

Analiza sztywności pali w warunkach gruntowych Portu Północnego w Gdańsku

Dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała, prof. PG, dr inż. Adam Krasieński, dr inż. Tadeusz Brzozowski
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geotechniki

Fundamenty palowe są stosowane we wszystkich rodzajach budownictwa, a szczególnie w budownictwie hydrotechnicznym. Dobór rodzaju pala zależy od wielu czynników. Czynniki te, zależne od rodzaju konstrukcji i warunków geotechnicznych, omówiono między innymi w pracy [5]. W budownictwie hydrotechnicznym a szczególnie w budownictwie morskim chętnie stosuje się stalowe pale rurowe z dnem zamkniętym lub z dnem otwartym. Ich zalety i wady oraz szczegółowe uwarunkowania stosowania omówiono w pracy [1].

Projektowanie fundamentów palowych wymaga miarodajnej oceny parametrów współpracy pomiędzy fundamentem, palami i podłożem gruntowym. Właściwe wyznaczenie sił wewnętrznych (momentów, sił normalnych i poprzecznych) w elementach konstrukcyjnych, ocena nośności oraz przemieszczeń pali w gruncie oraz przemieszczeń całego fundamentu jest podstawą prawidłowego projektowania, patrz np. [10].

Złożone obciążenia i oddziaływania, jakim poddawane są budowle hydrotechniczne, odkształcenia własne konstrukcji, fundamentu i pali oraz przemieszczenia wynikające z warunków geotechnicznych podłoża, w którym zagłębione są pale, stwarzają duże trudności w ocenie rzeczywistych wartości statycznych.

Obecnie w obliczeniach statycznych dla materiału konstrukcji prawie zawsze wykorzystuje się rozwiązania w ramach teorii sprężystości. Znacznie trudniejszy problem stanowi adekwatne wymodelowanie współpracy pala z ośrodkiem gruntowym. Stosowanie tutaj rozwiązań w ramach teorii sprężystości daje najczęściej wyniki obarczone dużymi błędami. Szczególnie ważny i znaczący wpływ na wyniki obliczeń ma silna nieliniowość modułów odkształcenia (np. modułu odkształcenia E_0 , modułu ścinania - G) w zakresie małych odkształceń [5]. Analityczne ujęcie tego zagadnienia można znaleźć między innymi w pracach [2, 7].

Powszechnie wiadomo, że najbardziej wiarygodne dane dotyczące zależności obciążenie-osiadanie uzyskuje się z próbnych obciążeń statycznych pali wykonywanych w terenie. Wykonanie badań nośności według określonego programu badawczego, dla danego rodzaju pala, w porównywalnych warunkach gruntowych, daje możliwość ustalenia parametrów geotechnicznych do projektowania konstrukcji z uwzględnieniem rzeczywistych sztywności pali, współpracujących z gruntem. Problem wiarygodności parametrów geotechnicznych, przyjmowanych do obliczeń statycznych, zostaje więc niemal całkowicie zniwelowany.

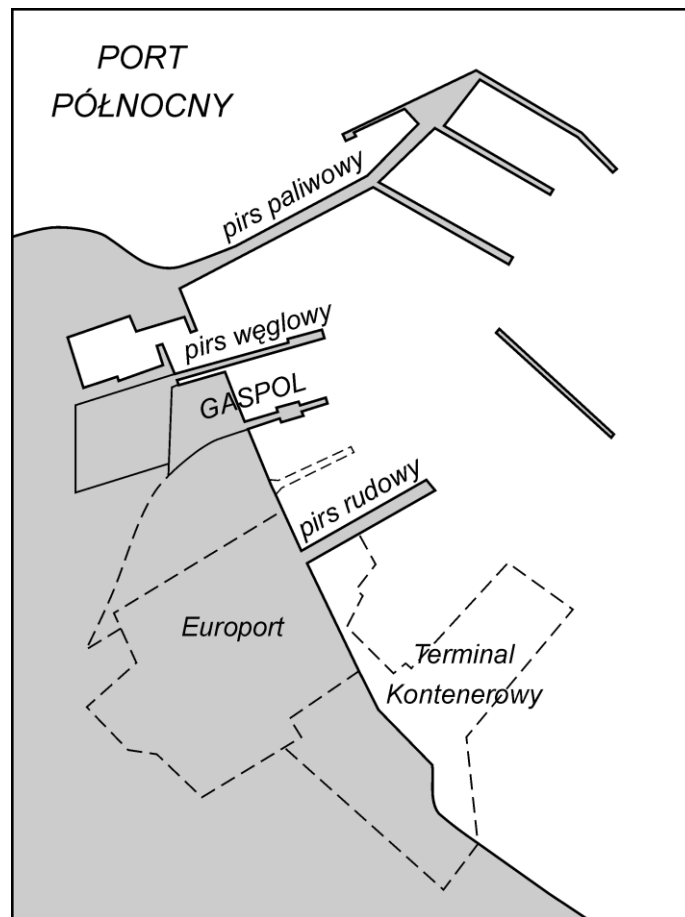
Trudność polega jednak na tym, że faza projektowania inwestycji bardzo często wyprzedza fazę realizacji o kilka miesięcy lub nawet kilka lat, i nie ma praktycznie możliwości wykonania z takim wyprzedzeniem badań, o których mowa wyżej. Dlatego w pracy przedstawiono i przeanalizowano wyniki badań dla stalowych pali rurowych (zamkniętych i otwartych) wykonanych pod dotychczasowe obiekty Portu Północnego (pirsy, pomosty, platformy przeładunkowe - tablica 1, rys. 1), jak również dla pali wierconych wielkośrednicowych, wykonanych w części lądowej Terminalu GASPOL w Porcie Północnym (tablica 2). Wyniki tych badań i analiz będą mogły stanowić pewnego rodzaju bazę danych, pomocną dla projektantów przyszłych obiektów, planowanych na terenie Portu Północnego i posadawianych na podobnego rodzaju palach.

Tabl. 1. Zestawienie pali stalowych rurowych

L.p.	Nr pala	Obiekt	D [mm]	L [m]	h_a [m]	h_w [m]	h_g [m]	$(h_a+h_w)/L$ [-]	h_g/L [-]	L/D [-]
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
Pale z dnem zamkniętym										
1	31	Pirs paliwowy, estakada stanowiska R	711/12,5	25,0	2,85	10,0	12,15	0,51	0,49	35,16
2	41		711/12,5	25,0	1,85	8,6	14,55	0,42	0,58	35,16
3	116		711/12,5	26,5	2,85	15,0	8,65	0,67	0,33	37,27
4	225		711/12,5	25,0	2,85	9,6	12,55	0,50	0,50	35,16
5	163a	Pirs rudowy	720/12,0	26,0	2,50	10,2	13,30	0,49	0,51	36,11
6	603a		610/12,5	28,0	2,60	6,5	18,90	0,33	0,68	45,90
7	1037a		610/12,5	32,0	2,90	9,5	19,60	0,39	0,61	52,46
8	1278a		610/12,5	26,0	2,50	10,2	13,30	0,49	0,51	42,62
9	1346a		610/12,5	29,5	1,00	9,0	19,50	0,34	0,66	48,36
10	1360a		610/12,5	26,0	2,50	9,5	14,00	0,46	0,54	42,62
11	1369a		610/12,5	26,0	2,50	8,7	14,80	0,43	0,57	42,62
Pale z dnem otwartym										
12	217	Pirs paliwowy, estakada R	508/11,0	23,0	2,20	9,0	11,80	0,49	0,51	45,28
13	161a	Pirs rudowy	720/12,0	26,0	2,50	10,2	13,30	0,49	0,51	36,11
14	1035a		610/12,5	32,0	2,40	9,0	20,60	0,36	0,64	52,46
15	1/5	Pirs węglowy	720/12,0	24,0	4,00	6,0	14,00	0,42	0,58	33,33
16	2/6		720/12,0	24,0	4,00	6,0	14,00	0,42	0,58	33,33
17	270/280		720/15,0	27,0	4,68	10,0	12,32	0,54	0,46	37,50
18	330		720/12,0	27,0	4,68	8,0	14,32	0,47	0,53	37,50
19	P1	Gaspol – pirs	508/10,0	26,8	0,50	8,9	17,40	0,35	0,65	52,76
20	P2		508/10,0	26,8	0,50	8,7	17,60	0,34	0,66	52,76
21	P3		711/11,0	27,3	1,00	9,1	17,20	0,37	0,63	38,40

Tabl. 2. Zestawienie pali wierconych wielkośrednicowych

L.p.	Nr pala	Obiekt	D [mm]	L [m]	L/D [-]
1	2	3	5	6	11
1	P1	Gaspol, fundamenty zbiorników	1000	26,5	26,5
2	P2		1000	26,5	26,5
3	P4		1000	26,5	26,5
4	P7		1000	26,5	26,5
5	327		1000	26,5	26,5



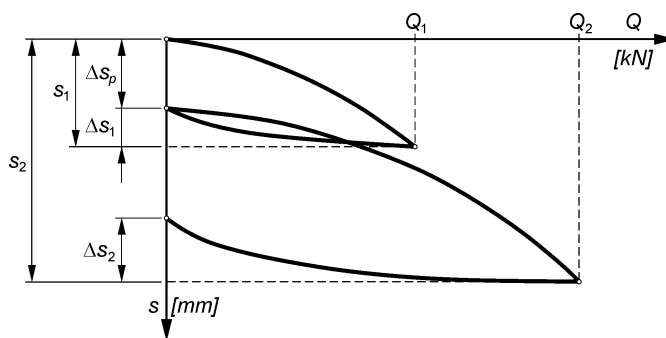
Rys. 1. Plan sytuacyjny Portu Północnego w Gdańsku

Poniżej zdefiniowano, na podstawie wyników próbnych obciążeń, sztywności pali, które następnie wykorzystuje się w obliczeniach statycznych do przyjmowania sztywności podpór sprężystych lub sprężysto-plastycznych, modelujących podpory palowe w schematach statycznych konstrukcji. W analizie wykorzystano zależność obciążenie-osiadanie (rys. 2), którą wyznacza się z wyników klasycznego próbnego obciążenia statycznego.

Krzywa osiadania zazwyczaj składa się z kilku faz związanych ściśle z programem badań pala. Wartość Q_1 obciążenia pala jest w przybliżeniu równa maksymalnemu obciążeniu obliczeniowemu, przewidywanemu na pojedynczy pal w projekcie konstrukcji ($Q_1 \approx Q_r$). Dla obciążenia Q_1 otrzymuje się osiadanie pala s_1 . Całkowite odciążenie pala pozwala określić osiadania sprężyste Δs_1 oraz osiadania plastyczne Δs_p . Po odciążeniu przeprowadza się powtórne obciążenie pala do wartości Q_2 oraz pomiar odpowiadającego osiadania s_2 . Obciążenie Q_2 odpowiada przeciążeniu do wartości $Q_2 \approx 1,5 N_t$ (nośności obliczeniowej pala) lub $Q_2 \approx 1,5 Q_r$. Podobnie jak poprzednio całkowite odciążenie pala pozwala określić osiadania sprężyste Δs_2 .

Pomiary osiadań wykonywane są w poziomie głowicy pala, uwzględniają zatem jednocześnie skrócenie własne pala i osiadanie wynikające z rzeczywistych warunków geotechnicznych posadowienia.

Na podstawie krzywej osiadania, z jednokrotnym odciążeniem, przyjęto następujące sztywności pali (patrz rys. 2.):



Rys. 2. Krzywa obciążenie-osiadanie

$$c_1 \text{ – pierwotna pionowa sztywność pala: } c_1 = \frac{Q_1}{s_1},$$

$$c_{s1} \text{ – sprężysta pionowa sztywność pala: } c_{s1} = \frac{Q_1}{\Delta s_1},$$

$$c_{s2} \text{ – sprężysta pionowa sztywność pala: } c_{s2} = \frac{Q_2}{\Delta s_2},$$

gdzie: Q_1, Q_2 – odpowiednio, obciążenie pośrednie i maksymalne,

s_1, s_2 – osiadanie pośrednie i maksymalne głowicy pala,

$\Delta s_1, \Delta s_2$ – osiadania sprężyste,

Δs_p – osiadanie plastyczne.

Charakterystyka geotechniczna podłoża gruntowego

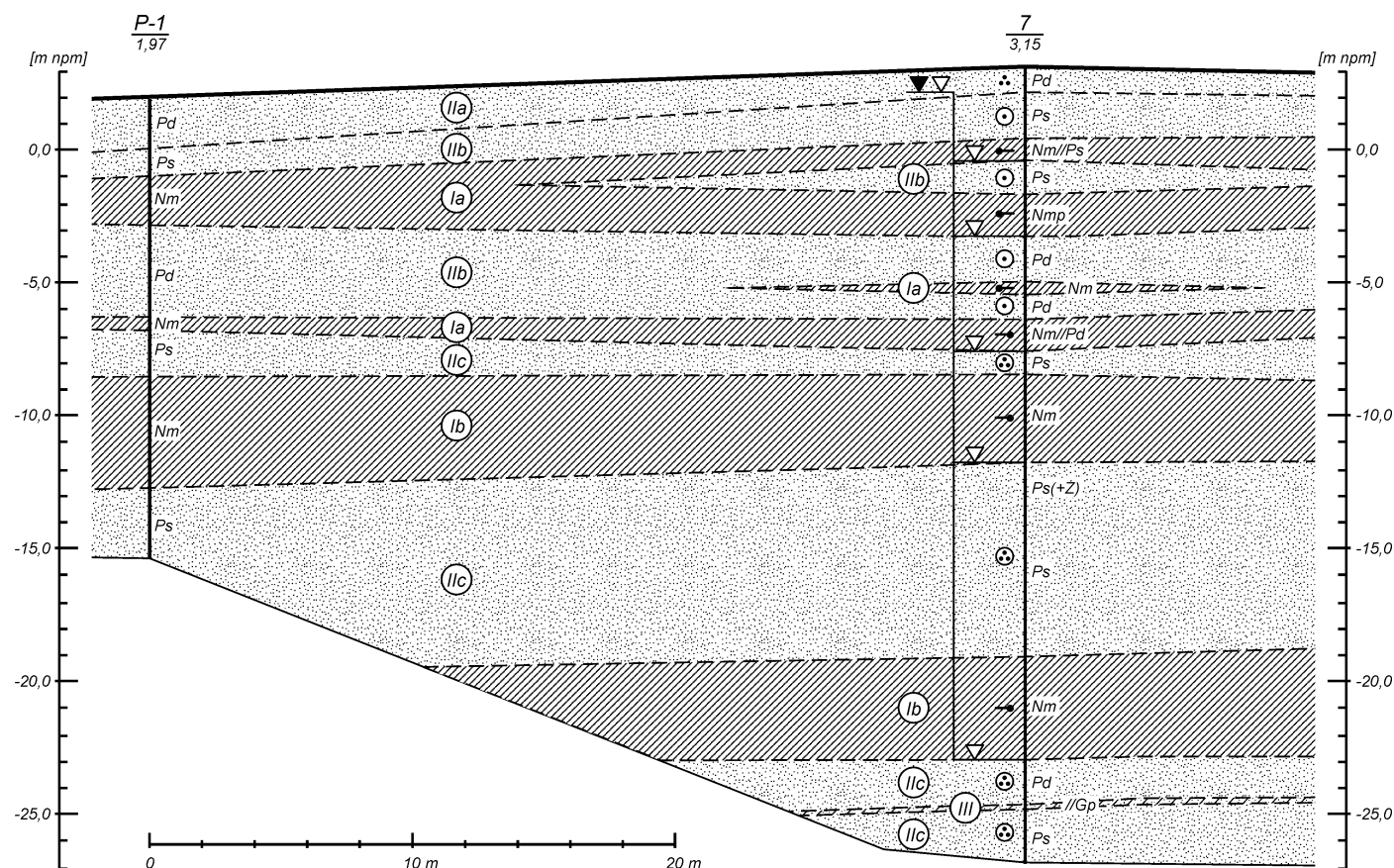
Pod dnem basenu Portu Północnego występują utwory czwartorzędowe reprezentowane przez osady holoceni i plejstoceni. Osady holoceni występują od dna morza do rzędnej około $-24,0$ do $-25,0$ m n.p.m. Budują je utwory deltowe w postaci miękkoplastycznych i plastycznych namulów, glin próchniczych, średniozagęszczonych piasków z domieszką próchnicy i piasków. Utwory plejstoceni leżące poniżej holocenu wykształcone są w postaci twaroplastycznej gliny piaszczystej z domieszką żwiru o miąższości od około $0,5$ do $1,5$ m. Pod glinami występują plejstoceni piaski średnie i grube w stanie zagęszczonym.

Woda gruntowa poniżej dna basenu występuje w dwóch poziomach. Pierwszy poziom występuje w piaskach wieku holoceni rozdzielonych warstwą namulów i glin próchniczych, a drugi w gruntach piaszczystych plejstoceni pod warstwą gliny.

Poziom wody w basenie waha się w okolicy rzędnej $\pm 0,0$ m n.p.m. Zależy on od kierunku i siły wiatru. Przyływy i odpływy praktycznie nie występują. Przykładowy przekrój geotechniczny przedstawiono na rys. 3.

Zwierciadło wody gruntowej stabilizuje się na rzędnej od -0.20 m npm do +0.20 m npm. W stropie każdej warstwy piasków zalegających bezpośrednio pod namułami lub glinami znajduje się napięte zwierciadło wody stabilizujące się na wyżej wymienionych rzędnych. Analiza chemiczna próbek wody gruntowej wykazuje brak agresywności lub słabą agresywność wody gruntowej na beton.

Przykładowy profil gruntowy dla obiektów lądowych portu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Warunki geotechniczne Portu Północnego w rejonie zbiorników GASPOL-u

Wyniki badań – Ocena sztywności podpór palowych

W analizie wykorzystano wyniki próbnych obciążeń pali podpór palowych dla obiektów wykonanych w Porcie Północnym: Pirs Węglowy, Pirs Rudowy, Pirs Paliwowy, Gaspol – pirs, Gaspol – fundamenty pod zbiorniki (pale wielkośrednicowe).

Materiałem źródłowym dla referatu były opinie, orzeczenia i opracowania wykonane przez pracowników Katedry Geotechniki: T. Brzozowski, W. Cichy, K. Gwizdała, J. Kłos, A. Kamińska, A. Krasieński, Z. Kurałowicz, A. Tejchman, B. Zadroga.

Charakterystykę geometryczną pali zestawiono w tabelicy 1 oraz 2. Przyjęto następujące oznaczenia:

- D – średnica pala,
- L – długość całkowita pala,
- h_a – długość pala od powierzchni wody do jego głowicy,
- h_w – długość pala od dna basenu do powierzchni wody,
- h_g – długość pala od podstawy do dna basenu (suma zagłębień pala w gruntach nośnych i nienośnych).

Wartości odpowiednich sztywności c_1 , c_{s1} , i c_{s2} zestawiono w tabelicy 3 i tabelicy 4. Można je wykorzystywać do obliczeń statycznych, dla pirsów, pomostów i estakad posadowionych na stalowych palach rurowych o długościach, średnicach i głębokościach zbliżonych do podanych w tabelicy 1. Dotyczy to przede wszystkim podpór jedno- i dwurzędowych. W przypadku większych grup palowych podane sztywności należy skorygować wykorzystując odpowiednie metody do analizy i prognozowania osiadania pali w grupie np. [8].

Tabl. 3. Zestawienie sztywności pali stalowych rurowych

L.p.	Nr pala	D	Q_1	s_1	Δs_1	Q_2	s_2	Δs_2	$c_1 = Q_1/s_1$	$c_{s1} = Q_1/\Delta s_1$	$c_{s2} = Q_2/\Delta s_2$
		[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[MN/m]	[MN/m]	[MN/m]
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11
pale z dnem zamkniętym											
1	31	711/12,5	1374,5	7,41	4,82	2110,8	12,53	10,24	185,5	285,2	206,1
2	41	711/12,5	1374,5	5,38	5,37	2159,8	10,53	9,33	255,5	256,0	231,5
3	116	711/12,5	1570,8	8,25	6,64	2159,8	14,48	–	190,4	236,6	–
4	225	711/12,5	1178,1	3,99	3,55	1767,2	6,34	5,88	295,3	331,9	300,5
5	163a	720/12,0	1574,0	6,39	5,84	2754,0	18,46	10,75	246,3	269,5	256,2
6	603a	610/12,5	1923,6	7,46	7,11	3147,6	16,43	14,75	257,9	270,5	213,4
7	1037a	610/12,5	1758,6	8,68	8,32	3517,2	21,96	19,59	202,6	211,4	179,5
8	1278a	610/12,5	1574,0	7,12	6,34	3342,0	18,17	17,05	221,1	248,3	196,0
9	1346a	610/12,5	1574,0	3,52	2,26	3148,0	8,49	7,44	447,2	696,5	423,1
10	1360a	610/12,5	1574,0	2,44	2,08	3323,0	12,12	10,79	645,1	756,7	308,0
11	1369a	610/12,5	1574,0	3,24	2,16	3148,0	9,39	5,05	485,8	728,7	623,4
wartość średnia				5,81	4,95			11,09	312,0	390,1	293,8
odchylenie standardowe				2,09	2,07			4,50	141,8	208,8	129,5
współczynnik zmienności				0,361	0,417			0,406	0,454	0,535	0,441
pale z dnem otwartym											
12	217	508/11,0	736,3	4,50	3,70	1325,4	9,75	7,54	163,6	199,0	175,8
13	161a	720/12,0	1574,0	9,51	9,03	3255,0	22,20	18,70	165,5	174,3	174,1
14	1035a	610/12,5	962,0	4,88	4,71	3342,0	19,80	18,93	197,1	204,2	176,5
15	1/5	720/12,0	1345,5	5,00	4,41	2691,0	19,62	11,90	269,1	305,1	226,1
16	2/6	720/12,0	1345,5	6,38	5,10	2063,1	26,66	10,41	210,9	263,8	198,2
17	270/280	720/12,0	1320,0	6,31	–	2816,0	14,07	10,73	209,2	–	262,4
18	330	720/12,0	1360,0	4,87	4,65	4020,0	27,89	16,87	279,3	292,5	238,3
19	P1	508/10,0	1375,0	13,50	–	2160,0	24,30	20,40	101,9	–	105,9
20	P2	508/10,0	1375,0	9,50	–	2160,0	21,60	17,70	144,7	–	122,0
21	P3	711/11,0	2415,0	13,10	11,90	4347,0	38,20	25,04	184,4	202,9	173,6
wartość średnia				7,76	6,21			15,82	192,6	234,6	185,3
odchylenie standardowe				3,26	2,82			5,17	51,1	47,8	46,2
współczynnik zmienności				0,421	0,454			0,327	0,266	0,204	0,249

Tabl. 4. Zestawienie sztywności pali wierconych wielkośrednicowych

L.p.	Nr pala	Q_1	s_1	Δs_1	Q_2	s_2	Δs_2	$c_1 = Q_1/s_1$	$c_{s1} = Q_1/\Delta s_1$	$c_{s2} = Q_2/\Delta s_2$
		[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[MN/m]	[MN/m]	[MN/m]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	P1	3046,0	2,78	1,73	6641,0	5,45	6,60	1095,7	1760,7	1006,2
2	P2	3046,0	3,02	2,03	7007,0	15,50	6,60	1008,6	1500,5	1061,7
4	P4	3046,0	3,27	2,37	7007,0	14,54	6,82	931,5	1285,2	1027,4
5	P7	3350,0	4,70	2,90	6398,0	21,80	7,30	712,8	1155,2	876,4
6	327	3351,0	3,30	2,43	6702,0	14,62	6,54	1015,5	1379,0	1024,8
wartość średnia			3,41	2,29			6,77	952,8	1416,1	999,3
odchylenie standardowe			0,67	0,39			0,28	130,8	206,1	64,0
współczynnik zmienności			0,196	0,172			0,041	0,137	0,146	0,064

Dla praktycznych obliczeń inżynierskich największe znaczenie ma pierwotna sztywność c_1 – dla obciążeń stałych i długotrwałych oraz sprężysta sztywność c_{s1} – dla obciążeń zmiennych i powtarzalnych (kolumny 9 i 10, tablica 3). W obliczeniach statycznych powinno się wówczas dokonać superpozycji wyników obliczeń dla przypadku z obciążeniami stałymi i ze sztywnością podpór palowych c_1 oraz dla przypadku z obciążeniami zmiennymi i ze sztywnością podpór palowych c_{s1} .

Zgodnie z oczekiwaniem uzyskano większe sztywności średnie dla pali z dnem zamkniętym niż dla pali z dnem otwartym, odpowiednio:

$$c_1 = 320 \text{ MN/m i } c_{s1} = 390 \text{ MN/m dla pali zamkniętych oraz}$$

$$c_1 = 190 \text{ MN/m i } c_{s1} = 235 \text{ MN dla pali otwartych.}$$

Zwracają uwagę wartości współczynników zmienności, równe odpowiednio:

$$v_1 = 0,454 \text{ i } v_{s1} = 0,535 \text{ dla pali zamkniętych oraz}$$

$$v_1 = 0,266 \text{ i } v_{s1} = 0,204 \text{ dla pali otwartych.}$$

Współczynniki te charakteryzują możliwy zakres rozrzutów od wartości średniej. Duże wartości współczynników zmienności dla pali zamkniętych związane są zapewne ze szczegółami technologii wbijania pali (np. wspomaganie wbijania tych pali przez podplukiwanie strumieniem wody).

Generalnie wszystkie pale wykazują dobrą pracę w zakresie obciążeń projektowych Q_1 z całkowitymi osiadaniem rzędu:

$$\bar{s}_1 \approx 5,8 \text{ mm dla pali zamkniętych,}$$

$$\bar{s}_1 \approx 7,8 \text{ mm dla pali otwartych.}$$

Warto zwrócić uwagę, że wartości te zawierają również odkształcenia własne materiału pala w części ponad gruntem. Ponad 40% długości pali znajdowało się ponad dnem basenu (tablica 1, kolumna 10).

Wyniki analizy dla wielkośrednicowych pali wierconych (tablica 4) wskazują również na dobrą ich pracę w rozpatrywanych warunkach. Wartości średnie sztywności ($c_1 = 953 \text{ MN/m}$ i $c_{s1} = 1416 \text{ MN/m}$) otrzymano przy małych współczynnikach zmienności, odpowiednio $v_1 = 0,137$ i $v_{s1} = 0,146$ (tablica 4, kolumna 9 i 10).

Średnie osiadania całkowite pali wielkośrednicowych przy obciążeniach projektowych Q_1 , które wykonywane były na lądzie, a więc pograżone na całej długości w gruncie, wynoszą $s_1 \approx 3,4$ mm (tablica 4, kolumna 10).

Podsumowanie

Projektowanie fundamentów palowych powinno być ściśle związane z miarodajnym modelowaniem współpracy fundament – pale – podłoże gruntowe.

W obliczeniach należy uwzględnić rzeczywistą sztywność konstrukcji budowlanej oraz sztywność wynikającą z warunków posadowienia w podłożu gruntowym.

Badania terenowe nośności pali za pomocą próbnych obciążeń statycznych pozwalają na rzeczywistą ocenę sztywności podpór palowych i w konsekwencji na miarodajne określenie sił wewnętrznych w konstrukcji posadawianej na tych palach.

Podane wartości sztywności podpór palowych dla wybranych rodzajów pali stosowanych w warunkach Portu Północnego mogą stanowić pomocną bazę danych dla projektantów przyszłych konstrukcji palowych, planowanych w tym rejonie.

Analiza przedstawionych wyników badań pali wykazała, że pale wykonywane w rejonie Portu Północnego wykazują statystycznie dobre i bardzo dobre nośności w gruncie oraz dobre charakterystyki współpracy z gruntem, zdefiniowane przez sztywności c_1 i c_{s1} . Te ostatnie wykazują jednak dość duże zróżnicowania, szczególnie w odniesieniu do pali rurowych wbijanych z dnem zamkniętym, co jak się przypuszcza, może być efektem różnych technik wbijania.

W celu otrzymania miarodajnych i bezpiecznych wyników obliczeń układów konstrukcyjnych, zaobserwowane duże zróżnicowanie oraz charakter losowy sztywności pali powinny być również uwzględniane w analizach obliczeniowych.

Literatura

1. Drażkiewicz, J.: Zastosowanie pali z rur stalowych w budownictwie morskim, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/1998.
2. Gwizdała K., Dyka I.: Osiadanie pali i fundamentów palowych. Seminarium Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych. Gdańsk, 25 czerwca 2004, s. 53-74.
3. Gwizdała K., Tejchman A., Kłós J.: Badanie nośności stalowych pali rurowych w Porcie Północnym, TiGM nr 6, 1975.
4. Gwizdała K.: Kontrola nośności pali i jakości robót palowych. Seminarium Fundamenty Palowe i Specjalne. Warszawa, 2 marca 2004 r. s. 37-62.

5. Gwizdała K.: Projektowanie fundamentów na palach. XX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła - Ustroń, 01-04 marca 2005 r.
6. Gwizdała K.: Współczesne technologie pali. Seminarium „Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych”. Gdańsk, 25 czerwca 2004. s. 7-32.
7. Gwizdała, K., Dyka I. (2001a): Ocena wielkości osiadań pali w grupie. Materiały XLVII Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZITB, Opole-Krynica, wrzesień 2001.
8. Gwizdała, K., Dyka, I. (2001b): Analityczna metoda prognozowania krzywej osiadania pala pojedynczego. Inżynieria i Budownictwo, Nr 12/2001, s. 729-733.
9. Knabe W., Sulikowska I.: Statyczna analiza osiowej sprężystej podatności pali. Archiwum Hydrotechniki, Tom XXX, Zeszyt 1/1983.
10. Krasieński A.: Obliczenia statyczne fundamentów palowych. Seminarium Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych. Gdańsk, 25 czerwca 2004, s. 33-52.
11. Szopowski Z.: Wpływ pionowej podatności pali na wymiarowanie fundamentów podźwigowych. Konferencja Naukowo-Techniczna: Pale i Fundamenty na Palach, NOT w Gdańsku, PKG O/Gdańsk, 24-25 wrzesień 1974.
12. pr EN 1997 (2004). Eurocode 7. Geotechnical design. Part 1. General rules.

Streszczenie

Charakterystyka i ocena sztywności podpór palowych w warunkach posadowienia Portu Północnego. Podane wartości odnoszą się do stalowych pali rurowych z dnem otwartym i zamkniętym oraz wierconych pali wielkośrednicowych.

W praktyce inżynierskiej największe znaczenie mają sztywność pierwotna – c_1 oraz sprężysta – c_{s1} (kolumny 9 i 10, tablica 3). Sztywność c_1 powinno się stosować w analizach konstrukcji dla obciążeń stałych i długotrwałych, a sztywność c_{s1} dla obciążeń zmiennych i powtarzalnych. W końcowym etapie obliczeń statycznych należy dokonać odpowiedniej superpozycji wyników.