

Innowacyjny system mikropali aluminiowych wykonanych w technologii STATIpile w różnych zastosowaniach

An innovative system of aluminum micropiles made in the STATIpile technology for different applications

Marcin Górecki¹, orcid: 0000-0001-8746-8172; mail: m.gorecki@pollub.pl

Lukasz Jabłoński²; orcid: 0000-0002-9221-8335

Fabian Rudziak³, FAMAR

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

³ FAMAR Fabian Rudziak, ul. Okrzei 6, 59-225 Chojnów; <https://centrum-famar.com.pl/>

Streszczenie: Wzmacnianie fundamentów istniejących obiektów nie należy do rzadkości. Wynika głównie ze zwiększania obciążeń, modyfikacji funkcjonalnych obiektu i jego otoczenia, zmian warunków gruntowo-wodnych. Wybór metody wzmocnienia zależy od wielu czynników i podyktowany jest często analizami ekonomicznymi. Skuteczną i atrakcyjną kosztowo metodą jest mikropalowanie w technologii STATIpile. W artykule przedstawiono różne możliwości zastosowań, charakterystykę oraz rozwiązania techniczne w/w technologii na przykładzie realizacji z kraju i z zagranicy.

Słowa kluczowe: mikropale, mikropale aluminiowe, STATIpile, wzmocnienia fundamentów

Abstract: Strengthening the foundations of existing structures is not uncommon. It results mainly from increasing loads, functional modifications of the building and its surroundings, changes in soil and water conditions. The choice of the method of strengthening depends on many factors and is often dictated by economic analyzes. An effective and cost-effective method is micropiling in the STATIpile technology. The article presents various possible applications, characteristics and technical solutions of the above-mentioned technology, based on the example of implementation from Poland and abroad.

Keywords: micropiles, aluminum micropiles, STATIpile, foundation reinforcement

Wprowadzenie

Remonty, przebudowy i naprawy obiektów budowlanych bardzo często wiążą się z koniecznością wzmacniania fundamentów. Wynikają one głównie ze zwiększonych obciążeń (np. nadbudowa, zmiana sposobu użytkowania, dodatkowe okładziny lub ciężkie wykończenia itp.), modyfikacji funkcjonalnych obiektu lub infrastruktury sąsiadującej (np. zmiana poziomów posadowień sąsiednich obiektów), jak również z nadmiernych odkształceń podłoża wskutek zmian warunków gruntowo-wodnych (np. awarii instalacji w budynku). Wybór najwłaściwszej koncepcji wzmocnienia zależy od rodzaju podłoża, poziomu wody gruntowej, stanu obiektu, rodzaju i jakości materiału istniejących fundamentów, wielkości obciążeń, kosztów i coraz częściej konieczności eksploatacji budynku w czasie wykonywania robót. Tradycyjnie stosowaną metodą wzmacniania fundamentów jest podbicie. Ma ona jednak wiele ograniczeń związanych z np.: warunkami w podłożu, technologią wykonania, czasochłonnością czy znaczną ingerencją w inne elementy budynku. Metodami alternatywnymi są pale, mikropale lub kolumny mniejszych średnic (zazwyczaj do 300 mm) wykonywane z różnych materiałów i w różnych technologiach. Praktyka budowlana pokazuje, że w dzisiejszych czasach bardzo często wymaga się wykonywania robót w ograniczonym dostępie do fundamentów, szybko oraz w sposób „czysty i małoinwazyjny”. Możliwości takie daje lekka prefabrykowana technologia mikropali aluminiowych STATIpile. Jednakże nie są to jedyne sytuacje, w których zastosowanie znajdują przedmiotowe mikropale.

Wyczerpujące się tereny o dogodnej, do posadowień bezpośrednich, budowie geologicznej wymuszają realizację nowych inwestycji w miejscach o złożonych warunkach gruntowych. Jednocześnie dąży się do zwiększenia wydajności i maksymalnego skrócenia czasu wznoszenia obiektów, a w tym celu najlepszym rozwiązaniem jest prefabrykacja. Ciekawym i perspektywicznym zastosowaniem mikropali jest posadawianie nowych urządzeń lub instalacji w istniejących obiektach (halach) przemysłowych lub magazynowych. [1,2]

W publikacji przedstawiono charakterystykę, rozwiązania oraz możliwości zastosowania technologii STATIpile na przykładzie wykonanych realizacji w kraju i za granicą.

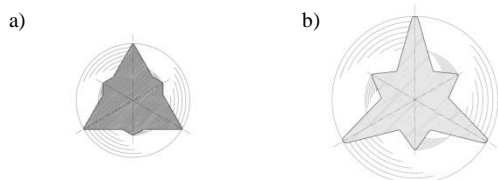
Charakterystyka mikropali STATIpile

Mikropale jako elementy posadowienia pośredniego podlegają ogólnym zasadom oraz regułom projektowania geotechnicznego zawartym w normie EC7 część 1 i 2 [3,4]. Bardziej szczegółowe definicje i wytyczne zawiera norma dedykowana PN-EN 14199 [5], oraz wycofana już norma krajowa PN-B-02482:1983 [6]. Zgodnie z definicją [5] mikropale to pale wiercone o średnicy trzonu do 300 mm oraz przemieszczeniowe (wbijane, wciskane, wkręcane, wwibrowywane) o średnicy do 150 mm.

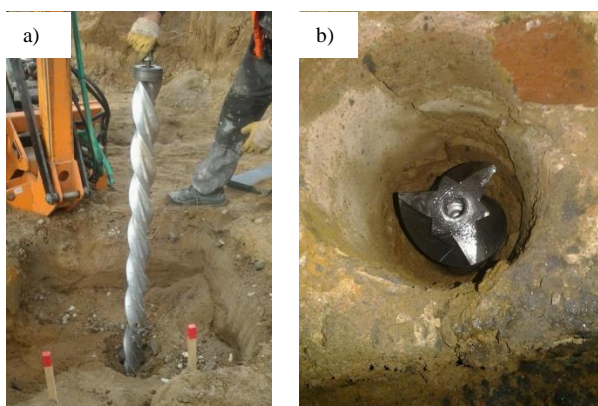
Produkt firmy Stati-CAL® wykonywany jest jako prefabrykat o długości 1m i średnicach 60 lub 100 mm. Odlewy posiadają połączenie gwintowane wykonane ze stali nierdzewnej w rozmiarze M12 (STATIpile 60) oraz M20 (STATIpile 100). Projektowaną długość

mikropala uzyskuje się dzięki sukcesywnemu skręcaniu kolejnych odcinków w trakcie procesu wbijania.

Najbardziej charakterystyczną cechą mikropali STATipile jest unikalna budowa profilu ukształtowana z trzech skręconych pod kątem skrzydełek (Rys. 1) tworzących heliksę (Fot. 1). Innowacyjne ukształtowanie profilu pobocznic zapewnia większe opory graniczne gruntów w porównaniu do podobnych wymiarami przekrojów typowych kształtowników walcowanych lub giętych, co przekłada się na wyższe nośności jednostkowe.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny mikropali STATipile: a) średnicy 60 mm, b) średnicy 100 mm
Fig 1. Cross-section of STATipile micropiles: a) ϕ 60, b) ϕ 100



Fot. 1. Alumirowy mikropal STATipile: a) widok ogólny, b) przekrój poprzeczny
Photo 1. STATipile aluminum micropile: a) general view, b) cross-section

Drugą charakterystyczną cechą przedmiotowych mikropali jest materiał, z którego są produkowane. Odlewane są ze stopu aluminium AlSi7Mg0,3 o składzie chemicznym przedstawionym w Tabeli 1. Stop ten, oznaczany również symbolem A356, charakteryzuje się dobrymi właściwościami odlewniczymi dzięki zawartości krzemu.

Tabela 1. Skład chemiczny stopu AlSi7Mg0,3 wg PN-EN 1706:2003 [7]
Table 1. Chemical composition of the AlSi7Mg0.3 alloy on the basis of PN-EN 1706: 2003 [7]

Si	Mg	Mn	Cu	Fe
6,5÷7,5	0,3÷0,45	0,10	0,03	0,15
Cr	Zn	Pb	Ti	Inne
-	0,1	-	0,1÷0,18	max 0,1

Dobra lejność oraz mała skłonność do skurczu odlewniczego stopu aluminium AlSi7Mg0,3 to cechy, które pozwalają na wykonywanie pali o zamierzonym nietypowym kształcie. Masywność przekroju pala i dodatek magnezu do stopu aluminium gwarantują

długowieczność pali w aspekcie procesu korozji. Dla porównania szacowany ubytek grubości stali na przykład w wodzie morskiej po 50 latach może wynosić do 3,75 mm podczas gdy ubytek grubości aluminium AlSi7Mg0,3 szacuje się na 1,5 mm.

Stopy aluminium charakteryzują się jeszcze jedną cechą. Posiadają niską gęstość w stanie stałym wynoszącą około 2,58 g/cm³. Wartość ta traktowana jest jako zaleta głównie w fazie montażu i pozwala na ręczny transport mikropali. Pomimo niskiej gęstości stop ma relatywnie dobre właściwości wytrzymałościowe (Tabela 2).

Tabela 2. Właściwości wytrzymałościowe stopu AlSi7Mg0,3 wg PN-EN 1706:2003 [7]

Table 2. Strength properties of the AlSi7Mg0.3 alloy on the basis of PN-EN 1706: 2003 [7]

	Stan surowy	Po utwardzeniu wydzielinowym
Moduł Younga E [MPa]	60280	70354
Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]	191	309,3
Granica plastyczności R_e [MPa]	113	277,3
R_m/R_e	1,68	1,12
Twardość HB	53	95

Typowy zakres nośności mikropali STATipile wynosi od 50 kN dla pali średnicy 60 mm do 150 kN dla pali średnicy 100 mm. Wyższe nośności, na chwilę obecną, ograniczone są możliwościami technologicznymi samego procesu wbijania. Wartości jednostkowe oporów podstawy i pobocznic przyjmować można zgodnie z normą [6] w zależności od rodzaju i stanu gruntu. Odpowiadają one osiadaniom pali na poziomie 3–5% średnicy ich trzonów. W celu dostosowania tych wielkości do założeń europejskich, aby odpowiadały osiadaniom pali równym 10% można je zwiększyć o około 25% (wg propozycji Sobali) [8].

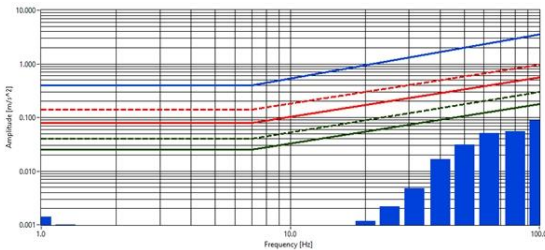
Montaż omawianych mikropali aluminiowych odbywa się poprzez wbijanie. W zależności od dostępności miejsca, montaż może odbywać się przy użyciu młotów jezdnych lub ręcznych pneumatycznych (Fot. 2). Podczas tej operacji następuje stopniowe jego wkręcanie, a otaczający grunt jest zagęszczany.



Fot. 2. Montaż mikropali aluminiowych: a) z użyciem jezdznego młota pneumatycznego, b) z użyciem ręcznego młota pneumatycznego
Photo 2. Assembly of aluminum micropiles: a) with the use of a mobile pneumatic hammer, b) with the use of a manual pneumatic hammer

W celu weryfikacji wpływu drgań na budynek podczas aplikacji pali przy użyciu ręcznych młotów

pneumatycznych przeprowadzono badania in-situ zgodnie z normą PN-B-02170:2016 [9]. Na Rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów przyspieszeń szczytowych na ścianie budynku w odległości 1,4 m od miejsca wbijania mikropala. Ocena wpływu drgań na konstrukcję budynku za pomocą skali SWD II [9] pokazuje, że zbadane poziomy drgań znajdują się w strefie I, poniżej linii granicznej A' co prowadzi do stwierdzenia, że nie wpływają one negatywnie na budynek.



Rys. 2. Przykładowy wykres analizy trójfazowej przyspieszeń szczytowych
Fig 2. Sample plot of tertiary analysis of peak accelerations

Przykładowe zastosowania i rozwiązania mikropali STATIpile

Zalety technologii STATIpile sprawiają, że staje się ona coraz częściej i chętniej stosowana jako alternatywa nad wykonywaniem: tradycyjnych podbić betonowych, pali pełnowymiarowych czy mikropali iniektowanych, zwłaszcza tam, gdzie występują: trudności wprowadzenia sprzętu, ograniczenia inwazyjności wzmocnienia czy pracy w obiektach użytkowanych.

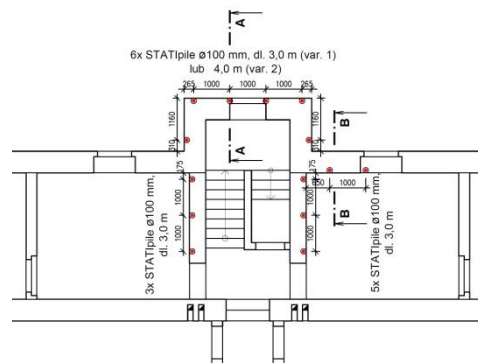
Dobrym przykładem zastosowania mikropali STATIpile jest wzmocnienie fundamentów zabytkowej kamienicy w Uście nad Łabą w Czechach (Fot. 3a).



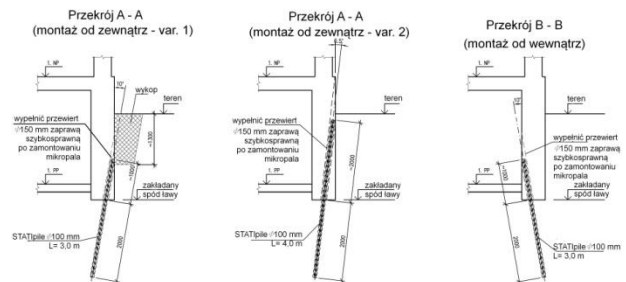
Fot. 3. Kamienica w Uście nad Łabą w Czechach: a) widok ogólny, b) montaż mikropali od strony pomieszczeń
Photo 3. Tenement house in Usti on the Elbe River, Czech Republic: a) general view, b) installation of micropiles from the room side

W budynku o czterech kondygnacjach z podpiwniczeniem i poddaszem użytkowym zidentyfikowano liczne uszkodzenia głównie w postaci rys pionowych przez całą wysokość budynku w strefie klatki schodowej. Ekspertyza wykazała, że przyczyną powstałych uszkodzeń jest niewłaściwe odprowadzenie wód opadowych, które gromadzą się w zlikwidowanym zbiorniku znajdującym się w bliskim sąsiedztwie klatki schodowej. Propozycja naprawy polegała na wzmocnieniu fundamentów pod ścianami klatki schodowej.

Zaprojektowano mikropale średnicy ϕ 100 mm o długości 3 m lub 4 m w rozstawie co ok 1,0 m. Lokalizację przedstawiono na Rys. 3. Projekt przewidywał wykonanie wzmocnienia zarówno od strony zewnętrznej budynku jak również od strony pomieszczeń (Fot. 3b). Mikropale osadzono bezpośrednio w murze ściany, fundamentowej wykonując uprzednio wiercone koronką gniazda a następnie kotwiąc mikropal w murze za pomocą szybkosprawnego iniektu mineralnego. Detale wzmocnień przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 3. Rozmieszczenie mikropali aluminiowych w remontowanym budynku mieszkalnym
Fig 3. Arrangement of aluminum micropiles in a renovated residential building



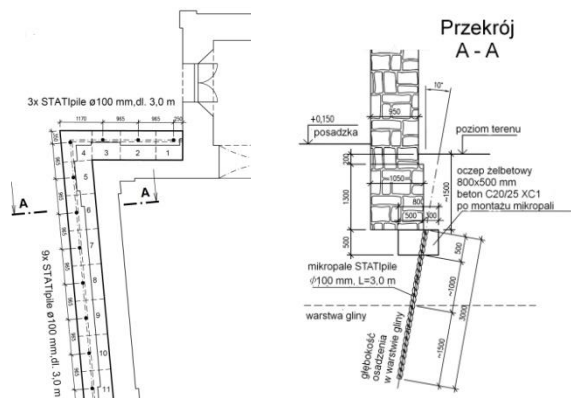
Rys. 4. Detale montażu mikropali od strony zewnętrznej budynku i od strony pomieszczeń
Fig 4. Details of the installation of micropiles from the outside of the building and from the side of the rooms

Innym przykładem obiektu, w którym wykonano wzmocnienie fundamentów z wykorzystaniem mikropali aluminiowych jest zabytkowy kościół św. Wacława zlokalizowany w miejscowości Dlazkovice w Czechach (Fot. 4a).



Fot. 4. Kościół św. Wacława w Dlazkovicach w Czechach : a) widok ogólny, b) wzmocnienie ławy fundamentowej
Photo 4. St. Wencesla's Church in Dlazkovice, Czech Republic: a) general view, b) reinforcement of the strip footing

Kościół św. Wacława stoi na łagodnym wzgórzu nad stawem. Niekorzystne warunki gruntowo-wodne, ze względu na występowanie w pobliżu zbiornika wodnego, doprowadziły do powstania wielu uszkodzeń w postaci pęknięć ścian i kolebkowych sklepień kościoła. Prace naprawcze obejmowały wykonanie zszyć występujących pęknięć prętami spiralnymi ze stali austenitycznej, wykonanie ściągów obwodowych tego samego typu prętami oraz wzmocnienie fundamentów w prezbiterium kościoła. Projekt przewidywał równomierne rozmieszczenie mikropali średnicy ϕ 100 mm o długości 3 m w rozstawie 965 mm (Rys. 5).



Rys. 5. Rozmieszczenie mikropali i detal montażu w przypadku braku możliwości przejścia przez istniejącą ławę fundamentową
Fig 5. Arrangement of micropiles and assembly details if it is not possible to pass through the existing strip foundation

Ze względu na występujący kamień jako budulec fundamentów i ścian fundamentowych, mikropale wykonano na styku z fundamentami a współpracę zapewniono przez wykonanie oczepu w postaci żelbetowej ławy fundamentowej pod istniejącym fundamentem (Fot. 4b, Rys. 5).

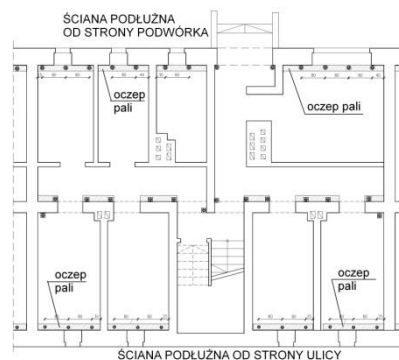
Technologia mikropali STATIpile została wykorzystana podczas wzmocnienia podłoża gruntowego pod budynkiem mieszkalnym wielorodzinnym przy ul. Górnicyj 2-22 we Wrocławiu. Budynek wzniesiony w latach 30 XX wieku. Jest to 11 klatkowy budynek (bez dylatacji na długości około 136,27 m), który pierwotnie posiadał 3 kondygnacje nadziemne, podpiwniczenie i poddasze nieużytkowe. Od pierwszych lat użytkowania obiektu pojawiały się liczne uszkodzenia ścian i stropów wywołane posadowieniem budynku na niestabilnym podłożu.



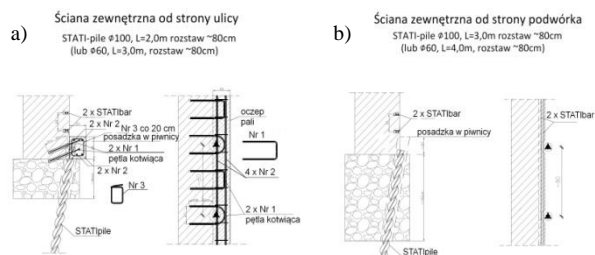
Fot. 5. Budynek mieszkalny wielorodzinny we Wrocławiu
Photo 5. Multi-family residential building in Wrocław

Na wysokości ścian fundamentowych stwierdzono występowanie nasypów niekontrolowanych a pod fundamentami stwierdzono występowanie ilów plastycznych i twar doplastycznych ($I_L = 0,07 \div 0,27$) przewarstwionych piaskami średnimi. Dodatkowym czynnikiem powodującym uszkodzenia jest wieloletnie intensywne użytkowanie sąsiadującej ulicy pojazdami o dużej masie. W latach 2013-2015 wykonano nadbudowę budynku i dokonano zmiany sposobu użytkowania poddasza nieużytkowego na pomieszczenia mieszkalne (Fot. 5). Brak wykonania zaleczanych wzmocnień fundamentów i drenażu wokół budynku doprowadziło do kolejnych poważnych uszkodzeń w postaci pęknięć ścian konstrukcyjnych.

W celu zabezpieczenia budynku przed powstawaniem kolejnych uszkodzeń i w celu przekazania wprowadzonych dodatkowych obciążeń spowodowanych nadbudową, zaprojektowano wykonanie mikropali średnicy ϕ 100 mm o długości od 2 m do 4 m w rozstawie 800 mm (Rys. 6) pod ścianami podłużnymi budynku.



Rys. 6. Rozmieszczenie mikropali aluminiowych w remontowanym budynku mieszkalnym we Wrocławiu
Fig 6. Arrangement of aluminum micropiles in a renovated residential building in Wrocław

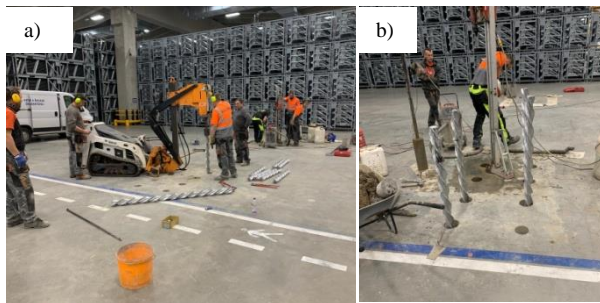


Rys. 7. Detale montażu mikropali: a) z oczepem żelbetowym, b) bez oczepu żelbetowego
Fig 7. Details of the installation of micropiles: a) with a reinforced concrete cap, b) without a reinforced concrete cap

Ze względu na występowanie kamienia jako buduleca ław fundamentowych i zróżnicowaną ich wysokość projekt przewidywał zakotwienie mikropali w oczepie żelbetowym w miejscu gdzie wysokość ław wynosi 40 cm (Rys. 7a) i bez oczepu żelbetowego dla ław o wysokości 100 cm (Rys. 7b)

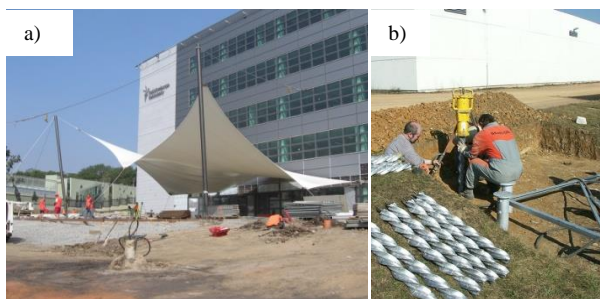
Małoinwazyjny montaż mikropali STATIpile pozwala na wykonywanie wzmocnienia posadzek pod maszyny lub regały magazynowe w istniejących halach lub w nowo realizowanych obiektach. Wykonanie wzmocnienia polega na wywierceniu w posadzce otworu

rdzeniowego o średnicy ϕ 100-150 mm, wbiciu mikropala na głębokość wynikającą z parametrów gruntu i wypełnieniu otworu zaprawą szybkosprawną (Fot. 6).



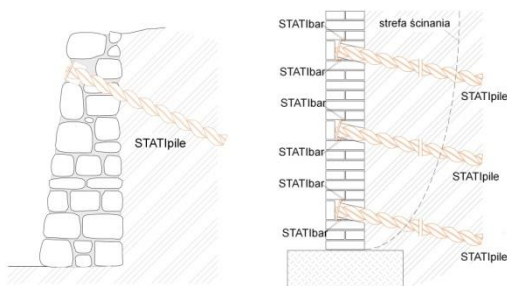
Fot. 6. Wzmocnienie posadzki hali przemysłowej pod dodatkowe urządzenia: a) montaż mikropala, b) widok wprowadzonych mikropali
Photo 6. Strengthening the floor of the industrial hall for additional devices: a) installation of a micropile, b) view of introduced micropiles

STATIpile wykorzystywane są również w nowo realizowanych obiektach. Znalazły zastosowanie podczas kotwienia lin napinających konstrukcje powłokowe (Fot. 7a) a także jako konstrukcje wsporcze przy realizacji masztów stalowych (Fot. 7b).



Fot. 7. Mikropale aluminiowe w nowych inwestycjach: a) kotwienie lin napinających konstrukcje powłokowe, b) jako konstrukcje wsporcze pod maszty
Photo 7. Aluminum micropiles in new investments: a) anchoring of ropes tensioning shell structures, b) as supporting structures for masts

Mikropale STATIpile mogą być stosowane również jako kotwy gruntowe do stabilizacji np. ścian oporowych (Rys.8).



Rys. 8. Kotwienie ścian oporowych
Fig 8. Anchoring of retaining walls

Podsumowanie

Mikropale aluminiowe wykonywane w technologii STATIpile zyskują sobie coraz szersze uznanie wśród

projektantów, wykonawców i inwestorów dzięki szeregowi zalet, wśród których wyróżnić można:

- innowacyjny heliakalny kształt umożliwiający przekazywanie obciążeń na podłoże gruntowe przy stosunkowo niewielkiej średnicy mikropali;
- znacznie mniej wrażliwy na korozję materiał;
- formowanie pali o dowolnej długości dzięki pojedynczym odcinkom o niewielkiej długości wynoszącej 1 m i śrubowemu systemowi łączenia poszczególnych odcinków bez konieczności użycia specjalistycznych maszyn;
- wbijanie mikropali przy użyciu niewielkich i lekkich urządzeń, które umożliwiają realizację zadania w przestrzeni trudnodostępnej przestrzeni;
- możliwość prowadzenia prac w sposób szybki i „czysty” bez konieczności użycia ciekłego iniektu oraz zbędnego urobku ze względu na technologię wbijania mikropali;
- niewielkie oddziaływania dynamiczne podczas wbijania umożliwiające realizację zadań w zwartej zabudowie jak również przy obiektach szczególnie chronionych.

Przedstawione przykłady realizacji to tylko namiastka możliwości stosowania mikropali aluminiowych STATIpile w budownictwie. Jednakże obecna technologia montażu przy użyciu ręcznych młotów pneumatycznych wprowadza pewne ograniczenia nośnościowe. Innym mankamentem tej technologii jest również dość wysoka cena samego surowca wykorzystywanego do produkcji pali. Ze względu na w/w mankamenty oraz dotychczasowe niewielkie rozpoznanie technologii prowadzone są badania w celu dokładniejszego poznania ich pracy statycznej oraz współpracy z gruntem a co za tym idzie bezpieczniejszego i bardziej optymalnego projektowania.

Literatura

- [1] Masłowski E. Spizewska D.: *Wzmacnianie konstrukcji budowlanych*. Arkady wyd. 3, Warszawa, 2000
- [2] Gwizdała K.: *Fundamenty palowe, Tom 1, Technologie i obliczenia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, wyd. II, Warszawa, 2013.
- [3] PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7 *Projektowanie geotechniczne. Cz. 1. Zasady ogólne*.
- [4] PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7 *Projektowanie geotechniczne. Cz. 2. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*.
- [5] PN-EN 14199:2015-07. *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Mikropale*.
- [6] PN-B-02482:1983. *Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów na palach*.
- [7] PN-EN 1706:2003. *Aluminium i stopy aluminium. Odlewy. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne*.
- [8] Sobala D.: *Projektowanie pali według Eurokodu 7 – metody i przykłady praktycznego wykorzystania*. Materiały Seminarium „Podłoże i fundamenty budowli drogowych”, Autostrada Polska, Kielce, 2012, str. 81–92.
- [9] PN-B-02170:2016-12P. *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*.