

# **Domieszki stosowane w procesie drażenia tuneli**

## **CHEMICAL ADDITIVES USED IN TUNNEL DRIVING PROCESSES**

### **Streszczenie**

Jedną z najczęstszych metod drażenia tuneli jest metoda równoważenia ciśnienia gruntu EPB (Earth Pressure Balance). Jest to technologia, w której wydobyty materiał zostaje zmodyfikowany domieszkami i dodatkami chemicznymi. Celem modyfikacji jest nadanie urobkowi odpowiedniej konsystencji, aby z jednej strony zapewnić hydrostatyczne podparcie czoła wyrobiska, z drugiej umożliwić transport przenośnikiem śrubowym i dalej taśmociągiem do składowisk. Domieszki modyfikujące urobek to środki powierzchniowo czynne, polimery i stabilizatory.

W pierwszej części referatu przedstawiono opracowaną i opatentowaną przez MC-Bauchemie metodę produkcji piany modyfikującej urobek. Obejmuje ona nowy typ generatora piany wraz z specjalnie opracowaną rodziną domieszek spieniających. Metoda pozwala na sterowanie parametrami samej piany takimi jak wielkość pęcherzyków i jej gęstość, a także przystosowanie zmodyfikowanego urobku do żądanej funkcji geotechnicznej – stabilizacji parcia gruntu na przodek.

W drugiej części opracowania zostały opisane zaprawy wypełniająco-uszczelniające przestrzeń między górotworem a obudową tunelu. Powstanie tej szczeliny wynika z różnicy średnic tarczy tnącej i osłony komory roboczej, zbieżności płaszcza osłony oraz konstrukcji uszczelki między osłoną a ścianą żelbetowej obudowy tunelu. Zaprawa jest wtlaczana sukcesywnie w miarę postępu robót i montażu tubingów. Zadaniem zapraw jest wypełnienie przestrzeni pozwalające na osadzenie rury tunelu w sposób zapewniający przeniesienie sił i naprężeń z żelbetowej konstrukcji tunelu na grunt otaczający oraz zapobiec osiadaniu konstrukcji.

## **Abstract**

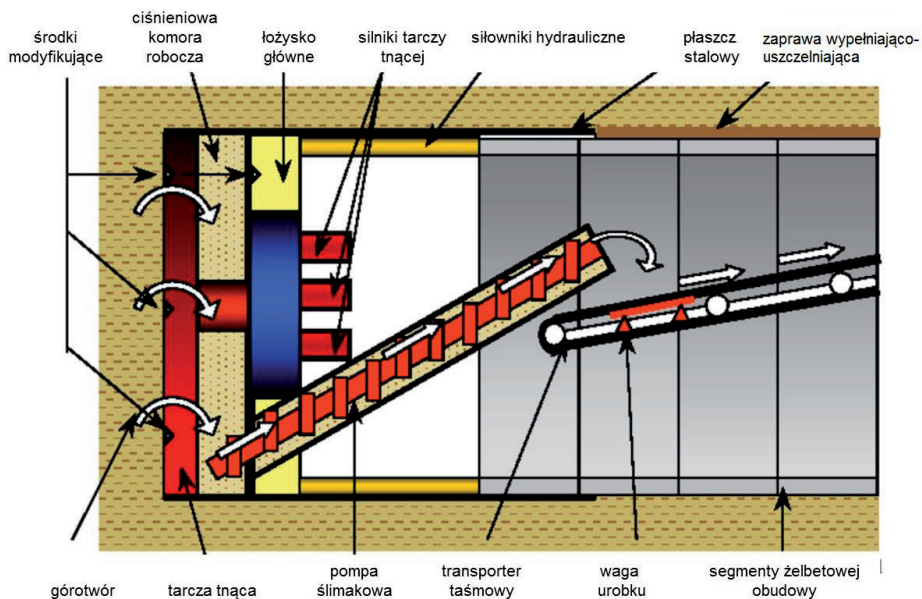
One of the most frequently used tunnel driving methods is the EPB (Earth Pressure Balance) method. It is a technology in which the excavated material is modified with chemical additives and additions. The objective of such modification is to obtain the landing's proper consistence, so as, on one hand, to provide for hydrostatic support of the tunnel face, and, on the other, to make it possible to transport the material via a screw conveyor and further on using a belt conveyor flight to dumps. Excavated material modifying additives comprise surfactants, polymers and stabilizers.

The first part of this paper presents a production method of excavated material modifying foam, which has been developed and patented by MC-Bauchemie. It features a new foam generator type and a specially designed family of foaming additives. This method makes it possible to control parameters of the foam itself, such as its bubble size and density, as well as to adjust the modified excavated material to its desired geotechnical function, i.e. stabilization of earth pressure against the tunnel face.

The second part of this paper describes annular grouting mortars used to fill in the annular space between soil and tunnel lining. The annular gap arises due to the difference in diameter of the cutting disc and the working chamber's protective shield, convergence of the protective shield's jacket and the construction of the seal in between the protective shield and the wall of the reinforced concrete tunnel lining. The grout is pumped in successively as the work progresses and the tubing is installed. Grouting mortars are used to fill in the annular space in order to place the tubing inside the tunnel in such a way as to provide for transmission of the forces and stressed from the reinforced concrete construction of the tunnel onto the surrounding soil, and to prevent from construction subsidence.

## 1. Wprowadzenie

Do drążenia tuneli w gruntach spoistych, takich jak ropy i gliny stosuje się maszyny typu EPB. Obrotowa tarcza z nożami tnącymi odspaja urobek, który następnie pompą śrubową oraz systemem taśmociągów jest transportowany na składowisko. System siłowników hydraulicznych przesuwaa tarczę tnącą naprzód. Żelbetowa obudowa tunelu wykonana z prefabrykatów tworzących pierścienie jest układana w osłonie płaszcz stalowy stanowiącego integralną część modułu tnącego. Moduł tnący z tarczą obracającą się z prędkością 2,7 obr/min jest dociskany do czoła górotworu siłą 400 barów systemem siłowników hydraulicznych. Czoło drążonego tunelu może być kondycjonowane wodą pod ciśnieniem, bentonitem lub pianą. Urobek jest kondycjonowany wspomnianymi środkami w komorze za tarczą tnącą, do której jest włączany ciśnieniem górotworu oraz wody gruntowej. W gruntach niestabilnych parcie jest kompensowane ciśnieniem panującym w szczelnej komorze roboczej. Ciśnienie w niej jest regulowane przez odpowiednie dobranie parametrów pracy, tzn. prędkości obrotowej pompy śrubowej transportującej urobek do modułu transportowego maszyny. Utrzymanie odpowiedniego ciśnienia w komorze roboczej ma za zadanie utrzymanie stabilności czoła drążonego tunelu.



Rys. 1. Schemat maszyny drążącej typu EPB

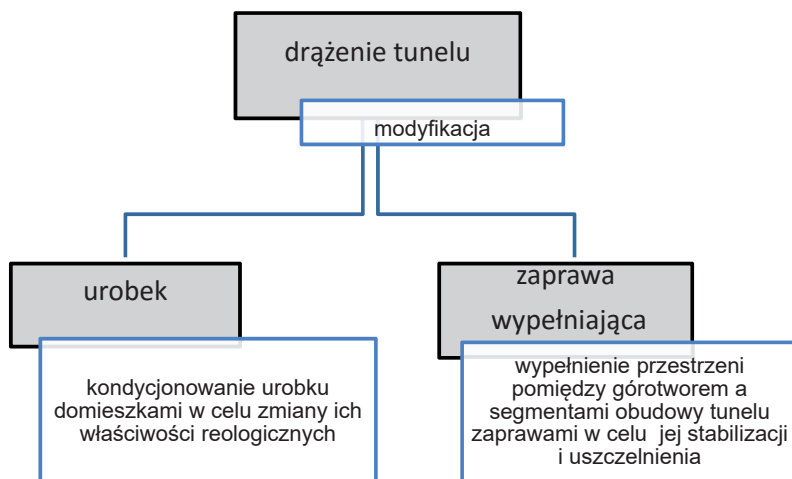
W miarę postępu modułu tnącego układane są kolejne pierścienie obudowy tunelu. Każdy pierścień składa się z kilku, siedmiu do dziesięciu elementów montowanych za pomocą podajnika podciśnieniowego. Przestrzeń pomiędzy pierścieniami obudowy a gruntem wypełniana jest sukcesywnie specjalnymi zaprawami bądź zaczynami. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiona problematyka modyfikowania urobku przy drążeniu tuneli w gruntach żwirowych, piaszczystych i spoistych oraz zapraw wypełniających szczeliny pierścieniowe.

## 2. Zastosowanie domieszek przy wykonywaniu tuneli

W procesie drążenia tuneli wykonawca napotyka różne typy warunków gruntowych. Badania geologiczne prowadzone w postępowaniu przygotowawczym pozwalają określić typ zastosowanej maszyny oraz wynikający z tego sposób modyfikacji urobku

Tabela 1. Metody modyfikacji urobku

Rodzaj gruntu	Parametry gruntu	Typ maszyny	Modyfikacja urobku
Lita skała	Grunt skalisty o średniej i wysokiej stabilności. Wytrzymałość na ściskanie 50–300 MN/m <sup>2</sup>	GRIPPER bez osłony	Niekonieczna, urobek syпки
Skała niestabilna	Skała krucha do niestabilnej, z wyciekami wody gruntowej. Wytrzymałość na ściskanie 5–50 MN/m <sup>2</sup>	TBM-S w osłonie	Niekonieczna, urobek syпки
Grunty syпkie lub słabo zwięzłe	Piaski, żwiry o uziarnieniu <0,2 mm do 10%	HYDRO-SHIELD	Piana, bentonit, polimery stabilizujące
Grunty plastyczne	Iły i gliny o uziarnieniu <0,2 mm powyżej 10%	EPB-SHIELD	Piana



### 2.1. Modyfikacja urobku

Przy użyciu Maszyn typu HYDRO-SHIELD i EPB pozyskiwany w procesie drążenia tunelu urobek wymaga kondycjonowania. Konieczność ta wynika z dwóch głównych przesłanek:

Zapewnienia wsparcia czoła tunelu. Aby wyrównać ciśnienie górotworu oraz parcie wody gruntowej urobek musi przybrać formę homogenicznej pulpy wyrównującej, zgodnie z prawami hydrostatyki napór zewnętrzny.

Zapewnienie możliwości odbioru, transportu i składowania urobku.

Aby spełnić powyższe przesłanki, zmodyfikowany urobek powinien cechować się następującymi cechami:

- dobrą urabialnością
- konsystencją pasty lub pulpy
- niskim tarcieniem wewnętrznym
- dobrą wiązliwością wody

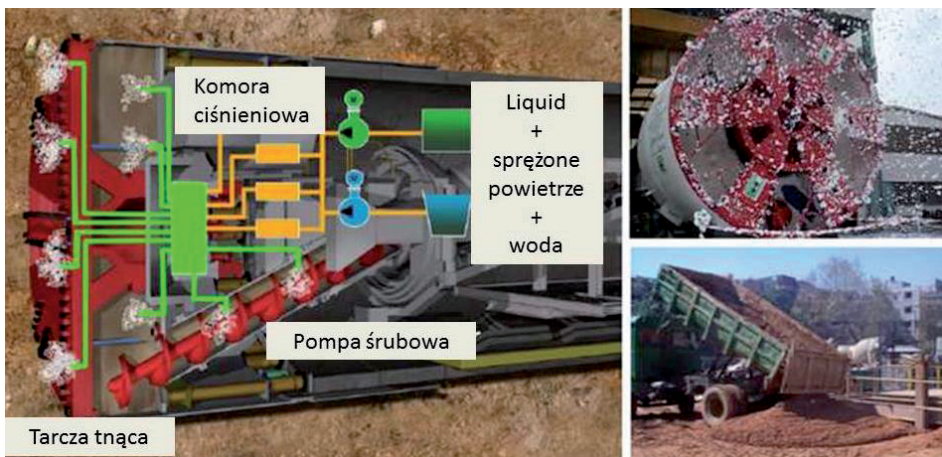
Praktyka na wielu budowach wykazała, że w zależności od zastanych warunków geologicznych urobek, aby spełnić powyższe wymagania musi zostać zmodyfikowany kombinacją następujących domieszek i dodatków:

- środki powierzchniowo czynne
- stabilizatory bentonitowe
- domieszki polimerowe przeciwdziałające segregacji

### 2.1.1. Środki powierzchniowo-czynne

W procesie drążenia tunelu do komory roboczej podawany jest środek powierzchniowo-czynny w postaci piany. Jest ona produkowana w generatorach piany i wtłaczana pod ciśnieniem 3–4 barów do komory roboczej. W konwencjonalnych generatorach piany niejednorodna struktura porów powoduje ich niestabilność w czasie i zmienność konsystencji i gęstości pulpy.

W wielu testach przeprowadzonych w laboratoriach MC-Bauchemie na zlecenie firmy PORR Bau GmbH opracowano metodę produkcji piany o sterowalnych parametrach. Czynniki spieniające jest podawany sprężonym powietrzem przez moduł gazyfikujący generatora. Innowacyjność metody polega na zastosowaniu rozwiązań pozwalających na produkcję piany i wyjątkowo stabilnych parametrach jakościowych. Więcej, operator, w zależności od zastanych warunków geologicznych, ma możliwość korekty gęstości i wielkości porów powietrznych piany poprzez zmianę elementu modułu gazyfikującego.



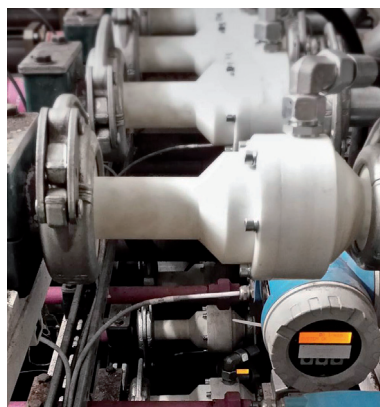
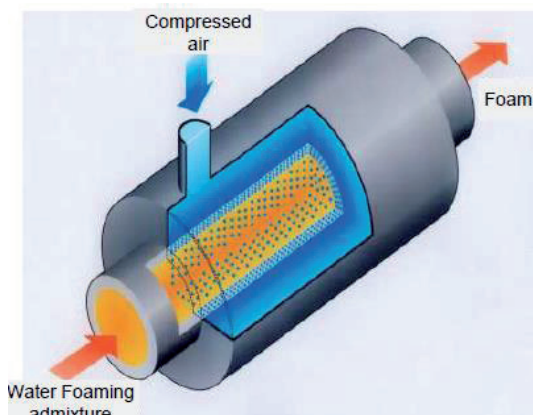
Rys. 2. Generator piany w procesie modyfikacji urobku

Rozwiązanie zostało sprawdzone w praktyce. Zamontowano generator w maszynie pracującej przy drążeniu odcinka tunelu „Emscher River Renaturation Project” w okolicach

Bottrop. Produkt testowano na odcinku kilkuset metrów tunelu. Zebrane doświadczenia pozwoliły wysnuć wnioski o prawidłowości zastosowanej technologii. Sprawność generatora i właściwa receptura czynnika spieniającego określonego handlową nazwą „Liquid” pozwoliły na zmniejszenie dozowania domieszki o 1/3 w stosunku do technologii stosowanych dotychczas. Zdaniem operatorów maszyn z firmy Herrenknecht – czołowego producenta TBM, nowa technologia pozwoliła również na poszerzenie spektrum warunków geologicznych pozwalających na zastosowanie ich kombajnów drążących. Redukcja zużycia domieszki oraz jej biodegradowalność pozwoliły na zmniejszenie obciążenia środowiska w rejonie składowisk urobku. Metoda została opatentowana i jest obecnie stosowana w realizacji tuneli w Niemczech. Twórca koncepcji generatora i domieszki – dr Eugen Kleen z firmy MC-Bauchemie został w 2014 laureatem Tunnelling Conference Innovation Award.

Tabela 2. Wpływ piany na właściwości urobku

Parametr	Wpływ zastosowania piany
Konsystencja urobku	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nadanie quasi-hydraulicznej konsystencji dla umożliwienia przenoszenia ciśnienia hydrostatycznego</li> <li>Nadanie plastyczności umożliwiającej transport i kontrolę ciśnienia w przenośniku śrubowym</li> </ul>
Wodoprzepuszczalność	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zapewnienie więźliwości wody</li> </ul>
Homogeniczność	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ułatwienie zmieszania urobku z wodą</li> <li>Z uzyskanie konsystencji pulpy o zadanych parametrach</li> </ul>
Kleistość	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rozluźnienie struktury, zapobieganie zbrylania urobku</li> <li>Zapobieganie zbijania się drobnych frakcji pod ciśnieniem panującym w komorze roboczej i przenośniku ślimakowym</li> </ul>
Tarcie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ułatwienie transportu urobku</li> <li>Redukcja ścierania elementów maszyny</li> </ul>
Regulacja ściśliwości	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wypełnianie pustek w masie urobku zapewniające wahaniom ciśnienia w instalacji</li> </ul>
Nasycanie gruntu (w gruntach sypkich)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nadawanie pozornej spoiwości gruntom sypkim czoła urobku w komorze roboczej</li> </ul>



Rys. 3. Generator piany – schemat działania i widok urządzenia

### 2.1.2. Stabilizatory polimerowe

Polimery to materiały składające się z łańcuchów setek tysięcy grup cząsteczkowych zwanych merami. Długość łańcuchów głównych, gęstość i długość łańcuchów bocznych decydują o ich własnościach fizykochemicznych.

W praktyce budowlanej stosowane są stabilizatory organiczne na bazie celulozy, stabilizatory półsyntetyczne celulozo akrylowe oraz stabilizatory syntetyczne na bazie poliakryloamidów.

W laboratoriach MC-Bauchemie opracowano rodzinę stabilizatorów syntetycznych zapewniających: dobre wiązanie wody, homogeniczność mieszanki oraz utrzymanie zakładanej konsystencji od momentu wymieszania w komorze roboczej do ułożenia na składowisku.

Stosowane są w drążeniu tuneli w warstwach wodonośnych do wiązania wody przebijającej do komory mieszającej. W połączeniu z czynnikiem pianotwórczym pozwalają na pracę w gruncie o dużej zawartości glin. Zwiększają spistość urobku pozwalając na większą wydajność ciągów transportowych.



Rys. 4. Efekt działania polimerowej domieszki stabilizującej urobek żwirowo-piaskowy

Tabela 3. Zakres stosowania domieszek modyfikujących urobek

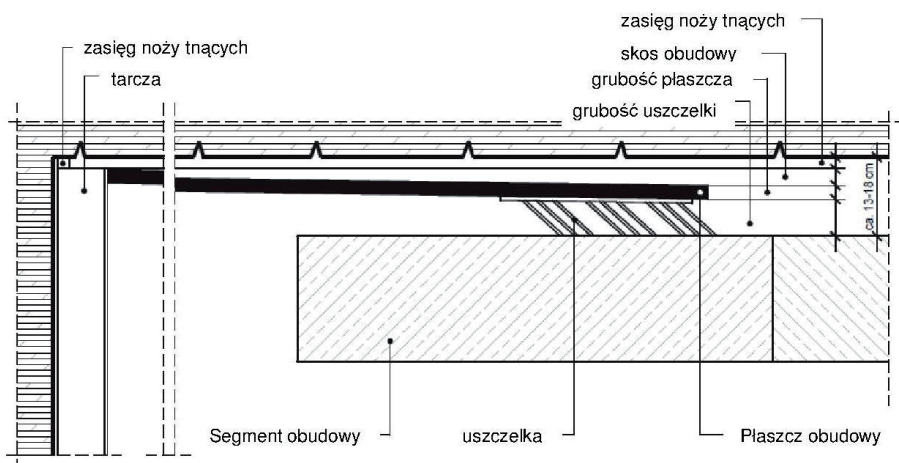
Rodzaj gruntu	Charakterystyka Gruntu	Modyfikacja
Gлина plastyczna	Odspajanie bez zmiany konsystencji i spistości, tendencja do zbrylania	Piana – wysokie dozowania dla rozluźnienia konsystencji
Przewarstwione gliny ilaste lub piaszczyste	Łatwiejsze do odspojenia, z tendencją do zbrylania, lekko ścierne	Woda – dla zmniejszenia wytrzymałości na ścinanie. Piana z polimerem zmniejszającym tarcie – w glinach zwięzłych

Tabela 3. Cd. Zakres stosowania domieszek modyfikujących urobek

Rodzaj gruntu	Charakterystyka Gruntu	Modyfikacja	
Piaski i żwiry gliniaste	Łatwe do upłynnienia Tendencja do zbrylania przy zawartości frakcji drobnych pow. 10%	Polimery zmniejszające tarcie dla ochrony głowicy, Stabilizatory polimerowe dla skonsolidowania urobku i zabezpieczenia przed infiltracją wody	
Drobne piaski ilaste	Słabo płynne, przepuszczalne dla wód gruntowych, wysoce ścieralne	Piana z polimerem stabilizującym pianę i zmniejszającym tarcie Dozowanie polimeru:	0,1%
Piaski/żwiry			0,25%
Żwir/kamienie			1-3%
Kamienie/głazy	Tendencja do zbrylania	Duże dozowanie polimeru dla rozbitcia gniazd i brył, wiązania wody i zmniejszenia tarcia	

## 2.2. Modyfikacja zapraw wypełniających

Przy wierceniu tuneli w gruntach stosuje się maszyny typu HYDRO-SHIELD i EPB. Oznacza to że moduł wierzący jest chroniony przed osypującym się gruntem i wodą gruntową osłoną stalową. Obudowa tunelu wykonywana jest z żelbetowych elementów prefabrykowanych. Powstaje przestrzeń pomiędzy górotworem a obudową maszyny. Szerokość powstałej szczeliny jest uwarunkowana średnicą tarczy wiertniczej, skosem obudowy maszyny i konstrukcją uszczelki pomiędzy płaszczem obudowy maszyny a elementami tubingów. Rysunek 5 przedstawia czynniki wpływające na szerokość szczeliny.



Rys. 5. Czynniki wpływające na szerokość szczeliny pierścieniowej



Zadania zapraw wypełniających są następujące:

- otulenie obudowy tunelu
- minimalizacja osiadania
- uszczelnienie od przeciekającej wody gruntowej
- plastyczność umożliwiająca urabialność i pompowalność
- stabilność objętości w funkcji czasu
- odporność na erozję
- odpowiednie parametry reologiczne świeżej zaprawy takie jak czas urabialności, wytrzymałość na ścinanie i na jednoosiowe ściskanie.

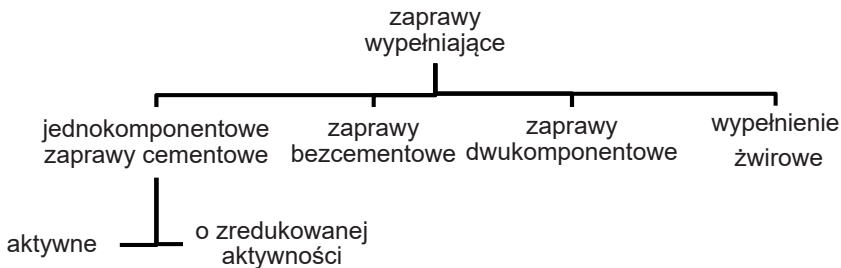
Otulenie obudowy tunelu musi być pełne, bez przerw i kawern powietrznych.

Osiadanie należy traktować bardziej ogólnie jako przemieszczanie się pionowe. W praktyce więcej awarii powodowanych jest hydrostatyczną siłą wyporu unoszącą korpus obudowy tunelu. Do zjawiska tego dochodzi wtedy, gdy wtlaczana zaprawa nie tężeje dostatecznie szybko i powstająca siła wyporu unosi obudowę.

Uszczelnienie przed wodą gruntową i przebiciami wody. Tu wymagana jest dobra plastyczność i pompowalność oraz wysoka stabilność mieszanki.

Odporność na agresję chemiczną jest obecnie bardzo ważna, szczególnie w tunelach budowanych Azji Środkowo-Wschodniej. Występuje tam znaczne zasolenie górotworu. Zaprawy cementowe są tam jedynym rozsądnym rozwiązaniem, gdyż badania wykazały, że bezcementowe zaprawy dwukomponentowe są wrażliwe na działanie występujących tam soli magnezowych oraz chlorków. Testy wykazały, że te grunty mogą destabilizować te zaprawy.

Objętości zapraw w przeliczeniu na 1 km długości wahają się od 2700 m<sup>3</sup>/km, dla tunelu o średnicy 6 metrów (Taipei), do 7800 m<sup>3</sup>/km dla tunelu o średnicy 18 metrów (Singapur).



Rys. 6. Rodzaje zapraw wypełniających szczelinę pierścieniową

### 2.2.1. Jednokomponentowe zaprawy i betony hydrauliczne

Zaprawy cementowe są bardzo popularne. Od początku historii wykonywania tuneli są to typowe zaprawy cementowe. W skład typowej zaprawy wchodzi:

- Cement. Jego ilość waha się w granicach 160–250 kg. Używa się cementów CEM I, CEM II i CEM III. Zależy to od dostępności cementu w danym kraju, Cementy typu CEM III pozwalają zachować dłuższą urabialność mieszanki.
- Kruszywo 0/8 mm dla zapewnienia wytrzymałości i pompowalności zaprawy.
- Popiół lotny, jeśli dostępny lub
- Mączka kamienna

- Bentonit w postaci 6% zawiesiny jako stabilizator
- Domieszki chemiczne.

Głównym zadaniem domieszek chemicznych jest upłynnienie mieszanki, utrzymanie upłynnienia w czasie i zabezpieczenie jej przed odsączaniem wody (bleedingiem).

Wyzwania, przed którym stają inżynierowie projektujący mieszanki wypełniające są następujące:

- Utrzymanie urabialności mieszanki w czasie. Minimalny czas utrzymania urabialności to 48 godzin. Optymalny – 72 godziny. Tak długa urabialność ma zapewnić możliwość kontynuowania prac po nieprzewidzianych a częstych przestojach w procesie drażnienia tunelu bez potrzeby opróżniania instalacji i rurociągów ze stężonej zaprawy.
- Odpowiednia wytrzymałość na ścinanie bez odplywu (wg DIN 4094-4) zapewniającą utrzymanie konstrukcji oraz szybkie tężenie i wiązanie zaprawy po wtłoczeniu w szczelinę.

Pogodzenie tych dwóch sprzecznych wymogów wymaga wielu prób i doświadczenia praktycznego.

Tabela 4. Przykładowe receptury jednokomponentowych zapraw hydraulicznych

rodzaj zaprawy	cement	piasek 0/1	piasek 0/2	żwir 2/8	bentonit zawiesina 6%	popiół lotny	woda
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
aktywna	194	169	674	454	153	194	207
o zredukowanej aktywności	120	169	674	454	183	268	177
	60	169	674	454	166	328	164
pasywna	0	169	674	454	183	420	135

Tabela 5. Wymagania dla zapraw wypełniających

Reologia	Średnica rozplywu (t=0h) 20 cm ± 5 cm Średnica rozplywu (t=8h) 15 cm ± 5cm Wg DIN 18555, Cz.2.3.2.1.1, 3.2.1.2
Wytrzymałość na ściskanie	Po 24 h, mała, ale mierzalna, ok 0,5 N/mm <sup>2</sup>
Moduł sztywności	Zbliżony do wartości typowych dla gruntu rodzimego (5–10 MN/m <sup>2</sup> )

Wartość rozplywu jest każdorazowo ustalana dla konkretnej budowy. Podawana jest również wytrzymałość początkowa (tu po 24 h). Determinuje ona utrzymanie i ustabilizowanie bez odkształceń konstrukcji tunelu. W zależności od warunków na budowie oczekuje się wczesnej wytrzymałości w granicach 0,5–1,5 MPa. Wytrzymałości końcowej nie podaje się, gdyż wynika ona z ilości cementu i w tym aspekcie jest zawsze wystarczająca i wynosi zazwyczaj 10–20 MPa.

Zaprawy wypełniające poddawane są badaniom:

- na urabialność wg norm DIN 12350, oraz DIN18555
- na wytrzymałość na ścinanie wg normy DIN 4094-4
- na ściśliwość wg normy DIN 18136
- edometrycznego modułu ściśliwości wg normy DIN 18135
- właściwości filtracyjnych wg normy DIN 4127

Wiele badań jest specyficznych tylko dla tego rodzaju badań. Jest nim np. edometryczne badanie łączące test filtracyjny z badaniem na ścinanie i ściśliwość. Prasy stosowane w laboratoriach znanych z technologii betonu są tu nieprzydatne. Badanie zapraw wypełniających wymaga zastosowania wysokoczułych pras operujących z dużą dokładnością w zakresie 0–2 MPa.

### 2.2.2. Zaprawy dwukomponentowe

Jest to nowatorskie i bardzo interesujące rozwiązanie. Podstawową cechą jest duża zawartość cementu i ok. 50 kg bentonitu. Zaprawy te nie zawierają kruszywa. Dzięki temu otrzymuje się bardzo płynną zaprawę o znakomitej pompowalności. Zaprawy z użyciem kruszyw do 8 mm byłyby pompowalne na odległość max. 100–150 m. Opisywane zaprawy dwukomponentowe są pompowalne na odległość kilku kilometrów. Przy budowie wspomnianego tunelu w ramach inwestycji Emscher Project zaprawy wypełniające były pompowane na odległość 4,5 km. Szczególnie w tunelach o małej średnicy np. 4 m (jak to miało miejsce przy budowie Emscher Project) transport zaprawy wypełniającej na miejsce w budowania jest dużym wyzwaniem.

Przedstawione wymagania dla zapraw wypełniających narzucają użycie dużej ilości specjalnych domieszek. Mieszanka zawiera 40–500 kg cementu, bentonit oraz stabilizator. Stabilizator nie jest tym samym produktem, jaki znamy z technologii betonu. Ma on za zadanie kontrolowanie czasu wiązania, gdyż, jak już wcześniej wspomniano, wymagany jest czas urabialności wynoszący ok. 70 h. W końcowej fazie układania zaprawy dodawany jest aktywator mający za zadanie zainicjowanie procesu tężenia i twardnienia mieszanki. System aplikacji zaprawy jest zbliżony do technologii torkretu. Jedna dysza podaje zaprawę, druga aktywator. Poprzez sterowanie wydajnością podawania aktywatora można sterować czasem, po jakim zaprawa będzie tężeć. Typowy projektowany czas żelowania zaprawy wynosi ok. 30 sek.

Tabela 6. Receptura dwukomponentowej zaprawy wypełniającej

	Komponent A				Komponent B	
	cement	bentonit	stabilizator	woda	aktywator	woda
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Zaprawa dwukomponentowa	482	46	4	742	89	7

### 2.2.3. Wypełnienie żwirowe

Jak już wcześniej wspomniano, jest to rozwiązanie przestarzałe, uciążliwe i ryzykowne. Głównymi wadami jest niemożność dokładnego wypełnienia przestrzeni aż po strop wyrobiska i wynikająca stąd konieczność dodatkowego iniekowania powstałych pustek. Technologia ta jest coraz rzadziej stosowana, wyłącznie w tunelach drążonych w litej skale.

## 2.3. Technologia wypełniania przestrzeni

W praktyce budowlanej stosowane są dwa sposoby podawania zaprawy wypełniającej w przestrzeń pomiędzy górtworem a obudową tunelu:

- Przez płaszcz obudowy maszyny wiertniczej. Jest to powszechnie obecnie stosowana technologia. Umożliwia ona lepszą kontrolę nad procesem wypełniania pustki. Szczególnie w rejonach zurbanizowanych, gdzie występują drgania i możliwość odspojeń górotworu sukcesywne wypełnianie przestrzeni zapobiega obrywaniu się gruntu i tworzenie wodoszczelnej warstwy wypełniającej.
- Przez specjalnie przygotowane otwory w prefabrykacjach betonowych obudowy tunelu. Technologia ta stosowana jest prawie wyłącznie w Azji.

### 3. Podsumowanie

Domieszki stosowane przy drażeniu tuneli w gruntach sypkich oraz spoiстых pozwalają na:

- zwiększenie wydajności prac wiertniczych poprzez poprawę własności urobku
- zmniejszenie zużycia elementów roboczych dzięki zmniejszeniu sił tarcia w trakcie drażenia i transportu urobku
- poszerzenie granic warunków geotechnicznych umożliwiających stosowanie technologii równoważenia ciśnienia gruntu (EPB)
- wprowadzenia nowych rodzajów zapraw wypełniających pierścieniowe szczeliny powstałe pomiędzy górotworem a obudową tunelu. Możliwość sterowania parametrami reologicznymi i wytrzymałościowymi zapraw.
- zmniejszenie obciążenia środowiska naturalnego poprzez zastosowanie bardziej efektywnych domieszek modyfikujących urobek.

Przedstawiona metoda jest obecnie stosowana na świecie w budowie najbardziej zaawansowanego systemu odprowadzania ścieków jakim jest część niemieckiego projektu renaturalizacji rzeki Emscher oraz w projekcie Stuttgart 21: „Kompleksowa restrukturyzacja węzła kolejowego w Stuttgarcie”.

### Literatura

- [1] Kleen E., Mechanical Tunneling, Annular Gap Grout.
- [2] Theves M, Budach Ch., Grouting of the annular gap in shield tunnelling – an important factor for minimization of settlements and production performance.
- [3] PN-EN 12350-2:2011 Badania mieszanki betonowej
- [4] DIN 18555 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln
- [5] DIN 4094-4 Subsoil - Field testing - Part 4: Field vane test
- [6] DIN 18136 Soil - Investigation and testing - Unconfined compression test
- [7] DIN 18135 Soil - Investigation and testing - Oedometer consolidation test
- [8] DIN 4127 Earthworks and foundation engineering - Test methods for supporting fluids used in the construction of diaphragm walls and their constituent products