

# Wytrzymałość tworzywa gruntowo-cementowego kolumn iniekcyjnych jet grouting



dr inż.

**LIDIA WANIK**

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach  
Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych  
ORCID: 0000-0001-9474-7639

W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych na jednoosiowe ściskanie tworzywa gruntowo-cementowego. Materiał do badań został pobrany z kolumn próbnych wykonanych techniką iniekcji strumieniowej jet grouting (w systemie pojedynczym i podwójnym) na udostępnionym poletku doświadczalnym. Wskazano oraz omówiono czynniki mające wpływ na uzyskane wartości wytrzymałości. W artykule przedstawiono wyniki badań pochodzących z pracy doktorskiej autorki, istotne dla przedstawionej analizy.

## Wstęp

Technika iniekcji strumieniowej (ang. *jet grouting*) jest powszechnie stosowaną metodą wzmocnienia słabego podłoża gruntowego [1–9]. Polega ona na niszczeniu struktury gruntów budujących podłoże oraz ich mieszaniu i częściowej wymianie na czynnik wiążący. Niszczenie struktury gruntu jest uzyskiwane poprzez działanie wysokoenergetycznego strumienia cieczy nazywanej iniektem, która zazwyczaj jest równocześnie czynnikiem wiążącym [10]. Elementy powstające podczas procesu iniekcji strumieniowej nazywamy kolumnami iniekcyjnymi.

Iniekcja strumieniowa może być wykonywana w trzech rodzajach systemów:

- system pojedynczy (ang. *single fluid system*) – tłoczony jest iniekt, ciśnienie iniekcji wynosi 30÷50 MPa;
- system podwójny (ang. *double fluid system*) – w systemie tym tłoczony jest iniekt oraz sprężone powietrze albo woda; w pierwszym przypadku ciśnienie tłoczonego zaczynu wynosi 30÷50 MPa, ciśnienie sprężonego powietrza wynosi od 0,5÷1,7 MPa; w drugim przypadku woda jest tłoczona pod ciśnieniem 30÷50 MPa, a zaczyn pod ciśnieniem 2÷10 MPa;
- system potrójny (ang. *triple fluid system*) – tłoczony jest iniekt, woda oraz sprężone powietrze; ciśnienie iniekcji wynosi od 2÷10 MPa, woda jest tłoczona pod ciśnieniem 30÷50 MPa, sprężone powietrze 0,5÷1,7 MPa.

Każdy z poszczególnych rodzajów iniekcji strumieniowej ma swoje zalety i uwarunkowania stosowania. Wymiary kolumn iniekcyjnych wykonywanych systemem pojedynczym nie

są tak duże jak systemem podwójnym oraz potrójnym, jednakże jest to system najprostszyszy w wykonaniu, a przez to powszechnie stosowany [11].

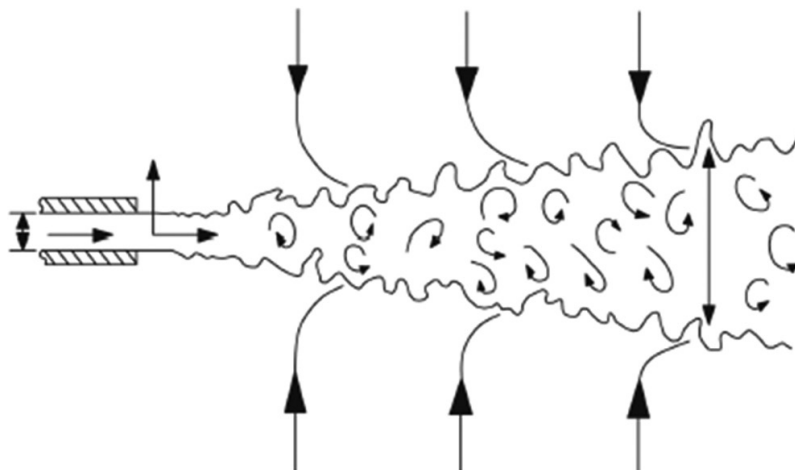
Podstawy procesu iniekcji strumieniowej można poznać, rozważając wypływ i oddziaływanie na podłoże gruntowe skoncentrowanego strumienia iniektu charakteryzującego się bardzo dużą energią kinetyczną (5÷30 MJ/m). Po wypływie z dyszy oraz przebyciu drogi wokół żerdzi wiertniczej (wypełnionej mieszaniną urobku i wody) skoncentrowany strumień iniektu trafia w grunt, powodując jego rozluźnienie oraz częściowe wypłukanie na powierzchnię. Pod wpływem działania silnej turbulencji kształt skoncentrowanego strumienia iniektu stopniowo ulega zmianie i wytraca początkową prędkość (rys. 1). W zależności od rodzaju gruntu proces erozji przebiega w inny sposób (szerzej opisane w [12, 13]).

Pomimo dość dobrej znajomości tej techniki wzmocnienia podłoża w dalszym ciągu istnieje potrzeba pogłębiania wiedzy dotyczącej projektowania i wykonawstwa, szczególnie w odniesieniu do relacji pomiędzy parametrami technologicznymi oraz właściwościami mechanicznymi materiału kolumn. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie  $f_m$  materiału gruntowo-cementowego zależy od:

- rodzaju gruntów budujących podłoże,
- użytego systemu iniekcji strumieniowej,
- stosunku cementowo-wodnego  $\Omega$  tłoczonego zaczynu.

Najwyższe wartości wytrzymałości uzyskuje się w gruntach niespoistych (gruboziarnistych) przy zastosowaniu systemu pojedynczego.

Należy również nadmienić, iż rzeczywiste wartości wytrzymałości tworzywa gruntowo-cementowego są mniejsze. Wynika to



Rys. 1. Rysunek przedstawiający dyfuzyjny charakter strumienia iniektu; źródło: [12]

Kolumny iniekcyjne wykonywane systemem pojedynczym charakteryzują się większymi uzyskiwanymi wartościami wytrzymałości tworzywa gruntowo-cementowego w stosunku do kolumn wykonywanych systemem podwójnym.

z faktu, iż materiał gruntowo-cementowy nie zawsze jest w pełni jednorodny, a próbki badane w laboratorium to te, które udało się pobrać bez uszkodzeń podczas wierceń i reprezentują najlepsze fragmenty kolumny. Nie dziwi więc fakt, iż współczynnik zmienności wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie tworzywa gruntowo-cementowego mieści się w przedziale  $30 \div 75\%$  [14].

W odniesieniu do wytrzymałości materiału kolumn iniekcyjnych jest ona weryfikowana poprzez badania wytrzymałościowe próbek pochodzących z wierceń rdzeniowych. Na uwagę zasługuje również fakt, iż norma [15] regulująca stosowanie iniekcji strumieniowej nie wskazuje jednoznacznie na konkretną żądaną minimalną wytrzymałość tworzywa gruntowo-cementowego, a decyzja w tej sprawie w każdym przypadku należy do projektanta.

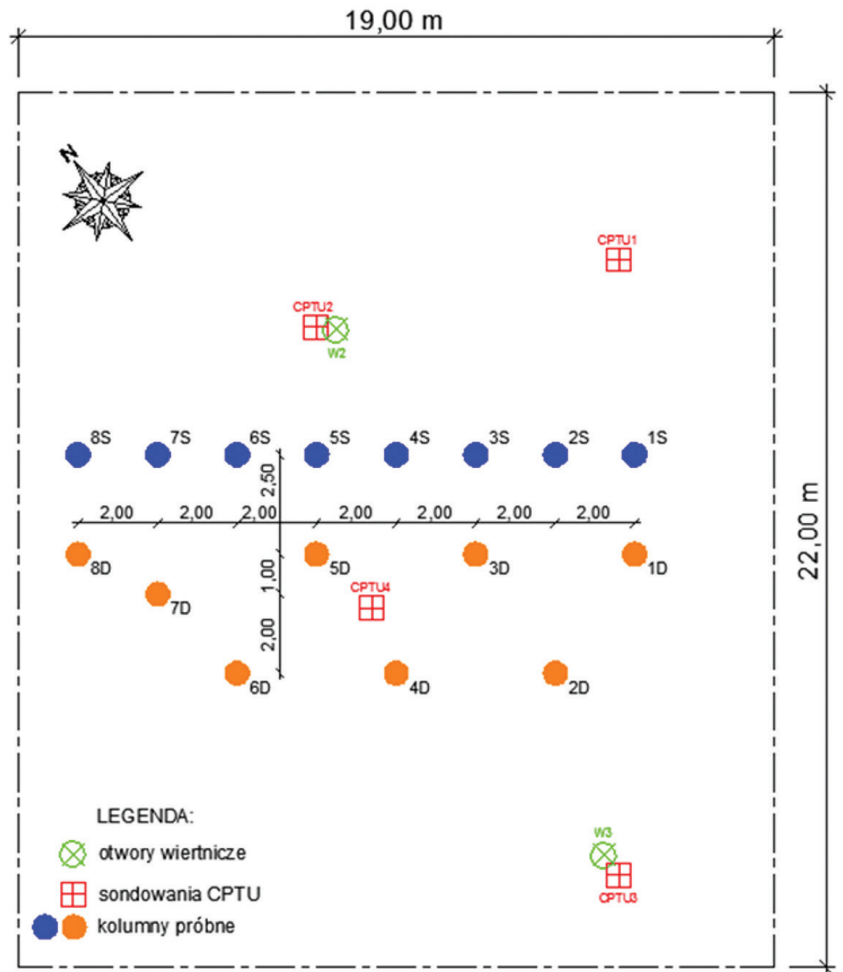
W dalszych częściach artykułu przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych (wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie) materiału kolumn pochodzących z kolumn próbnych wykonanych na poligonie doświadczalnym (opisanym w pracy [13]). Zakres przeprowadzonych badań terenowych podano dalej.

### Opis poligonu doświadczalnego

Na potrzeby badań, na udostępnionym poligonie doświadczalnym, wykonano 16 próbnych kolumn iniekcyjnych (8 szt. systemem pojedynczym oraz 8 szt. systemem podwójnym) (rys. 2.) o długości 4,0 m każda. Kolumny wykonano, różnicując system iniekcji (pojedynczy, podwójny) oraz następujące parametry technologiczne: ciśnienie iniekcji  $p_0$ , średnicę dysz iniekcyjnych  $d_0$  oraz prędkość obrotową żerdzi iniekcyjnych  $\omega$ . Pozostałe parametry technologiczne przyjęto takie same dla każdej z kolumn (tab. 1–2).

Rozstaw kolumn wykonywanych systemem pojedynczym przyjęto stały i równy 2,0 m, natomiast rozstaw kolumn wykonywanych systemem podwójnym, z uwagi na większy zasięg oddziaływania, w granicach  $2,2 \div 4,0$  m.

Przed formowaniem kolumn dokonano rozpoznania geologicznego podłoża



Rys. 2. Plan sytuacyjny poligonu doświadczalnego wraz z lokalizacją sondowań CPTU i wierceń badawczych; źródło: [13]

Tab. 1. Parametry technologiczne formowanych kolumn iniekcyjnych [13]

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| Zaczyn cementowy                             | gęstość $\rho_g = 1,5 \text{ g/cm}^3$ |
|  | rodzaj cementu: CEM II/B-V 32,5 R     |
|  | $c/w (\Omega) = 1,0$                  |
| Wydatek powietrza (dla systemu podwójnego)   | $12 \text{ m}^3/\text{min}$           |
| Ciśnienie powietrza (dla systemu podwójnego) | $p_a = 0,7 \text{ MPa}$               |
| Prędkość podnoszenia                         | $V_s = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ |
| Skok   | $\Delta z = 40 \text{ mm}$            |

poprzez wykonanie dwóch odwiertów i czterech sondowań CPTU, każdy o długości 10 m (rys. 2.). Granice litostratygraficzne wraz z granicami warstw geotechnicznych i uśrednione wartości parametrów geotechnicznych poszczególnych warstw przedstawiono na przekroju geotechnicznym na rys. 3. Próbne kolumny iniekcyjne były formowane w piaskach średnich ( $I_D = 0,44$  do  $0,78$ ) z przewarstwieniem gruntów drobnoziarnistych i organicznych o miąższości około  $1,2 \div 1,8 \text{ m}$  ( $I_L = 0,38$ ).

Zakres badań terenowych obejmował wykonanie kolumn iniekcyjnych, ich odsłonięcie, pomiary geometrii oraz pobranie rdzeni celem wykonania badań wytrzymałościowych. W dalszej części artykułu przedsta-

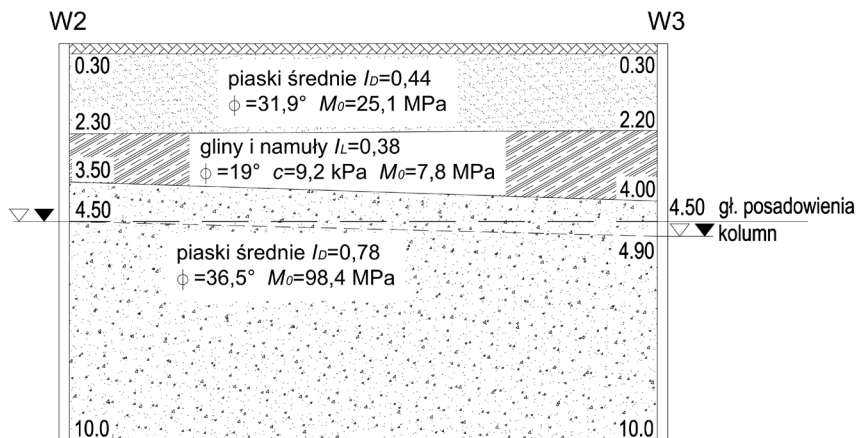
wiono wybrane wyniki badań wytrzymałościowych materiału kolumn.

### Badania wytrzymałościowe tworzywa gruntowo-cementowego

W celu zbadania charakterystyki mechanicznej tworzywa gruntowo-cementowego wykonano badania wytrzymałościowe materiału pochodzącego z kolumn próbnych (wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie). W tym celu, metodą wiercenia, po około pół roku od wykonania kolumn iniekcyjnych pobrano rdzenie, które następnie zostały zinentaryzowane, szczegółowo opisane (rys. 4.) i przewiezione do laboratorium celem wykonania badań wytrzymałościowych (rys. 5.).

Tab. 2. Parametry iniekcji strumieniowej kolumn próbnych [13]

| System            | Nr kolumny | Ciśnienie iniekcji $p_g$ [bar] | Ilość i średnica dysz $d_0$ [mm] | Prędkość obrotowa żerdzi $\omega$ [obr/min] |
|-------------------|------------|--------------------------------|----------------------------------|---|
| System pojedynczy | 1S         | 360                            | 2 x 4,0                          | 25  |
|                   | 2S         | 360                            | 2 x 2,8                          | 25  |
|                   | 3S         | 180                            | 2 x 4,0                          | 25  |
|                   | 4S         | 250                            | 2 x 2,8                          | 25  |
|                   | 5S         | 360                            | 2 x 4,0                          | 12  |
|                   | 6S         | 360                            | 2 x 2,8                          | 12  |
|                   | 7S         | 180                            | 2 x 4,0                          | 12  |
|                   | 8S         | 250                            | 2 x 2,8                          | 12  |
| System podwójny   | 1D         | 360                            | 2 x 4,0                          | 25  |
|                   | 2D         | 180                            | 2 x 4,0                          | 25  |
|                   | 3D         | 360                            | 2 x 4,0                          | 12  |
|                   | 4D         | 180                            | 2 x 4,0                          | 12  |
|                   | 5D         | 360                            | 2 x 2,8                          | 25  |
|                   | 6D         | 260                            | 2 x 2,8                          | 25  |
|                   | 7D         | 360                            | 2 x 2,8                          | 12  |
|                   | 8D         | 250                            | 2 x 2,8                          | 12  |



Rys. 3. Przekrój geotechniczny podłoża poletka doświadczalnego wraz z uśrednionymi wartościami parametrów geotechnicznych poszczególnych warstw; źródło: [16]

Według normy [15] badania wytrzymałościowe tworzywa gruntowo-cementowego pochodzącego z materiału kolumn iniekcyjnych wykonuje się na próbkach cylindrycznych o stosunku wysokości do średnicy  $h:d = 2$  bądź 1, w którym w przypadku należy zastosować współczynnik redukcji 0,8. Tak otrzymane wartości można interpolować liniowo.

Z materiału rdzeni pobranych na poligonie doświadczalnym wykonano 27 sztuk cylin-

drycznych próbek o stosunku  $h/d=2,0$  oraz 46 sztuk próbek o  $h/d=1,0$ . Każdorazowo określano wizualnie stan próbki (próbki klasy A i B wg [15]), a także ważono i mierzono. Materiał kolumn posiadający duże ubytki oraz pęknięcia nie został zakwalifikowany do badań. W celu uzyskania dwóch równoległych podstaw walca powierzchnie próbki były najpierw piaskowane. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na maszynie

W celu zbadania charakterystyki mechanicznej tworzywa gruntowo-cementowego wykonano badania wytrzymałościowe materiału pochodzącego z kolumn próbnych (wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie).

wytrzymałościowej FORM+TEST PRUFSYSTEME Mega 3-3000-100 S w Laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej po około pół roku od wykonania kolumn iniekcyjnych. Prędkość obciążania próbek wynosiła 2 kN/s, w niektórych przypadkach zastosowano podkładki.

Otrzymane wyniki badań wytrzymałościowych próbek tworzywa gruntowo-cementowego na jednoosiowe ściskanie zestawiono w tab. 3. i 4. Badań wytrzymałościowych nie wykonano dla materiału pochodzącego z kolumny 6D ze względu na duże uszkodzenia materiału podczas transportu.

Otrzymane wyniki badań wytrzymałościowych materiału pobranego z kolumn iniekcyjnych formowanych w piaskach systemem pojedynczym są zbliżone do danych przedstawionych w literaturze (wartości wytrzymałości w przedziale 7÷14 MPa wg [5] za [18], [19]). W przypadku wytrzymałości materiału kolumn wykonanych systemem podwójnym uzyskiwane wartości można przyrównać tylko do ogólnego zakresu wytrzymałości (do 5 MPa wg [7]). W literaturze nie ma bowiem jakichkolwiek danych dla podobnej sytuacji.

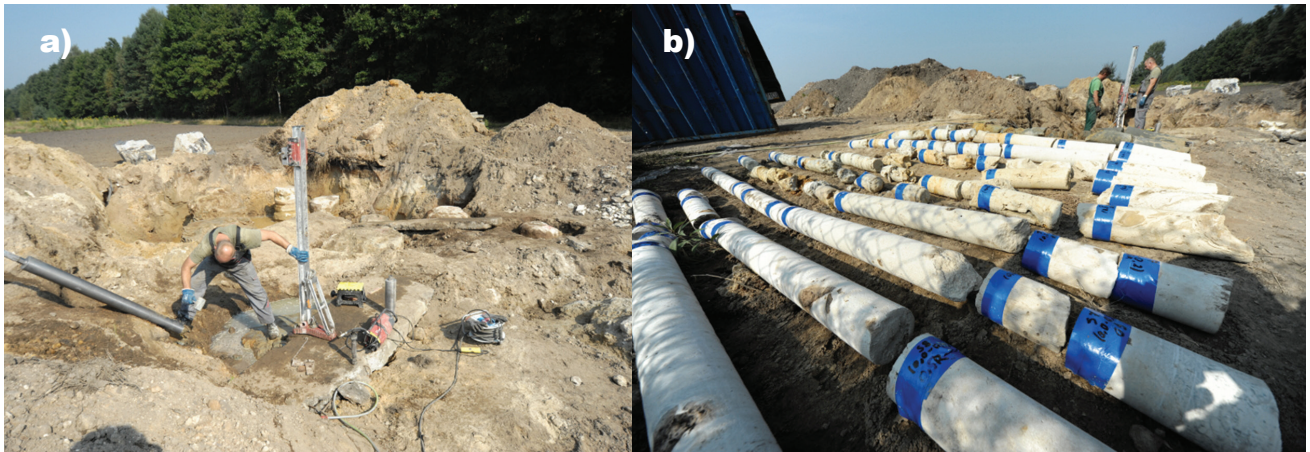
### Wnioski

Kolumny iniekcyjne wykonywane systemem pojedynczym charakteryzują się większymi uzyskiwanymi wartościami wytrzymałości tworzywa gruntowo-cementowego w stosunku do kolumn wykonywanych systemem podwójnym. Wyniki badań wskazują, iż jednym z powodów obserwowanej wyższej wartości wytrzymałości tworzywa gruntowo-cementowego materiału kolumn wykonanych systemem pojedynczym w stosunku do wytrzymałości tworzywa kolumn uzyskanego

Tab. 3. Zestawienie wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie tworzywa gruntowo-cementowego otrzymane w badaniach materiału kolumn wykonanych systemem pojedynczym oraz podwójnym [13]

| Stosunek $h/d$  | $h/d = 1,0$ ( $h=100$ mm, $d=100$ mm) |               | $h/d = 2,0$ ( $h=200$ mm, $d=100$ mm) |               |
|---|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|
|   | Pojedynczy (SF)                       | Podwójny (DF) | Pojedynczy (SF)                       | Podwójny (DF) |
| Jet grouting system                                       |                                       |               |                                       |               |
| Liczba próbek [-]   | 27                                    | 19            | 19                                    | 8             |
| Wytrzymałość średnia $f_m$ [MPa]                          | 9,2                                   | 2,3           | 9,7                                   | 0,9           |
| Odchylenie standardowe średniej wytrzymałości $S_m$ [MPa] | 1,1                                   | 0,4           | 1,1                                   | 0,1           |
| Współczynnik zmienności $C_v$ [%]                         | 39                                    | 65            | 30                                    | 25            |





Rys. 4 a) Pobieranie rdzeni z kolumn iniekcyjnych, b) inwentaryzacja rdzeni; źródło: fot. Lidia Wanik, 2016



Rys. 5. Badanie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie tworzywa gruntowo-cementowego; źródło: fot. Lidia Wanik, 2016

Tab. 4. Zestawienie wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie tworzywa gruntowo-cementowego otrzymanych w badaniach materiału kolumn iniekcyjnych [13]

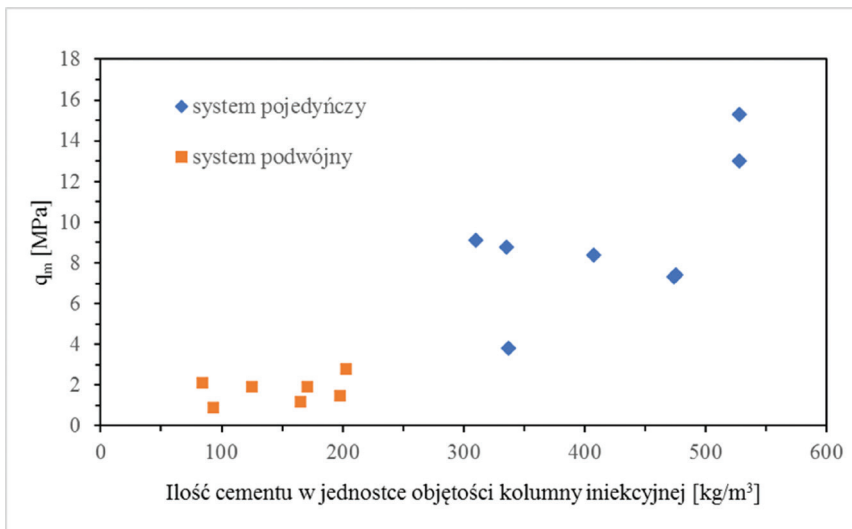
| System            | Nr kolumny | Ilość cementu w jednostce objętości kolumny [kg/m <sup>3</sup> ] | Średnia wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie [MPa] |
|-------------------|------------|--|---|
| System pojedynczy | 1S         | 474  | 7,3   |
|                   | 2S         | 337  | 3,8   |
|                   | 3S         | 528  | 15,3  |
|                   | 4S         | 407  | 8,4   |
|                   | 5S         | 475  | 7,4   |
|                   | 6S         | 310  | 9,1   |
|                   | 7S         | 528  | 13,0  |
|                   | 8S         | 335  | 8,8   |
| System podwójny   | 1D         | 198  | 1,5   |
|                   | 2D         | 165  | 1,2   |
|                   | 3D         | 203  | 2,8   |
|                   | 4D         | 171  | 1,9   |
|                   | 5D         | 125  | 1,9   |
|                   | 6D         | -  | -   |
|                   | 7D         | 84   | 2,1   |
|                   | 8D         | 93   | 0,9   |

w systemie podwójnym jest większa ilość cementu zawarta w jednostce objętości kolumny iniekcyjnej wyrażona w kg/m<sup>3</sup> (rys. 6., tab. 4.). Spostrzeżenie to zostało również potwierdzone badaniami składu mineralogicznego tworzywa gruntowo-cementowego (wykonano badania dyfrakcji rentgenowskiej, analizy termicznej, termogravimetrii oraz wykorzystano skaningowy mikroskop elektronowy), które szczegółowo przedstawiono i opisano w pracach [13, 17].

Równocześnie nie zauważono wpływu innego różnicowanego parametru technologicznego – prędkości obrotowej żerdzi iniekcyjnej  $\omega$  na uzyskiwane wartości wytrzymałości i wpływ ten określono jako pomijalny.

#### Bibliografia

- [1] Shibazaki M., 1996, State-of-the-art grouting in Japan. Grouting and Deep Mixing 2, s. 851–867.
- [2] Gökalp A., Düzceer R., 2002, Ground Improvement by jet grouting technique for foundations of a natural gas combined cycle power plant in Turkey. Ninth International Conference & Exhibition on Piling and Deep Foundations, DFI, Nicea, Francja.
- [3] Gwizdala K., Kościak P., 2005, Zastosowanie iniekcji strumieniowej do wzmocnienia posadowień istniejących obiektów budowlanych. Geoinżynieria drogi mosty tunele. nr 2, s. 52–57.
- [4] Stark T., Axtell P., Lewis J., Dillon J., Empson W., Topi J., Walberg J., 2009, Soil inclusion in jet grouting columns. DFI Journal Vol. 3 No.1 s. 33–44.



Rys. 6. Średnia wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie tworzywa gruntowo-cementowego w funkcji ilości cementu na jednostkę objętości kolumny iniekcyjnej [13]

[5] Bzówka J., 2009, Współpraca kolumn wykonywanych techniką iniekcji strumieniowej z podłożem gruntowym. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.  
 [6] Pęcyrzak J., Wanik K., 2013, Geoinżynierne wymagania dla głęboko posadowionych inwestycji w terenie zabudowanym. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta konstrukcji, Wisła, s. 35–48.  
 [7] Croce P., Flora A., Modoni G., 2014, Jet Grouting: Technology. Design and Control. Taylor & Francis Group, Londyn, Wielka Brytania. ISBN 978-0-415-52640-1.  
 [8] Ochmański M., Modoni G., Bzówka J., 2015, Numerical analysis of tunnelling with jet-grouted canopy, Soils and Foundations, Vol. 55, Issue 5, s. 929–942.  
 [9] Niock P.G.A., Chen J., Modoni G., Arulraiah A., Kim H.Y., 2018, A review of jet grouting practice and development. Arabian Journal of Geosciences 11, 459, <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3809-7>.  
 [10] Wanik L., Bzówka J., Modoni G., 2017, Badania terenowe kolumn iniekcyjnych. Geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 4, s. 30–35.  
 [11] Croce P., Flora A., 2000, Analysis of single-fluid jet grouting, Géotechnique nr 50 (6), s. 739–748.  
 [12] Modoni G., Croce P., Mongiovì L., 2006, Theoretical modeling of jet grouting, Géotechnique 56 (5), s. 335–347.  
 [13] Wanik L., 2016, Geometryczne i mechaniczne właściwości kolumn iniekcyjnych: badania doświadczalne i przewidywanie. Praca doktorska, Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, Katedra Geotechniki i Dróg, Gliwice.

[14] Toraldo C., 2016, Reliable definition of the characteristic strength of cement-treated soils by random field theory. Praca doktorska, Uniwersytet Cassino i Południowego Lazio, Włochy.  
 [15] PN-EN 12716:2019-01, Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Iniekcja strumieniowa.  
 [16] Geostandard, 2012, Dokumentacja geotechniczna określająca warunki gruntowo-wodne na polu doświadczenia w Bojszowach Nowych.  
 [17] Modoni G., Wanik L., Mascolo M. C., Salvatore E., Bzówka J., Shui-Long S., Daniele V., Pingue L., 2019, Strength of sandy and clayey soils cemented with single and double fluid jet grouting, Soils and Foundations, s. 942–954.  
 [18] Xanthakos P.P., Abramson L.W., Bruce D.A., 1994, Ground control and improvement, John Wiley & Sons.  
 [19] Bzówka J., 2001, Obliczeniowy model pala wykonanego techniką wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej (Jet-grouting). Praca doktorska, Politechnika Śląska, Wydz. Budownictwa, Katedra Geotechniki, Gliwice.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.9482

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA  
 Wanik Lidia, 2022, Wytrzymałość tworzywa gruntowo-cementowego kolumn iniekcyjnych jet grouting, „Builder” 9 (302). DOI: 10.5604/01.3001.0015.9482

**Streszczenie:** Technika iniekcji strumieniowej *jet grouting* jest powszechnie stosowaną metodą wzmacniania słabego podłoża gruntowego. W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych na jednoosiowe ściskanie tworzywa gruntowo-cementowego pobranego z próbných kolumn iniekcyjnych wykonanych w systemie pojedynczym i podwójnym *jet grouting*. Nie analizowano natomiast właściwości geometrycznych badanych kolumn. Wskazano i omówiono czynniki mające wpływ na otrzymane wartości wytrzymałości. Prezentowane wyniki uzyskano w trakcie badań wykonanych w ramach pracy doktorskiej Autorki [13].

**Słowa kluczowe:** *jet grouting*, kolumny iniekcyjne, system pojedynczy, system podwójny, wytrzymałość tworzywa gruntowo-cementowego

**Abstract: UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF JET GROUTING MATERIAL.** Jet grouting technology is a commonly used technique for subsoil improvement. The paper presents the results of unconfined compressive strength of jet grouted material. The material was taken from jet grouting trial columns using single and double fluid jet grouting system on the trial field. However, geometrical properties of tested columns were not analysed. Factors influencing the obtained strength values were indicated and discussed. The presented results were obtained as a part of the Author's doctoral dissertation [13].

**Keywords:** jet grouting, jet grouting columns, single fluid system, double fluid system, strength of jet grouted material

REKLAMA



## ENERGOPOM 2022

### XIV KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

Problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię

15-17 września 2022 KRAKÓW

Kampus Politechniki Krakowskiej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Główne grupy tematyczne:

- budownictwo, środowisko oraz ich zrównoważony rozwój
- jakość środowiska wewnętrznego i zewnętrznego
- rewitalizacja i termomodernizacja obiektów budowlanych
- energooszczędne systemy i materiały budowlane
- modelowanie energooszczędnych obiektów i projektowanie komputerowe
- odnawialne źródła i magazynowanie energii
- niskoenergetyczne i inteligentne instalacje budynków
- badania laboratoryjne oraz badania "in-situ"
- modelowanie informacji o budynku (BIM)
- wpływ rozwiązań termoizolacyjnych na akustykę budynków
- hałas i problemy akustyczne w budynkach energooszczędnych

Zapraszamy do udziału w konferencji

Szczegółowe informacje dotyczące konferencji i uczestnictwa znajdują Państwo na stronie

[www.energodom.eu](http://www.energodom.eu)

