



**AGNIESZKA POTERAJ-
-OLEKSIAK**

Cover Technologies Sp. z o.o.
agnieszka.poteraj@cover.net.pl

Tunel drogowy w Świnoujściu to inwestycja realizowana w ramach budowy drogi klasy GP pomiędzy wyspami Wolin i Uznam w Świnoujściu, na odcinku od ul. Karsiborskiej na wyspie Uznam do skrzyżowania z ul. Duńską i ul. Fińską na wyspie Wolin, o łącznej długości ok. 3,2 km [1]. Zakres Inwestycji obejmuje budowę tunelu drążonego w technologii TBM pod cieśniną rzeki Świny o długości ok. 1,44 km wraz z dojazdami do tunelu w postaci wykopu otwartego i tunelu

Wykorzystanie iniekcji geopolimerowych przy budowie tunelu drogowego w Świnoujściu



Rys. 1. Przebieg tunelu drogowego pod rzeką Świną

wykonywanego metodą stropową na wyspie Uznam oraz na wyspie Wolin [1].

Zadanie inwestycyjne realizowane jest w ramach projektu pn. „Usprawnienie połączenia komunikacyjnego pomiędzy wyspami Uznam i Wolin w Świnoujściu – budowa tunelu pod rzeką Świną”, Działanie 4.2 – Zwiększenie dostępności transportowej ośrodków miejskich leżących poza siecią drogową TEN-T i odciążenie miasta Świnoujścia od nadmiernego ruchu drogowego, Oś Priorytetowa IV – Infrastruktura drogowa dla miast, Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko 2014–2020.

Inwestorem całości inwestycji jest miasto-gmina Świnoujście, a inwestorem zastępczym bezpośrednio nadzorującym prace jest Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Szczecinie. Generalnym wykonawcą zadania zostało konsorcjum firm PORR S.A. (lider konsorcjum), PORR Bau GmbH, Gülermak Agir Sanay ilnşaat ve Taahhüt A.S oraz EnergoPol – Szczecin S.A. [1].



Fot. 1. Widok systemu drążącego TBM w komorze startowej

Szacunkowa długość tunelu drążonego z użyciem tarczy TBM wynosi ok. 1440 metrów. Tunel jednorurkowy, dwukierunkowy: całkowita szerokość jezdni – 11 metrów. Zewnętrzna średnica tunelu wynosi – 13,46 metrów. Szerokość pasów ruchu: dwa pasy ruchu w każdym kierunku – po 3,5 metra. Szerokość pasów awaryjnych – po 2 metry. Najgłębsze miejsce tunelu pod dnem rzeki Świny ok. 38,0 m p.p.m.

Problem do rozwiązania

Jednym z głównych elementów realizowanej inwestycji jest wydrążenie tunelu pod rzeką Świną. W ramach tego zadania konieczne było zabezpieczenie poprzez uszczelnienie czołowej ściany komory startowej przed przejściem tarczy TBM. To zadanie zostało zaprojektowane w technologii uszczelnienia iniekcyjnego z wykorzystaniem materiałów silikatowych, tzn. żywic o ściśle określonych właściwościach.



Fot. 2. Widok fragmentu tarczy TBM (str. prawa) oraz lico ściany w komorze startowej przez rozpoczęciem drążenia (str. lewa)

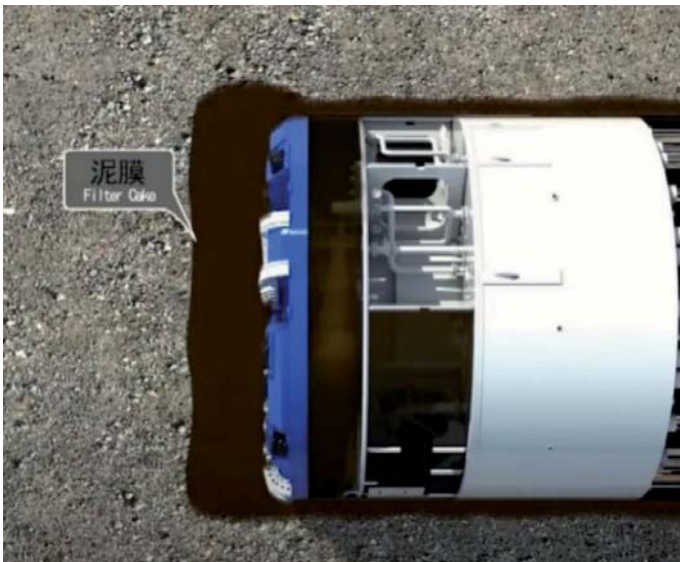
Przyjęte rozwiązanie

Uszczelnienie ściany czołowej komory startowej zaprojektowano w technologii iniekcji ciśnieniowej z zastosowaniem szybkowiążących materiałów iniekcyjnych.

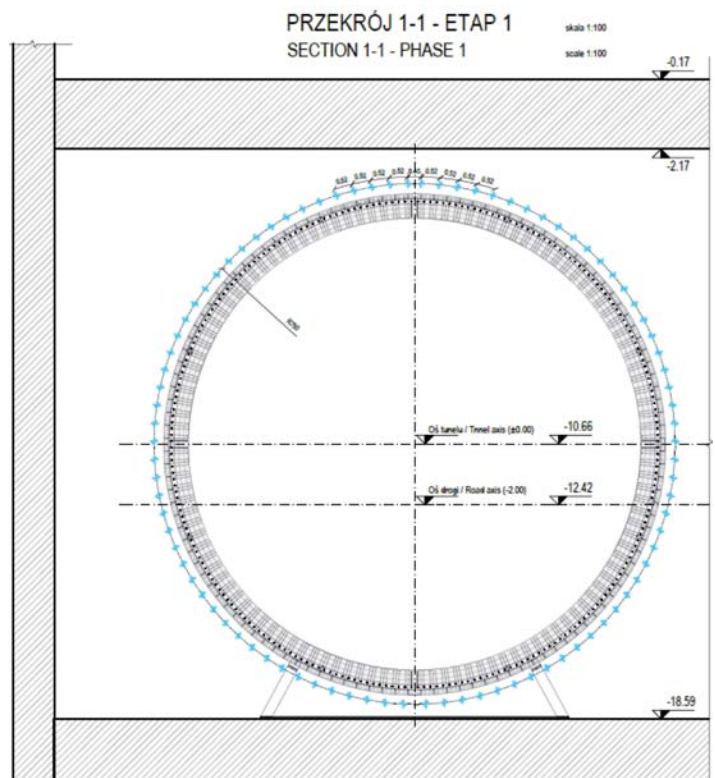
Zastosowane rozwiązanie – iniekcja geotechniczna ciśnieniowa. Iniekcja ciśnieniowa jest to proces, w którym pompowany materiał był zdalnie wprowadzany pomiędzy styk ściany z jetgroutingiem. Jest on pośrednio kontrolowany przez dobór własności reologicznych iniektu oraz parametrów wtłaczania, tj. ciśnienia, objętości, wydatku. W zakresie iniekcji geotechnicznej wyróżnia się dwa typy:

- 1) Iniekcja bezprzemieszczeniowa wypełniająca, polegająca na zastąpieniu wody lub przestrzeni porowej w gruncie, iniektem lub zaprawą, bez wyraźnych przemieszczeń gruntu [2]. Termin ten obejmuje iniekcję penetracyjną i wypełnienie objętościowe.
- 2) Iniekcja przemieszczeniowa (rozpychająca) – iniekcja gruntu prowadzona w taki sposób, że powoduje ona deformację, ściśnięcie lub przemieszczenie gruntu.

Uszczelnienie komory startowej zaprojektowano w 3 etapach. W ramach każdego etapu należało wykonać pierścień iniekcji wokół obszaru, przez który przechodziła tarcza TBM. Etap pierwszy i trzeci przewidywał zastosowanie materiału spienialnego, szybkowiążącego, aby zahamować napływ wody. Etap drugi (pierścień skrajny) polegał na wypełnieniu dwóch ringów iniekcyjnych trzecim, ale z wykorzystaniem materiału o właściwościach niespienialnych i wysokich parametrach wytrzymałościowych. Rozstaw punktów iniekcyjnych po okręgu został zaprojektowany w odległościach ok. 0,5–0,6 m. Kluczowym elementem wykonania



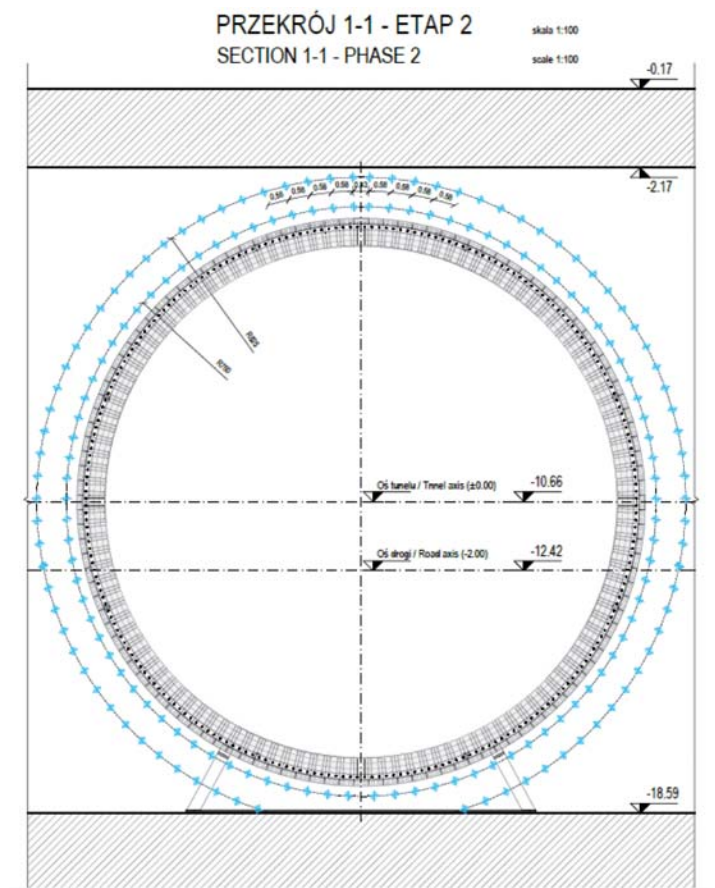
Rys. 2. Maszyna drążąca podczas pracy w ośrodku gruntowym [1]



Rys. 3. Etap pierwszy iniekcji Lica ściany w komorze startowej TBM [5]



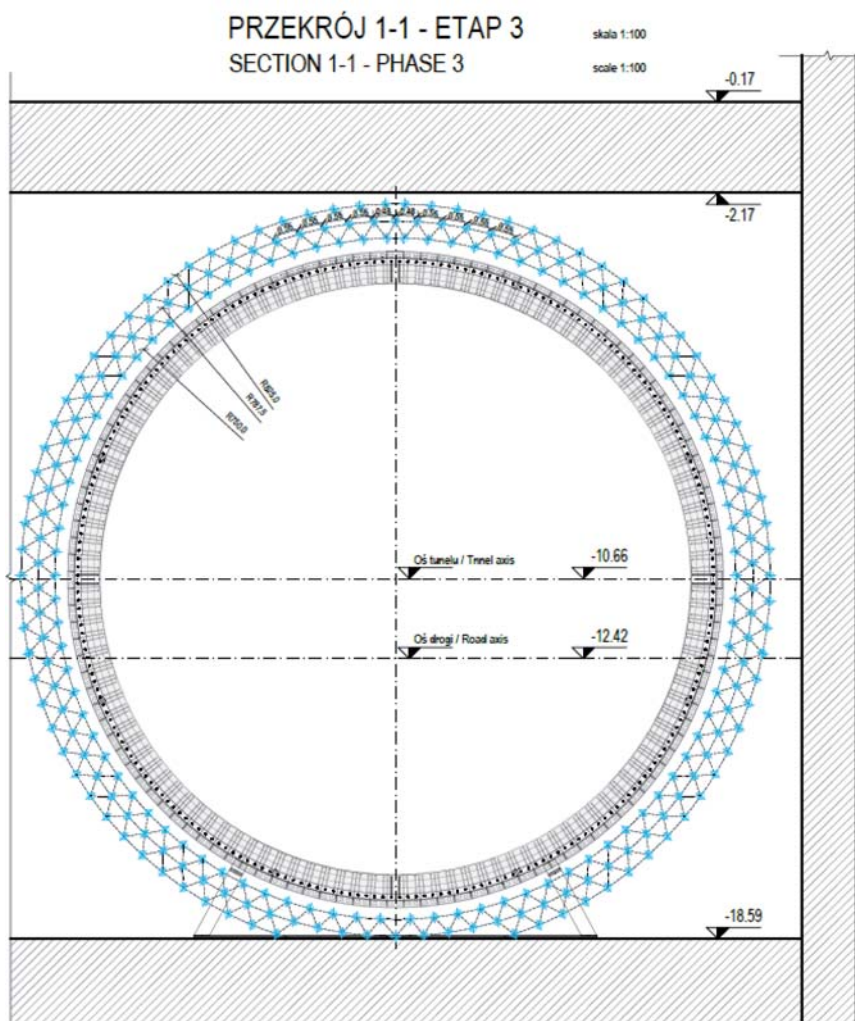
Fot. 3. Montaż systemu drążącego TBM w komorze startowej [3]



Rys. 4. Etap drugi iniekcji Lica ściany w komorze startowej TBM [5]

iniekcji uszczelniającej w tym przypadku był dobór właściwości materiałów iniekcyjnych w celu bezpiecznego i swobodnego przejścia głowicy TBM w komorze startowej przez ośrodek wokół. Do tego celu zostały wytypowane żywice silikatowe dedykowane do wykonywania wzmocnień i uszczelnień oraz wypełnienia pustek.

W 3-etapowym procesie iniekcji wykorzystano dwa rodzaje materiału z uwagi na ich określone właściwości i parametry fizyko-chemiczne. W fazie nr 1 i 3 wykorzystano żywicę o dużej lepkości i wysokiej sztywności po związaniu.



Rys. 5. Etap trzeci iniekcji Lica ściany w komorze startowej TBM [5]

Iniekcja prowadzona była zgodnie z projektem i rozpoczynała się od pierścienia (ringu) wewnętrznego od dołu do góry po okręgu. Iniekcja była prowadzona przez bieżący paker z lancą. Iniektowana była zadana ilość materiału względnie do momentu gwałtownego wzrostu ciśnienia i zatrzymanie pompy, pojawienia się „świeżej” żywicy w sąsiednim otworze iniekcyjnym lub osiągnięcia maksymalnego ciśnienia. Zalecanym sposobem iniekcji było systematyczne iniektowanie w jednym kierunku. Podczas iniekcji uszczelniającej, proces iniekcji rozpoczynało się z jednej strony i prowadzono w miarę postępu robót w przeciwnym kierunku. W tym celu odpowiednia lanca iniekcyjna zaopatrzona jest w zawór zamykający. Przez daną lanca dokonuje się iniekcji do momentu, aż zostanie wpompowana zadana ilość materiału, co powoduje gwałtowny wzrost ciśnienia lub ciągłość gruntu zostanie przerwana. W tym momencie rozpoczyna się na nowo proces iniekcji, aż do uzyskania efektu w/w na kolejnej lancy. W niektórych miejscach może zająć potrzeba wykonania indywidualnej siatki rozmieszczenia lanc w celu ominięcia przeszkód lub braku dostępu. Iniekcja powinna być po możliwie jak najkrótszej przerwie kontynuowana. Przy jak najmniejszym ciśnieniu podającym można uzupełniać kończący się materiał wypełniający. Przerwa w iniekcji niesie ze sobą ryzyko niedostatecznego wypełnienia struktury iniektowanego ośrodka. Jeżeli przerwa jest

W fazie nr 2 czyli w pierścieniu środkowym, zastosowano żywicę o mocniejszych parametrach wytrzymałościowych i dużej gęstości. Szczegółowa charakterystyka i specyfika ww. materiałów została omówiona w dalszym fragmencie artykułu.

Sposób wykonania prac

Iniekcje rozpoczęto od nawiercenia otworów kolejno w ringu nr 1 i aplikacji materiału, następnie w ringu nr 2 i 3, każdorazowo iniektując dany ring przed wierceniem kolejnego. W miejscach wywierconych otworów montowane były pakery iniekcyjne wraz z zaworem zwrotnym i lancą. Na fotografiach 4 i 5 widoczne są pakery osadzone w ringu nr 1. Na fotografii 4 przedstawiono pakery przed wykonaną iniekcją z zamkniętymi zaworami, natomiast fotografia nr 5 przedstawia sytuację w momencie otwarcia pakierów. Widoczny jest wypływ wody pod ciśnieniem znajdującej się na styku ściany z jełem.



Fot. 4. Osadzone pakery iniekcyjne w pierwszym etapie prac w ścianie komory startowej TBM



Fot. 5. Pakery iniekcyjne z otwartymi zaworami. Widoczny jest charakterystyczny wyciek wody pod ciśnieniem napierającej na ścianę czołową komory startowej. Po osadzeniu pakerów w momencie otwarcia zaworu zwrotnego woda wydostawała się w dużych ilościach jak z przysłowiowego kranu. Takie zjawisko widoczne było na wszystkich pakerach w pierwszym etapie iniekcji, przy czym w części górnej obserwowano niższe ciśnienie

Tabela 1. Dane techniczne [6]

Geofiller 2K	Komponent A	Komponent B
Barwa	Bezbarwny	Ciemny brąz
Gęstość (w 25°C)	1,35–1,45 g/cm ³	1,15–1,25 g/cm ³
Temperatura zapłonu	> 200°C	> 200°C
Lepkość (w 25°C)	20–80 mPa·s	150–450 mPa·s

Tabela 2. Czas reakcji [6]

Proporcje komponentów A:B = 100:90 (masowo w 25°C) 1:1 objętościowo	
Początek reakcji	5–25 s
Koniec reakcji	40–130 s
Czas początku wzrostu piany	65–75 s
Temperatura reakcji	90–100°C
Czynnik spieniający	>30

niezbędna, należy kontynuować iniekcję w następnym pakerze, po związaniu żywicy.

Maksymalne ciśnienie podczas iniekcji nie powinno przekraczać 20 bar. Niedopuszczalne jest rozerwanie gruntu żyłą materiału i niekontrolowane tłoczenie iniektu w ośrodek gruntowy. Ciśnienie iniekcji można odczytać bezpośrednio na manometrze. Wyższe ciśnienie może prowadzić do sedimentacji materiału, rozwarstwienia gruntu, względnie nawet uszkodzenia konstrukcji. Stan techniczny danego elementu budowlanego może także wymagać ograniczenia ciśnienia iniekcji.

Charakterystyka materiałów wykorzystanych do iniekcji

W zależności od wymaganych rezultatów należało dobrać odpowiedni materiał do iniekcji kierując się zarówno jego rodzajem, jak również właściwościami i cechami określonego ośrodka gruntowego, warunkami aplikacji, ewentualnymi zagrożeniami jakie mogą wystąpić podczas wykonania prac. Założeniem była dalsza eksploatacja zainiektowanego ośrodka.

Materiały zastosowane do wykonania uszczelnienia to dwuskładnikowe szybko reaktywne żywice silikatowe o określonych właściwościach reologicznych, o składzie chemicznym dedykowanym do określonych zastosowań.

W przypadku tunelu w Świnoujściu wykorzystane zostało rozwiązanie hybrydowe polegające na połączeniu dwóch rodzajów żywic. Materiałem aplikowanym w fazie 1 i 3 był **Geofiller 2K**, tj. dwuskładnikowa piana silikatowa, której składnik A jest mieszaniną krzemianów sodu i środków pomocniczych, natomiast składnik B jest mieszaniną diizocyanianudifenylometanu (MDI), izomerów i homologów z niereaktywnymi rozcieńczalnikami [6].

Cechą charakterystyczną „silikatu” Geofiller 2K jest jego ekspansywność bez pochłaniania wody. Jest to materiał hydrofobowy, wykazuje dobrą przyczepność do wilgotnych i mokrych powierzchni. Materiał przede wszystkim stosowany jest w przypadkach, gdzie wymagana jest szybka reakcja i możliwość swobodnego zjawiska polimeryzacji materiału pod wodą, jak również w środowisku wodnym. Bardzo szybka reakcja materiału w ośrodku gruntowym lub bezpośrednio w konstrukcji umożliwia tamowanie wycieków, uszczelnianie również wycieków pod ciśnieniem.

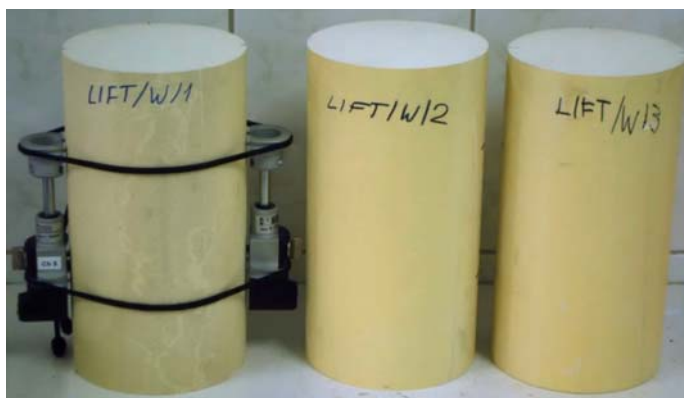
W tabeli 1 i 2 przedstawiono właściwości reologiczne oraz czasy reakcji i wiązania żywicy.



Fot. 6. Próbką materiału Geofiller 2K – po zmieszaniu komponentu A i B

Zastosowanie tego typu materiału w fazie nr 1 i 3 miało na celu zahamowanie napływu wody, czyli uszczelnienie przestrzeni, która ma być drażona przez tarczę TBM. Faza 1 i 3 wymagała materiału bardzo szybko wiążącego, natomiast faza druga, czyli ring skrajny – zewnętrzny, miał zostać wypełniony materiałem o znacznej wytrzymałości mechanicznej.

W etapie nr 2 wykorzystano żywicę szybkoreaktywną dwukomponentową, niespinalną o bardzo wysokich końcowych parametrach wytrzymałościowych. Geolift 2K to dwuskładnikowy silikatowy system klejąco-uszczelniający, którego składnik A jest mieszaniną krzemianów sodu i środków pomocniczych, a składnik B, jest mieszaniną diizocyjanianudifenylometanu (MDI), izomerów i homologów z niereaktywnymi rozcieńczalnikami [7].



Fot. 7. Próbkę walcowe materiału Geolift 2K

Tabela 3. Dane techniczne [7]

Geolift 2K	Komponent A	Komponent B
Barwa	Bezbarwny	Ciemny brąz
Gęstość (w 25°C)	1,3–1,57 g/cm ³	1,15–1,35 g/cm ³
Temperatura zapłonu	> 200°C	> 200°C
Lepkość (w 25°C)	120–350 mPa·s	50–300 mPa·s

Tabela 4. Czas reakcji [7]

Proporcje komponentów A:B 1:1 objętościowo (w 25°C)	
Początek reakcji	15 – 45 s
Koniec reakcji	50 – 140 s
Temperatura reakcji	100 – 110 °C
Wytrzymałość na ściskanie wynosi 40 – 56 MPa.	
Wytrzymałość na zginanie wynosi 10 – 15 MPa.	

Cechą charakterystyczną tej żywicy jest brak rozszerzalności i zmian objętości w obecności wody. Materiał ten jest także odporny na wchłanianie wody i wykazuje bardzo dobrą przyczepność do mokrych powierzchni. Żywica ta wykorzystywana jest do bardzo wymagających wzmocnień i uszczelnień, zwłaszcza tam, gdzie wymagana jest wytrzymałość konstrukcyjna na zginanie. Materiał trwale i mocno uszczelnia konstrukcje podwodne poprzez szybką reakcję w środowisku wilgotnym i mokrym.

Zastosowanie tego materiału w szerszym spektrum to przede wszystkim wykonanie podlewek wypełniających i stabilizujących pod płytami, pod nawierzchnią drogową, itp., ze względu na bardzo wysokie parametry wytrzymałościowe (końcowe). Jednocześnie materiał zdolny jest do przejmowania odkształceń dzięki elastyczności w trakcie występujących przemieszczeń. Żywica znajduje zastosowanie w podziemnych zakładach górniczych, w wyrobiskach – o stopniu zagrożenia wybuchem „a”, „b” i „c”, uszczelnieniem spękanego górotworu, w okolicach tam i zapór wodnych, odcinania wycieków wodnych oraz napraw konstrukcji znajdujących się pod wodą.

Podsumowanie i wnioski

Głównym celem przedsięwzięcia było przygotowanie ośrodka gruntowego w komorze startowej urządzenia TBM przed rozpoczęciem drażenia tunelu drogowego pod rzeką Świną. Zakładany cel został w pełni osiągnięty, co kilka tygodni później zostało potwierdzone w bezproblemowym przejściu tarczy TBM. Iniekcje z wykorzystaniem materiałów silikatowych o właściwościach wiążących i uszczelniających znajdują zastosowanie w budownictwie specjalistycznym, jakim jest realizacja tuneli i zabezpieczenie konstrukcji podziemnych. Zasadniczą zaletą technologii iniekcji geotechnicznej jest możliwość doboru odpowiedniego materiału iniekcyjnego, dostosowanego do oczekiwanego efektu, warunków aplikacji oraz rodzaju i stanu podłoża gruntowego, w który wprowadzany jest omawiany materiał.

Bibliografia

- [1] www.tunel-swinoujscie.pl;
- [2] Norma PN-EN 12715:2002 (U) Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych – Iniekcja;
- [3] www.covertechnologies.com;
- [4] Budownictwo Przemysłowe, 2008 *Budownictwo drogowe*;
- [5] Projekt Wykonawczy „Usprawnienie połączenia komunikacyjnego pomiędzy wyspami Uznam i Wolin w Świnoujściu – budowa tunelu pod Świną”;
- [6] Karta techniczna materiału Geofiller 2K;
- [7] Karta techniczna materiału Geolift 2K.