

Modyfikowanie gruntu dla wierceń głowicami typu EPB

Równowaga właściwości funkcjonalnych i ekologicznych

Maszyny EPB (Earth Pressure Balance) korzystające z dodatków do modyfikowania gruntu stają się coraz popularniejsze w świecie tunelowania. Ich konstrukcja pozwala na precyzyjne zrównoważenie parcia gruntu, zapobiegając niekontrolowanemu przepływowi wody gruntowej. Zdolność do zabezpieczenia równowagi ciśnień wraz z uwzględnieniem aspektów ekologicznych i toksykologicznych należą do najważniejszych czynników decydujących o powodzeniu wiercenia maszynami TBM.

Właściwe i skuteczne użycie dodatków uzdatniających grunt nie zawsze jest oczywiste. Powodzenie użycia maszyn EPB – zwłaszcza przy gruntach spoistych oraz niejednorodnych formacjach o znacznej porowatości, czy też w przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych – zależy od dobrej inżynierii mechanicznej połączonej z wysoce efektywnymi dodatkami uzdatniającymi. Przykładami takich udanych połączeń są projekty tunelowe MetroSur w Madrycie, Toulouse Metro we Francji i tunel kolejowy w Rzymie.

Dodatkowym ważnym elementem przy wyborze substancji chemicznych jest ich możliwy wpływ na otaczające środowisko. Konieczna jest szacunkowa ocena ryzyka przeniknięcia substancji do wód gruntowych oraz ich koncentracja i emisja w miejscu prowadzenia prac.

Projekt TBM a geologia

Tunelowanie za pomocą technologii EPB stosuje się zarówno przy zróżnicowanych, jak i jednorodnych warunkach geologicznych. Wśród wybitnych przykładów wierceń EPB w bardzo niejednorodnej formacji geologicznej są projekty BPNL w Lyonie – tunel o średnicy 10,98 m maszyną NFM [2] Warto też wymienić projekt metra w Barcelonie L9 o średnicy 12,06 maszyną Herrenknechta [4]. Krzywą uziarnienia w gruncie dla tych dwóch projektów pokazano na rys. 3.

Konsekwencją niejednorodności gruntu jest fakt, że maszyny

TBM nie mogą być optymalnie zaprojektowane dla specyficznej formacji geologicznej, ale generalnie dla większości spotykanych warunków [14]. Prowadzi to do kompromisu z punktu widzenia doboru technologii, który musi być zoptymalizowany przez użycie różnych środków modyfikujących przewiercany grunt.

Trzy najważniejsze czynniki rozważane przy tunelowaniu w miękkiej formacji to:

- Przepuszczalność gruntu
- Ciśnienie wody gruntowej
- Ryzyko zatykania i sklejanie

Przepuszczalność gruntu

Przepuszczalność podłoża przy wierceniach EPB może wynieść maksymalnie $k = 10^{-3}$ dla najbardziej porowatych warstw (BPNL w Lyonie i Turynie) i zejść do praktycznie nieprzepuszczalnej formacji (Heathrow T5). Wiercenia TBM w podłożu gliniastym, niezależnie od rodzaju wykorzystanej tarczy urabiającej, często utrudnione są przez przytykanie się lub oklejanie urobkiem tarczy maszyny, co opisano w dalszej części artykułu.

Typowe problemy w podłożu przepuszczalnym to niestabilne czoło tunelu, niekontrolowane przenikanie wody do wnętrza tunelu oraz zmiany ciśnienia czołowego. Problemy te były ostatnio opisane dla projektu Metro w Mediolanie [5]. Dla prawidłowego procesu wiercenia, dużą wagę ma dostosowanie maszyny TBM łącznie z współczynnikiem otwartości tarczy, dobór narzędzi oraz odpowiednia modyfikacja urobku za pomocą piany i polimerów połączonych z całkowicie wypełnioną komorą roboczą. Użycie samych pian nie jest wystarczające, co opisano dalej.

Wody gruntowe

Ważny wpływ na drążenie maszynami EPB w miękkim podłożu

zu ma poziom wód gruntowych i wynikające z niego ciśnienie. Im wyższe ciśnienie, tym trudniej zapanować nad przenikaniem wody i uniknięciem ryzyka osiadania głowicy tunelowej. Ze strony techniki maszyny dla zmniejszenia stopnia ciśnienia można zrobić tylko kilka rzeczy, np. długie przenośniki ślimakowe lub pompy tłokowe instalowane za urządzeniami ślimakowymi. Najważniejszym czynnikiem, który pozwala skutecznie kontrolować wodę, jest całkowite wypełnienie komory roboczej TBM jednolitą i nieprzenikalną masą gruntową z pomocą piany i polimerów. Udany przykładami takich zastosowań mogą być projekty Botlek Tunnel oraz Awiles Sewage Tunnel, wymienione w literaturze.

Zatory i sklejanie

Wiercenia EPB w podłożu gliniastym zarówno z tarczą zamkniętą, jak i Mix często napotyka trudności spowodowane powstawaniem zatorów lub sklejanie. Na zdjęciach pokazano jak łatwo wejście do czoła głowicy może zostać zablokowane a jej narzędzia zaczopowane gliną lub ilem. Problem czopów gliniastych oraz sklejanie zawsze utrudnia sterowanie maszyną TBM i prowadzi do spowalniania postępu prac i konieczności starannego odczyszczania sprzętu. Z technicznego punktu widzenia można wpływać na umieszczenie głowicy, zwłaszcza w centralnej pozycji, i dobrze rozmieszczać narzędzia mieszające w komorze roboczej. Jednym z najważniejszych czynników koniecznych dla zminimalizowania zatorów i sklejanie jest użycie piany i/lub polimerów inhibitujących warstwy gliniaste. Wśród przykładów skutecznego zastosowania tych technologii należy wymienić projekty Madrid MetroSur (MBT



Online) i Roma 4 Venti (MBT Online) oraz metra w Tuluzie, opisane w dalszej części pracy.

Konieczność modyfikacji gruntu

Jedynie użycie odpowiednich dodatków przygotowujących podłoże umożliwia wypełnienie komory roboczej TBM i zredukowanie momentu obrotowego. Żaden inny tryb postępowania nie jest skuteczny, zwłaszcza w warunkach niestabilnego podłoża i na obszarach wrażliwych na powierzchnię [1].

Aby osiągnąć równowagę parcia gruntu, konieczne jest całkowite wypełnienie gruntem komory roboczej TBM [6]. Dlatego w trakcie drążenia grunt musi zostać poddany działaniu środków uzdatniających:

- Pian;
- Polimerów dla gruntów porowatych;
- Polimerów dla gruntów gliniastych oddzielnie lub łącznie wykorzystywanych.

Piany

Podstawowe zastosowanie pian jako środka służącego do uzdatniania gruntu to otrzymanie odpowiedniej reologii gruntu, która stworzy i utrzyma konieczne ciśnienie wspierające w komorze roboczej i nie dopuści do jego skoków. Piana aplikowana masie gruntowej ma ten sam efekt, co komora powietrzna w maszynach płuczkowych. Redukcja momentu obrotowego i tarcia to również bardzo ważne efekty dodatkowe.

Piana produkowana jest przez gwałtowne mieszanie roztworu czynnych substancji z powietrzem [8].

Główne cechy tych substancji czynnych to:

- upłynniający wpływ na grunt przez obniżanie napięcia powierzchniowego. Częstki gruntu nie są połączone ze sobą przez wodę;
- efekt odpychania elektrostatycznego, który może rozdzielać cząstki urobku przyciągające się nawzajem siłami elektrostatyki.

Zarówno doświadczenie, jak i testy przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych pokazują, że często każdy rodzaj gruntu – od sztywnej gliny po sypanie żwir, wymaga osobnego rodzaju piany dla osiągnięcia jej najwyższej skuteczności. Rys. 4 przedstawia efekty roztworu pianowego na glinę i piasek gliniasty. Z powodu ograniczeń testowych niemożliwe było użycie piany. Testów używa się dla rozpoznania skuteczności środków czynnych. Wskaźniki ilości przedstawione na rys. 4 nie mogą być odnoszone do praktycznego zastosowania w projekcie i będą drastycznie niższe przy stosowaniu tego samego odczynnika tak jak piana, z powodu dodatkowego efektu pęcherzyków powietrza.

Duże znaczenie w tym przypadku ma zminimalizowanie kąta tarcia wewnętrznego oraz stopnia spoistości. Przy gruncie gliniastym redukcja spoistości jest jednym z głównych zadań piany. Rodzaj odczynnika, który powinien być użyty przy konkretnym projekcie, musi zostać wybrany za pomocą testów wstępnych z użyciem oryginalnych badań *in-situ*.

Polimery do gruntów ilastych

Jak wykazano w opisie zastosowania piany, substancje kondycjonujące grunt powinny zmniejszać czopowanie się i sklejanie urobku ilastego. Dlatego też polimery kondycjonujące do iltu muszą być adsorbowane na powierzchni cząstek ilastych. Przenoszą one wysoki ładunek, aby rozdzielić cząstki gruntu, i dodatkowo powinny być w stanie stworzyć barierę przestrzenną aby uniknąć efektu ponownej agregacji.

Wymagania te mogą zostać spełnione zarówno za pomocą środków powierzchniowo czynnych, jak i polimerów, ale zdecydowanie polimery inhibitujące są bardziej skuteczne.

Środki polimerowe są używane zwłaszcza dla wzmocnienia efektu działania piany, ale mogą być też stosowane same jako takie.

Przy użyciu jedynie piany i wody cząstki gliny natychmiast się agregują i wykazują dużą przyczepność do powierzchni metalowych. W tym wypadku korzystając z maszyny TBM zarówno tarcza wierząca jak i komora robocza ulegną zablokowaniu. Jedynie dodatkowe użycie polimerów anty-ilastych pozwoli na rozpuszczenie powstałych z gliny grud i zmniejszy do minimum tendencję do ich przywierania do elementów stalowych

urządzenia tunelowego. Poprawny tryb EPB o właściwym postępie prac tunelowych i minimalnej potrzebie przerw dla oczyszczania układu jest możliwy do osiągnięcia tylko w przypadku spełnienia wymienionych powyżej warunków.

Polimery do gruntów porowatych

W przeciwieństwie do polimerów aplikowanych do warstw ilastych polimery przeznaczone dla gruntów porowatych mają za zadanie ujednolicienie go dla otrzymania plastycznej masy reologicznej. Przy gruntach porowatych można używać kilku rodzajów polimerów:

- wiążące wodę do osuszania płynnych gruntów;
- strukturotwórcze, przydatne przy luźnych, gruboziarnistych gruntach, gdzie zmieniają ich reologię i zapobiegają sedymentacji ziaren;
- stabilizujące pianę.

Zalety technologii polimerów wynikają z ich budowy opartej na łańcuchach węglowodorowych. Produkowane są również



w procesie fermentacji bakteryjnej. Polimery te są rozpuszczalne w wodzie, ulegają biodegradacji i współpracują z pianowymi środkami powierzchniowo czynnymi. Obydwa rodzaje są bezpieczne dla generatorów piany i dlatego mogą być mieszane ze środkami pianowymi. Polimery pomagają też zachować bardziej stabilne ciśnienie w komorze roboczej w trakcie wiercenia oraz w czasie zatrzymania pracy maszyny.

Wszystkie polimery powinny być w postaci płynnej, aby uniknąć problemów z dozowaniem oraz aby nie potrzebna było tworzyć dodatkowego stanowiska na przygotowywanie roztworu polimerów w postaci proszku.

Właściwości ekologiczne i toksykologiczne środków kondycjonujących grunt

Jak wykazano w poprzedniej części pracy, stosowanie środków uzdatniających urabiany grunt, jest nieuniknione przy pracy z maszyną EPB. Musimy jednak pamiętać, że poza względami użytkowymi środki te powinny też spełniać pewne standardy ekologiczne i toksykologiczne. Ich możliwy wpływ na środowisko w otoczeniu projektu odgrywa ważną rolę przy doborze odpowiednich środków i jest jednym z głównych kryteriów oceny.

W celu zdefiniowania możliwego ryzyka zanieczyszczenia środowiska, jakie niesie ze sobą dany produkt, konieczne jest przeprowadzenie szacunkowej oceny. Najważniejszym czynnikiem będzie ewentualne zagrożenie wobec człowieka i wobec środowiska. Sprowadza się to do czterech podstawowych punktów:



- Ilość substancji jaka wpuszczana jest do środowiska;
- Właściwości chemiczne i fizyczne tych substancji, które odpowiadają za ich rozprzestrzenienie się w środowisku. W większości przypadków jest to zdolność przenikania do wody gruntowej. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę kwestię gromadzenia się i zalegania danej substancji;
- Toksyczność substancji dla środowiska, toksyczność wobec organizmów wodnych oraz wobec człowieka;
- Proces eliminacji substancji ze środowiska (degradacja i/lub przemieszczanie) również wpływa na jej rozprzestrzenianie się. Substancje organiczne mogą się degradować na trzy sposoby:
 - Biodegradacja: dzięki organizmom żyjącym już w glebie lub dodane osobno;
 - Hydroliza: rozpad w obecności wody;
 - Fotoliza: rozpad pod wpływem światła.

Dla całkowitej oceny ryzyka należy uwzględnić emisję substancji do wód gruntów, ich skupienie na obszarze wykonania projektu, przenikanie substancji do gruntów z miejsca gdzie zostały zaaplikowane w trakcie pracy.



Definicja toksyczności

Toksycznością określamy stałe właściwości substancji wywołujące negatywne skutki u organizmów żywych. Efekty toksyczne zależą od ilości substancji, które są dostępne dla organizmu. Testy na toksyczność przeprowadzane w warunkach laboratoryjnych stosuje się w celu określenia tzw. bezpiecznej ilości, przy której nie powinny wystąpić żadne negatywne efekty u organizmów. Toksyczność różnie określana jest

wobec ssaków i wobec organizmów wodnych. Dla ssaków dawka podana doustnie śmiertelna, dla 50% populacji (LD50) jest wymieniana w mg substancji na kg masy ciała danego organizmu, a dla organizmów wodnych podaje się mg na 1l wody. (LC50 lub EC50).

Definicja bioakumulacji

Bioakumulacja to proces w którym organizmy gromadzą w sobie substancje chemiczne. Mogą one pochodzić z ich pokarmu lub bezpośrednio z otaczającego je środowiska.

Definicja biodegradacji

Biodegradacja to rozpad substancji organicznych w wyniku działania mikroorganizmów. Przed całkowitym rozkładem na



wodę i dwutlenek węgla substancje mogą dzielić się na mniejsze cząstki pośrednie. Trwałość to zdolność niektórych substancji do oparcia się procesowi biodegradacji.

Odpowiednie produkty do uzdatniania gruntu

Odpowiednie środki kondycjonujące grunt do wiercenia to takie, które nie tylko spełniają wymogi funkcjonalne, ale też te, które jednocześnie będą tak bezpieczne, jak to możliwe, zarówno dla osób pracujących przy wykonaniu projektu, jak i dla środowiska. Wymaga to szacunkowej oceny ryzyka wysokiej toksyczności wodnej, potencjalnych właściwości bioakumulacji, biodegradacji oraz trwałej toksyczności.

Zalecenia toksykologiczne

Najwrażliwszą kwestią ekologiczną, którą należy uwzględnić



przy doborze środków, jest wysoka toksyczność dla środowiska wodnego. Testy powinny być przeprowadzane zgodnie z normami OECD, zapisami od 201 do 203.

Ogólnie rzecz biorąc, dane dotyczące LD50 i LC50 powinny być tak wysokie, jak to możliwe. Dla wszystkich typów polimerów dane LC50 dla roślin i zwierząt wodnych powinno wynosić $> 100\text{mg/l}$ wody, aby substancja nie była sklasyfikowana jako „wysokiej toksyczności”. Piany, ze względu na właściwości redukcji napięcia powierzchniowego, powinny



osiągać LC50 $>10\text{mg/l}$ w odniesieniu do ryb. (trzecia klasa toksyczności).

Zalecenia ekologiczne

Właściwości ekologiczne produktu oceniane są z pomocą danych o biodegradacji według wyznaczników OECD ze zdefiniowaną ilością bakterii, jakie początkują proces biodegradacji. Ogólnie rzecz biorąc produkty uzdatniające grunt powinny być:

- łatwo ulegające biodegradacji lub
- niebiodegradujące się (obojętne) i nietoksyczne

Obydwie opcje gwarantują możliwie najmniejszy wpływ na ekosystem.

Korzystne wyniki oceny ryzyka

Ryzyko pracowników

Ewentualny wpływ na osoby pracujące przy projekcie powinien być możliwie niski jeśli substancje są odpowiednio do-

brane i obchodzi się z nimi we właściwy sposób. Powinno się w tym celu zastosować do dokumentów dotyczących bezpieczeństwa materiałów.

Najlepiej, jeśli koncentracja szkodliwych substancji w powietrzu tunelu, nawet przy najgorszych założeniach, jest 1000 razy poniżej określonego limitu wystawienia na działanie danej substancji.

Ryzyko dla środowiska

Ryzyko emisji wody pochodzącej z prac tunelowych do wód powierzchniowych powinno być wykluczone, zakładając, że woda jest wypompowywana bezpośrednio do kanalizacji ściekowej.

Potencjalne przeniknięcie składników do wód gruntowych trakcie aplikacji środków modyfikujących nie powinno wywoływać istotnego zagrożenia dla środowiska. W oparciu o dostępne informacje na temat koncentracji składników w kondycjonowanym gruncie, powinno uwzględnić się możliwość składowania go na odpowiednim wysypisku odpadów.

Przykłady projektów

Poniżej przedstawiamy trzy projekty z użyciem TBM, gdzie kondycjonowanie gruntu z uwzględnieniem kwestii toksykologicznych i ekologicznych przyniosło oczekiwany sukces wykonawczy.

Kanalizacja w Aviles, Hiszpania

Projekt w Aviles został wykonany z zastosowaniem maszyny EPB firmy Lovat o średnicy 3,4 m. Napotkano twardy pył ilasty na odcinku ok. 1000 m oraz czysty sypki piasek plażowy z ciśnieniem wody morskiej wynoszącym do 3 bar. Rozkład granulo metryczny ziaren piasku pokazany został na rys. 2.

Użycie piany w tych warunkach geologicznych doprowadziło do powstania niewłaściwego ciśnienia w komorze roboczej, niekontrolowanego wpływu wody i bardzo powolnego postępu wiercenia maszyny TBM.

Nie było możliwości wprowadzenia dodatkowej substancji wypełniającej do komory roboczej. Dodatkowa instalacja była zbyt kosztowna i zbyt czasochłonna. Alternatywnym rozwiązaniem było użycie dodatkowych polimerów w celu uczynienia gruntu plastycznym, aby stał się zaporą przeciw ciśnieniu wody morskiej i ograniczył zawartość wody w odbieranym urobku. Zabieg ten wywołał znaczącą zmianę. Przy opisanym powyżej kondycjonowaniu za pomocą kombinacji piany i polimerów utwardzających średni dzienny postęp prac wyniósł 27 m., przy maksymalnym możliwym postępie dziennym równym 50,5 m. Maksymalną wartość można było osiągnąć z do końca wypełnioną komorą roboczą z ciśnieniem do 3 bar i bez żadnych kłopotów z napływającą wodą. Szczegóły dotyczące tego projektu opisano w pracach [3] i [9].

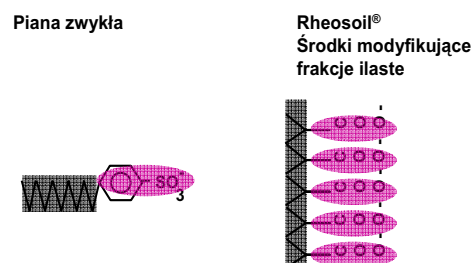
Projekt Roma 4 Venti, Włochy

Maszyna EPB TBM S-184 firmy Herrenknecht o średnicy 7,90 m użytkowana przez Astaldi/Impregilo JV została zastosowana przy projekcie tunelu kolei Rail Link w Rzymie. Po przejściu przez twardą formację piasków ilowych grunt zmienił się na bardzo kleistą i przyczepną Vatican Clay (Glinę Watykańską). W celu przezwyciężenia nagromadzenia się gliny w obrębie tarczy i znacznego spowolnienia postępu robót, konieczne było użycie piany w połączeniu w dodatkami inhibitującymi il.

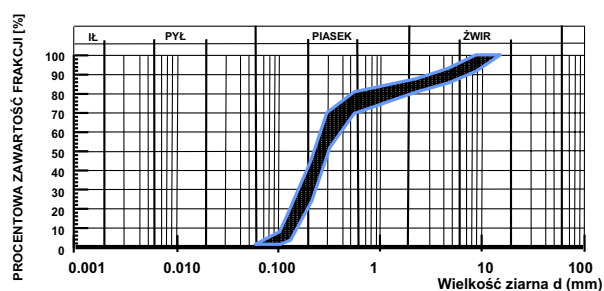
Rys.13 pokazuje przebieg się TBM do szybu odbiorczego z czystą tarczą wierzącą. Użyto piany i dodatków przeciw-glinowych. Problemy z zatykaniem się tunelu udało się w ten

sposób wykluczyć i jednocześnie znacznie przyspieszyć proces pracy TBM. Więcej szczegółów tego projektu opisane jest w pracy [11].

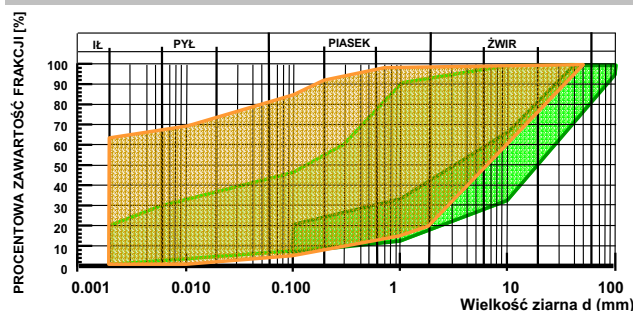
Rys. 1. Środki modyfikujące frakcje ilaste i środki powierzchniowo czynne



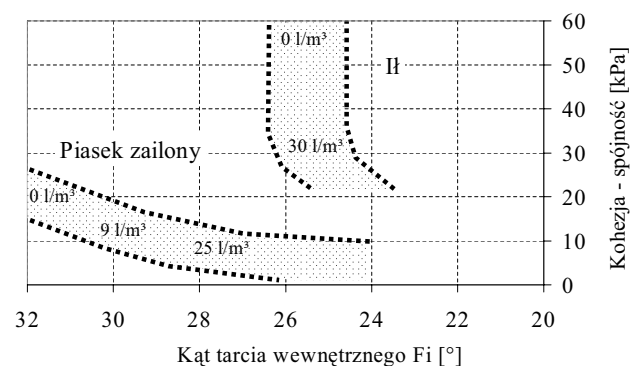
Rys. 2. Kolektor w Aviles, Hiszpania



Rys. 3. Wiercenia EPB w zróżnicowanym gruncie. Przykłady Lyon (1996), Barcelona (2004)



Rys. 4. Wpływ środków powierzchniowo czynnych



Metro Toulouse, Francja

Przy projekcie przedłużenia linii metra LOT 2 użyto maszyny firmy Herrenknecht model EPB TBM S-208 o średnicy 7,72 m a wiercenie prowadziły firmy Vinci i Eiffage JV. Napotkana formacja geologiczna to suchy ił gliniasty z występującymi okazjonalnie zawodnionymi soczewkami piaskowymi. W jednolitej glinie możliwe było wiercenie pod ciśnieniem powietrza w suchym trybie, ale jak tylko ukryto soczewki piaskowe, zawiodło oparcie czoła maszyny i przedostała się woda. Doprowadziło to do spowolnienia pracy, konieczności oczyszczania maszyny i problemów technicznych, a nawet obawy o stabilność powierzchni terenu. Jedynie dzięki użyciu piany i polimerów przeciwlglinowych wymieszanych z wodą udało się stworzyć nieklejącą się i nieprzywierającą masę gruntową, którą wypełniono komorę roboczą. Fotografie przedstawiają jakość wydobytego urobku. Maszyna TBM pracowała z postępowaniem 40-50 mm na minutę, również w trybie EPB. Nie napotkano więcej na przeciek wody i zabezpieczono wsparcie czoła. Na zdjęciach widać czystą tarczę wierzącą po przejściu maszyny.

Jak wykazały przykłady projektów, możliwe jest przeprowadzenie wiercenia TBM z powodzeniem i w dobrym tempie również w niekorzystnych warunkach geologicznych. Obok doboru właściwej maszyny TBM należy wybrać odpowiednie dodatki kondycjonujące grunt – zarówno do spoistego gruntu poniżej poziomu wody jak i do gruntów gliniastych o silnej tendencji do przywierania i sklejan. System EPB okazał się szczególnie ekonomiczny przy drążeniu tuneli w warstwach ilastych o dużej zawartości drobnej frakcji.

Dodatkowo, wszelkie środki stosowane do uzdatniania gruntu przeszły szczegółowe testy, które oceniają ryzyko ich stosowania, aby zapewnić minimalny negatywny wpływ ich użycia na środowisko. Ani w trakcie wykonania projektu ani przy składowaniu odpadów po jego zakończeniu nie może wystąpić szkoda dla środowiska ze strony użytych substancji chemicznych.

LITERATURA:

1. Babendererde 2003
TBM mit Slurry- oder Erddruckstützung – Einsatzbereiche und Zuverlässigkeitsanalyse
Felsbau 21 (2003), No.5, p. 155 ff
2. Bentz et al 1997
Optimierung des schaumgestützten EPB-Vortriebs,
Boulevard Périphérique Nord de Lyon
3. STUVA Tagung Berlin 1997, Alba Verlag Berlin, 1998, Volume 37, p. 88, ISBN 3 87094 636 9
4. Fernandez 2002
Aviles Sewage Tunnel, a tunnel below sea water level
AFTES 2002 Toulouse, p. 131 ff, Specificque ISBN 951 04 16 2 4
5. Gabarró et al 2003

Metro Barcelona Linea 9 – Europe's greatest metro project with tunnel boring machines of large diameter

ITA 2003 Amsterdam, p 637 ff, Balkema ISBN2: 90 5809 542 8
6. Grandori et al 2003

Turin Metro Systems – Design and operation of EPB TBMs beyond the limits of this technology
Felsbau 21 (2003), No.6, p. 34 ff

7. Herrenknecht et al 2003

Geotechnische und mechanische Interaktion beim Einsatz von Erddruckschilden im Fels

STUVA Tagung 2003, Dortmund, p. 175 ff, Bauverlag I

8. Jancsecz et al 1999

Advantages of soil Conditioning in shield tunneling: Experiences of LRTS Izmir

ITA 1999 Oslo, p. 865 ff., Balkema ISBN 90 5809 063 9

9. Langmaack 2000

Advanced Technology of Soil Conditioning

North American Tunnelling Congress, Boston 2000, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 2000, p. 525

ISBN 90 5809 162 7

10. Langmaack 2001

Application of new TBM Additives

BAUMA 2001, 6th int. symposium for tunnel construction

Verlag Glückauf GmbH, Essen, 2001, p. 27,

ISBN 3 7739 5964 8

11. Langmaack 2004

EPB-Vortrieb in inhomogenen Böden: Möglichkeiten neuer Konditionierungsmittel

Tunnel- und Tiefbautagung 2004, Győr, p. 121 ff

12. Marchionni et al 2002

Galleria Quattro Venti in Rom

Tunnel No.8, 2002, p. 8 ff

13. MBT Online Madrid MetroSur

www.degussa-ugc.com

14. MBT Online Roma 4 Venti

www.degussa-ugc.com

15. Rehm 2004

maschineller Tunnelvortrieb unter sehr schwierigen geologischen Verhältnissen

Tunnel- und Tiefbautagung 2004, Győr, p. 99 ff

16. Steiner et al 1994.

Face support for a large Mix - Shield in heterogeneous ground condition

Proc. of Tunnelling '94. London : Chapman & Hall

autor

Dipl. Ing. Lars Langmaack
Degussa Construction Chemicals, Niemcy

Dr. Qiu Feng
Degussa Construction Chemicals, Szwajcaria



S. i. A. Pietrucha Sp. z o.o.
ul. Szkolna 29
95 054 Ksawerów
tel. (+48) 42 212 84 84
fax (+48) 42 212 84 87

www.pietrucha.pl/grodzice

Grodzice winylowe

wieloletnie, ekologiczne, tanie rozwiązanie nie wymagające konserwacji



chętnie nawiążemy współpracę agencyjną
z zainteresowanymi osobami lub firmami z branży

