

Zawiesina twardniejąca do zastosowań w robotach budowlanych

Przedmiotem wynalazku jest zawiesina twardniejąca do zastosowań w robotach budowlanych, zwłaszcza w zakresie robót budowlanych związanych z posadowieniem i zespoleniem z gruntem stalowych lub betonowych elementów prefabrykowanych (ściany szczelinowe lub pale obudowy berlińskiej), do wypełnienia podłoża w celu jego wzmocnienia lub uszczelnienia oraz do wykonania samodzielnych elementów konstrukcyjnych jakimi są pionowe lub poziome bariery przeciwnieprzepuszczalne.

Zawiesina twardniejąca jest to mieszanina składnika nadającego jej właściwości tiksotropowe (np. bentonit) oraz spoiwa. Zawiesina twardniejąca w stanie płynnym pełni rolę płuczki wiertniczej (utrzymuje w stateczności otwór lub wykop wąskoprzestrzenny w gruncie). Po związaniu spoiwa zawiesina nabiera właściwości charakterystycznych dla materiału konstrukcyjnego, tzn. osiąga pewną wytrzymałość mechaniczną i właściwości przeciwnieprzepuszczalne.

Znane są z literatury (Rafalski L., *Właściwości i zastosowanie zawiesin twardniejących*, IBDiM, z. 43, Warszawa 1995; Kledyński Z., *Materiały na iniekcyjne przesłony przeciwnieprzepuszczalne. Przegląd aktualnych zastosowań w Polsce*, materiały III Konferencji Naukowej nt. „Współczesne problemy inżynierii wodnej”, Wisła 1997 oraz Kledyński Z., *Odporność korozyjna zawiesin twardniejących w obiektach ochrony środowiska*, Prace Naukowe PW, Inżynieria Środowiska, z. 33, Warszawa 2000) zawiesiny dotychczas stosowane lub badane w Polsce:

- cementowo-bentonitowo-wodne,
- cementowo-bentonitowo-wodne z domieszkami chemicznymi,
- cementowo-bentonitowo-wodne z dodatkami, takimi jak:
 - piasek,
 - popiół z węgla kamiennego,
 - popiół lotny 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 (np. popiół lotny) , tzw. mieszanki firmowe.

Na rynku występuje szereg gotowych mieszanek dopuszczonych do użycia stosowną aprobatą techniczną. Przykładem takiej mieszanki jest mieszanka o nazwie handlowej Mixbent 2 o składzie: cement (1,7-8%), bentonit sodowy (0-5%), suchy popiół lotny normowy (0-26%) i mielony żużel wielkopiecowy (14-49%), posiadająca aprobatę techniczną AT/18-2005-0022-00-IMUZ. Stosowany w tej mieszance popiół lotny posiada charakterystykę pozwalającą na zastosowanie w mieszankach z cementem.

Z literatury zagranicznej (Andromalos K., Fisher M. *Design and Control of Slurry Wall Backfill Mixes for Groundwater Containment*; [www:geocon.net](http://www.geocon.net) z marca 2007 r.) znane są mieszanki, w których skład wchodzi grunt miejscowy oraz:

- bentonit,
- atapulgite,
- cement i bentonit,

a także zawiesina twardniejąca z cementu hutniczego oraz mieszanka firmowa z cementu hutniczego i atapulgitu znana z amerykańskiego opisu patentowego 4726713.

Istotą wynalazku jest wykorzystanie jedynie mineralnych materiałów odpadowych przemysłu hutniczego i energetyki do wykonania zawiesiny. Jako spoiwo zastosowano mielony granulowany żużel wielkopiecowy, którego reakcję wiązania aktywowano fluidalnym popiołem lotnym ze spalania węgla brunatnego, który jest ubocznym produktem spalania nie spełniającym norm dotyczących popiołów do betonu. Popiół lotny powstały w wyniku konwencjonalnego spalania węgla ma szerokie zastosowanie w przemyśle cementowym i produkcji betonu jako dodatek zastępujący częściowo cement w betonie. Ze względu na konieczność ograniczenia emisji gazów spalinowych do atmosfery przemysł energetyczny od kilku lat stosuje nową technikę spalania węgla w kotłach zaopatrzonych w cyrkulacyjną warstwę fluidalną, która zatrzymuje tlenki siarki i azotu emitowane podczas spalania konwencjonalnego.

Powstały produkt w postaci popiołu fluidalnego ma podwyższoną zawartość związków wapnia (CaO), związków siarki w postaci siarczanów (od kilku do kilkunastu %, czasami występują również niewielkie ilości siarczynów), podwyższoną zawartość strat prażenia (od kilku do prawie 30%) wywołaną obecnością węgla i nadmiarem sorbentu, niższe stężenie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, odmienną budowę krystalograficzną – brak spieków i fazy szklistej oraz niższą gęstość nasypową i rozbudowaną powierzchnię właściwą popiołu lotnego. Dotychczasowe doświadczenia w zastosowaniu popiołów lotnych ze spalania fluidalnego jako dodatku do cementu i betonu wskazują na niepożądaną jego cechę jaką jest zwiększenie wodożądności oraz szybka utrata urabialności mieszanki betonowej. Cząstki popiołu fluidalnego z węgla brunatnego charakteryzują się drobnym, nieregularnym uziarnieniem oraz rozbudowaną powierzchnią właściwą, która określana metodą Blaine'a wynosi zwykle od 2500 do 6000 cm²/g.

Ze względu na swoje właściwości popiół fluidalny z węgla brunatnego może mieć jedynie zastosowanie do wypełniania wyrobisk górniczych. Jednak wymienione właściwości popiołu fluidalnego z węgla brunatnego nie stanowią przeszkody dla zastosowania go jako składnika aktywującego wiązanie żuźla wielkopieczowego w zawieszynie. Badania wykazały, że można z wymienionych składników stworzyć w pełni użyteczną zawiesinę twardniejącą z przeznaczeniem na przesłony przeciwfiltracyjne, która będzie miała potencjalnie wysoką odporność korozyjną na działanie cieczy agresywnych w gruncie ze względu na brak w składzie cementu portlandzkiego, którego głównym składnikiem jest wrażliwy na korozyjne działanie cieczy klinkier.

Zawiesina twardniejąca będąca przedmiotem wynalazku składa się z 2,6-4,7% wagowych bentonitu sodowego, 13,8-28% wagowych spoiwa w postaci mielonego granulowanego żuźla wielkopieczowego, 1-13% wagowych aktywatora reakcji wiązania żuźla w postaci fluidalnego popiołu lotnego z węgla brunatnego oraz wody do 100% wagowych. Zawiesinę sporządzono przez zmieszanie składników dozowanych w kolejności podanej powyżej, a czas mieszania wynosił odpowiednio 3 min, 1,5 min. i 1,5 min. Należy zachować proporcje podawanych składników, szczególnie w dolnym zakresie dozowania żuźla, gdyż ich przekroczenie w poszczególnych zakresach dozowania zmienia właściwości otrzymanej zawieszyny.

Zawiesina twardniejąca w stanie płynnym prezentuje gęstość objętościową w zakresie 1,18-1,35 g/cm³, odstój dobowy wody zmierzony w cylindrze o pojemności 1000 ml: 1,0-7,0%, lepkość umowną zmierzona w lejku Marsha: 35-40 s, wytrzymałość strukturalna zawiesiny oznaczona w spirometrze po 1 i 10 min. od pozostawienia w spoczynku wynosi odpowiednio 1,92 Pa/1,44 Pa. Zawiesina twardniejąca po 28 dniach twardnienia prezentuje wytrzymałość na ściskanie w zakresie 0,52-0,85 MPa, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu w zakresie 0,11-0,12 MPa, przepuszczalność hydrauliczną w zakresie 7,31·10⁻⁹-8,09·10⁻¹⁰ m/s oraz maksymalne odkształcenia powstałe w wyniku długotrwałego (ok. 7 dni) działania obciążenia równego 40% faktycznej wytrzymałości na ściskanie wynoszą 0,09 mm. Zawiesina twardniejąca po 120 dniach twardnienia prezentuje wytrzymałość na ściskanie w zakresie 0,75-2,31 MPa, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu w zakresie 0,15-0,17 MPa, przepuszczalność hydrauliczną w zakresie 2,64·10⁻⁹-4,99·10⁻¹⁰ m/s oraz maksymalne odkształcenia powstałe w wyniku długotrwałego (ok. 7 dni) działania obciążenia równego 40% faktycznej wytrzymałości na ściskanie wynoszą 0,125 mm.

Zawiesina twardniejąca bentonitowo-żuźlowo-popiołowo-wodna ma potencjalnie wysoką odporność korozyjną ze względu na brak w składzie klinkieru, który jest składnikiem cementu mało odpornym na działanie korozyjne cieczy agresywnych.

Wykonanie zawiesiny twardniejącej z odpadów mineralnych przyczyni się do ograniczenia ilości składowanych odpadów oraz emisji CO₂ (gaz cieplarniany) ze względu na wyeliminowanie cementu portlandzkiego ze składu zawiesiny.

Na rynku polskim nie ma norm opisujących właściwości zawiesiny twardniejącej. Jest to materiał wieloskładnikowy, w związku z czym określenie użyteczności zawiesiny wymaga optymalizacji wielokryterialnej. Ze względu na typowe wymagania dotyczące gęstości objętościowej, lepkości, wytrzymałości na ściskanie i przepuszczalności hydraulicznej zawiesiny mogą spełniać stawiane im wymagania lub nie.

Przykład I.

Sporządzono zawiesinę twardniejącą o składzie wagowym, przez zmieszanie:

4,7% bentonitu sodowego,

15,4% mielonego żuźła wielkopieczowego,

1,2% popiołu fluidalnego z węgla brunatnego,

78,7% wody

o następujących parametrach:

1) zawiesina płynna:

- gęstość objętościowa $1,18 \text{ g/cm}^3$,
- odstój dobowy wody 1,5%,
- lepkość umowna 40 s.

2) zawiesina stwardniała:

- wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach twardnienia: 0,52 MPa,
- wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu po 28 dniach twardnienia: 0,12 MPa,
- przepuszczalność hydrauliczna po 28 dniach twardnienia: $1,07 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$,

Przykład II.

W celach porównawczych, w przypadku zmiany ilości popiołu i bentonitu w zawieszynie otrzymujemy materiał o niewystarczającej wytrzymałości na ściskanie oraz przepuszczalności hydraulicznej:

2,0% bentonitu sodowego,

15,4% mielonego żużla wielkopieczowego,

13,0% popiołu fluidalnego z węgla brunatnego, o następujących parametrach:

1) zawiesina płynna:

- gęstość objętościowa $1,24 \text{ g/cm}^3$,
- odstój dobowy wody 8,5%,
- lepkość umowna 38 s.

2) zawiesina stwardniała:

- wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach twardnienia: 0,37 MPa (min. to 0,50 MPa),
- wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu po 28 dniach twardnienia: 0,09 MPa,
- przepuszczalność hydrauliczna po 28 dniach twardnienia: $1,56 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (min. to 10^{-8} m/s),

lub o zbyt wysokiej lepkości umownej, który to parametr warunkuje możliwość wbudowania zawieszyny do wykopu:

4,7% bentonitu sodowego,

31,0% mielonego żużla wielkopieczowego,

13,0% popiołu fluidalnego z węgla brunatnego, właściwości:

1) zawiesina płynna:

- gęstość objętościowa 1,38 g/cm³,
- odstój dobowy wody 2,0%,
- lepkość umowna 46 s.

2) zawiesina stwardniała:

- wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach twardnienia: 2,45 MPa (zakres 0,50-1,0 MPa),
- wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu po 28 dniach twardnienia: 0,31 MPa,
- przepuszczalność hydrauliczna po 28 dniach twardnienia: $4,95 \cdot 10^{-10}$ m/s (min. to 10^{-8} m/s).

Zawiesina o tym składzie jest materiałem zbyt mocnym i sztywnym. Z tego względu nie będzie odpowiedniej współpracy z gruntem, przez co nie będzie zachowana szczelność na styku przesłona-grunt, więc konstrukcja wykonana z tego typu zawiesiny nie spełni swojej roli jako przesłona przeciwfiltracyjna.

Przykład III.

Porównanie właściwości zawiesiny twardniejącej będącej przedmiotem wynalazku i zawiesiny Mixbent 2:

Parametr	Mixbent 2	Zaw. b-ż-p-w
Gęstość objętościowa, g/cm ³	1,40-1,55	1,18
Lepkość umowna, s	34-37	40
Odstój dobowy, %	≤33	1,5
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach twardnienia, Mpa	≥0,5	0,52
Przepuszczalność hydrauliczna po 28 dniach twardnienia, m/s	<10 ⁻⁸	10 ⁻⁹ i maleje

RZECZNIK PATENTOWY
mgr inż. Joanna Bocheńska
00-663 Warszawa
Al. Niepodległości 222 lok. 20
Regon 012465804 NIP 525 109 17 3

