

Maciej Kordian KUMOR, Krzysztof SZPAKOWSKI  
Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz

## BADANIA NOŚNOŚCI PALI W EKSPANSYWNYCH IŁACH TRZECIORZĘDOWYCH

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono poligon badawczy nośności pali formowanych w ekspansywnych iłach trzeciorzędowych. Na zaprojektowanym w Katedrze Geotechniki poligonie możliwe jest oddzielne oznaczenie nośności pobocznic, podstawy i całkowitej nośności pala. Analizowane są między innymi nośności pali w różnym stanie wilgotnościowym iłów podłoża: podłoże naturalne – iły „suche” oraz podłoże wstępnie zalane wodą, „iły spęczniałe”. Wykonano próbne obciążenia dla każdego przypadku badanych pali. W przypadku spęczniałych ekspansywnych iłów, rzeczywista nośność całkowita i nośność pobocznic jest niższa o co najmniej 40% od nośności pali obliczonej wg Polskiej Normy.

## FIELD TESTS OF THE BEARING CAPACITY OF BORED PILES INTO EXPANSIVE TERTIARY CLAYS

**Summary.** The paper presents a test site for the bearing capacity of in-situ cast piles in expansive Tertiary clays. The investigations have enabled to determine separately the bearing capacity of piles shaft and base. The piles bearing capacity due to the influence of water content in the clays was determined too.

### 1. Wstęp

Dotychczasowe wyniki nośności uzyskiwane z próbnych obciążeń pali formowanych w jednorodnym podłożu ekspansywnym, określające wartości rzeczywiste, różnią się zasadniczo od nośności pali obliczonej zgodnie z zapisami polskich norm [4]. Fakt ten szczególnie uwidocznił się w analizowanych przypadkach przeszacowania nośności fundamentów palowych podpór mostów w iłach ekspansywnych serii poznańskiej w Bydgoszczy i Poznaniu. Największe spadki nośności, jak ustalono, dotyczyły przede wszystkim pobocznic pala. Jednocześnie wyniki prowadzonych od kilku lat [2], badań w skali laboratoryjnej w Katedrze Geotechniki, symulujące warunki współpracy betonowej pobocznic pala z iłem ekspansywnym wykazały, że wytrzymałość na ścinanie strefy

kontaktowej ił ekspansywny-beton, jest zdecydowanie niższa w iłach po spęcznieniu i zależy w dużym stopniu od wilgotności nie tylko betonu. Uzyskane z badań dane odbiegają również od analogicznych wartości liczbowych oporu poboczniczy zalecanych w Normie [5] w podobnych stanach wilgotnościowych iłu. Szczególnie różnice spadku nośności dotyczyły analizowanych praktycznych przypadków, gdy w podłożu zalegał prawie jednolity masyw ılasty, z niezauważalnymi przewarstwieniami pyłów, o lekko napiętym zwierciadle wody gruntowej lub sączące wodę wkładki piaszczyste. W próbnym obciążeniu uzyskiwano zwykle nośność niższą niż projektowana, nawet o 40%. Jedną z przyczyn powstających rozbieżności jest stwierdzenie, że założenia [5] o stałej wartości oporu poboczniczy pala poniżej 5 m p.p.t. ( $\sigma_n = 100$  kPa) nie jest w rzeczywistości spełnione. Fakt ten podkreśla Gwizdała [1] wprowadzając współczynnik  $\xi$  w funkcję  $t_r = \xi * t_{max}$ .

Uzasadnione staje się zatem poszukiwanie ścisłych danych do określenia relacji wytrzymałości poboczniczy betonowego pala w zależności od różnych warunków wilgotnościowych, jakie mogą wystąpić podczas wykonawstwa pali w ıłach ekspansywnych. Nawet niewielki wzrost wilgotności ıłów ekspansywnych, zwykle będących w stanie półzwartym lub co najwyżej twaroplastycznym, pociąga za sobą zawsze obniżenie wartości liczbowej parametrów geotechnicznych ıłu i osłabia wytrzymałość kontaktową ıł-beton. Według badań Katedry Geotechniki, po zalaniu wodą trzeciorzędowego ıłu ekspansywnego, w pierwszej godzinie następuje dynamicznie największy wzrost wilgotności i jednocześnie spadek wartości wytrzymałości spęczniałego ıłu, osiągający 50% i więcej.

W celu poznania zależności kształtowania się wytrzymałości na ścinanie strefy kontaktowej ıł ekspansywny-beton pod wpływem zmian wilgotności uznano, że odpowiedni będzie test przeprowadzony w warunkach poligonowych na rzeczywistych palach formowanych w odpowiednio dobranym, pod względem geotechnicznym, podłożu ılastym.

## 2. Opis poligonu doświadczalnego i przeprowadzone badania

Badania zmian nośności rzeczywistych pali w ıłach ekspansywnych najkorzystniej przeprowadzić jest na poligonie. W procesie projektowania i wykonawstwa fundamentów palowych, a także w badaniu poligonowym należy uwzględnić co najmniej trzy zagadnienia:

- prawidłowe rozpoznanie geotechniczne i właściwą interpretację badań z miarodajnym określeniem parametrów geotechnicznych podłoża,
- właściwe określenie nośności i zagłębienia pali w podłożu gruntowym,

- prawidłowe wykonawstwo według obranej technologii, przy uwzględnieniu wszystkich uwarunkowań technologicznych i naturalnych w terenie.

W przypadku badania nośności pali w iłach ekspansywnych niezbędne jest uwzględnienie przede wszystkim, w każdym z tych etapów, specyficznej wrażliwości iltu na zmiany zawilgocenia. Prowadząc badania należy mieć stałą świadomość skutków zjawisk nawilgocenia iltu i jego pęcznienia, które mogą wystąpić z przyczyn nie tylko naturalnych, w podłożu podczas formowania i podczas pracy pali. Stąd program, jaki założono, dla poligonu badawczego uwzględniał następujące warunki:

- ekspansywny, naturalny typowy masyw iltasty, „suchy” o jednorodnym profilu geotechnicznym i miąższości co najmniej 9,0 m, bez śladów występowania wody,
- pełną możliwość identyfikacji parametrów geotechnicznych podłoża i strefy wokół pala, zarówno metodami polowymi i laboratoryjnymi,
- obserwację i sterowaną zmianę wilgotności masywu iltu w strefie oddziaływania pala,
- realizację próbnych obciążeń pali przez co najmniej 4 lata.

## 2.1. Lokalizacja i właściwości geotechniczne iltów podłoża

Poligon doświadczalny do badań nośności pali spełniający powyższe warunki, zlokalizowano na terenie Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Teren poligonu znajduje się na średnim tarasie nadzalewowym rzeki Wisły w rejonie płytkiego, poziomego występowania stropu iltu. Właściwości geotechniczne iltów trzeciorzędowych obszaru poligonu są bardzo dobrze rozpoznane z badań reperowych punktu zlokalizowanego w pobliżu. Dodatkowo na terenie poligonu wykonano badania identyfikacyjne obejmujące między innymi sondowania CPT i badania dylatometryczne DMT, w strefie oddziaływania i poza strefą wpływu pali. Poniżej przedstawiono charakterystyczny przekrój geotechniczny podłoża i wybrane wyniki badań polowych CPT. W tablicy 1 zestawiono niektóre właściwości badanego iltu z podłoża poligonu. Na podstawie otrzymanych wyników wilgotności naturalnej można stwierdzić, że iltu podłoża mają konsystencję zwartą, a stan nie gorszy niż twardoplastyczny ( $I_L < 0,07$ ). Będą wykazywały w praktyce prawie wyłącznie fazę pęcznienia, a ich skurcz jest mało prawdopodobny. Woda gruntowa naturalnie nie występowała w badanym podłożu do głębokości co najmniej 9,0 m p.p.t. Na uwagę zasługują otrzymane wysokie wartości wskaźników ekspansywności, tj:  $\varepsilon_p$  – wskaźnika pęcznienia,  $w_r$  – wilgotności pęcznienia i czasu pęcznienia, wskazujące na bardzo wysoką wrażliwość iltów podłoża na działanie wody przy stosunkowo krótkim czasie kontaktu szkieletu mineralnego z wodą.

Tablica 1

## Wybrane właściwości geotechniczne ilów ekspansywnych podłoża poligonu

Parametr geotechniczny	$w_n$	$w_s$	$w_p$	$w_L$	$I_p$	$I_L$	$f_p$	$f_\pi$	$f_i$	$\epsilon_p$	$w_f$	Pęcznienie [h]
	[%]					[1]	[%]					
Wartość średnia - $\bar{x}$	26,34	11,29	28,56	87,9	61,5	-0,02	5	38	59	27,6	45,7	84
Wartość - $x_{\min}$	20,53	9,65	21,77	71,8	49,7	-0,1	3	35	54	22,2	40,1	71
Wartość - $x_{\max}$	35,93	14,8	38,23	106,8	75,9	0,07	7	40	62	33,0	52,2	96
Liczba próbek - N	137	8	30	24	24	24	5	5	5	12	12	12

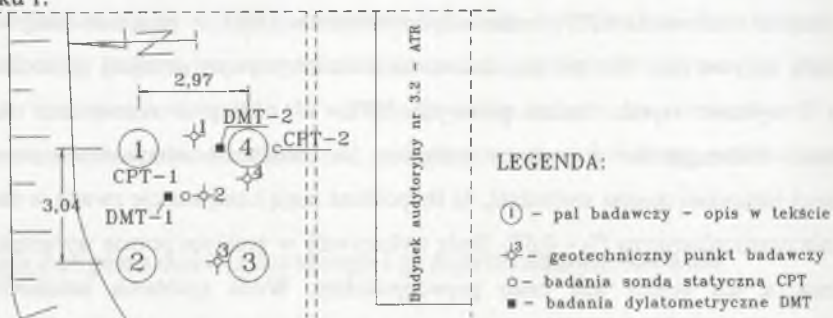
Wartości parametrów podłoża poligonu są typowe dla bardzo ekspansywnych ilów z rejonu Bydgoszczy, o ekstremalnie wysokim pęcznieniu [4].

## 2.2. Polygon doświadczalny

Poligon doświadczalny zaprojektowano do badania reprezentatywnych typów warunków, przy czym każdy z wykonanych pali charakteryzował inne założone warunki. Przyjęto następujące warunki geotechniczne współpracy pala z ekspansywnym podłożem ilastym:

- **pal nr 1** - współpracujący z podłożem *tylko poboczną* w warunkach *ilü spęczniałego, po wstępnyu sztucznyu nawodnieniu*,
- **pal nr 2** - współpracujący z podłożem *tylko poboczną* w warunkach *ilü naturalnego w złožu, „suchego”*,
- **pal nr 3** - współpracujący z *ilümi poboczną i podstawą* w otworze „suchy”,
- **pal nr 4** - współpracujący z *ilümi poboczną i podstawą* w otworze w warunkach *ilü spęczniałego, po nawodnieniu*.

Schematyczne rozmieszczenie pali i punkty badawcze na poligonie przedstawiono na rysunku 1.

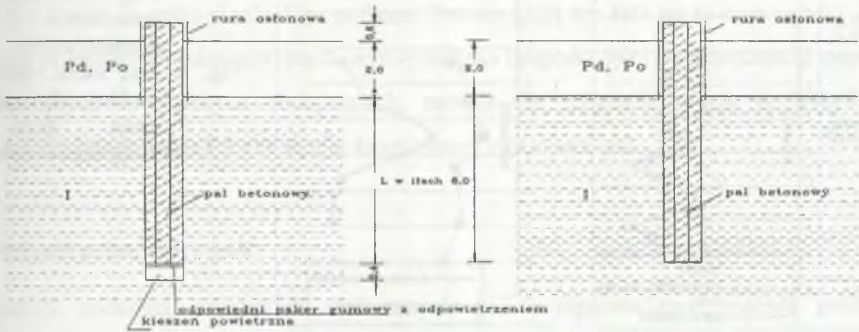


Rys. 1. Szkic sytuacyjny poligonu doświadczalnego Katedry Geotechniki ATR ul. Kaliskiego 7 w Bydgoszczy

Fig. 1. Bydgoszcz test site – situation

Przyjęte założenia badawcze dla pali w wymienionych różnych warunkach geotechnicznych pozwalają na przeprowadzenie pełnych badań nośności pali w kombinacjach obejmujących określenie nośności pali w naturalnych warunkach oraz w ilastym podłożu nawadnianym sztucznie. Jednocześnie po zastosowaniu odpowiedniego pakera gumowego i

wytworzeniu kieszeni powietrznej pod podstawą pala, uzyskano rozdział na nośność poboczniczy, podstawy pala oraz nośność całkowitą pala, rys. 2.



Rys. 2. Schemat pali: a – pale współpracujące z íłem tylko pobocznicą (1,2),  
b – pale współpracujące z íłem podłoża pobocznicą i podstawą (2, 3)

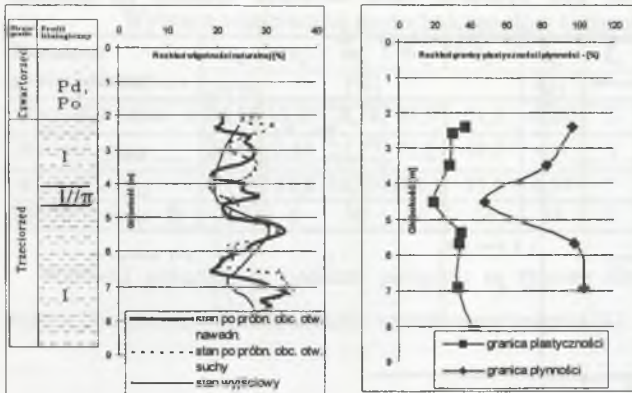
Fig. 2. Scheme of piles: a-friction piles (shaft surface in clay only); b- bearing capacity: shaft and base surfaces of piles together

### 2.3. Wykonane badania

Wiercenia otworów palowych przeprowadzono na sucho, wiertnicą H-2. Pale formowano w gruncie metodą Wolfsholza, długość całkowita pala  $L = 8,0$  m (w tym 6,0 m w íłach), średnica pali  $\varnothing = 256$  mm, beton klasy B25, zbrojone na całej długości ( $4\varnothing 14$  mm), zabezpieczone rurą osłonową na długości 2 m w strefie kontaktu pala z piaskami, rys. 2. Pale współpracujące z íłami ekspansywnymi tylko pobocznicą uformowano w sposób zapewniający brak kontaktu podstawy pala z podłożem, (zastosowano odpowiedni gumowy paker - elastyczny kołnierz zabezpieczający).

Przed uformowaniem pali nr 1 i 4, tj. współpracujących pobocznicą z íłem spęczniałym, przygotowane otwory wiertnicze (z pakerem i bez pakera) zalano wodą na 15 godzin. Po tym czasie stwierdzono, że íły ekspansywne w zalanym otworze spęczniały i zamknęły światło otworu tworząc tiksotropowy korek na długości kontaktu ítu z wodą. Przed betonowaniem pali wodę odpompowano i wyszlamowano otwory z zawiesiny ítu do założonej średnicy pala. Pobrano próbki gruntu oraz betonu do analiz wytrzymałościowych.

Pale uformowano zgodnie z założonym programem i zazbrojono. Po upływie 30 dni od zabetonowania wszystkie pale poddano badaniu nośności poprzez próbne obciążenie. Jednocześnie wykonano badania rozkładu wilgotności íł w strefie bezpośredniej wokół poszczególnych pali oraz w strefie poza oddziaływaniem pali. Dodatkowo przeprowadzono w otoczeniu pali badania íł w za pomocą CPT i DMT łącznie z innymi badaniami, rys. 3.



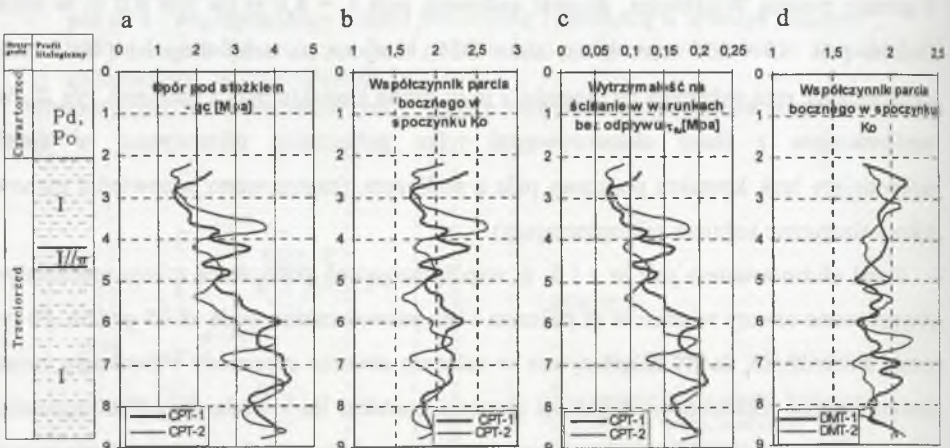
Rys. 3. Przykładowe rozkłady wilgotności oraz granic konsystencji iltów ekspansywnych

Fig. 3. Soil water content and profiles of consistency limits from the Bydgoszcz test site

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Sondowanie CPT i DMT

W celu dokładnej identyfikacji i analizy zmian kształtujących właściwości geotechniczne iltów podłoża oraz w celu określenia niezbędnej wartości liczbowej, między innymi współczynnika  $K_0$  i wytrzymałości na ścinanie, wykonano sondowania CPT i DMT, rys. 4.



Rys. 4. Wyniki badania CPT i DMT na poligonie iltów ekspansywnych w Bydgoszczy

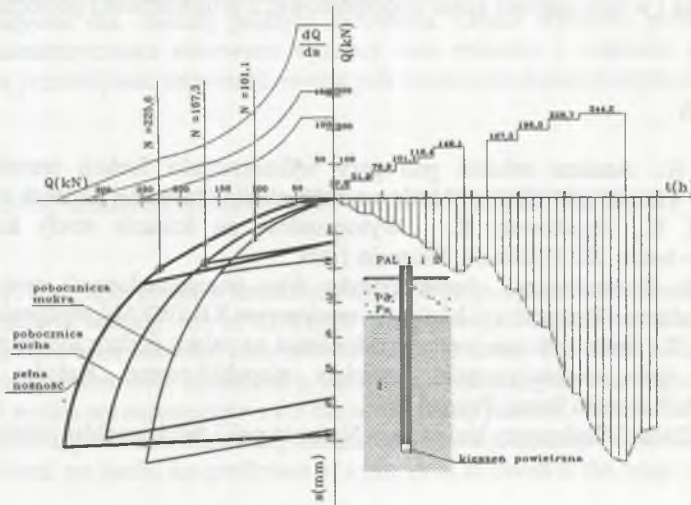
Fig. 4. Typical results of CPT and DMT profile, Bydgoszcz test site of expansive clays

Rezultaty tych badań poddano łącznej interpretacji z uwzględnieniem w analizie wyników szerokich laboratoryjnych badań wytrzymałości na bezpośrednie ścinanie strefy kontaktowej ilt ekspansywny – beton pała [2]. Uzyskano z sondowania CPT wyraźny spadek wytrzymałości na ścinanie w strefie iltu objętego wpływem oddziaływania pała

uformowanego w warunkach, gdy ił został wstępnie nawodniony i spęczniał pod wpływem działania wody, rys. 4c. Spadek ten odniesiono do wytrzymałości na ścinanie ładu w strefie tam gdzie nie doszło do spęcznienia łąw podłoża. Potwierdzają ten fakt także inne wyniki, które uzyskano w badaniach laboratoryjnych wytrzymałości bezpośredniej i z interpretacji nośności otrzymywanych w próbnym obciążeniu, zawsze dla przypadków gdy dochodziło do nawodnienia i pęcznienia łąw w strefie kontaktowej z betonem pala.

### 3.2. Nośność poboczniczy pali

Badanie nośności wszystkich wykonanych pali przeprowadzono metodą próbnym obciążen zgodnie z zaleceniami Polskiej Normy [5]. Końcowe wyniki połowych badań nośności poboczniczy pali przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykładowe wyniki próbnego obciążenia pala  
Fig. 5. Exemplary pile trial loading

Otrzymane wyniki nośności pali badanych w założonych różnych warunkach geotechnicznych odniesione do wyliczonych nośności zgodnie z zaleceniami Normy [5], wykazują istotne zmniejszenie nośności zarówno w części nośności poboczniczy, podstawy jak i nośności całkowitej. Obniżenie poszczególnych składowych nośności pala w spęczniałym podłożu ekspansywnym wynosi od około  $\Delta N_p = 18\%$  dla podstawy,  $\Delta N_s = 40\%$  dla poboczniczy i  $\Delta N_t = 34\%$  nośności całkowitej, w stosunku wyliczonych dla warunków początkowych niespęczniałego ładu.

#### 4. Wnioski podsumowujące

Poligon doświadczalny badania nośności pali betonowych formowanych w gruncie, współpracujących z ekspansywnym iłem trzeciorzędowym spełnił założenia i umożliwił bezpośrednie poznanie zmian – utraty - nośności pali, w warunkach gdy iły poboczniczy pala lub podstawy ulegną rozmoczeniu i spęcznieniu w trakcie robót fundamentowych. Zalewanie wodą gruntów w głębinowym otworze nie zawsze daje się wyeliminować w warunkach rzeczywistych. Jak wykazały wyniki przeprowadzonych badań poligonowych, projektanci powinni przewidywać obniżenie nośności całkowitej pala o około 40%, w przypadkach gdy istnieją przesłanki geotechniczne i jest obawa nawet o **przypadkowe nawilgocenie** iłu wzdłuż poboczniczy w trakcie wykonawstwa. Wykonawcy pali powinni zwracać szczególną uwagę w iłach ekspansywnych na każdy nawet najmniejszy dopływ wody do iłów w rejonie poboczniczy pala i w tym zakresie ściśle współpracować z projektantem i geotechnikiem.

#### LITERATURA

1. Gwizdała K.: Analiza osiadań pali przy wykorzystaniu funkcji transformacyjnych. Budownictwo Wodne nr 41. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 1996.
2. Kumor M. K., Szpakowski K.: Wytrzymałość na ścinanie strefy kontaktowej ił ekspansywny – beton, XII KKMGiF, Szczecin 1999.
3. Kumor M.: Geotechniczna charakterystyka iłów trzeciorzędowych serii poznańskiej podłoża budowlanego Bydgoszczy. Materiały seminaryjne KILiWPAN, Bydgoszcz 1994.
4. Kumor M. K.: Geotechniczna ocena posadowienia na palach podpór mostu przez Wartę w Poznaniu w iłach ekspansywnych, materiały niepublikowane. Katedra Geotechniki, Bydgoszcz - Politechnika Pozn., Poznań 2001.
5. PN-83/B-02482. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Bohdan ZADROGA

#### Abstract

The paper presents a test site for the bearing capacity of in-situ cast piles in expansive Tertiary clays. The bearing capacity of piles shaft and base as well as the total was analysed for various water contents in clay: natural subsoil – “dry” and flooded with water clay, “swollen clay”. Trial loads were carried out. The decrease in individual components of pile bearing capacity in swollen expansive subsoil amounts to from about  $\Delta N_p = 18\%$  for the base,  $\Delta N_s = 40\%$  for the shaft and  $\Delta N_t = 34\%$  of total bearing capacity as against the values calculated according to Polish standard (PN) for non-swollen clay.