

dr inż. Marcin Górecki¹*)

ORCID: 0000-0001-8746-8172

dr inż. Łukasz Jabłoński¹

ORCID: 0000-0002-9221-8335

Fabian Rudziak²)

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

DOI: 10.15199/33.2022.11.58

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 wymienionej 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.

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 posadowienia sąsiednich obiektów), jak również z nadmiernych odkształceń podłoża wskutek zmiany 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 o średnicy zazwyczaj do 300 mm wykonywane z różnych materiałów i w różnych technologiach. Praktyka budowlana pokazuje, że obecnie bardzo często wymagane jest wykonywanie robót przy ograniczonym dostępie do fundamentów, szybko oraz w sposób „czysty i małoinwazyjny”.

Możliwości takie daje lekka prefabrykowana technologia mikropali aluminiowych STATIpile. Przedmiotowe mikropale znajdują też zastosowanie w przypadku realizacji nowych inwestycji w miejscach o złożonych warunkach gruntowych. Jako elementy prefabrykowane pozwalają na zwiększenie wydajności i skrócenie czasu wznoszenia obiektów. Ciekawym i perspektywicznym zastosowaniem mikropali jest posadawianie nowych urządzeń lub instalacji w istniejących obiektach (halach) przemysłowych lub magazynowych [1, 2].

W artykule 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 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.

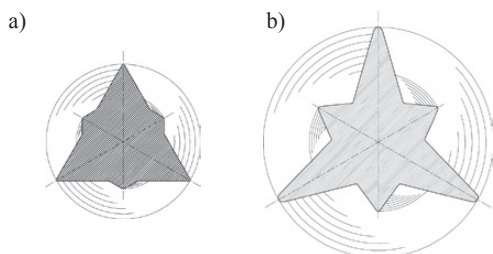
Produkt firmy Stati-CAL[®] wykonywany jest jako prefabrykat o długości 1 m i średnicy 60 lub 100 mm. Odlewy mają połączenie gwintowane wykonane ze stali nierdzewnej w rozmiarze M12 (STATIpile 60) oraz M20 (STATIpile 100). Projektowaną długość mikropala uzyskuje się dzięki sukcesywnemu skręcaniu kolejnych odcinków w trakcie procesu wbijania.

¹) Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

²) FAMAR Fabian Rudziak

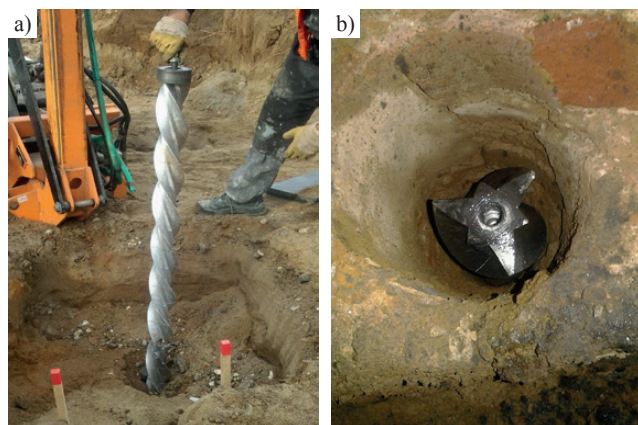
*) Adres do korespondencji: m.gorecki@pollub.pl

Najbardziej charakterystyczną cechą mikropali STATipile jest unikatowa budowa profilu ukształtowana z trzech skręconych pod kątem skrzydełek (rysunek 1) tworzących heliksę (fotografia 1). Innowacyjne ukształtowanie profilu poboczniczy zapewnia większe opory graniczne gruntów w porównaniu z podobnymi wymiarami przekrojów typowych kształtowników walcowanych lub giętych, co przekłada się na większą nośność jednostkową.



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. Aluminiowy mikropal STATipile: a) widok ogólny; b) przekrój poprzeczny

Photo 1. STATipile aluminum micropile: a) general view; b) cross-section

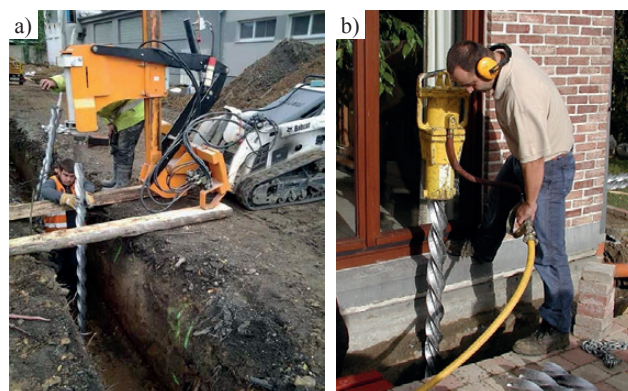
Drugą charakterystyczną cechą przedmiotowych mikropali jest materiał, z którego są produkowane. Odlewane są ze stopu aluminium AlSi7Mg0,3. Stop ten, oznaczany również symbolem A356, charakteryzuje się dobrymi właściwościami odlewniczymi dzięki zawartości krzemu od 6,5 do 7,5% wg PN-EN 1706:2003 [7].

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 długoletnią odporność na korozję. Szacowany ubytek grubości stali np. w wodzie morskiej po pięćdziesięciu latach może wynosić do 3,75 mm, podczas gdy ubytek grubości aluminium AlSi7Mg0,3 szacuje się na 1,5 mm. Ponadto stopy aluminium charakteryzują się małą gęstością w stanie stałym wynoszącą ok. 2,58 g/cm³. Wartość ta traktowana jest jako zaleta głównie w fazie montażu i pozwala na ręczny transport mikropali. Pomimo małej gęstości stop ma relatywnie dobre właściwości wytrzymałościowe, m.in. wytrzymałość na

rozciąganie, która w stanie surowym wynosi $R_m = 191$ MPa, a po przeprowadzeniu procesu utwardzania wydzieleniowego $R_m = 309,3$ MPa [7].

Typowy zakres nośności mikropali STATipile wynosi od 50 kN w przypadku pali średnicy 60 mm do 150 kN przy średnicy 100 mm. Większa nośność jest obecnie ograniczona możliwościami technologicznymi procesu wbijania. Wartości jednostkowe oporów podstawy i poboczniczy przyjmować można zgodnie z normą [6] w zależności od rodzaju i stanu gruntu. Odpowiadają one osiadaniu pali na poziomie 3–5% średnicy ich trzonów. W celu dostosowania tych wielkości do założeń europejskich, aby odpowiadały osiadaniu pali 10%, można je zwiększyć o ok. 25% [8].

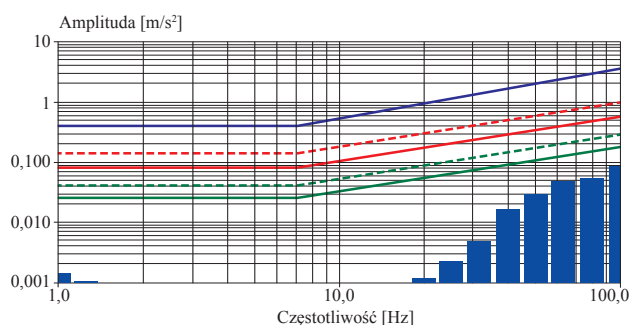
Montaż omawianych mikropali aluminiowych odbywa się przez wbijanie. W zależności od dostępności miejsca, można używać młotów jezdnych lub ręcznych pneumatycznych (fotografia 2). Podczas tej operacji następuje stopniowe wkręcanie mikropala, a otaczający grunt jest zagęszczany.



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 rysunku 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 ska-



Rys. 2. Przykładowy wykres analizy trójczłonnej przyspieszeń szczytowych

Fig 2. Sample plot of tertiary analysis of peak accelerations

li SWD II [9] pokazuje, że zbadane poziomy drgań znajdują się w strefie I, poniżej linii granicznej A, co świadczy o tym, że nie wpływają one negatywnie na budynek.

Przykładowe zastosowania i rozwiązania mikropali STATipile

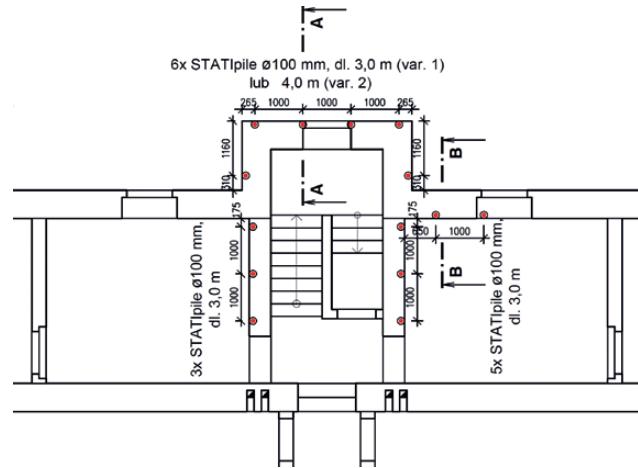
Technologia STATipile jest coraz częściej i chętniej stosowana jako alternatywa tradycyjnych podbić betonowych, pali pełnowymiarowych czy mikropali iniektowanych, szczególnie tam, gdzie występują trudności wprowadzenia sprzętu, ograniczenia inwazyjności wzmocnienia czy pracy w obiektach użytkowanych.

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

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. Ich lokalizację przedstawiono na rysunku 3. Projekt przewidywał wykonanie wzmocnienia zarówno od strony zewnętrznej budynku, jak również od strony pomieszczeń (fotografia 3b). Mikropale osadzono bezpośrednio w murze ściany fundamentowej, wykonując uprzednio wiercone koronką gniazda, a następnie kotwiąc mikropale w murze za pomocą szybkostrawnego iniektu mineralnego. Detale wzmocnienia przedstawiono na rysunku 4.

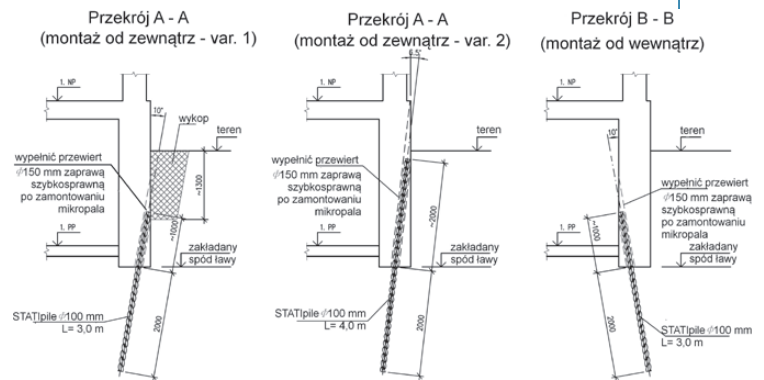
Innym przykładem obiektu, w którym wykonano wzmocnienie fundamentów z wykorzystaniem mikropali aluminiowych, jest zabytkowy kościół św. Wacława w miejscowości Dłazkovice w Czechach (fotografia 4a).

Kościół 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 zszycie występujących pęknięć prętami spiralnymi ze stali austenitycznej, wy-



Rys. 3. Rozmieszczenie mikropali aluminiowych w remontowanym budynku mieszkalnym [10]

Fig. 3. Arrangement of aluminum micropiles in a renovated residential building [10]

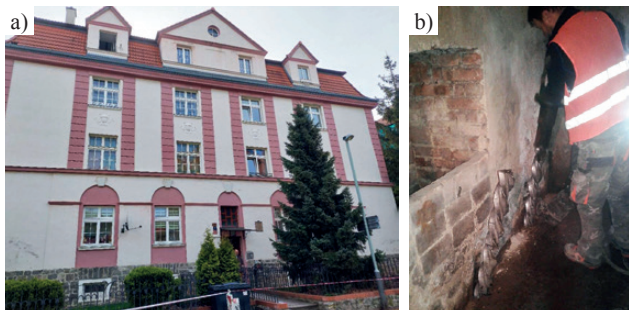


Rys. 4. Detale montażu mikropali od strony zewnętrznej budynku i od strony pomieszczeń [10]

Fig. 4. Details of the installation of micropiles from the outside of the building and from the side of the rooms [10]

konanie 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 (rysunek 5).

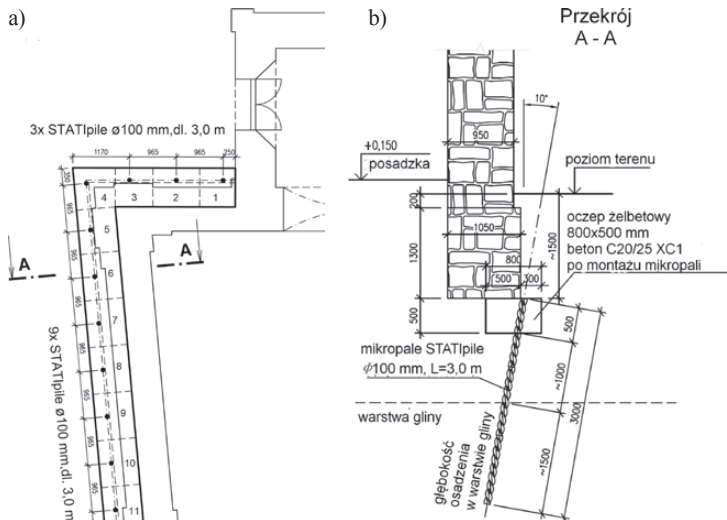
Ze względu na kamień jako budulec fundamentów i ścian fundamentowych, mikropale wykonano na styku z fundamentami, a współpracę zapewniono przez wykonanie oczepu w postaci żelbetowej ławy fundamentowej pod istniejącym fundamentem (fotografia 4b, rysunek 5).



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



Fot. 4. Kościół św. Wacława w Dłazkovicach 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



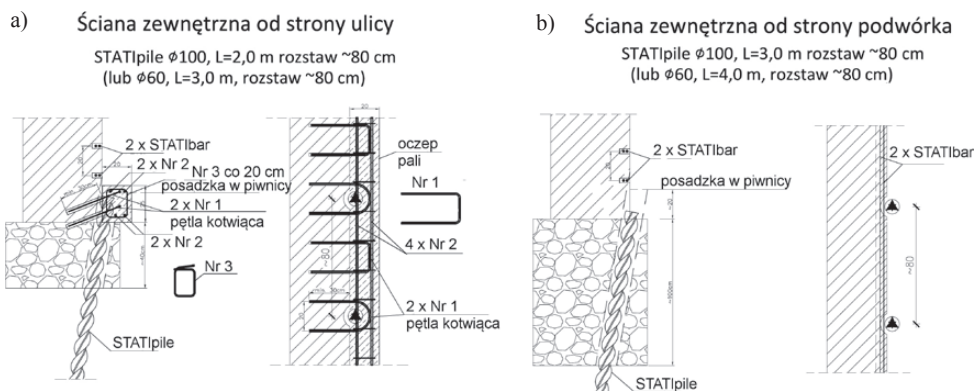
Rys. 5. Rozmieszczenie mikropali (a) i detal montażu (b) w przypadku braku możliwości przejścia przez istniejącą ławę fundamentową [11]

Fig 5. Arrangement of micropiles (a) and assembly details (b) if it is not possible to pass through the existing strip foundation [11]

Technologia mikropali STATIpile została również wykorzystana podczas wzmocnienia podłoża gruntowego pod wielorodzinnym budynkiem mieszkalnym przy ul. Górnicy 2-22 we Wrocławiu. Budynek wzniesiony w latach trzydziestych XX wieku ma 11 klatek (bez dylatacji na długości ok. 136,27 m). Pierwotnie był trzykondygnacyjny z podpiwniczeniem i poddaszem nieużytkowym. Od pierwszych lat użytkowania obiektu pojawiały się liczne uszkodzenia ścian i stropów wywołane posadowieniem budynku na niestabilnym podłożu.

Na wysokości ścian fundamentowych stwierdzono występowanie nasypów niekontrolowanych, a pod fundamentami ilów plastycznych i twardoplastycznych ($I_L = 0,07 \div 0,27$) 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 (fotografia 5). Brak wykonania zalecanego wzmocnienia fundamentów i drenażu wokół budynku doprowadził do kolejnych poważnych uszkodzeń w postaci pęknięć ścian konstrukcyjnych.

W celu zabezpieczenia budynku przed powstawaniem kolejnych uszkodzeń oraz przekazywania wprowadzonych dodatkowych obciążeń spowodowanych nadbudową, zaprojektowano wykonanie mikropali średnicy $\phi 100$ mm o długości 2–4 m w rozstawie 800 mm (rysunek 6) pod ścianami podłużnymi budynku.

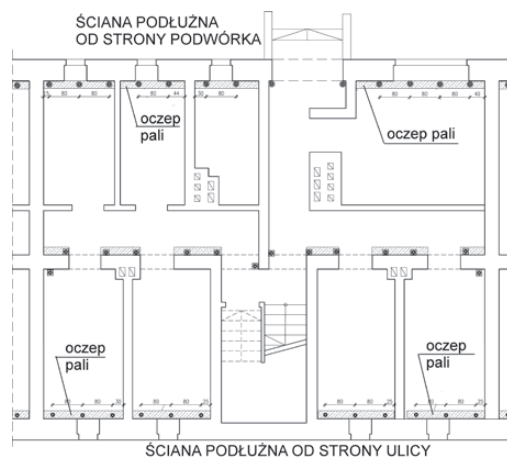


Rys. 7. Detale montażu mikropali: a) z oczepem żelbetowym; b) bez oczepu żelbetowego [12]

Fig 7. Details of the installation of micropiles: a) with a reinforced concrete cap; b) without a reinforced concrete cap [12]



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

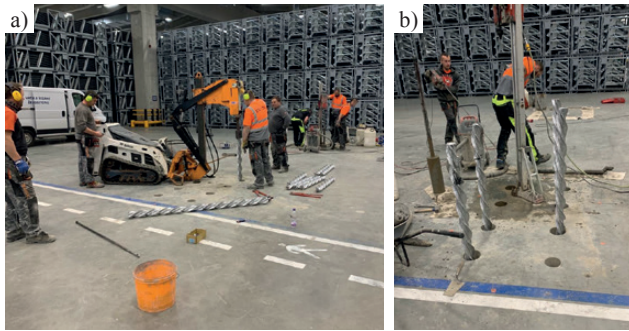


Rys. 6. Rozmieszczenie mikropali aluminiowych w remontowanym budynku mieszkalnym we Wrocławiu [12]

Fig. 6. Arrangement of aluminum micropiles in a renovated residential building in Wrocław [12]

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

Mało inwazyjny montaż mikropali STATIpile pozwala na wykonywanie wzmocnienia posadzek pod maszyny lub regały magazynowe w istniejących halach lub w nowo reali-



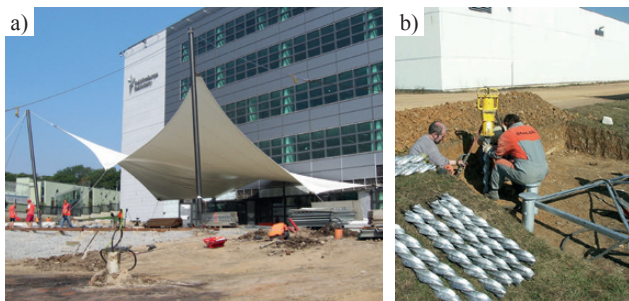
Fot. 6. Wzmocnienie posadzki hali przemysłowej pod dodatkowe urządzenia: a) montaż mikropala, b) widok wprowadzonych mikropali

Photo 6. Strengthening the floor of the industrial hall for additional devices: a) installation of a micropile, b) view of introduced micropiles

zowanych 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 szybko-sprawną (fotografia 6).

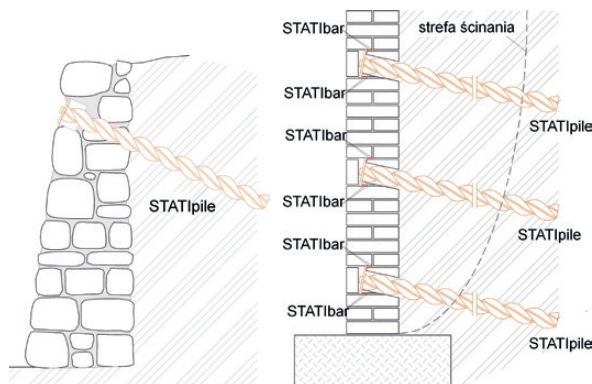
STATIpile znalazły również zastosowanie w nowo realizowanych obiektach podczas kotwienia lin napinających konstrukcje powłokowe (fotografia 7a), a także jako konstrukcje wsporcze przy realizacji masztów stalowych (fotografia 7b).

Mikropale STATIpile stosowane jako kotwy gruntowe do stabilizacji np. ścian oporowych przedstawiono na rysunku 8.



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



Rys. 8. Kotwienie ścian oporowych [13]
Fig. 8. Anchoring of retaining walls [13]

Podsumowanie

Mikropale aluminiowe wykonywane w technologii STATIpile zyskują uznanie wśród projektantów, wykonawców i inwestorów dzięki wielu zaletom, takim jak:

- innowacyjny heliakalny kształt umożliwiający przekazywanie obciążeń na podłoże gruntowe przy niewielkiej średnicy mikropali;
- materiał mało wrażliwy na korozję;
- 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 trudno dostępnej;
- 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 umożliwiają realizację zadań w zwartej zabudowie, jak również w przypadku obiektów szczególnie chronionych.

Przedstawione w artykule przykłady zastosowania mikropali aluminiowych STATIpile w budownictwie to tylko część ich możliwości. Technologia montażu przy użyciu ręcznych młotów pneumatycznych wprowadza jednak pewne ograniczenia pod względem nośności. Innym mankamentem tej technologii jest dość wysoka cena samego surowca wykorzystywanego do produkcji pali. Ze względu na te mankamenty i dotychczasowe niewielkie rozpoznanie technologii w celu dokładniejszego poznania pracy statycznej mikropali STATIpile oraz współpracy z gruntem, a co za tym idzie bezpieczniejszego i optymalnego projektowania prowadzone są dalsze badania.

Literatura

- [1] Masłowski E, Spiżewska 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.
- [10] Starý O. Bytový dům Na Spálence 326 /7, Ústí nad Labem – Kliše, Statické zajištění nosných konstrukcí, 2020.
- [11] Starý O. Statické zajištění kostela sv. Václava v Dlažkovicích, 2020.
- [12] MGM Partner Sp. z o.o. Sp. k.: Wzmocnienie fundamentów przy pomocy mikropali typu STATIpile istniejącego budynku mieszkalnego wielorodzinnego we Wrocławiu, 2020.
- [13] FAMAR: Katalog techniczny napraw konstrukcji budynków w technologii StaticAL.

Przyjęto do druku: 27.09.2022 r.