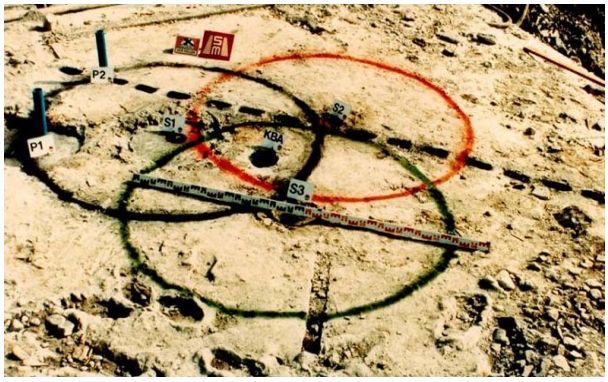
Najnowsze osiągnięcia w zakresie iniekcji strumieniowej.
Kolumny o średnicach od 2,5 do 5,0 m.

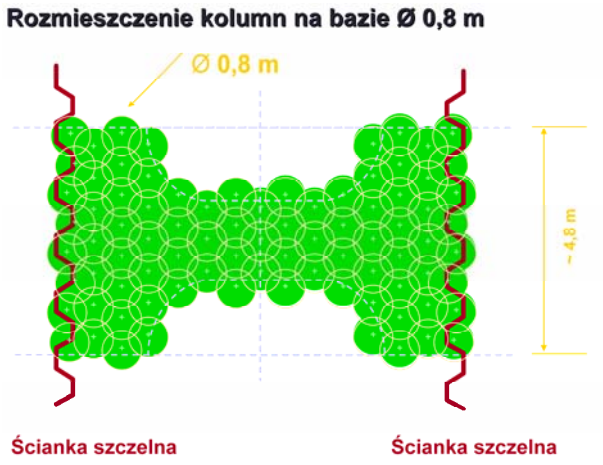
Mgr inż. Tomasz Michalski
Keller Polska Sp. z o.o.

Iniekcję strumieniową stosuje się jako powszechną technologię wzmocnienia podłoża w wielu krajach na świecie. Możliwość zastosowania tej technologii i wytworzenia określonych brył geometrycznych o ściśle określonych parametrach w wielu rodzajach gruntu pozwala rozwiązywać wiele problemów geotechnicznych. Od kilkunastu lat na całym świecie, a także w Polsce z powodzeniem stosuje się Jet Grouting dla uszczelniania i wzmacniania gruntów; przy czym stosowane średnice kolumn wynoszą standartowo 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.:. dla wzmacniania nabrzeży portowych, uszczelniania zapór, czy też zeskalania gruntów w budownictwie tuneli (metro w Warszawie). Także w chwili obecnej wykonuje się w Polsce prace przy wykorzystaniu możliwości jakie daje stosowanie kolumn o średnicy 2,0-2,5 m. Trudno więc zgodzić się z autorką artykułu „Kolumny iniekcyjne dużych średnic" (Inżynieria i Budownictwo 3/2005), iż kolumny o średnicy 2 m są nowością na rynku polskim zwłaszcza, że przywoływane w powyższym artykule maszyny np. pompy HT400 pracują w kraju od 1997 roku. Nowością na rynku polskim są natomiast bezdyskusyjnie kolumny o średnicy 2,5-5 m i tego typu zastosowania omawia niniejszy artykuł. Kolumny o średnicy kilku metrów pokazane są na fotografiach 1, 2 i 3.

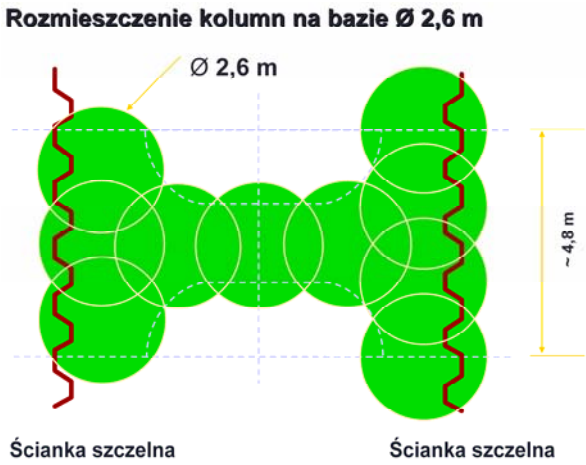


Fot. 1,2,3 – Kolumny o średnicy kilku metrów

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 na obniżenie kosztów jednostkowych wytworzenia cementogruntu (np. m^3) jest możliwość utworzenia elementów Soilcrete o bardzo dużych średnicach (do 5m). Zastosowanie takich średnic w dużym stopniu redukuje ilość punków iniekcyjnych, co oprócz wpływu na koszty ma bardzo duże znaczenie dla jakości prac, zwłaszcza przy zastosowaniach uszczelniających grunty. Wiadomym jest, iż newralgicznymi miejscem uszczelnienia są połączenia poszczególnych elementów iniekcyjnych. Jeżeli więc zmniejszona zostanie radykalnie ilość wykonywanych elementów (np. poprzez zastąpienie kolumn o średnicy 2 m kolumnami średnicy 4m) prawdopodobieństwo powstania nieszczelności lub innych błędów szybko maleje. Jak znacząco zmienia się ilość niezbędnych do wykonania elementów Jet Grouting przy zwiększeniu średnicy kolumn obrazują rysunki 1i 2. Przedstawiają one wykonane w dnie wykopu krótkie kolumny Jet Grouting pełniące rolę rozpór dla ścian zabezpieczających ściany wykopu.



Rys. 1 Rozmieszczenie kolumn o średnicy 0,8m



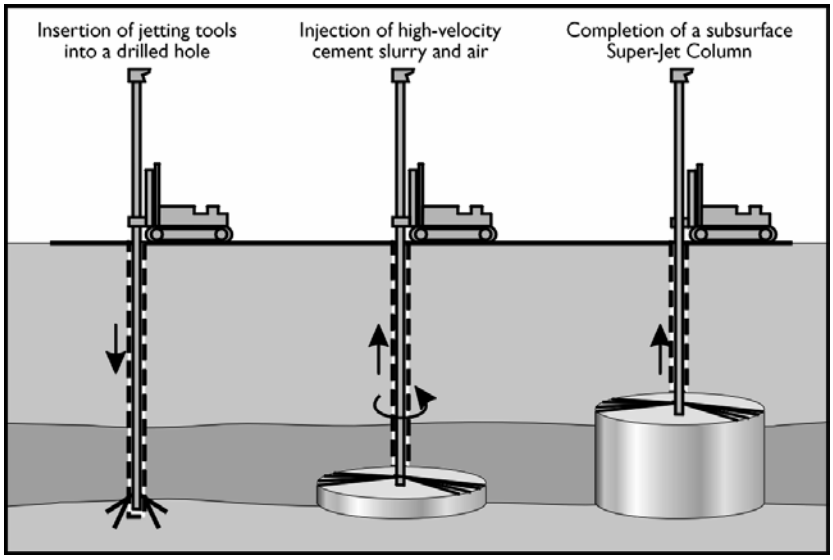
Rys. 2 Rozmieszczenie kolumn o średnicy 2,6m

Soilcrete -DS jest udoskonalaną odmianą iniekcji strumieniowej. Technologia to jest lepsza i tańsza. Podobnie do klasycznego podwójnego systemu Jet Grouting, przy Soilcrete – DS stosuje się parę dyszy iniekcyjnych otulonych strumieniem sprężonego powietrza, które erodują podłoże i mieszają go z zaczynem cementowym.
Innowacyjność tej technologii polega na zwiększonej wydajności i prędkości przepływu płynów (zaczynu) w monitorze, a przez to zdecydowanie bardziej skoncentrowany wypływ iniektu z dyszy (Fotografia 4). 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).

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/zeskalenia słabych gruntów. Za pomocą Soilcrete -DS można również wykonać zapory, przesłony, które umożliwiają rozbudowanie infrastruktury, jej renowacje i 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 znajduje zastosowanie w przeludnionych

miejscach, w których występują podziemne przeszkody, jak również wzdłuż zapór i wałów przeciwpowodziowych w celu poprawy ich stateczność. Przebieg wykonania kolumn jest identyczny jak przy klasycznym Jet Groutingu tzn. składa się z fazy wiercenia oraz iniekcji wysokoenergetycznym strumieniem zaczynu cementowego (Rysunek 3).

Fot. 4 Pokaz strumienia



Rysunek 3. Przebieg wykonania Soilcrete –DS

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

LUBECK-MOILSLING TUNNEL: USZCZELNIENIE DNA WYKOPU

Pierwsze w Europie zastosowanie technologii Super Jet miało miejsce w roku 1999 w Niemczech, w okolicach miejscowości Lubeck.

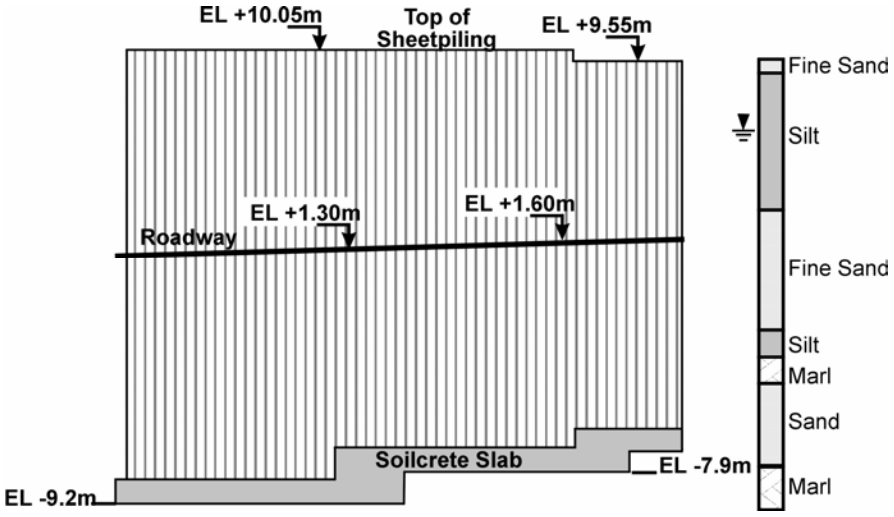
Nowobudowany odcinek autostrady A20 przecina istniejącą linię kolejową Lubeka - Hamburg, drogę krajową i gminną w pobliżu Lubeka -Moisling, w Niemczech.

Względy związane z lokalną ekologią, ochrona środowiska, uwarunkowania projektowe jak również ochrona przed hałasem, spowodowanym nasilającym się ruchem drogowym w znacznym stopniu wpłynęły na to, że ten odcinek autostrady (o długości 330m i szerokości 30m) zaprojektowano i zbudowano jako tunel, przechodzący pod linią kolejową oraz pod drogami lokalnymi.

Standardowy przekrój podłoża przedstawiono na rysunku 4. Woda gruntowa pojawiła się na różnych głębokościach, najczęściej między 5 a 7m 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, składająca się z zakotwionych ścianek szczelnych (stanowiących boczną obudowę ścian wykopu) połączonych za pomocą poziomej przegrody wodoszczelnej, wykonanej w technologii super jet. Tak przygotowane elementy stanowiły wodoszczelną konstrukcję potrzebną do wykonania kolejnych prac.

Jak przedstawiono na rysunku 4, 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. Takie rozwiązanie zoptymalizowało układ kolumn i pozwoliło zredukować ich ilość o jedną trzecią.



Rysunek 4. Przykładowy przekrój poprzeczny oraz profil

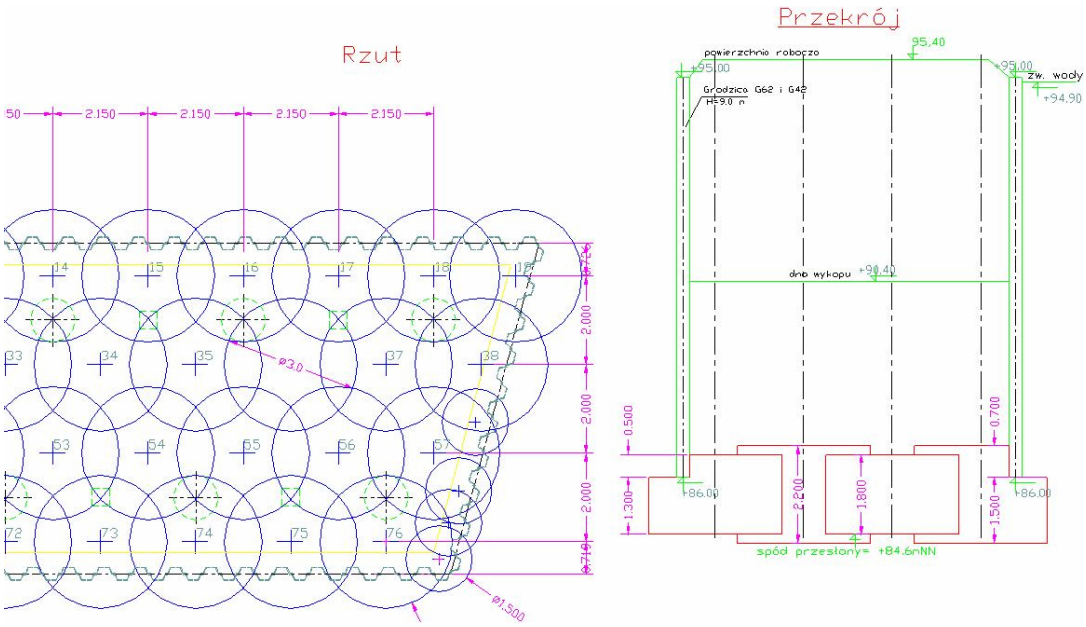
Posadowienie mostu autostradowego przez rzekę Wartę w ciągu autostrady A2

Przy budowie mostu autostradowego przez rzekę Wartę w okolicach miejscowości Janów k. Koła zaszła konieczność wykonania głębokich wykopów fundamentowych tuż przy nurcie rzeki (fotografia 5 i 6). Biorąc pod uwagę brak możliwości odwodnienia takiego wykopu zdecydowano się na wykonanie szczelnej obudowy. Ściany wykonano w postaci wwibrowywanych grodzic stalowych natomiast dno zabezpieczono za pomocą poziomej przesłony wodoszczelnej wykonanej w technologii Super Jet. Zastosowano kolumny o średnicy 3 – 3,5 m w rozstawie 2,000x2,150 – w siatce trójkątnej (rysunek 5). 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 (Fotografia 7).

Fot. 7 Posadowienie mostu na Warcie - wykop z widokiem na pale

Fot. 6 Posadowienie mostu na Warcie - widok na obie podpory mostu przy wysokim stanie wody

Fot. 5 Posadowienie mostu na Warcie - iniekcja dla lewej podpory w nurcie rzeki



Rys. 5 Posadowienie mostu na Warcie - projekt techniczny

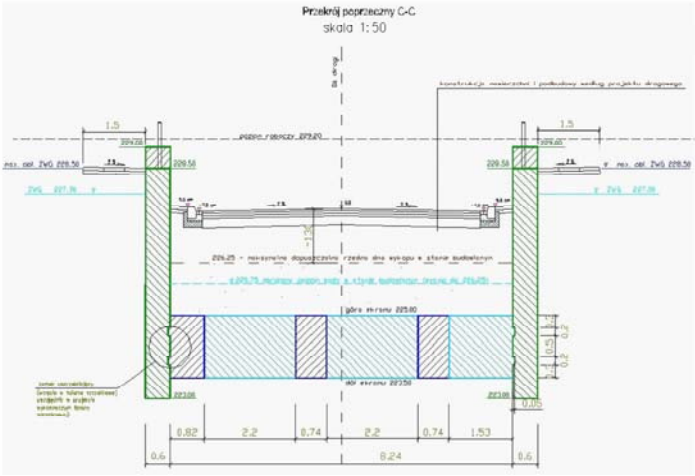
Tunel drogowy w Oświęcimiu.

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 oraz było bardzo drogie. Dlatego już na etapie projektu budowlanego, w roku 2001 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 tunelu i warstw drogowych bez obniżania zwierciadła wody gruntowej, natomiast w trakcie eksploatacji miały tworzyć szczelną „wannę" umożliwiającą normalną eksploatację drogi.

W przypadku tej budowy wykonano kolumny Jet Grouting o średnicy 2,5m. Wykonanie kolumn tylko o średnicy 2,5 cm spowodowane było względami wykonawczymi: poziom platformy roboczej przyjęto na tyle nisko, że gdyby wykonywano kolumny o większej średnicy groziłoby to podmyciem i zapadnięciem się maszyny. Na temat tej budowy warto wspomnieć jeszcze z jednego względu. Otóż szukając oszczędności finansowych, Inwestor i

Generalny Wykonawca, zdecydowali o zaaprobowaniu propozycji projektanta kolumn Jet Grouting, by 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. (Rysunek 6, Fotografia 8 i 9). Ponieważ przyjęte rozwiązanie jest rozwiązaniem trwałym, eksploatowanym przez najbliższych kilkadziesiąt lat, pomiędzy przesłoną a niweletą drogi zainstalowano drenaż przechwytujący resztkowe sączenie wody przez ściany i przesłonę.

Wykop drogowy, Oświęcim



Rys. 6 Wykop drogowy w Oświęcimiu – przekrój poprzeczny