasie realizacji przesłony

Lp.	Pododcinek	Opór stożka q _c [MPa]	Przepuszczalność hydrauliczna k [m/s]
1	2	3	4
1	I	4 – 20	1,9·10 ⁻¹⁰ – 2,5·10 ⁻⁹
2	II	4 – 20	2,4·10 ⁻¹⁰ – 2,2·10 ⁻⁹
3	III	3,5 – 10	1,0·10 ⁻⁹ – 1,5·10 ⁻⁹

Tab. 6. Parametry zawiesziny stwardniałej w przesłonie – badania in situ po 30 dniach [7]

Lp.	Parametr	Głębokość pobrania próby [m]		
		1,50	3,00	4,50
1	2	3	4	5
1	Grubość przesłony [cm]	40	-	-
2	Gęstość zawiesziny [g/cm ³]	1,218	-	-
3	Współczynnik filtracji k [m/s]	6,2·10 ⁻⁹	-	-
4	Współczynnik filtracji: metoda zalewania otworu k [m/s]	4,1·10 ⁻⁸		
5	Wytrzymałość na ściskanie wg badań penetrometrycznych [MPa]	>1,00	>1,00	>1,00
6	Wytrzymałość na ściskanie wg próby ścinania [MPa]	3,1	-	-

Tab. 7. Parametry zawiesziny stwardniałej w przesłonie – badania in situ po 7 miesiącach [9]

najczęściej nie jest optymalny, gdyż ich skład i parametry są „bezpiecznie uniwersalne”.

Lepszym merytorycznie rozwiązaniem jest komponowanie składów zawieszin odpowiednio do warunków miejscowych, z certyfikowanych składników dostarczanych na plac budowy. Wymaga to odpowiednio wyspecjalizowanych wytwórni oraz personelu o właściwej wiedzy i doświadczeniu. Alternatywa polegająca na korzystaniu z gotowych mieszanek firmowych jest dla wielu wykonawców kusząca, ale bywa, że oszczędności są okresowe i zależne od fluktuacji cen materiału, na które ma wpływ zdominowanie rynku przez niewielkich producentów. Wyjściem z tej sytuacji jest stosowanie zawieszin z materiałów podstawowych i optymalizowanie ich składów pod kątem warunków miejscowych.

W takim postępowaniu, ze względu na koszty i wymagania ochrony środowiska, należy szukać rozwiązań materiałowych wykorzystujących odpady mineralne (np. popioły konwencjonalne, popioły fluidalne, żużle wielkopiecowe itp.). W tym kierunku rozwijane są i powinny być kontynuowane odpowiednie badania. Dotyczą one m.in.:

– zawieszin cementowo-bentonitowo-wodnych z dodatkiem popiołów fluidalnych z węgla brunatnego,

– zawieszin cementowo-bentonitowo-wodnych na cementach hutniczych,

– zawieszin cementowo-bentonitowo-wodnych z dodatkiem żużla wielkopiecowego,

– zawieszin bentonitowo-wodnych z dodatkiem spoiwa żużlowo-popiołowego (popioły fluidalne).

Należy mieć nadzieję, że paleta dostępnych rozwiązań materiałowych będzie się rozszerzać z pożytkiem dla inwestorów i środowiska naturalnego

Literatura

[1] Kledyński Z.: *Materiały na iniekcyjne przestony przeciwfiltracyjne. Przegląd aktualnych zastosowań w Polsce*. Materiały III Konferencji Naukowej: Współczesne problemy inżynierii wodnej. Wisła 1997.

[2] Kledyński Z.: *Odporność korozyjna zawieszin twardniejących w obiektach ochrony środowiska*. „Prace Naukowe. Politechnika Warszawska. Inżynieria Środowiska” 2000, z. 33.

[3] PN-EN 12715: 2003: *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Iniekcja*.

[4] PN-EN 12716: 2002: *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Iniekcja strumieniowa*.

[5] PN-EN 1538: *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Ściany szczelinowe*.

[6] Rafalski L.: *Właściwości i zastosowanie zawieszin twardniejących*. Wydawnictwo IBDiM 1995, z. 43.

[7] Pałaciński P., Kledyński Z., Ziarkowska K., Garbulewski K., Skutnik Z.: *Realizacja i badania kontrolne przestony przeciwfiltracyjnej zawiesziny twardniejącej z dodatkiem popiołów fluidalnych*. „Gospodarka Wodna” 2005, nr 4, s. 156–162.

[8] Borys M., Mosiej K.: *Podstawowe problemy przebudowy i modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych*. „Gospodarka Wodna” 2006, nr 6, s. 234–241.

[9] Mosiej K., Drażek A., Pawlicka T.: *Kontrola jakości robót związanych z wykonaniem przestony bentonitowo-cementowej na zadaniu: Naprawa i odbudowa watu rzeki Wisły w m. Rękowice-Mniszew w km 14+370-18+730 gm. Mniszew (mps)*. Biuro Badawczo-Projektowo-Wykonawcze AQUA-GEO. Warszawa 2004.



MASZyny DO TECHNIK BEZWYKOPOWYCH TRACTO-TECHNIK GmbH

niemiecka jakość poparta ponad 40-letnim doświadczeniem w budowie maszyn

- ▲ **GRUNDOMAT** - najcięższe i najtrwalsze krety z ruchomą głowicą *
- ▲ **GRUNDORAM** - najmocniejsze i najtrwalsze maszyny do wbijania rur *
- ▲ **GRUNDODRILL** - precyzyjne i niezawodne wiertnice HDD wspomagane udarem *
- ▲ **GRUNDOBURST** - wymiana rur przy pomocy bezgwintowych żerdzi QuickLock *

* rozwiązania techniczne i materiałowe użyte w maszynach są chronione licznymi patentami

TRACTO-TECHNIK w Polsce

DTA-TECHNIK Sp. z o.o.
63-200 Jarocin-Bachorzew, ul. Graniczna 2
www.tracto-technik.pl
E-MAIL: biuro@dta-technik.pl
TEL. 062 505 78 77, TEL. 062 505 78 77, FAX 062 505 78 76, MOBILE: 0609 549 564

