

Metoda statycznego wciskania grodziec stalowych

ZALETY, PRZYKŁADY I WARUNKI STOSOWANIA

1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono ogólny opis, zalety i warunki stosowania metody statycznego wciskania grodziec stalowych. Podjęto także próbę wyjaśnienia niektórych wątpliwości związanych z wpływem opisywanej technologii i zabiegów ją wspomagających na wytrzymałość i odkształcalność podłoża gruntowego. Omówiono także wybrane przykłady instalacji grodziec stalowych metodą wciskania statycznego spośród blisko trzydziestu tego typu realizacji firmy Aarsleff Sp. z o.o., wykonanych w latach 2000-2006.

Z doświadczeń autorów wynika, że metoda wciskania statycznego grodziec jest w Polsce wciąż mało popularna i pomimo swoich niewątpliwych zalet nie jest wykorzystywana nawet w sytuacjach, wydawałoby się, oczywistych. Można wskazać na kilka przyczyn takiego stanu rzeczy, z których najważniejsze wydają się:

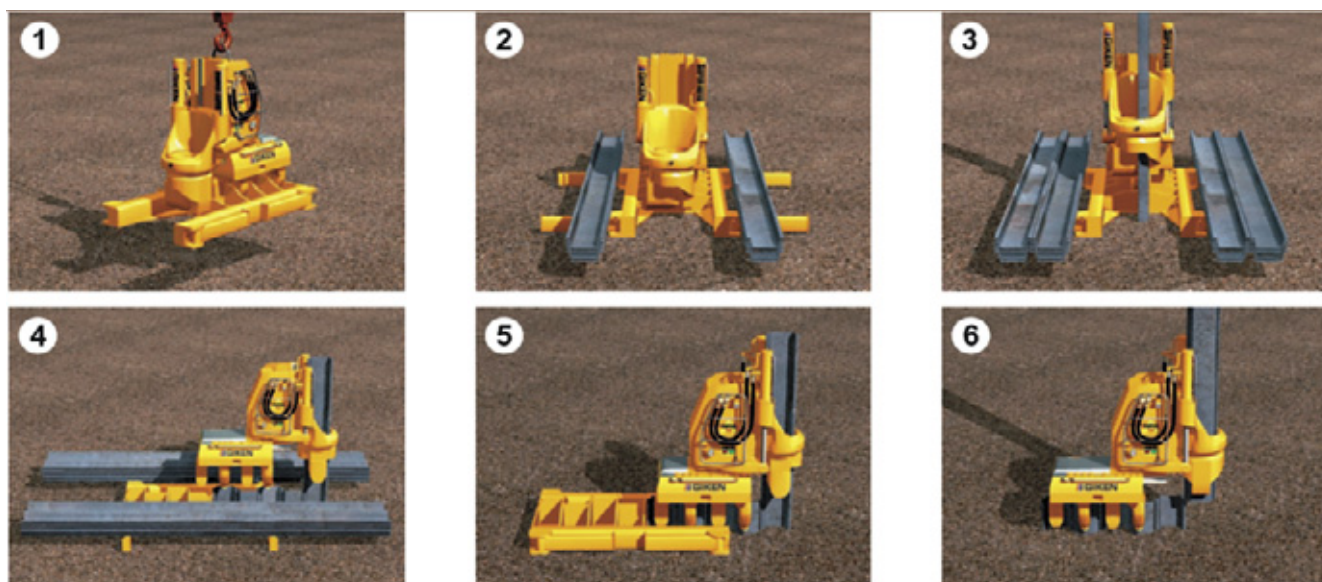
- brak informacji na temat rzeczywistych możliwości metody wciskania statycznego (m.in. brak publikacji na ten temat),
- fakt, że niewielka grupa wykonawców oferuje w Polsce tego typu usługi.

2. Krótka charakterystyka technologii wciskania statycznego

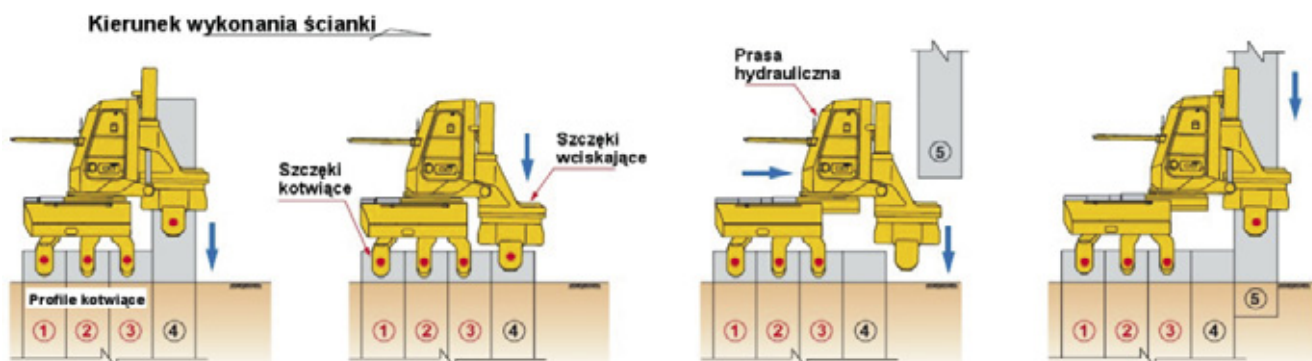
Przykładowe urządzenie do wciskania grodziec stalowych składa się ze zdalnie sterowanej prasy hydraulicznej poruszającej się po grodziecach oraz układu zasilającego. Instalacja profili w gruncie odbywa się:

- bezwibracyjnie,
- przy maksymalnym poziomie hałasu (mierzonym w odległości 7m od urządzenia zasilającego prasę) równym ok. 69dB,

Ma to szczególne znaczenie w inwestycjach realizowanych



Rys. 1. Etapy wykonania ścianki stalowej metodą wciskania [3]. Rozpoczęcie wciskania z rami startowej z balastem: 1 – ustawienie urządzenia do wciskania z ramą startową, 2 – balastowanie ramy, 3 – wciskanie profili startowych, 4 – przemieszczenia urządzenia w kierunku wykonywanej ścianki, 5 – zakotwienie urządzenia w profilach startowych, 6 – demontaż ramy startowej i wciskanie profili wg schematu na rys. 2



Rys. 2. Proces wciskania ścianki

w zwartej zabudowie miejskiej lub w pobliżu wrażliwej infrastruktury podziemnej. Układ zasilający znajduje się zwykle w odległości od kilku do kilkudziesięciu metrów od miejsca instalacji grodzicy i połączony jest z prasą przewodami hydraulicznymi i elektrycznymi. Poniżej na rysunkach pokazano rozpoczęcie wciskania grodzic przy użyciu ramy startowej (rys. 1), proces wciskania ścianki stalowej (rys. 2) oraz mechanizm przemieszczania urządzenia po wcześniej wciśniętych profilach (rys. 3).

Prasę mocuje się do przygotowanej wcześniej, specjalnej ramy startowej (rys. 1) lub wbitych inną metodą trzech grodzic stalowych. Ciężar ramy zwiększony ciężarem balastu i ciężarem samego urządzenia lub siły tarcia stanowią przeciwwagę dla realizowanej siły wciskającej. Po zainstalowaniu trzech startowych profili stalowych urządzenie „unieależnia się” od otaczających warunków terenowych (słabe podłoże, woda) i wciska kolejne profile (rys. 2), wykorzystując nośność na wyciąganie wcześniej wciśniętych profili. Urządzenie samo przemieszcza się po wykonanym fragmencie ścianki (rys. 3). Przydatne do projektowania parametry techniczne najszerzej wykorzystywanego do tej pory w Polsce urządzenia do wciskania grodzic stalowych podano w tab. 1. Urządzenie to ma możliwość samodzielnego wykonania naroży ścianki poprzez wciśnięcie czterech profili poprzecznie do dotychczasowego kierunku wciskania (dwóch z lewej i dwóch z prawej strony ścianki). Przesławianie urządzenia na nowy kierunek wciskania odbywa się w takim przypadku przy użyciu dźwigu. Istnieje możliwość wykonania naroży w kształcie łuku bez konieczności wykorzystywania dźwigu. Minimalny promień łuku zależy od rodzaju wciskanego profilu oraz typu wykorzystywanego urządzenia.

3. Uwagi dotyczące wybranych zagadnień projektowych i technologicznych

Na podstawie dyskusji z projektantami autorzy artykułu stwierdzili, że wokół technologii zabezpieczania wykopów przy użyciu stalowych ścianek szczelnych narosło wiele, z reguły nieuzasadnionych, wątpliwości wartych przedyskutowania w kontekście użycia metody wciskania statycznego.

W zasadzie niesłuszne jest przekonanie o konieczności uwzględniania wpływu podplukiwania na parametry wytrzymałościowe gruntu (kąta tarcia i spójność), co może prowadzić do zmniejszenia nośności ściany. Pogląd ten zdaniem autorów wynika z niezrozumienia mechanizmu wzbudzenia parcia. Naruszenie struktury gruntu w trakcie podplukiwania ma charakter całkowicie lokalny i dotyczy przylegającego do ściany obszaru o niewielkiej grubości, podczas gdy parcie czynne lub bierne wzbudzone jest poprzez ścięcie gruntu w pasie o znacznej szerokości (w tzw. klinie odłamu). Przytoczona wątpliwość może dotyczyć jedynie gruntów spoistych i ścian za-

bezpieczenia wykopu z narzuconymi ostrymi ograniczeniami w zakresie przemieszczeń. Stan parcia rozpatrywany za ścianą ma wówczas charakter pośredni pomiędzy parciem czynnym i spoczynkowym. Lokalne pogorszenie parametrów gruntu za ścianą mogłoby teoretycznie wpływać na tę część oddziaływań, która wiąże się z parciem spoczynkowym, lecz zdaniem autorów jest to zagadnienie czysto teoretyczne, które w praktyce projektowej można i należy pominąć.

Uzasadniona jest natomiast obawa, że wciskanie ściany szczelnej z podplukiwaniem w grunty pęczniące wywoła jej dodatkowe obciążenia. W Polsce zjawisko to dotyczy głównie ilów plicieńskich. Ryzyko pęcznienia nie oznacza, że wystąpi ono we wszystkich przypadkach napotkania gruntów pęczniących, niemniej należy taką możliwość przeanalizować na etapie projektowania. W praktyce niebezpieczeństwo wzbudzenia pęcznienia dotyczy głównie występowania za ścianą powyżej dna wykopu gruntów w stanie twaroplastycznym i półzartym. Prawdopodobieństwo pęcznienia łu rośnie wraz ze wzrostem jego niejednorodności, tzn. występowania przewarstwień gruntu o znacznie większej wodoprzepuszczalności, np. pylastych lub piaszczystych. Wartość ciśnienia pęcznienia, którą należy uwzględnić jako dodatkowe obciążenie ściany, zależy m.in. od stanu gruntów, z którymi mamy do czynienia oraz od sposobu podparcia ściany. Istnieją sposoby zmniejszenia wartości ciśnienia pęcznienia, np. przez użycie płuczki ilowej zamiast wodnej lub wydłużenie cyklu robót, np. oddalenie w czasie głębienia wykopu w stosunku do momentu instalacji ściany.

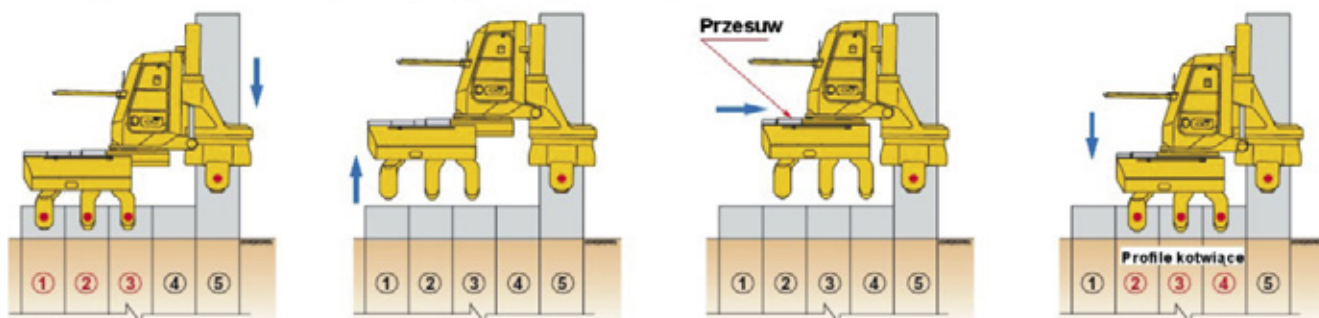
Stosowanie podplukiwania powoduje nieco większe przemieszczenia ściany poniżej dna wykopu niż w przypadku ściany szczelinowej. Wynika to z naruszenia struktury gruntu w sąsiedztwie profili stalowych, którego zakres wynosi ok. 5-15 cm. Dodatkowe przemieszczenia zależą od rodzaju gruntu i mieszczą się zdaniem autorów w granicach 0,5-2 cm. Należy je uwzględnić w przypadku, gdy ściana przylega do istniejących obiektów, zaś w innych sytuacjach można je pominąć, gdyż mieszczą się w pożądanym zakresie przemieszczeń niezbędnych do wzbudzenia parcia czynnego za ścianą.

Nie są również uzasadnione opinie na temat trudności z zapewnieniem szczelności płyty dennej oraz oparciem stropów pośrednich w przypadku, gdy ściana szczelna stanowi trwałą obudowę części podziemnej budowli. Problemy te mogą być i są skutecznie rozwiązywane w praktyce, o czym świadczą liczne tego typu realizacje na świecie.

4. Wybrane przykłady zastosowań

Centrum handlowo-usługowe przy placu Grunwaldzkim we Wrocławiu. Łączna długość zabezpieczenia wynosiła ok. 670 mb, a całkowita powierzchnia wykopu ok. 25 000 m². Wykop o docelowej głębokości od 7,2 do 8,5 m zabezpieczono

Proces przemieszczania urządzenia po wykonanej wcześniej ścianie



Rys. 3. Przemieszczanie urządzenia po wcześniej wciśniętej ścianie

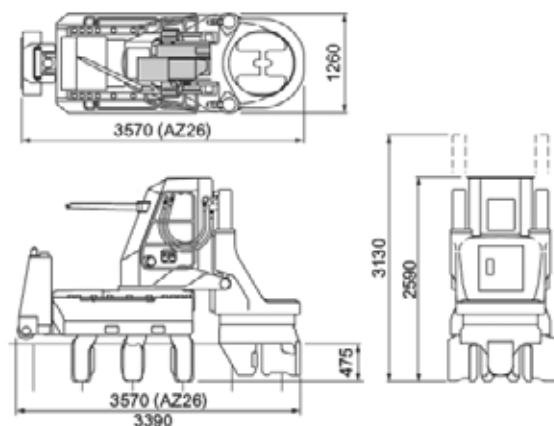
Maksymalna siła wciskająca	1000 kN (100ton)
Maksymalna siła wyciągająca	1200 kN (120ton)
Skok siłownika hydraulicznego	700 mm
Prędkość wciskania	1.5 - 35.2 m/min.
Prędkość wyciągania	2.6 - 27.5 m/min.
Sterowanie	radiowe
Długość urządzenia /Szerokość urządzenia	3.570 m (AZ 26) 1.260m
Wysokość urządzenia	2.590 m
Maksymalna wysokość urządzenia	3.130 m
Waga	11.45 ton
Skrajnia urządzenia: Pionowa Boczna (od osi ścianki)	2.80 m 0.75 m

Tab. 1. Dane techniczno-technologiczne urządzenia do wciskania grodzic stalowych

ścianką szczelną podpartą jednym rzędem kotew gruntowych. Długość ścianki zdeterminowana była głębokością zalegania nieprzepuszczalnej warstwy glin zwałowych twaroplastycznych 13-15 m poniżej poziomu terenu. Powyżej stropu glin występowały grunty niespoiste w postaci żwirów, pospółek i piasków w stanie średniozagęszczonym i luźnym. Grunty luźne zalegały do głębokości 6-7 m poniżej poziomu terenu. Na nich znajdowała się warstwa nasypów niekontrolowanych z przewagą gruntów piaszczystych z domieszką gruzu. W obrębie warstwy piasków lokalnie występowały grunty spoiste w stanie miękkoplastycznym, także z domieszką części organicznych. Na stropie glin zwałowych zalegał tzw. bruk morenowy zbudowany z okruchów skał magmowych o średnicy od kilku do kilkunastu centymetrów. Grubość tej warstwy dochodziła do 50-60 cm.

Na większości odcinka zabezpieczenia do pograżania grodzic wykorzystano metodę wibracyjną z wykorzystaniem wibratora nieresonansowego. Wyjątkiem był odcinek zabezpieczenia o długości ok. 100 m, bezpośrednio sąsiadujący ze stacją paliw (odległość od budynku wynosiła 6,5-7,5 m), na którym przewidziano statyczne wciskanie grodzic. W tym celu wykorzystano grodzice AZ 17 i AZ 18 firmy **Arcelor** o długości 15 m. Profile wciskano w grunt z podplukiwaniem strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem. Podczas wykonywania robót wystąpiły duże trudności z pokonaniem warstwy bruku morenowego, w związku z tym zamiast podplukiwania ścianki zastosowano jej podwiercenie. Po zmianie technologii wspomaganie prace zakończono w terminie.

Hotel Radisson w Gdańsku. W tym wypadku wykop o głębokości 4,8 m zabezpieczano ścianką szczelną wspornikową. Długość zabezpieczenia wynosiła ok. 235 mb i wynikała z obwodu wykopu będącego zamkniętym wielobokiem. Warunki gruntowe były niekorzystne z punktu widzenia pracy ścian-



ki wspornikowej. Pod powierzchnią terenu zalegały nasypy zbudowane głównie z gruntu o uziarnieniu piasku gliniastego z domieszką części organicznych i gruzu. Grubość tej warstwy dochodziła miejscami do 5,5 m. Pod nią występowały grunty organiczne w postaci torfów i namulów. Maksymalna głębokość zalegania tej warstwy wynosiła 8 m. Poniżej znajdowały się mocne grunty w formie żwirów, pospółek i piasków w stanie średniozagęszczonym i zagęszczonym. Ze względu na lokalizację obiektu w centrum Starego Miasta w Gdańsku i bezpośrednie sąsiedztwo zabytkowej zabudowy, na całości obwodu zabezpieczenia zastosowano metodę statycznego wciskania grodzic. Użyto profili typu AZ 26, AZ 36 i AZ 38 firmy **Arcelor**. Ich długość wynosiła 13-16 m. Zastosowanie masywnych profili wynikało głównie ze znacznej głębokości zalegania gruntów nośnych. Po wykonaniu robót do poziomu „0” budynku odzyskano część grodzic za pomocą tego samego urządzenia, którego użyto do ich instalacji. W tym przypadku warto zwrócić uwagę, że długie profile były wciskane na 8-9 m w grunty sypkie, w tym na 4-5 m w średnie i grube piaski zagęszczone. Było to możliwe dzięki zastosowaniu podplukiwania wodą pod wysokim ciśnieniem.

Stacja paliw PKN Orlen w Lipnie. Zabezpieczono wykop pod podziemne zbiorniki paliwa. Głębokość wykopu w kształcie prostokąta wynosiła 3,5 m i wynikała z projektowanej rzędnej posadowienia zbiorników. Długość zabezpieczenia wynosiła ok. 52,5 mb. Ściankę wykonano jako zamkniętą komorę stanowiącą jednocześnie zabezpieczenie skarp wykopu i przesłonę filtracyjną. Warunki gruntowe, kształt i wymiary wykopu wymagały wykonania dwupoziomowego podparcia ściany rozporami z rur stalowych. Od powierzchni terenu do głębokości ok. 3 m zalegały nasypy zbudowane głównie z piasku próchnicznego z licznymi przewarstwieniami torfu. Niżej, do poziomu 7,5-8 m pod powierzchnią terenu, zalegały



Fot. 1. Jedna z ostatnich realizacji firmy Aarsleff Sp. z o.o. – wciskanie ściany z grodzic stalowych firmy Arcelor: a) rama startowa z balastem, b) ścianka wciskana wzdłuż ulicy w zwartej zabudowie miejskiej Wrocławia (marzec 2006)

warstwy torfów i namulów. Poniżej tego poziomu znajdowały się piaski drobnoziarniste w stanie średniozagęszczonym. Instalację grodzic metodą wciskania statycznego wykonano na życzenie inwestora, który chciał uniknąć sporów z właścicielem sąsiedniej działki, gdzie zlokalizowany był średniej wielkości sklep. Do zabudowy ścian wykopu wykorzystano profile typu AZ 13 firmy **Arcelor**. Ich długość była stała na długości zabezpieczenia i wynosiła 10,5 m.

Budynek mieszkalny z usługami przy ul. Ludowej w Warszawie. Wykop pod budynek mieszkalno-usługowy zlokalizowany w rejonie pierwszego tarasu Wisły zabezpieczano ścianką szczelną. Obwód części podziemnej obiektu o kształcie nieregularnego wieloboku wynosił ok. 240 mb, z czego ok. 210 mb zabezpieczono ścianką szczelną. Głębokość wykopu wynosiła 3,2-4,5 m z lokalnymi przegłębieniami do 5,5 m. Na przeważającej części zabezpieczenia zaprojektowano ściankę wspornikowo zamocowaną w gruncie. Jedynie na długości ok. 20-25 m zabezpieczenia ściana podparta była jednym poziomem rozpór z rur stalowych. Konieczność rozparcia wynikała z istnienia wspomnianych przegłębieni. Dominującą formacją geologiczną w rejonie inwestycji były iły plicieńskie w stanie od twaroplastycznego do półzwarłego (lokalnie plastyczne). Strop tej warstwy na części odcinka zabezpieczenia nawiercono bezpośrednio pod warstwą nasypów. Miejscami iły przykryte były dodatkowo warstwą glin pylastych. Na tych warstwach do powierzchni terenu zalegały nasypy zbudowane głównie z piasku z humusem z domieszką gruzu ceglanego. Grubość tej warstwy wynosiła od 1 do 3 m. Na części odcinka zabezpieczenia instalację grodzic wykonano metodą wibracyjną, natomiast w sąsiedztwie istniejących budynków i targowiska wykorzystano metodę statycznego wciskania grodzic. Do zabezpieczenia wykopu użyto profili typu AZ 18 firmy **Arcelor** o długości 8 i 10 m. Również w tym przypadku instalacja grodzic wspomaganą była podplukiwaniem. Na znacznym odcinku zabezpieczenia ścianę stalową pozostawiono w gruncie. W części stanowiła ona szalunek tracony, wykorzystany do betonowania ścian podziemia budynku.

5. Podsumowanie

Powyższe przykłady nie stanowią pełnego przeglądu zrealizowanych zabezpieczeń (tab. 1) i możliwych zastosowań metody wciskania statycznego. W podanych przykładach autorzy starali się również przedstawić problemy, jakie mogą towarzyszyć metodzie wciskania statycznego grodzic (np. utrudnienia podczas pokonywania warstw gruntów grubookruchowych, takich jak bruk morenowy, zagęszczone żwiru), wraz z praktycznymi sposobami ich rozwiązywania.

Do warunków stosowania metody wciskania statycznego należy zaliczyć:

- zapewnienie miejsca na ramę startową lub instalację profili startowych inną metodą (np. przez wibrowanie);
- zapewnienie minimalnego oddalenia osi ścianki od ścian bocznych budynków sąsiadujących o wartości min. 0-75 cm, zależnej od typu stosowanego urządzenia;
- możliwość korzystania w trakcie robót z lekkiego dźwigu do podawania grodzic i ewentualnego przestawiania urządzenia przy zmianie kierunku wciskania w ostrych narożach ścianki;
- zapewnienie poziomej lub nieznacznie skośnej górnej krawędzi ścianki, co realizowane jest w praktyce niewielką zmianą poziomu kolejnych grodzic;
- możliwość zastosowania/wykorzystania pojedynczych pro-

fili typu Z;

- przygotowanie techniczne wykonawcy do usuwania przeszkód w gruncie (np. przez podwiercanie i/lub podplukiwanie).
- Do niewątpliwych zalet technologii wciskania statycznego należą:
- bezwibracyjna i cicha instalacja grodzic stalowych zalecana do wykorzystania w zwartej zabudowie oraz w sąsiedztwie wrażliwych urządzeń i budowli;
 - lepsze, w porównaniu z wibrowaniem, efekty w przypadku zagłębienia profili w gruntach spoistych;
 - w większości przypadków niższy koszt zabezpieczenia od ścian szczelinowych – wyjątkiem są sytuacje, gdy ściana zabezpieczenia wykopu stanowi jednocześnie ścianę konstrukcyjną części podziemnej, co w przypadku grodzic stalowych najczęściej wymaga zastosowania profili ciężkich, jednak również w takich przypadkach ściana stalowa jest zwykle konkurencyjna dla ściany szczelinowej o grubości większej niż 80 cm lub równej 80 cm;
 - „czysty” plac budowy, na którym nie stosuje się zawiesiny bentonitowej – nie ma zatem potrzeby wykorzystywania zaplecza i urządzeń do oczyszczania zawiesiny bentonitowej lub jej dowozu;
 - niezależnienie się urządzenia wciskającego od lokalnych warunków terenowych – np. istnieje możliwość wciskania ścianki w wodzie, bez konieczności budowy grobli i/lub wykorzystania jednostek pływających;
 - większa wydajność wciskania w porównaniu z technologią ścian szczelinowych;
 - prosty proces technologiczny wykonania ścianki;
 - małe gabaryty urządzenia – wymagana mała skrajnia pozioma i pionowa (wynikająca z długości grodzic);
 - skrócenie czasu realizacji zabezpieczenia ze względu na brak konieczności oczekiwania na związanie betonu;
 - niezależnienie robót od warunków atmosferycznych;
 - możliwość instalacji grodzic pod istniejącymi konstrukcjami, np. mostami lub wiaduktami, oraz w użytkowanych halach produkcyjnych.

Opisana w artykule technologia wciskania statycznego grodzic w większości przypadków stanowi interesującą alternatywę dla technologii ścian szczelinowych. Szczególniej uwadze czytelników polecamy możliwość jej wykorzystania wewnątrz hal, w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących budynków, obiektów zabytkowych [1], pod użytkowanymi obiektami (np. mostowymi) oraz w sytuacjach braku dostępu do terenu (np. w wodzie lub na gruntach słabych). Zastosowanie tego rozwiązania dodatkowo ułatwia szeroka gama profili typu **AZ** firmy **Arcelor** o wskaźnikach wytrzymałości od 1200 do 5000 cm³/m, oferowanych w wielu gatunkach stali. ●

LITERATURA

- [1] Sobala D., Rybak Cz., Rybak J.: O zastosowaniu stalowych wciskanych ścianek szczelnych. Inżynieria i Budownictwo. 12/2001.
- [2] Musiał R.: Komory startowe i odbiorcze mikrotuneli wykonywane w zabudowie miejskiej. Geoinżynieria i tunelowanie. 01/2004.
- [3] Serwisy internetowe.

autor

mgr inż. Krzysztof Sahajada
Aarsleff Sp. z o.o.
dr inż. Dariusz Sobala
Politechnika Rzeszowska