Statyczny test Osterberga zastosowany dla pali o dużej nośności

Prof. dr hab. inż. Zygmunt Meyer
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Geotechniki
Dr inż. Mariusz Kowalów
Geotechnical Consulting Office, Sp. z. o.o. Szczecin

Badanie współpracy pala z gruntem w warunkach naturalnych zawsze było wymogiem stawianym przez projektantów. Podyktowane to jest faktem, że wykonujemy pale o coraz większej nośności nawet dziesiątek meganewtonów i w związku z tym pale mają coraz większe wymiary (średnice i długości), często na gruntach o bardzo złożonej strukturze. Drugą przesłanką, dla której projektanci żądają testów w terenie to wznoszenie obiektów coraz wyższych, 200 m i więcej. Odporność tych obiektów na obciążenia dynamiczne (wiatr, drgania podłoża) wymaga znajomości współpracy pala z gruntem w warunkach naturalnych. Dla pali o dużej nośności statyczne testy przez obciążanie w głowicy są trudne do zrealizowania zgodnie z normami (1) oraz (2).

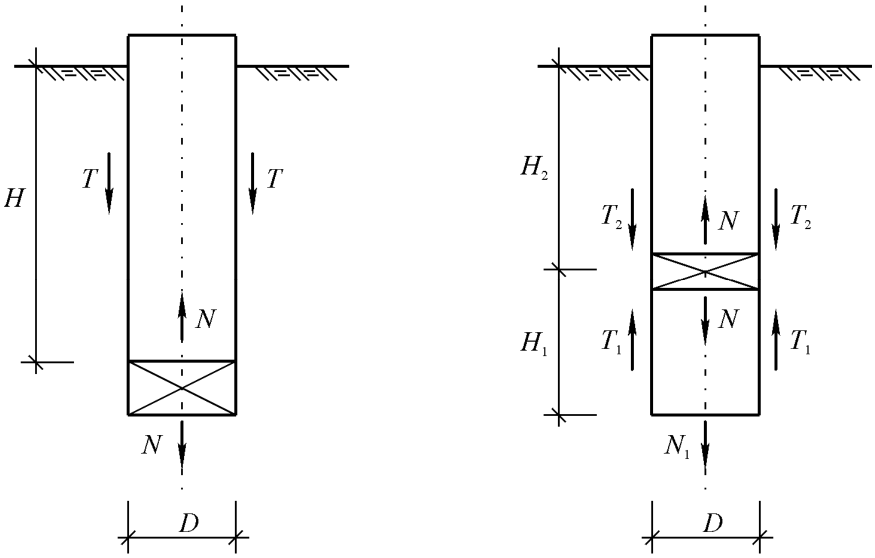
Metodą badań „in situ" są między innymi testy wykorzystujące falę naprężeń w palu generowaną w głowicy [1] oraz testy Osterberga [4].
W niniejszym opracowaniu przedstawiono podstawy teoretyczne testu Osterberga w warunkach, kiedy komora ciśnieniowa znajduje się powyżej podstawy pala. Test Osterberga polega na wykonaniu w terenie, w miejscu przyszłej budowy, pala próbnego (żelbetowego). Najprostszym przypadkiem jest pal, który w podstawie posiada zamontowaną komorę ciśnieniową. Zwiększenie ciśnienia w komorze powoduje jej rozpieranie i nacisk na pal w kierunku do góry oraz nacisk na podstawę.

Zależności, które pozwalają przeliczyć mierzone w trakcie testu wielkości: siłę w komorze oraz przemieszczenia pala w górę i w dół na typowy wykres: obciążenie pionowe na głowicę – osiadanie, przedstawiono w poprzedniej pracy [5]. Umieszczenie komory ciśnieniowej w podstawie jest celowe dla pali, w których nośność podstawy jest porównywalna z nośnością pobocznicy. Jeżeli nośność pobocznicy jest o wiele większa od nośności podstawy pala wówczas umieszczamy komorę powyżej podstawy, ale poniżej połowy długości pala po to, aby skompensować część tarcia o pobocznicę. W takiej sytuacji możemy uzyskać mniejszy nacisk na podstawę pala i w związku z tym możemy dokładniej tę wartość określić. Celem niniejszej pracy jest wyprowadzenie wzorów, które na podstawie testów pozwalają ustalić podstawową dla celów inżynierskich zależność obciążenie pala w głowicy siłą pionową – osiadanie.

OPIS MATEMATYCZNY ZJAWISKA

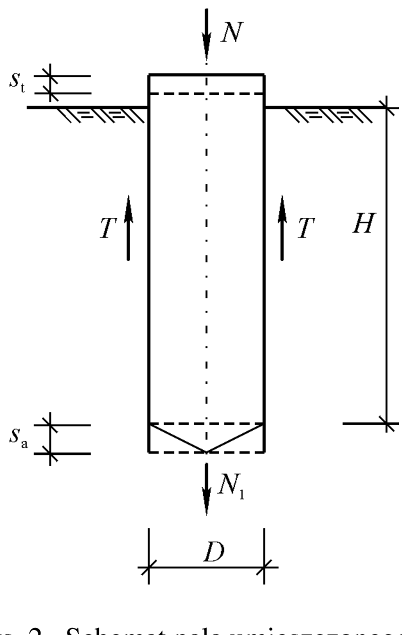
Do opisu matematycznego zjawiska zastosowano wzory z liniowej teorii sprężystości w szczególności rozwiązanie Boussinesq\`a [2]. Oznacza to, że uzyskane rozwiązanie obowiązuje jedynie w obszarze, gdzie z badań terenowych uzyskujemy liniową zależność obciążenie-osiadanie. Praktyczne badania testowe wskazują, że w zakresie dopuszczalnych obciążeń pala, które są kilkakrotnie mniejsze od granicznych, uzyskane wyniki mogą mieć zastosowanie. Autorzy opracowania mają świadomość, iż obciążenie w testach statycznych może wykraczać poza obszar liniowych zależności. Obszar zmian nieliniowych nie jest przedmiotem analizy w niniejszym opracowaniu. Podejmując zagadnienie Autorzy chcieli wskazać na mechanizmy, które tworzą relację obciążenie-osiadanie, a tym samym umożliwić analityczne obliczenie tych relacji np. dla pali o mniejszej średnicy bez potrzeby ponownego wykonywania testów w terenie.

Test Osterberga pozwala na przekroczenie tego liniowego zakresu, aż do osiągnięcia oporu granicznego. Ten obszar zwykle aproksymuje się krzywymi hiperbolicznymi i nie jest to przedmiotem niniejszego opracowania.
Schematycznie usytuowanie pala w gruncie oraz położenie komory ciśnieniowej pokazano na rys. 1



Rys. 1. Schemat pala przygotowanego do testu Osterberga przy dwóch różnych położeniach komory ciśnieniowej

Do wyprowadzenia zależności opisujących zmiany nacisków w komorze – przemieszczenie pala wykorzystano opis pracy pala obciążonego w głowicy w gruncie jednorodnym, przy zastosowaniu rozwiązania Bousinessqa (rys. 2).



Rys. 2. Schemat pala umieszczonego w gruncie

Podstawowe wzory, które otrzymamy dla pala obciążonego w głowicy w gruncie jednorodnym mają postać:

$$S_t = \alpha_t \frac{6(1+\nu)}{\pi} \cdot \frac{T}{H \cdot E} \quad \text{oraz} \tag{1}$$

$$S_q = \alpha_q \frac{N_1}{\pi E D} \tag{2}$$

We wzorach tych: S_t - oznacza przemieszczenie wywołane tarciem o pobocznicę; S_q - oznacza przemieszczenie podstawy pala, H – długość pala; D – średnica pala; ν - współczynnik Poissona; E – moduł ściśliwości gruntu (stała materiałowa moduł Younga). Współczynniki α_t oraz α_q - są współczynnikami ustalonymi empirycznie podczas testów i uwzględniają warunki faktycznej współpracy powierzchni pala z gruntem. Współczynniki te zmieniają się w zakresie

$$0 < \alpha_t, \alpha_q < 1 \tag{3}$$

Jeżeli podstawimy

$$\kappa = \frac{\alpha_q}{6 \cdot \alpha_t (1+\nu)} = const \tag{4}$$

to otrzymamy

$$N_1 = \frac{N}{1 + \kappa \cdot \frac{H}{D}} \quad \text{oraz} \tag{5}$$

$$T = N - N_1 = N \frac{\kappa \frac{H}{D}}{1 + \kappa \cdot \frac{H}{D}} \tag{6}$$

We wzorach tych zgodnie z rys. 1 wprowadzono następujące oznaczenia: N – nacisk w głowicy pala, N_1 – nacisk na podstawę pala, T – opór pobocznicy. W praktycznych testach parametr κ zmienia się w granicach

$$0.06 < \kappa < 0.6 \tag{7}$$

Jeżeli przyjąć $\kappa = 0.2$ oraz $H / D = 40$, to otrzymamy $N_1 = 0.10$N , natomiast $T = 0.9$ N. Oznacza to, że w takim przypadku pobocznica przejmuje aż 90% obciążenia w głowicy.

PRZYPADEK PODSTAWOWY, KIEDY KOMORA CIŚNIENIOWA ULOKOWANA JEST W PODSTAWIE PALA

Jeżeli komora ciśnieniowa w teście Osterberga położona jest w podstawie pala (rys. 1) to w wyniku pomiarów otrzymamy dwie krzywe

$$S_t = C_t \cdot N_{kom} \quad \text{oraz} \quad S_q = C_q \cdot N_{kom} \tag{8}$$

Pomiary w teście Osterberga wskazują, że

$$S_t \neq S_q .$$

ponieważ jedno i drugie przemieszczenie powodowane jest przez siłę N_{kom} w komorze. Jeżeli znamy tarcie o pobocznicę T (np. dla pala wciskanego) oraz opór ostrza N_1 , to wtedy przez analogię dla ustalonych eksperymentalnie C_t oraz C_q możemy napisać

$$S_t = C_t \cdot T \qquad \text{oraz} \qquad S_q = C_q \cdot N_1 \tag{9}$$

Ale wówczas mamy równość przemieszczeń pobocznicy i podstawy pala

$$S_t = S_q \tag{10}$$

To daje nam zależność, która różnicuje opór podstawy i pobocznicy

$$\frac{T}{N_1} = \frac{C_q}{C_t} \tag{11}$$

odpowiednio, ponieważ $N_1 + T = N$, gdzie N jest naciskiem w głowicy otrzymamy

$$N_1 = \frac{N}{1 + \frac{C_q}{C_t}} \qquad \text{oraz} \qquad T = N \frac{\frac{C_q}{C_t}}{1 + \frac{C_q}{C_t}} \tag{12}$$

następnie porównując zależności od (1) do (12) możemy napisać

$$\left.\begin{aligned} \kappa &= \frac{C_q}{C_t} \cdot \frac{D}{H} \\ \alpha_q &= C_q \cdot \pi DE \qquad\qquad \mathit{oraz} \\ \alpha_t &= C_t \cdot \frac{\pi HE}{6 \cdot (1+\nu)} \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Podobnie, jeżeli z tekstu Osterberga znamy C_t oraz C_q , to wypadkowy związek obciążenie w głowicy – osiadanie pala otrzymamy w postaci:

$$S = N \cdot \frac{C_q \cdot C_t}{C_q + C_t} \tag{14}$$

Powyższe wzory stanowią teoretyczną podstawę do obliczenia relacji obciążenie-osiadanie pala w obszarze liniowych zmian, dla których przeprowadzono test Osterberga. Jeżeli w wyniku obliczeń otrzymamy osiadanie za duże lub za małe, to możemy zmniejszyć długość pala lub zwiększyć jego średnicę. Wówczas zachowując parametr κ ze wzoru (13) nową nośność pobocznicy i podstawy otrzymamy ze wzorów (5) i (6).

Rozważmy sytuację, kiedy pal w badaniach terenowych Osterberga miał średnicę D_0 oraz długość H_0, natomiast zmieniamy w projektowaniu wymiary pala na D_1 oraz H_1. Odpowiednie zależności przyjmą postać:

$$\kappa = \frac{C_q}{C_t} \cdot \frac{D_0}{H_0} \tag{15}$$

$$N_1 = \frac{N}{1 + \frac{C_q}{C_t} \cdot \frac{D_0}{D_1} \cdot \frac{H_1}{H_0}} \quad ; \qquad T = N \frac{\frac{C_q}{C_t} \cdot \frac{D_0}{D_1} \cdot \frac{H_1}{H_0}}{1 + \frac{C_q}{C_t} \cdot \frac{D_0}{D_1} \cdot \frac{H_1}{H_0}} \tag{16}$$

a następnie osiadanie

$$S = N \cdot C_q \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_q}{C_t} \cdot \frac{D_0}{D_1} \cdot \frac{H_1}{H_0}} \tag{17}$$

Wzory (15); (16); (17) pozwalają na podstawie testu Osterberga dla pala o wymiarach H_0; D_0, kiedy zmiany C_q oraz C_t przeliczyć nośności na pobocznicy i podstawy dla pala o nowych wymiarach H_1 D_1. Przykładowo w tablicy 1. pokazano, jak zmienna długość pala wpływa na zmianę nośności i osiadania.

Tabl. 1. Wpływ zmiany długości pala na nośność i osiadanie

H_1 / H_0	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
S_1 / S_0	1.80	1.40	1.20	1.0	0.87	0.77	0.67
T / N	0.52	0.62	0.68	0.73	0.77	0.79	0.81
N_1 / N	0.48	0.38	0.32	0.27	0.23	0.21	0.19

W tablicy 1 S_0 - oznacza osiadanie obliczone dla pala testowego, natomiast S_1 - osiadanie dla pala o zmienionych wymiarach.

PRZYPADEK, KIEDY KOMORA CIŚNIENIOWA ULOKOWANA JEST POWYŻEJ PODSTAWY PALA

Dla testów Osterberga w palach, gdzie komorę ciśnieniową umieszczono powyżej podstawy pala, można również określić zależności pomiędzy elementami mierzonymi C_q^*, C_t^* oraz osiadaniem i rozdziałem nośności na pobocznicę i podstawę. Dla odróżnienia od poprzedniego przypadku wprowadzono tutaj oznaczenia z gwiazdką. Ponadto mamy tu do czynienia z przemieszczeniem części górnej pala (gruntu) S_{t2} pod wpływem siły tarcia T_2 oraz przemieszczeniem części dolnej pala S_{t1} pod wpływem siły tarcia T_1, oraz nacisku na podstawę N_1, który wywołuje przemieszczenie S_q.

Z testu Osterberga otrzymujemy liniowe związki:

$$S_{t2} = C_t^* \cdot N_{kom} \qquad \text{oraz} \qquad S_q = C_q^* \cdot N_{kom} \tag{18}$$

gdzie - N_{kom} jest siłą generowaną w komorze ciśnieniowej. Na podstawie obliczeń w poprzednim rozdziale mamy

$$S_{t2} = \frac{6 \cdot (1+\nu) \cdot T_2}{\pi H_2 E} \cdot \alpha_t \qquad \text{oraz} \qquad S_{t1} = \frac{6 \cdot (1+\nu) \cdot T_1}{\pi H_1 E} \cdot \alpha_t \qquad \text{ponadto}$$

$$S_q = \frac{N_1}{\pi D E} \cdot \alpha_q \tag{19}$$

Z równowagi sił pionowych otrzymamy

$$N_1 = T_2 - T_1 \tag{20}$$

Na podstawie zależności (21) możemy napisać

$$S_{t2} = S_{t1} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{H_1}{H_2} \qquad \text{oraz} \tag{21}$$

$$C_t^* = \frac{6(1+\nu)}{\pi} \cdot \frac{\alpha_t}{E \cdot H_2} \tag{22}$$

Dla dolnej części pala możemy napisać tak jak w poprzednim rozdziale

$$\frac{T_1}{N_1} = \kappa \frac{H}{D} \qquad \text{oraz} \qquad S_q = C_q \cdot N_1 \qquad \text{wtedy} \tag{23}$$

podobnie jak poprzednio, wzór (4,5), otrzymamy

$$N_1 = N \frac{1}{\frac{H}{D}\kappa + 1}$$

Występująca we wzorze (23) wielkość C_q - nie jest tą mierzoną w teście Osterberga wielkością C_q^*. Trzeba ją dodatkowo obliczyć. Porównując przemieszczenia podstawy pala, mamy

$$S_q = C_q^* \cdot N_{kom} = C_q \cdot N_1 \qquad \text{co, ze wzoru (23) daje}$$

$$C_q = C_q^* \left(1 + \kappa \frac{H_1}{D}\right) \tag{24}$$

Porównując osiadanie podstawy pala i pobocznicy, tak jak w poprzednim rozdziale otrzymamy

$$S_{t1} = S_q$$

stąd

$$C_q^*(T_2 - T_1)\cdot\left(1+\kappa\frac{H_1}{D}\right) = S_{t1} = S_{t2}\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{H_2}{H_1} \tag{25}$$

W teście Osterberga mamy - $T_2 = N_{kom}$ oraz $S_{t2} = C_t^* \cdot N_{kom}$
stąd

$$C_q^*\left(\kappa\frac{H_1}{D}+1\right)\cdot\left(N_{kom} - T_1\right) = C_t^* \cdot T_1 \cdot \frac{H_2}{H_1} \tag{26}$$

ponadto na podstawie wzoru (23) mamy

$$\frac{T_1}{N_1} = \frac{T_1}{N_{kom} - T_1} = \frac{C_q^*}{C_t^*}\cdot\frac{H_1}{H_2}\left(1+\kappa\frac{H_1}{D}\right) = \kappa\frac{H_1}{D}$$ a stąd

$$\frac{H_1}{D}\kappa = \frac{\frac{C_q^*}{C_t^*}\cdot\frac{H_1}{H_2}}{1-\frac{C_q^*}{C_t^*}\cdot\frac{H_1}{H_2}} \tag{27}$$

następnie na podstawie zależności (26) otrzymamy dla dolnej części pala w teście Osterberga poniższe wzory:

$$T_1 = N_{kom}\cdot\frac{C_q^*}{C_t^*}\cdot\frac{H_1}{H_2} \quad \text{oraz} \tag{28}$$

$$N_1 = N_{kom}\left[1-\frac{C_q^*}{C_t^*}\cdot\frac{H_1}{H_2}\right] \tag{29}$$

W ten sposób uzyskano wzory, które w teście Osterberga opisują rozdział nośności w dolnej części pala na nośność pobocznicy i podstawy. Ostatnim etapem jest przeliczenie nośności dolnej części pala o długości H_1, na nośność pala o długości $H_1 + H_2$.
Jeżeli założymy grunt jednorodny to wówczas $\kappa = const$. Wtedy otrzymamy dla pala o łącznej długości obciążonego w głowicy siłę N

$$N_1 = N\frac{1}{1+\kappa\frac{H_1+H_2}{D}} \quad ; \quad T = N\frac{\kappa\frac{H_1+H_2}{D}}{1+\kappa\frac{H_1+H_2}{D}} \tag{30}$$

Odpowiednio osiadanie w tym przypadku obliczymy ze wzoru

$$S_q = C_q\cdot N_1 = C_q^*\left(1+\kappa\frac{H_1}{D}\right)\cdot\frac{N}{1+\kappa\frac{H_1+H_2}{D}} \tag{31}$$

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

W poprzednim rozdziale w tablicy 1 przedstawiono przykładowo, jak zmiana długości pala wpływa na zmianę osiadania. Wynik obliczeń można przedstawić w postaci relacji S_1 / S_0. Jeżeli przez S_0 oznaczymy osiadanie pala o wymiarach D_0, H_0, który był obiektem testu Osterberga to dla pala o zmienionych wymiarach D_1, H_1 osiadanie to wynosi S_1, wtedy otrzymamy:

$$\frac{S_1}{S_0} = \frac{D_0}{D_1} \cdot \frac{1 + \frac{C_q}{C_t}}{1 + \frac{C_q}{C_t} \cdot \frac{D_0}{D_1} \cdot \frac{H_1}{H_0}} \tag{32}$$

Do obliczeń tam przeprowadzonych przyjęto: $\alpha_q = 0.4$; $\alpha_t = 0.8$; $\nu = 0.25$; $E = 40MPa$. Dla pala testowego przyjęto: D = 1.0m; H = 40m. Jeżeli po wykonaniu obliczeń otrzymamy $C_q = 3.18\, {}^{mm}\!/_{MN}$ oraz . oraz $\alpha = 1/15$ w obliczeniach przyjmiemy $D_1 = D_0$.

W celu zilustrowania obliczeń dla pala, który został podzielony komorą ciśnieniową przyjęto podział $H_1 = 16m$, $H_2 = 24m$; $H_1 + H_2 = 40m$ tak jak poprzednio. W obliczeniach zmienia się parametr κ ponieważ odnosi się on do innych warunków pracy pala. Parametry C_t^* oraz C_q^*, które zarejestrowaliśmy w czasie testów musimy obliczyć ze wzorów. Ze wzoru (22) mamy

$$C_t^* = \frac{6 \cdot 1.12}{\pi} \cdot \frac{0.8}{40.24} \frac{m}{MN} = 2.0\, {}^{mm}\!/_{MN}$$

Parametr C_q^* określamy normalnie na podstawie testów Osterberga. W przedstawionym przykładzie musimy obliczyć go na podstawie znajomości C_q ze wzorów (13) oraz (24) i (27). Otrzymamy

$$C_q^* = C_q \left(1 - \frac{C_q^*}{C_t^*} \cdot \frac{H_1}{H_2} \right) \quad \text{a stąd} \tag{33}$$

$$C_q^* = \frac{C_q}{1 + \frac{C_q}{C_t^*} \cdot \frac{H_1}{H_2}} \quad \text{oraz następnie} \tag{34}$$

$$\frac{H_1}{D} \cdot \kappa = \frac{C_q}{C_t^*} \cdot \frac{H_1}{H_2} \quad \text{lub} \quad \frac{H_2}{D} \cdot \kappa = \frac{C_q}{C_t^*} \tag{35}$$

Wielkość parametru C_q wynika z obliczeń na początku niniejszego rozdziału i wynosi C_q=3.18 ${}^{mm}\!/_{MN}$. Po podstawieniu otrzymamy

$$C_q^* = \frac{3.18}{1 + \frac{3.18}{2.0} \cdot \frac{16}{24}} \left[{}^{mm}\!/_{MN} \right] = 1.54\, {}^{mm}\!/_{MN}$$

oraz

$$\frac{H_1}{D} \cdot \kappa = \frac{3.18}{2.0} \cdot \frac{16}{24} = 1.06$$

Podział nośności otrzymamy ze wzorów (30). Mamy

$$N_1 = N \frac{1}{1 + 1.06 \dfrac{16m + 24m}{16m}} = N \cdot 0.27 \quad ; \qquad T = N \cdot 0.73$$

Odpowiednio osiadanie obliczone ze wzoru (31) wyniesie

$$S_q = C_q \cdot N_1 = 3.18 \cdot 0.27 N \left[{}^{mm}\!/_{MN}\right] = 0.87 \cdot N \cdot \left[{}^{mm}\!/_{MN}\right]$$

lub odpowiednio

$$S_q = C_q^* = \frac{1 + \kappa \dfrac{H_1}{D}}{1 + \kappa \dfrac{H_1 + H_2}{D}} \cdot N \left[{}^{mm}\!/_{MN}\right] = 0.87 \cdot N \left[{}^{mm}\!/_{MN}\right]$$

W obu procedurach otrzymamy taki sam wynik. Podobnie ten sam wynik możemy otrzymać bezpośrednio ze wzoru (14), mamy wtedy

$$S = \frac{3.18 \cdot 1.19}{3.18 + 1.19} \cdot N = 0.87 \cdot N$$

WNIOSKI

1. W pracy przedstawiono teoretyczne podstawy testu Osterberga zastosowane do obliczeń inżynierskich. Statyczny test Osterberga pozwala na uzyskanie podziału na nośność pobocznicy oraz nośność podstawy pala. Testy te mają szczególne zastosowanie do posadowienia na palach budowli wysokich i wszędzie tam gdzie występują pale o dużej nośności rzędu dziesiątek meganewtonów (*MN*).

2. Analizę przeprowadzono przy wykorzystaniu teorii Boussinesq`a dla ośrodka jednorodnego. W praktyce oznacza to, że uzyskane zależności mogą mieć zastosowanie dla tej części obszaru obciążeń objętych testem statycznym dla której relacja obciążenie-osiadanie ma zależność liniową. Z analizy wynika, że dla tego obszaru opór pobocznicy (naprężenia styczne na pobocznicy pala) są w liniowej zależności do odporu podstawy pala (naprężenia pod stopą). Liniowy obszar zmian obciążenia i osiadania posiada znaczenie praktyczne, bowiem bardzo często siły które obciążają pal (obciążenia dopuszczalne) są wielokrotnie mniejsze od obciążeń granicznych pala i mieszczą się w tym liniowym zakresie.

3. W praktycznych przypadkach komorę ciśnieniową umieszcza się powyżej podstawy pala. Pozwala to na zmniejszenie nacisku na podstawę pala. W ten sposób można uzyskać taki efekt, że osiągnięcie naprężeń granicznych przez pal najpierw następuje na jego pobocznicy.

To pozwala na określenie tych naprężeń. Efektem statycznego testu Osterberga jest uzyskanie zależności (wykresu) siła w komorze – przemieszczenie podstawy oraz pobocznicy pala. Wykresy te pozwalają na zbudowanie zależności obciążenie pala w głowicy - osiadanie. Do interpretacji tych wykresów dla obszaru liniowych zależności można się posłużyć wzorami podanymi w niniejszej pracy.

4. Praktyczne zastosowanie testu Osterberga wskazuje, że w celu uzyskania lepszej dokładności niezbędnym jest uwzględnienie w obliczeniach skrócenia pala spowodowane dużymi siłami osiowymi. Może ono wynosić nawet 10mm. Niezależnie od tego w czasie testu mogą wystąpić przemieszczenia komory ciśnieniowej, które należy uwzględnić. Służą temu czujniki montowane w palu testowym. Monitorują przemieszczenia podstawy dolnej i górnej komory.

5. Podejmując ten problem autorzy mieli na celu również zwrócenie uwagi na fakt, iż nie zawsze należy w projektowaniu przyjmować oddzielnie (dowolnie) naprężenia na pobocznicy i pod stopą pala. Jeżeli dysponujemy testami statycznymi, to możemy ustalić w jakiej liniowej proporcji te wielkości pozostają w stosunku do siebie. Wielkości te rosną w miarę jak rośnie obciążenie pala w głowicy. Zjawisko to determinuje również osiadanie.

LITERATURA

1. Gwizdała K. , Dyka L.: *Analityczna metoda prognozowania krzywej osiadanie pala pojedynczego*; Inżyniera i Budownictwo nr 12/2001.
2. Glazer Z.: *Mechanika gruntów*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1985.
3. Osterberg J.O.: *Recent Advances in Load testing Driven Piles and Drilled Shafts* Using Osterberg Load Cell Method, American Society of Civil Engineering, Chicago 1994.
4. Schmertmann J., Hayes J.; *The Osterberg Cell and Bored Pile Testing a Symbiosis*, Proceedings at the Third Annual Geotechnical Engineering Conference, Cairo University, Cairo-Egypt 1997.
5. Meyer Z., Kowalów M., *Wykorzystanie testu Osterberga do statycznych obciążeń próbnych pali,* XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane” Badania-Diagnostyka-Naprawy-Rekonstrukcje; Szczecin-Międzyzdroje 2009.

Normy:
1. PN-83/B-02482: Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
2. PN-81/B-03020: Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.