

Próbné obciążenia statyczne i dynamiczne pali w odniesieniu do zaleceń Eurokodu 7

Dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała, prof. PG, dr inż. Adam Krasieński, dr inż. Tadeusz Brzozowski, dr inż. Andrzej Slabek
Politechnika Gdańska, Wydział inżynierii Lądowej i Środowiska

Ocena nośności i osiadań pali zawsze należała do trudnych zadań inżynierskich i naukowych. Fundamenty palowe obiektów budownictwa morskiego i hydrotechnicznego stosowane są bardzo często dla różnego rodzaju budowli w wyjątkowo trudnych uwarunkowaniach posadowienia. Spowodowane jest to głównie skomplikowanymi naturalnymi warunkami geotechnicznymi jakie występują we wszystkich polskich portach. Problemy miarodajnej oceny pracy fundamentów palowych wciąż są bardzo aktualne. Dodatkowym elementem, który będzie już niedługo wymagał nowego spojrzenia i szczegółowej analizy jest wprowadzenie w Europie i w Polsce systemu obliczeń według Eurokodów. Dla celów geotechniki i fundamentowania będzie obowiązywał Eurokod 7. Dodatkowo, do wykonawstwa i badań pali opracowano dwie normy: „PN-EN 1536:2001, Pale wiercone” i „PN-EN 12699:2002, Pale przemieszczeniowe”. Zachodzi pilna potrzeba interpretacji i harmonizacji dotychczasowych aktów prawnych i wieloletnich doświadczeń inżynierskich z aktualnie wprowadzanymi Eurokodami.

Obecny zeszyt Inżynierii Morskiej i Geotechniki opracowany jest w związku z Jubileuszem 65-lecia Politechniki Gdańskiej i 65-lecia Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska. Zdaniem Autorów jest to bardzo dobra okazja aby przypomnieć osoby, które pracowały na Wydziale i miały istotny wpływ na jego rozwój oraz trwale osiągnięcia.

Autorzy dedykują obecny referat pamięci *Pana Profesora Andrzeja Tejchmana-Konarzewskiego*. W dniu 5 listopada 2009r. minęło 5 lat od czasu kiedy odszedł na zawsze z grona naszego Zespołu. Prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Tejchman-Konarzewski przez wiele lat kierował Zespołem, w którym między innymi pracowali Autorzy niniejszego referatu. Jednym z głównych realizowanych tematów były badania naukowe i praktyczne rozwiązania inżynierskie dotyczące szeroko rozumianej pracy pali i fundamentów palowych. Badania statyczne i dynamiczne pali były zagadnieniami, które również realizowaliśmy wspólnie z Profesorem. Odnosząc się do historii Wydziału chcielibyśmy przypomnieć wspólne zdjęcie czterech wspaniałych i zasłużonych Profesorów: prof. Stanisława Hueckela, prof. Eugeniusza Dembickiego, prof. Andrzeja Tejchmana i prof. Mikołaja Węgrzyna (rys.1).



Rys. 1. Profesorowie, od lewej M. Węgrzyn, A. Tejchman, S. Hueckel, E. Dembicki

Odnosząc się do bieżącej działalności, przypominamy zdjęcia z naszych wspólnych z Profesorem Tejchmanem badań w terenie (rys. 2 i rys. 3). Na fotografiach przedstawiono próbné obciążenie statyczne (SPLT) i badanie dynamiczne (DLT) na wiadukcie drogowym w ciągu Obwodnicy Trójmiasta.



Rys. 2. Stanowisko do badania statycznego nośności pła wierconego ϕ 1200 mm, Obwodnica Trójmiasta, wiadukt 4A



Rys. 2. Prof. A. Tejchman na tle stanowiska do badania dynamicznego nośności pła wierconego ϕ 1200 mm, Obwodnica Trójmiasta, wiadukt 4B

W dalszej części referatu odniesiemy się głównie do problemów interpretacji wyników badań pła według Eurokodu 7 i PN-83/B-02482.

Zalecenia formalne Eurokodu 7

Metody projektowania pali zostały przedstawione w p. 7.4. (EC7). Można stosować cztery podejścia projektowania. W EC7 przyjęto że pale projektuje się „na podstawie wyników próbnych obciążeń statycznych, których zgodność z innym porównywalnym doświadczeniem została wykazana za pomocą obliczeń lub w inny sposób”, pkt. 7.4.1. W następnych dwóch podejściach (analityczne i empiryczne metody obliczeniowe oraz próbne obciążenia dynamiczne) również wymagane jest potwierdzenie wyników za pomocą próbnych obciążeń statycznych. W czwartym podejściu wykorzystuje się obserwacje porównywalnych fundamentów palowych i wyniki badań w terenie.

Zagadnienia próbnych obciążeń pali są w Eurokodzie 7 elementem mocno wyróżnionym. Zalecenia ogólne i formalne, dotyczące między innymi celu wykonywania próbnych obciążeń, procedury ich przeprowadzania oraz zasad doboru pali przeznaczonych do badań zawarte są w pkt. 7.5. Jako zasadę podstawową należy przyjąć, że „dla pali próbnych obciążenie należy tak wykonać, by można było ustalić ich obciążenie graniczne”, pkt. 7.5.2.1. Zalecenia te będą jeszcze uściślone w załączniku krajowym.

Na uwagę zasługuje zawarty w Eurokodzie podział pali przeznaczonych do próbnych obciążeń na pale próbne (pkt. 7.5.2.2) oraz pale konstrukcyjne fundamentu (pkt. 7.5.2.3). Jako pale próbne należy rozumieć pale dodatkowe, wykonane głównie do próbnych obciążeń, np. węzłach badawczych. Pale te są konieczne do weryfikacji projektu i powinny być obciążone w sposób umożliwiający ustalenie ich nośności granicznej, a w przypadku pali badanych na wyciąganie – aż do wyczerpania nośności. Natomiast pale konstrukcyjne to takie, które będą stanowiły integralną część fundamentu i powinny być obciążone próbnie do wartości siły równej co najmniej obciążeniu obliczeniowemu przyjętemu w projekcie fundamentu, powiększonemu o podwojoną wartość ewentualnego tarcia negatywnego.

Taka praktyka jest obecnie coraz częściej stosowana w Polsce, szczególnie przy dużych inwestycjach i obiektach dużej rangi. Wykonanie wyprzedzająco badań na palach próbnych pozwala nie tylko zwiększyć bezpieczeństwo projektowania, ale może również przynieść korzyści ekonomiczne. Nadal jednak przeważają sytuacje, w których próbne obciążenia wykonuje się jedynie na palach konstrukcyjnych.

W przypadku pali wielkośrednicowych w Eurokodzie dopuszcza się możliwość wykonania pali próbnych o mniejszych średnicach, ale zmniejszonych nie bardziej niż do połowy. Jest to pewnego rodzaju udogodnienie, ale może również stanowić problem w miarodajnej interpretacji badania i w przenoszeniu wyniku na pale konstrukcyjne. Dlatego w takiej sytuacji wprowadzono wymóg badania pali z oprzyrządowaniem umożliwiającym pomiar sił przenoszonych przez pobocznice i przez podstawę.

W kwestiach dotyczących procedury przeprowadzania próbnych obciążeń, dużą swobodę pozostawiono projektantowi, który taką procedurę ma szczegółowo opisać w projekcie geotechnicznym.

Interpretacja wyników próbnych obciążeń pali według Eurokodu 7

Według zapisów Eurokodu z próbnych obciążeń statycznych pali pod dany obiekt należy wyznaczyć charakterystyczną nośność graniczną pala na wciskanie $R_{c;k}$ oraz nośność obliczeniową pala na wciskanie $R_{c;d}$, a w przypadku pali wyciąganych odpowiadające nośności na wyciąganie: $R_{t;k}$ i $R_{t;d}$.

Charakterystyczną nośność graniczną pala na wciskanie z próbnych obciążeń statycznych określa się z formuły:

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{mean}}{\xi_1}; \frac{(R_{c;m})_{min}}{\xi_2} \right\} \quad (1)$$

w której:

$R_{c;m}$ – nośność graniczna z jednego lub kilku próbnych obciążeń pali

$(R_{c;m})_{mean}$ – średnia nośność graniczna z kilku próbnych obciążeń pali

$(R_{c;m})_{min}$ – najmniejsza nośność graniczna z kilku próbnych obciążeń pali

ξ_1, ξ_2 – współczynniki korelacyjne, zależne od liczby próbnych obciążeń pali n , których wartości zaleca się przyjmować z tablicy 1 (w Eurokodzie tablica ta znajduje się w załączniku A pod numerem A.9).

Tablica 1. Wartości współczynników korelacyjnych ξ_1 i ξ_2 (n – liczba badanych pali)

| ξ dla $n =$ | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
|-----------------|------|------|------|------|----------|
| ξ_1 | 1.40 | 1.30 | 1.20 | 1.10 | 1.00 |
| ξ_2 | 1.40 | 1.20 | 1.05 | 1.00 | 1.00 |

Dla konstrukcji obiektów, których sztywność i wytrzymałość umożliwia przekazywanie obciążeń z tzw. pali „słabych” na pale „mocne” (np. w przypadku oczepów fundamentowych w postaci grubych płyt, bloków lub sztywnych skrzyń monolitycznych) wartości współczynników ξ_1 i ξ_2 można podzielić przez 1.1 pod warunkiem, że ξ_1 nie będzie mniejsze niż 1.0.

W załączniku krajowym wartości współczynników ξ_1 i ξ_2 mogą ulec zmianom.

Charakterystyczną nośność graniczną pala na wciskanie z badań dynamicznych określa się z formuły:

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{mean}}{\xi_5}; \frac{(R_{c;m})_{min}}{\xi_6} \right\} \quad (2)$$

w której:

$(R_{c;m})_{mean}$ oraz $(R_{c;m})_{min}$ – jak wyżej,

ξ_5, ξ_6 – współczynniki korelacyjne, zależne od liczby próbnych obciążeń pali n , których wartości zaleca się przyjmować z tablicy 2 (w Eurokodzie tablica ta znajduje się w załączniku A pod numerem A.11).

Tablica 2. Wartości współczynników korelacyjnych ξ_5 i ξ_6 (n – liczba badanych pali)

| ξ dla $n =$ | ≥ 2 | ≥ 5 | ≥ 10 | ≥ 15 | ≥ 20 |
|-----------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| ξ_5 | 1,60 | 1,50 | 1,45 | 1,42 | 1,40 |
| ξ_6 | 1,50 | 1,35 | 1,30 | 1,25 | 1,25 |

- wartości ξ podane w tablicy obowiązują dla wyników dynamicznych badań udarowych.
- wartości ξ można pomnożyć przez współczynnik modelu obliczeniowego równy 0,85, gdy stosuje się dynamiczne badania udarowe z dopasowaniem sygnału.
- wartości ξ zaleca się pomnożyć przez współczynnik modelu obliczeniowego równy 1,10 przy zastosowaniu wzoru dynamicznego z pomiarem quasi sprężystego przemieszczenia głowicy pala podczas udaru.
- wartości ξ należy pomnożyć przez współczynnik modelu obliczeniowego równy 1,20 przy zastosowaniu wzoru dynamicznego bez pomiaru quasi-sprężystego przemieszczenia głowicy pala podczas udaru.
- jeśli w fundamencie występują pale różnych rodzajów, to przy ustalaniu liczby n badanych pali zaleca się rozpatrywać osobno grupy jednakowych pali.

Obliczeniową nośność pala $R_{c;d}$ należy wyznaczyć ze wzorów:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t \quad (3)$$

lub

$$R_{c,d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{s;k} / \gamma_s \quad (4)$$

w których:

$R_{b;k}$, $R_{s;k}$ – charakterystyczne nośności graniczne odpowiednio podstawy i pobocznic pała,
 γ_b , γ_s , γ_t – współczynniki częściowe, których wartości zaleca się przyjmować z tabl. 3, 4 i 5.

Wzór (4) można wykorzystać, jeżeli charakterystyczne nośności graniczne podstawy i pobocznic pała $R_{b;k}$ i $R_{s;k}$ zostały określone wprost z pomiarów albo oszacowane innymi sprawdzonymi metodami (np. za pomocą funkcji transformacyjnych, Gwizdała, 1996, 2004). Do nośności $R_{b;k}$ i $R_{s;k}$ zastosowanie ma również formuła (1).

Wzory (1) i (3) odnoszą się również do pali wyciąganych, przy czym należy zmienić indeksy w oznaczeniach z „c” na „t”. Gdy pale w fundamencie mają pracować na wyciąganie, to zaleca się zbadać nośność więcej niż jednego pała, a przy dużej liczbie pali zaleca się zbadać co najmniej 2% liczby pali.

Tablica 3. Współczynniki częściowe do nośności dla pali wbijanych

| Nośność | Symbol | Zestaw | | | |
|------------------------------|----------------|--------|------|-----|-----|
| | | R1 | R2 | R3 | R4 |
| Podstawa | γ_b | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.3 |
| Pobocznica (przy wciskaniu) | γ_s | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.3 |
| Całkowita (przy wciskaniu) | γ_t | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.3 |
| Pobocznica (przy wyciąganiu) | $\gamma_{s;t}$ | 1.25 | 1.15 | 1.1 | 1.6 |

Tablica 4. Współczynniki częściowe do nośności dla pali wierconych

| Nośność | Symbol | Zestaw | | | |
|------------------------------|----------------|--------|------|-----|-----|
| | | R1 | R2 | R3 | R4 |
| Podstawa | γ_b | 1.25 | 1.1 | 1.0 | 1.6 |
| Pobocznica (przy wciskaniu) | γ_s | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.3 |
| Całkowita (przy wciskaniu) | γ_t | 1.15 | 1.1 | 1.0 | 1.5 |
| Pobocznica (przy wyciąganiu) | $\gamma_{s;t}$ | 1.25 | 1.15 | 1.1 | 1.6 |

Tablica 5. Współczynniki częściowe do nośności dla pali formowanych świdrem ciągłym (CFA)

| Nośność | Symbol | Zestaw | | | |
|------------------------------|----------------|--------|------|-----|------|
| | | R1 | R2 | R3 | R4 |
| Podstawa | γ_b | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.45 |
| Pobocznica (przy wciskaniu) | γ_s | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.3 |
| Całkowita (przy wciskaniu) | γ_t | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.4 |
| Pobocznica (przy wyciąganiu) | $\gamma_{s;t}$ | 1.25 | 1.15 | 1.1 | 1.6 |

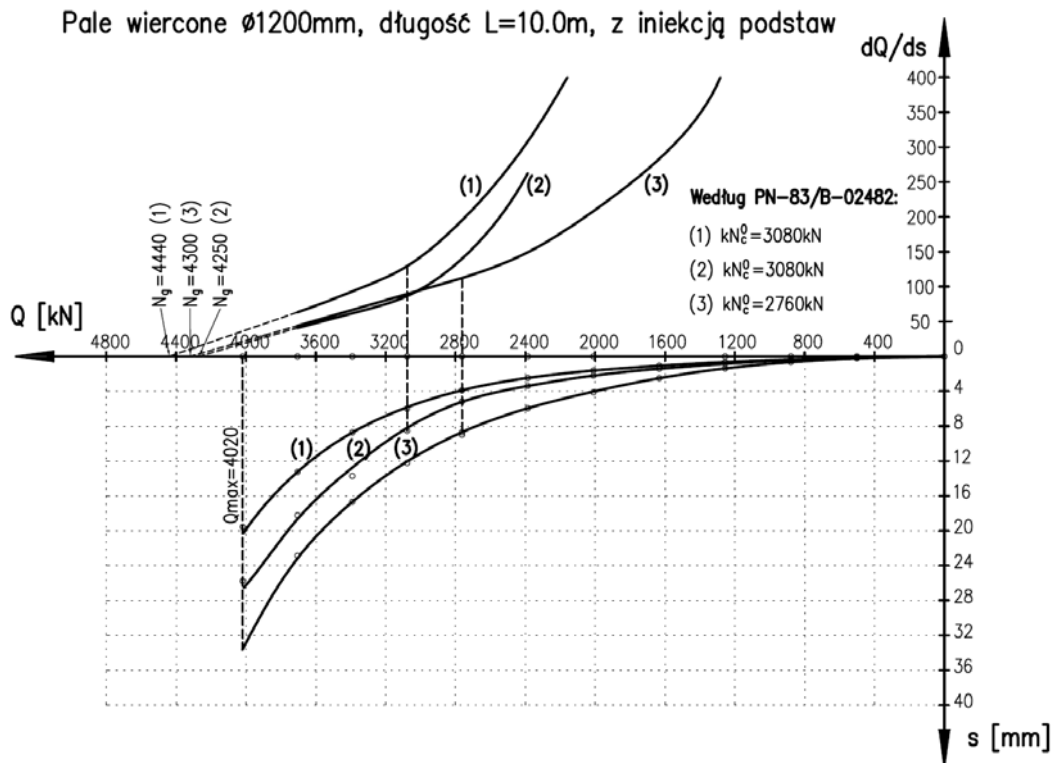
Wybór zestawu R1, R2, R3 czy R4 zależy od przyjętego podejścia obliczeniowego według pkt. 2.4.7.3.4 Eurokodu 7.

Przykłady interpretacji próbnych obciążeń pali według zaleceń Eurokodu i PN-83/B-02482

W niniejszej części przedstawiono interpretację przykładowych wyników próbnych obciążeń pali, według zaleceń normy PN-83/B-02482, i Eurokodu 7 oraz przeprowadzono krótką analizę porównawczą. Do analizy przyjęto kilka wykresów Q-s o różnych charakterystykach.

Przykład 1

Przykład dotyczy wyników próbnych obciążeń 3 pali wierconych wielkośrednicowych $\phi 1200$ mm o długości $L = 10$ m, wykonanych pod posadowienie obiektu mostowego. Wykresy $Q-s$ rozpatrywanych pali charakteryzują się wyraźnym zakrzywieniem – krzywe typu „a” według normy PN-83/B-02482 (rys. 1). Interpretacja wykresów za pomocą krzywych pomocniczych dQ/ds pozwoliła na dość miarodajne określenie nośności granicznych badanych pali. W obecnej analizie przyjęto $(R_{c,m}) \equiv N_g$. Według zaleceń normy PN-83/B-02482 nośności obliczeniowe pali otrzymano o wartościach kN_c^0 podanych na rys. 4. Interpretację wyników badań według Eurokodu przedstawiono natomiast w tabelicy 6.



Rys. 4. Wykresy próbnych obciążeń pali do przykładu 1

Tablica 6. Interpretacja wyników badań nośności pali wierconych z rys. 4

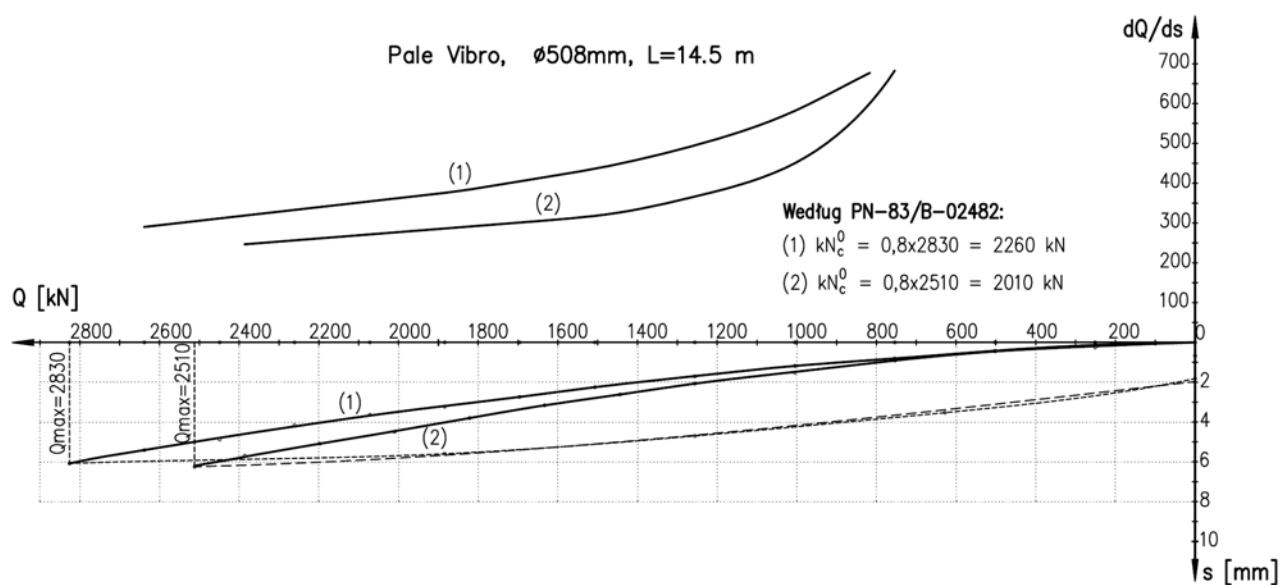
| Pal nr | $R_{c,m}$ [kN] | $(R_{c,m})_{mean}$ [kN] | $(R_{c,m})_{mean}/\xi_1$ [kN] | $(R_{c,m})_{min}$ [kN] | $(R_{c,m})_{min}/\xi_2$ [kN] | $R_{c;k}$ [kN] | $R_{c;d}$ [kN] |
|--------|-------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| (1) | 4440 | 4330 $\xi_1 = 1.20$ | 3610 | 4250 $\xi_2 = 1.05$ | 4050 | 3610 | 3280 $\gamma_t = 1.1$ |
| (2) | 4300 | | | | | | |
| (3) | 4250 | | | | | | |

Z porównania obu interpretacji wynika, że według Eurokodu nośność obliczeniowa pali jest większa niż według interpretacji zgodnej z normą PN-83/B-02482. Analizując wykresy $Q-s$ badanych pali należy zwrócić uwagę, że obciążenia o wartości $R_{c;d}$ generują osiadania pali rzędu 12 – 16 mm. W takim przypadku decydujący może okazać się warunek stanu granicznego użytkowalności a wynik interpretacji według Eurokodu jest w tym przypadku zbyt optymistyczny.



Przykład 2

Przykład dotyczy wyników próbnych obciążeń 2 pali Vibro $\phi 508$ mm i długości $L = 14,5$ m wykonanych pod posadowienie wiaduktu drogowego. Wykresy $Q-s$ wykazują płaską charakterystykę (rys. 2), co jest typowe dla pali wbijanych Vibro. Dla tego typu krzywych $Q-s$ trudne jest lub niemożliwe miarodajne określenie nośności granicznej za pomocą wykresu pomocniczego dQ/ds ze względu na brak odcinka prostoliniowego lub charakter krzywej typu „b”. Wobec powyższego w rozpatrywanym przykładzie przyjęto nośność graniczną pala równą obciążeniu maksymalnemu: $R_{c,m} = Q_{max}$. Interpretację wyników badań według normy PN-83/B-02482 w postaci wartości kN_c^0 podano na rys. 5, natomiast interpretację według EC7 w tabelicy 7.



Rys. 5. Wykresy próbnych obciążeń pali do przykładu 2

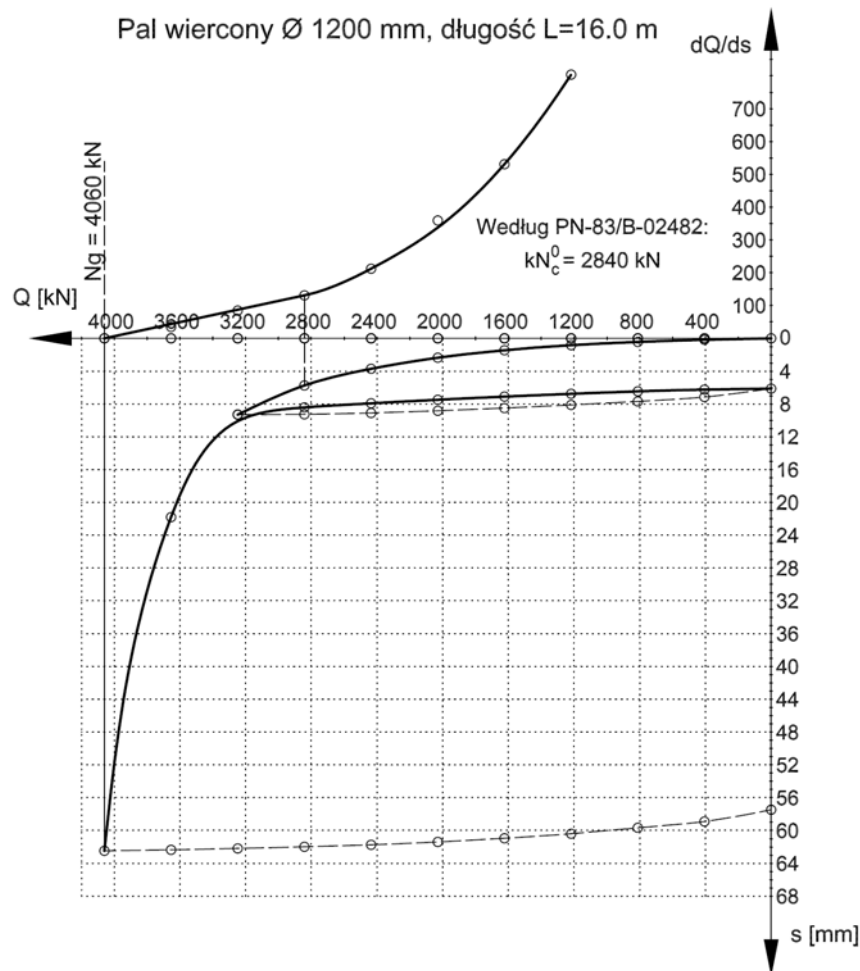
Tabela 7. Interpretacja wyników badań nośności pali Vibro z rys. 5

| Pal nr | $R_{c,m}$ [kN] | $(R_{c,m})_{mean}$ [kN] | $(R_{c,m})_{mean}/\xi_1$ [kN] | $(R_{c,m})_{min}$ [kN] | $(R_{c,m})_{min}/\xi_2$ [kN] | $R_{c;k}$ [kN] | $R_{c;d}$ [kN] |
|--------|-------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| (1) | 2830 | 2670 | 2050 | 2510 | 2090 | 2050 | 1865 |
| (2) | 2510 | | | $\xi_1 = 1.30$ | | | |

Tym razem otrzymano rezultat odwrotny w stosunku do przykładu 1. Z interpretacji według EC7 otrzymano mniejsze nośności obliczeniowe pali ($R_{c,d}$) niż z interpretacji według dotychczasowej normy (kN_c^0). Należy jednak zaznaczyć, że jest to wynikiem przyjęcia, że $R_{c,m} = Q_{max}$. W takich sytuacjach (płaskie krzywe $Q-s$) należy zastosować odpowiednio większe przeciążenie pali lub przyjmować skorygowane wartości współczynników ξ_1 i ξ_2 . Należy zauważyć brak właściwej interpretacji według EC7 dla podobnych krzywych osiadania $Q-s$.

Przykład 3

W przykładzie 3 przeanalizowano wynik pojedynczego badania pala wierconego, w czasie którego osiągnięto nośność graniczną pala. Należy przy tym dodać, że osiągnięto ją nie z powodu odpowiednio dużego przeciążenia, lecz z powodu niekorzystnej pracy pala w gruncie (gorszej niż zakładano w projekcie). Badany pal o średnicy $\phi 1200$ mm i długości $L = 16,0$ m wykonano pod posadowienie wiaduktu drogowego. Wykres $Q-s$ uzyskany z badania przedstawiono na rys. 6 wraz z interpretacją według normy PN-83/B-02482, a interpretację według EC7 zawarto w tabl. 8.



Rys. 6. Wykres próbnego obciążenia pała do przykładu 3

Tablica 8. Interpretacja wyników badania nośności pała wierconego z rys. 6

| Pal nr | $R_{c;m}$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}/\xi_2$ [kN] | $R_{c;k}$ [kN] | $R_{c;d}$ [kN] |
|--------|-------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| (1) | 4060 | 4060 $\xi_2 = 1.40$ | 2900 | 2900 | 2640 $\gamma_t = 1.1$ |

W rozpatrywanym przykładzie również stwierdzono różnicę w wynikach interpretacji pomiędzy normą PN-83/B-02482 i EC7 z tym, że podobnie jak w przykładzie 2 według EC7 uzyskano wartość niższą od wyniku według normy PN-83/B-02482. Tym razem główną przyczyną różnicy jest liczba badań. Wykonano tylko jedno badanie, dla którego współczynnik ξ_2 przyjmuje największą wartość równą 1,4.

Zakładając, że dla przykładu 3 wykonano dwa próbne obciążenia i uzyskano identyczne wyniki to z obliczeń według EC7 uzyskamy korzystniejszy wynik, tablica 9.

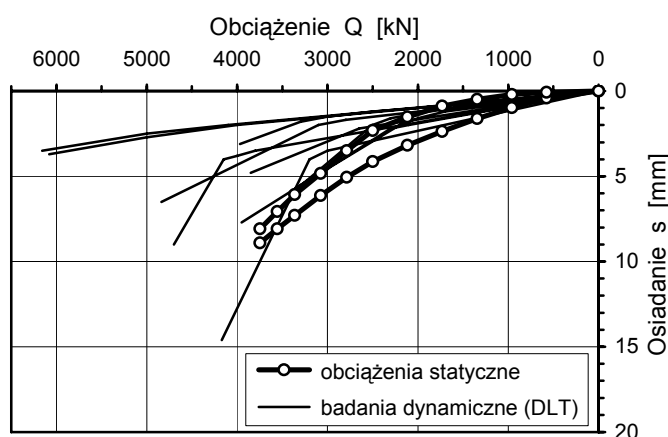
Tablica 9. Interpretacja wyników badania nośności dla dwóch pali wierconych $n=2$

| Pal nr | $R_{c;m}$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}/\xi_2$ [kN] | $(R_{c;m})_{mean}$ [kN] | $(R_{c;m})_{mean}/\xi_1$ [kN] | $R_{c;k}$ [kN] | $R_{c;d}$ [kN] |
|--------|-------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| (1) | 4060 | 4060 | 3383 | 4060 | 3123 | 3123 | 2840 $\gamma_t = 1.1$ |
| (2) | 4060 | $\xi_2 = 1.20$ | | $\xi_1 = 1.30$ | | | |

Przykład 4

Przykład dotyczy wyników próbnych obciążeń 12 pali wierconych $\phi 1500$ mm o długości od 8,0 do 10,0 m. Na dwóch palach o numerach P5 oraz P30 wykonano próbne obciążenia statyczne natomiast pozostałe pale przebadano metodą dynamiczną (DLT). W podstawach pali zastosowano iniekcję cementową według rozwiązania Katedry Geotechniki Politechniki Gdańskiej. Zestawienie krzywych z próbnych obciążeń przedstawiono na rys. 7.

Dla wszystkich krzywych Q - s przyjęto nośność graniczną pala równą obciążeniu maksymalnemu: $R_{c;m} = Q_{max}$. W przypadku pali badanych metodą DLT jako wartość graniczną przyjmowano maksymalny opór pala zmobilizowany podczas badania. Nośności obliczeniowe pali obciążanych statycznie według normy PN-83/B-02482 wynoszą $kN_c^0 = 3075$ KN. Interpretację wg EC7 przedstawiono w tablicach 10 i 11.



Rys. 7. Krzywe obciążenie-osiadanie dla 12 pali wierconych z przykładu 4

Tablica 10. Interpretacja wyników próbnych obciążeń statycznych pali wierconych $n = 2$, rys. 7

| Pal nr | $R_{c;m}$ [kN] | $(R_{c;m})_{mean}$ [kN] | $(R_{c;m})_{mean}/\xi_1$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}/\xi_2$ [kN] | $R_{c;k}$ [kN] | $R_{c;d}$ [kN] |
|--------|-------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| (P5) | 3748 | 3748 $\xi_1 = 1,3$ | 2883 | 3748 $\xi_2 = 1,2$ | 3123 | 2883 | 2620 $\gamma_t = 1,1$ |
| (P30) | 3748 | | | | | | |

Tablica 11. Interpretacja wyników badań dynamicznych nośności pali wierconych $n = 10$, rys. 7

| Pal nr | $R_{c;m}$ [kN] | $(R_{c;m})_{mean}$ [kN] | $(R_{c;m})_{mean}/\xi_5$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}$ [kN] | $(R_{c;m})_{min}/\xi_6$ [kN] | $R_{c;k}$ [kN] | $R_{c;d}$ [kN] |
|--------|-------------------|---|----------------------------------|--|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| (P2) | 3850 | 4442 $\xi_5 =$ $1,45 \times 0,85$ $= 1,23$ | 3611 | 3300 $\xi_6 =$ $1,3 \times 0,85$ $= 1,11$ | 2973 | 2973 | 2700 $\gamma_t = 1,1$ |
| (P4) | 3950 | | | | | | |
| (P11) | 3300 | | | | | | |
| (P12) | 3400 | | | | | | |
| (P23) | 4700 | | | | | | |
| (P24) | 4170 | | | | | | |
| (P25) | 6160 | | | | | | |
| (P26) | 6080 | | | | | | |
| (P35) | 3970 | | | | | | |
| (P36) | 4840 | | | | | | |

W powyższym przykładzie największą wartość otrzymano z interpretacji wg PN-83/B-02482. Dla obciążeń statycznych powodem jest zbyt wysoka wartość współczynników korelacyjnych dla dwóch

badan pali. W przypadku badan dynamicznych decyduje najslabszy pal. Moze sie jednak zdarzyc, ze bedzie to pal dla ktorego otrzymano najmniejsza wartosc oporow zmobilizowanych na skutek zbyt slabego uderzenia.

Przy duzej liczbie badan dynamicznych z dopasowaniem sygnalu, wspolczynniki korelacyjne ξ dla badan dynamicznych moga byc mniejsze od wspolczynniki dla badan statycznych (patrz tablica 10 i 11).

Wnioski

Powyzsza ocena i analizy pozwalaja stwierdzic, ze roznic w interpretacjach probnych obciazen pali pomiedzy dotychczasowa polska norma, a Eurokodem 7 wynikaja bardziej z przyczyn formalnych niz merytorycznych. Przede wszystkim w zapisach Eurokodu 7 jest duzo elementow formalnych, ktore moga byc interpretowane niewlasciwie lub nadinterpretowane. Na przyklad moze sie zdarzyc sytuacja, w ktorej wykonanie jednego probnego obciazenia pala daje wynik negatywny (zbyt mala noosnosc obliczeniowa pala), natomiast wykonanie drugiego probnego obciazenia pala, z ktorego otrzymamy niemal identyczny wykres, moze dac juz wynik ogolny pozytywny (wystarczajaca noosnosc obliczeniowa pala). Na wynik koncowy ma bowiem wplyw liczba wykonanych badan. Ten temat wymaga jeszcze przedyskutowania.

Nalezny rowniez zwrócic uwage, ze w pelnej analizie omawianego problemu trzeba uwzględnic jednolity system projektowania wedlug Polskich Norm lub Eurokodow z uwzględnieniem wspolczynniki obciazen.

Literatura

1. Gwizdała K.: Analiza osiadań pali przy wykorzystaniu funkcji transformacyjnych. Wydawnictwa Naukowe Politechniki Gdańskiej, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej Nr 532, Budownictwo Wodne XLI, 1996, 192 s.
2. Gwizdała K.: Kontrola nośności pali i jakości robót palowych. Seminarium Fundamenty Palowe i Specjalne. Warszawa, 2 marca 2004 r. Inst. Dróg i Mostów P. Warsz., Inst. Bad. Dróg i Mostów, PZWFS 2004 s. 37-62.
3. PN-83/B-02482. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
4. EN 1997-1 (2004). Eurocode 7. Geotechnical Design – Part 1: General Rules.
5. PN-EN 1997-1:2005. Eurokod 7, Projektowanie geotechniczne. PKN, Warszawa, 2005.
6. PN-EN 1536:2001, Pale wiercone.
7. PN-EN 12699:2002, Pale przemieszczeniowe.

