

**Andrzej Gonet\*, Stanisław Stryczek\*, Krzysztof Szerszeń\*\***

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA DiWa-mix® DO PRAC GEOINŻYNIERYJNYCH\*\*\*

### 1. WPROWADZENIE

W Polsce w ostatnich latach można zaobserwować znaczny rozwój budownictwa specjalistycznego. Związane jest to głównie ze wzrostem zakresu prac w budownictwie, zwłaszcza w dużych miastach, gdzie sięga się po małe działki położone między istniejącą zabudową. Jednym z warunków rozpoczęcia prac budowlanych w takich przypadkach jest wcześniejsze wykonanie ścianek szczelinowych [6]. Te rozwiązania techniczne także są coraz to popularniejsze w ochronie środowiska. Przykładem tutaj mogą być ekrany przeciwfiltracyjne budowane wokół starych składowisk odpadów [7] czy wbudowywane w wały przeciwpowodziowe. Istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność całego rozwiązania jest odpowiednie dobranie receptury zaczynu uszczelniającego [8] podawanego do ekranu przeciwfiltracyjnego, gdyż od jego parametrów technologicznych i wytrzymałościowych zależy w przyszłości efektywność zrealizowanych prac. Przykładowe parametry zawieszin twardniejących do wykonywania przegród przeciwfiltracyjnych w wałach przeciwpowodziowych podano w tabeli 1.

**Tabela 1**  
Wymagane właściwości zawieszin twardniejących

| Lp. | Właściwości  | Jednostki | Wartości                 | Oznaczenie według  |
|-----|--|-----------|--------------------------|--|
| 1   | Stężenie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w zawieszinie (jeśli jest taka potrzeba ze względu na poszczególne składniki)<br>– $f_1$<br>– $f_2$ | Bq/kg     | $\leq 2,0$<br>$\leq 400$ | Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 2/01/2007 Dz. U. Nr 4, poz. 29 |

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Górażdże Cement S.A.

\*\*\* Praca wykonana w ramach badań statutowych WWNiG 11.11.190.01

Tabela 1 cd.

| Lp.                                       | Właściwości   | Jednostki         | Wartości                            | Oznaczenie według  |
|---|---|-------------------|-------------------------------------|--|
| <i>Właściwości świeżej zawiesiny</i>      |   |                   |                                     |  |
| 2   | Gęstość objętościowa<br>– metoda wgłębnego mieszania<br>– metoda wibracyjna<br>– metoda szczeliny kopanej | Mg/m <sup>3</sup> | 1,40–1,50<br>1,50–1,60<br>1,10–1,30 | PN-EN 12350-6:2001<br>BN-90/1785-01                                      |
| 3   | Lepkość umowna  | s/l               | 3–50<br>zalecana<br>do 40           | PN-EN 12350-6:2001<br>BN-90/1785-01<br>(czas wypływu z lejka<br>Marsh'a) |
| 4   | Odstój wody dobowy<br>– metoda wgłębnego mieszania<br>– metoda wibracyjna<br>– metoda szczeliny kopanej   | %                 | do 10<br>do 4<br>do 3               | PN-85/G-02320  |
| 5   | Czas wiązania<br>– początek<br>– koniec   | doby              | 1–10<br>poniżej 20                  | PN-EN 196-3:1996<br>(aparatu Vicata)                                     |
| <i>Właściwości stwardniałej zawiesiny</i> |   |                   |                                     |  |
| 6   | Wytrzymałość na ściskanie<br>jednoosiowe po 28 dobach   | MPa               | ≥ 0,3                               | PN-EN 12390-3:2002   |
| 7   | Współczynnik filtracji po 28 dobach   | m/s               | ≤ 10 <sup>-8</sup>                  | Metody laboratoryjne<br>jak dla gruntów słabo<br>przepuszczalnych        |

## 2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁU DiWa-mix®

W wielu przypadkach od ekranów przeciwfiltracyjnych wymaga się osiągnięcia bardzo małej przepuszczalności, długiej trwałości i korzystnej współpracy z otaczającym ośrodkiem gruntowym. Z tych względów najczęściej do wypełniania szczelin są stosowane receptury na bazie cementu i bentonitu. Ta konfiguracja składników pozwala na osiągnięcie względnie niskich przepuszczalności i zróżnicowanych parametrów wytrzymałościowych [2, 3, 4, 5]. Jednakże nie ustają poszukiwania jeszcze lepszych receptur zaczynów uszczelniających, gdyż spotykane wymagania w praktyce bywają bardzo zróżnicowane. I właśnie DiWa-mix® jest jednym z materiałów, który pojawił się ostatnio na rynku, jest produkowany przez HeidelbergCement Baustoffe für Geotechnik GmbH & Co. KG z Eunigerloh w Niemczech. Jest to gotowa mieszanka składająca się z cementu, dodatków o właściwościach hydraulicznych i pucolanowych oraz wypełniacza, którym jest il. Szczegółowe receptury stanowią tajemnicę handlową producenta i są jedynie podawane produkty pod symbolami: np. DiWa-mix® 180, DiWa-mix® 200, DiWa-mix® 210, DiWa-mix® 220, DiWa-mix® 230, DiWa-mix® 250, DiWa-mix® 300 [1]. Zestawienie głównych składników przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2**

Zestawienie składu chemicznego produktów DiWa-mix®

| Rodzaj składnika               | Skład [%wag.]<br>DiWa-mix® |
|--------------------------------|----------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 35–42                      |
| CaO                            | 32–40                      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10–15                      |
| MgO                            | 4–9                        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1–3                        |

**3. BADANIA LABORATORYJNE**

Sporządzenie zawiesiny twardniejącej na bazie DiWa-mix® polega to na zmieszaniu go z wodą. Do badania brano 2 dm<sup>3</sup> wody, do której dodawano różne ilości suchej mieszanki [9]. Zasadnicze receptury podano w tabeli 3.

**Tabela 3**

Receptury badanych zawiesin twardniejących

| Oznaczenia receptury | Oznaczenia mieszanki | Masa mieszanki<br>g | Współczynnik wodno-<br>-mieszaninowy |
|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------------|
| A                    | DiWa-mix® 180        | 387                 | 5,17                                 |
| B                    | DiWa-mix® 200        | 435                 | 4,59                                 |
| C                    | DiWa-mix® 210        | 456                 | 4,38                                 |
| D                    | DiWa-mix® 220        | 481                 | 4,16                                 |
| E                    | DiWa-mix® 230        | 505                 | 3,96                                 |
| F                    | DiWa-mix® 250        | 552                 | 3,62                                 |
| G                    | DiWa-mix® 300        | 678                 | 2,95                                 |
|                      |                      |                     | 5,17                                 |

Dla określenia wybranych właściwości technologicznych zawiesin twardniejących przeprowadzono badania:

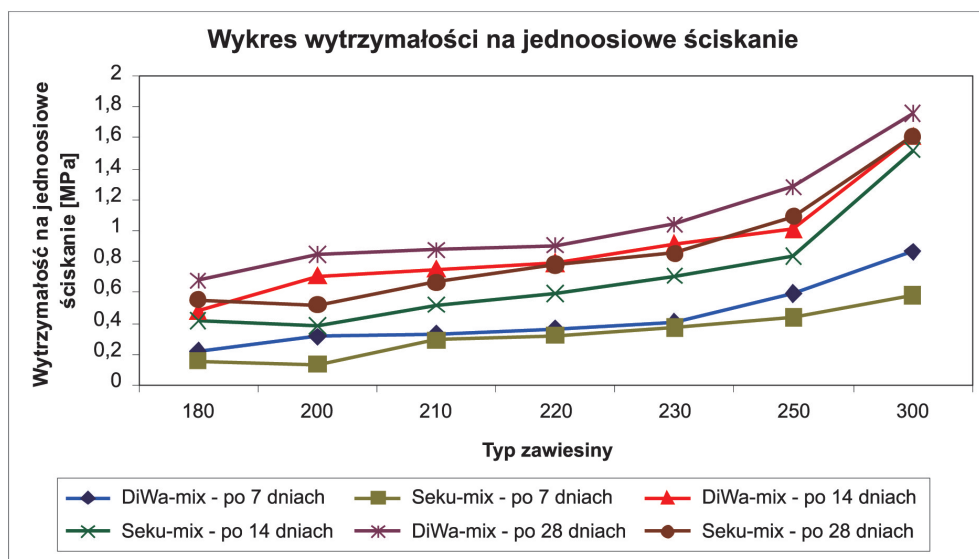
- gęstości objętościowej przy pomocy wagi typu Baroid,
- lepkości umownej lejkiem Marsha,
- odstoju dobowego z wykorzystaniem cylindra pomiarowego,
- filtracji prasą filtracyjną typu Baroid,
- granicy płynięcia na harfie kulkowej.

Otrzymane wyniki z badań laboratoryjnych przedstawiono w tabeli 4.

**Tabela 4**  
Parametry technologiczne zawiesin twardniejących

| Oznaczenie receptury | Gęstość objętościowa kg/m <sup>3</sup> | Lepkość umowna s | Odstój dobowy % | Filtracja ml | Granica płynięcia Pa |
|----------------------|--|------------------|-----------------|--------------|----------------------|
| A                    | 1,11                                   | 39               | 1,2             | 36           | 48,2                 |
| B                    | 1,12                                   | 40               | 1,2             | 38           | 48,2                 |
| C                    | 1,13                                   | 41               | 1,2             | 38           | 47,8                 |
| D                    | 1,13                                   | 41               | 1,1             | 40           | 47,8                 |
| E                    | 1,14                                   | 41               | 1,1             | 41           | 47,8                 |
| F                    | 1,16                                   | 41               | 1,2             | 48           | 37,3                 |
| G                    | 1,18                                   | 41               | 1,2             | 55           | 28,7                 |

Spośród parametrów wytrzymałościowych badano wytrzymałość próbek na jednoosiowe ściskanie po różnych okresach twardnienia tj. po 7 dniach, 14 dniach i 28 dniach. Badaniom poddano próbki w kształcie walca o średnicy i wysokości równej 100 mm, które znajdowały się w temperaturze 20°C ±0,5°C. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na prasie hydraulicznej, a uzyskane wyniki pokazano na rysunku 1.



**Rys. 1.** Zależność wytrzymałości próbki na jednoosiowe ściskanie dla różnych zawiesin twardniejących. Parametrem jest czas utwardzania zawiesin

Za jeden z najważniejszych parametrów dla każdego ekranu przeciwfiltracyjnego uważa się uzyskiwany współczynnik filtracji. Dlatego dla oceny przydatności mieszanki DiWa-mix® wykonano badania tej wielkości zgodnie z normą DIN 18130-1 umieszczając walcowe próbki w komorze z trójosiowym systemem ciśnieniowym. Otrzymane wyniki z badań laboratoryjnych zamieszczono w tabeli 5.

**Tabela 5**

Wartości współczynnika filtracji dla różnych zawiesin twardniejących

| Rodzaj receptury                   | DiWa-mix®            |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                    | 180                  | 200                  | 210                  | 220                  | 230                  | 250                  | 300                  |
| Współczynnik filtracji $k_f$ [m/s] | $8,3 \cdot 10^{-10}$ | $1,4 \cdot 10^{-11}$ | $1,7 \cdot 10^{-11}$ | $1,8 \cdot 10^{-11}$ | $2,3 \cdot 10^{-11}$ | $6,4 \cdot 10^{-11}$ | $9,7 \cdot 10^{-11}$ |

#### 4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wybranych receptur zawiesin twardniejących wskazują na korzystne parametry i możliwości ich wykorzystania w ekranach przeciwfiltracyjnych. Gęstości objętościowe były w granicach od  $1110 \text{ kg/m}^3$  do  $1180 \text{ kg/m}^3$ , co odpowiada wymaganiom zawiesin stosowanych w tego typu pracach.

Lepkości umowne mieszczą się w granicach od 39 s do 43 s i w pełni mieszczą się w zalecanym przedziale od 30 s do 60 s. Ogólnie można stwierdzić, że wzrost lepkości jest proporcjonalny do zmniejszania się współczynnika wodno-mieszaninowego oraz istotnie zależy od zawartości bentonitu w zawiesinie.

Uzyskane wyniki z badań odstoju dobowego różnią się nieznacznie, bo są w zakresie  $(1,1 \div 1,2)\%$  i w pełni spełniają wymagania stawiane tego typu zawiesinom przewidzianym do wykonywania ekranów przeciwfiltracyjnych, gdyż są znacznie niższe od 3%. Natomiast filtracja wahała się od 36 ml do 55 ml.

Wartości granicy płynięcia zawiesin znajdowały się w przedziale  $(28,7 \div 48,2)$  Pa. Taki szeroki zakres zmian jest głównie związany z zawartością bentonitu względem pozostałych składników. Zasadniczo im mniej jest bentonitu w recepturach tym płynniejsza jest zawiesina. Każdy otrzymany wynik spełnia stawiane zawiesinom wymagania techniczne w tym zakresie, który wynosi ponad 13 Pa.

Uzyskane wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach utwardzania mieszczą się w granicach od 0,68 MPa do 1,76 MPa i są większe od minimalnej wartości (0,3 MPa) stawianej zawiesinom do ekranów przeciwfiltracyjnych. Zazwyczaj wytrzymałości ekranów powinny charakteryzować się zbliżonymi wytrzymałościami do gruntu lub nieco go przewyższając, co ma zasadniczy wpływ na warunki współpracy obu ośrodków.

Wyniki współczynnika filtracji próbek można ocenić jako bardzo korzystne, gdyż wynoszą od  $8,3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$  do  $9,7 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$

Powyższe wyniki wskazują, że zawiesiny sporządzone na podstawie DiWa-mixu® z powodzeniem mogą być zastosowane w różnych pracach geoinżynierskich, a w szczególności w ekranach przeciwfiltracyjnych mających na celu odizolować lub ograniczyć przepływ

wody w ośrodku gruntowym. Przykładem może być uszczelnianie zapór, wałów przeciwpowodziowych, wykopów fundamentowych i składowisk odpadów. Do tego rodzaju prac mogą być zastosowane następujące metody:

- wąskoprzestrzennej szczeliny kopanej,
- głębokiego mieszania gruntu,
- wibracyjnie iniekowanej przesłony szczelinowej (WIPS),
- iniekcji otworowej, która może być realizowana w odmianie:
  - klasycznej,
  - strumieniowo-ciśnieniowej (jet-grouting),
  - ciśnieniowej z mechanicznym urabianiem ośrodka gruntowego,
- wiertniczo-frezowej.

Ta różnorodność technologii wykonywania przegród izolacyjnych umożliwia ich realizowanie jako pionowe lub poziome.

## 5. WNIOSKI

- 1) DiWa-mix® jest nową mieszanką zawierającą cement, dodatki o właściwościach pułcanowych i hydraulicznych oraz wypełniacz, którym jest ił. Zasadniczymi składnikami są  $\text{SiO}_2$  (35÷42%) i  $\text{CaO}$  (32÷40%).
- 2) Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły korzystne technologiczne parametry zawieszin twardniejących sporządzonych z mieszanki DiWa-mix®.
- 3) Zawiesziny twardniejące sporządzane na podstawie produktu DiWa-mix® bardzo dobrze nadają się do wykonywania ekranów przeciwfiltracyjnych w budownictwie hydrotechnicznym i ochronie środowiska.

## LITERATURA

- [1] Materiały szkoleniowe firmy Heidelberg Cement
- [2] Brylicki W., Stryczek S., Gonet A.: *Skład fazowy i mikrostruktura stwardniałych zaczynów do prac uszczelniających w górotworze solnym*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), 21/1, Kraków 2004
- [3] Brylicki W., Stryczek S.: *Wpływu zeolitów klinoptilolitowych na mikrostrukturę i skład fazowy stwardniałych zaczynów żużlowo-alkalicznych*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), 23/1. Kraków 2006
- [4] Gonet A., Stryczek S., Wójcik K.: *Ocena stabilizacji cementem gruntu ilastego zanieczyszczonego olejem napędowym*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), 22/1, Kraków 2005
- [5] Gonet A., Rzyczyński M., Czekaj L. i inni: *Modyfikacja właściwości fizycznych gruntów ilastych domieszkami mineralnymi*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, nr 2–3, Kraków 2001

- [6] Kuleta K., Szkotak P.: *Wykonywanie przeston i ścian wodoszczelnych o szerokim zakresie stosowania metodą krokową oraz ciągłą*. Geoinżynieria, Drogi, Mosty, Tunele, nr 1, 2009
- [7] Stryczek S., Gonet A.: *Geoinżynieria*. IGSMiE PAN, Kraków 2000
- [8] Stryczek S., Zachwieja R.: *Zaczyny uszczelniające do prac iniekcyjnych*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, nr 2, Kraków 2002
- [9] Szerszeń K.: *Ocena przydatności DiWa-mixu® i Seku-mixu® do wykonywania ekranów przeciwfiltracyjnych*. Praca niepublikowana, WwNiG AGH, Kraków 2008