

Znaczenie efektywnych wartości parametrów gruntu w określaniu nośności podłoża spoistego

Krzysztof Wilk

Katedra Geodezji i Geotechniki im. Kaspra Weigla, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, e-mail: kwilk@prz.edu.pl

Streszczenie: W pracy zaprezentowane zostały analizy wpływu wzrostu ciśnienia wody w porach gruntu (podczas wyznaczania parametrów wytrzymałościowych) na nośność podłoża spoistego określaną w oparciu o metodykę podaną w normie PN-EN-1997-1 [1]. Parametry służące określeniu wytrzymałości gruntu mogą być wyznaczane poprzez bezpośrednie badania (w aparacie trójosiowego ściskania) lub metodami pośrednimi. Wykorzystywane w poprzedniej normatywie PN-81/B-03020 [2] korelacje parametrów fizycznych i wytrzymałościowych odnoszą się do parametrów całkowitych – nie uwzględniając w jakiej części obciążenia przenoszone są przez wzrost ciśnienia wody w porach gruntu, a w jakiej przez szkielet gruntowy. Problem skuteczności rozpraszania nadmiernego ciśnienia wody w porach gruntu podczas obciążenia dotyczy zwłaszcza gruntów o drobnym uziarnieniu – gruntów spoistych. Brak jest zdefiniowanych zależności, które można wykorzystać przy pośrednim określeniu parametrów takich gruntów celem wyznaczenia nośności podłoża spoistego wg PN-EN-1997-1.

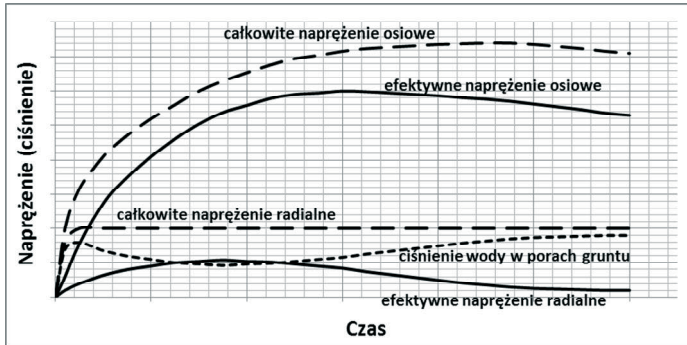
Słowa kluczowe: nośność podłoża, parametry efektywne, badania trójosiowe, normatywy

1. Wprowadzenie

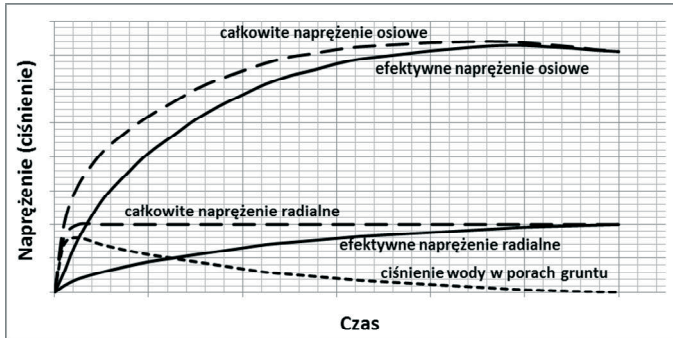
Wprowadzenie normy PN-EN-1997-1:2008 „Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne” [1] zmieniło w niektórych aspektach podejście do projektowania konstrukcji geotechnicznych, w tym również projektowania posadowień bezpośrednich. Nowa norma jest dosyć oszczędna w podawaniu szczegółów zalecanych metod kalkulacyjnych, skupiając się na ogólnych wskazówkach i zaleceniach dla projektantów obiektów budowlanych. Stało się to bezpośrednim przyczynkiem powstania szeregu publikacji opisujących nową metodykę projektowania [3, 4, 5], jak również analiz porównawczych nowych i wcześniej obowiązujących normatywów [6, 7]. Wspomniane zestawienia odnosiły się do określania nośności fundamentów bezpośrednich, gdyż jedynie w nawiązaniu do takich zagadnień podana w załączniku D normy [1] procedura jest jednoznaczna. W przytoczonych wcześniej analizach [6, 7] porównywana jest jednak nośność podłoża przy założeniu takich samych wartości parametrów wytrzymałościowych, kąta tarcia wewnętrznego i spójności gruntu. Tymczasem w obliczeniach prowadzonych w oparciu o PN-EN-1997-1:2008 [1] wykorzystywane powinny być efektywne wartości parametrów gruntu, natomiast we wcześniej obowiązującej normie PN-81/B-03020 [2] stosowane były parametry całkowite (pozorne). Ta „subtelna” różnica może mieć istotne znaczenie dla sprawdzanych warunków nośności podłoża pod fundamentami bezpośrednimi.

2. Znaczenie wzrostu ciśnienia wody w porach gruntu

Podstawowym sposobem określania parametrów wytrzymałościowych są badania wykonywane w aparacie trójosiowego ściskania. W wyniku obciążania próbki gruntu umieszczonej w komorze aparatu trójosiowego ściskania zwiększa się ciśnienie wody zawartej w porach gruntu. Intensywność zwiększania się tego ciśnienia zależy od stopnia nasycenia próbki, porowatości (uziarnienia) oraz lokalnych niejednorodności struktury gruntu. Jeżeli badanie prowadzone jest w warunkach bez odpływu, ciśnienie wody wraz ze wzrostem odkształcenia próbki wzrasta (rys. 1.). Na początku takiego badania często zauważalny jest intensywny wzrost wspomnianego ciśnienia spowodowany m. in. szybszym przyrostem odkształceń (wskutek przyłożenia obciążenia – zwłaszcza radialnego) oraz koncentracją wody w dolnej części próbki, a następnie jego częściowe zmniejszenie związane z przemieszczaniem się wody w porach. W przypadku umożliwienia odpływu wody z badanej próbki ciśnienie wody po początkowym wzroście cały czas maleje (rys. 2.).



Rys. 1. Schemat zmian wartości naprężenia działającego na próbkę gruntu oraz zmian wartości ciśnienia wody w porach gruntu podczas badania w aparacie trójosiowego ściskania gruntu spoiowego w warunkach bez odpływu



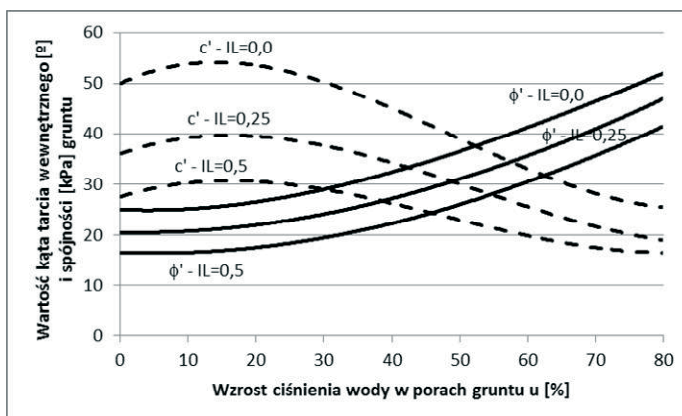
Rys. 2. Schemat zmian wartości naprężenia działającego na próbkę gruntu oraz zmian wartości ciśnienia wody w porach gruntu podczas badania w aparacie trójosiowego ściskania gruntu spoiowego w warunkach z odpływem

Parametry efektywne gruntu (kąta tarcia wewnętrznego, spójność) odnoszą się do wytrzymałości samego szkieletu gruntowego – obciążenia działające na próbkę należy zredukować o wartość ciśnienia wody zawartej w gruncie w momencie jej zniszczenia (rys. 1., rys. 2.). Równorzędne traktowanie zatem parametrów efektywnych i całkowitych jest zasadne jedynie w przypadku, gdy ciśnienie wody w badanej próbce będzie równe 0 – ich wartości będą wówczas takie same.

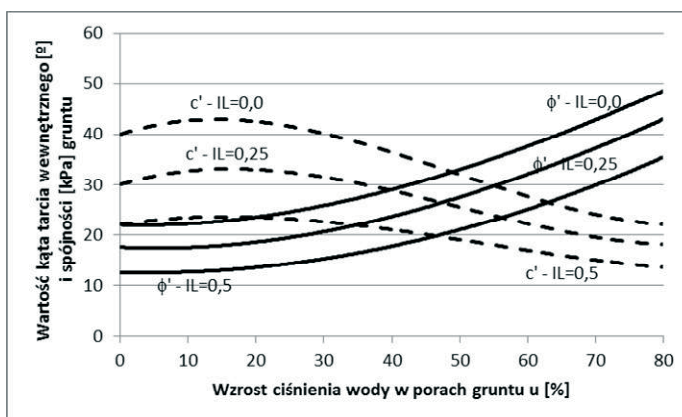
3. Wpływ wzrostu ciśnienia wody w porach gruntu na wartości parametrów wytrzymałościowych

Odptyw wody z próbek gruntów o większym uziarnieniu i tym samym większych wymiarach porów – gruntów niespoistych, podczas badań trójosiowych jest stosunkowo szybki, w związku z powyższym można założyć, że ciśnienie wody w trakcie badań rozproszy się całkowicie. Można tym samym uznać, że wartości parametrów całkowitych będą porównywalne (równe) z parametrami efektywnymi. Uzasadnia to wykorzystanie podanych w normie [2] zależności celem ustalenia nośności fundamentów bezpośrednich posadowionych na podłożu niespoistym według [1].

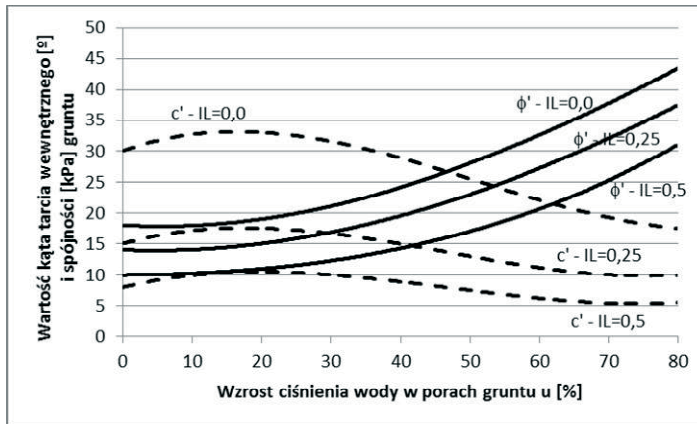
W odniesieniu do gruntów spoistych podobne rozumowanie nie ma uzasadnienia. W związku z powyższym przeprowadzone zostały analizy zróżnicowania wartości parametrów efektywnych względem całkowitych zależnie od poziomu ciśnienia wody w porach gruntu podczas hipotetycznych badań trójosiowych. Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono na rysunkach 3., 4., 5. i 6. Nawiązano w nich do zamieszczonych w uprzedniej normie [2] zależności pomiędzy fizycznymi i wytrzymałościowymi parametrami gruntów spoistych z uwzględnieniem ich podziału na podstawie genezy.



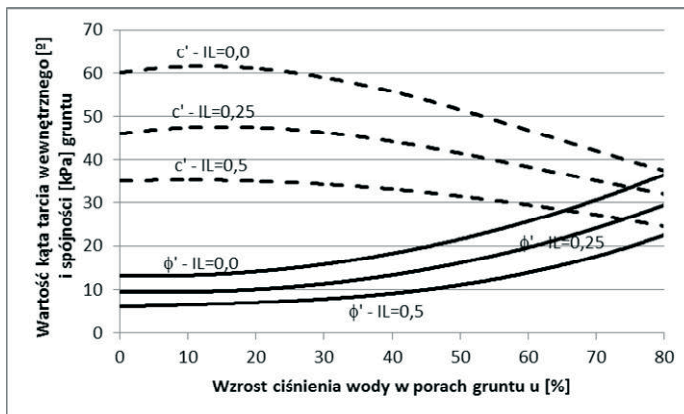
Rys. 3. Zmiany wartości parametrów wytrzymałościowych w zależności od udziału ciśnienia wody w porach gruntu w stosunku do radialnego obciążenia próbki dla gruntów o genezie A



Rys. 4. Zmiany wartości parametrów wytrzymałościowych w zależności od udziału ciśnienia wody w porach gruntu w stosunku do radialnego obciążenia próbki dla gruntów o genezie B



Rys. 5. Zmiany wartości parametrów wytrzymałościowych w zależności od udziału ciśnienia wody w porach gruntu w stosunku do radialnego obciążenia próbki dla gruntów o geniezie C



Rys. 6. Zmiany wartości parametrów wytrzymałościowych w zależności od udziału ciśnienia wody w porach gruntu w stosunku do radialnego obciążenia próbki dla gruntów o geniezie D

W przeprowadzonych wyżej analizach przyjęto, że wzrost ciśnienia wody w porach gruntu u jest proporcjonalny do całkowitego obciążenia radialnego działającego na próbkę badaną w aparacie trójosiowego ściskania. Zmiany wartości parametrów przedstawione zostały dla różnych wartości stopnia plastyczności, co stanowi nawiązanie do zależności proponowanych w normie PN-81/B-03020 [2].

Dla wszystkich typów podłoża wraz ze wzrostem ciśnienia wody w porach gruntu efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu zwiększa swoją wartość. Intensywność zmian tego parametru zauważalna jest szczególnie, gdy ciśnienie wody przekracza około 20% obciążenia radialnego próbek. Spójność efektywna w gruncie przy ciśnieniu wody mniejszym od około 15% rośnie, natomiast powyżej tej wartości maleje.

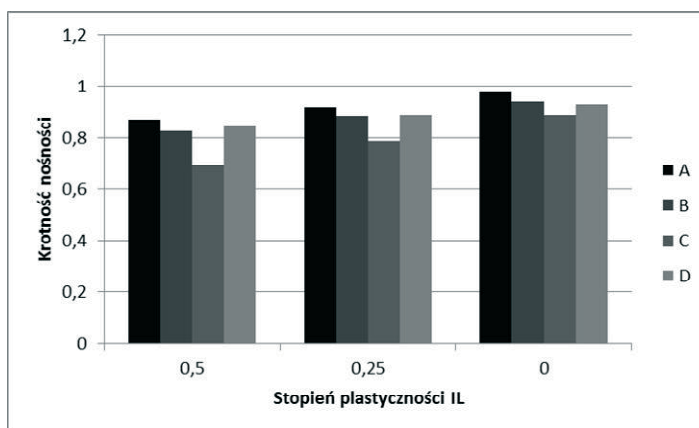
4. Nośność podłoża spoistego a wartości parametrów efektywnych

Poniżej przedstawione zostały wyniki analiz nośności podłoża gruntowego pod fundamentami bezpośrednimi, przeprowadzonych w oparciu o wartości parametrów określone jak w uprzednim rozdziale. Obliczenia wykonane zostały zgodnie z załącznikiem D normy PN-EN-1997-1 [1] i porównane z nośnością określoną w oparciu o PN-81/B-03020 [2].

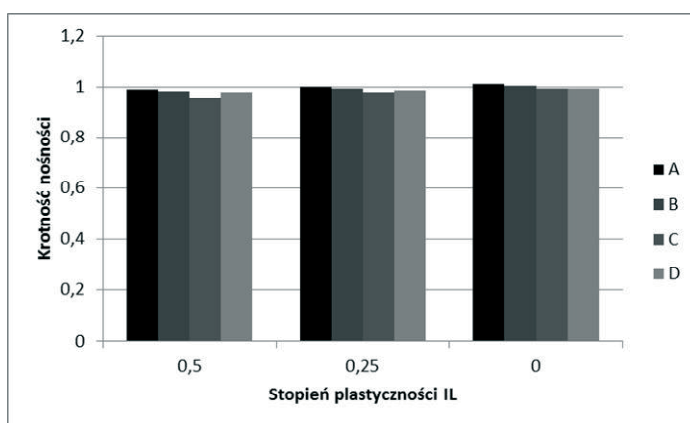
Kalkulacje według obu norm przeprowadzono na charakterystycznych wartościach parametrów gruntowych, bez uwzględniania współczynników częściowych również wobec nośności podłoża.

Analizy dotyczyły nośności pionowej podłoża pod fundamentem bezpośrednim w postaci stopy kwadratowej o wymiarach boków 1,0 x 1,0 m, posadowionej na głębokości 1,0 m, na gruncie o gęstości $2,0 \text{ t/m}^3$, przy braku mimośrodu przyłożenia wypadkowej obciążenia pionowego oraz braku obciążenia poziomego. Analizie poddano również nośność ławy fundamentowej o wymiarach 1,0 x 10,0 m, przy pozostałych założeniach identycznych z opisanymi wcześniej dla stopy.

Zaznaczyć należy, że nośność podłoża spoistego określana na parametrach charakterystycznych wg [2] jest w większości sytuacji większa niż określana wg [1] dla takich samych wartości parametrów. Dotyczy to zwłaszcza fundamentów o wymiarach kwadratowych lokalizowanych na słabszym podłożu (rys. 7., rys. 8.).



Rys. 7. Porównanie nośności fundamentu kwadratowego 1,0 x 1,0 m na podłożu spoistym obliczonej wg norm [1] i [2] przy braku wzrostu ciśnienia wody w porach gruntu



Rys. 8. Porównanie nośności fundamentu pasmowego 1,0 x 10,0 m na podłożu spoistym obliczonej wg norm [1] i [2] przy braku wzrostu ciśnienia wody w porach gruntu

Pomimo pozornych strat nośności podłoża przy założeniu równych wartości parametrów całkowitych i efektywnych gruntu, wraz z ewentualnym wzrostem ciśnienia wody w porach gruntu (podczas badania trójosiowego) zwiększa się w sposób wykładniczy nośność

określana według PN-EN-1997-1 [1] w oparciu o odpowiednie efektywne parametry wytrzymałościowe.

W tabeli 1. i tabeli 2. przedstawiono wyniki uzyskane dla gruntów spoistych o różnej przeszłości geologicznej oraz parametrach efektywnych ustalonych dla 4 różnych wartości ciśnienia wody w porach gruntu (wynoszących 0%, 20%, 50% oraz 80% obciążenia radialnego).

Tabela 1. Porównanie nośności fundamentu kwadratowego 1,0 x 1,0 m na podłożu spoistym, obliczonej wg norm [1] i [2] zależnie od wzrostu ciśnienia wody w porach gruntu

| Udział ciśnienia wody w porach badanego gruntu [%] | Symbol genezy geologicznej gruntu wg PN-81/B-03020 [2] | | | |
|--|--|--------|--------|-------|
| | A | B | C | D |
| Dla $I_L=0,00$ | | | | |
| 0 | 0,977 | 0,938 | 0,887 | 0,928 |
| 20 | 1,179 | 1,118 | 1,036 | 1,009 |
| 50 | 2,600 | 2,285 | 1,931 | 1,538 |
| 80 | 21,734 | 15,817 | 10,536 | 5,237 |
| Dla $I_L=0,25$ | | | | |
| 0 | 0,919 | 0,885 | 0,787 | 0,889 |
| 20 | 1,121 | 1,033 | 0,949 | 0,945 |
| 50 | 2,136 | 1,908 | 1,607 | 1,285 |
| 80 | 13,929 | 10,265 | 7,467 | 3,396 |
| Dla $I_L=0,50$ | | | | |
| 0 | 0,870 | 0,828 | 0,693 | 0,850 |
| 20 | 1,021 | 0,939 | 0,889 | 0,906 |
| 50 | 1,756 | 1,499 | 1,248 | 1,085 |
| 80 | 9,071 | 5,775 | 5,004 | 2,227 |

Tabela 2. Porównanie nośności fundamentu pasmowego 1,0 x 10,0 m na podłożu spoistym, obliczonej wg norm [1] i [2] zależnie od wzrostu ciśnienia wody w porach gruntu

| Udział ciśnienia wody w porach badanego gruntu [%] | Symbol genezy geologicznej gruntu wg PN-81/B-03020 [2] | | | |
|--|--|--------|--------|-------|
| | A | B | C | D |
| Dla $I_L=0,00$ | | | | |
| 0 | 1,011 | 1,005 | 0,995 | 0,994 |
| 20 | 1,210 | 1,187 | 1,153 | 1,074 |
| 50 | 2,619 | 2,373 | 2,089 | 1,568 |
| 80 | 23,137 | 17,013 | 11,568 | 5,119 |
| Dla $I_L=0,25$ | | | | |
| 0 | 1,001 | 0,994 | 0,979 | 0,987 |
| 20 | 1,209 | 1,152 | 1,170 | 1,046 |
| 50 | 2,250 | 2,065 | 1,936 | 1,372 |
| 80 | 15,167 | 11,226 | 8,962 | 3,433 |
| Dla $I_L=0,50$ | | | | |
| 0 | 0,991 | 0,982 | 0,958 | 0,980 |
| 20 | 1,154 | 1,106 | 1,212 | 1,039 |
| 50 | 1,930 | 1,713 | 1,674 | 1,213 |
| 80 | 10,014 | 6,506 | 6,585 | 2,359 |

Analiza zamieszczonych wyżej wyników prowadzi do następujących konkluzji:

- charakter zmian (wzrostu) nośności podłoża gruntowego jest znacznie bardziej intensywny, niż zmiany wartości efektywnych parametrów gruntu związane ze wzrostem ciśnienia wody w porach gruntu podczas wyznaczania tych parametrów,
- zaznacza się dominujący wpływ kąta tarcia wewnętrznego gruntu na nośność podłoża pod fundamentami bezpośrednimi – obserwowany zwłaszcza dla gruntów „mocniejszych” (skonsolidowanych, przy niskiej wartości stopnia plastyczności),
- im „słabsze” podłoże, tym mniejszy przyrost nośności jest zauważalny – spostrzeżenia te dotyczą zarówno zmian konsystencji gruntu, jak i jego skonsolidowania,
- wyjątki od powyższego stwierdzenia stanowią wyniki uzyskane dla gruntów nieskonsolidowanych o symbolu C, gdzie dla małych przyrostów ciśnienia wody w porach (20%) ze wzrostem wartości stopnia plastyczności zwiększają się proporcje przyrostu nośności podłoża.

Uwzględniając wszelkie współczynniki stosowane przy sprawdzaniu warunków nośności podłoża według normy PN-EN-1997-1 (współczynniki częściowe z zestawów A1, M1 i R2 dla podejścia obliczeniowego 2.) oraz normy PN-81/B-03020 (współczynniki obciążenia, materiałowe i współczynnik korekcyjny (metoda B)), zakładając równocześnie taką samą wartość parametrów wytrzymałościowych (całkowitych i efektywnych) należy zauważyć, że dla „mocniejszych” gruntów spoistych zapas nośności określony według obu norm jest podobny, natomiast dla podłoża słabszego większe „bezpieczeństwo” uzyskuje się prowadząc kalkulacje w oparciu o nowy normatyw. W związku z tym, zakładając iż rzeczywiste (efektywne) wartości parametrów szkieletu gruntowego mogą „korzystnie” odbiegać od powszechnie stosowanych parametrów całkowitych, należy stwierdzić, że niedoszacowanie nośności podłoża spoistego może być znacznie większe.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone wyżej analizy teoretyczne wykazały, że nieuwzględnianie wpływu ciśnienia wody w porach gruntu na wartości parametrów geotechnicznych może być przyczyną nieekonomicznych rozwiązań bezpośredniego fundamentowania obiektów budowlanych. Ten sam skutek powodować będzie wykorzystywanie dotychczasowych zależności korelacyjnych (zawartych w [2]) celem znalezienia parametrów podłoża spoistego. Takie zależności są wciąż wykorzystywane w znaczącej części dokumentacji geotechnicznych wykonywanych dla potrzeb inwestycji o mniejszym i średnim znaczeniu gospodarczym. Równocześnie w opracowaniach tych można spotkać się z zaleceniami, aby sprawdzenie nośności podłoża zostało przeprowadzone w oparciu o zapisy normy PN-EN-1997-1. Wytyczne takie stanowią sprzeczność, która nie zawsze zostaje zauważona przez projektantów.

Należy podkreślić potrzebę umożliwienia inżynierom pośredniego określania parametrów podłoża szczególnie dla przypadków inwestycji zakwalifikowanych do pierwszej oraz częściowo drugiej kategorii geotechnicznej. Oczywiście najlepszym sposobem wyznaczania parametrów podłoża są i pozostaną bezpośrednie badania prowadzone w laboratorium. Analizy takie są jednak dosyć skomplikowane i wymagają użycia zaawansowanej aparatury. Powoduje to, iż ich wyznaczanie jest kosztowne i czasochłonne, zwłaszcza w odniesieniu do gruntów spoistych. Sama norma Eurokod 7 [1], wskazując na zasadność sprawdzania nośności podłoża z wykorzystaniem efektywnych parametrów wytrzymałościowych nie wyklucza ich określania metodami pośrednimi.

Literatura

- 1 PN-EN-1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- 2 PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- 3 Wysokiński L., Kotlicki W., Godlewski T. Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2011.
- 4 Puła O. Projektowanie fundamentów bezpośrednich według Eurokodu 7. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2012.
- 5 Kotlicki W. Projektowanie posadowień bezpośrednich wg EC7. XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. Wisła, 17-20.03.2009 r., Wykłady T.1, PZITB Oddział Małopolski w Krakowie, Kraków, 2009, s. 205-245
- 6 Gosk W. Nośność podłoża gruntowego pod ławą fundamentową według Eurokodu 7 oraz PN-81/B-03020. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok, 2010, s. 127-130.
- 7 Nepelski K. Ocena nośności podłoża gruntowego pod fundamentem bezpośrednim w nawiązaniu do norm europejskich. Budownictwo i Architektura 12(3) 2013, Politechnika Lubelska, Lublin, 2013, s. 113-120.

The meaning of effective soil parameters for determining of the bearing capacity of cohesive soils

Krzysztof Wilk

Department of Geodesy and Geotechnics, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Rzeszow University of Technology, e-mail: kwilk@prz.edu.pl

Abstract: The paper presents the analysis of the bearing capacity of cohesive soils, which was calculated based on the PN-EN-1997-1 methodology. This computations take into account the effect of pore water pressure on the soil strength parameters. The parameters for calculating the strength of the soil can be determined by direct tests (triaxial apparatus) or by indirect methods. Used in the previous norm PN-81/B-03020 correlations of physical parameters and strength parameters relate to the total stress. They do not include, what part of the stress is carried by an increase the pore water pressure, and what part acts on the soil skeleton. The problem of dispersion efficiency of excessive the pore water pressure during load relates in particular the soils with the fine particle sizes - cohesive soils. There is no defined dependencies, which can be used in indirect determining the bearing capacity of cohesive substrate according to PN-EN-1997-1.

Keywords: bearing capacity, effective parameters, triaxial tests, norms