

Jacek PIECZYRAK

WSPÓŁCZYNNIKI KSZTAŁTU UWZGLĘDNIAJĄCE WPŁYW PRZESTRZENNEJ
PRACY PODŁOŻA GRUNTOWEGO NA JEGO NOSNOŚĆ GRANICZNĄ

Streszczenie. W artykule przedstawiono listę 17 różnych propozycji wyrażania współczynników kształtu. Szczegółowej analizie numerycznej poddano współczynniki kształtu wyrażające stanowisko Terzaghi'ego (1943), Džrkena (1969), Vesiča (1975), Dembickiego (1979) oraz normy PN-81/B-03020. Stwierdzono, iż odmienna postać współczynników kształtu nie prowadzi do istotnych różnic w ocenie nośności granicznej podłoża obciążonego fundamentem o podstawie kwadratowej.

Obliczanie nośności granicznej podłoża gruntowego fundamentu o podstawie kwadratowej jest zadaniem przestrzennym, dwukrotnie statycznie niewyznaczalnym i jako takie nie doczekało się rozwiązania ścisłego. Dla potrzeb praktyki projektowej udało się znaleźć przybliżone rozwiązanie zadania płaskiego stanu odkształcenia - dla łań fundamentowych i zadania osiowo-symetrycznego - dla fundamentów o podstawie kołowej.

Wszystkie rozwiązania określające nośność graniczną podłoża gruntowego łań fundamentowych mają wspólną postać kanoniczną zaproponowaną najpierw przez Terzaghi'ego [14] :

$$q_{gr} = c \cdot N_c + \gamma_D \cdot D \cdot N_D + \gamma_B \cdot B \cdot N_B \quad (1)$$

Różnice między poszczególnymi metodami tkwią w inaczej ujętych współczynnikach nośności N_c , N_D i N_B . W Polsce przyjęło się stosować rozwiązanie Sokołowskiego [13].

Rozwiązanie zadania osiowo-symetrycznego również wyraża się wzorem o postaci (1). Jednak rozwiązania te są mniej liczne i mniej powszechne od rozwiązań zadania płaskiego stanu odkształcenia. Jedną z takich metod jest np. metoda Bieriezancewa [1], która była przedmiotem rozważań poprzedniej pracy autora [9].

Zwykle wartość nośności granicznej podłoża gruntowego fundamentów o podstawie kwadratowej oblicza się z półempirycznego wzoru o postaci:

$$q_{gr} = c \cdot N_c \cdot f_c + \gamma_D \cdot D \cdot N_D \cdot f_D + \gamma_B \cdot B \cdot N_B \cdot f_B \quad (2)$$

Tablica 1

Różne propozycje wyrażania współczynników kształtu

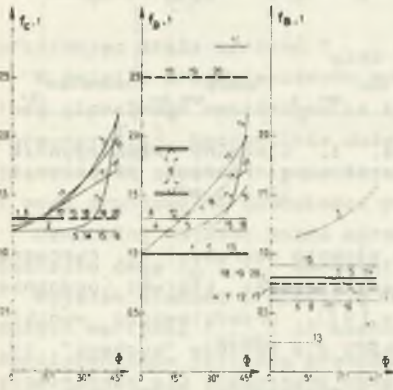
A u t o r		Lp.	f_C	f_D	f_B
TERZAGHI 1943; [14]		1	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	1	$1 - 0,2 \frac{B}{L}$
BRINCH HANSEN 1961; [2] s.347		2	$1 + (0,2 + \operatorname{tg}^6 \phi) \frac{B}{L}$	f_C dla $\phi = 0^\circ$ f_C dla $\phi \geq 25^\circ$	$1 - (0,2 + \operatorname{tg}^6 \phi) \frac{B}{L}$
MEYERHOF 1963; [6] s.264		3	$1 + [0,2 \operatorname{tg}^2(45 + \frac{\phi}{2})] \frac{B}{L}$	$1 + [0,1 \operatorname{tg}^2(45 + \frac{\phi}{2})] \frac{B}{L}$	dla $\phi = 0^\circ$ dla $\phi > 10^\circ$
BRINCH HANSEN 1966; [7] s.257		4		$1 + 0,2 \frac{B}{L}$	$1 - 0,3 \frac{B}{L}$
TERZAGHI, PECK 1967; [15] s.223		5	$1 + 0,2 \frac{B}{L}$	1	$1 - 0,2 \frac{B}{L}$
SCHULTZE 1967; [12] s.20		6	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	$1 - 0,4 \frac{B}{L}$
DÖRKEN 1969; [3] s.142		7	$\frac{f_D \cdot N_D - 1}{N_D - 1}$	$1 + (\sin \phi) \frac{B}{L}$	$1 - 0,3 \frac{B}{L}$
BRINCH HANSEN 1970; [5] s.97		8		$1 + (\sin \phi) \frac{B}{L}$	$1 - 0,4 \frac{B}{L}$
WEISS 1973; [16] s.39		9		$1 + \beta \cdot \frac{B}{L}$ $0,5 \leq \beta \leq 0,9$	$1 - \frac{1}{3} \frac{B}{L}$
porównaj [5] s.97		10		$1 + 1,76 \frac{B}{L}$ dla $30^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$	$1 - \frac{1}{3} \frac{B}{L}$
VESIČ 1975; [4] s.129		11	$1 + \frac{N_D}{N_C} \cdot \frac{B}{L}$	$1 + (\operatorname{tg} \phi) \frac{B}{L}$	$1 - 0,4 \frac{B}{L}$
DEMBICKI 1979; [3] s.141		12	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	$1 - 0,3 \frac{B}{L}$
normy lub akty normalatywne wg [8] s.16	Francja	13	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	1	$\frac{1}{2(1 + \frac{B}{L})}$
	CSRS	14	$1 + 0,2 \frac{B}{L}$	$1 + (\sin \phi) \frac{B}{L}$	$1 - 0,2 \frac{B}{L}$
	Węgry	15	$1 + 0,2 \frac{B}{L}$	$1 + 0,2 \frac{B}{L}$	$1 - 0,1 \frac{B}{L}$
	Dania	16	$1 + 0,2 \frac{B}{L}$	$1 + 0,2 \frac{B}{L}$	$1 - 0,4 \frac{B}{L}$
	RFN	17	$\frac{f_D \cdot N_D - 1}{N_D - 1}$	$1 + (\sin \phi) \frac{B}{L}$	$1 - 0,3 \frac{B}{L}$
	NRD	18	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	$1 + 1,5 \frac{B}{L}$	$1 - 0,25 \frac{B}{L}$
	ZSRR	19	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	$1 + 1,5 \frac{B}{L}$	$1 - 0,25 \frac{B}{L}$
PN-81/B-03020		20	$1 + 0,3 \frac{B}{L}$	$1 + 1,5 \frac{B}{L}$	$1 - 0,25 \frac{B}{L}$

Wzór (2) uzyskano ze wzoru (1) przez wprowadzenie współczynników kształtu f_c , f_D i f_B , ustalonych na drodze badań eksperymentalnych. Obliczanie nośności granicznej podłoża gruntowego fundamentu o podstawie kwadratowej na podstawie rozwiązań uzyskanych dla fundamentów o podstawie kołowej nie przyjęło się.

W niniejszym artykule zajmujemy się różnymi, bardziej znanymi, postaciami relacji wyrażających współczynniki kształtu f_c , f_D i f_B .

Lista propozycji w tym zakresie jest już dość obszerna i nadal się powiększa. W tabelicy 1 zestawiono ważniejsze, zdaniem autora, propozycje. Natomiast na rys. 1 pokazano graficzny obraz współczynników f_c , f_D i f_B .

Na rys. 1 wyróżniono stanowisko normy gruntowej PN/B-03020: poprzednie - gruba linia ciągła i obecne - gruba linia przerywana.



Rys. 1. Wykresy współczynników kształtu f_c , f_D i f_B (numeraacja krzywych wg tabelicy 1)

W celu dogodniejszej oceny różnych metod dokonano analizy porównawczej wykonanej dla konkretnych przypadków podłoża gruntowego i geometrii posadowienia. Rozważono tu tych samych 6 przypadków podłoża gruntowego i te same 2 warianty występowania wody gruntowej, które przedstawiono i opisano w pracy [9].

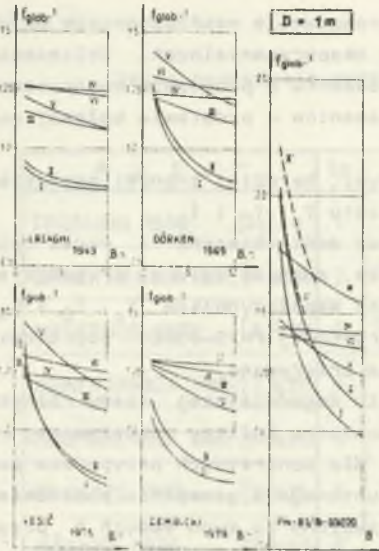
Analizie porównawczej poddano propozycję Terzaghi'ego (1943), Dörkena (1969), Vesiča (1975), Dembickiego (1979) i normy PN-81/B-03020. Dwie z tych propozycji, Dörkena i Vesiča, uzależniają wartości współczynników kształtu od kąta tarcia wewnętrznego gruntu φ (rys. 1).

Jako miarę pozwalającą określić różnice wynikające ze stosowania odmiennych współczynników kształtu f_c , f_D i f_B wprowadza się pojęcie globalnego współczynnika kształtu f_{glob} , zdefiniowanego następująco:

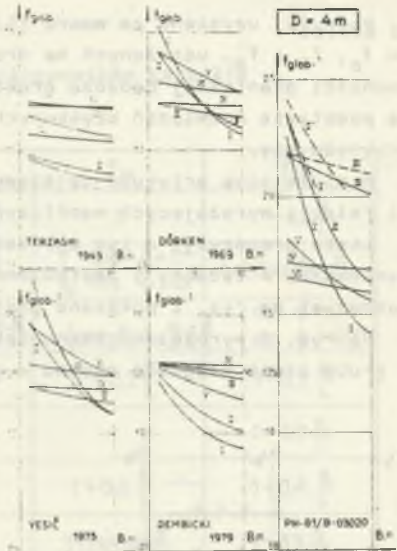
$$f_{glob} = \frac{c \cdot N_c \cdot f_c + \gamma_D \cdot D \cdot N_D \cdot f_D + \gamma_B \cdot B \cdot N_B \cdot f_B}{c \cdot N_c + \gamma_D \cdot D \cdot N_D + \gamma_B \cdot B \cdot N_B} \quad (3)$$

Jak wynika ze wzoru (3), wartość f_{glob} określa, o ile nośność graniczna podłoża gruntowego fundamentu o podstawie kwadratowej (2) - według danej propozycji odnośnie do f_c , f_D i f_B , jest większa od nośności granicznej podłoża gruntowego fundamentu ławowego wg Sokołowskiego (1).

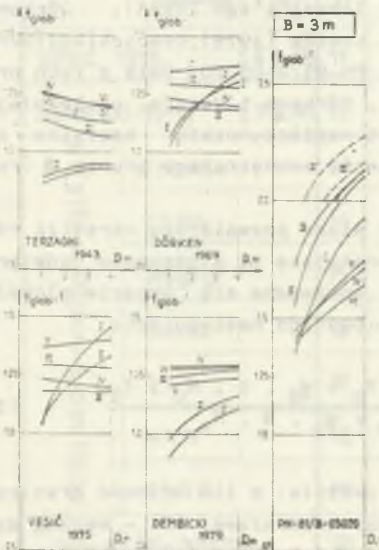
Na rysunkach 2, 3 i 4 przedstawiono wartości f_{glob} uzyskane dla owych 5 wyżej wybranych metod ustalania nośności granicznej podłoża gruntowego obciążonego fundamentem o podstawie kwadratowej. Na rysunkach tych poka-



Rys. 2. Globalny współczynnik kształtu wg różnych propozycji ($D = 1 \text{ m}$)



Rys. 3. Globalny współczynnik kształtu wg różnych propozycji ($D = 4 \text{ m}$)



Rys. 4. Globalny współczynnik kształtu wg różnych propozycji ($B = 3 \text{ m}$)

zono głównie wykresy f'_{glob} rysowane liniami ciągłymi, którymi (podobnie jak w [9]) przedstawiono wyniki, uzyskane dla podłoża "suchego", tj. bez wody gruntowej. Dla odróżnienia oznaczmy przez f'_{glob} wartość globalnego współczynnika kształtu uzyskanego dla przypadku, gdy piezometryczny poziom wody gruntowej pokrywa się z poziomem posadowienia. Wyniki przeprowadzonych badań numerycznych wskazują, iż zawsze $f'_{glob} > f_{glob}$. Jednak różnice ($f'_{glob} - f_{glob}$) w większości przypadków okazały się na tyle małe, iż zrezygnowano z graficznego przedstawienia f'_{glob} na rysunkach 2, 3 i 4. Jedynie w przypadku normowej [11] metody określania nośności podłoża gruntowego obciążonego fundamentem o podstawie kwadratowej różnice pomiędzy f_{glob} i f'_{glob} okazały się

istotne. Jednak, aby nie zaciemniać ogólnego obrazu wykresów, przedstawiono - liniami przerywanymi - tylko górne krzywe f'_{glob} .

Cyframi rzymskimi od I do VI oznaczono przyjętych do rozważań 6 rodzajów podłoża gruntowego; opis zamieszczono w pracy [9].

Z treści rysunków 2, 3 i 4 wynika, iż f_{glob} maleje, gdy rośnie szerokość posadowienia B. Natomiast wpływ głębokości posadowienia D nie jest już tak jednoznaczny.

Z wyjątkiem metody normowej [11] różnice zarówno jakościowe, jak i ilościowe pomiędzy poszczególnymi metodami nie są aż tak wyraźne, jak by można się tego spodziewać na podstawie odmiennych postaci współczynników kształtu. Spostrzeżenie to skłoniło autora, aby nośność graniczną podłoża gruntowego fundamentów o podstawie kwadratowej obliczać ze wzoru [10]:

$$q_{gr} = f_{glob}(c \cdot N_c + \gamma_D \cdot D \cdot N_D + \gamma_B \cdot B \cdot N_B), \quad (4)$$

przyjmując stałą wartość $f_{glob} = 1,25$.

W świetle przedstawionych wyników badań widoczna jest zbyt duża wartość globalnego współczynnika kształtu, jaka wynika ze stosowania metody normowej [11]. Szczególnie duże wartości osiąga f_{glob} w przypadku drobnoziarnistych gruntów niespoistych (grunt II) zarówno bez wody gruntowej jak z wodą gruntową na głębokości posadowienia ($f'_{glob} > 2$).

Generalny wniosek można sprowadzić do spostrzeżenia, iż współczynniki kształtu f_c , f_D i f_B bardziej różnią się formą niż treścią.

Wyjątek stanowi propozycja normy [11], która prowadzi ponadto do tak dużych wartości f_{glob} , iż zachodzi poważna obawa, że stosowanie normowych współczynników kształtu prowadzi będzie do zawyżonej oceny nośności podłoża gruntowego fundamentów o podstawie kwadratowej, a co najmniej spowoduje, iż wartości prognozowanych osiadań staną się mało wiarygodne (będą poważnie zaniżone).

LITERATURA

- [1] Bieriezancew W.G.: Obliczanie nośności podłoża budowli. Arkady Warszawa 1964.
- [2] Dembicki E., Tejchman A.: Wybrane zagadnienia fundamentowania budowli hydrotechnicznych. PWN, Warszawa-Poznań 1974.
- [3] Dembicki E.: Parcie, odpór i nośność gruntu. Arkady, Warszawa 1979.
- [4] Foundation Engineering Handbook. Edited by H.F. Winterkorn and H.Y. Fang, Editions Van Nostrand Reinhold Company, New York 1975.
- [5] Hansen B.: Bearing Capacity of Footings in Theory and Experiment. Proc. of the First Baltic Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 1, pp. 81-104, Gdańsk 1975.
- [6] Harr M.E.: Foundations of Theoretical Soil Mechanics. Tłum. ros.: Osnovy teoreticzeskoj miechaniki gruntów. Izd. Literatury po stroitelstvu. Moskwa 1971.
- [7] Lambe T.W., Whitman R.V.: Mechanika gruntów. Tom 1, Arkady, Warszawa 1977.

- [8] Motak E.: Projektowanie fundamentów bezpośrednich. Przegląd norm zagranicznych i polskich. Z serii Problematyka budownictwa. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1982.
- [9] Pieczyrak J.: Graniczne obciążenie podłoża gruntowego fundamentem o podstawie kwadratowej w ujęciu Bieriezancewa. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Budownictwo, Nr 61, Gliwice 1985.
- [10] Pieczyrak J.: Projektowanie posadowień fundamentów bezpośrednich. Kryterium nośności podłoża gruntowego. Gliwickie Biuro Projektów Budownictwa Przemysłowego, Gliwice 1985.
- [11] PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [12] Schultze E.: Erdstatische Berechnungen. Mitteilungen aus dem Institut für Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik (VGB) der Technischen Hochschule Aachen. Heft 40, Aachen 1967.
- [13] Sokołowski W.W.: Statyka ośrodków sypkich. PWN, Warszawa 1958.
- [14] Terzaghi K.: Theoretical Soil Mechanics. Wiley, London 1943.
- [15] Terzaghi K., Peck R.B.: Soil Mechanics in Engineering Practice. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York 1967.
- [16] Weiss K.: Die Formbeiwerte in der Grundbruchgleichung für nichtbindige Böden. Mitteilungen aus dem Institut für Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik (VGB) der Technischen Hochschule Aachen. Heft 60, Aachen 1974.
- [17] Wilun Z.: Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1982.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ФОРМЫ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ
НА ЕГО ПРЕДЕЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

Р е з ю м е

В статье даётся перечень 17 разных предложений представления коэффициентов формы. Подробному вычислительному анализу подвергаются коэффициенты формы, выражающие мнение Терцаги (1943), Дыркена (1969), Весича (1975), Дембицкого (1979) и нормы PN-81/B-03020. Дается определение, что другой вид коэффициентов формы не приводит к существенной разнице в оценке предельной нагрузки основания подвергнутого нагрузке подошвы фундамента в виде квадрата.

THE SHAPE COEFFICIENTS ACCOUNTING FOR INFLUENCE
OF THREEDIMENSIONAL STRAIN STATE IN FOUNDATION SUBSOIL
IN ITS BEARING CAPACITY

S u m m a r y

In the paper a list of 17 various expressions for shape coefficients is presented. Some of those, proposed by Terzaghi (1943), Dörken (1969), Vesic (1975), Dembicki (1979) and PN-81/B-03020 have been analysed in details. Different forms of the shape coefficients do not yield essential differences in estimation of the subsoil bearing capacity in the case of square footings.