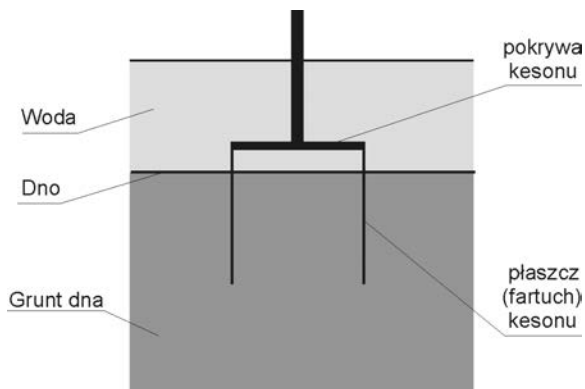


Badania doświadczalne czasu rozproszenia podciśnienia w kesonie ssącym obciążonym siłą wyciągającą o stałej wartości

**Dr hab. inż. Marek Kulczykowski – Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku
Inż. Błażej Grzelka – Politechnika Gdańska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa**

Fundamenty kesonowe (kesony ssące, *suction caissons*) to duże cylindryczne konstrukcje, wykonane najczęściej ze stali, w kształcie odwróconego kubka otwartego przy podstawie i zamkniętego u góry (rys. 1).

Te nowoczesne konstrukcje hydrotechniczne wykorzystywane są coraz częściej w inżynierii morskiej. Obecnie stosuje się je jako fundamenty w konstrukcjach typu *offshore*, na przykład w morskich elektrowniach wiatrowych lub platformach wiertni-



Rys. 1. Przekrój poprzeczny kesonu ssącego zainstalowanego w dnie

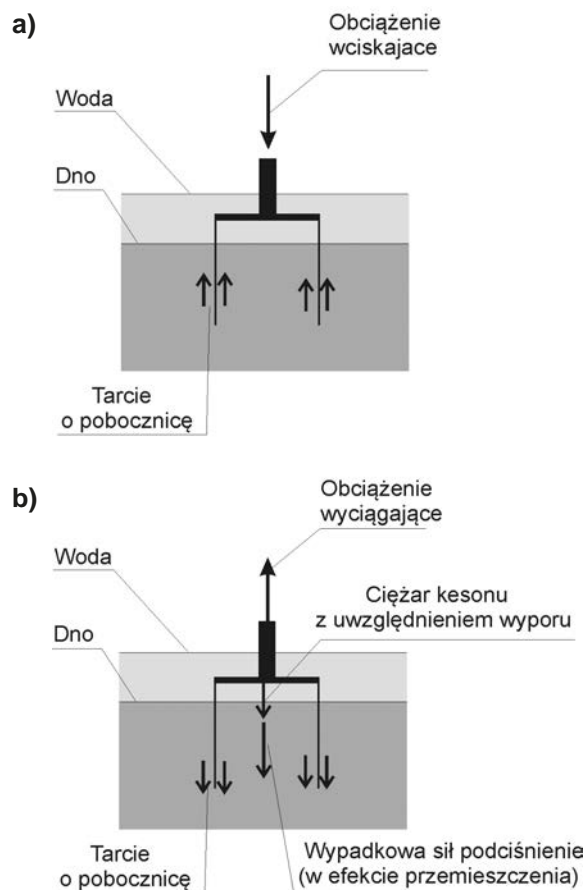
czych oraz jako elementy kotwiące. Stanowią one alternatywne rozwiązanie do tradycyjnych fundamentów grawitacyjnych, pali lub klasycznych zakotwień [2, 4].

Zastosowanie kesonów ssących jako fundamentów umożliwia zarówno szybką instalację, jak i demontaż całej konstrukcji *offshore* z dna morskiego w przypadku konieczności na przykład jej remontu lub przetransportowania w inne miejsce. Przy instalacji fundamenty te wciska się w podłoże pod ciężarem własnym (ewentualnie dodatkowo pod obciążeniem zasadniczej konstrukcji), a następnie dalsze zagłębianie kesonu wspomaga się wprowadzaniem do jego wnętrza podciśnieniem. Natomiast przy deinstalacji do wnętrza kesonu wprowadza się pod dużym ciśnieniem wodę lub powietrze, powodując jego wysunięcie z podłoża [1, 5].

Podstawową zaletą fundamentów kesonowych jest możliwość przenoszenia zarówno obciążenia dociskającego fundament do gruntu, jak i skierowanego ku górze obciążenia wyciągającego. Najczęściej konstrukcje te podczas instalacji zagłębia się jedynie częściowo w dnie morskim, zatem w takich przypadkach obciążeniu wciskającemu przeciwstawia się jedynie opór tarcia gruntu o pobocznice kesonu (rys. 2a). Natomiast przy odrywaniu sile wyciągającej (oprócz ciężaru kesonu z uwzględnieniem wyporu – tak zwanego ciężaru pozornego) przeciwstawia się początkowo tarcie gruntu o pobocznice. W przypadku, gdy siła wyciągająca przekroczy wartość tego oporu i fundament kesonowy zacznie wysuwać się z podłoża, wówczas wyciąganiu dodatkowo przeciwstawiają się siły podciśnienia wygenerowanego we wnętrzu kesonu (rys 2b) [3].

Jeżeli siła wyciągająca jest mniejsza od oporu tarcia gruntu o pobocznice, wówczas keson pozostaje nieruchomy. Natomiast gdy siła wyciągająca przekroczy wartość tego oporu, wówczas keson zaczyna wysuwać się z podłoża, a w jego wnętrzu równocześnie generuje się podciśnienie przeciwstawiające się temu ruchowi. Jednakże to podciśnienie wymusza jednocześnie filtrację wody do wnętrza kesonu przez podłoże, co po pewnym czasie prowadzi do rozproszenia (dyssypacji) podciśnienia i tym samym zaniku związanego z tym dodatkowego oporu na wyciąganie. Jeśli czas oddziaływania obciążenia przewyższającego opór tarcia będzie dłuższy od czasu, po którym dojdzie do dyssypacji podciśnienia w kesonie, wówczas taki fundament zostanie szybko wyrwany z podłoża.

Przy ustalonych wymiarach kesonu i parametrach podłoża czas, po którym dojdzie do rozproszenia podciśnienia wewnątrz kesonu, zależy przede wszystkim od wielkości siły wyciągają-

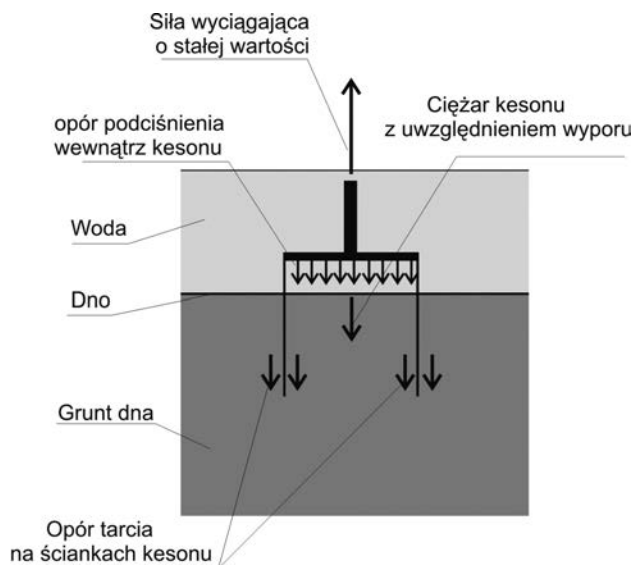


Rys. 2. Obciążenia i reakcje przy: a) obciążeniu dociskającym do podłoża, b) obciążeniu wyciągającym, większym od oporu tarcia o pobocznice

cej, gdyż większa siła generuje większe podciśnienie wymuszające z kolei większą prędkość filtracji. Ważna jest tu również prędkość przyrostu obciążenia; jeżeli przyrost siły wyciągającej jest powolny, efekt oporu związanego z podciśnieniem może nie wystąpić.

Obecnie, w związku z badaniami nad nowymi źródłami energii odnawialnej, pojawia się koncepcja wykorzystania energii pochodzącej z falowania do produkcji energii elektrycznej poprzez rozmieszczenie na morzu elektrowni przetwarzających energię fal morskich na energię elektryczną. Takie konstrukcje, umieszczone na specjalnych platformach, będą częściowo lub całkowicie zanurzone w wodzie i przez to bezpośrednio narażone na oddziaływania sztormowe. Przewiduje się instalacje takich platform w dnie morskim przy zastosowaniu fundamentów kesonowych ze względu na możliwość wystąpienia w efekcie falowania znacznych, szybko przyrastających obciążeń wyciągających działających na konstrukcję w ograniczonym czasie. Przy tego rodzaju obciążeniach, do bezpiecznego zaprojektowania fundamentu kesonowego konieczna jest znajomość zależności pomiędzy wartością obciążenia wyciągającego i czasem, po którym dojdzie do rozproszenia (zaniku) przeciwdziałającego wyciąganiu podciśnienia.

W Instytucie Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku od kilku lat prowadzone są badania doświadczalne i analizy teoretyczne z fundamentami kesonowymi [6, 7]. Opisane badania doświadczalne, przeprowadzone w Laboratorium Geomechaniki IBW PAN, stanowią kontynuację tych prac badawczych.



Rys. 3. Idea wykonywanych badań modelowych oraz mierzone parametry

CEL I ZAKRES BADAŃ

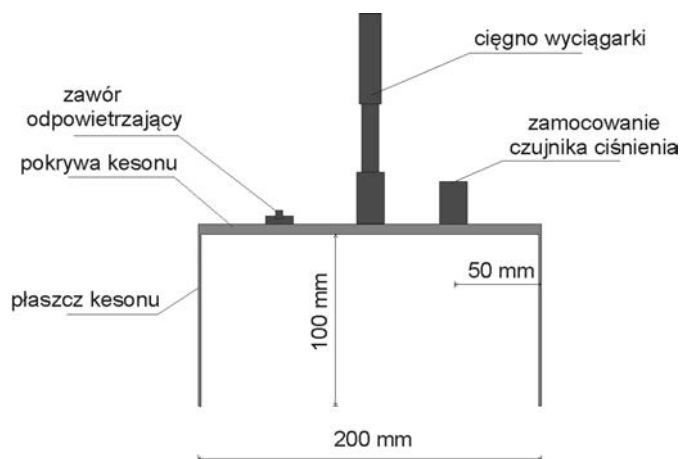
Zasadniczym celem przeprowadzonych doświadczeń było zbadanie wpływu obciążenia wyciągającego o stałej wartości na okres czasu, po którym wygenerowane w wyciąganym klesonie ssącym podciśnienie ulegnie rozproszeniu i fundament ostatecznie wysunie się z podłoża.

Doświadczenia przeprowadzono z modelem klesonu ssącego całkowicie zagłębionym w nawodnionym podłożu niespoistym. Model obciążano siłą wyciągającą o stałej wartości, większą od oporu tarcia gruntu o ściany pobocznic. Wykonano serię siedmiu doświadczeń przy różnych wartościach siły wyciągającej z pomiarem podciśnienia wewnątrz modelu, oporu klesonu przy wyciąganiu oraz przemieszczenia konstrukcji w trakcie całego procesu wyciągania. Wyniki pomiarów pozwoliły na wyznaczenie okresu czasu, po którym następowało rozproszenie podciśnienia w modelu i określenie relacji pomiędzy zadaniem obciążeniem wyciągającym a powyższym czasem dysypacji podciśnienia. Idee przeprowadzonych badań modelowych oraz mierzone parametry przedstawiono na rys. 3.

MODEL KESONU, STANOWISKO BADAWCZE, SYSTEM OBCIĄŻANIA I SYSTEM POMIAROWY

Badania doświadczalne przeprowadzono z cylindrycznym modelem klesonu wykonanym ze stali nierdzewnej o średnicy zewnętrznej 200 mm i wysokości pobocznic 100 mm (rys. 4).

Do pokrywy klesonu przyspawany był centralnie uchwyt do mocowania tak zwanego ciężka, które poprzez czujnik siły łączyło model z wyciągającym go siłownikiem. W pokrywie, w odległości 50 mm od jej środka, zamocowany był uchwyt czujnika do pomiaru podciśnienia wewnątrz klesonu. Po przeciwnej stronie znajdował się zawór odpowietrzający wewnątrz klesonu podczas jego instalacji w podłożu. Ciężar modelu klesonu wraz z ciężkiem wynosił 24,5 N, natomiast po zanurzeniu w wodzie, w efekcie wyporu, redukowal się on do ciężaru pozornego o wartości 21,7 N.



Rys. 4. Wymiary modelu klesonu w przekroju poprzecznym

Ze względu na osiowosymetryczny kształt modelu klesonu badania doświadczalne przeprowadzono na stanowisku badawczym w postaci cylindrycznego, zamkniętego od dołu pojemnika z tworzywa sztucznego o wysokości 730 mm i średnicy wewnętrznej 600 mm.

Do badań użyto pneumatycznego systemu podnoszącego, złożonego z siłownika, sprężarki, regulatora ciśnienia oraz urządzenia sterującego przepływem sprężonego powietrza. Użyto siłownika o średnicy tłoka 40 mm i skoku 400 mm. Wartość siły wyciągającej regulowano ciśnieniem powietrza doprowadzonym do siłownika. Natomiast prędkość przesuwu tłoka ustalano przy użyciu zaworów dopływu i odprowadzenia powietrza z komór siłownika.

Do pomiaru i rejestracji wyników doświadczalnych wykorzystano sterowany komputerem system pomiarowy Spider 8 firmy Hottinger z czujnikami siły, przemieszczenia oraz ciśnienia. W badaniach zastosowano czujnik siły o zakresie do 2000 N, czujnik przemieszczenia o zakresie do 200 mm oraz czujniki ciśnienia o zakresie -35 do 35 kPa.

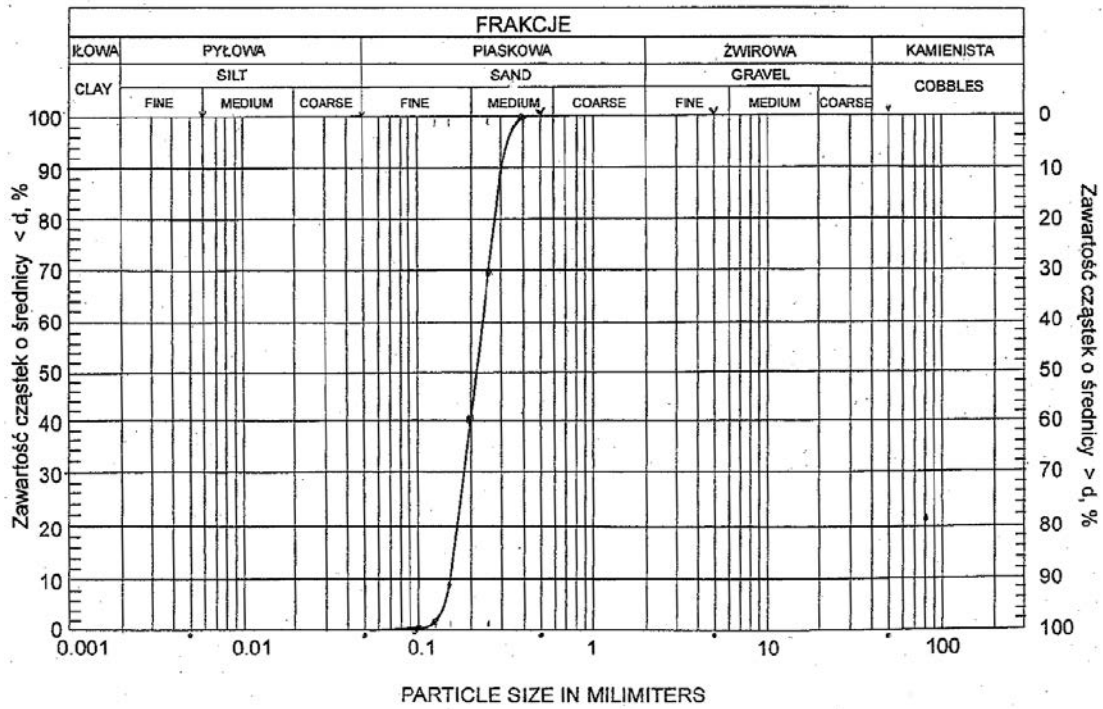
GRUNT UŻYTY DO BADAŃ

Ponieważ na Bałtyku, w polskiej strefie brzegowej, przydenne warstwy gruntu utworzone są w zdecydowanej większości z piasków drobnoziarnistych, dlatego w niniejszych badaniach zastosowano piasek plażowy z rejonu Lubiatowa, tak zwany piasek „Lubiatowo”. Jego parametry geotechniczne i wytrzymałościowe zestawiono w tabl. 1 oraz na rys. 5.

Badany grunt sklasyfikowano jako piasek drobny, równoziarnisty o parametrze $d_{50} = 0,2163$.

KALIBRACJA SIŁOWNIKA

W trakcie doświadczeń model klesonu obciążano siłą wyciągającą o stałej wartości – maksymalną przy zadanym ciśnieniu powietrza doprowadzonym do siłownika. W celu wyznaczenia związku między ciśnieniem a siłą wyciągającą przeprowadzono kalibrację zastosowanego w badaniach siłownika. Przeprowadzono ją w specjalnym stanowisku do pomiaru siły przy całkowitym ograniczeniu możliwości przesuwu tłoka, wyznaczając



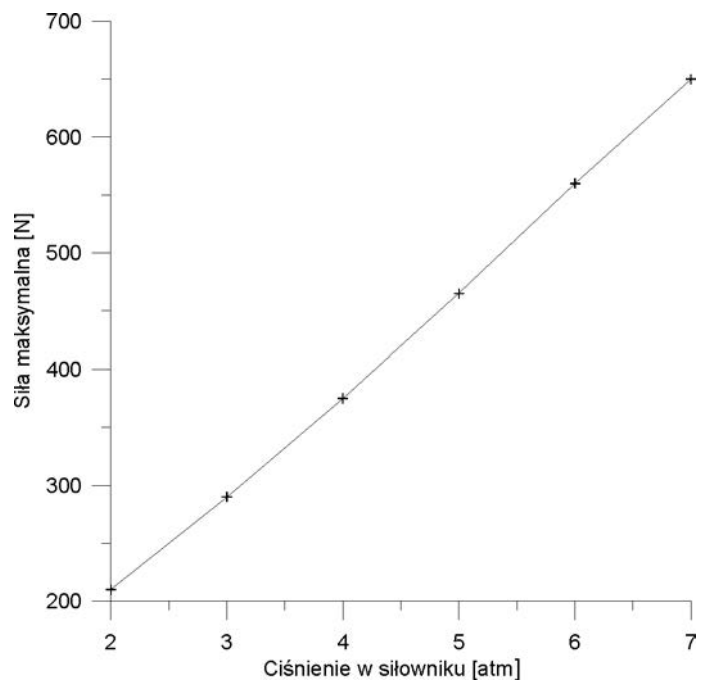
Rys. 5. Krzywa przesiewu piasku „Lubiatowo”

Tabl. 1. Zestawienie podstawowych parametrów piasku „Lubiatowo”.

D_{10}	0,15 mm
D_{60}	0,20 mm
Ciężar właściwy piasku	25,8 kN/m ³
Ciężar objętościowy piasku suchego	15,8 kN/m ³
Ciężar objętościowy piasku nawodnionego	19,7 kN/m ³
Ciężar objętościowy piasku z uwzględnieniem wyporu	9,7 kN/m ³
Kąt tarcia wewnętrznego piasku	34,0°
Porowatość	39%
Wskaźnik porowatości e_{min}	0,55
Wskaźnik porowatości e_{max}	0,82
Współczynnik filtracji	$1,54 \times 10^{-3}$ m/s

Tabl. 2. Wyniki kalibracji siłownika

Ciśnienie powietrza [atm]	Siła wyciągająca [N]
2	200
3	290
4	375
5	470
6	560
7	650

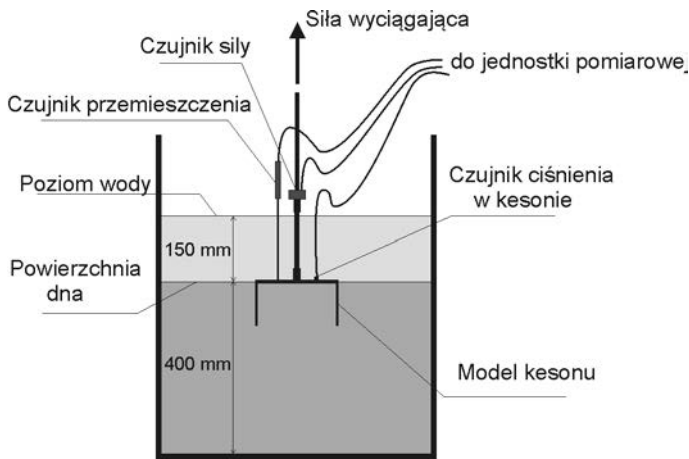


Rys. 6. Krzywa kalibracji siłownika

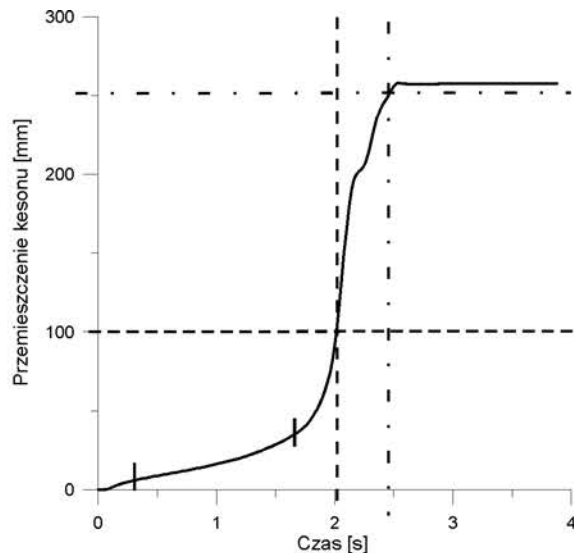
siłę wyciągającą przy różnych ciśnieniach powietrza doprowadzanego do siłownika. Wartości ciśnienia powietrza i odpowiadającej mu siły wyciągającej zamieszczono w tabl. 2. Natomiast tak zwaną krzywą kalibracji siłownika przedstawiono na rys. 6.

PRZYGOTOWANIE BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Przygotowanie doświadczeń rozpoczynano od napełnienia stanowiska badawczego wodą do wysokości około 400 mm.

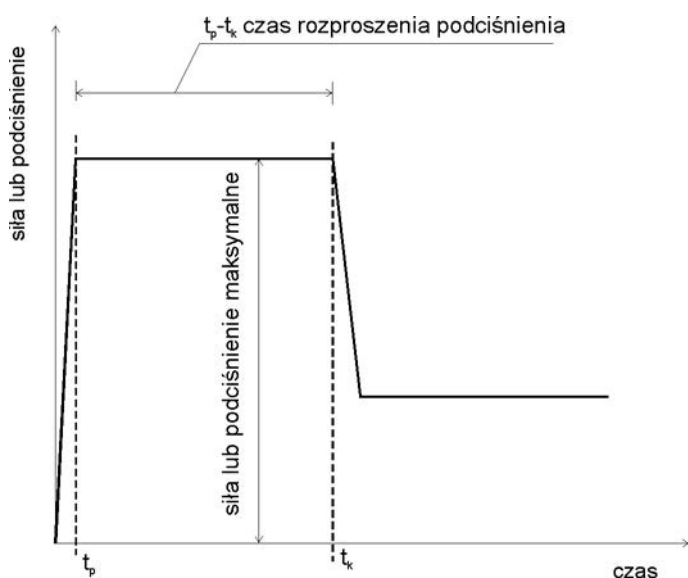
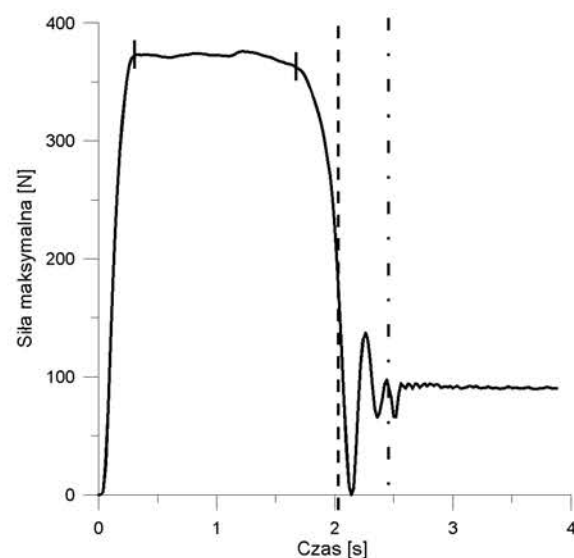


Rys. 7. Schemat stanowiska badawczego wraz z modelem i osprzętem pomiarowym

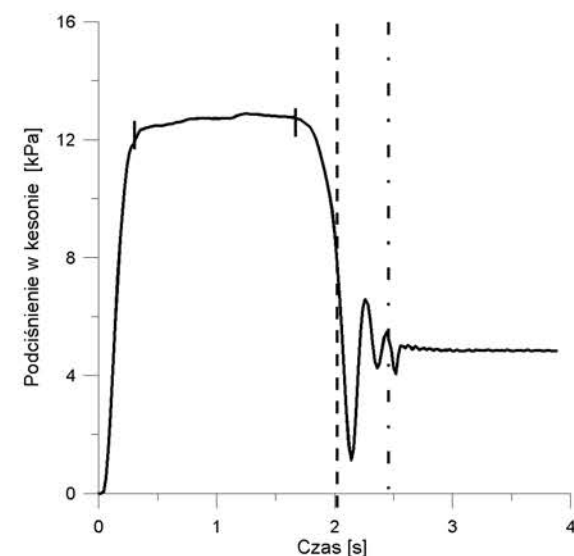


Następnie do wody wsypywano piasek, rozsypując go równomiernie tuż nad powierzchnią wody. Metoda ta zapewniała pełne nawodnienie podłoża oraz równomierne zagęszczenie gruntu. W trakcie usypywania podłoża pobierano próbki nawodnionego gruntu o stałej objętości, które ważono, a następnie suszono w temperaturze 105°C i ponownie ważono. Na tej podstawie wyznaczono ciężary objętościowe: gruntu z uwzględnieniem wyporu wody, gruntu w pełni nawodnionego, gruntu suchego oraz porowatości. Wyniki tych pomiarów zamieszczono w tabl. 1. Po napełnieniu stanowiska piaskiem do wysokości 400 mm ilość wody uzupełniano do takiego poziomu, aby pokrywała ona grunt warstwą o wysokości 150 mm. Po ostatecznym napełnieniu stanowiska piaskiem i wodą powierzchnię dna delikatnie wyrównano.

Następnie w dnie instalowano połączony z siłownikiem model kesonu, który wciskano w grunt z bardzo małą prędkością przy otwartym zaworze odpowietrzającym. Po zakończeniu instalacji, gdy pokrywa kesonu przylegała do dna, zawór odpowietrzający zamykano, a w pokrywie montowano czujnik ciśnienia



Rys. 8. Schematyczny przebieg zmian oporu na wyciąganie i podciśnienia w kesonie w doświadczeniach zasadniczej serii badań



Rys. 9. Doświadczenie D3 (ciśnienie w siłowniku: 4 atm.)
Zmiany przemieszczenia modelu, siły oporu przy wyciąganiu i podciśnienia

i ustawiano czujnik przemieszczenia. Układ pomiarowy przed każdym badaniem zerowano, a w trakcie doświadczenia prowadzono rejestrację z częstością 200 pomiarów na sekundę. Doświadczenie kończono po wyciągnięciu modelu z wody, to jest przy przemieszczeniu pokrywy kesonu większym od 250 mm. Szkic stanowiska wraz z modelem fundamentu i osprzętem pomiarowym przedstawiono na rys. 7.

OPIS I WYNIKI DOŚWIADCZEŃ

Wykonane badania doświadczalne miały na celu dostarczenie informacji o czasie, po którym dojdzie do rozproszenia podciśnienia wewnątrz kesonu obciążanego siłą wyciągającą o stałej wartości, większą od oporu tarcia gruntu o ściany poboczniczy. Dlatego przed zasadniczą serią badań wykonano doświadczenie wstępne (oznaczone jako D0), w celu określenia maksymalnej wartości oporu tarcia między pobocznicą kesonu i gruntem w trakcie wyciągania modelu z podłoża. Aby nie dopuścić do generacji podciśnienia wewnątrz modelu w trakcie wyciągania, doświadczenie przeprowadzono przy otwartym zaworze odpowietrzającym i niewielkiej prędkości wyciągania wynoszącej około 1 mm/s. Doświadczenie przeprowadzono przy ciśnieniu powietrza 2 atm. doprowadzanego do siłownika, co umożliwiło zastosowanie siły wyciągającej o wartości do 200 N. W czasie doświadczenia mierzono zmiany oporu na wyciąganie i przemieszczenie kesonu. Po przyłożeniu obciążenia przeciwstawiająca się wyciąganiu siła oporu szybko rosła, aż do wartości maksymalnej 114 N, a następnie stopniowo malała wraz z wysuwaniem się modelu z podłoża do wartości około 22 N (czyli ciężaru pozornego kesonu) w chwili podniesienia kesonu nad powierzchnię dna. Po wyciągnięciu modelu z wody w jego wnętrzu nie stwierdzono obecności pozostałości gruntu z dna.

Zasadniczą serię następną sześciu badań przeprowadzono przy zamkniętym zaworze odpowietrzającym z pomiarem siły oporu przy wyciąganiu, podciśnienia wewnątrz kesonu oraz przemieszczenia modelu w trakcie całego procesu wyciągania. W kolejnych badaniach (oznaczonych jako D1 ÷ D6) ciśnienie w siłowniku zwiększano o 1 atmosferę, od 2 atm. w doświadczeniu D1 do 7 atm. w doświadczeniu D6. W tej serii badań zawory regulujące dopływ powietrza do siłownika ustawiono w takiej pozycji, aby prędkość podnoszenia kesonu była znacz-

nie większa niż w doświadczeniu D0. W tych badaniach prędkość ta w początkowej fazie doświadczenia do czasu osiągnięcia maksymalnej wartości oporu przy wyciąganiu, wynosiła około 30 mm/s.

We wszystkich zasadniczych doświadczeniach zarejestrowano podobny przebieg zmian oporu na wyciąganie i podciśnienia w czasie, przedstawiony w sposób schematyczny na rys. 8.

Po przyłożeniu obciążenia wyciągającego siła oporu i podciśnienie w kesonie równocześnie szybko rosły, osiągając swoją wartość maksymalną po czasie oznaczonym na rys. 8 jako t_p . Od tego momentu siła oporu i podciśnienie przez pewien czas stabilizowały się na maksymalnym poziomie. Po czasie t_k podciśnienie ulegało rozproszeniu. Jego wartość szybko spadała, a towarzyszył temu równoczesny spadek oporu na wyciąganie. Od tego momentu keson szybko wysuwał się z podłoża, a następnie równie szybko był unoszony nad powierzchnię wody.

We wszystkich doświadczeniach czas t_p osiągnięcia stabilnego, maksymalnego poziomu siły oporu i podciśnienia był zbliżony i wynosił około 0,3 sekundy. Także przemieszczenia kesonu w czasie t_p i czasie t_k były we wszystkich badaniach podobne i wynosiły odpowiednio około 9 mm i 30 mm (9% i 30% wysokości modelu). Natomiast czas t_k , po którym następował spadek oporu i podciśnienia, był różny w kolejnych badaniach.

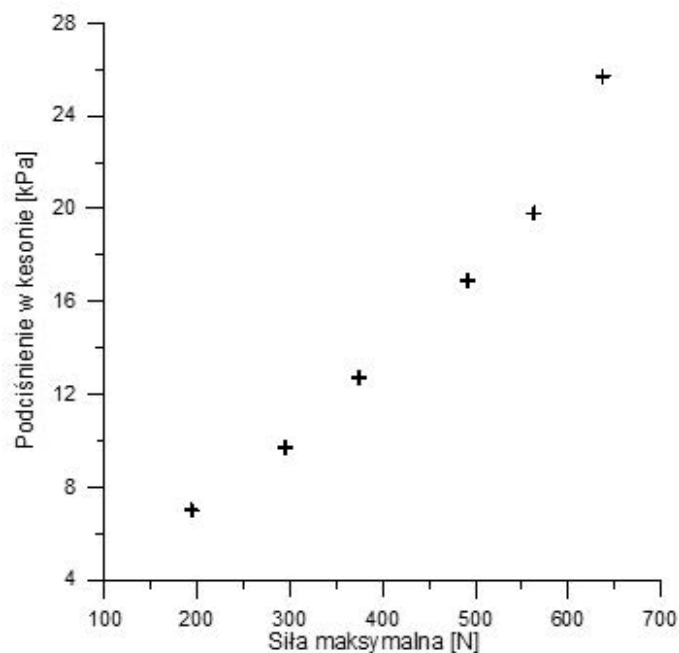
We wszystkich doświadczeniach, po rozproszeniu podciśnienia, dochodziło do szybkiego wyciągania modelu z dna wraz z wodą i gruntem znajdującym się w jego wnętrzu. Ten tak zwany korek gruntowy utrzymywał się w kesonie przez kilka sekund po jego całkowitym podniesieniu nad poziom wody, a następnie gwałtownie wysuwał się z wnętrza modelu.

Charakter zmian przemieszczenia, oporu na wyciąganie i podciśnienia w kesonie był podobny we wszystkich doświadczeniach, dlatego zmiany tych wielkości w czasie zilustrowano jedynie na przykładzie wyników badań przy ciśnieniu w siłowniku wynoszącym 4 atm. (rys. 9). Na rysunku tym linią przerywaną oznaczono moment całkowitego wyciągnięcia modelu z dna, zaś linią przerywaną z kropkami – moment podniesienia kesonu nad powierzchnię wody. Krótkimi pionowymi odcinkami na wykresach przemieszczenia, siły i podciśnienia oznaczono zakres czasu, w którym przebieg oporu na wyciąganie i podciśnienia uznano za ustabilizowany. W tym zakresie czasu zmiany siły oporu i podciśnienia nie przekraczały 5% wartości

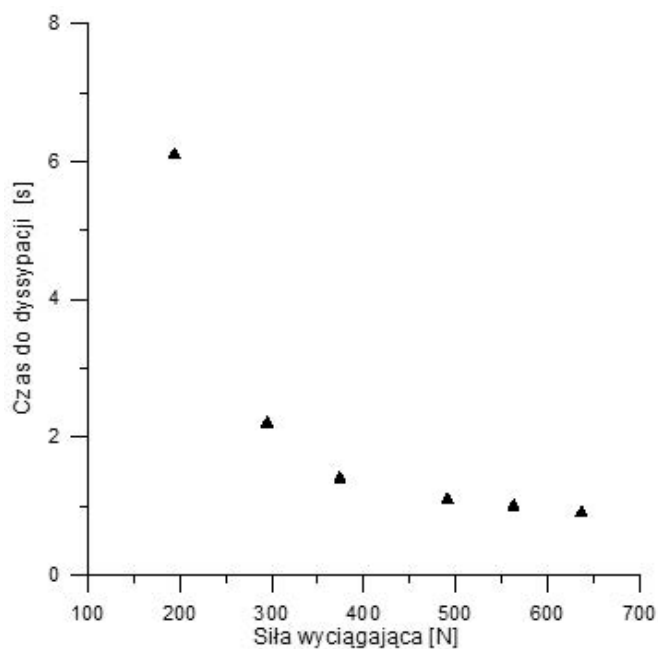
Tabl. 3. Zestawienie wyników badań

Doświadczenie	Ciśnienie w siłowniku [atm]	Maksymalna siła wyciągająca [N]	Maksymalna siła oporu [N]	Maksymalne podciśnienie w kesonie [kPa]	Czas t_p [s]	Czas t_k [s]	Okres stabilnego oporu i podciśnienia [s]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[9]
D0	2	200	114	-	-	-	-
D1	2	200	194	7	0,4	6,9	6,5
D2	3	290	295	9,7	0,4	2,6	2,2
D3	4	375	374	12,7	0,3	1,7	1,4
D4	5	470	467	16,9	0,3	1,4	1,1
D5	6	560	565	19,8	0,3	1,3	1
D6	7	650	637	25,7	0,3	1,2	0,9

maksymalnej, zaś keson wysuwał się równomiernie z podłoża. Od momentu spadku podciśnienia i oporu na wyciąganie (po czasie t_k) prędkość podnoszenia kesonu szybko rosła, aż do wyciągnięcia modelu z gruntu. Przy przemieszczeniach większych od 100 mm, zaraz po wysunięciu modelu z dna, rejestrowano cykliczne zmiany oporu i podciśnienia. Były one najprawdopodobniej spowodowane wibracjami modelu gwałtownie wyrwanego gruntu wraz z fragmentem podłoża. Po podniesieniu kesonu nad powierzchnię wody odnotowywano wartości siły oporu przekraczającej ciężar modelu oraz niewielkie podciśnienia (we wszystkich doświadczeniach wynoszące odpowiednio około 90 N i 5 kPa). Były one efektem korka gruntowego i wody



Rys. 10. Maksymalne podciśnienie w kesonie przy zadanej sile wyciągającej



Rys. 11. Czas dyssypacji podciśnienia przy zadanej sile wyciągającej

uwieżonej wewnątrz kesonu jeszcze przez krótki czas po zakończeniu doświadczeń.

Ilościowe wyniki badania wstępnego oraz zasadniczych doświadczeń zestawiono w tabl. 3.

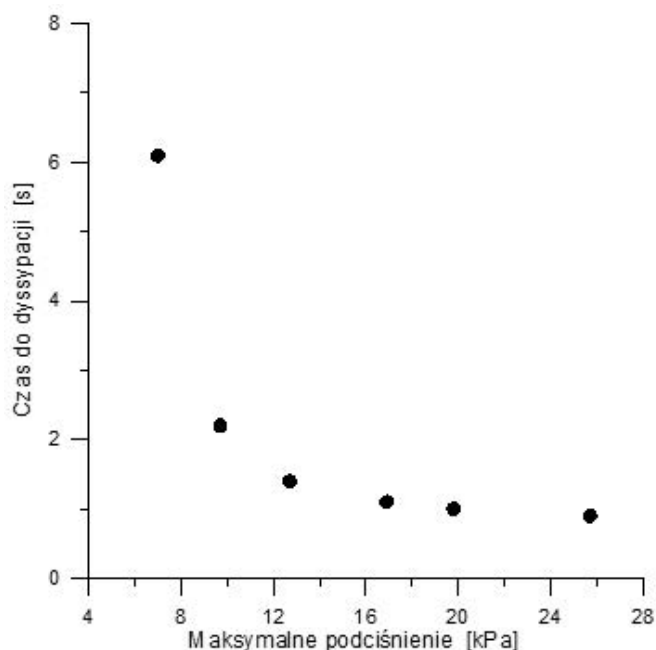
W kolumnach 3 i 4 tabl. 3 zestawiono maksymalne wartości siły wyciągającej wyznaczone podczas kalibracji przy zadanym ciśnieniu oraz maksymalne siły oporu zarejestrowane przy wyciąganiu modelu. W zasadniczej serii doświadczeń pomierzone wartości maksymalnego oporu na wyciąganie były zbliżone do wartości siły wyciągającej, a pewne niewielkie różnice wynikały prawdopodobnie z mało precyzyjnego układu regulacji ciśnienia w siłowniku (przy użyciu obrotowego zaworu dławiącego i analogowego manometru). W doświadczeniu D0, przy braku podciśnienia w kesonie, maksymalny opór na wyciąganie, wynikający wyłącznie z tarcia na pobocznicy, był znacznie mniejszy od oporu zarejestrowanego w doświadczeniu D1, w którym wygenerowano podciśnienie.

Z powyższego, tabelarycznego zestawienia wynika, że wraz ze wzrostem wartości siły wyciągającej, rosły maksymalne wartości generowanego wewnątrz modelu podciśnienia, natomiast skracał się czas do jego rozproszenia, po którym następował gwałtowny spadek siły oporu i podciśnienia, a model był szybko wyciągany z podłoża.

Graficzne zestawienie wyników przeprowadzonych badań przedstawiono na rys. 10 ÷ 12.

Na rys. 10 przedstawiono relację między maksymalnymi wartościami podciśnienia wygenerowanego wewnątrz kesonu i zastosowaną siłą wyciągającą. Można uznać, że ta zależność jest liniowa.

Natomiast na rys. 11 i 12 przedstawiono zależności między czasem do dyssypacji podciśnienia w kesonie a, odpowiednio, obciążeniem wyciągającym i maksymalnym poziomem wygenerowanego podciśnienia. Obie zależności są wyraźnie krzywoliniowe, a czas do dyssypacji szybko skraca się ze wzrostem wartości obciążenia i podciśnienia.



Rys. 12. Czas dyssypacji podciśnienia przy jego maksymalnym poziomie

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule opisano badania doświadczalne z modelem kesonu obciążonym siłą wyciągającą o stałej wartości. Miały one na celu zbadanie wpływu takiego obciążenia na czas, po którym wygenerowane w kesonie podciśnienie ulegnie rozproszeniu i nastąpi szybkie wysunięcie takiego fundamentu z podłoża. Ponadto przeprowadzone badania pozwoliły na rozpoznanie procesu wyciągania kesonu przy stałym obciążeniu oraz dostarczyły informacji o przebiegu zmian siły oporu na wyciąganie i podciśnienia generowanego w kesonie.

Opisane wyniki badań pozwoliły na przedstawienie następujących wniosków:

- czas do rozproszenia podciśnienia w kesonie maleje wraz ze wzrostem wartości siły wyciągającej. Zależność między tymi wielkościami jest wyraźnie krzywoliniowa;
- większej wartości siły wyciągającej odpowiada większa wartość maksymalnego podciśnienia w kesonie, a związek między tymi wielkościami jest liniowy;
- przy stałej sile obciążającej charakter zmian siły oporu na wyciąganie i podciśnienia jest podobny, niezależnie od wartości obciążenia. Po przyłożeniu obciążenia opór i podciśnienie równocześnie szybko rosną aż do wartości maksymalnej, która nie zmienia się do czasu rozproszenia podciśnienia w efekcie filtracji wody przez podłoże do wnętrza kesonu. Po tym czasie zarówno podciśnienie,

jak i opór przy wyciąganiu gwałtownie maleją, a keson szybko wysuwa się z podłoża;

- przy przyjętych warunkach doświadczalnych zanik podciśnienia miał miejsce przy wysunięciu modelu z dna zbliżonym do 1/3 wysokości jego poboczniczy niezależnie od wartości przyłożonego obciążenia wyciągającego.

LITERATURA

1. Aldwinkle C. G.: The Installation of Offshore Plated Foundation for Oil Rig. Dept. of Eng. Science, Oxford University, Final Year Project Report, 1994.
2. Housby G. T., Byrne B. W.: Suction caissons foundations for offshore wind turbines and anemometer masts. Wind engineering volume 24, 2000.
3. Housby G. T., Kelly R. B., Byrne B. W.: The tensile capacity of suction caissons in sand under rapid loading, Proc. Int. Symposium on Frontier in Offshore Geotechnics, ISFOG, Perth, 2005.
4. NGI (I): Skirted caisson foundations for offshore structures, www.ngi.no.
5. NGI (II): Suction anchor installation, www.ngi.no.
6. Sawicki A., Wachowski Ł., Kulczykowski M.: The pull-out capacity of suction caissons in model investigations, Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics, Vol. 63, No. 2-3, 2016.
7. Wachowski Ł.: Kesony ssące – konstrukcja, instalacja, nośność. Inżynieria Morska i Geotechnika, R. 37, Nr 6, 2016.