

OSIADANIA STÓP FUNDAMENTOWYCH NA PIASKACH

Katarzyna DOŁŻYK*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy przedstawiono zagadnienie osiadań stóp fundamentowych na piaskach. Wartości osiadań oszacowano stosując wzory otrzymane z teorii sprężystości, przyjmując wartości modułu sprężystości z normy PN-81/B-03020 i otrzymane teoretycznie. Dla piasków kwarcowych moduł sprężystości zależy od wskaźnika porowatości (stopnia zagęszczenia) i poziomu naprężeń. Norma PN-81/B-03020 nie uwzględnia zależności modułu sprężystości od poziomu naprężeń (wielkości stopy). Otrzymane osiadanias stóp odpowiadające wartościom teoretycznym modułu sprężystości są znacząco niższe od wartości odpowiadających wartościom normowym modułów dla dużych stóp fundamentowych posadowionych na średnich i grubych piaskach w stanie luźnym oraz średnio zagęszczonym. Stosując inżynierskie sposoby obliczeń osiadań stóp bardziej realne wartości otrzymamy określając moduły sprężystości piasków teoretycznie niż stosując wartości normowe.

Słowa kluczowe: stopy fundamentowe, piaski, osiadanias stóp.

1. Wprowadzenie

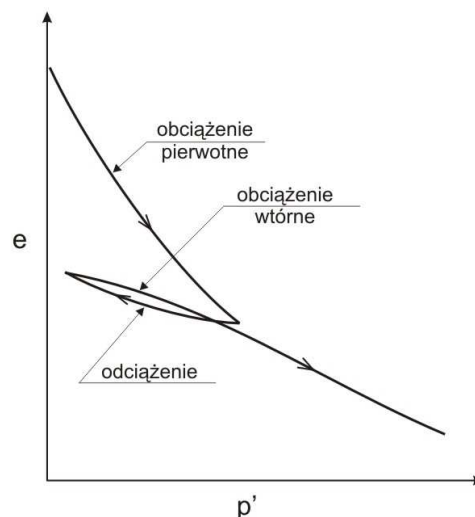
Rozwój budownictwa komunikacyjnego, w szczególności dróg szybkiego ruchu, powoduje znaczne zwiększenie ilości budowanych obiektów inżynierskich. Jednym z podstawowych typów obiektów są wiadukty drogowe. W większości przypadków wiadukty drogowe są ciągłymi belkami wieloprzęsłowymi zakrzywionymi w planie. Są to zatem konstrukcje statycznie niewyznaczalne, „czułe” na nierównomierne osiadanias podpór. Projektanci, aby ograniczyć nierównomierność osiadanias podpór stosują posadowienia głębokie (pale). Badania amerykańskie dowodzą, że w wielu przypadkach posadowienie głębokie może być zastąpione posadowieniem bezpośrednim, co z ekonomicznego punktu widzenia jest bardzo racjonalne.

W pracy przedstawiono prostą metodykę obliczeń osiadań stóp fundamentowych posadowionych na piaskach i pokazano, że osiadanias są mniejsze od osiadań otrzymanych dla normowych parametrów odkształceniowych piasków.

2. Parametry odkształceniowe piasków

Typową zależność zmian wskaźnika porowatości (e), odkształceń objętościowych gruntu od zmian efektywnego ciśnienia hydrostatycznego (p') pokazano na rysunku 1. Można przyjąć, że grunt zachowuje się sprężysto przy odciążeniu i wtórnym obciążeniu. Przy obciążeniach

pierwotnych wzrost naprężeń wywołuje, oprócz wzrostu odkształceń sprężystych również odkształcenia nieodwracalne (plastyczne). W obliczeniach osiadań fundamentów bezpośrednich z reguły posługujemy się teorią sprężystości. W teorii sprężystości ośrodków izotropowych występują dwa parametry materiałowe: moduł sprężystości E i współczynnik Poissona ν . Dla gruntów mineralnych $0,2 > \nu > 0,4$ według PN-81/B-03020 *Posadowienie bezpośrednie budowli*.



Rys. 1. Typowa zależność $e - p'$ przy zmianach efektywnego ciśnienia hydrostatycznego

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.dolzyk@pb.edu.pl

Moduł pierwotnego (ogólnego) odkształcenia gruntu oznacza się jako E_o , zaś moduł wtórnego (sprężystego) jako E (PN-81/B-03020). Zgodnie z teorią sprężystości można napisać

$$E = 2(1 + \nu)G \quad (1)$$

gdzie G jest modułem ścinania. Dla gruntów zmiany odkształceń objętościowych ($d\varepsilon_v$) są funkcją zmian wskaźnika porowatości (de) (Dołżyk i Szypcio, 2008).

$$d\varepsilon_v = -\frac{de}{1+e} \quad (2)$$

Badania prędkości rozchodzenia się fal w gruntach (Richart i in., 1970) wskazują, że moduł ścinania może być wyrażony równaniem

$$G = A p_a f(e) (p/p_a)^\alpha \quad (3)$$

gdzie A i α są parametrami materiałowymi gruntu, $f(e)$ jest funkcją wskaźnika porowatości, zaś p_a ciśnieniem atmosferycznym ($p_a = 1000$ kPa).

Dla piasków kwarcowych można przyjmować $\alpha = 0,05$ zaś

$$f(e) = \frac{(a-e)^2}{1+e} \quad (4)$$

gdzie $a = 2,17$ dla piasków o regularnych ziarnach i $a = 2,97$ dla piasków o nieregularnych kształtach ziaren (Richart i in., 1970).

Z analizy dostępnych w literaturze naukowej wyników badań laboratoryjnych piasków kwarcowych o nieregularnych kształtach ziaren (Toyoura, Karlsruhe, Ottawa, Sacramento River, Oxnard i innych) wynika, że dla obciążeń pierwotnych można przyjmować $A = 50$, zaś dla obciążeń wtórnych $A = 100 \div 110$. Zatem w przypadku obciążeń pierwotnych możemy zapisać moduł pierwotny (ogólny) piasków kwarcowych równaniem

$$E_o = 2(1 + \nu)50 p_a \frac{(2,97 - e)^2}{1+e} (p/p_a)^{0,5} \quad (5)$$

3. Osiedlenia stóp fundamentowych

W obliczeniach inżynierskich osiadań fundamentów bezpośrednich stosuje się z reguły teorię sprężystości (Mayne i Poulos, 1999; Bowles, 1996). Zgodnie z teorią sprężystości osiadanie (s) punktu centralnego wiotkiej stopy fundamentowej może być wyrażone równaniem

$$s = q B \frac{1-\nu^2}{E} \left(I_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} I_2 \right) I_F \quad (6)$$

gdzie q jest średnim jednostkowym obciążeniem przekazywanym przez podstawę stopy na podłoże, B jest szerokością stopy, zaś I_1 , I_2 , I_F są współczynnikami zależnymi od kształtu stopy (L/B), grubości warstwy odkształcalnej, głębokości posadowienia D i wartości współczynnika Poissona ν (Bowles, 1996). W przypadku

wiotkiej stopy kwadratowej posadowionej na głębokości $D = 0,5B$ na półprzestrzeni sprężystej o współczynniku Poissona $\nu = 0,3$ do obliczeń osiadań środka stopy należy przyjmować: $I_1 = 0,560$, $I_2 = 0$, $I_F = 0,775$ (Bowles, 1996).

Zgodnie z normą PN-81/B-03020 do obliczeń osiadań przyjmujemy

$$q = q_u/1,2 \quad (7)$$

gdzie q_u jest granicznym naprężeniem.

W przypadku stopy kwadratowej obciążonej osiowo posadowionej na piaskach zgodnie z PN-81/B-03020 można napisać

$$q_u = \frac{Q_f}{L B} = 2,5 N_D \gamma_D^{(r)} D + 0,75 N_B \gamma_B^{(r)} B \quad (8)$$

gdzie $\gamma_D^{(r)}$ i $\gamma_B^{(r)}$ są wartościami obliczeniowymi odpowiednio ciężarów objętościowych zasypki i gruntu w podłożu.

$$N_D = e^{\pi t g \Phi^{(r)}} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\Phi^{(r)}}{2} \right) \quad (9a)$$

$$N_B = 0,75 (N_D - 1) t g \Phi^{(r)} \quad (9b)$$

gdzie $\Phi^{(r)}$ jest wartością obliczeniową kąta tarcia wewnętrznego.

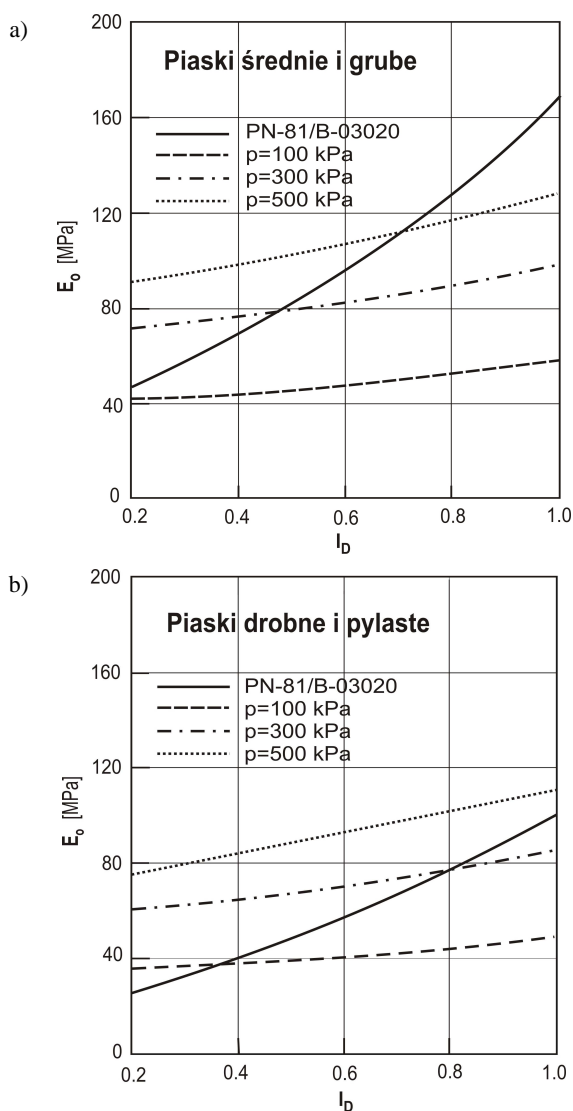
Moduł E jest funkcją wskaźnika porowatości (e) i efektywnego ciśnienia hydrostatycznego (p'). Zgodnie z definicją stopnia zagęszczenia (I_D), wskaźnik porowatości jest wyrażony wzorem:

$$e = e_{\max} - I_D (e_{\max} - e_{\min}) \quad (10)$$

gdzie e_{\max} , e_{\min} są odpowiednio maksymalnymi i minimalnymi wartościami wskaźnika porowatości gruntu niespoistego. Badane w pracy Szypcio (2004) piaski drobne i pylaste miały średnią wartość $e_{\max} = 0,85$, $e_{\min} = 0,55$, zaś piaski średnie i grube odpowiednio: $e_{\max} = 0,75$, $e_{\min} = 0,45$.

Na rysunku 2 pokazano normowe wartości modułów E_o piasków oraz policzone wartości modułów z równania (5) dla $p = 100$; 300 i 500 kPa.

Dla piasków drobnych i pylastych w większości przypadków wartości modułów otrzymane z równania (5) są większe od normowych, zaś dla piasków średnich i grubych wartości otrzymane z równania (5) są większe dla małych wartości I_D , a mniejsze dla dużych wartości I_D .



Rys. 2. Moduł sprężystości piasków: a) piaski średnie i grube, b) piaski drobne i pyłaste

4. Przykład

Stopa kwadratowa o wymiarach $B = 1; 2$ i 3 m jest obciążona osiowo i posadowiona na głębokości $D = 0,5; 1,0; 1,5$ m (stosunek $D/B = 0,5$). Poziom wód gruntowych jest niski i nie wpływa na rozwiązanie. Do obliczeń obciążenia q korzystano z równania (7). Wartości średniego efektywnego ciśnienia określono z równania:

$$p = \frac{1}{3} (1 + 2 K_o) q \quad (11)$$

gdzie

$$K_o = 1 - \sin \Phi^{(n)} \quad (12)$$

jest współczynnikiem rozporu bocznego. Wartość ciśnienia hydrostatycznego (p) obliczona z równania (11) jest wartością ciśnienia w poziomie posadowienia przy założeniu osiowej symetrii. Takie założenie dla stopy kwadratowej obciążonej osiowo jest w pełni uzasadnione.

W miarę wzrostu głębokości, wartości naprężeń dodatkowych maleją, a wartości naprężeń pierwotnych rosną, zatem w obliczeniach osiadań moduł odkształcenia E_o policzony z równania (5) oznaczono jako E_o^* dla wartości (p) określonych z równania (11).

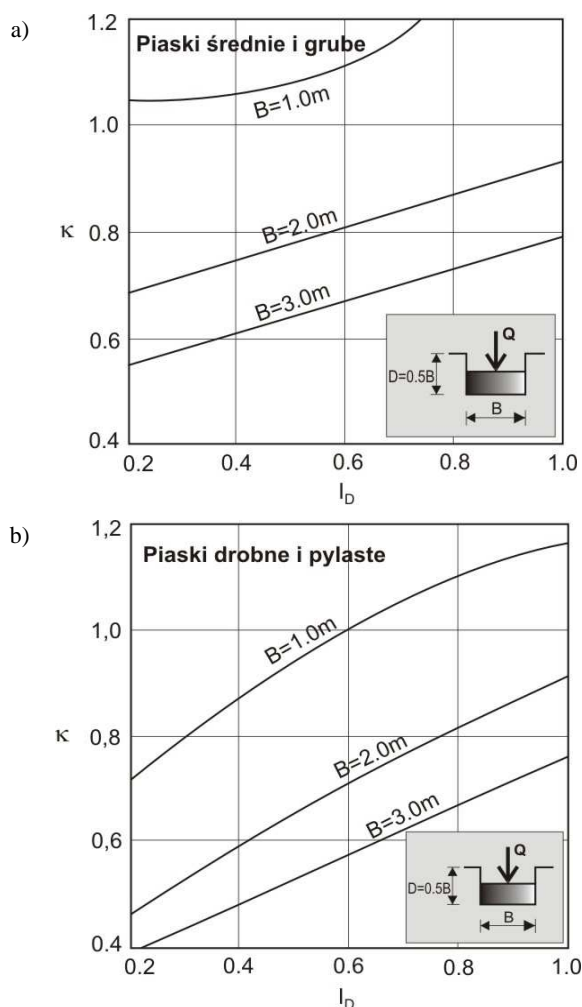
Wartości osiadań obliczone dla wartości modułów policzonych z równania (5) oznaczono jako s^* , a odpowiednie wartości osiadań policzone z równania (6) dla normowych wartości modułów E_o jako s .

Jako

$$\kappa = s^*/s \quad (13)$$

oznaczono iloraz s^*/s obrazujący różnicę osiadań otrzymane dla wartości modułów E_o policzonych z równania (5) i wartości normowych.

Przyjęte do obliczeń parametry piasku i policzone wartości: q , E_o , s , s^* i κ pokazano w tabeli 1. Zależność wartości κ od I_D dla piasków średnich i grubych przedstawiono na rysunku 3a, a dla piasków drobnych i pyłastych na rysunku 3b.



Rys. 3. Wartości κ dla stóp kwadratowych: a) piaski średnie i grube, b) piaski drobne i pyłaste

Tabela 1. Zestawienie wartości parametrów i osiadań piasków

Piaski średnie i grube									
Wielkość	$I_D = 0,3$			$I_D = 0,6$			$I_D = 0,8$		
	B [m]			B [m]			B [m]		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
$\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	16,5	16,5	16,5	17,0	17,0	17,0	18,0	18,0	18,0
$\Phi^{(n)}$ [°]	31,8	31,8	31,8	33,6	33,6	33,6	35,0	35,0	35,0
p [kPa]	193,1	386,3	579,3	284,3	568,6	854,0	347,3	783,2	1042,0
E_o [MPa]	58,0	58,0	58,0	96,0	96,0	96,0	127,0	127,0	127,0
E_o^* [MPa]	55,6	78,6	96,2	80,4	113,7	139,4	97,5	145,8	168,2
s [m]	0,26	1,04	2,30	0,19	0,78	1,70	0,17	0,66	1,49
s^* [m]	0,20	0,55	1,01	0,195	0,55	1,01	0,19	0,55	1,01
κ	0,80	0,53	0,44	1,03	0,71	0,59	1,12	0,83	0,68
Piaski drobne i pylaste									
Wielkość	$I_D = 0,3$			$I_D = 0,6$			$I_D = 0,8$		
	B [m]			B [m]			B [m]		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
$\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	16,0	16,0	16,0	16,5	16,5	16,5	17,0	17,0	17,0
$\Phi^{(n)}$ [°]	29,0	29,0	29,0	31,0	31,0	31,0	32,0	32,0	32,0
p [kPa]	146,8	294,0	441,0	176,0	352,0	528,0	204,0	408,0	612,0
E_o [MPa]	33,0	33,0	33,0	58,0	58,0	58,0	78,0	78,0	78,0
E_o^* [MPa]	43,7	61,9	75,8	54,7	77,3	94,7	64,3	90,9	111,3
s [m]	0,19	0,78	1,74	0,19	0,77	1,33	0,18	0,71	1,60
s^* [m]	0,20	0,56	1,03	0,20	0,62	1,14	0,23	0,61	1,18
κ	1,05	0,72	0,59	1,05	0,81	0,67	1,27	0,86	0,74

5. Podsumowanie

Wartości modułów ogólnych piasków podane w normie PN-81/B-03020 są niezależne od wartości naprężeń (wielkości fundamentu). Wartości modułów otrzymane z badań laboratoryjnych i polowych dobrze opisane równaniem (5) zależą od wskaźnika porowatości (stopnia zagęszczenia) piasku i wielkości naprężeń p .

W przypadku większości stóp fundamentowych, zaprojektowanych racjonalnie z warunków nośności, osiadania policzone dla wartości modułów normowych są znacząco większe od osiadań otrzymanych dla modułów policzonych z równania (5). Jedynie w przypadku piasków średnich i grubych dla małych stóp fundamentowych wartości osiadań są zbliżone. Korzystając z programów komputerowych do projektowania fundamentów bezpośrednich należy mieć na uwadze, że normowe wartości modułów odkształcenia gruntów mogą znacznie różnić się od wartości rzeczywistych.

Literatura

- Bowles J.F. (1996). Foundation analysis and design. *McGraw-Hill Publishing Company*, New York, 1996.
- Dołżyk K., Szypcio Z. (2008). Odkształcenia sprężyste ośrodków rozdrobnionych. W: Problemy naukowo-badawcze budownictwa. Tom: Badawczo-projektowe zagadnienia w budownictwie. (red. A. Łapko, M. Broniewicz, J.A. Prusiel), *Wyd. Politechniki Białostockiej*, Białystok, 2008, 395-402.
- Mayne P.W., Poulos H. G. (1999). Approximate displacement influence factors for elastic shallow foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.125, No. 6, 453-460.
- Richart F.E., Hall J.F., Woods R.D. (1970). Vibrations of soils and foundations. *Princeton-Hall Inc.*, Inglewood Cliffs, New Jersey, 1970.
- Szypcio Z. (2004). Wpływ zagęszczenia, wielkości i kształtu fundamentu na nośność graniczną piasków. Projekt badawczy KBN nr 8 T07E 01021, *Politechnika Białostocka*, 2004.

SETTLEMENTS OF PAD FOOTINGS ON SANDS

Abstract: This paper aim to present the problem of pad footing settlement on sands. Using the empirical procedure, the settlement of pad footing is a function of Young's modulus. In this paper two values of Young's modulus are used, one value is taken from PN-81/B-03020 and the other one is obtained from theoretical equation. The value of Young's modulus obtained from the theoretical equation is a function of void ratio (e) and the level of stress (size of foundation). The value of Young's modulus shown in PN-81/B-03020 is a function of density index (I_D), but is independent of stress

level. This paper shows that settlement of pad footing on sand is much less if theoretical value of Young's modulus is used in calculation, especially for a big pad footing on loose or medium compacted coarse and medium sands. So, if theoretical value of Young's modulus is used, the calculated value of pad footing settlement is more realistic.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach Pracy Statutowej nr S/WBiŚ/5/10