

Próbné obciążenia statyczne mikropali aluminiowych wykonanych w technologii Statipile

Static load tests of aluminum micropiles made in the Statipile technology

Łukasz Jabłoński¹; orcid: 0000-0002-9221-8335; mail: l.jablonski@pollub.pl

Marcin Górecki²; orcid: 0000-0001-8746-8172

Anna Halicka³; orcid: 0000-0001-5526-8862

^{1,2,3}Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin,

Streszczenie: Mikropale aluminiowe wykonywane w technologii STATI-pile wykorzystywane są głównie do wzmacniania istniejących obiektów budowlanych oraz posadawiania nowych budynków w złożonych warunkach gruntowo-wodnych. Podstawą analizy współpracy pala z podłożem gruntowym są próbné obciążenia statyczne. Artykuł prezentuje opis i analizę badań obejmującej: warunki gruntowe, budowę stanowiska badawczego, przebieg i wyniki przeprowadzonych badań, obserwację zachowania mikropali, analizę wyników i obserwacji.

Słowa kluczowe: mikropale aluminiowe, Statipile, próbné obciążenia

Abstract: Aluminum micropiles made in the STATI-pile technology are mainly used to strengthen existing buildings and for the foundation of new buildings in complex soil and water conditions. The basis for the analysis of pile-subsoil cooperation are static test loads. The article presents the description and analysis of the research covering: soil conditions, construction of the test stand, course and results of the research, observation of micropile behavior, analysis of results and observations.

Keywords: aluminum micropiles, Statipile, test loads

Wprowadzenie

Mikropale aluminiowe o handlowej nazwie Statipile, ze względu wiele walorów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych, stają się coraz bardziej atrakcyjnym rozwiązaniem w szczególności przy wzmacnianiu fundamentów istniejących obiektów oraz posadawianiu niewielkich budynków w złożonych warunkach gruntowych.

Przedmiotowe mikropale można przypisać do grupy pali przemieszczeniowych, wbijanych, o średnicy do 150 mm, wykonanych z prefabrykowanych skręcanych odcinków [1]. Ze względu na niewielkie rozpoznanie ich pracy statycznej i współpracy z gruntem, podstawowe znaczenie dla wiarygodności obliczeń projektowych ma miarodajne określenie jednostkowych oporów pod podstawą i na pobocznicę mikropala. Każda przyjęta metoda projektowania powinna bazować na analizach porównawczych i statystyce wykorzystującej wyniki próbných obciążeń statycznych pali wykonanych w skali naturalnej [2-5]. Wartości jednostkowych oporów gruntu powinny być odniesione do wielkości przemieszczeń i uwzględnić definicję obciążeń granicznych zgodnych z założeniami EC 7 [6].

W artykule przedstawiono przebieg i wyniki eksperymentalnego próbného obciążenia statycznego mikropali oraz podjęto próbę analizy ich współpracy z podłożem gruntowym. Prace badawczo-rozwojowe zorganizowano przy współpracy Politechniki Lubelskiej oraz firmy dystrybucyjnej i wykonawczej FAMAR.

Charakterystyka warunków geologicznych

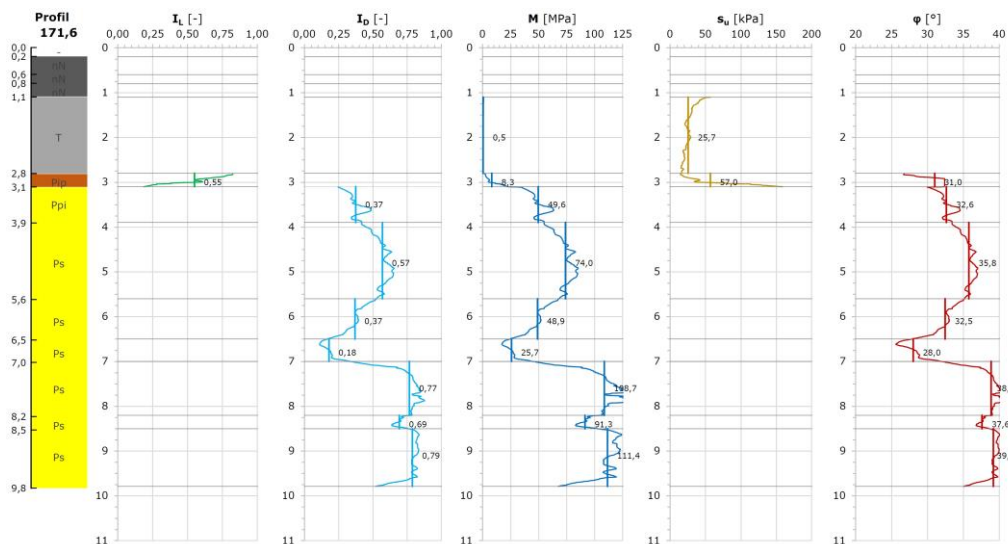
Warunki gruntowe i parametry podłoża ustalono bezpośrednio na stanowisku do badań mikropali

zlokalizowanym na terenach zielonych Politechniki Lubelskiej przy ul. Wapiennej, w niedalekiej odległości od ogródków działkowych oraz rzeki Bystrzyca. Wykonano trzy sondowania statyczne CPTU o głębokości ok. 9,8 m p.p.t. oraz jeden otwór wiertniczy o głębokości 9,5 m p.p.t., lokalizację punktów przedstawia rzut na Rys. 3. Poniżej przytoczono zbiorcze wyniki sondowań oraz wiercenia (Rys. 1). Według rozpoznania podłoże gruntowe zbudowane jest z gruntów piaszczystych, na stropie których zalegała warstwa pyłów próchnicznych o niewielkiej miąższości (0,3 m) oraz znacznej miąższości warstwy torfu (1,7 m) i nasypu niekontrolowanego (1,0 m). Warstwy gruntów piaszczystych charakteryzują się zróżnicowanym stopniem zagęszczenia od $I_D = 0,18$ do 0,79. Zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości ok. -1,0 m p.p.t.

Próbné obciążenie mikropali

Próbné obciążenia wykonano po 25 dniach od daty aplikacji. W badaniach użyto mikropali odlewanych ze stopu aluminium AlSi7Mg 0,3 wykonanych w technologii Statipile. Ich cechą charakterystyczną jest unikalna budowa profilu wykształconego z trzech skręconych po kątem skrzydełek powodujących zwiększone tarcie pobocznic. Obciążono trzy pale o średnicy zewnętrznej $\varnothing 100$ mm i całkowitej długości $L = 9$ m łączone z jednometrowych odcinków za pomocą połączeń gwintowanych M20.

Stanowisko badawcze wykonano w postaci konstrukcji oporowej składającej się z podpór, stalowego rusztu oraz balastu o łącznej masie ok. 40 t. (Rys. 2, 3). Pomiędzy podporami w rozstawie co 1 m zlokalizowano trzy testowane mikropale (Rys. 2).

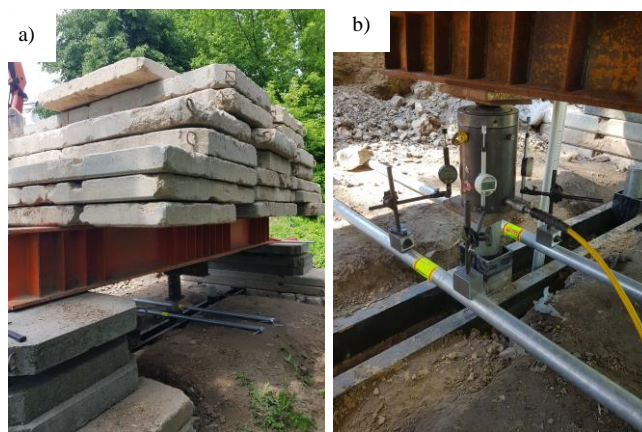


Rys. 1. Zbiórce parametry geotechniczne podłoża gruntowego na stanowisku badawczym
Fig. 1. Cumulative geotechnical parameters of the subsoil on the test stand

Głowice mikropali usztywniono w stalowym ocpie, który umożliwił jedynie przemieszczenia pionowe. Siłę realizowano poprzez układ hydrauliczny składający się z siłownika dwustronnego działania o nośności 1000 kN i wysuwie 15 cm, zasilanego z ręcznej pompy wyposażonej w manometr zegarowy. Pomiar osiadań realizowano za pomocą czujników o zakresie 50 mm i dokładności pomiaru 0,01 mm. Pomiar przyłożonej siły wykonywano poprzez pomiar ciśnienia w układnie hydraulicznym na manometrze o klasie dokładności 1,6 (Rys. 3b).

Próbne obciążenia pali przeprowadzono według programu opracowanego na podstawie metodologii polskiej normy PN-83/B-2482 [7] przyjmując stopnie obciążania co 25 kN. Po każdym stopniu obciążania oczekiwano min. 10 minut na stabilizację osiadań ($s < 0,05$ mm). Badania prowadzono do uzyskania nośności granicznej mikropali a następnie stopniowo odciążano.

W trakcie badań zaobserwowano obrót mikropala wokół osi podłużnej zarówno przy wciskaniu jak i przy odciążaniu.



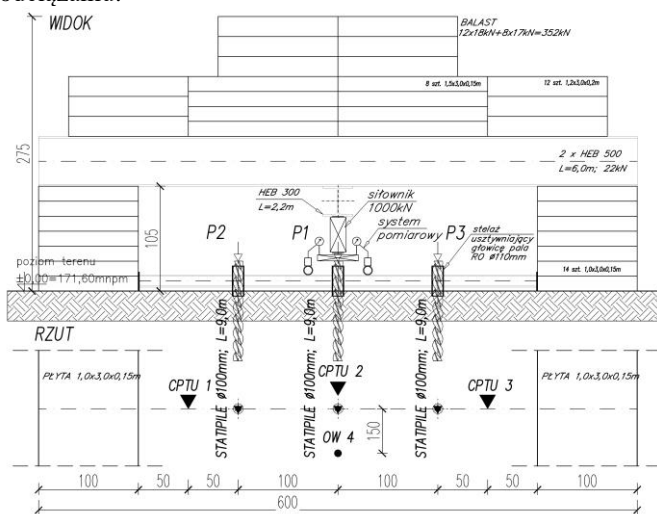
Rys. 3 Stanowisko badawcze: a) widok ogólny, b) widok głowicy mikropala i oprzyrządowania pomiarowego

Fig. 3. Test stand: a) general view, b) view of the micropile head and measuring equipment

Wyniki badań statycznych i ich analiza

Na Rys. 4, w formie zbiorczego wykresu $Q-s$, przedstawiono wyniki próbnych obciążeń trzech testowanych mikropali. Już na pierwszy rzut oka zauważyć można, że wykresy pali testowych P2 i P3 są do siebie bardzo zbliżone i osiągają graniczne obciążenie przy ok. 155 kN, natomiast pal testowy P1 wykazał większą sztywność i osiągnął obciążenie graniczne przy 175 kN. Osiadania całkowite pali (s) nie przekraczają 28 mm, natomiast trwale 20 mm.

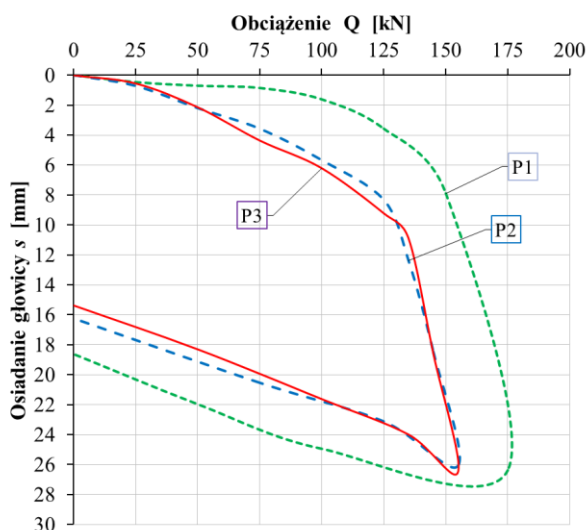
Zgodnie z EC7 [5] za nośność graniczną uznaje się największe obciążenie, dla którego uzyskano stabilizację osiadań pala przed osiągnięciem wartości osiadania przekraczającego 10% jego średnicy. Przy założeniu, średnicy zewnętrznej rozpatrywanego mikropala równej 100 mm, normowa granica osiadania wynosi 10 mm. Analizując charakterystyki $Q-s$ otrzymane z próbnych obciążeń widzimy, że normowa granica osiadań jest przekroczone, jednakże mikropal po jej przekroczeniu nadal jest w stanie przetrwać obciążenie. Zalecenie normowe wydaje się być w tym przypadku zbyt



Rys. 2. Schemat budowy stanowiska do próbnych obciążeń statycznych mikropali

Fig 2. Outline of the construction of the stand for static load tests of micropiles

zachowawcze, dlatego poniżej przedstawiono analizę nośności granicznej dla pełnego zakresu zbadanych osiadań. Wyniki obliczeń zestawiono w Tabeli 1.



Rys. 4 Charakterystyki $Q-s$ otrzymane z próbnych obciążeń mikropali P1,2,3

Fig. 4. $Q-s$ characteristics obtained from test loads of micropiles P1,2,3

Obliczeniowa nośność graniczna R_{cd} wynosi:

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_t} \quad (1)$$

Gdzie:

γ_t – częściowy współczynnik bezpieczeństwa, $\gamma_t = 1,1$;

$R_{c,k}$ – charakterystyczna nośność graniczna,

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,m})_{mean}}{\xi_1}; \frac{(R_{c,m})_{min}}{\xi_2} \right\} \quad (2)$$

Tabela 1 Obliczeniowa nośność graniczna mikropala
Table 1 Design limit load capacity of a micropile

Nośność graniczna pala R_c [kN]	Pal testowy		
	P1	P2	P3
	175	155	155
Średnia nośność graniczna $R_{c,mean}$ [kN]	162		
Minimalna nośność graniczna $R_{c,min}$ [kN]	155		
ξ_1 dla $n = 3$	1,2		
ξ_2 dla $n = 3$	1,05		
Charakter. nośność graniczna $R_{c,k}$ [kN]	134		
Obliczeniowa nośność graniczna $R_{c,d}$ [kN]	121		

Wnioski

Wykonane badania dostarczyły istotnych informacji pozwalających na bezpieczniejsze i optymalniejsze projektowanie fundamentów pośrednich w gruntach niespoistych przy zastosowaniu mikropali wykonanych w technologii Statipile. Na podstawie opisanych wyników i analiz można sformułować następujące wnioski:

1. Pomimo przekroczenia normowej, umownej granicy osiadań (10%D), mikropal jest w stanie dalej przenosić obciążenia. Wydaje się, że rozsądnym podejściem w przypadku analizy pracy pali o niewielkich średnicach jest ograniczanie osiadań do ogólnie przyjętych wartości dopuszczalnych dla

fundamentów bezpośrednich wynoszących $s_{max} = 50$ mm.

- Średnia nośność graniczna badanych mikropali wynosi 162 kN.
- Obliczeniowa nośność graniczna mikropali wyznaczona wg. EC7 [6] wynosi 121 kN.
- Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność mikropali Statipile do stosowania w budownictwie. Warto zwrócić uwagę na relatywnie niewielkie osiadania całkowite (nie przekraczają 28 mm), które zapewniają skuteczność wzmocnienia fundamentów istniejących obiektów.
- W trakcie obciążania zaobserwowano obrót mikropala wokół osi podłużnej mogący mieć wpływ na jego nośność graniczną. Mikropale wykonywane w rzeczywistych obiektach, ze względu na zamocowanie w żelbetowych oczepach lub bezpośrednio ścianach fundamentowych nie mają możliwości obrotu. W praktyce daje to pewien zapas nośności fundamentu opartego na przedmiotowych mikropalach oraz stanowi zagrożenie do dalszych badań.

Doświadczenia uzyskane w trakcie wykonanych badań posłużą do zaplanowania dalszych prac badawczych mikropali Statipile współpracujących z gruntami spoistymi.

Podziękowania:

Autorzy chcieliby wyrazić podziękowania firmie FAMAR za współpracę oraz znaczącą pomoc techniczną i finansową w realizacji podjętego przedsięwzięcia badawczo-rozwojowego.

Literatura

- PN-EN 14199: 2015-07, Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Mikropale.
- Bogusz W, Łukasiuk S: *Analiza nośności pali FDP na podstawie wyników próbnych obciążeń statycznych Prognoza nośności pali na podstawie badań polowych według norm PN-EN-1997 i PN-B-02482*. Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2013, 2, str. 177-183
- Gwizdała K.: *Fundamenty palowe*, Tom 2, Badania i zastosowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, wyd. I, Warszawa, 2013.
- Kraśniński A, Gwizdała K, Kusio T, Więclawki P, Wiszniewski M: *Mechanizm współpracy z gruntem pali prefabrykowanych wbijanych w świetle próbnych obciążeń pali oprzyrządowanych*. Inżynieria morska i geotechnika, 2020, 2, str. 72-82.
- Sękowski J, Janosz Ł: *Analiza nośności pali FDP na podstawie wyników próbnych obciążeń statycznych*. Roczniki Inżynierii Budowlanej – Zeszyt 15, 2015, str. 59-66
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod7, Projektowanie geotechniczne, Część 1: Zasady ogólne.
- PN-B/02482:1983, Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów na palach.