



Najnowsze osiągnięcia w zakresie iniekcji strumieniowej

# Kolumny o średnicach od 2,5 do 5,0 metrów

mgr inż. Tomasz Michalski

Keller Polska Sp. z o.o.

## 1. Wstęp

Iniekcję strumieniową stosuje się powszechnie w wielu krajach świata do wzmocnienia podłoża. Możliwość zastosowania tej technologii i wytworzenia określonych brył geometrycznych o ściśle określonych parametrach w różnych rodzajach gruntu pozwala rozwiązywać różnorodne problemy geotechniczne. Od kilkunastu lat także w Polsce stosuje się z powodzeniem jet grouting do uszczelniania i wzmocniania gruntów, przy czym stosowane średnice kolumn wynoszą standardowo od 0,8 m do 2,5 m. W krajowej praktyce budowlanej kolumny *jet grouting* o średnicy ponad 2 m były wykorzystywane już wielokrotnie, np. do wzmocniania nabrzeży portowych, uszczelniania zapór czy też zeskalania gruntów w budownictwie tuneli (metro w Warszawie). Również obecnie wykonuje się w Polsce prace przy wykorzystaniu możliwości, jakie daje stosowanie kolumn o średnicy 2,0–2,5 m. Bezdyskusyjnie nowością na rynku polskim są kolumny o średnicy 2,5–5 m i tego typu zastosowania omawia niniejszy artykuł. Kolumny o średnicy kilku metrów zostały pokazane na rycinach 1, 2 i 3.



Ryc. 1. Kolumna Soilcrete



Ryc. 2. Kolumna Soilcrete



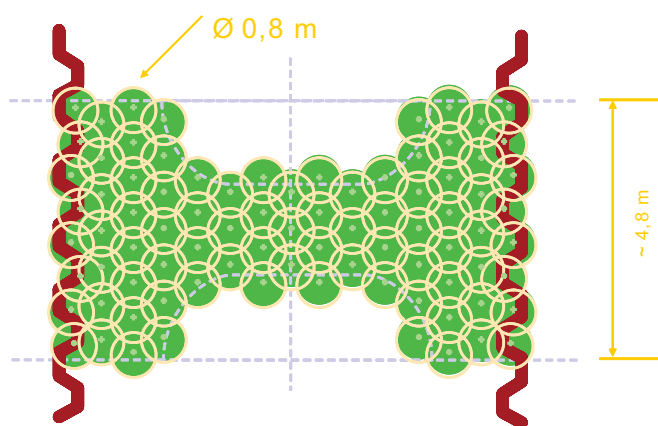
Ryc. 3. Kolumna Soilcrete

## 2. System Soilcrete-DS

Jednym z ograniczeń na drodze rozwoju technologii jet grouting jest koszt jej zastosowania, związany z koniecznością wykorzystywania drogich maszyn, dużych ilości energii oraz z powstawaniem kłopotliwego w utylizacji urobku technologicznego. Jednym ze sposobów obniżenia kosztów jednostkowych wytworzenia cementogruntu jest możliwość utworzenia elementów Soilcrete o bardzo dużych średnicach (do 5 m). Zastosowanie takich średnic w dużym stopniu redukuje liczbę punktów iniekcyjnych, co oprócz wpływu na koszty, ma bardzo duże znaczenie dla jakości prac, zwłaszcza przy zastosowaniach uszczelniających grunty. Wiadomo, iż niewralgicznymi miejscami uszczelnienia są połączenia poszczególnych elementów iniekcyjnych. Jeżeli więc radykalnie zostanie zmniejszona liczba wykonywanych elementów (np. poprzez zastąpienie kolumn o średnicy 2 m kolumnami o średnicy 4 m), prawdopodobieństwo powstania nieszczelności lub innych błędów szybko maleje. Jak znacząco zmienia się liczba niezbędnych do wykonania elementów jet grouting przy zwiększeniu średnicy kolumn obrazują ryciny 4 i 5. Przedstawiają one wykonane w dnie wykopu krótkie kolumny *jet grouting*, pełniące rolę rozpór dla ścian zabezpieczających ściany wykopu.

Soilcrete-DS jest udoskonaloną odmianą iniekcji strumieniowej. Technologia ta jest jednak lepsza i tańsza. Podobnie jak w podwójnym systemie *jet grouting*, w Soilcrete-DS stosuje się parę dysz iniekcyjnych otulonych strumieniem sprężonego powietrza, które erodują podłoże i mieszają go z zaczynem cementowym.

#### Rozmieszczenie kolumn na bazie $\varnothing 0,8 \text{ m}$

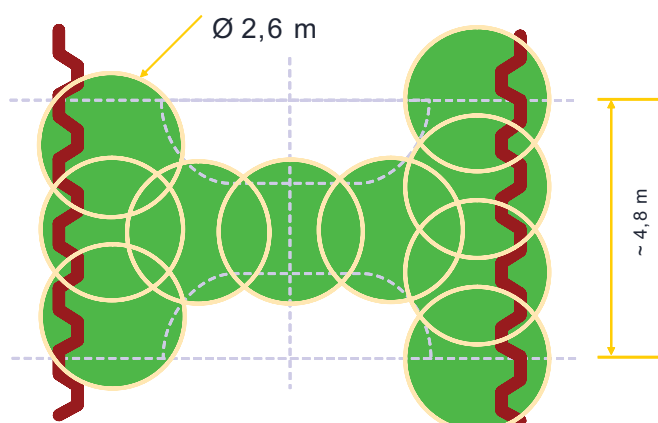


Ścianka szczelna

Ścianka szczelna

Rys. 4. Rozmieszczenie kolumn o średnicy 0,8 m

#### Rozmieszczenie kolumn na bazie $\varnothing 2,6 \text{ m}$



Ścianka szczelna

Ścianka szczelna

Rys. 5. Rozmieszczenie kolumn o średnicy 2,6 m

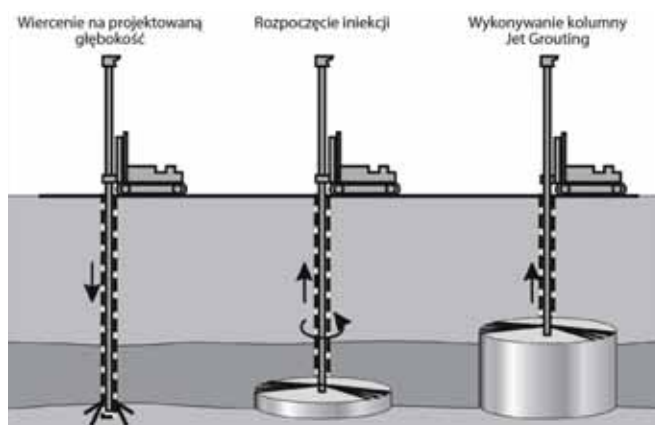
Innowacyjność tej technologii polega na zwiększonej wydajności i prędkości przepływu płynów (zaczynu) w monitorze, a przez to zdecydowanie bardziej skoncentrowany wpływ iniektu z dyszy (ryc. 6). Umożliwia to zaprojektowanie kolumn o średnicy do 5 m, a więc znacznie większej niż przy standardowych wariantach iniekcji strumieniowej (od 0,6 do 2 m).



Ryc. 6. Pokaz strumienia

System Soilcrete-DS, określany w Ameryce Północnej jako Super Jet, ma wiele potencjalnych zastosowań. Łącząc kolumny można skutecznie wzmocnić posadowienie pionowych i bocznych podpór konstrukcji. Możliwe jest również wykonanie przegród i przesłon zabezpieczających przed wodą gruntową. Natomiast

przy budowie tuneli stosuje się Soilcrete-DS do zabezpieczenia lub zeskalenia słabych gruntów. Za pomocą tego systemu można również wykonać zapory i przesłony, które umożliwiają rozbudowanie infrastruktury, jej renowację oraz modernizację. Bez obracania żerdzi wiertniczej podczas wyciągania możliwe jest utworzenie szerokiej płyty w formie pionowej bariery (ściany), która hamuje dopływ wody gruntowej lub zanieczyszczonej wody. Takie rozwiązanie może być stosowane w przeludnionych miejscach, w których występują podziemne przeszkody, a także wzdłuż zapór i wałów przeciwpowodziowych w celu poprawy ich stateczności. Przebieg wykonania kolumn jest identyczny jak w klasycznym *jet grouting*, tzn. składa się z fazy wiercenia oraz iniekcji wysokoenergetycznym strumieniem zaczynu cementowego (ryc. 7).



Ryc. 7. Przebieg wykonania Soilcrete DS

### 3. Zastosowania Soilcrete-DS

Na konkretnych przykładach zaprezentowano postęp, jaki dokonał się w technologii Soilcrete-DS. Warto zwrócić szczególną uwagę na jakość wykonywanych robót (mniejsza liczba elementów, a co za tym idzie mniej słabych punktów) i oszczędności finansowe.

#### 3.1. Lubeck-Moisling Tunnel: uszczelnienie dna wykopu

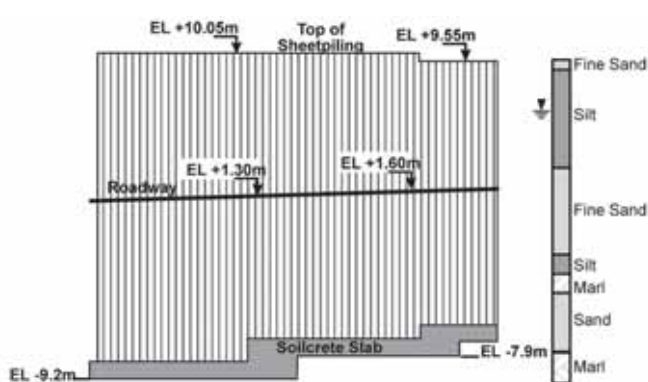
Pierwsze w Europie zastosowanie technologii Soilcrete-DS miało miejsce w 1999 r. w Niemczech, w okolicach Lubeki. Nowo budowany odcinek autostrady A20 przecina istniejącą linię kolejową Lubeka – Hamburg oraz drogę krajową i gminną Lubeka – Moisling.

Względy związane z ekologią, uwarunkowania projektowe, jak również konieczność ochrony przed hałasem, wywołanym przez nasilający się ruch drogowy, w znacznym stopniu wpłynęły na to, że ten odcinek autostrady (o długości 330 m i szerokości 30 m) zaprojektowano i zbudowano jako tunel, przebiegający pod linią kolejową oraz pod drogami lokalnymi.

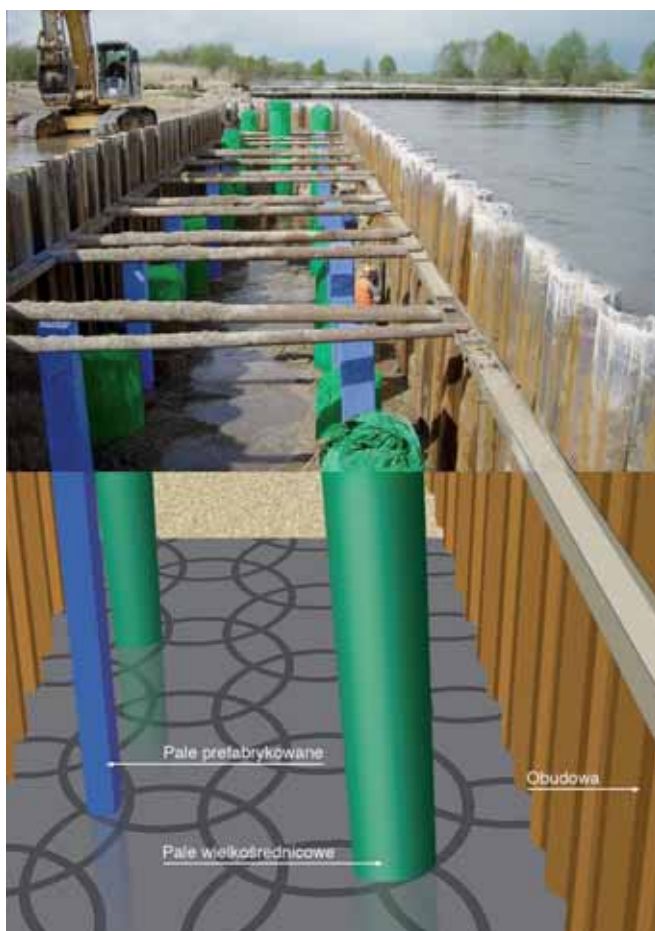
Standardowy przekrój podłoża przedstawiono na rycinie 4. Woda gruntowa pojawiła się na różnych głębokościach, najczęściej między 5 a 7 m poniżej istniejącego poziomu. Podstawowym założeniem projektowym było wykonanie wykopu na czas budowy tunelu, bez konieczności obniżania zwierciadła wody gruntowej. Zgodnie z powyższymi warunkami gruntowymi, inżynierowie zaprojektowali konstrukcję zaporową, składającą się z zakotwionych ścianek szczelnych (stanowiących boczną obudowę ścian wykopu), połączonych za pomocą poziomej przegrody wodoszczelnej, wykonanej w technologii Soilcrete-DS. Tak przygotowane elementy stanowiły wodoszczelną konstrukcję, potrzebną do wykonania kolejnych prac.

Jak przedstawiono na rycinie 8, uszczelnienie dna zostało wykonane w formie stopni zgodnie z założeniami projektowymi oraz przebiegiem niwelety projektowanej drogi.

Na podstawie wcześniejszych doświadczeń, do wykonania przenikających się kolumn o średnicy 3,5 m, tworzących uszczelnienie dna między wbitymi stalowymi ściankami szczelnymi, wykonawca iniekcji strumieniowej wybrał technologię Soilcrete-DS Midi. To rozwiązanie zoptymalizowało układ kolumn i pozwoliło zredukować ich liczbę o jedną trzecią.



Ryc. 8. Przykładowy przekrój poprzeczny oraz profil



Ryc. 9. Posadowienie mostu na Warcie, iniekcja dla lewej podpory w nurcie rzeki



Ryc. 10. Posadowienie mostu na Warcie, widok na obie podpory mostu przy wysokim stanie wody

### 3.2. Posadowienie mostu autostradowego przez rzekę Wartę w ciągu autostrady A2

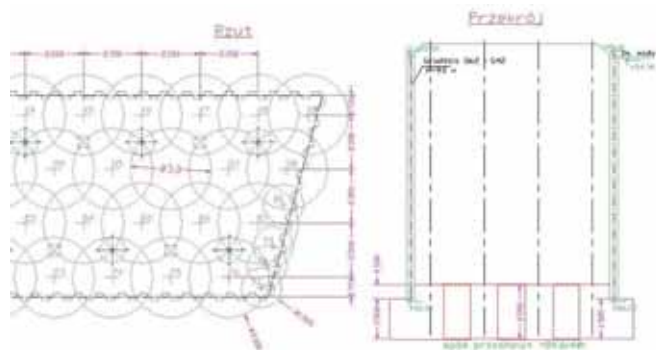
Przy budowie mostu autostradowego przez Wartę w okolicach miejscowości Janów k. Koła zaszła konieczność wykonania głębokich wykopów fundamentowych tuż przy nurcie rzeki (ryc. 9, 10). Biorąc pod uwagę brak możliwości odwodnienia takiego wykopu, zdecydowano się na wykonanie szczelnej obudowy. Ściany wykonano w postaci wzbrowyiwanych grodzie stalowych, natomiast dno zabezpieczono za pomocą poziomej przesłony wodoszczelnej, wykonanej w technologii Soilcrete-DS. Zastosowano kolumny o średnicy 3–3,5 m w rozstawie 2,000 x 2,150 – w siatce trójkątnej (ryc. 11). Znaczącym utrudnieniem dla wykonawstwa tych prac były wykonane już wcześniej pale wielkośrednicowe i prefabrykowane. Generowały one możliwość powstawania tzw. cieni iniekcyjnych, tj. miejsc, do których nie dotarł strumień erodujący grunt. Dzięki zainstalowaniu przegrody na odpowiedniej głębokości poniżej dna wykopu, uniknięto konieczności wykonywania zakotwienia przesłony. Po stwardnieniu cementogruntu wykonano wykop oraz wszelkie prace fundamentowe, prowadząc jedynie niewielkie pompowanie resztek wody przesączających się przez ściankę szczelną (ryc. 12).

### 3.3. Tunel drogowy w Oświęcimiu

Zalegające w podłożu piaski grube i pospółki, bardzo wysoki poziom wody gruntowej, obecność w bezpośrednim sąsiedztwie cieku wodnego oraz zagrożenie osiadaniami przebiegającej w pobliżu linii kolejowej powodowały, że odwodnienie planowanego wykopu było bardzo trudne technicznie i wiązało się z dużym ryzykiem uszkodzenia sąsiednich obiektów; było także bardzo drogie. Dlatego już w 2001 r., na etapie projektu budowlanego, przewidziano wykonanie szczelnej obudowy ścian wykopu w formie ścian szczelinowych oraz szczelnej, samonośnej, poziomej przegrody wodoszczelnej, zabezpieczającej wykop przed napływem wody gruntowej od dołu. Przegrody te miały pełnić dwojaką rolę: w trakcie budowy miały umożliwić wykonanie wykopu oraz tuneli i warstw drogowych bez obniżania zwierciadła wody gruntowej, natomiast w trakcie eksploatacji miały tworzyć szczelną wannę, umożliwiającą normalną eksploatację drogi.



Ryc. 11. Posadowienie mostu na Warcie, projekt techniczny



Ryc. 12. Posadowienie mostu na Warcie, wykop z widokiem na pale

W przypadku tej budowy wykonano kolumny *jet grouting* o średnicy 2,5 m. Wykonanie kolumn tylko o średnicy 2,5 cm było spowodowane względami wykonawczymi – poziom platformy roboczej przyjęto na tyle nisko, że gdyby wykonywano kolumny o większej średnicy, groziłoby to podmyciem i zapadnięciem się maszyny. O tej budowie warto wspomnieć jeszcze z jednego względu. Otóż szukając oszczędności finansowych, inwestor i generalny wykonawca zdecydowali o zaprobowaniu propozycji projektanta kolumn *jet grouting*, by



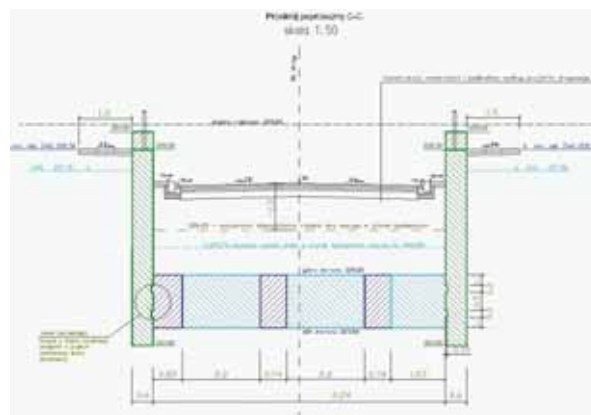
Ryc. 13. Wykop drogowy w Oświęcimiu, przekrój poprzeczny

ściany boczne wykopu wykonać nie jako ściany szczelinowe, ale jako zbrojoną palisadę z kolumn DSM. W ten oto sposób powstała budowla (szczelna wanna) w całości wykonana z nowego w budownictwie materiału, jakim jest cementogrunt (ryc. 13, 14, 15).

Ponieważ przyjęte do realizacji rozwiązanie będzie eksploatowane przez najbliższe kilkadziesiąt lat, pomiędzy przesłoną a niweletą drogi zainstalowano drenaż przechwytyjący resztkowe sączenie wody przez ściany i przesłone.



Ryc. 14. Posadowienie mostu na Warcie, kolumny DSM ze zbrojeniem  
Wykop drogowy, Oświęcim



Ryc. 15. Posadowienie mostu na Warcie, prace iniekcyjne

**Geotechnika na światowym poziomie**  
www.keller.com.pl

Keller Polska Sp. z o.o.  
ul. Poznańska 172  
05-850 Ożarów Mazowiecki

tel.: +48 22 733 82 70  
fax: +48 22 733 82 80  
e-mail: Keller-Polska@keller.com.pl