

Metodologia oceny trwałości bezpiecznych i ekologicznych iniekcji gruntowych

Prof. nadzw. dr hab. eur. inż. Tomasz Błaszczński, mgr inż. Bogumił Klimaszewski,
Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Rosnące potrzeby związane z koniecznością realizowania remontów, napraw wymagających wzmocnienia i uszczelniania obiektów oraz podłoży budowlanych sprawiają, iż technologie iniekcyjne odgrywają ważną rolę w budownictwie. Realizacja robót w skomplikowanych warunkach geologicznych sprawiła, iż poszukiwano środków, które miałyby niską lepkość, szeroki zakres regulacji pracy, wysoką wytrzymałość mechaniczną i szczelność oraz wysoką odporność na starzenie się [1]. Najlepiej powyższe oczekiwania spełniają iniektory chemiczne, takie jak żywice akrylowe. Żywice te obecnie powszechnie wykorzystuje się do realizacji powierzchniowych hydroizolacji wtórnych części budowli zagłębionych w gruncie, narażonych na obciążenie wilgocią i wodą, jak również do uszczelniania lokalnych przecieków ścian szczelinowych, a także uszczelniania nieszczelności dylatacji w obiektach zagłębionych w gruncie. Bardzo ciekawym rozwiązaniem, cieszącym się coraz większym zainteresowaniem, jest hydroizolacja wtórna w postaci iniekcji kurtynowej. Technologia ta ze względu na brak norm, a także nieliczne publikacje naukowe na ten temat [2–5] nie jest powszechnie wykorzystywana.

2. Metodologia badań trwałości iniekcji gruntowych według przepisów krajowych

Trwałość jest funkcją właściwości użytych materiałów, projektu, wykonawstwa oraz oddziaływania na budynek i jego utrzymanie [6]. Badanie materiału przeprowadza się na podstawie procedur badawczych zawartych w normach, natomiast brak norm oraz metodologii badań może sprawiać trudności przy określeniu trwałości danego materiału bądź też przeprowadzona ocena może być trudna, gdy odniesie się ją do innych badań przeprowadzonych wg innej metodologii.

W Polsce od lat 80. XX w. m.in. w Zakładzie Dynamiki Wód Podziemnych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w Warszawie, Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach oraz Instytucie Ciężkiej Syntezy Organicznej w Kędzierzynie Koźlu prowadzone były badania żywic polimerowych. Jednakże badania te dotyczyły żywic, które obecnie nie są już stosowane [7].

Odporność na starzenie oznaczano poprzez sezonowanie próbek w wybranych warunkach i określaniu ich właściwości fizykomechanicznych. Praktykowane były następujące sposoby przeprowadzania badań starzeniowych [8]:

- sezonowanie w wodzie wodociągowej,
- wymuszony przepływ wody przez próbkę kompozytu gruntowego,
- sezonowanie w roztworach (NaOH, HCl, NaCl, MgSO₄).

Odporność zainiektowanych kompozytów weryfikowano w zróżnicowanych, silnie korodujących, agresywnych środowiskach. Wyniki tych badań potwierdziły wysoką odporność tych żywic, co świadczy, iż rozwiązania te cechuje wysoka trwałość [9]. W literaturze dostępne są wyniki badań starzeniowych polimerowych żywic mocznikowo-formaldehidowych obecnie już niestosowanych i niedostępnych w ofercie producentów chemii budowlanej [10].

Obecnie w dostępnej normie Eurokod 7 [12], dotyczącej zagadnień projektowania geotechnicznego, istnieje niewiele informacji dotyczących tych zagadnień. Przepis ten podaje, iż w odniesieniu do zagadnień związanych z ulepszaniem i wzmocnianiem podłoża, należy podczas projektowania uwzględnić trwałość przewidzianego rozwiązania (tzn. długoterminowość starzenia się). Natomiast norma PN-EN 1504–5 [13], w której zostały zaprezentowane rozwiązania naprawcze przy wykorzystaniu iniekcji, zawiera informację, iż wymagania związane z iniekcją w grunt przyległy do konstrukcji obejmuje norma PN-EN 12715 [14]. Norma PN-EN 12715 zgodnie z zamieszczonymi tam informacjami stanowi uzupełnienie normy PN-EN 1997–1 (Eurokod 7), która jest podstawową normą do projektowania iniekcji gruntowych. Norma ta podaje, iż trwałość mechaniczną określa się zazwyczaj na podstawie badań odporności na lasowanie lub badań przy przepływie, w którym woda przepływa przez otwór wywiercony w próbce scementowanego materiału rodzimego. Natomiast chemiczną trwałość zaleca się badać poprzez zanurzenie próbki, pobranej ze scementowanego podłoża, w wodzie gruntowej (warunki pH w miejscu iniekcji).

Najszerze wytyczne znajdują się w przepisach niemieckich, gdzie głównymi wytycznymi są Wytyczne ABIMerkblatt 3 [15]. Wytyczne te określają metodologię badań umożliwiającą określenie właściwości fizycznych

i mechanicznych, odporności na agresywne media, nasiąkliwość, mrozoodporność oraz szczelność gruntu poddanego iniekcji. Innym dokumentem są wytyczne DB Richtlinie 804.6102 [16], które stanowią uzupełnienie wytycznych ABI-Merkblatt 3, w których przedstawiono szczegółowo procedury przeprowadzenia procesu iniekcji zapewniające poprawność dokonywanych robót. Te dwa dokumenty, poprzez szczegółowe zalecenia, umożliwiają planowanie i bieżący monitoring oraz badania laboratoryjne gruntu poddanego iniekcji.

3. Procedury przeprowadzania weryfikacji trwałości oraz właściwości fizyczno-mechanicznych gruntu poddanego iniekcji według wytycznych ABI-Merkblatt 3

3.1. Ogólne założenia dotyczące metodyki weryfikacji trwałości iniekcji gruntowych

Badania środków iniekcyjnych oraz gruntów poddanych iniekcji powinny wykazywać ich przydatność oraz odporność na czynniki zewnętrzne obniżające ich trwałość. Podczas badania gruntów poddanych iniekcji, które wykazują właściwości do absorbowania wody, zaleca się, aby określić poziom ich nasiąkliwości oraz skurczu.

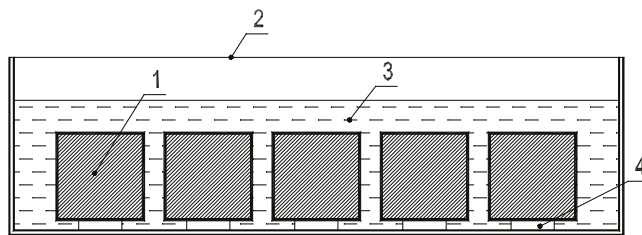
Podczas badań należy określić:

- cechy, takie jak: nasiąkliwość, skurcz, stabilność właściwości mechaniczne,
- możliwość kontaktu ze stalą oraz innymi materiałami,
- odporność oraz trwałość na agresywne czynniki środowiska,
- trwałość uszczelnienia,
- łatwość aplikacji.

Wytyczne te zawierają również zlecenia dotyczące uszczelniania nieszczelności występujących w przegrodzie zagłębionej w gruncie (zarysowania, ubytki, nieszczelności występujące w dylatacjach) wymagania zawarte w tej tabeli również odnoszą się do tych robót.

3.2. Maksymalna absorpcja wody podczas zanurzenia w wodzie

Badanie to przeprowadza się w celu określenia absorpcji wody przez kompozyt gruntowo-żywiczy. Badanie to przeprowadza się poprzez sezonowanie próbek w wodzie pitnej. Wymiary próbek poddanych badaniom wynoszą 40x40x160 mm. Zaleca się, by badaniom poddać co najmniej 3 próbki o zróżnicowanej ilości składnika sieciującego. Badanie to przeprowadza się nie później niż po 24 godzinach po zrealizowaniu próbek. Nasiąkliwość próbek bada się poprzez dokonywanie pomiaru przyrostu masy próbek. Pomiar masy dokonuje się w pierwszym tygodniu codziennie, natomiast po tym okresie pomiar dokonuje się co trzy dni, aż do momentu braku przyrostu masy. Badanie to polega na co najmniej trzykrotnym, naprzemiennym procesie sezonowania w wodzie oraz osuszaniu próbek w warunkach klimatycznych +23°C/+50°C, aż do momentu braku zmiany masy kompozytu (rys. 1).



Rys. 1. Schemat badania nasiąkliwości kompozytu gruntowo-żywicznego 1 – próbka kompozytu (40x40x160 mm), 2 – pojemnik, 3 – woda wodociągowa, 4 – podkładki

Tabela 2. Przykładowe szkodliwe ciecze wykorzystane w badaniach wg [17]

Badana ciecz 1:	Płyn alkaliczny z roztworów Ca(OH) ₂
Badana ciecz 2:	Ciecz alkaliczna. Ciecz alkaliczna według wytycznych [18] odpowiada porowej cieczy betonu, składającej się z: 1 litra wody, 1 g NaOH, 4 g KOH i 0,5 g Ca(OH) ₂
Badana ciecz 3:	Ciecz o wartości – pH 4,5, zawartości SO ₄ ⁻² ma wartość > 4000 mg/l, – pH ustalone poprzez SO ₄ ⁻² ; ustalenie zawartości siarczanu poprzez Na ₂ SO ₄ w roztworze wodnym.

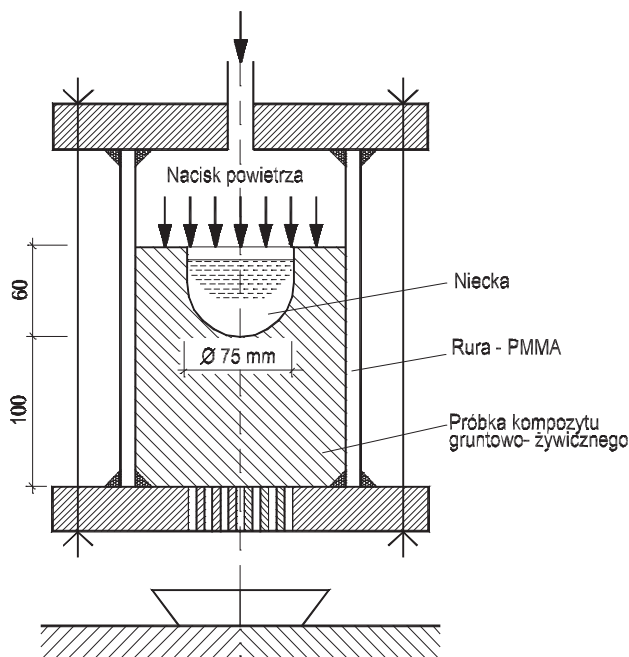
Po tak przeprowadzonym teście próbki poddaje się badaniom wytrzymałości na zginanie, a otrzymane wyniki porównuje się z tymi dotyczącymi wytrzymałości na zginanie dla próbek porównawczych.

3.3. Odporność na szkodliwe ciecze

Procedurę przeprowadzania tego badania dokonuje się w celu weryfikacji odporności gruntu poddanego iniekcji na ciecze, które mogą wpląnąć na szczelność. Badanie to przeprowadza się, zanurzając próbki w cieczy wg metodologii badania absorpcji wody przy zanurzeniu w wodzie. Użyte podczas badania ciecze testowe powinny odwzorowywać warunki występujące w miejscu przeprowadzenia iniekcji. Wytyczne [17] określają przykładowe ciecze, w których można przeprowadzić badanie odporności kompozytu na szkodliwe ciecze mogące w istotny sposób wpląnąć na jego szczelność (tab. 1). W większości sytuacji wg zaleceń [17] wystarczającym badaniem jest przeprowadzenie kontroli odporności na ciecz nr 1, natomiast w przypadkach niestandardowych może okazać się konieczność przeprowadzenia badań w cieczach nr 2 i 3. W sytuacji występowania innych szkodliwych cieczy należałoby sprawdzić odporność zastosowanego materiału iniekcyjnego na występujący płyn w gruncie.

3.4. Badanie wodoprzepuszczalności

Badanie to jest obligatoryjne w przypadku iniekcji gruntu przy realizacji iniekcji kurtynowych. Próbki do badań wodoprzepuszczalności przygotowuje się jako próbki o średnicy 140 mm i wysokości 40 cm. W próbkach tych umieszcza się dwa rodzaje piasków testowych



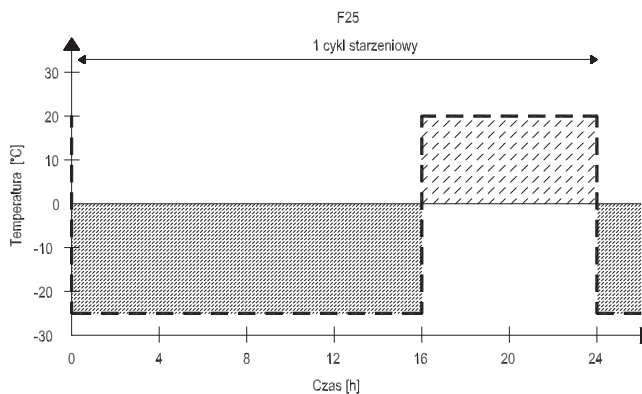
Rys. 2. Schemat badania wodoprzepuszczalności kompozytu gruntowo-żywicznego [15]

drobno- i gruboziarnisty. Piasek drobnoziarnisty ma frakcje w przedziale 0,06–0,6 mm, natomiast piasek gruboziarnisty frakcje 0,2–2,0 mm. Do zrealizowania badania przygotowuje się cztery próbki (średnicy 140 mm i wysokości 40 cm), z których dwie zostają wypełnione piaskiem drobnoziarnistym, a dwie pozostałe piaskiem gruboziarnistym. Próbki następnie poddane są iniekcji za pomocą pompy dwukomponentowej. Po stwardnieniu próbki zostają wyciągnięte z form, przecięte wzdłuż oraz powtórnie umieszczone w formie. Wolne miejsce, w formie z umieszczoną próbką, uzupełnia się piaskiem oraz powtórnie dokonuje iniekcji. Tak zrealizowane próbki, po związaniu iniektu, zostają pocięte na wysokość 20 cm. Następnie próbki przez 3 dni są sezonowane w wodzie. Po zakończeniu sezonowania w wodzie wycinana jest niecka w górnej powierzchni próbki o średnicy 75 mm i wysokości 60 mm. W niecce umieszcza się wodę, a następnie przez 100 godzin próbkę obciąża się wodą przy ciśnieniu 1 bara (rys. 2).

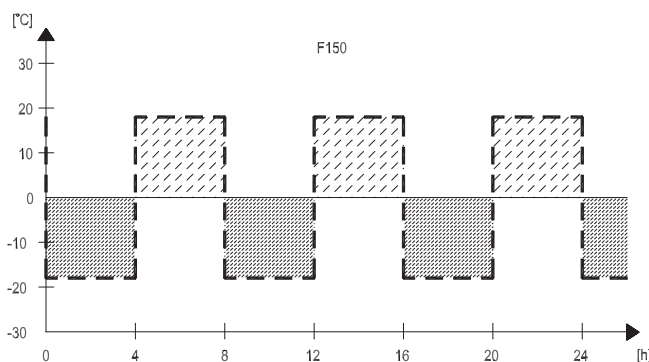
Przez cały okres badania niecka musi być wypełniona wodą oraz nie może występować spadek ciśnienia. Po zakończeniu badania dokonuje się pomiaru ilości wody, która przedostała się do próbki.

3.6. Mrozoodporność (zachowanie w warunkach zamrażania i odmrażania)

Badanie mrozoodporności według wskazanych wytycznych [15] należy przeprowadzić w obszarach, gdzie przeprowadzony zabieg iniekcji mógłby być narażony na czynniki klimatyczne. Badania przeprowadza się na próbkach o wymiarach 40x40x160 mm. Próbki poddane są dwudziestu pięciu 24-godzinnym cyklom mrozoodporności (8 godzin w temperaturze pokojowej i 16



Rys. 3. Przebieg cykli zamrażania i odmrażania wg [15]



Rys. 4. Przebieg cykli zamrażania i odmrażania wg [19]

godzin w temperaturze -25°C) – rysunek 3. Wytyczne dopuszczają inny rozkład cyklu badania w zależności od rzeczywistych warunków. Badania w komorze klimatycznej poprzedzone są 48-godzinnym sezonowaniem w wodzie, w której przyrost masy próbek nie powinien wzrosnąć więcej niż 3%.

Po zakończeniu badania dokonywana jest ocena wizualna oraz badanie wytrzymałości na zginanie. Otrzymane wyniki wytrzymałości próbek, po przeprowadzonej próbie mrozoodporności oraz próbek porównawczych, nie powinny przekraczać więcej niż 20%.

Natomiast w swoich pracach autorzy proponują stosowanie znacznie drastyczniejszej metodologii badania mrozoodporności. Mrozoodporność wzmocnionego gruntu przeprowadzono w komorze do badań mrozoodporności. Procedura badania mrozoodporności gruntu prowadzona była zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie PN-88/B-06250 [19]. Wzmocniony grunt został poddany 150 cyklom zamrażania-odmrażania (rys. 4). Badanie mrozoodporności przeprowadza się do 21 tygodni sezonowania w warunkach laboratoryjnych. Otrzymane wyniki są prezentowane w pracach [2–5].

W trakcie prowadzonych badań próbki wzmocnionego gruntu poddawane były, co 25 cykli, oględzinom zewnętrznej powierzchni próbek z jednocześnie wykonywaną dokumentacją fotograficzną włącznie oraz pomiarem masy.

4. Podsumowanie

Obecnie, przy braku powszechnie dostępnych norm dotyczących projektowania, wykonywania, a także literatury będącej wsparciem w procesie inwestycyjnym, trudno na podstawie dostępnych informacji od producenta materiału iniekcyjnego określić efektywność oraz trwałość iniekcji roztworami chemicznymi w podłoże gruntowe. Zaprezentowana w pracy metodologia umożliwi przeprowadzenie kompleksowych badań określających efektywność, a także trwałość bariery wodochronnej w przewidzianych warunkach. Zaprezentowane w artykule wyniki przeprowadzonych badań mrozoodporności wykazują jednoznacznie, iż materiał ten poddany tak trudnej próbie weryfikacji odporności na niekorzystne obciążenie zewnętrzne nadal zachowuje zadowalające właściwości umożliwiające pełnienie zamierzonej funkcji. Zaprezentowana metodologia diagnostyki iniekcji gruntowych według wytycznych [15] może ułatwić szacowanie jej efektywności oraz trwałości.

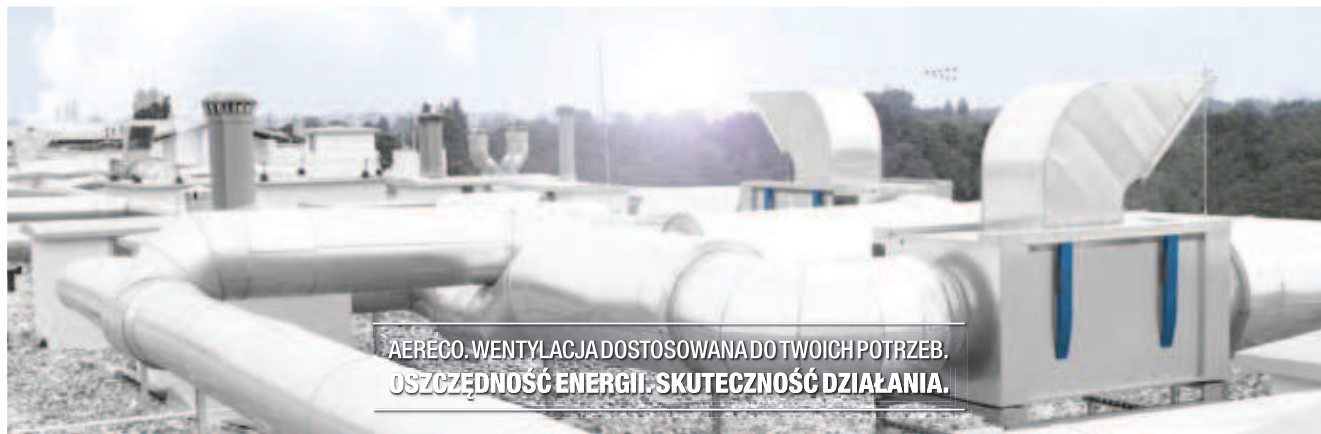
BIBLIOGRAFIA

- [1] Gnatowski M., Balcerzak A., Giżyński W., Stabilizacja gruntów żywicami syntetycznymi, Inżynieria i budownictwo, str. 180, maj 1981
- [2] Błaszczyński T., Klimaszewski B., Kucner W., Efektywność iniekcji gruntowych, w Trwałe metody naprawcze w obiektach budowlanych, red. Błaszczyński T., Buczkowski W., Jasiczak J., Kamiński M., DWE, Wrocław, 2015, str. 38–53
- [3] Błaszczyński T., Klimaszewski B., Wzmacnianie nasypów iniekcjami akrylowymi, w Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, tom 19, 2015, str. 7–19
- [4] Błaszczyński T., Klimaszewski B., Trwałość iniekcji gruntowej, Materiały Budowlane, 11/2016, str. 46–47
- [5] Błaszczyński T., Klimaszewski B., Kucner W., Sposoby bezpiecznych modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych zapobiegających awariom, w Ekologia a budownictwo, red. Błaszczyński T., Runkiewicz L., DWE, Wrocław, 2016, str. 367–382

- [6] Ścisławski Z., Zasady projektowania budynków i budowli z uwzględnieniem trwałości, Warszawa ITB, 1994
- [7] Gnatowski M., Balcerzak A., Giżyński W., Roszkiewicz A., Zastosowanie nowych środków chemicznych do wzmacniania i uszczelniania podłoża budowlanego, w Sprawozdaniu IMGW 1981, Etap I PR.07.04.01.05 str. 6
- [8] Balcerzak A., Giżyński W., Gnatowski M., Iniekcyjne metody wzmacniania i uszczelniania gruntów polimerami, w Sprawozdaniu IMGW 1980, Problem węzłowy 07.02.4.03.05–1
- [9] Gnatowski M., Szelezyngier W., Żywice mocznikowo-formaldehadowe do wzmacniania i uszczelniania gruntów na drodze iniekcji, w Przemysł chemiczny 7/1955 str. 343
- [10] Gnatowski M., Starzenie się żywic mocznikowo-formaldehadowych stabilizujących grunt cz. I, cz.II, cz.III, w Polimery, 2/1978 str. 55, 8/1979 str. 357, 11/1980 str. 404
- [11] Kałędowska M., Badanie środków do wzmacniania i uszczelniania gruntów. Badania nad zastosowaniem Polisolakrylu PM do uszczelniania gruntów i wiązania mineralnych materiałów sypkich. Ocena właściwości kompozycji Polisolakrylu PM z dodatkami mineralnymi, Sprawozdanie ICSO, Kędzierzyn Koźle, 1995
- [12] PN-EN 1997-1:2008 – Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne
- [13] PN-EN 1504-5:2006 – Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 5: Iniekcja betonu
- [14] PN-EN 12715:2003 – Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Iniekcja
- [15] ABI-Merkblatt 3, Abdichtung von Bauwerken durch Injection. STUVA, Stuttgart 2014, ISBN 978-3-8167-9360-1
- [16] DB Richtlinie 804.6102 Vergelungsmaßnahmen, Planung, Durchführung und Qualitätssicherung. Mai 2003
- [17] ABI-Merkblatt 2, Abdichten von Bauwerken durch Injektion. STUVA, Stuttgart 2008, ISBN 978-3-8167-7527-0
- [18] UBA Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien in Kontakt mit Trinkwasser (KTW-Leitlinie) – Wytyczne dla oceny higienicznej materiałów organicznych będących w kontakcie z wodą pitną
- [19] PN-86/B-02480, Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów



www.aereco.com.pl



AERECO. WENTYLACJA DOSTOSOWANA DO TWOICH POTRZEB.
OSZCZĘDNOŚĆ ENERGII. SKUTECZNOŚĆ DZIAŁANIA.