

# Mikropale – stan techniki i perspektywy



■ dr inż. Bolesław Kłosiński, Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Mikropale (nazywane także palami małośrednicowymi lub minipalami) są jedną z wysoko specjalistycznych technik fundamentowych. Służą głównie do wzmacniania fundamentów i konstrukcji, konkurując z metodą iniekcji strumieniowej. Zostały wprowadzone we Włoszech w 1952 r. [11], a w Polsce ok. 1985 r. [2, 7]. Obecnie mikropale są powszechnie stosowane w różnych dziedzinach budownictwa do wzmacniania fundamentów, budowli i konstrukcji oporowych, posadawienia nowych obiektów, zwłaszcza w trudnych warunkach terenowych, zapewniania stateczności skarp i ścian oporowych oraz stabilizacji osuwisk, formowania i kotwienia obudów wykopów, zakotwień masztów, słupów linii energetycznych, elementów podlegających wyporowi wody itp. oraz zbrojenia *in situ* gruntu.

## Wprowadzenie

Specjaliści zajmujący się mikropalami powołali w 1994 r. Międzynarodowe Towarzystwo Mikropalowe (*International Society for Micropiles*, ISM). Grupuje ono głównie specjalistycznych wykonawców, projektantów oraz osoby uczestniczące w badaniach i pracach rozwojowych. ISM organizuje co 1–2 lata międzynarodowe warsztaty na temat mikropali (IWM). Dotychczas odbyło się 10 spotkań: w Seattle (1997), Ube (Japonia, 1999), Turku (Finlandia, 2000), Lille (2001), Wenecji, (2002), Seattle (2003), Tokio (2004), Schrobenuhausen (Niemcy, 2006), Toronto (2007), Londynie (2009) oraz Waszyngtonie (2010). W programie są wykłady i prezentacje, zajęcia warsztatowe w większości dla projektantów oraz wizyty na miejscowych budowach. Uczestniczy w nich zwykle 50 do 60 delegatów, głównie entuzjastów mikropali. Działalność ISM jest obszernie przedstawiona na stronie [www.ismicropiles.org](http://www.ismicropiles.org). Ma ona znaczący udział w rozwoju techniki mikropali – w skali międzynarodowej i w reprezentowanych krajach. Propaguje wiedzę i doświadczenia, m.in. przez cenne publikacje z warsztatów, rozpowszechnia nowe technologie, tworzy użyteczne bazy danych. Materiały z warsztatów można zamawiać w ISM.

W Polsce mikropale wykonuje ponad 20 firm. Każda z nich ma specjalistyczny sprzęt i proponuje własne rozwiązania konstrukcyjne oraz technologię, dostosowane do potrzeb i miejscowych warunków. Wykonawcy dysponują również sprzętem zminiaturyzowanym, umożliwiającym pracę w trudno dostępnych miejscach, np. w piwnicach z dojściem przez korytarze i drzwi.

## Normy wykonywania i klasyfikacja mikropali

Norma EN 14199:2005 *Micropiles*, ustanowiona w 2009 r. jako PN-EN 14199:2009 *Mikropale*, określa klasyfikację mikropali. Zgodnie z nią rozróżnia się mikropale:

– wiercone o średnicy trzonu do 300 mm  
– przemieszczeniowe (wbijane, wciskane, wwbrowywane lub wkręcane) o średnicy do 150 mm.

Norma wymaga, by mikropale zawierały element nośny (najczęściej jest to pręt, wiązka prętów, rura lub kształtownik stalowy), a ich nośność może być powiększona przez iniekcję pobocznic i podstawy.

Klasyfikacja normowa jest bardzo ogólna. W praktyce są stosowane szczegółowe klasyfikacje metod wykonania – istotne, gdyż służą do przypisania np. jednostkowych oporów pobocznic.

Mikropale zwykle mają średnice od 100 do 180 mm, rzadziej do 250–300 mm, choć tą samą techniką wykonywane są też pale specjalne o większej średnicy. Typowa długość mikropali wynosi od 6 do 15 m, lecz wykonywano je do głębokości ponad 50 m. Są one stosowane jako (ryc. 1):

– nośne – przenoszące siły osiowe wciskające i wyciągające, służące głównie do wzmacniania fundamentów i budowli, w specjalnych przypadkach do posadawienia nowych obiektów; otwory mogą być przewiercane przez konstrukcje lub usytuowane obok, wówczas pale łączy się z konstrukcją dodatkową ławą lub oczepem;

– zaporowe (stabilizujące) – pracujące na zginanie i ścinanie, używane do stabilizacji osuwisk, formowania obudów wykopów itp.

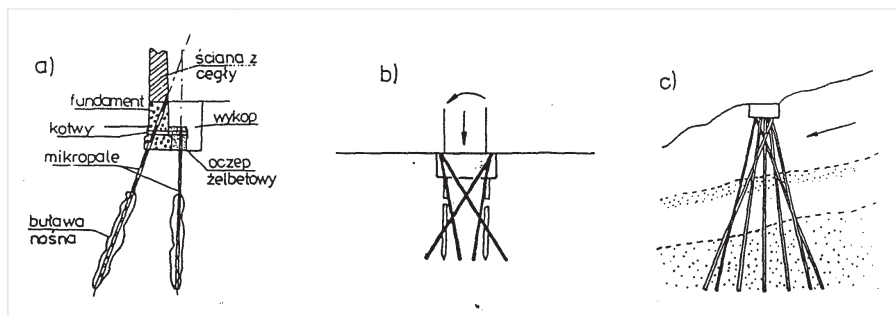
Dzięki łatwości wykonania pali ukośnych stosuje się duże pochylenia, aby przez wytworzenie układów kozłowych przejąć i przekazać na podłoże siły po-

ziome. Pale można rozmieszczać tak, by pracowały głównie na siły osiowe, również w przypadku działania na fundament obciążeń bocznych. Większe siły poprzeczne mogą przenosić pale o średnicach od 200 do 300 mm, zwłaszcza uzbrojone grubościenną rurą lub dwuteownikiem. Specyficzną konstrukcją są ściany oporowe i obudowy wykopów, formowane *in situ* z gruntu zbrojonego gęsto rozmieszczonymi mikropalami: ściany palowe złożone z kilku rzędów pali pionowych, ściany „siatkowe” w postaci przestrzennie rozmieszczonych pali ukośnych i pionowych. Konstrukcje takie wykonuje się w miejscach trudno dostępnych, gdzie nie można wprowadzić ciężkiego sprzętu do palowania: pod mostami, w piwnicach, na zboczach.

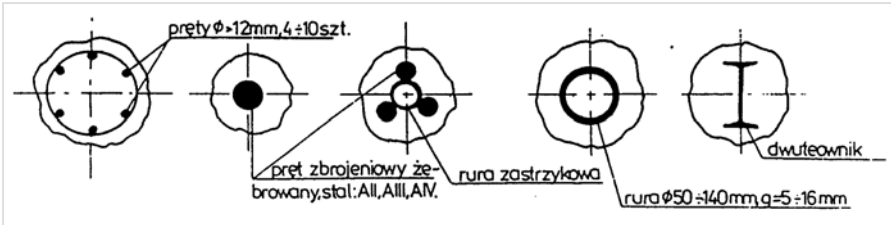
Przy projektowaniu robót w trudno dostępnych miejscach lub w przypadku utrudnień innego typu wskazane jest konsultowanie rozwiązania konstrukcyjnego z wykonawcami. Pozwoli to znaleźć optymalne rozwiązanie, najlepiej dostosowane do potrzeb i możliwości. W takich przypadkach można spodziewać się, że wykonawca dostosuje sprzęt do konkretnych warunków i wymagań albo nawet skonstruuje niezbędne urządzenie.

## Mikropale wiercone

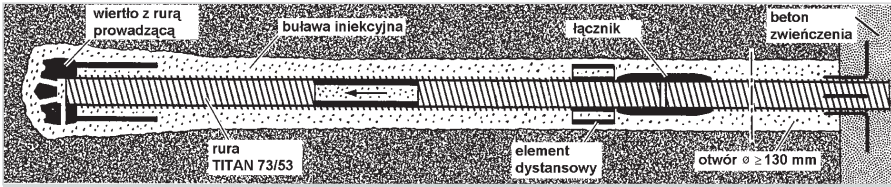
Mikropale wiercone są formowane w gruncie w sposób zmechanizowany. Dostępne urządzenia umożliwiają wiercenie otworów praktycznie w każdych wa-



Ryc. 1. Przykłady zastosowań mikropali: a) wzmacnienie fundamentu bezpośredniego, b) wzmacnienie fundamentu palowego, c) ściana „siatkowa” stabilizująca osuwisko



Ryc. 2. Typowe przekroje poprzeczne mikropali wierzonych: żelbetowego i zespolonych

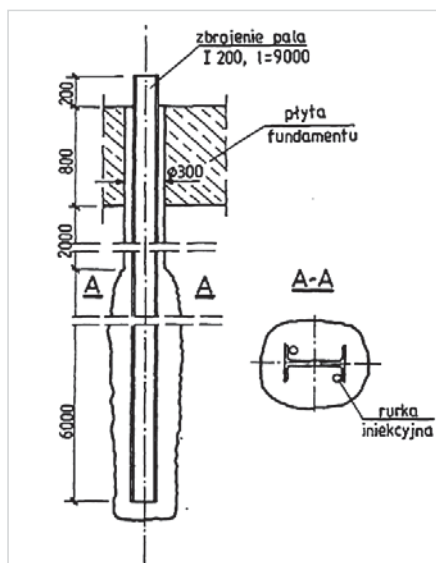


Ryc. 3. Konstrukcja mikropala Titan z zbrojeniem rurowym z nawalcowanym gwintem

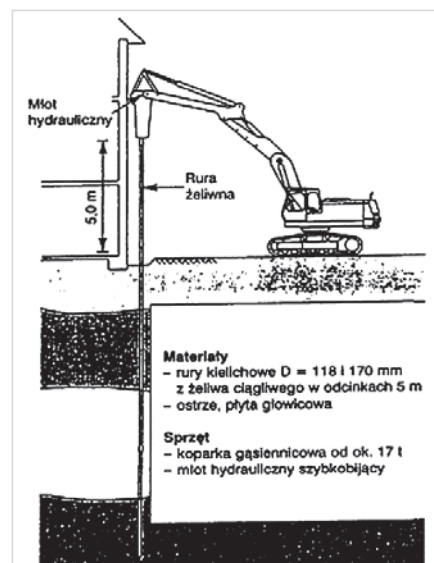
runkach podłoża, nawet o bardzo dużym pochyleniu lub poziomo. Mikropale nośne najczęściej formowane są ciśnieniowo (jak kotwy gruntowe), lecz jeśli nie przenoszą sił osiowych, to mogą być wykonywane w sposób uproszczony. Mikropale nośne mają buławę formowaną metodą zastrzyku strefowego o ciśnieniu od 1 do 6 MPa albo są betonowane lub formowane metodą zastrzyku jednokrotnego o ciśnieniu co najmniej 0,5 MPa. Sposób formowania decydująco wpływa na nośność mikropala. Długość buławy powinna być nie mniejsza niż 3 m w gruncie, a od 0,5 do 1 m w skale, w zależności od jej wytrzymałości. Przykłady przekrojów mikropali przedstawia rycina 2. Są one zbrojone na całej długości: żelbetowe ( $\varnothing \geq 150$  mm) – szkieletem z 4–10 prętów o średnicy  $\geq 12$  mm, w palach zespolonych elementem nośnym jest rura, gruby pręt, dwuteownik itp. W mikropalach rozciąganych należy stosować zbrojenie ze stali o podwyższonej wytrzymałości: klas A III lub A IV.

Mikropale pomimo małych przekrojów osiągają nośności porównywalne z nośnościami tradycyjnych pali wierzonych czy wbijanych. Typowe dopuszczalne obciążenia mikropali wierzonych są przyjmowane w granicach 300–700 kN. Szczególnie duże nośności uzyskuje się, stosując iniekcję wielokrotną (przez rurę z zaworami opaskowymi) i zbrojenie z grubościennych rur stalowych średnicy 200–240 mm. Nośności takich pali mogą przekraczać 1500–2000 kN. Ostatnio spotykane są mikropale o wielkiej nośności, nawet ponad 4000 kN.

Istnieją specjalne odmiany technologii mikropali wierzonych. Popularne są technologie „samowierzące”, np. mikropali Titan (ryc. 3) [18] lub SAS [17], w których otwory wiercone są bez rurowania, metodą udarowo-obrotową (typową do skał), pod osłoną płuczki z zaczynu cementowego. Umożliwia to bardzo szybkie wykonanie. Zbrojenie tych mikropali stanowią pręty rurowe (średnicy od 30/16 do 130/60 mm) z zimnowalcowanym gwintem.



Ryc. 4. Konstrukcja mikropala CFA uzbrojonego dwuteownikiem i iniekowanego



Ryc. 5. Mikropal z rur żeliwnych wbijany młotem hydraulicznym

tem. Zbrojenie to z traconą końcówką jest wykorzystywane zarazem jako żerdź wiertnicza i iniekcyjna. Płuczka z zaczynu o wskaźniku  $w/c = 0,7$  do  $0,4$  jest tłoczona przez wnętrze żerdzi ciśnieniem od 1 do 2 MPa. Taki sposób formowania zapewnia ich dużą nośność – od 250 do 750 kN i więcej.

Mikropale te są przydatne jako kotwiące i obciążone cyklicznie. Nie wymagają stosowanego w kotwach gruntowych wstępnego przeciążania ani swobodnego odcinka ciągną. Zakotwienie głowicy jest bardzo proste – w razie potrzeby stanowi je stalowa płyta oporowa mocowana za pomocą żeliwnej końcówki nakręcaną na gwint zbrojenia. Zalety techniki „samowierczącej” to duża szybkość wiercenia i formowania, możliwość stosowania lekkiego sprzętu i uproszczenie wykonywania. Wadą jej jest ograniczona wysokość możliwego do uzyskania ciśnienia iniektu oraz trudność dodatkowych zabezpieczeń antykorozyjnych.

Mikropale są też formowane za pomocą ciągłego świdra ślimakowego – metodą CFA (ryc. 4) [21], polegającą na wywierceniu w gruncie otworu o wymaganej głębokości oraz uformowaniu pala z zaczynu lub zaprawy wtłaczanej przez rurę rdzeniową świdra. Stateczność otworu zapewnia znajdujący się w nim świdrowiec, co eliminuje potrzebę rurowania otworu lub stosowania zawiesziny oraz zapewnia ciągły i wydajny proces formowania. Dzięki podwyższonemu ciśnieniu wtłaczanej mieszanki zapewnione jest dobre zespolenie poboczniczy pala z gruntem. Zbrojenie osadzone jest niezwłocznie po wyjęciu świdra. Do zbrojenia mocowane są rurki iniekcyjne, wyposażone w zawory zwrotne na odcinku formowania buławy. Iniekcję wykonuje się po związaniu zaczynu osłonowego, tj. po około 24 godzinach.

Inną specjalną odmianą są mikropale iniekcyjne o średnicy 300 mm i większej, formowane jako pojedyncze, w wiązkach lub palisadach, za pomocą kombinacji wiercenia i iniekcji strumieniowej. Są one zbrojone prętami, rurą lub kształtownikiem. Wykazują dużą nośność.

W ostatnich latach wprowadzono w USA tzw. makropale o średnicach zwykle od 240 do 300 mm (wyjątkowo nawet do 600 mm), wykonywane typową techniką wiertniczą [23]. Są one posadawiane w skałach lub silnie zagęszczonych żwirach. Typowe nośności robocze (dopuszczalne!) wynoszą ponad 2,5 MN do 5 MN (badane są siłą dwukrotnie większą – do 10 MN). Rekordowe makropale wykonano w Nowym





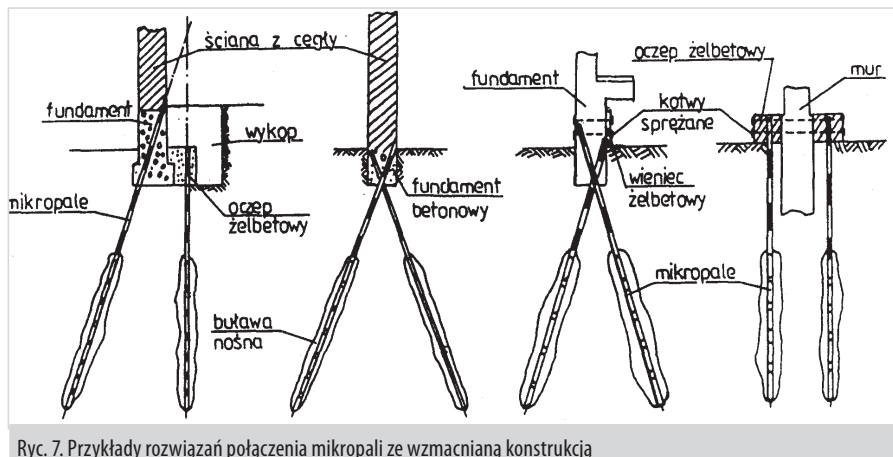
Ryc. 6. Wciskanie statyczne siłownikami mikropali (długości do 50 m) z rur stalowych

Jorku: o długości od 14 do 20 m, średnicy 450 mm i obciążeniu roboczym 7,5 do 9 MN oraz średnicy 610 mm i obciążeniu roboczym do 14 MN!

### Mikropale przemieszczeniowe

Mikropale przemieszczeniowe są w kraju rzadko stosowane. Wykonuje się je jako wbijane, wciskane statycznie lub wkręcane. Mikropale wbijane są wykonywane z prefabrykatów żelbetowych albo z rur stalowych lub z żeliwa ciągliwego.

Najczęściej są stosowane mikropale wciskane statycznie. Wykonuje się je zwykle z rur stalowych (przykład z Turku w Filandii na rycinie 6), czasem też z prefabrykatów żelbetowych [22]. Zagłębia się je za pomocą siłowników hydraulicznych o możliwie dużym skoku (od 30 do 100 cm) i udźwigu co najmniej 1,5-krotnie większym od nośności obliczeniowej mikropala. Jako oparcie dla siłowników wykorzystuje się strop pomieszczenia, spód fundamentu albo zakotwienia z prętów wklejanych w otwory wywiercone we wzmacnianym fundamencie. Mikropale z rur stalowych o średnicy od 76 do 170 mm sięgają do głębokości 30–50 m i większych. W celu lepszego zespolenia mikropala z gruntem bywa stosowane podczas wciskania tłoczenie zaczynu cementowego przy końcu mikropala.



Ryc. 7. Przykłady rozwiązań połączenia mikropali ze wzmacnianą konstrukcją

Na głowicy jego często jest umieszczana płyta stalowa, służąca do rozkładu nacisku na większą powierzchnię.

Mikropale przemieszczeniowe mogą także być formowane w otworach uzyskanych przez wbicie rury formującej.

Mikropale z żeliwa ciągliwego średnicy 118 lub 170 mm o grubości ścianek 7,5, 9 i 10 mm, osiągają nośności od 500 do 1100 kN przy zagłębieniu w warstwę nośną od 3 do 10 m (ryc. 5). Mogą mieć pochylenie do 30°. Do wbijania mikropali stosuje się typowe młoty palowe, a także lekkie pneumatyczne lub hydrauliczne młoty szybkobijące, montowane na lekkich korparkach gaśnicowych. Rury są łączone z odcinków długości do 5 m. Wnętrze pali jest betonowane. Pale takie mogą być wykonywane w trudnych warunkach gruntowych (np. w podłożu z kamieniami lub innymi przeszkodami) i terenowych (pod mostami, w piwnicach itp.).

Specjalną odmianą są mikropale rurowe CSG (*Continuously Shaft Grouted*) wbijane młotem udarowym z jednoczesnym iniektowaniem. Rura mikropala jest zakończona ostrzem za stożkowym poszerzeniem, które formuje przestrzeń wypełnianą podczas wbijania iniektem cementowym z ciśnieniem 2–4 MPa. Rury mikropali mają średnice od 63 do 140 mm. Iniekcja zmniejsza opory wbijania i zwiększa nośność pobocznic mikropala, a także chroni trzon przed korozją. Mikropale mogą być wykonywane w trudnych warunkach gruntowych. Wstrząsy przy wbijaniu są niewielkie i nie zagrażają istniejącej konstrukcji.

### Połączenie mikropali z konstrukcją

Połączenia (ryc. 7) wykonuje się dwoma sposobami. W przypadku wzmacniania istniejącego fundamentu najczęściej jest on przewiercany. Wtedy połączenie następuje przez zespolenie zastrzykiem górnej części mikropala z fundamentem. W takim połączeniu między ścianą otworu

a mikropalem działają siły ścinające. Dlatego do ich przejścia niezbędna jest odpowiednia grubość i wytrzymałość fundamentu. Gdy jest ona zbyt mała, stosuje się wieńce łączące zbrojenie mikropala z konstrukcją.

W przypadku braku możliwości przewiercenia konstrukcji mikropale wykonuje się bezpośrednio przy niej i łączy z nią oczepami żelbetowymi, najczęściej sprężonymi z konstrukcją lub powiązanymi stalowymi kotwami wklejnymi w otwory wywiercone w konstrukcji.

### Zasady projektowania mikropali

Mikropale mogą być racjonalnie zaprojektowane tylko na podstawie wyczerpującej znajomości projektu całej budowli, wymagań konstrukcyjnych wobec elementów oraz właściwości geotechnicznych podłoża. Do oszczędnego i bezpiecznego wykonania niezbędne są wstępne badania nośności i weryfikacja parametrów obliczeniowych.

Przed rozpoczęciem wykonywania mikropali należy ustalić lub udostępnić następujące dane:

- szczegółowy projekt elementów konstrukcyjnych systemu, kolejność ich wykonywania;
- dokumentację badań podłoża, zawierającą klasyfikację geotechniczną i właściwości geotechniczne gruntu, w którym mają być wykonane mikropale;
- informacje o wszystkich utrudnieniach i ograniczeniach, jak instalacje podziemne lub istniejące fundamenty, a także wymagania dotyczące usytuowania i zachowania elementów konstrukcyjnych.

Zakres prac badawczych i projektowych zależy od rodzaju i rozmiarów obiektu, złożoności warunków gruntowych oraz poziomu związanego ryzyka.

Podstawowymi parametrami potrzebnymi do projektowania są:

- nośność mikropala, głównie decydująca o bezpieczeństwie posadowienia;

– sztywność osiowa, decydująca o zachowaniu się fundamentu w stanie użytkowania, a także o współdziałaniu wzmacnianej konstrukcji z mikropalami w przenoszeniu obciążeń.

O nośności mikropala decydują łącznie trzy czynniki:

– nośność „zewnątrzna”, „geotechniczna” – siła, jaką pał może przekazać na podłoże;

– nośność „wewnętrzna”, tj. wytrzymałość materiału trzonu pala;

– wytrzymałość połączenia pala z konstrukcją lub zwieńczeniem.

Ze względu na duże zróżnicowanie uzyskiwanych nośności związane z warunkami geotechnicznymi, a zwłaszcza z indywidualnymi cechami wykonawstwa w konkretnym obiekcie, najbardziej racjonalnym postępowaniem jest ustalenie parametrów nośności przez próbne obciążenie. Wobec potrzebnych, niezbyt dużych sił badania nośności mikropali są też łatwiejsze niż pali tradycyjnych. Można je łatwo badać na wyciąganie. Ze względu na zupełnie odmienny proces wykonywania i zachowanie mikropali do ich obliczania nie należy stosować danych z normy palowej PN-B-02482:1983. Istnieje bogate piśmiennictwo na ten temat, np. [1, 4, 6, 7, 9, 10, 12]. W 1987 r. opracowano w IBDiM wytyczne, które obecnie są mało aktualne, zwłaszcza po wprowadzeniu Eurokodów, ale wciąż są wykorzystywane z braku krajowych źródeł. Własne poradniki opracowują wykonawcy mikropali np. Titan (2010).

Pomimo małych przekrojów mikropale osiągają znaczne nośności. Początkowo typowe dopuszczalne obciążenia mikropali wciskanych przyjmowano w granicach 200–500 kN, lecz obecnie wartości te mogą przekraczać 1500–2000 kN, a nawet 4000 kN. Dla mikropali iniektowanych zbrojonych rurą o średnicy  $D = 75-103/12,5-20$  mm przyjmuje się nośności obliczeniowe  $N = 0,75-1,5$  MN, a do 2,5 MN dla średnicy rury 114/28 mm.

Połączenie mikropali wymaga sprawdzenia ich zespolenia z elementem zwieńczenia, a w przypadku wykonywania zwieńczenia zewnętrznego również sprawdzenia połączenia go z istniejącą konstrukcją. Należy także sprawdzić, czy wzmacniany element jest w stanie przenieść dodatkowe siły od mikropali. Bywa to trudne, gdy brak jest dokumentacji fundamentu.

Mikropale nadają się do przenoszenia sił rozciągających i często są stosowane jako tańsza alternatywa trwałych kotew gruntowych. Specyficzne cechy mikropali powodują, że są one szczególnie chętnie

stosowane do wzmacniania istniejących budowli (mostów, estakad itp.) oraz w celu przeniesienia obciążeń od wpływów sejsmicznych.

Ocenę przemieszczeń i obrotu konstrukcji oraz wpływ na podtrzymywane konstrukcje i instalacje należy przeprowadzać na podstawie doświadczeń z podobnych obiektów. Ocena ta powinna uwzględniać wpływ wykonania konstrukcji. Należy sprawdzić, czy oszacowane przemieszczenia nie przekraczają wartości dopuszczalnych. Jeśli są one większe od dopuszczalnych, to powinno się wykonać szczegółowe obliczenia sprawdzające wartości tych przemieszczeń.

### Nadzór, badania i monitorowanie

Nadzór wykonania obejmuje w szczególności kontrolę usytuowania, wymiarów mikropali oraz obserwację warunków gruntowych na podstawie wynoszonych zwiercin lub oporów zagłębiania. Należy także kontrolować właściwości zaczynu do zastrzyków (stan, konsystencję, wytrzymałość próbek) oraz mierzyć i dokumentować czasy iniekcji, ciśnienia i ilości wtłoczonych zastrzyków. Zalecane jest użycie agregatów iniekcyjnych z automatyczną rejestracją parametrów pracy. Informacje o stosowanych maszynach, materiałach, rurowaniu itp. oraz wyniki pomiarów i obserwacje powinny być zamieszczane w metrykach mikropali.

Wskazane jest wykonanie mikropali do prób wstępnych (w celu ustalenia przydatności wybranej metody i/lub potwierdzenia rozwiązania projektowego, wymiarów, nośności itp.) i prób wykonania (w celu oceny wykonalności i przydatności wybranej metody do konkretnego zastosowania) oraz do badań kontrolnych. Powinny one być usytuowane w pobliżu punktów badań podłoża. Badania trzeba doprowadzić do osiągnięcia granicznej nośności. Należy je wykonywać jak najwcześniej, aby ich wyniki (pozytywne lub negatywne) w pełni wykorzystać w projektowaniu i budowie obiektu.

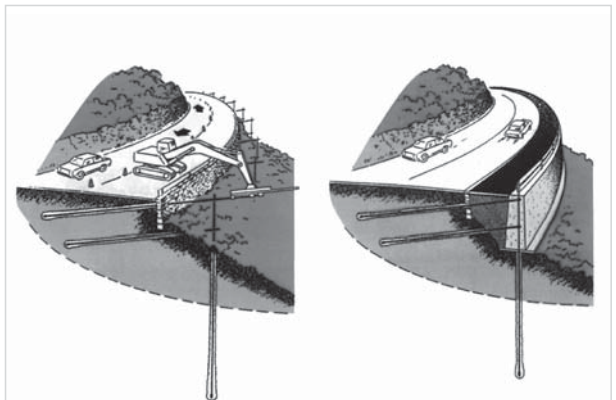
Sprawdzenie nośności wykonuje się na mikropalach doświadczalnych lub produkcyjnych. Badanie nośności mikropali, tj. ich zespolenia z gruntem, polega na przeprowadzeniu próbnych obciążeń wciskających lub wyciągających wybranych losowo

mikropali. Badaniom zaleca się poddać co najmniej 3% liczby wykonanych mikropali, lecz nie mniej niż trzy mikropale. Siła obciążająca powinna wynosić co najmniej 150% obliczeniowej nośności mikropala. Badanie przeprowadza się zwykle, stosując procedurę według normy PN-83/B-02482. W uzasadnionych przypadkach wykonuje się badania dynamiczne oraz badania ciągłości mikropali.

Proces wykonania szczególnie trudnych wzmocnień, w tym należących do III kategorii geotechnicznej, należy monitorować, a wszystkie istotne dane dokumentować. Podczas robót powinno się obserwować zachowanie gruntu i przyległego terenu, a o istotnych, nieprzewidzianych zmianach lub zjawiskach należy powiadomić nadzór i projektanta.

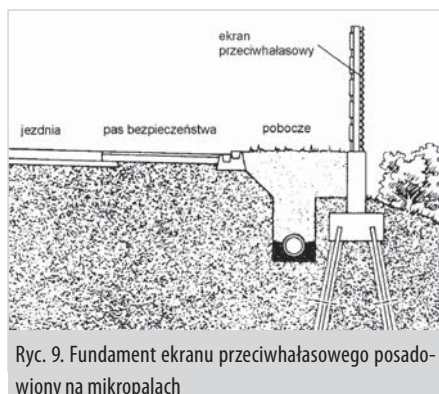
### Przykłady ciekawych rozwiązań Ściany oporowe typu tessyńskiego

Specyficzną konstrukcją oporową stanowią ściany typu tessyńskiego, których nazwa pochodzi od kantonu Tessin (Ticino) w Szwajcarii. Ściany takie służą do wykonywania poszerzeń dróg lub rekonstrukcji starych ścian oporowych na stromych zboczach, z utrzymaniem ruchu na jednym pasie drogi (ryc. 8). Do wykonania mikropali używa się zestawu wiertniczego umieszczonego na wysięgniku koparki. Koparka ta pracuje, zajmując jeden pas jezdni. Nie ma potrzeby dodatkowych wykopów ani budowania rusztowań. Budowa przebiega następująco: najpierw formuje się mikropale pionowe lub lekko pochylone w miejscu projektowanej ściany oporowej, następnie prawie poziome mikropale kotwiące ścianę (w jednym lub w dwóch poziomach). Po wykonaniu układu mikropali betonowana jest ściana oporowa wiążąca ich głowice. Następnie wypełnia się przestrzeń za ścianą, układa nawierzchnię i przywraca ruch na całej szerokości drogi.



Ryc. 8. Poszerzenie pod ruchem drogi na zboczu z zastosowaniem ściany tessyńskiej, podpartej i zakotwionej za pomocą mikropali Titan





Ryc. 9. Fundament ekranu przeciwhałasowego posadowiony na mikropalach

### Fundamenty ekranów przeciwhałasowych i tablic drogowych

Mikropale pozwalają wykonywać fundamenty ekranów (ryc. 9), tablic, słupów trakcyjnych itp. na poboczu czynnej drogi. Pracująca wiertnica zajmuje pobocze i pasmo awaryjne, tylko nieznacznie utrudniając ruch na drodze. Stosuje się mikropale w układzie koźlowym, pozwalającym ograniczyć szerokość zwiężającej je ławy. Przeszkody napotymane w nasypie drogowym nie stanowią istotnego utrudnienia wiercenia.

Podobnie wykonuje się fundamenty słupów linii wysokiego napięcia, masztów różnego rodzaju anten itp.

### Mikropale geotermalne

Popularność zyskują ostatnio tzw. pale „energetyczne” lub „geotermalne” z wbudowaną instalacją wodną, służącą do magazynowania lub pobierania ciepła z gruntu (do klimatyzacji latem lub ogrzewania zimą). Instalacje najczęściej są umieszczane w palach wierconych, a nawet w palach wbijanych. Nowością jest zastosowanie takiej instalacji w mikropalach [19].

Koszt niedrogi instalacji w palach oraz pracy stosunkowo niewielkiej pompy wymuszającej cyrkulację cieczy w systemie uzyskuje się istotne oszczędności kosztów ogrzewania np. pomostów mostów lub kładek dla pieszych, peronów kolejowych itp. W ten sposób zapewnia się bezpieczeństwo ruchu, eliminując oblodzenie powierzchni. Jest to rozwiązanie wybitnie proekologiczne, wypróbowane za granicą.

### Podsumowanie

Technika wykonywania mikropali osiągnęła wysoki poziom. Obecnie są one powszechnie stosowane w kraju, a wykonawcy wprowadzają nowe rozwiązania własne i dostępne na świecie. Zasady wykonywania podaje norma PN EN 14 199. Aktualnie norma europejska jest nowelizowana.

Projektowanie mikropali jest zagadnieniem specjalistycznym, wymaga od-

powiedniej wiedzy i doświadczenia. Mikropale nie uwzględnia ani Eurokod 7, ani dotychczasowa norma palowa, która do mikropali jest nieprzydatna. Brak też podręczników dla projektantów, wskazujących szczegóły projektowania mikropali.

Mikropale należą do najbardziej rozwijających się gałęzi rynku robót geotechnicznych. Kolejne krajowe i międzynarodowe konferencje przynoszą informacje o nowych opracowaniach i osiągnięciach. Prezentowane są np. nowe rozwiązania konstrukcyjne, bogate doświadczenia z badań nośności. Ciekawym przykładem są też tzw. makropale (o średnicach 300–600 mm), osiągające robocze nośności ponad 10 MN. Krajowi wykonawcy, zwłaszcza zrzeszeni w Polskim Zrzeszeniu Wykonawców Fundamentów Specjalnych, także mają bogate doświadczenia i osiągnięcia. Opracowanie niniejsze zawiera wybrane informacje o stosowaniu mikropali, szczególnie eksponujące nowe osiągnięcia w tej dziedzinie. Wzbogacenie tej wiedzy ułatwi zestawiona literatura.

ARTYKUŁ OPRACOWANY NA PODSTAWIE REFERATU WYGŁOSZONEGO NA SEMINARIUM IBDiM I PZWFS KONSTRUKCJE STALOWE W GEOTECHNICE, WARSZAWA, 18 LISTOPADA 2010.

### Literatura

1. Bustamante M., Doix B.: *Une methode pour le calcul des tirants et des micropieux injectes*. Bull. Liaison Lab. "Ponts et Chausees" 1985, nr 140 (Nov).
2. Czaplicki J.: Piotrowicz M.: *Iniekcyjne kotwie gruntowe*. XVI Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Materiały konferencyjne. Ustroń 2001, t. 1, s. 43–68.
3. *Metoda wymiarowania kotew gruntowych i mikropali*. Oprac. D. Petyniak. „Nowości Zagranicznej Techniki Drogowej” 1987, nr 93–94.
4. EA-Pfähle: *Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle*. Ernst & Sohn. Berlin 2007.
5. Głowacki P., Grzegorzewicz K., Kłosiński B., Szymankiewicz C.: *Zastosowanie mikropali wciskano-iniektowanych do wzmocnienia fundamentów*. „Inżynieria i Budownictwo” 1995, nr 10, s. 546–547.
6. Jarominiak A.: *Lekkie konstrukcje oporowe*. Wyd. 3. WKŁ. Warszawa 1999.
7. Kłosiński B.: *Pale małośrednicowe*. „Inżynieria i Budownictwo” 1988, nr 11.
8. Kłosiński B.: *Doświadczalna ocena sztywności osiowej mikropali*. XII Konferencja M.G.iF. Problemy Geotechniczne Obszarów Przymorskich. Szczecin–Międzyzdroje 2000.

9. Kłosiński B.: *Zastosowanie mikropali do wzmocnienia podłoża i fundamentów*. XVI Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Materiały konferencyjne. Ustroń 2001, t. 1, s. 161–187.
10. Kłosiński B.: *Wzmocnienie podłoża i fundamentów*. Seminarium Fundamenty palowe i specjalne. Warszawa, 2 marca 2004. Materiały seminaryjne. Warszawa 2004, s. 83–108.
11. Lizzi F.: *Pali Radice (Root Piles) and Reticulated Pali Radice. Micropiling*. In: *Underpinning*. Eds. S. Thorburn, J.P. Hutchison. Surrey University Press. Glasgow–London 1985, pp. 84–161.
12. Pisarczyk S.: *Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005.
13. PN-83/B-02482 *Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych*.
14. PN EN 14199:2008 *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – mikropale*.
15. PN-EN 1997-1:2004 Eurokod 7 *Projektowanie geotechniczne. Cz. 1. Zasady ogólne*.
16. *Posadowienia budowli, ścianki szczelne i szczelinowe, kotwy gruntowe, konstrukcje z gruntu zbrojonego*. XX Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Wisła, 1–4 marca 2005. Materiały konferencyjne, t. I, II.
17. Rajchel A., Badawika G.: *Mikropale, kotwy i gwoździe gruntowe w technologii tradycyjnej i samowiercącej – zalety i wady*. „Materiały Budowlane” 2010, nr 7.
18. Sierant J.: *System TITAN w drogownictwie*. „Geoinżynieria” 2006, nr 1.
19. Sierant J.: *Mikropalowa (r)ewolucja – mikropale geotermalne*. „Materiały Budowlane” 2010, nr 7.
20. Stocker M.: *40 years of micropiling, 20 years of soil nailing. Where do we stand today?*. Proceedings XIII ICSMFE. Vol. 5. New Delhi 1994. (Wersja polska: *40 lat mikropali, 20 lat gwoździowania gruntu. Gdzie jesteśmy dzisiaj?*. „Inżynieria i Budownictwo” 1994, nr 8).
21. Szymankiewicz Cz., Gawor B., Kłosiński B.: *Mikropale formowane rurowym świdrem ślimakowym*. „Inżynieria i Budownictwo” 1994, nr 8.
22. Świeca M.: *Niekonwencjonalne metody podbijania fundamentów i wzmocnienia podłoża*. XVI Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Materiały konferencyjne. Ustroń 2001, t. 1, s. 301–316.
23. Wolosick J.R., Pastore J.A., Grant M.L.: *Macropiles: Ultra-high-capacity micropiles for foundation support*. In: *Workshop. Micropiles*. Schrobhausen 2006.
24. Foldery reklamowe firm fundamentowych.