

Andrzej Batog, Maciej Hawrysz**

WARTOŚCI CHARAKTERYSTYCZNE PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH GRUNTÓW WYZNACZANE WEDŁUG EUROKODU 7

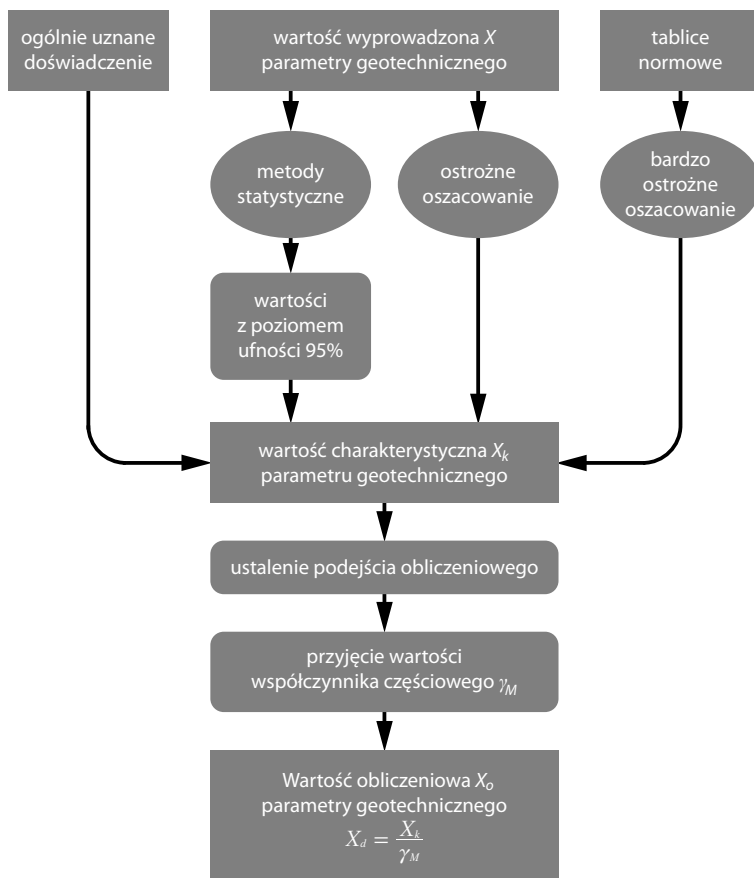
1. Wprowadzenie

Polskie wydanie Eurokodu 7 [1] wprowadziło szereg wytycznych dotyczących sposobów ustalania wartości parametrów geotechnicznych gruntów, zarówno obliczeniowych jak i charakterystycznych. Uwagę zwraca fakt, iż niektóre z nich znacząco odbiegają od zapisów zawartych w obecnie stosowanej polskiej normie dotyczącej fundamentowania PN-81/B-03020 [3]. Ponadto znaczna część z zapisów EC7 dotyczących sposobu ustalania wartości parametrów charakterystycznych gruntów ma charakter bardzo ogólnikowy, dopuszczający dużą dowolność w ich interpretacji, szczególnie w przypadkach, gdy wartości parametrów wyznacza się w oparciu o niewielki liczebnie zbiór wyników. W niniejszym opracowaniu przedstawiono i przedyskutowano procedury ustalania wartości charakterystycznych zgodnie z EC7, które można zastosować w praktyce inżynierskiej.

2. Ogólne zasady ustalania wartości charakterystycznych parametrów według EC7

Przepisy europejskie (EC7) przy definiowaniu wartości charakterystycznych i reprezentatywnych parametrów geotechnicznych odwołują się do zapisów normy EN 1990:2002 [2], według której jeśli niższa wartość parametru jest mniej niekorzystna to wartość charakterystyczna powinna odpowiadać 5% kwantylowi, a jeśli mniej korzystna jest wyższa wartość parametru to wartość charakterystyczna winna odpowiadać 95% kwantylowi. Podane są trzy różne podejścia do wyznaczenia wartości charakterystycznych, których zastosowanie przedstawiono schematycznie

* Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław



Rys. 1. Podejścia do wyznaczenia wartości charakterystycznych i obliczeniowych wg EC7

na rysunku 1. Można tu zauważyć pewne podobieństwa do trzech normowych metod wyznaczania wartości parametrów charakterystycznych podanych w normie PN-81/B-03020 [3].

Najmniej dokładnym sposobem jest ustalenie wartości parametrów charakterystycznych w oparciu o „ogólnie uznane doświadczenie”, który jest analogiczny z metodą C według normy [3], która polega na przyjęciu wartości parametrów określonych na podstawie praktycznych doświadczeń w podobnych warunkach gruntowo-wodnych dla budowli o podobnej konstrukcji i zbliżonych obciążeniach.

Inną możliwością podaną przez EC7 jest przyjęcie wartości charakterystycznej parametru geotechnicznego w oparciu o tabele normowe. Wymagane jest przyjęcie „wartości możliwie najbezpieczniejszych”, nie definiując jednak znaczenia takiego sformułowania. Podejście to jest zbliżone do metody B zamieszczonej w normie [3], w której wartości parametrów dobierane są na podstawie ustalonych zależności korelacyjnych między poszukiwanymi parametrami fizycznymi lub wytrzymałościowymi a innym parametrem wyznaczonym metodami laboratoryjnymi lub polowymi (tzw. parametrem wiodącym, np. stopniem plastyczności I_L lub stopniem zagęszczenia I_D).

Najdokładniejszym podejściem dopuszczonym przez EC7 jest zastosowanie metod statystycznych do oceny wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych, opartych na niezdefiniowanym dokładniej przez EC7 liczebnie zbiorze N wyników badań wartości parametru geotechnicznego. Podejście takie jest podobne do metody wg normy [3], według której za wartość charakterystyczną przyjmuje się średnią arytmetyczną z co najmniej 5 oznaczeń danego parametru w każdej wydzielonej warstwie geotechnicznej. Norma [3] dla metody A wprowadza metody statystyczne dopiero na etapie wyznaczania wartości obliczeniowych parametrów, podając sposób określenia współczynnika materiałowego γ_m .

Istotną niedogodnością stosowania zaleceń EC7 jest brak bardziej szczegółowych wytycznych dla ustalania wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych z zastosowaniem metod statystycznych. W przypadku dużej liczebności N zbioru wyników (najczęściej wymagana jest liczebność $N > 30$) można zastosować najczęściej przyjmowany rozkład normalny, dla którego wartość charakterystyczną parametru podaje wzór:

$$X_k = m_x \mp k_N s_x \quad (1)$$

gdzie:

- m_x — wartość średnia parametru X ,
- k_N — współczynnik zależny od liczebności zbioru wyników N ,
- s_x — odchylenie standardowe.

Niestety tak komfortowa sytuacja w praktyce inżynierskiej jest stosunkowo rzadka, z reguły liczebność zbioru oznaczeń N jest znacznie niższa. W związku z tym konieczne jest dostosowanie do wymogów EC7 metod ustalania wartości parametrów przy niewielkiej liczebności zbioru oznaczeń. Poniżej przedstawiono kilka metod postępowania, możliwych do zastosowania w praktyce inżynierskiej.

3. Wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych przy małej liczbie oznaczeń

Zapis w normie EC7 stanowi, iż wartość charakterystyczna parametru geotechnicznego ustalana metodami statystycznymi winna być wyznaczona z prawdopodobieństwem nie większym niż 5% wystąpienia mniej korzystnej wartości, decydującej o powstaniu rozpatrywanego stanu granicznego.

„Czyste” podejście statystyczne winno być stosowane dla dostatecznie liczebnych zbiorów danych ($N \geq 30$), jednakże przyjmuje się również możliwość stosowania takiego podejścia już od liczebności $N \geq 13$ [4]. Zastosowanie wzorów (1) dla zbiorów o liczebności $N < 13$ przy znacznej rozpiętości danych może prowadzić do nieakceptowalnie niskich ocen wartości charakterystycznej parametru dla zastosowań inżynierskich. Możliwe jest jednakże dokonanie miarodajnych oszacowań tychże wartości za pomocą kilku opisanych niżej procedur.

3.1. Metoda pierwszej i czwartej ćwiartki

W przypadku, gdy zbiór wartości jest niewielki, najprostszą metodą oszacowania wartości charakterystycznej jest przybliżona metoda, zwana metodą pierwszej ćwiartki (jeśli bardziej korzystną jest wartość mniejsza od średniej), w której poszukiwaną wartość określa wzór:

$$X_k = \frac{m_x + X_{\min}}{2} \quad (2)$$

gdzie:

m_x — wartość średnia parametru X ,

X_{\min} — wartość minimalna parametru w zbiorze.

Natomiast w przypadku, gdy bardziej korzystnym oszacowaniem jest większa wartość parametru niż wartość średnia, można zastosować metodę czwartej ćwiartki według wzoru:

$$X_k = \frac{m_x + X_{\max}}{2} \quad (3)$$

gdzie:

X_{\max} — wartość maksymalna parametru w zbiorze.

3.2. Oszacowania Schneidera

Schneider [4] podał bardziej złożony sposób oszacowania wartości charakterystycznej dla ograniczonego zbioru wartości, opisany wzorem:

$$X_k = m_x \mp \frac{s_x}{2} \approx \left(\frac{X_{\min} + 4X_{\text{mod}} + X_{\max}}{6} \right) \mp \frac{1}{2}(X_{\min} - X_{\max}) \quad (4)$$

gdzie:

X_{\min}, X_{\max} — wartość minimalna i maksymalna parametru X w zbiorze wartości,

X_{mod} — wartość modalna (najbardziej oczekiwana) parametru X .

Dla zbiorów o niewielkiej liczbie, z reguły różnych wartości, o niesymetrycznym rozkładzie, jako wartość modalną parametru można przyjąć następujące oszacowanie $X_{\text{mod}} = 3Me - 2s_x$, gdzie Me to mediana zbioru a s_x — odchylenie standardowe.

W tej formule założono, iż wartości minimalna i maksymalna parametru X znajdują się w odległości trzech odchylen standardowych s_x poniżej i powyżej wartości średniej m_x . Opisaną metodę można stosować dla przypadków, gdy poszczególne próbki gruntowe mogą być traktowane jako niezależne. W praktyce oznacza to, iż odległości ich poboru muszą być

większe niż „odległość autokorelacji”, która szacunkowo wynosi 0,2–2,0 m w pionie oraz 20–100 m w poziomie, w zależności od rodzaju gruntu [4, 5].

3.3. Zastosowanie procedury aktualizacji rozkładu a posteriori

Sposobem na zwiększenie dokładności analizy statystycznej niewielkiego zbioru danych jest zastosowanie procedury aktualizacji rozkładu a posteriori (ang. *Bayesian updating*) [6], w której łączy się wstępną wiedzę dotyczącą analizowanego parametru (np. pochodzącą z danych literaturowych, doświadczeń, archiwalnych dokumentacji itd.) oraz pozyskane wyniki badań tego parametru w konkretnym zagadnieniu. Zmodyfikowane wartości średniej i odchylenia standardowego określają poniższe wzory [6]:

$$m_x' = \frac{m_x + \frac{1}{N} \left(\frac{s_x}{\sigma_x} \right)^2 \mu_x}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{s_x}{\sigma_x} \right)^2} \quad (5)$$

$$s_x' = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} (s_x)^2}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{s_x}{\sigma_x} \right)^2}} \quad (6)$$

gdzie:

m_x oraz s_x — średnia oraz odchylenie standardowe pomierzone,

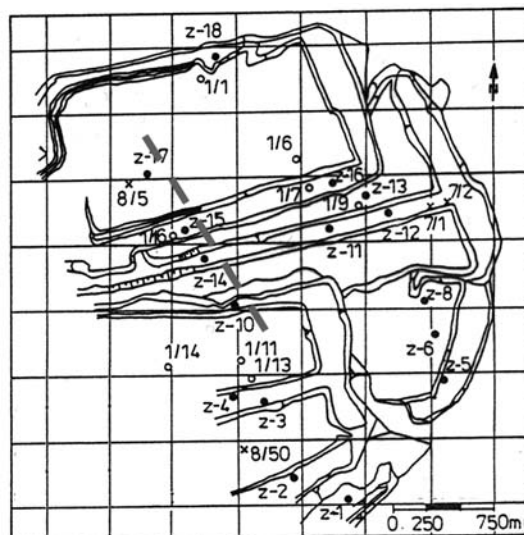
μ_x oraz σ_x — średnia oraz odchylenie standardowe prognozowane na podstawie dodatkowych danych, głównie literaturowych oraz pochodzących z praktyki inżynierskiej i laboratoryjnej.

Wartość charakterystyczną parametru wyznacza się na podstawie wyżej zdefiniowanych zmodyfikowanych parametrów:

$$X_k = m_x' \mp \frac{s_x'}{2} \quad (7)$$

4. Przykład obliczeniowy

Przedstawione powyżej procedury zastosowano do wyznaczenia parametrów geotechnicznych wydzielonej warstwy spoistych gruntów zwałowych, których badania przeprowadzono w 1993 r. [7] na próbkach pobranych z otworów badawczych wykonanych na terenie południowo-wschodniej części zwałowiska zewnętrznego KWB Turów S.A. Do analizy przyjęto serię wyników uzyskanych z trzech otworów badawczych, których lokalizację podano na rysunku 2.



Rys. 2. Lokalizacja przekroju geotechnicznego oraz otworów badawczych na obszarze zwałowiska zewnętrznego KWB Turów S.A.

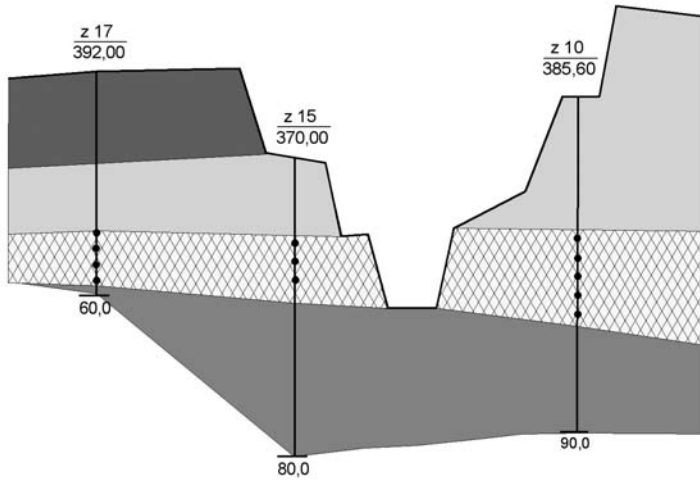
Seria obejmowała 12 próbek twardoplastycznych i półzwardłych gruntów zwałowych o składzie granulometrycznym odpowiadającym ilom oraz ilom piaszczystem z domieszką lignitu, których wyniki badań laboratoryjnych zamieszczono w tabeli 1. Położenie wydzielonej warstwy gruntów zwałowych pokazano na przekroju (rys. 3).

TABELA 1

Zestawienie wyników badań wydzielonej warstwy gruntów zwałowych

symbol otworu	głębokość poboru próby z	stopień plastyczności I_L	ciężar objętościowy γ	wskaznik plastyczności I_P
	m ppt	—	kN/m ³	%
z17	40	0,00	20,4	20,6
	45	0,21	18,5	17,4
	50	0,00	19,5	19,5
	55	0,11	18,9	25,8
z15	25	0,39	16,0	20,6
	30	0,22	19,2	18,4
	35	< 0	20,4	14,0
z10	35	< 0	19,4	23,7
	40	< 0	16,9	18,6
	45	< 0	17,1	10,7
	50	< 0	18,3	31,2
	55	< 0	19,1	19,8

Odległości pionowe i poziome między próbkami były znacząco większe od „odległości autokorelacji”, zatem nie występowały przeszkody w zastosowaniu procedur przedstawionych w niniejszym artykule.



Rys. 3. Przekrój geotechniczny z położeniem wydzielonej warstwy gruntów (oznaczona szrafurą) oraz lokalizacją miejsc poboru prób gruntu

Obliczenia przeprowadzono dla ciężaru objętościowego gruntu, wyznaczając wartości charakterystyczne za pomocą opisanych powyżej metod. Jako wartość bardziej niekorzystną (np. na potrzeby analizy stateczności) przyjęto wartość większą. Dla zbioru danych o liczebności $N = 12$ uzyskano:

- Wartość średnia: $m_\gamma = \frac{\sum \gamma}{N} = 18,64 \frac{kN}{m^3}$
- Odchylenie standardowe: $s_\gamma = \sqrt{\frac{\sum (\gamma - m_\gamma)^2}{N - 1}} = 1,37 \frac{kN}{m^3}$
- Współczynnik zmienności: $V_\gamma = s_\gamma / m_\gamma = 0,073$. Wartość ta jest mniejsza od wartości minimalnej współczynnika zmienności wynoszącej 0,1, zatem przyjęto $V_\gamma = 0,1$,
- Wobec zmiany wartości współczynnika zmienności należy odpowiednio skorygować wartość odchylenia standardowego: $s_\gamma = V_\gamma m_\gamma = 1,86 \frac{kN}{m^3}$,
- Dla rozkładu t-Studenta przy wymaganym przez EC7 poziomie ufności 95% oraz dla $N - 1$ liczbie stopni swobody wartość kwantyla: $t_{95}(N - 1) = 1,796$,
- Wartość współczynnika statystycznego wynosi: $k_N = \frac{t_{95}(N - 1)}{\sqrt{N}} = 0,518$
- Wartości charakterystyczne parametru geotechnicznego:
 - a) Przy przyjęciu rozkładu prawdopodobieństwa opisanego rozkładem t-Studenta:

$$\gamma_k = m_\gamma + k_N s_\gamma = 19,60 \frac{kN}{m^3}$$

b) Dla metody czwartej ćwiartki: $\gamma_k = \frac{m_\gamma + \gamma_{\max}}{2} = 19,52 \frac{kN}{m^3}$

c) Oszacowanie Schneidera (3):

$$\gamma_k = \left(\frac{\gamma_{\min} + 4[(Me - 2s)_\gamma] + \gamma_{\max}}{6} \right) + \frac{1}{2}(\gamma_{\max} - \gamma_{\min}) = 21,41 \frac{kN}{m^3}$$

d) Procedura aktualizacji rozkładu

Potrzebne wartości średniej μ_x oraz odchylenia standardowego σ_x , które są prognozowane na podstawie dodatkowych danych, w tym przypadku przyjęto na podstawie danych archiwalnych analizy statystycznej całości spoistych utworów nadkładowych odkrywki KWB Turów. Przyjęto następujące wartości archiwalne $\mu_\gamma = 17,11 \text{ kN/m}^3$ oraz $\sigma_\gamma = 1,167 \text{ kN/m}^3$ określone na podstawie badań 50 prób gruntów zwałowych. Na tej podstawie obliczono:

$$s_{\sigma^2} = 18,48 \frac{kN}{m^3}$$

$$s_{\gamma'} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N}(s_\gamma)^2}{1 + \frac{1}{N}\left(\frac{s_\gamma}{\sigma_\gamma}\right)^2}} = 0,38 \frac{kN}{m^3}$$

$$X_k = \frac{m_\gamma' + s_{\gamma'}}{2} = 18,67 \frac{kN}{m^3}$$

5. Wnioski

Analiza zapisów dotyczących ustalania wartości charakterystycznych i obliczeniowych parametrów geotechnicznych, zawarta w podstawowym europejskim akcie normatywnym Eurokod 7, wykazuje znaczną dowolność w ich interpretacji oraz brak sprecyzowania istotnych dla praktyki inżynierskiej pojęć.

Przedstawione w pracy procedury ustalania charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych, przy dużej liczbie danych, nie wnoszą wątpliwości co do sposobu ich realizacji metodami statystycznymi.

Znaczącym problemem jest natomiast przyjęcie do praktyki inżynierskiej technicznie dopuszczalnej metody ustalania wartości reprezentatywnej parametru geotechnicznego w przypadku małej liczby zbioru danych wejściowych.

Z przytoczonego przykładu obliczeniowego wynika, że skrajnych oszacowań parametru dostarczają procedura aktualizacji rozkładu (wartość minimalna) i oszacowanie Schneidera (wartość maksymalna). Natomiast oszacowane wartości reprezentatywne z wykorzystaniem rozkładu t-Studenta i metody IV ćwiartki lokują się mniej więcej w środku przedziału zmienności badanego parametru ustalonego poprzednimi metodami.

LITERATURA

- [1] PN-EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
- [2] EN 1990:2002 Eurocode: Basis of structural design
- [3] PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli
- [4] *Schneider H.R.*: Definition and Determination of Characteristic Soil Properties. 12th Int. Conf. of Soil Mech. and Found. Engineering, Balkema, Hamburg 1997
- [5] *Bond A., Harris A.*: Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis Group, London 2008
- [6] *Ang A.H., Tang W.H.*: Probability Concepts in Engineering: Emphasis on Applications in Civil and Environmental Engineering. J. Willey and Sons Ltd., London 2006
- [7] *Suchnicka H., Hawrysz M.*: Physical and Strength Properties of Waste Material a Case Study. 4th Int. Symposium on the Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Univ. Agric., Krakow 1993