

Stanisław Stryczek*, Rafał Wiśniowski*, Andrzej Gonet*

ZACZYNY GEOPOLIMEROWE DO USZCZELNIANIA GÓROTWORU METODAMI INIEKCJI OTWOROWEJ**

1. WSTĘP

Podczas prowadzenia prac: górniczych, wiertniczych, w budownictwie: wodnym, hydrotechnicznym, inżynieryjnym, ekologicznym i geotechnicznym często istnieje potrzeba [10]:

- likwidacji lub ograniczenia nieciągłości fizycznej górotworu poprzez zmniejszenie przepuszczalności lub porowatości skał szczelinowatych, zwięzłych i luźnych;
- poprawienia właściwości fizykomechanicznych skał;
- redukcja osiadania górotworu;
- ograniczenia możliwości upłynniania się skał górotworu pod wpływem obciążeń dynamicznych oraz zmian warunków hydrogeologicznych;
- zmniejszenia szybkości ruchu wody w szczelinach i przeciwdziałanie możliwości rozwoju sufozji mechanicznej i chemicznej;
- zlikwidowania możliwości powstania nowych dróg filtracji wody prowadzących do odkształceń górotworu;
- likwidacji bądź zmniejszenia dopływu wód złożowych do wyrobisk górniczych.

Podstawowe prace pozwalające osiągnąć wymienione cele polegają na izolowaniu, stabilizacji, wzmacnianiu i uszczelnianiu ośrodka gruntowego lub masywu skalnego wokół realizowanych wyrobisk górniczych (otwór wiertniczy, szyb, obudowa) lub obiektów inżynieryjnych (ekrany przeciwfiltracyjne pod zaporami wodnymi, zbrojenie ośrodka gruntowego, zagęszczanie gruntu) z wykorzystaniem metody iniekcji otworowej.

Jednym z najbardziej istotnych czynników wpływających na skuteczność kosztownych prac, związanych z uszczelnieniem skał górotworu jest dobór zaczynu uszczelniającego o odpowiednich parametrach technologicznych, a zwłaszcza o wysokiej trwałości [1, 5, 7, 8].

* Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca zrealizowana w Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie w roku 2007

2. METODY GEOINŻYNIERYJNE WZMACNIANIA I USZCZELNIANIA GRUNTÓW I SKAŁ

Wszystkie technologie wzmocnienia i uszczelnienia ze względu na sposób oddziaływania na ośrodek gruntowy lub masyw skalny można w sposób ogólny podzielić na trzy sposoby [10]:

- 1) **Mechaniczny** (zagęszczenie ziarn). W metodzie tej wzmocnienie gruntów odbywa się bez konieczności stosowania dodatkowych materiałów wypełniających (cząstki ulegają przemieszczaniu względem siebie, co prowadzi do zmniejszenia objętości porów oraz wypieranie z nich wody i gazu). W przypadku gruntów ziarnistych (piasek, żwir) zagęszczenie jest uzyskiwane poprzez ubijanie lub wibrowanie, natomiast w przypadku gruntów spoiwistych (gliny, ropy) – w wyniku wstępnego obciążenia gruntu nasypem lub zastosowania próżni, co znacznie przyspiesza proces konsolidacji gruntu w stosunku do często stosowanego systemu drenażu (prekonsolidacja).
- 2) **Fizykochemiczny**. W metodzie tej istotną rolę odgrywają pewne zjawiska powierzchniowe, jak oddziaływanie elektrostatyczne, adhezja, sorpcja i wiązania wodorowe występujące na powierzchni kontaktu ziaren lub cząstek gruntowych z materiałem wiążącym. Wzmocnienie ośrodka polega na wprowadzeniu w słabsze warstwy gruntu (w przestrzeń międzyziarnową) dodatkowego nieorganicznego materiału lub zaczynu uszczelniającego ograniczając w ten sposób pory ziarnowe na zasadzie kolmatacji lub właściwości wiążących.

Materiałem uzupełniającym ośrodek gruntowy może być:

- materiał suchy niespoisty (kolumny żwirowe lub piaszkowe oraz zagęszczanie dynamiczne),
- zaczyn uszczelniający o odpowiednich parametrach technologicznych (iniekcje otworowe).

Gdy wytrzymałość gruntu spoiwistego zależy od sił elektrochemicznych, działających na powierzchniach cząstek ilowych, wówczas te siły mogą być wzmocnione w wyniku hydromechanicznego zmieszania zaczynu z uszczelnionym ośrodkiem (efekt stabilizacji). Wzmocniony grunt zachowuje się jak materiał kompozytowy o ulepszonych parametrach fizykomechanicznych.

- 3) **Chemiczny**. Sposób ten polega na wprowadzeniu w ośrodek gruntowy lub masyw skalny zaczynu uszczelniającego o właściwościach wiążących w środowisku wodno-gruntowym. Ze względu na rodzaj spoiwa stosowanego do sporządzania zaczynu, można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje zaczynów uszczelniających [4, 8, 10]:
 - na podstawie nieorganicznych spoiw hydraulicznych,
 - na podstawie spoiw organicznych (tzw. zaczyny chemiczne).

W wyniku stosowania tego sposobu w gruncie powstaje trwały szkielet nośny na skutek procesu wiązania (polimeryzacji) zaczynu z frakcjami gruntowymi. Sztywny szkielet nadający związanemu ośrodkowi gruntowemu znaczną nośność, może być również wypełniony niezwiązanymi cząstkami gruntu. W tym przypadku cząstki te pełnią rolę amortyzatorów

sił zewnętrznych działających na szkielet nośny, czego efektem jest zmniejszenie ogólnej sztywności układu.

Przy wzmacnianiu i uszczelnianiu gruntów i skał metodami iniekcji otworowej uzyskuje się z jednej strony ośrodek o zmodyfikowanych właściwościach fizyczno-mechanicznych oraz z drugiej – partię gruntu naturalnego (rodzimego lub nasypowego) w jego bezpośrednim otoczeniu. W związku z tym należy się liczyć z całkowicie różnym zachowaniem się pod względem geomechanicznym partii zmodyfikowanej i naturalnej. Wówczas może zachodzić obawa poślizgu na płaszczyznach ich kontaktu

3. WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE ODNOŚNIE DO ZACZYNÓW USZCZELNIAJĄCYCH DO PRAC INIEKCYJNYCH

Obecnie na rynku dostępne są krajowe i zagraniczne spoiwa hydrauliczne, zarówno typu nieorganicznego, jak i organicznego. Spoiwa te charakteryzują się szerokim wachlarzem właściwości fizykochemicznych i bardzo zróżnicowanymi cenami. Ale nie ma takiego spoiwa, z którego można sporządzić zaczyn uszczelniający, który byłby uniwersalny oraz spełniał wszystkie wymagania technologiczne podczas izolacji, stabilizacji, wzmacniania lub uszczelniania gruntów i skał. Spowodowane jest to między innymi różnymi celami i specyficznymi zakresami wykonywanych prac geoinżynierskich z wykorzystaniem metod iniekcji.

Właściwy dobór spoiwa hydraulicznego powinien zapewnić uzyskanie zaczynu, który powinien charakteryzować się między innymi [2, 4, 6, 8]:

- dobrą współpracą z uszczelnionym ośrodkiem o różnym wykształceniu litologicznym, w tym także z minerałami typu ilastego;
- minimalną ekspansją;
- wysoką odpornością na działanie silnie zmineralizowanych wód gruntowych i złożowych;
- małym odstożem oraz niską filtracją;
- względnie niskim kosztem w odniesieniu do celu zadania, jakie ma spełniać w uszczelnianym ośrodku.

Spełnienie tych wymagań ma duże znaczenie dla uzyskania skutecznego efektu uszczelniania gruntów i skał. Z drugiej strony należy zauważyć, że specyficzne warunki panujące w górotworze wymagają udzielenia priorytetu niektórym z parametrów, nawet kosztem innych.

Celem zapewnienia wysokiej skuteczności wykonywanych prac należy stosować zaczyny uszczelniające, które muszą spełniać kilka kryteriów. **Pierwszym** z nich jest warunek zgodności pod względem fizykochemicznym z otoczeniem. **Drugi** warunek wynika z kryterium przetłaczania zaczynu. Realizuje się go poprzez odpowiedni dobór modelu reologicznego i parametrów reologicznych zaczynu uszczelniającego. Prawidłowo wyznaczone parametry reologiczne umożliwiają bowiem obliczenie oporów przepływu zaczynu w systemie cyrkulacyjnym od agregatów zatłaczających do miejsca jego lokowania. Znajomość oporów hydraulicznych pozwala na:

- racjonalny dobór technologii uszczelniania górotworu,
- określenie strat ciśnień w układzie cyrkulacyjnym,
- ocenę rozkładu gradientu ciśnienia hydrostatycznego słupa zaczynu uszczelniającego przy jego włączaniu w górotwór,
- projektowanie strumienia objętości tłoczenia zaczynu uszczelniającego zapewniającego właściwe warunki przepływu w górotworze,
- określenie promienia zasięgu rozchodzenia się zaczynu w górotworze w przypadku stosowania otworowej iniekcji ciśnieniowej.

Trzecim wymogiem jest potrzeba zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości oraz trwałości stwardniałych zaczynów uszczelniających, powstałych na skutek procesów fizykochemicznych. Receptury zaczynów powinny być tak dobrane by stwardniały zaczyn uszczelniający miał właściwości mechaniczne takie same lub porównywalne z właściwościami naturalnego górotworu. Zapewniając stabilność i konsolidację zarówno ośrodka gruntowego jak i masywu skalnego eliminuje się przyczyny występowania dodatkowych przemieszczeń i deformacji w górotworze.

Czwarty warunek powinien uwzględniać czynnik ekonomiczno-ekologiczny. Celem zminimalizowania kosztów związanych z ceną jednostkową zaczynów, można stosować dla odpowiednich warunków zazwyczaj tanie, a niekiedy odpadowe dodatki .

Wykorzystanie tego typu dodatków do sporządzania zaczynów może wpłynąć na:

- polepszanie parametrów technologicznych świeżych i stwardniałych zaczynów,
- zmniejszanie kosztów receptury zaczynu,
- utylizację składowanych materiałów (dodatków) a w konsekwencji na zmniejszenie bezpieczeństwa degradacji środowiska naturalnego.

Dobór odpowiedniego zaczynu uszczelniającego w żadnym wypadku nie może być dziełem przypadku, czy też wynikiem nie do końca zrealizowanych badań laboratoryjnych. Od prawidłowego wykonania uszczelnienia i wzmocnienia gruntów i skał mogą zależeć dalsze prace inżynierskie (budowle hydrotechniczne, wyrobiska górnicze, szyby, posadowienia obiektów przemysłowych), a co za tym idzie – prawidłowe działanie i eksploatacja wybudowanych obiektów.

4. ZACZYNY GEOPOLIMEROWE DO PRAC INIEKCYJNYCH

Celem podwyższenia skuteczności zabiegów uszczelniania ośrodka gruntowego lub masywu skalnego metodą iniekcji otworowej, prowadzi się zarówno w kraju jak i za granicą badania laboratoryjne umożliwiające określenie wpływu niektórych dodatków mineralnych w kształtowaniu się właściwości technologicznych zarówno świeżych jak i stwardniałych zaczynów sporządzanych na podstawie cementów powszechnego użytku. Prowadzone intensywne badania pozwoliły na uzyskanie nowej generacji specjalnych spoiw hydraulicznych zwanych geopolimerami [1, 3, 5, 7, 9].

Zaczyny na podstawie geopolimerów oparte są wyłącznie na składnikach pochodzenia nieorganicznego. Otrzymuje się je poprzez modyfikację składu odpowiednio zestawionych

i przygotowanych zaczynów sporządzonych na osnowie bądź to wieloskładnikowych cementów powszechnego użytku, bądź mielonych granulowanych żużli wielkopieczowych z dodatkami o właściwościach pucolanowych [3, 5, 6].

Cementy z dodatkami mineralnymi są bardzo częstymi spoiwami hydraulicznymi znajdującymi zastosowanie w różnych dziedzinach działalności inżynierskiej [1, 2].

Najczęściej stosowanymi dodatkami mineralnymi wprowadzanymi do cementu są:

- popioły lotne ze spalania węgla kamiennego,
- mielone granulowane żużle wielkopieczowe.

Popiół lotny zaliczany jest do dodatków o właściwościach pucolanowych, natomiast mielony granulowany żużel wielkopieczowy charakteryzuje się aktywnością pucolanowo-hydrauliczną.

Na podstawie analizy wyników badań laboratoryjnych [1, 2, 4, 7, 8, 9] w zakresie roli dodatków mineralnych w kształtowaniu właściwości kompozytów geopolimerowych, można stwierdzić, że nieorganiczne spoiwa hydrauliczne z dodatkiem popiołu lotnego lub mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego posiadają szereg korzystniejszych właściwości niż klasyczne zaczyny uszczelniające sporządzane na osnowie cementów portlandzkich CEM I.

5. PODSUMOWANIE

Wprowadzenie dodatków mineralnych do składu spoiw geopolimerowych modyfikuje następujące właściwości technologiczne zaczynów uszczelniających: polepsza właściwości reologiczne, zmniejsza skurcz, wydłuża czas wiązania, obniża kinetykę wydzielania ciepła i dynamikę narastania wytrzymałości wczesnej oraz podwyższa odporność na korozyjne oddziaływania środowiska. Stwardniałe zaczyny charakteryzują się niższym skurczem i małą przepuszczalnością.

LITERATURA

- [1] Artym M.: *Właściwości technologiczne świeżych i stwardniałych zaczynów sporządzonych na cemencie hutniczym CEM III/C*. AGH. WVNIG. Kraków 2004
- [2] Giergieczny Z.: *Dobór cementu do określonych zastosowań w budownictwie i robotach inżynierskich*. Materiały Symposium Naukowo-Technicznego „Cementy w budownictwie, robotach wiertniczo-inżynierskich oraz w hydrotechnice” Piła, 23 maja 2001
- [3] Giergieczny Z., Małolepszy J., Szwabowski J., Śliwiński J.: *Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji*. Góraźdże Cement, Opole 2002
- [4] Kurdowski W.: *Chemia cementu*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991
- [5] Kurdowski W.: *Chemia materiałów budowlanych*. Kraków, AGH, 2000.
- [6] Małolepszy J., Deja J., Brylicki W., Gawlicki M.: *Technologia betonu. Metody badań*. Skrypty Uczelniane AGH, nr 1447, Kraków 1995

- [7] Małolepszy J.: *Hydratacja i własności spoiwa żużlowo-alkalicznego*. Zeszyty Naukowe AGH nr 53, Wydawnictwa AGH, Kraków 1989
- [8] Małolepszy J.: *Technologia i właściwości spoiwa z granulowanego żużla wielkopiecowego*. Praca doktorska 1979
- [9] Neville A.M.: *Właściwości betonu*. Polski Cement, Kraków 2000
- [10] Stryczek S., Gonet A.: *Geoinżynieria*. Studia, Rozprawy, Monografie, Wydawnictwo Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, PAN nr 71, Kraków 2000