

dr inż. Bolesław Kłosiński¹⁾

ORCID: 0000-0002-9269-7487

mgr inż. Piotr Rychlewski^{1*)}

ORCID: 0000-0002-5477-5202

Roztwory polimerowe do zabezpieczania otworów pali i wykopów szczelinowych

Polymer fluids supporting pile boreholes and diaphragm wall excavations

DOI: 10.15199/33.2022.02.04

Streszczenie. Przedstawiono informacje o roztworach polimerowych do zabezpieczania otworów pali i szczelin, właściwości polimerów naturalnych i sztucznych, sposób ich działania, różnice w porównaniu z zawiesiną bentonitową. Opisano zasady stosowania roztworów polimerowych, sposób przygotowania, stężenie polimerów, sposoby kontroli roztworów, ich regeneracji i utylizacji oraz popełniane błędy. Zaletą stosowania polimerów jest łatwiejsze ich przygotowanie niż zawiesiny bentonitowej, mniejsze urządzenia, mniejsze zbiorniki, szybsza gotowość do użycia, a także czystość placu robót, łatwe oczyszczanie sekcji przed betonowaniem oraz łatwiejsza utylizacja zużytego roztworu. Konieczne jest jednak skontrolowanie całkowitego usunięcia osadu piasku i oczyszczenia dna otworu lub szczeliny przed zabetonowaniem. W artykule podano przykłady zastosowania polimerów w kraju.

Słowa kluczowe: polimery; ciecz stabilizująca; pale; ściany szczelinowe; stosowanie roztworów.

Abstract. Information on polymer fluids for supporting pile boreholes and diaphragm excavations, properties of natural and artificial polymers, way of its performance, differences against bentonite slurries are presented. Rules of using of polymer fluids, their production, concentration of polymers, checking of their properties, regeneration, disposal and mistakes made sometimes are described. The advantages of the polymer fluids are easier production than of the bentonite slurry, smaller equipment and storage tanks, quicker making ready to use, and also clean working site, ease cleaning of a section before concreting and easier disposal of used up liquid. However, it is necessary to check a full removing of the sand sediment and cleaning up of the bottom of a borehole or excavation before concreting. Examples of polymer fluids application in Poland are given.

Keywords: polymers; supporting fluids; piles; diaphragm walls; polymer fluid applications.

Płuczki iłowe i zawiesiny bentonitowe są stosowane w pracach geotechnicznych od ponad stu lat. Zmniejszające się zasoby złóż dobrych bentonitów przyczyniły się do poszukiwania materiałów, które mogłyby je zastąpić. W latach dziewięćdziesiątych XX w. jako ciecz stabilizująca otwory pali lub szczeliny zaczęto stosować roztwory polimerowe [1, 2, 3, 8].

Materiały do produkcji i działanie polimerów są zupełnie odmienne niż zawiesiny bentonitowej. Polimery rozpuszczone w wodzie tworzą roztwór (nie zawiesinę!), który można stosować do zabezpieczania otworów zamiast zawiesiny bentonitowej. W odróżnieniu od bentonitów roztwór polimerowy pozostawiony „w spokoju” nie żeluje (nie ma cech tiksotropowych) i ma małą wytrzymałość na ścinanie, chociaż wykazuje dużą lepkość przy niewielkiej prędkości ścinania. Natomiast po zamieszaniu lepkość znacznie maleje, co jest korzystne przy pracy za pomocą głębiar-

ki lub pompowaniu roztworu. Istotną różnicą jest to, że nie tworzy osadu filtracyjnego „ciasta” na ścianie otworu tak jak bentonit i w efekcie roztwór może filtrować w gruncie teoretycznie nieograniczenie. Stabilizujące działanie roztworu wynika głównie z ciśnienia sphywowej cieczy przenikającej i wnikania cząstek polimeru w pory gruntu na znaczną głębokość w piaskach, a nieznaczną w gruntach spoistych. Występuje tam zjawisko „blokowania reologicznego” ograniczające filtrację. Trudności mogą występować w przypadku bardzo przepuszczalnych żwirów i skał szczelinowatych. Jeżeli straty roztworu polimerowego w takich gruntach są duże, to stosuje się dodatek bentonitu, który ogranicza wnikanie roztworu w grunt.

Porównanie roztworów polimerowych i zawiesin bentonitowych

Odmienność działania roztworów polimerowych polega na tym, że nie utrzymują w zawieszeniu cząstek gruntu, jak zawiesina bentonitowa. W efekcie ziarna gruntu dość szybko opadają na dno

szczeliny, tworząc luźny osad sedymentacyjny, który należy koniecznie usunąć przed betonowaniem szczeliny. W razie potrzeby stosowane są dodatki chemiczne przyspieszające sedymentację, tzw. flokulanty. Dodatek bentonitu do roztworu polimerowego może spowolnić sedymentację piasku i dlatego należy to sprawdzić w warunkach każdej budowy.

Norma PN-EN 1538+A1:2015 dotycząca wykonywania ścian szczelinowych dopuszcza użycie roztworów polimerowych, ale pod warunkiem, że będą one stosowane jako ciecz stabilizująca na podstawie wcześniejszego doświadczenia w podobnych lub gorszych warunkach geotechnicznych i wykonania prób w szczelinach w pełnej skali na budowie.

W pierwszych próbach z początku lat dziewięćdziesiątych XX w. wykorzystywane były polimery z materiałów naturalnych, np. karboksymetyloceluloza, żywica ksantanowa lub guarowa, ale okazało się, że łatwo ulegały biodegradacji i były nietrwałe.

W połowie lat dziewięćdziesiątych XX w. wprowadzono najpierw w USA polimery syntetyczne, tzw. częściowo

¹⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów

^{*}) Adres do korespondencji: prychlewski@ibdim.edu.pl

hydrolizowane poliakrylamidy (PHPA), których właściwości można było swobodnie regulować.

Wieloletnie doświadczenia zagraniczne wykazały zalety polimerów, dzięki czemu stopniowo zyskują one popularność. **Stosowano je do wiercenia głębokich otworów, np. ponad 100-metrowych pali do posadawienia superwieżowców na Bliskim Wschodzie.**

Materiały polimerowe są dużo droższe od bentonitu, ale stosuje się je w dużo mniejszym stężeniu (zwykle $5 \div 10\%$). Per saldo koszt ich użycia jest zbliżony lub mniejszy. Stosowanie roztworów polimerowych jest jednak trudne. Powinny być one całkowicie rozproszone podczas mieszania w wodzie. W przeciwnym razie tworzą się grudki suchego materiału otoczonego warstwą uwodnionego polimeru, która ogranicza dostęp wody i ich wymieszanie. Suche grudki są nieaktywne, a brak odpowiedniej masy czynnego polimeru pogarsza właściwości roztworu. Aby temu zapobiec, producenci stosują specjalne dodatki chemiczne.

Podczas opracowania receptur oraz sprawdzania przydatności odzyskanego roztworu bada się gęstość objętościową, lepkość mierzoną czasem wypływu z lejka Marsha, wskaźnik pH oraz zawartość piasku. Właściwości reologiczne roztworów mierzone są np. lepkościamiemierzem obrotowym.

Stosowanie roztworów polimerowych daje wiele korzyści technologicznych: potrzebne są mniejsze i mniej kosztowne urządzenia niż w przypadku bentonitu – nie ma odpiaszczarek, hydrocyklonów, kilku dużych zbiorników, nie wymagają długiego czasu hydratacji ani urządzeń do oczyszczania zawiesiny przed ponownym użyciem. Sproszkowane polimery po rozpuszczeniu w wodzie mogą być hydratyzowane w otwartym zbiorniku i ostrożnie mieszane za pomocą lancy ze sprężonym powietrzem. Roztworu polimerowego można używać zaraz po wymieszaniu. Mieszalnik jest niewielki i łatwo go przemieszczać. Na małej budowie wystarczają dwa zbiorniki: do mieszania i do sedymentacji roztworu z otworu, a na dużych bywa kilka: do mieszania i składowania gotowego roztworu, do odświeżania go, do wstępnej i wtórnej

sedymentacji roztworu pobranego ze szczeliny oraz na roztwór zregenerowany. Pojemność zbiorników dostosowana jest do zakresu prowadzonych robót. Wyniki badania nośności wskazują, że cząstki polimeru oklejają ściany otworu czy szczeliny, przez co stabilizują ziarna gruntu oraz zapobiegają mięknienu i pęcznieniu gruntów spoistych. W gruntach silnie przepuszczalnych (żwirach) polimer wraz z drobnymi cząstkami wnika w pory gruntu i je uszczelnia. Kluczowe znaczenie ma odpowiednie stężenie i wystarczająca lepkość roztworu.

Typowe dozowanie polimerów wynosi $0,75 \div 2,5 \text{ kg/m}^3$ wody, a bentonitu $25 \div 50 \text{ kg}$. W gruntach uwarstwionych dostosowuje się je do gruntów o największej przepuszczalności [1]. Dostawcy polimerów zalecają większą lepkość świeżego roztworu niż zawiesin bentonitowych – zwykle $60 \div 100 \text{ s}$ wg lejka Marsha, ale zbyt duża lepkość (ponad 150 s) powoduje trudności podczas betonowania. Wymagana jest kontrola parametrów roztworu w otworze i systematyczne jego dodawanie.

Stateczność szczelin stabilizowanych polimerami jest zwykle zapewniona, jeżeli są przestrzegane zasady jak w przypadku zawiesin bentonitowych. Ze względu na mniejszy ciężar objętościowy roztworu zaleca się, by jego poziom był $2 - 3 \text{ m}$ powyżej poziomu wody gruntowej [3]. W szczególnych przypadkach stateczność szczelin można sprawdzać obliczeniowo, analogicznie jak zabezpieczanych bentonitem [6, 7, 8], korzystając np. z normy DIN 4126: 2013-09.

Specyficzna dla roztworów polimerowych jest **faza oczekiwania na sedymentację piasku po wykonaniu szczeliny**. Może ona trwać od 30 min (w przypadku stosowania dodatku flokulantu) do kilku godzin w zależności od lepkości roztworu i rodzaju gruntów. **Osad sedymentacyjny należy usunąć**, gdyż pozostawiony powoduje „miękkie” oparcie podstawy ściany lub baretę i grozi zanieczyszczeniem układanej mieszanki betonowej. W początkowej fazie betonowania warstwa osadu jest wypychana i unoszona przez wlewaną mieszankę betonową. Część osadu gromadzi się poza siatką

zbrojenia ściany, skąd mieszanka nie jest w stanie go wypchnąć, co nie pozwala na uformowanie otuliny zbrojenia, szczególnie w przypadku par prętów, a także na końcach sekcji przy elementach rozdzielczych. „Buły” osadu tkwiące w betonie po odsłonięciu okazują się dziurami w ścianie, a w części nieodsłoniętej są drogami napływu wody. W związku z tym osad należy usunąć, a przerwa pomiędzy oczyszczeniem dna a rozpoczęciem betonowania powinna być jak najkrótsza, aby nie dopuścić do przybywania osadu na dnie szczeliny. Całkowite usunięcie osadu z dna powinno być **sprawdzone i potwierdzone przez nadzór**. Roztwór odzyskany po betonowaniu może mieć mniejszą lepkość wskutek działania jonów wapnia z betonu. Należy sprawdzić wskaźnik pH roztworu i w razie potrzeby poprawić właściwości.

Krajowe doświadczenia ze stosowania roztworów polimerowych są niewielkie. Na jednym z obiektów po odkopaniu ściany stwierdzono duże defekty. Ich powodem mogło być użycie niewłaściwego materiału polimerowego, a także nieusunięcie osadu ze szczelin. Natomiast przy budowie stacji metra z powodzeniem zastosowano roztwór polimerowy do wykonywania baret, które stanowiły podparcie konstrukcji w czasie budowy oraz jej trwałe zakotwienie przenoszące wypór wody po zakończeniu odwadniania podłoża. Na fotografii pokazano ścianę szczelinową wykonaną z użyciem roztworu polimerowego.

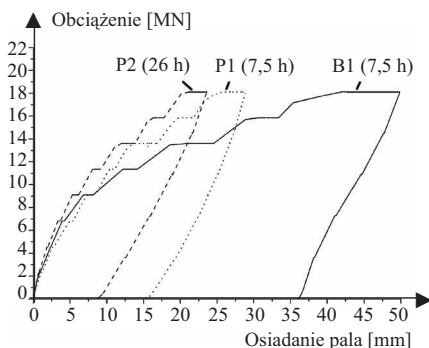


Widok ściany szczelinowej
View of diaphragm wall

Fot. P. Kychlewski

Wpływ polimerów na nośność pali i baret

Badania pali wierconych z użyciem bentonitu i roztworów polimerowych [4, 5] wykazały, że roztwory polimerowe poprawiają nośność, szczególnie opór poboczniczy oraz redukują osiadanie pali nawet wówczas, gdy czas pomiędzy wywierceniem otworu a zabetonowaniem wynosił ponad 50 h. Roztwór nie miał istotnego wpływu na wytrzymałość i sztywność betonu pali i nie zmniejszał przyczepności betonu do zbrojenia. Kluczowe znaczenie ma odpowiednie jego stężenie i wystarczająca lepkość. Związany roztwór zachowuje się jak słabe spoiwo, co poprawia zespolenie poboczniczy z gruntem. Przykładowe porównanie zachowania pali o średnicy 1,20 m i długości 21,0 m, wierconych w ile londyńskim z zawieszoną bentonitową (B1) i z roztworem polimerowym (P1, P2) przedstawiono na rysunku. W przypadku zastosowania roztworu polimerowego pale wykazały większą nośność i mniejsze osiadanie.



Krzywe osiadań pali wierconych z użyciem zawiesziny bentonitowej i roztworu polimerowego wg [5] (w nawiasach czas od wywiercenia otworu do zabetonowania)
Load-settlement curves of piles bored with use of bentonite slurry and polymer fluid after [5] (in brackets times from completing boring to the end of concreting)

Podsumowanie

Roztwory polimerowe zostały wypróbowane na wielu budowach. Zaletą ich stosowania jest łatwiejsze przygotowanie niż zawiesziny bentonitowej, mniejsze urządzenie, szybsza gotowość do użycia, czystość placu budowy, łatwe oczyszczanie sekcji przed betonowaniem oraz łatwiejsza utylizacja zużytego roztworu. Konieczne jest jednak skontrolowanie i potwierdzenie całkowitego usunięcia osadu piasku i oczysz-

czenia dna otworu lub szczeliny przed betonowaniem.

Polimery są bardziej przyjazne dla środowiska w porównaniu z wyrobami na bazie łu. Bentonit jest wprawdzie uważany za odpad nieszkodliwy dla środowiska, ale wylany np. do zbiornika wodnego może go silnie zanieczyścić. Zrzut płynnych odpadów do składowisk jest zabroniony w wielu krajach, dlatego też ich pozbycie się bywa bardziej kosztowne niż nabycie świeżego proszku bentonitowego. Polimery są używane w dużo mniejszym stężeniu (zwykle 1/15 do 1/20) niż bentonit. Można je dość łatwo rozłożyć na monomery i po oddzieleniu osadu gruntu zrzucić do kanalizacji.

Światowe doświadczenia wykazują, że właściwie stosowane roztwory polimerowe zapewniają stateczność otworów i szczelin oraz umożliwiają poprawne betonowanie podwodne, a nośność pali jest większa od oczekiwanej. Pierwsze krajowe doświadczenia z użycia polimerów na kilku obiektach dały jednak mało zachęcające wyniki.

Literatura

- [1] Grzegorzewicz Krzysztof, Bolesław Kłosiński, Piotr Rychlewski, Łukasz Górecki. 2020. *Ściany szczelinowe i baretę – Konstrukcje i zastosowania*. Warszawa, Wyd. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, 179 s.
- [2] Jefferis Stephan A., Carlos Lam. 2013. *Polymer support fluids: use and misuse of innovative fluids in geotechnical works*. Proc. 18th Conf. ICSMGE, Paris.
- [3] Lam Carlos, Stephan A. Jefferis. 2018. *Polymer support fluids in civil engineering*. London. ICE Publishing, 296 s.
- [4] Lam Carlos, Stephan A. Jefferis, T. P. Suckling, V. M. Troughton. 2015. „Effects of polymer and bentonite support fluids on the performance of bored piles”. *Soils and Foundations* Nr 6.
- [5] Lam Carlos, Stephan A. Jefferis. 2016. „Performance of Bored Piles Constructed Using Polymer Fluids: Lessons from European Experience”. *Journ. of Performance of Constr. Facil.* Nr 2.
- [6] Lesemann, H. 2010. *Anwendung polymerer Stützflüssigkeiten bei der Herstellung von Bohrpfehlern und Schlitzwänden*. Dissertation. Zentrum Geotechnik, Technische Universität München.
- [7] Lesemann H., Norbert Vogt, M. Pulsfort. 2016. *Analytical Stability Checks for Diaphragm Wall Trenches and Boreholes Supported by Polymer Solutions*. Proceedings of 13th Baltic Sea Geotechnical Conference, Vilnius.
- [8] Verst R., W. Lieske, M. Pulsfort. 2019. „Stability analysis of polymer-fluid-supported earth walls and influence of type of polymer in solution”. Proceedings of the XVII ECSMGE. „Geotechnical Engineering Foundation of the Future”. Reykjavik.

Przyjęto do druku: 10.01.2022 r.



CANASTOL – Water under Control

– kompletny hydrofobizator do systemów mineralnych,
 – prosty w dozowaniu,
 – sprawdzony w działaniu



Rettenmaier Polska
 Sp. z o.o.
 Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B
 02-366 Warszawa
 mobile +48 600 423 423
 Tel + 48 22 608 51 00
 e-mail: arboce@jrs.pl