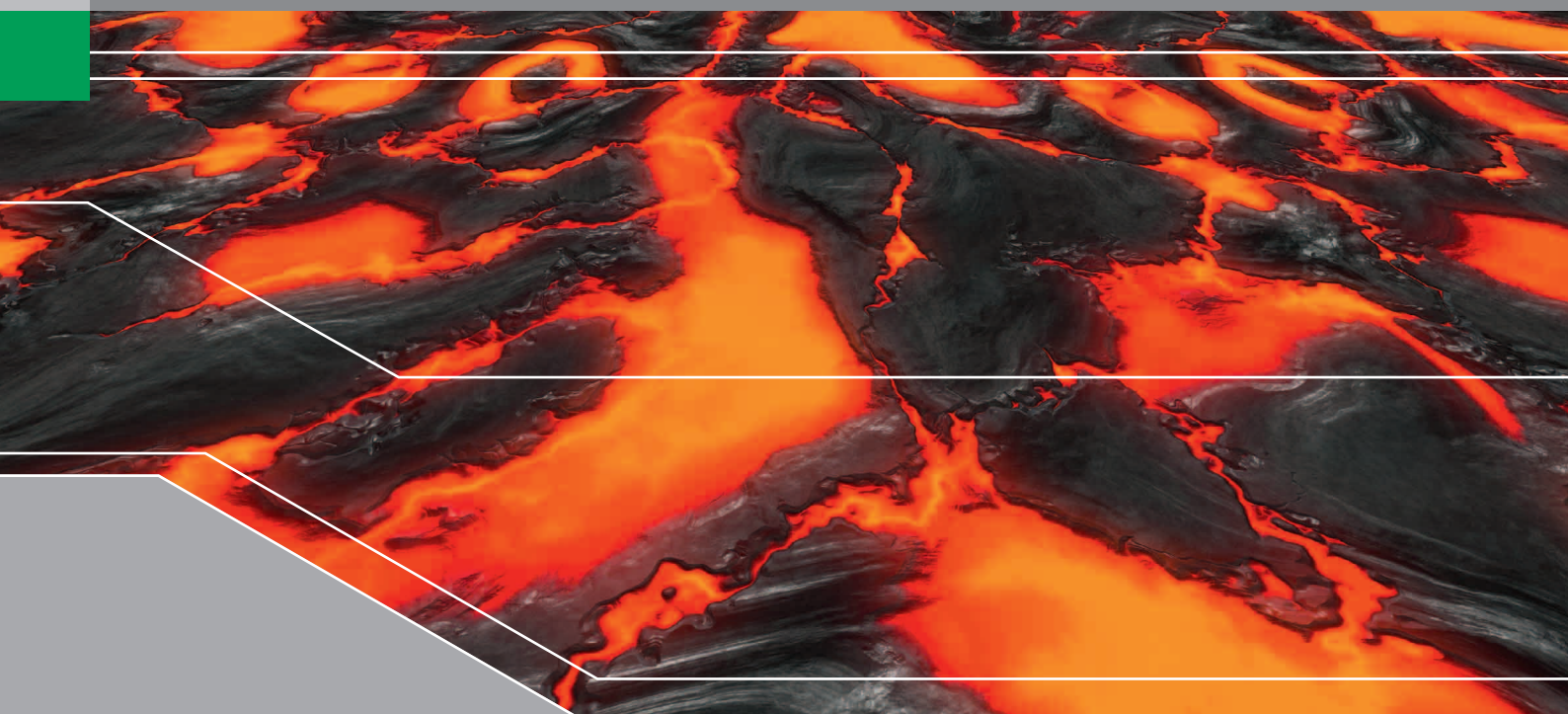


ThermoCem® *PLUS*

- aby maksymalnie skorzystać z ciepła ziemi

Z natury dobry – o podwyższonym przewodnictwie ciepła



HeidelbergCement
Baustoffe für Geotechnik

GÓRAŹDŹE CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group



Spis treści

1. Opis produktu	3
2. Zwiększenie współczynnika przewodności cieplnej	3
3. Właściwości zaczynu	4
3.1 Lepkość Marsh'a	4
3.2 Odstój wody	5
4. Wskazówki dotyczące przygotowania zaczynu	6
4.1 Dozowanie wody	6
4.2 Kontrola jakości na placu budowy	7
4.3 Zmiana wskaźnika W/S	7
5. Maszyny i urządzenia	8
5.1 Wymagania dotyczące sprzętu	8
6. Technologia wypełniania otworu zaczynem	10
6.1 Wypełnianie przy zastosowaniu metody „contractor”	10
6.2 Zakończenie operacji wypełniania	11
7. Przyrost wytrzymałości i ciepło hydratacji	12
7.1 Proces twardnienia	12
7.2 Wytrzymałość i szybkość jej narastania w czasie	13
8. Opór termiczny otworu wiertniczego	14
9. Odporność na agresję chemiczną wód gruntowych	15
9.1 Klasy ekspozycji dotyczące agresji chemicznej	15
9.2 Poziomy odporności na korozję siarczanową i karbonatyzację	16
10. Mrozoodporność	18

1. Opis produktu – ThermoCem® PLUS

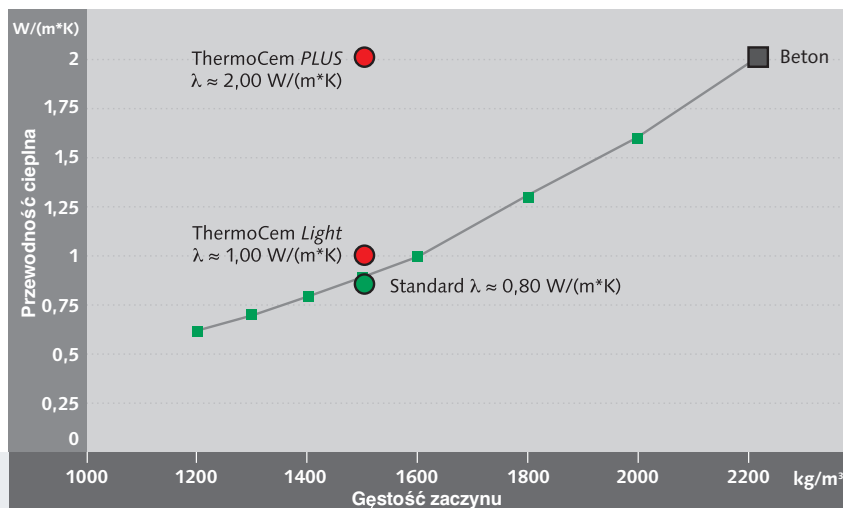
- ThermoCem PLUS jest dostarczany w postaci proszku
- ThermoCem PLUS nie zawiera piasku kwarcowego i nie jest abrazyjny dla miksera i pompy zatłaczającej
- ThermoCem PLUS to gotowy do użycia produkt, który po dodaniu określonej ilości wody jest zatłaczany do otworu
- ThermoCem PLUS zawiera wyselekcjonowane minerały ilaste, które umożliwiają jego pęcznienie w otworze
- ThermoCem PLUS zawiera specjalne spoiwo, które wykazuje szczególnie wysoką odporność na agresję chemiczną wód gruntowych (np. korozję siarczanową, karbonatyzację)
- ThermoCem PLUS podlega wewnętrznej i zewnętrznej kontroli jakości, co oznacza, że niezmiennie wysoka jakość jest zapewniona
- ThermoCem PLUS składa się z wyselekcjonowanych surowców i dlatego nadaje się do stosowania w strefach ochrony wód podziemnych, z uwzględnieniem standardów higienicznych wobec ujęć wody pitnej.

W przypadku projektów o mniejszym zapotrzebowaniu na przewodność cieplną dla materiału wypełniającego, oferujemy alternatywny produkt ThermoCem Light o przewodności cieplnej $\lambda \approx 1,0 \text{ W/mK}$.

2. Zwiększenie współczynnika przewodności cieplnej

Zwiększenie przewodności cieplnej zaczynów wypełniających otwory może być uzyskane w różny sposób. Jednym z przykładów takiego zabiegu jest zastosowanie piasku kwarcowego jako kruszywa. W celu zbliżenia się do przewodności cieplnej na poziomie $2,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, wymagany jest stosunkowo duży udział masy tego kruszywa w zaczynie.

Zupełnie inaczej jest w przypadku naszego ThermoCem PLUS. Dzięki zastosowaniu wyselekcjonowanych dodatków, niezawodnie uzyskujemy zamierzona przewodność cieplną λ ok. $2,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Również udział suchej mieszanki w zaczynie i parametry reologiczne są dopasowane do technologii aplikacji



3. Właściwości zaczynu

Dobra urabialność
Szczelne wypełnienie pustek
Dobre połączenie sond z gruntem



3.1 Lepkość Marsh'a

Na podstawie zmiany czasu wypływu płynu z lejka Marsh'a można określić lepkość umowną lub kryterium przetłaczalności zaczynu. Pomiar polega na mierzeniu czasu wypływu 1 litra płynu z lejka (pojemność lejka to ok. 1,5 litra). Wynik podajemy w sekundach.

Wartości odniesienia dla pomiaru lejkiem Marsh'a

- ok. 27 sekund – dla wody
- 40 -100 sekund – generalnie dla zaczynów o stosunkowo łatwej przetłaczalności (urabialności)

Składniki ilaste zawarte w ThermoCem powodują po pewnym czasie uzyskanie przez zaczyn właściwości tiksotropowych tj. minerały ilaste pochłaniają część wolnej wody z zaczynu (jak gąbka).

To powoduje, że zaczyn pozostający w bezruchu staje się stopniowo „twardszy”, unikając zjawiska sedymentacji (osiadania na dnie) cząsteczek stałych. Jest to szczególnie istotna zaleta przy wypełnianiu otworów pionowych.



Pomiar lepkości Marsh'a po zmieszaniu



Początek tiksotropii zaczynu



Osiągnięty efekt tiksotropii dla zaczynu pozostawionego w bezruchu

Stosowanie sprawdzonej receptury Stabilizacja przez składniki ilaste Dopasowany do mieszarek stosowanych w budownictwie

3.2 Odstój wody

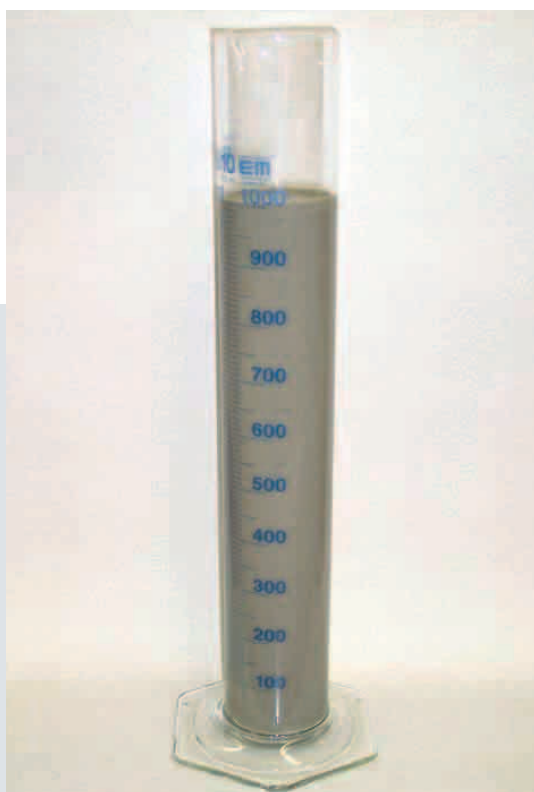
Oddzielenie się (odstój) wody z zawiesiny służy jako miara jej stabilności. Im większy jest odstój wody, tym mniej stabilna jest zawiesina. Wartość dopuszczalna dla stabilnej zawiesiny powinna się zawierać w przedziale od 1 % do maksymalnie 2 %.

Możliwe przyczyny dużego odstaju wody:

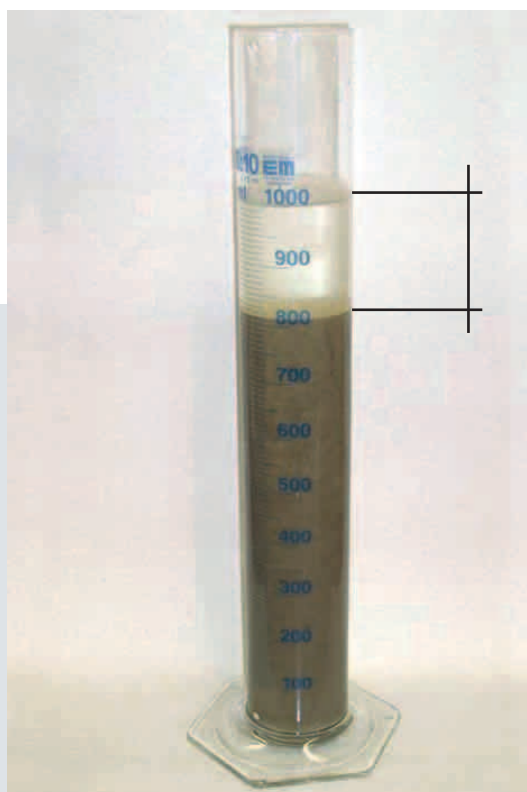
- nieodpowiednio dobrane składniki
- zbyt wysoki parametr woda/spoiwo (W/S)
- mała intensywność mieszania
- krótki czas mieszania

Możliwe skutki dużego odstaju wody:

- straty zawiesiny w wypełnianym otworze
- zapadnięcie się wypełnionej kolumny i wadliwe strefy w otworze
- zwiększona sedymentacja ewentualnych dodatków



Pomiar odstaju wody dla ThermoCem PLUS przy parametrze W/S = 0,8



Odstój wody

Pomiar odstaju wody dla zaczynu cementowego przy parametrze W/S = 0,8

4. Wskazówki dotyczące przygotowania zaczynu

4.1 Dozowanie wody

ThermoCem PLUS jest gotową, suchą mieszanką, która wymaga jedynie dodania wody na placu budowy. Odpowiednie parametry techniczne ThermoCem *PLUS* może osiągnąć tylko wtedy, gdy jest wymieszany z wodą w określonych proporcjach.

Oznacza to, że najważniejszym czynnikiem podczas przygotowywania zaczynu jest to, czy znany jest wskaźnik woda/spoiwo (W/S). Jest to parametr określający ilość wody w stosunku do masy suchego spoiwa. Parametr W/S jest podany w naszej „Instrukcji technicznej” dla produktu.

Jeśli ThermoCem jest mieszany przy użyciu mieszarki o działaniu periodycznym, należy pamiętać o określonej ilości poszczególnych składników na pojedynczy zarób. Objętość zarobu powinna być tak dobrana by stanowić około 85 % pojemności mieszarki. W ten sposób można uniknąć „przelania się” zarobu z mieszarki.

Przykład: objętość robocza mieszarki 150 l x 0,85 = 127,5 l

Przygotowując pojedynczy zarób, dogodnie jest przyjąć zapotrzebowanie na suche spoiwo dostosowane do całych worków, gdyż częściowe ilości są raczej trudne do oszacowania. Bazując na powyższym przykładzie objętości mieszarki, udział składników zarobu przedstawia się następująco:

Jako pierwsze, wlewamy 80 litrów wody a następnie dodajemy 4 worki ThermoCem. W ten sposób uzyskamy zaczyn o objętości około 124 litrów.

Aby wypełnić pustkę o objętości 1000 litrów potrzebne jest:

810 kg ThermoCem
650 litrów wody

} gęstość zawiesiny około 1.460 kg/m³

Korzystając ze wskaźnika W/S, można obliczyć wymaganą ilość wody na 25 kg worka.

25 kg ThermoCem x 0,8 = 20 litrów wody

W ten sposób, zarób uzyskany z 25 kg worka ThermoCem będzie miał objętość około 31 litrów

Liczba worków	ilość ThermoCem	ilość dodanej wody	Objętość zaczynu
[szt]	[kg]	[l]	[l]
1	25	20	31
2	50	40	62
3	75	60	93
4	100	80	124
5	125	100	155
6	150	120	186

Skład zaczynu ThermoCem przy wskaźniku W/S = 0,8

4.2 Kontrola jakości na placu budowy

Aby sprawdzić prawidłowe proporcje składników, jedynym niezawodnym sposobem jest pomiar gęstości zaczynu. Regularne monitorowanie tego parametru podczas operacji wypełniania otworu jest niezbędne do zapewnienia odpowiedniej jakości wypełnienia. Badania DVGW (2003) mające na celu ustalenie optymalnych kryteriów jakości na placu budowy udowodniły, że zasadne jest aby porównywać gęstość zaczynu w mieszalniku z gęstością zawiesiny wypływającej na górze otworu. Jeżeli obydwa te płyny będą w równowadze, możemy przyjąć, że otwór jest prawidłowo i równomiernie wypełniony.

Do pomiaru gęstości na placu budowy, najczęściej są stosowane poniższe metody:

- Pomiar gęstości za pomocą areometru
- Pomiar gęstości przy pomocy wagi płuczkowej typu „Baroid”
- Pomiar gęstości przy użyciu wagi domowej (5 kg) i naczynia z podziałką litrową



Areometr



Waga płuczkowa



Waga domowa

4.3 Zmiana wskaźnika W/S

Co się stanie, jeśli wskaźnik W/S zostanie zmieniony? Poniższa tabela zawiera krótki opis zmian parametrów technicznych w przypadku, gdy użyta ilość wody nie jest zgodna z wyznaczoną wartością.

Parametr techniczny	Zwiększenie udziału wody	Zmniejszenie udziału wody
Lepkość	niższa	wyższa
Odstój wody	wyższy	niższy
Przewodność cieplna	niższa	wyższa
Wytrzymałość	niższa	wyższa
Mrozoodporność	niższa	wyższa
Szczelność	niższa	wyższa
Zapotrzebowanie na spoiwo	niższe	wyższe

5. Maszyny i urządzenia

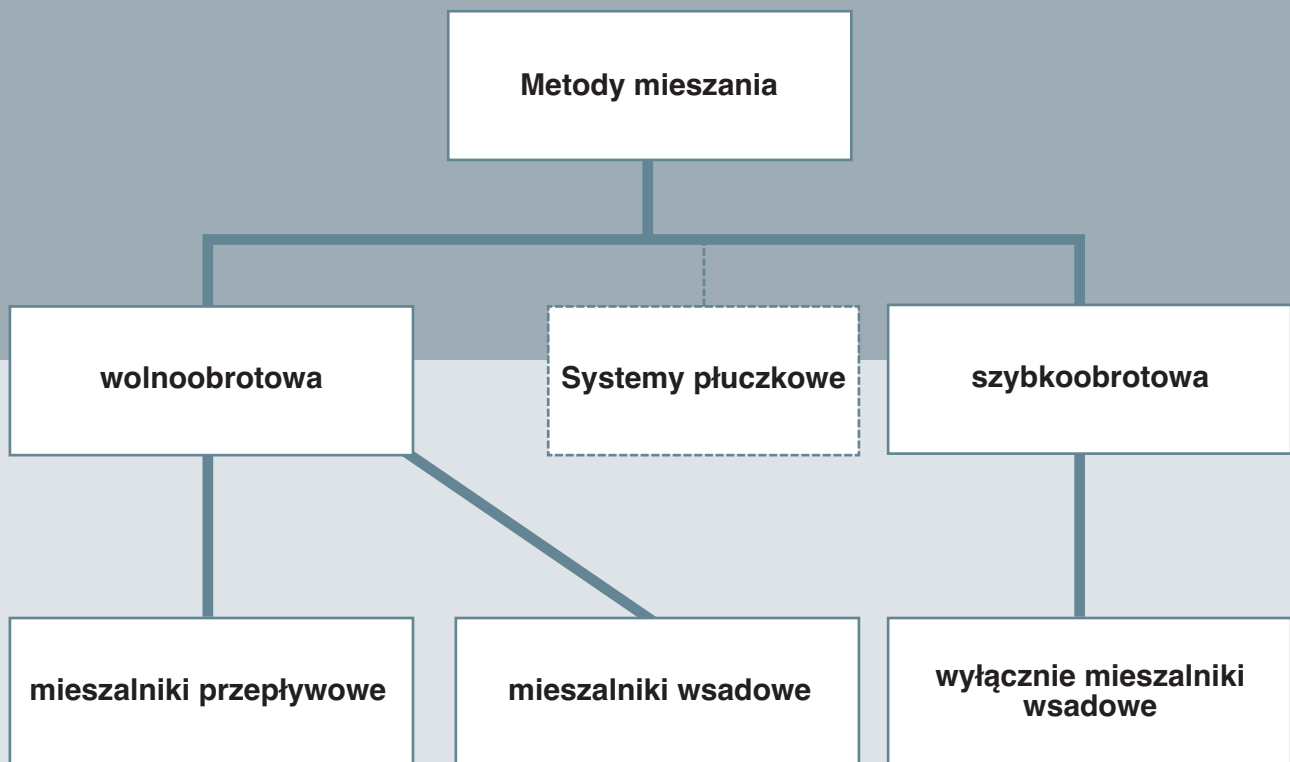


5.1 Wymagania dotyczące sprzętu

Jakość przygotowanego zaczynu nie ogranicza się tylko do zachowania odpowiednich proporcji poszczególnych składników.

Wymienione parametry techniczne można osiągnąć, a nawet je poprawić, stosując odpowiednio dobrany proces mieszania.

Zasadniczo, można wyróżnić następujące metody mieszania:



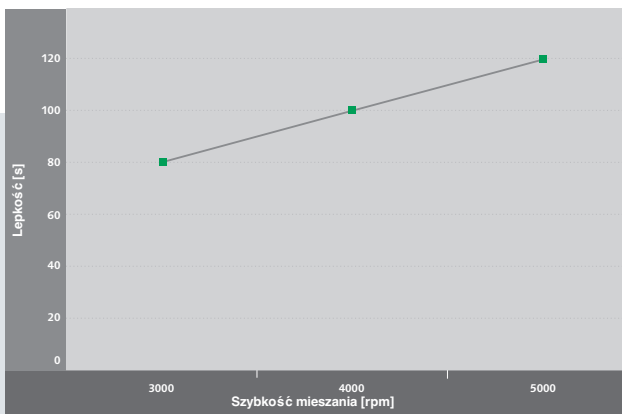


Mieszarki wolnoobrotowe przeznaczone są głównie do przygotowania zaczynów o konsystencji nadającej się do pompowania lub do wstępnego mieszania. Mieszalniki przepływowe (strumieniowe) są często używane przy wypełnianiu otworów z sondami geotermicznymi. W zależności od typu urządzenia, uzyskamy odpowiednią jakość przygotowanego zaczynu ThermoCem. Przy zastosowaniu większości mieszarek dostępnych na rynku, uzyskana jakość może być wystarczająca. Jednakże, jeżeli mieszalnik będzie dopiero kupowany, wskazane jest sprawdzenie jego parametrów technicznych pod kątem przydatności do tego typu aplikacji.

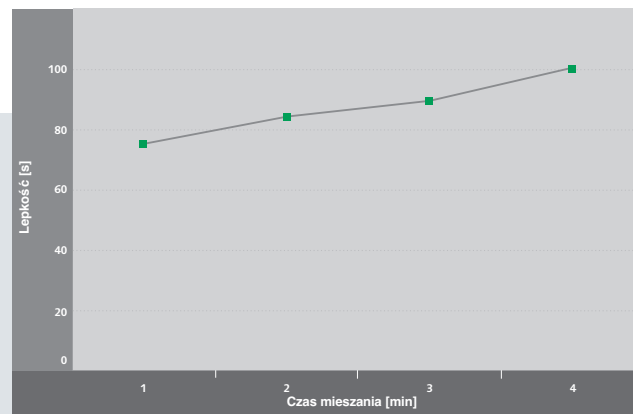
Z kolei, wysokoobrotowe mieszalniki koloidalne pracują przy wysokich szybkościach ścinania i ruchu turbulentnym. Zaczyn ThermoCem PLUS przygotowany w tego typu urządzeniach uzyskuje optymalną konsystencję.

Dodatkowym atutem jest to, że mieszalniki koloidalne są zawsze mieszarkami wsadowymi. Oznacza to, że użytkownik jest w stanie otrzymać praktycznie identyczny parametr W/S dla każdej porcji przygotowanego zaczynu.

Przygotowany zaczyn może również podlegać kontroli wizualnej. Jeżeli ze względów geologicznych (szczeliny, duża porowatość) zaczyn musi posiadać większą lepkość, można ją osiągnąć nie tylko przez zmniejszenie wskaźnika W/S (co oznacza jednocześnie zwiększone zużycie suchego spoiwa), ale przez odpowiednio dobrany czas mieszania w mieszalniku koloidalnym.



Lepkość ThermoCem PLUS w funkcji szybkość mieszania (czas mieszania: 2 min)



Lepkość ThermoCem PLUS w funkcji czasu mieszania (szybkość mieszania: 1250 rpm)

Jako szczególny typ „miksera” można zastosować system płuczkowy (urządzenia stosowane do przygotowania płuczek wiertniczych). W zależności od typu systemu płuczkowego oraz pomp cyrkulacyjnych, zaczyn osiąga parametry w przedziale od dobrych do bardzo dobrych. Zaletą jest również czas mieszania. Jest on wystarczająco długi, by zaczyn ThermoCem PLUS został dokładnie wymieszany. Ze względu na gęstość zawiesiny i jej lepkość, ten sposób mieszania zapewnia wypełnianie otworów geotermalnych przy użyciu ThermoCem PLUS w jakościowo wysokim standardzie.

Odpowiednio dobrana ilość zaczynu (np. 1000 l), wraz z pompą iniekcyjną o wysokiej wydajności, są w stanie dokładnie wypełnić otwór, wypierając z niego pozostałości płynu wiertniczego.

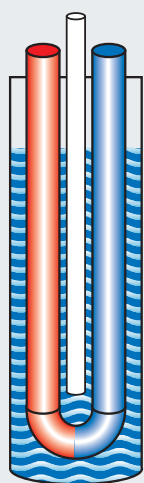
6. Technologia wypełniania otworu zaczynem

6.1 Wypełnianie otworu przy zastosowaniu metody „contractor”

Zasadniczo, wypełnianie otworu geotermalnego powinny być prowadzone przy zastosowaniu technologii betonowania podwodnego, ogólnie znaną od nazwą - metoda „Contractor”. Oznacza to, że dodatkowo zapuszczana rurka montowana na głowicy sondy, lub rurka iniekcyjna, opuszczana na dno otworu wiertniczego, powinna być użyta jako punkt wyjścia do wypełnienia otworu zaczynem.

Operacja wypełnienia otworu zaczynem powinna być tak przeprowadzona, by spełnione zostały następujące warunki:

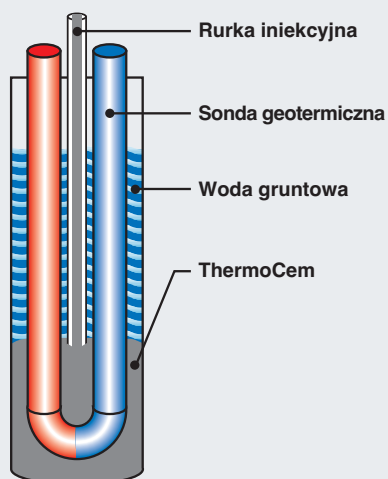
- proces wypierania płuczki wiertniczej przebiegał w sposób kontrolowany
- uniemożliwić segregację zaczynu
- szczelnie wypełnić przestrzeń otworu



Przed wypełnieniem



Fotografia przedstawia proces „betonowania podwodnego”;
zaczyn jednorodny



Podczas wypełniania



Fotografia przedstawia „opadanie”
zaczynu do wody = segregacja

Jeżeli nie przestrzega się zasad tej technologii wypełniania, zaczyn ulegnie segregacji.

Innymi słowy, zaczyn "opadający" do wody znajdującej się w otworze lub płuczki wiertniczej, zawsze zostanie rozcieńczony.

Udział wody w takim zaczynie wzrasta i może osiągnąć taki poziom, że zaczyn utraci właściwość twardnienia.

6.2 Zakończenie operacji wypełniania

Podczas procesu wypełniania otworu, proporcje zaczynu powinny być regularnie kontrolowane przez pomiar jego gęstości.

Badania DVGW (2003) prowadzone w celu optymalizacji kryteriów jakości dla wypełnień otworów studziennych przez materiały uszczelniające (Untersuchungen zur Bestimmung von Qualitätskriterien für Abdichtungsmaterialien im Brunnenbau) wykazały, że zasadne jest porównywanie gęstości zaczynu w mieszalniku z gęstością zawiesiny wypływającej na górze otworu.

Jeżeli ten parametr będzie w równowadze, to możemy przyjąć że płuczka wiertnicza została całkowicie wyparta przez zaczyn uszczelniający.

www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/gewinnung/w1_01_02.pdf



wypływ płuczki wiertniczej wypieranej z otworu



wypływ mieszaniny płuczka/ThermoCem

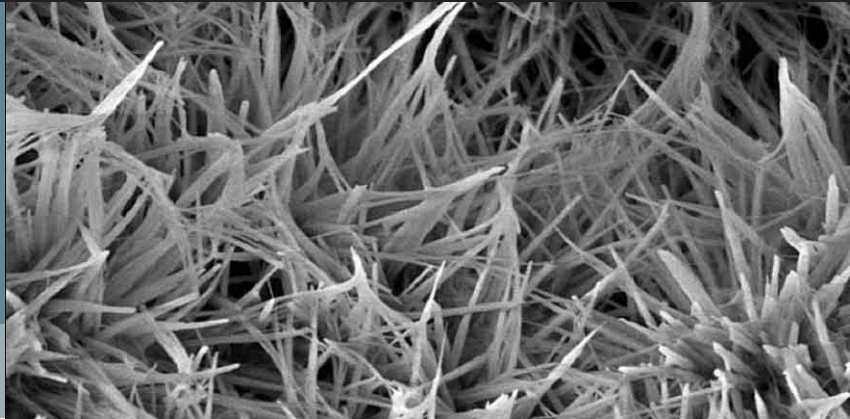


wypływ czystego zaczynu ThermoCem

7. Przyrost wytrzymałości i ciepło hydratacji

Odporności na erozję
Badania metodą echa
temperaturowego (TRT)
Bezpieczna osłona dla sond

Źródło: Stark et al. 2001



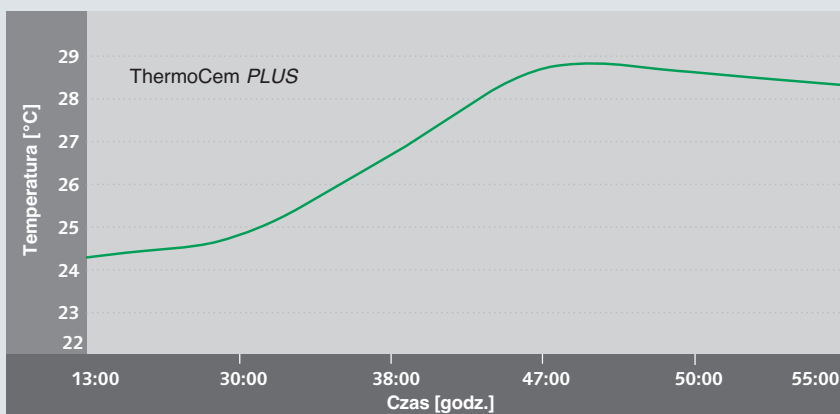
7.1 Proces twardnienia

Po wymieszaniu ThermoCem z wodą otrzymujemy zaczyn o dobrej urabialności.

Minerały ilaste zawarte w ThermoCem powodują wystąpienie efektu tiksotropii natychmiast po ustaniu tłoczenia zaczynu.

Dopiero po pewnym czasie rozpoczyna się właściwy proces wiązania zaczynu. Oznacza to, że spoiwo ulega hydratacji tj na powierzchni spoiwa zaczynają tworzyć się kryształy. Gdy rozrastające się kryształy wypełnią całkowicie przestrzeń pomiędzy sobą i innymi składnikami zaczynu, ulega on ostatecznemu stwardnieniu. Proces hydratacji jest reakcją egzotermiczną tzn. towarzyszy jej wydzielanie się ciepła.

Faza zaczyn (ciecz) ► **faza tiksotropii (żel)** ► **faza wiązania (ciało stałe)** ► **faza twardnienia (ciało stałe)**



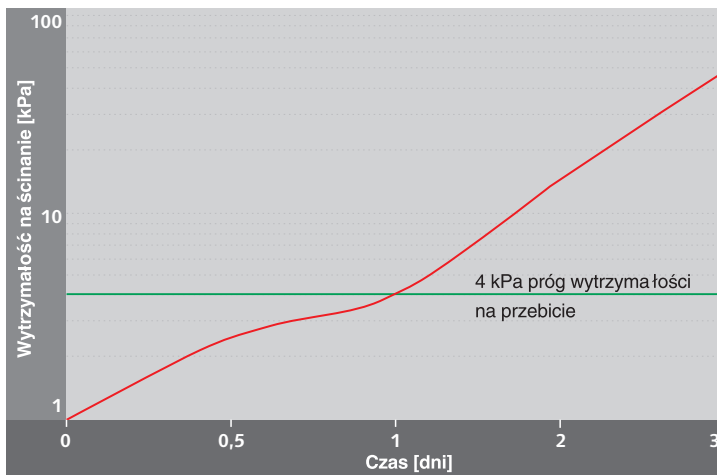
Wykres zmian temperatury w czasie twardnienia próbki ThermoCem w warunkach adiabatycznych

Pomiar temperatury powstającej w procesie twardnienia zaczynu ThermoCem odbywa się w warunkach adiabatycznych. Są to skrajnie niekorzystne warunki, jakie mogą wystąpić w czasie tego procesu.

W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych, początkowa temperatura wynosiła 24 °C, natomiast maksymalna wzrosła o 5 °C. W rzeczywistym otworze, taki wzrost temperatury nie jest spodziewany. Wynika to z panujących w nim odmiennych warunków tzn. początkowa temperatura jest generalnie niższa oraz powstające ciepło przenika do otaczającego gruntu.

7.2 Wytrzymałość i szybkość jej narastania w czasie

Szybkość przyrostu wytrzymałości dla ThermoCem jest ściśle uzależniona od temperatury otoczenia. Zgodnie z tą zasadą, im niższa temperatura otoczenia tym wolniejszy przyrost wytrzymałości.



Rozwój wczesnej wytrzymałości na ścinanie dla ThermoCem *PLUS* w temperaturze 10 °C



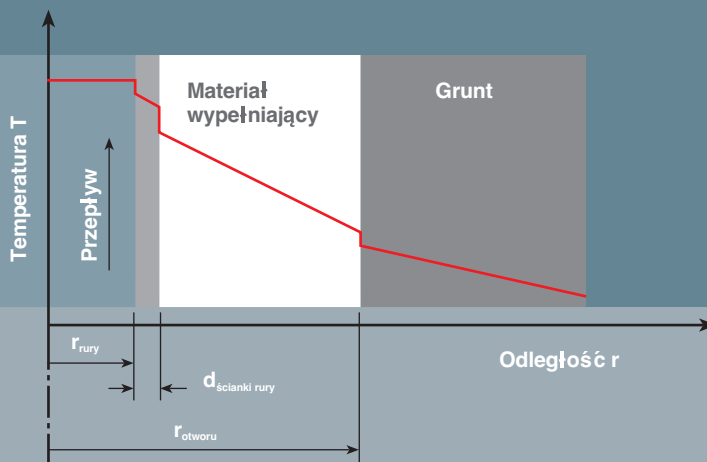
Przyrost wytrzymałości na ściskanie dla ThermoCem *PLUS* w temperaturze 20 °C

8 .Opór termiczny otworu wiertniczego



Bezpieczeństwo systemu
Wymiana ciepła
Optymalizacja

Źródło: M. Reuß, ZAE



Wymiana ciepła w sondzie geotermicznej pomiędzy czynnikiem roboczym a otaczającym gruntem zależy od geometrii otworu wiertniczego, ułożenia sond w otworze oraz właściwości użytych materiałów. Aby uzyskać przepływ ciepła niezbędny jest gradient temperatury. Na przepływ ciepła do czynnika roboczego decydujący wpływ ma przewodność cieplna. Im wyższa przewodność, tym niższy gradient temperatury jest potrzebny.

W związku z powyższym, całkowity opór cieplny oddziałujący na układ jest uzależniony od następujących czynników:

- Przewodność cieplna materiału wypełniającego
- Materiał sondy
- Ułożenie sond w otworze
- Geometria otworu

Całkowity opór cieplny wszystkich elementów zainstalowanych w otworze jest określany jako opór cieplny otworu wiertniczego R_b . Na podstawie teoretycznych modeli, wartość ta zmienia się wzdłuż długości otworu. Przy zastosowaniu pomiaru efektywnej przewodności cieplnej gruntu metodą testu reakcji termicznej (Thermal Response Test) możliwe jest określenie efektywnego oporu cieplnego otworu wiertniczego R_b^* w stosunku do jego całkowitej długości.

Opór cieplny otworu R_b wpływa na gradient temperatury pomiędzy gruntem a czynnikiem roboczym, co przekłada się na uzyskiwaną moc cieplną z otworu.

Przykład:

- Wydajności cieplne gruntu: 50 W/m
- Opór cieplny otworu R_b^* (dla wypełnienia materiałem o przewodności $\lambda \approx 0,8$ W/mK) = 0,12 K/(W/m)
- Opór cieplny otworu R_b^* (dla wypełnienia ThermoCem PLUS o przewodności $\lambda \approx 2,0$ W/mK) = 0,07 K/(W/m)
- 50 W/m x 0,12 K/(W/m) = 6 K
- 50 W/m x 0,07 K/(W/m) = 3,5 K

W przytoczonym powyżej przykładzie, dla otworu wiertniczego wypełnionego ThermoCem PLUS, strata temperatury pomiędzy czynnikiem roboczym a gruntem jest niższa o około 2,5 °K w porównaniu do standardowego materiału wypełniającego. W zależności od trybu pracy instalacji, (ogrzewanie czy chłodzenie), obniżenie oporności cieplnej otworu może znacznie zwiększyć efektywność instalacji geotermicznej.

9. Odporność na agresję chemiczną wód gruntowych

Trwałość Odporność Agresja chemiczna wód gruntowych



9.1 Klasy ekspozycji dotyczące agresji chemicznej

Szczelne oddzielenie przewierconych poziomów wodonośnych oraz trwałe i solidne wypełnienie przestrzeni pierścieniowej otworu można uzyskać tylko wtedy, gdy materiał wypełniający posiada wystarczającą odporność chemiczną na agresywne oddziaływanie wód gruntowych. W przypadku materiałów wypełniających na bazie cementu, odporność na agresję chemiczną środowiska może zostać określona zgodnie z normą PN-EN 206-1.

W normie tej, podane są graniczne stężenia jonów oraz wartości pH dla gruntu i wód gruntowych, które powodują korozję chemiczną betonu. W zależności od zawartości poszczególnych substancji, wyróżniamy trzy klasy ekspozycji (poziomy agresywności): słaba (XA1), umiarkowana (XA2) i silna (XA3). Klasę determinuje najbardziej niekorzystna wartość właściwości chemicznej. Obecność substancji agresywnych w wodach podziemnych jest ważnym kryterium przy wyborze materiału do wypełnienia otworu.

Każdy projekt powinien opierać się na analizie chemicznej wód gruntowych pod kątem ich agresywności dla materiału wypełniającego otworu.

Do oceny potencjału agresywności wykorzystuje się badanie składu wody, które powinno zawierać co najmniej podstawowe parametry tj. wartość pH, przewodność elektryczną oraz stężenie składników służących do określenia klasy ekspozycji zgodnie z normą PN-EN 206-1 – jonów siarczanowych, magnezowych, amonowych i agresywnego CO₂.

Właściwość chemiczna	Klasa ekspozycji		
	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	Słaba agresywność 200-600	Umiarkowana agresywność > 600-3000	Silna agresywność > 3000-6000
NH ₄ ⁺ [mg/l]	15-30	> 30-60	> 60-100
Mg ²⁺ [mg/l]	300-1000	> 1000-3000	> 3000 aż do nasycenia
pH	6,5-5,5	< 5,5-4,5	< 4,5
CO _{2(aq)} [mg/l]	15-40	> 40-100	> 100 aż do nasycenia

Wartości graniczne dla klas ekspozycji dotyczące agresji chemicznej wody gruntowej zgodnie z normą PN-EN 206-1

Źródło: norma PN-EN 206-1

9.2 Poziomy odporności na korozję siarczanową i karbonatyzację

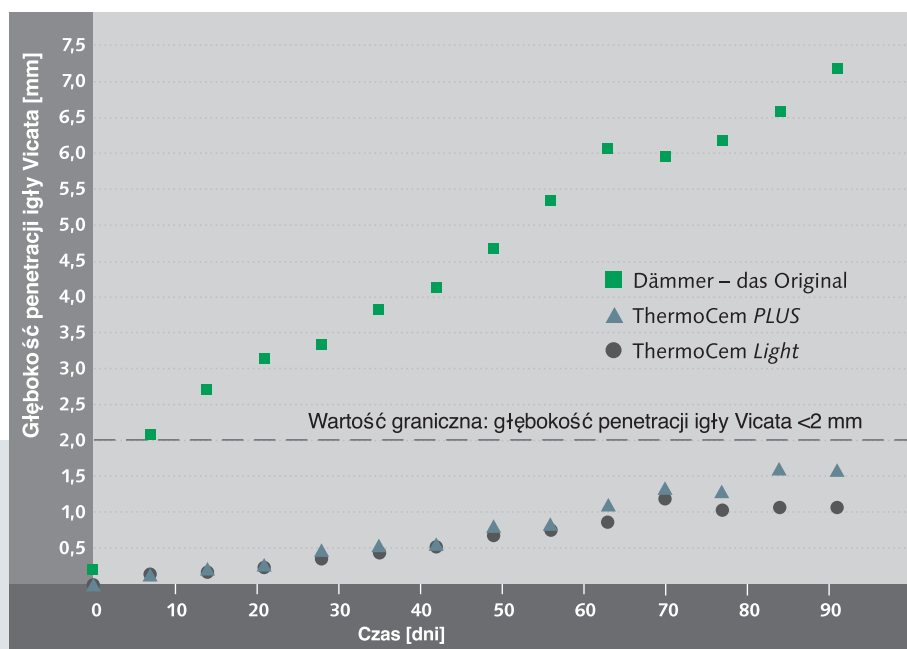
Aby osiągnąć wysoką odporność chemiczną na agresywne oddziaływanie wód gruntowych, mieszanki ThermoCem *PLUS* i ThermoCem *Light* produkowane są w oparciu o cementy z wysoką odpornością na siarczany zgodnie z normą DIN 1164. Również pozostałe składniki są dobrane w ten sposób, by produkt wykazywał znaczny wzrost odporności chemicznej na agresywne oddziaływanie kwasów (np. kwas węglowy) w porównaniu ze standardowymi materiałami wypełniającymi.

Odporności chemiczna ThermoCem *PLUS* i ThermoCem *Light* na agresywne oddziaływanie kwasu węglowego została potwierdzona na podstawie zestawu testów przeprowadzonych w naszym laboratorium. Testy te opierały się na badaniu rozmiękczenia powierzchni próbek przechowywanych w wodzie zawierającej kwas węglowy przez okres 90 dni. Po tym okresie, redukcje twardości próbek badano przy użyciu igły Vicata mierząc głębokość penetracji zgodnie z normą PN-EN 196-3.

W powyższych badaniach, stężenie kwasu węglowego wynosiło 100 mg na litr, co odpowiada klasie ekspozycji XA3 (silna agresja chemiczna). Dodatkowo zastosowano stały przepływ agresywnego roztworu wokół próbek, symulując najbardziej niekorzystne warunki.

W porównaniu z sytuacją w rzeczywistym otworze, warunki przechowywania próbek podczas przeprowadzonych testów znacząco przyspieszały rozwój korozji. Pozwolilo to oszacować długoterminową trwałość wypełnienia, pomimo ograniczonego czasu trwania badania.

Nawet w tych ekstremalnych warunkach testowych, ThermoCem *PLUS* i ThermoCem *Light* wykazały niewielkie rozmiękczenie powierzchniowe.



Odporność chemiczna na agresywne oddziaływanie kwasu węglowego. Przebieg zmian twardości powierzchni próbek w czasie. Stężenie kwasu węglowego w roztworze 100 mg / l (klasa ekspozycji XA3- silna agresja chemiczna).

Oba produkty ThermoCem spełniają kryterium wytrzymałości dla materiałów uszczelniających stosowanych do wypełnień, dla których dopuszczalna głębokość zagłębienia igły wynosi < 2 mm po 90 dniach badania.

10. Mrozoodporność ThermoCem *PLUS* i ThermoCem *Light*

Jeśli sonda geotermiczna w sposób ciągły pobiera z gruntu więcej ciepła niż do niej dopływa (niewłaściwie zwymiarowana instalacja lub zmiana parametrów użytkowania), następuje stopniowe wychłodzenie i ewentualne zamrożenie obszaru bezpośrednio wokół sondy. W celu zaspokojenia szczytowego zapotrzebowania na ciepło, może się zdarzyć, że odwiert i jego otoczenie będą poddane kilku cyklom zamrażania i odmrażania. Jeśli do wypełnienia otworu użyto materiału nie odpornego na zamarzanie, to może on ulec poważnym uszkodzeniom poprzez pękanie i utratę spójności.

Do chwili obecnej, nie wprowadzono wiążących wytycznych w zakresie oceny materiałów wypełniających otwory z sondami geotermicznymi, określające ich odporność na cykliczne zamrażanie i odmrażanie. Z tego powodu, opracowaliśmy metodologię badań w oparciu o istniejące procedury badania mrozoodporności betonu, dostosowując ją do specyficznych wymogów instalacji z sondą geotermiczną.

Do przeprowadzenia testu tą metodą, używa się 28-dniowych, walcowych próbek (wysokość 100 mm, średnica 100 mm), które są podawane 10 cyklom zamrażania i odmrażania.

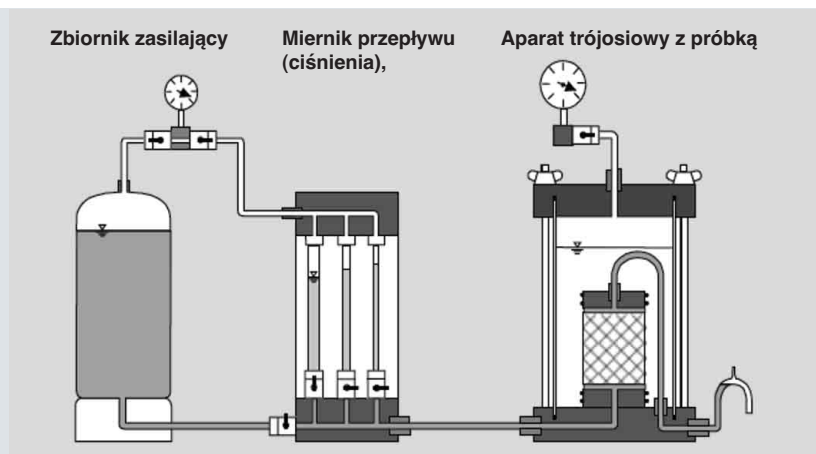
Przez cykl w tej metodzie należy rozumieć profil temperatury na podstawie normy austriackiej ÖNorm B 3303 „Testing of concrete”:

- 8 godzin schładzania od +10 °C do - 10 °C
- 4 godziny stała - 10 °C
- 8 godzin nagrzewania od - 10 °C do + 10 °C
- 4 godziny stała + 10 °C

Badane próbki były zabezpieczone przed wysychaniem. Podstawa próbki zanurzona była w wodzie, co powodowało dodatkowe naprężenia w próbce, związane z kapilarnym podciąganiem wody. Odpowiada to warunkom w rzeczywistych otworach, gdzie materiał jest w stałym kontakcie z wodami gruntowymi.

Jako kryterium tego testu, został określony współczynnik przepuszczalności (kf). W tym celu, wartość tego współczynnika była mierzona przed i po cyklach zamrażania/odmrażania próbek. Badanie odbywało się w komorze trójosiowej, zgodnie z normą DIN 18130, przy spadku hydraulicznym $i = 30$

Materiał wypełniający otwór będzie długotrwale spełniał funkcję uszczelnienia tylko wtedy, gdy wykaże się niskim współczynnikiem przepuszczalności przed i po teście zamrażania i odmrażania.



Aparat trójosiowy zgodny z normą DIN 18130 (Horst 1997):



W serii testów przeprowadzonych w naszym laboratorium, w ściśle określonych warunkach opisanych powyżej, oba nasze produkty ThermoCem *PLUS* i ThermoCem *Light* wykazały współczynnik przepuszczalności $k_f \leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s, zarówno przed jak i po teście mrozoodporności.

Test mrozoodporności nie doprowadził do powstania pęknięć lub utraty właściwości istotnych dla materiału wypełniającego.

ThermoCem *PLUS* po 10 cyklach zamrażania i odmrażania; próbki przechowywano w wodzie.



ThermoCem *Light* po 10 cyklach zamrażania i odmrażania; próbki przechowywano w wodzie

HeidelbergCement
Baustoffe für Geotechnik GmbH & Co. KG

Neubeckumer Straße 92
59320 Ennigerloh
Telefon +49 25 24-29-8 00
Telefax +49 25 24-29-8 15
www.heidelbergcement-geotechnik.de

Góraźdze Cement S.A

Ul. Cementowa 1, Chorula
45-076 Opole
Telefon +48 77 446-88-32
Telefax +48 77 446-88-03
Tel. kom. +48 607 260 086
www.gorazdzegeotechnika.pl

HEIDELBERGCEMENT