

dr inż. Łukasz Jabłoński<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-9221-8335

dr inż. Marcin Górecki<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0001-8746-8172

prof. dr hab. inż. Anna Halicka<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0001-5526-8862

# Próbné obciążenia statyczne mikropali aluminiowych wykonanych w technologii STATIpile

## *Static load tests of aluminum micropiles made in the STATIpile technology*

DOI: 10.15199/33.2022.11.34

**Streszczenie.** Mikropale aluminiowe wykonywane w technologii STATIpile wykorzystywane są przede wszystkim do wzmocnienia istniejących obiektów budowlanych oraz posadawiania nowych budynków w złożonych warunkach gruntowo-wodnych. Podstawą analizy współpracy pała z podłożem gruntowym są próbné obciążenia statyczne. Artykuł prezentuje warunki gruntowe, budowę stanowiska badawczego, przebieg oraz wyniki przeprowadzonych badań, obserwację zachowania mikropali, analizę wyników i obserwacji.

**Słowa kluczowe:** mikropale aluminiowe; STATIpile; próbné obciążenia.

**Abstract.** Aluminum micropiles made in the STATIpile 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.

Mikropale aluminiowe o nazwie handlowej STATIpile, ze względu na wiele walorów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych, stają się coraz bardziej atrakcyjnym rozwiązaniem przy wzmocnianiu fundamentów istniejących obiektów oraz posadawianiu niewielkich budynków w złożonych warunkach gruntowych. Przedmiotowe mikropale można przypisać do grupy pał przemieszczeniowych, wbijanych, o średnicy do 150 mm, wykonanych z prefabrykowanych skręcanych odcinków [1]. Ze względu na dotychczasowe niewielkie rozpoznanie ich pracy statycznej i współpracy z gruntem, podstawowe znaczenie, aby uwiarygodnić obliczenia projektowe, ma miarodajne określenie jednostkowego oporu pod podstawą i na pobocznicę mikropala. Projektowanie powinno bowiem bazować na analizach porównawczych i statystyce wykorzystującej wyniki próbnych obciążeń statycznych pał wykonanych w skali naturalnej [2 – 7]. Wartości jednostkowego oporu gruntu należy odnosić do wielkości przemieszczeń i uwzględniać definicję obciążeń granicznych zgodnych z założeniami EC 7 [8, 9].

W artykule przedstawiono przebieg i wyniki eksperymentalnego próbnego obciążenia statycznego mikropali oraz podjęto próbę analizy ich współpracy z podłożem gruntowym. Prace badawczo-rozwojowe prowadzono we 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 Politechniki Lubelskiej w dolinie rzeki Bystrzycy. 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 rysunek 1, natomiast rysunek 2 zbiorcze wyniki sondowań oraz wiercenia. Podłoże zbudowane jest z gruntów piaszczystych charakteryzujących się zróżnicowanym stopniem zagęszczenia  $I_p = 0,18 \div 0,79$ . Na stropie piasków zalegała warstwa pyłów próchnicznych o miąższości ok. 0,3 m, powyżej warstwa torfu o miąższości 1,7 m i nasypu niekontrolowanego o miąższości 1,0 m. Zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości ok. -1,0 m p.p.t.

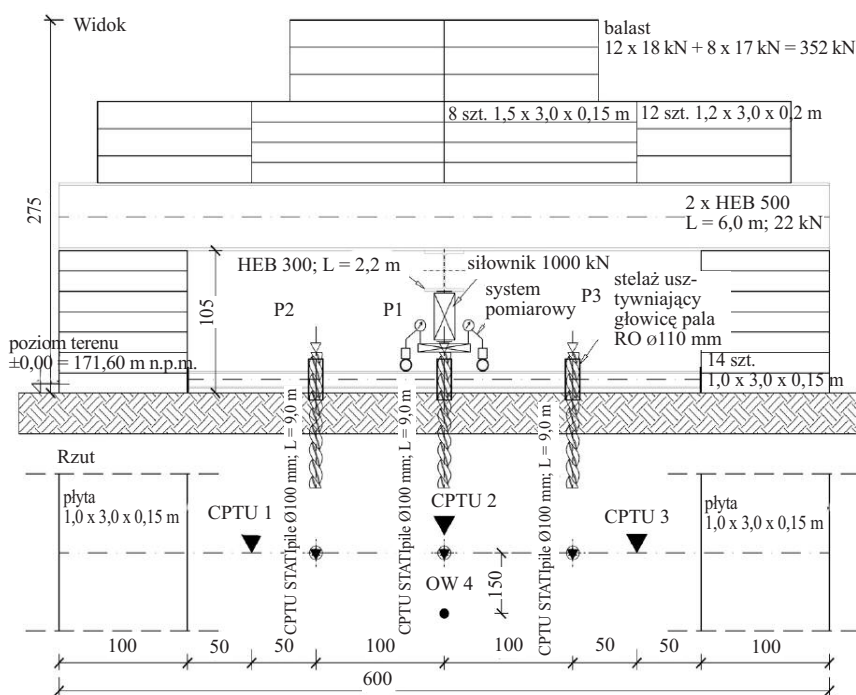
### Próbné obciążenie mikropali

W badaniach użyto mikropali odlewanych ze stopu aluminium AlSi7Mg 0,3 wykonanych w technologii STATIpile. Ich cechą charakterystyczną jest unikatowa budowa profilu wykształconego z trzech skręconych skrzydełek (tworzących kształt heliksy), powodujących zwiększone tarcie pobocznic. Wbito trzy pale o średnicy zewnętrznej  $\varnothing 100$  mm i całkowitej długości  $L = 9$  m łączone z jednometrowych odcinków za pomocą połączeń gwintowanych M20. Pale obciążono po 25 dniach od daty wykonania.

Stanowisko badawcze zaprojektowano w postaci konstrukcji oporowej składającej się z podpór, stalowego rusztu oraz balastu o łącznej masie ok. 40 t (rysunek 1, fotografia). Pomiedzy podporami zlokalizowano trzy testowane mikropale w rozstawie co 1 m (rysunek 1). Głowice mikropali usztywniono w oczepie stalowym, który umożliwił jedynie przemieszczenia pionowe. Obciążenie pała wymuszano przez układ hydrauliczny składający się z siłownika dwustronnego działającego o nośności 1000 kN i wysuwie 15 cm, zasilanego z pompy ręcznej, wyposażonej w manometr zegarowy. Pomiar osiadania realizowano za pomocą czujników o zakresie 50 mm i dokładności pomiaru 0,01 mm.

<sup>1)</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: l.jablonski@pollub.pl



Rys. 1. Schemat budowy stanowiska do próbnych obciążeń statycznych mikropali  
Fig. 1. Scheme of the construction of the stand for static load tests of micropiles

Przyłożoną siłę określano przez pomiar ciśnienia w układzie hydraulicznym na manometrze o klasie dokładności 1,6 (fotografia a).

Próbné obciążenia pali przeprowadzono wg programu opracowanego na podstawie polskiej normy PN-83/B-2482

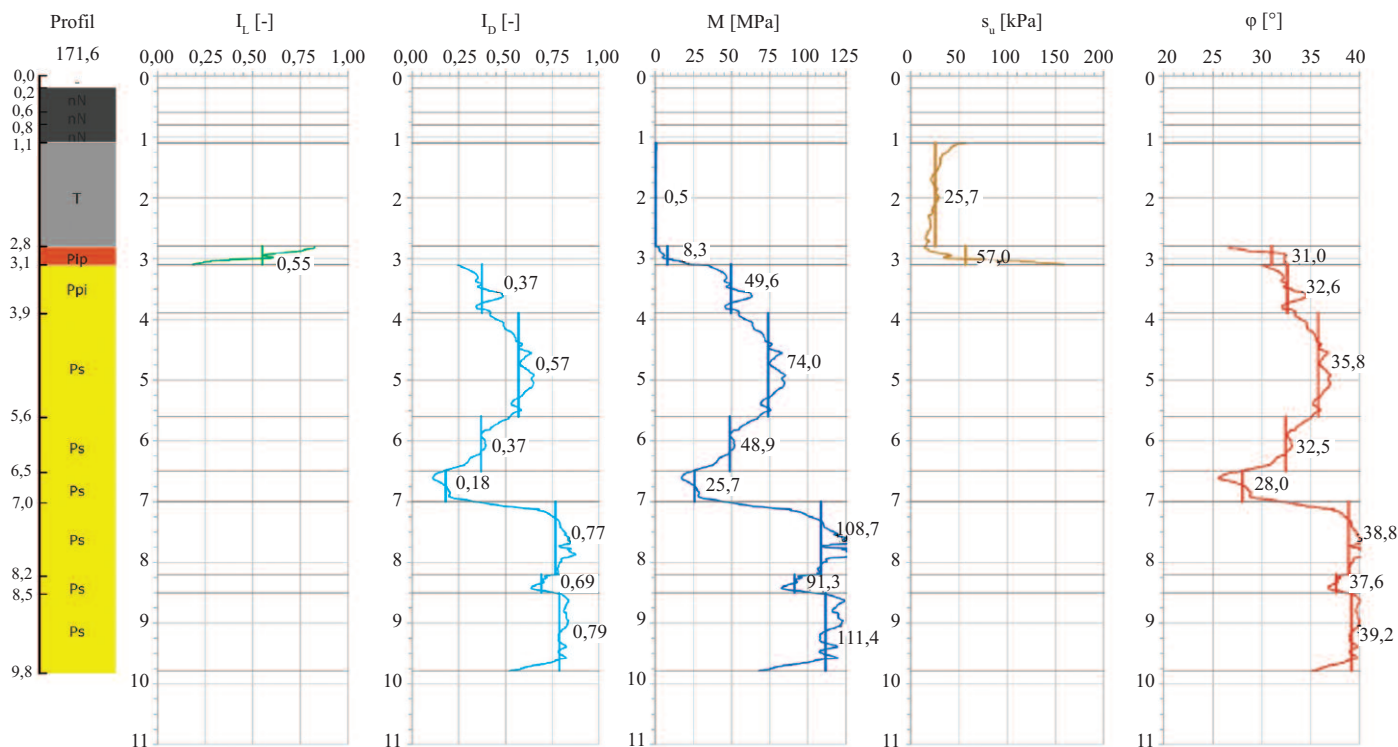
[10], przyjmując początkowe stopnie obciążania co 25 kN, a przy spodziewanym obciążeniu granicznym co 10 kN. Po każdym stopniu obciążenia oczekiwano min. 10 min na stabilizację osiadania ( $s < 0,05$  mm). Badania prowadzono do momentu uzyskania stabilizacji osia-

dania bez zwiększania obciążenia, a następnie stopniowo pale odciążano. Podczas badań zaobserwowano obrót mikropala wokół osi podłużnej zarówno przy wciskaniu, jak i przy odciążaniu.

### Wyniki badań statycznych i ich analiza

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki próbnych obciążeń trzech testowanych mikropali. Stwierdzono, że wykresy P2 i P3 są do siebie bardzo zbliżone, a pale osiągają graniczne obciążenie przy ok. 155 kN, natomiast pal testowy P1 wykazał większą sztywność i osiągnął obciążenie graniczne 175 kN. Osiedlenie całkowite (s) wszystkich pali nie przekroczyło 28 mm, natomiast trwałe – 20 mm.

Zgodnie z EC7 [8], za nośność graniczną uznaje się największe obciążenie, w przypadku którego uzyskano stabilizację osiadania pala przed osiągnięciem wartości osiadania przekraczającej 10% jego średnicy. Przy założeniu, średnicy zewnętrznej mikropala 100 mm, normowa granica osiadania wynosi 10 mm. Z analizy charakterystyk Q-s otrzymanych z próbnych obciążeń wynika, że normowa granica osiadania została przekroczona, ale mikropal jest w stanie nadal przenosić obciążenie. Za-



Rys. 2. Zbiórce parametry geotechniczne podłoża gruntowego na stanowisku badawczym  
Fig. 2. Cumulative geotechnical parameters of the subsoil on the test stand



Stanowisko badawcze: a) widok głowicy mikropala i oprzyrządowania pomiarowego; b) widok ogólny

Test stand: a) view of the micropile head and measuring equipment; b) general view

lecenie normowe wydaje się w tym przypadku zbyt zachowawcze, dlatego wykonano analizę nośności granicznej w pełnym zakresie zbadanego osiadania. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli.

Obliczeniową nośność graniczną  $R_{c,d}$  wyznacza się ze wzoru [9]:

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

gdzie:  $\gamma_t$  – częściowy współczynnik bezpieczeństwa,  $\gamma_t = 1,1$ ;  $R_{c,k}$  – charakterystyczna nośność graniczna,

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

### Wnioski

Wykonane badania dostarczyły istotnych informacji pozwalających na bezpieczne i optymalne projektowanie fundamentów pośrednich w gruntach niespoistych z zastosowaniem mikropali w technologii STATIpile. Na podstawie opisanych wyników i analiz sformułowano następujące wnioski:

1) pomimo przekroczenia normowej, umownej granicy osiadania (10%D), mikropal jest w stanie dalej przenosić obciążenia. Wydaje się, że rozsądnym podejściem w przypadku analizy pracy pali o niewielkiej średnicy jest ograniczenie osiadania do ogólnie przyjętych wartości, dopuszczalnych w przypadku fundamentów bezpośrednich, wynoszących  $s_{max} = 50$  mm;

2) średnia nośność graniczna badanych mikropali wynosi 162 kN;

3) obliczeniowa nośność graniczna mikropali wyznaczona wg EC7 [8] wynosi 121 kN;

4) przeprowadzone badania potwierdziły przydatność mikropali STATIpile do stosowania w budownictwie. Warto

zwrócić uwagę na relatywnie niewielkie osiadanie całkowite (nie przekracza 28 mm), które zapewnia skuteczność wzmacniania fundamentów istniejących obiektów;

5) 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 w ścianach fundamentowych) nie mają możliwości obrotu. W praktyce daje to pewien zapas nośności fundamentu opartego na przedmiotowych mikropalach oraz stanowi zagadnienie do dalszych badań.

Doświadczenia uzyskane podczas badań posłużą do zaplanowania dalszych prac badawczych mikropali STATIpile współpracujących z gruntami spoistymi.

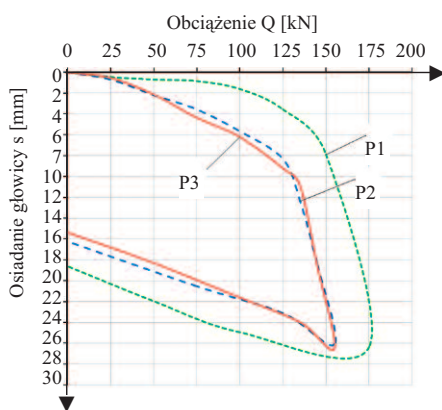
### Literatura

[1] PN-EN 14199:2015-07 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Mikropale.  
 [2] Bogusz W, Łukasiuk S. Analiza nośności pali FDP na podstawie wyników próbnych obciążeń statycznych Prognoza nośności pali na podstawie badań połowych według norm PN-EN-1997 i PN-B-02482. Budownictwo i Inżynieria Środowiska. 2013; 2: 177 – 183  
 [3] Gwizdała K. Fundamenty palowe, Tom 2, Badania i zastosowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, wyd. I, Warszawa, 2013.  
 [4] Krasieński 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: 72 – 82.  
 [5] Sękowski J, Janosz Ł. Analiza nośności pali FDP na podstawie wyników próbnych obciążeń statycznych. Roczniki Inżynierii Budowlanej. 2015; Zeszyt 15: 59 – 66.  
 [6] Zhengyang G, Lijun D. Field behaviour of screw micropiles subjected to axial loading in cohesive soils. Can. Geotech. J. 2018; dx. doi. org/10.1139/cgj-2017-0109.  
 [7] Sahajda K, Gwizdała K. Nietypowe próbne obciążenia pali prefabrykowanych. Inżynieria Morska i Geotechnika. 2008 (1): 40 – 44.  
 [8] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne, Część 1: Zasady ogólne.  
 [9] PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Cz. 2. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.  
 [10] PN-B/02482:1983 Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów na palach.

### Podziękowania

Autorzy dziękują firmie FAMAR za współpracę oraz pomoc techniczną i finansową w realizacji podjętego przedsięwzięcia badawczo-rozwojowego.

Przyjęto do druku: 28.09.2022 r.



Rys. 3. Charakterystyka Q-s otrzymana z próbnych obciążeń mikropali P1, P2 i P3  
 Fig. 3. Q-s characteristic obtained from test loads of micropiles P1, P2 and P3

### Obliczeniowa nośność graniczna mikropala

Design limit load capacity of a micropile

Parametry	Pali testowy i jego nośność graniczna $R_c$ [kN]		
	P1	P2	P3
Średnia nośność graniczna $R_{c,mean}$ [kN]	175	155	155
Minimalna nośność graniczna $R_{c,min}$ [kN]		155	
$\xi_1$ w przypadku $n = 3$		1,2	
$\xi_2$ w przypadku $n = 3$		1,05	
Charakterystyczna nośność graniczna $R_{c,k}$ [kN]		134	
Obliczeniowa nośność graniczna $R_{c,d}$ [kN]		121	