

prof. Daniele Peila¹⁾
inż. Andrea Picchio¹⁾
prof. dr hab. inż.
Anna Siemińska-Lewandowska^{2*)}

Badania plastyfikatorów stosowanych w drażeniu tuneli tarczami typu EPB

Soil conditioning agents tests in TBM EPB tunnelling

DOI: 10.15199/33.2015.02.02

Streszczenie. Bezpieczeństwo robót tarczami zmechanizowanymi wiąże się z nowymi metodami sposobu podparcia przodka tunelu np. zawiesiną ilową (tarcze zawiesinowe) lub uplastycznionym gruntem w komorze roboczej (tarcze EPB). W tarczach typu EPB stosuje się odpowiednie plastyfikatory (piany, polimery, zawiesina ilowa), które zmieniają grunt w plastyczną masę o odpowiednich cechach. Przed uruchomieniem tarczy zaleca się wykonać serię badań laboratoryjnych, takich jak: badanie półokresu życia piany; konsystencji urobku; przepuszczalności; zużycia narzędzi skrawających oraz symulację transportu urobku za pomocą przenośnika ślimakowego. W artykule opisano sposób prowadzenia tych badań.

Słowa kluczowe: tarcza EPB, grunt, plastyfikatory, piana, badania.

Dynamiczny rozwój zmechanizowanych metod budowy tuneli, w tym metod tarczowych, przypada na drugą połowę XX wieku. Postęp techniczny w tej dziedzinie dotyczył przede wszystkim bezpieczeństwa robót oraz tempa budowy tuneli z wykorzystaniem tarczy. Bezpieczeństwo robót wiązało się głównie z nowymi metodami sposobu podparcia przodka tunelu, ograniczeniem oddziaływania robót tunelowych na otaczające podłoże oraz na powierzchnię terenu, a także z zoptymalizowaniem procesu drażenia i wykonywania obudowy tunelu. W tym czasie powstało wiele klasyfikacji tarcz tunelowych, które jako kryteria podziału zawierają przede wszystkim sposób urabiania gruntu, dostęp do przodka oraz sposób zapewnienia jego stateczności. Istnieją m.in. dwie europejskie klasyfikacje tarcz o zasięgu międzynarodowym: Francuskiego Stowarzyszenia Budownictwa Podziemnego (AFTES) [1] oraz Niemieckiego Komitetu Budowli Podziemnych (DAUB) [2], a także klasyfikacja obowiązująca w krajach azjatyckich Japońskiego Towarzystwa Inżynierów Budownictwa (JSCE) pokazana na rysunku 1. Należy zwrócić uwagę, iż praktycznie w każdym kraju zajmującym się drażeniem tuneli można znaleźć lokalną propozycję klasyfikacji metod. W Polsce stosowana jest klasyfikacja zaproponowana przez Podkomitet Budownictwa Podziemnego Polskiego Komitetu Geotechniki (PBP PKG) [4], przedstawiona na rysunku 2.

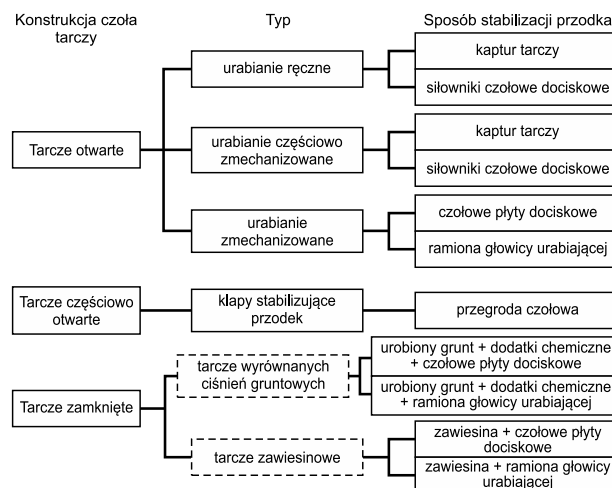
W Polsce w ostatnich latach wykorzystano dwa typy tarcz: zawiesinową oraz typu EPB (ang. *Earth Pressure Balanced*). **Tarczą zawiesinową** średnicy 5,35 m wydrążono pod Wisłą tunel techniczny do odprowadzenia ścieków z lewobrzeżnej Warszawy do oczyszczalni „Czajka” oraz tunel drogowy pod Martwą Wisłą w Gdańsku (średnica tarczy – ponad 12 m). Natomiast cztery tarcze EPB średnicy 6,5 m zostały wykorzystane do budowy tuneli szlakowych centralnego odcinka II linii metra w Warszawie. Tarcza zawiesinowa, której autorem jest

Abstract. Safety of the works with TBMs depends on new methods of controlling of the face stability using slurry (slurry shields) or conditioned soil in working chamber (EPB shields). In EPB shields foams, polymers and bentonite slurry as a conditioning agents are used. The use of agents that change the mechanical and hydraulic behaviour of a soil into a plastic paste. Before the TBM launch, it is recommended to carry out a series of following laboratory tests: the half-life of foam test, standard slump tests, permeability test, wear test and simulation of the ground extraction by a screw conveyor. All this test are presented in the paper.

Keywords: EPB shield, soil, conditioning agents, foam, tests.

brytyjski inżynier J. V. Bartlett, powstała i została opatentowana w 1964 r. Po raz pierwszy zastosowano ją w Europie do budowy tunelu metra pod Tamizą w Londynie. Jednocześnie trwały prace nad skonstruowaniem tarczy zawiesinowej w Niemczech i Japonii, a prototypy znalazły zastosowanie na licznych budowach tuneli. W Japonii pierwsza tarcza zawiesinowa wystartowała w 1967 r., a w 1978 r. pracowało tam 36 tego typu tarcz, z których największa miała średnicę 7,6 m.

Tarczę EPB zastosowano po raz pierwszy w 1976 r. w Japonii do budowy tunelu kanalizacyjnego średnicy 2,68 m i długości 1393 m w mieście Nagoya. Prace prowadzono w trudnych warunkach gruntowych (nawodnione żwiry z otrockami), 10 m poniżej poziomu terenu i jednocześnie poziomu zwierciadła wody gruntowej. W tabeli zestawiono wybrane dane dotyczące stosowania tarcz zawiesinowej i EPB do budowy tuneli metra, kolejowych i drogowych na świecie na przestrzeni ostatnich 10 lat (25 inwestycji). Informacje usystematyzowano wg średnicy tarcz



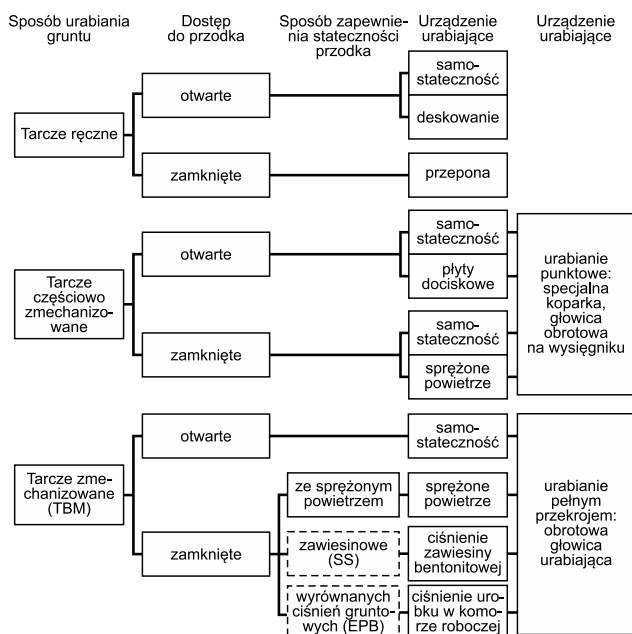
Rys. 1. Klasyfikacja tarcz zmechanizowanych wg JSCE [3]

Fig. 1. The classification of the tunnel boring machines according to JSCE [3]

¹⁾ Politecnico di Torino – Politechnika w Turynie, Włochy

²⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

*) Autor do korespondencji: e-mail: a.lewandowska@il.pw.edu.pl



Rys. 2. Klasyfikacja tarcz wg W. Grodeckiego [4]

Fig. 2. The classification of the tunnel boring machines according to W. Grodecki [4]

oraz ich typu. W 90% przypadków inwestorem są lub były władze miasta, w pozostałych 10% odpowiednie ministerstwa lub podmioty zarządzające infrastrukturą np. drogą czy kolejową. Z tabeli wynika, że tarcze zmechanizowane zrównoważonych ciśnień gruntu (EPB) są obecnie jednymi z najczęściej stosowanych urządzeń do drążenia tuneli na świecie.

Stateczność przodka tarczy EPB

W tarczach typu EPB stateczność przodka – zrównoważenie zewnętrznego parcia gruntu i ciśnienia wody gruntowej – zapewnia urobiony przez głowicę skrawającą grunt, wypełniający komorę roboczą. Na głowicy urabiającej tarczy rozmieszczone są różnego rodzaju narzędzia skrawające, dostosowane do przewidywanych warunków gruntowych. Jednocześnie w głowicy rozmieszczone są otwory, którymi urobiony grunt przedostaje się do komory roboczej. Rozmiary tych otworów są tak dobrane, by przedostające się przez nie kamienie lub fragmenty rozkruszzonej skały odpowiadały zdolności transportowej przenośnika ślimakowego. Komora jest oddzielona od reszty tarczy i tunelu masywną, stalową ścianą, w której osadzony jest przenośnik ślimakowy z cylindryczną, szczelną obudową. Za pomocą tego przenośnika urobiony grunt jest usuwany z komory roboczej i przenoszony na kołowe lub szynowe środki transportu albo na przenośnik taśmowy, którymi odprowadzany jest z tunelu. W celu zapewnienia odpowiedniego postępu robót, bezpieczeństwa pracy, a także zmniejszenie oddziaływania drążenia na powstanie niekorzystnej osiadania na powierzchni terenu nad tarczą konieczne jest zachowanie równowagi pomiędzy ilością gruntu urabianego i usuwanego z komory roboczej. Schemat tarczy wraz z rozkładem ciśnień w komorze roboczej został przedstawiony na rysunku 3.

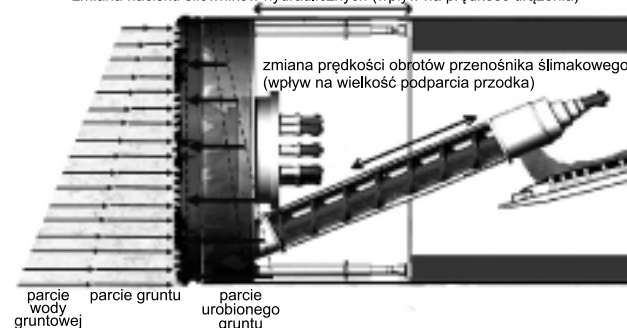
Tarcze EPB są najlepiej przystosowane do drążenia tuneli w gruntach spoistych, o małej przepuszczalności wody i jednorodnych. Zakres ich stosowania może być rozszerzony na pozostałe grunty z tym tylko, że należy odpowiednio dobrać dodat-

Zestawienie wybranych danych o stosowaniu tarcz zmechanizowanych typu EPB i zawieszinowych na świecie

Summary of selected data on the use of slurry and TBM EPB all over the world

Miasto/Państwo	Typ tarczy	Średnica [m]	Rodzaj tunelu
Orłowski – Petersburg/Rosja – w budowie	zawieszinowa	19,25	drogowo-kolejowy
Sparvo – Bolonia/Włochy	EPB	15,55	kolejowy
Szanghai/Chiny	zawieszinowa	15,43	drogowo-kolejowy
M30 – Madryt/Hiszpania	EPB	15,20	drogowy
Hamburg/Niemcy	zawieszinowa	14,20	drogowy
Lefortowo-Moskwa/Rosja	zawieszinowa	14,20	drogowy
Martwa Wisła-Gdańsk/Polska	zawieszinowa	12,56	drogowy
Adler/Szwajcaria	EPB	12,53	kolejowy
Barcelona/Hiszpania	EPB	12,06	metro
A86 – Paryż/Francja	zawieszinowa	11,49	drogowy
Westershelde/Holandia	zawieszinowa	11,34	drogowy
Katzenberg/Niemcy	EPB	11,12	kolejowy
Lizbona/Portugalia	EPB	9,80	metro
Tunel Boltek/Holandia	EPB	9,75	kolejowy
Ateny/Grecja	EPB	9,46	metro
Bolonia/Włochy	EPB	9,40	metro
Madryt/Hiszpania	EPB	9,33	metro
Londyn/Wielka Brytania	EPB	8,13	kolejowy
Bosfor/Turcja	EPB	7,98	kolejowy
Turyń/Włochy	EPB	7,77	metro
Tuluza/Francja	EPB	7,75	metro
Neapol/Włochy	EPB	6,74	metro
Warszawa/Polska	EPB	6,50	metro
Bangkok/Tajlandia	EPB	6,46	metro
Singapur/Singapur	EPB	6,15	metro

zmiana nacisku siłowników hydraulicznych (wpływ na prędkość drążenia)



Rys. 3. Schemat wyrównywania ciśnienia w komorze roboczej tarczy typu EPB [5]

Fig. 3. The schema of earth pressure balance in the working chamber of TBM EPB [5]

ki – plastyfikatory, szczególnie takie, które zapewnią względną jednorodność i szczelność urobionego gruntu. Plastyfikatory, których zadaniem jest uplastycznienie urobionego gruntu i zmniejszenie tarcia, wstrzykiwane są przez specjalne dysze usytuowane w różnych elementach tarczy:

- w głowicy skrawającej plastyfikator natryskiwany jest na urabianą ścianę gruntową (przodek) i na urobiony grunt znajdujący się między głowicą a przodkiem;
- w ścianie ciśnieniowej komory roboczej dodatki iniektowane są do urobionego gruntu znajdującego się w komorze, mieszając się z nim;
- w przenośniku ślimakowym;
- dookoła przedniej części powłoki tarczy.

Efektom użycia dodatków jest zmniejszenie momentu obrotowego głowicy urabiającej oraz równomierne i ciągle przedstawianie się urobku do przenośnika ślimakowego. Ułatwia to pracę przenośnika, zmniejszając tarcie w cylindrycznej obudowie oraz wytwarzając korek, przez który nie może się przedostać woda gruntowa. Wstrzykiwany wokół powłoki tarczy plastyfikator zmniejsza tarcie na styku z gruntem, co pozwala zmniejszyć siły nacisku w dźwignikach przesuwających tarczę oraz wstępnie uszczelnia tę przestrzeń.

Zastosowanie określonych dodatków skutkuje:

- zwiększeniem zakresu stosowalności tarcz EPB z punktu widzenia różnorodności gruntów (np. w gruntach niespoistych – piaskach o różnej granulacji);
- zmniejszeniem momentu obrotowego przenośnika ślimakowego;
- zmniejszeniem zużycia energii;
- zmniejszeniem zużycia głowicy urabiającej, narzędzi skrawających (noże, dyski), konstrukcji komory roboczej i przenośnika ślimakowego;
- zwiększeniem szczelności urobionego gruntu.

Stosowanie plastyfikatorów, które zmieniają grunt w plastyczną masę o odpowiednich cechach mechanicznych i hydraulicznych, pozwala na uzyskanie właściwego parcia gruntu w czole tarczy. To wyjaśnia stały wzrost stosowania tej technologii w bardzo zróżnicowanych warunkach gruntowych. Przy właściwie dobranej objętości urobionego gruntu w komorze roboczej oraz transportowanego przez przenośnik ślimakowy uzyskuje się nie tylko równowagę w przodku tarczy, ale też ogranicza wpływ drżenia na otaczający grunt i oddziaływanie na powierzchnię terenu. Jest to bardzo istotne w przypadku stosowania tarczy EPB w miastach, pod ulicami, domami oraz podziemną infrastrukturą techniczną.

Rodzaje plastyfikatorów

Grunt w komorze roboczej powinien być nieprzepuszczalny oraz mieć właściwości, które zapewniłyby kontrolowanie stateczności przodka przy zadanym ciśnieniu [6]. Plastyfikatory muszą gwarantować jednakowe ciśnienie na przodku, minimalizować dopływ wody do wyrobiska, stworzyć jednolitą ścieżkę przepływu urobku od głowicy skrawającej do przenośnika taśmowego oraz minimalizować moment obrotowy głowicy skrawającej i tarcie. Jako plastyfikatory stosuje się:

- **piany** – jako system dwufazowy (faza ciekła i gazowa), charakteryzujące się zdolnością do znacznego zwiększania objętości. Zwiększają one szczelność urobku, stabilizują parcie gruntu w komorze roboczej, zmniejszają zużycie urządzeń mechanicznych (głowicy, przenośnika ślimakowego) oraz amortyzują drgania wywołane pracą głowicy urabiającej;
- **polimery** – naturalne, naturalnie modyfikowane lub półsyntetyczne i syntetyczne, które sklejają poszczególne ziarna urobionego gruntu, zmniejszając jego wodoprzepuszczalność oraz dopływ wody gruntowej do komory roboczej;
- **zawieszinę bentonitową**, która penetrując w grunt „smaruje” zewnętrzną powierzchnię powłoki tarczy, zmniejszając opory tarcia przy jej przesuwaniu, a także stabilizuje grunt na zewnątrz tarczy, wypełnia pory urobionego gruntu i zmniejsza zużycie głowicy urabiającej oraz przenośnika ślimakowego.

Wszystkie plastyfikatory wprowadzane są do gruntu w postaci iniekcji.

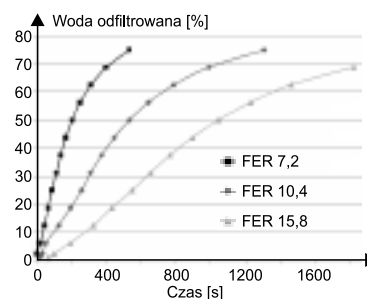
Badania gruntu z plastyfikatorem w postaci piany

Dotychczas nie przeprowadzono wielu badań laboratoryjnych gruntów z dodatkiem plastyfikatorów, szczególnie gruntów niespoistych, ale też i spoistych (glin i ilów). Dobór plastyfikatorów i sposób ich stosowania są obecnie często określane metodą prób i błędów, prowadzoną bezpośrednio na budowie [7], niemniej wstępna ocena, wydana przez laboratorium, wydaje się kluczowym punktem do przeprowadzenia poprawnej analizy pracy tarczy EPB. Ważne jest, aby optymalizacja dodatków do urabianego gruntu była jednym z kluczowych parametrów służących prawidłowemu wykonaniu tunelu za pomocą tarczy EPB i powinna być przeprowadzona przed przystąpieniem do drążenia tunelu.

Półokres życia piany (t_{50}), to czas potrzebny na to, aby 50% objętości wody stosowanej do wytworzenia piany zostało odprowadzone. Zależy on od stężenia w wodzie czynników tworzących pianę i od wskaźnika FER, jak to pokazano na rysunku 4 (FER – Foam Expansion Ratio – jest to objętość piany, jaka może być wytworzona z określonej objętości płynu tworzącego pianę, np. woda plus plastyfikator). Im dłuższy jest półokres życia piany, tym większa jest jej trwałość i wydajność po jej wymieszaniu z gruntem.

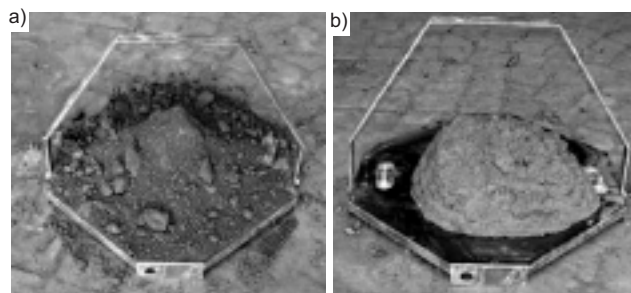
Badanie konsystencji urobku metodą rozplywu stożka. Aby określić parametry gruntów z dodatkiem

plastyfikatora, należy wykonać standardowe badania konsystencji tych gruntów. Procedura badań jest następująca: proporcjonalne ilości gruntu i roztworu piany są ze sobą mieszane w standardowym mieszalniku, a następnie materiał jest badany w ten sam sposób jak świeża mieszanka betonowa (wg normy EN 12350), przez podnoszenie stożka i opuszczanie go, a następnie obserwację otrzymanego stożka i opuszczenie go, a następnie obserwację otrzymanego stożka gruntu (fotografia 1). W celu standaryzacji oceny otrzymanych wyników,



Rys. 4. Wyniki badania półokresu życia piany, przy użyciu ciepłego czynnika pianotwórczego, dla różnych wskaźników FER, przy jednym handlowym środku pianotwórczym

Fig. 4. Examples of the results obtained from half-life tests using the same foaming agent liquid for different FER's for one foaming commercial agent



Fot. 1. Przykład badania konsystencji gruntu: a) materiał w naturalnym stanie (bez dodatków); b) materiał z dodatkiem piany

Photo. 1. An example of slump test: a) the material in its natural state (non conditioned); b) the material conditioned with foam

konieczne jest posiadanie wykresu wzorcowego, który umożliwi dokonanie jednoznacznej interpretacji. Z tego powodu, kształt i pęknięcia stożka gruntu oraz odprowadzanie wody i sama piana były obserwowane w czasie kilku różnych testów, a po uwzględnieniu wszystkich wyników opracowano globalną ocenę czterech typów zachowania się badanego materiału. Jest ona następująca:

- niemożliwe jest utworzenie plastycznej „pasty” charakteryzującej się nieregularnym zapadaniem się powierzchni stożka (niepożądane);

- materiał zachowuje się jak sztywny ze zmniejszoną wartością rozmycia stożka, głównie z powodu niewystarczającej ilości piany (na granicy stożka), ale z możliwością stworzenia plastycznej pasty;

- zbyt płynna mieszanka z dużym odpływem wody i/lub piany z powodu zbyt dużej ilości wody i/lub piany (niepożądane);

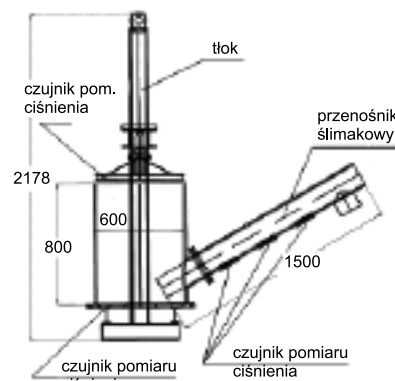
- zachowanie „plastyczne”, przy zmniejszonym odpływie wody z gruntu (na granicy stożka); poprawne zachowanie się mieszanki (odpowiednie).

Badanie to można również stosować bezpośrednio na budowie w celu sprawdzenia jakości gruntu z dodatkiem piany. Stosując ten test, ocenia się zwykle, czy grunt ma właściwą plastyczność, co ma miejsce, gdy stożek rozplywu ma wymiary 100 – 200 mm.

Przepuszczalność gruntu jest podstawowym parametrem, którego znajomość pozwala na stosowanie prawidłowych dodatków uplastyczniających grunt. Jest to szczególnie istotne podczas drażnienia tuneli poniżej poziomu wód gruntowych. Tylko plastyczny, urobiony grunt o małej przepuszczalności ułatwia właściwą regulację jego ciśnienia na przodku i zapobiega przedostawaniu się wody gruntu do komory roboczej. Aby ocenić przepuszczalność tego materiału, nie można stosować standardowego badania, gdyż procedura wymaga stałego przepływu wody przez próbkę. W przypadku gruntów z plastifikatorem, przepływ wody wymywa pęcherzyki piany i wpływa na zmianę otrzymanych wyników, co ma szczególne znaczenie przy technologii tarczy EPB. Aby wyniki były miarodajne, należy przeprowadzić zmodyfikowane badanie przepuszczalności. W laboratorium TUSC na Politechnice w Turynie opracowano specjalną procedurę z pomiarem czasu wymaganego do przejścia wody przez próbkę, przy uprzednio określonej ilości wody (fotografia 2). Seria badań wykazała możliwość stosowania takiej procedury.

Symulacja transportu urobku za pomocą przenośnika ślimakowego. To badanie umożliwia ocenę skuteczności dodania plastifikatora do gruntu z punktu widzenia transportu urobku przenośnikiem ślimakowym z komory roboczej. Prototypowe urządzenie laboratoryjne [8, 9] jest modelem w skali 1: 10 typowego przenośnika ślimakowego stosowanego

w tarczach EPB drażących tunele metra (rysunek 5). Badanie zaprojektowano tak, aby ograniczyć objętość transportowanego urobku, a jednocześnie zbadać grunty o stosunkowo dużej rozpiętości krzywej uziarnienia – ziarna do 20 mm średnicy. Urządzenie to posiada zbiornik wysokości 800 mm, o znamionowej wewnętrznej średnicy 600 mm, który jest wypełniony gruntem. Płyta aluminiowa, przyłączona do dźwigniaka hydraulicznego, o skoku 500 mm, wymaga znamionowego ciśnienia zbiornika do 2 MPa. Wartość ta odpowiada zagłębieniu stropu tuneli drażonych w warunkach miejskich na głębokości 10 – 20 m. Przenośnik ślimakowy ma długość 1500 mm, jest pochylony pod kątem 30° i połączony ze zbiornikiem. Średnica obudowy ślimaka wynosi 168 mm, zgarniaki mają podziałkę 100 mm, a wał ślimaka średnicę 60 mm. Urządzenie jest oprzyrządowane czujnikami (rysunek 5): trzy czujniki do pomiaru ciśnienia urobku służące do oceny całkowitych normalnych naprężeń wzdłuż obudowy przenośnika ślimakowego. Czujniki te są rozstawione co 250 mm, a pierwszy z nich jest w odległości 430 mm od zbiornika; miernik momentu obrotowego umieszczono w linii z wałem ślimaka. Służy on do pomiaru momentu przenoszonego z silnika; tensometr strunowy do kontrolowania przemieszczeń górnej płyty; a dwa czujniki parcia do pomiaru obciążenia pod górną płytą i na dole zbiornika.



Rys. 5. Schemat modelu przenośnika ślimakowego do badania transportu urobku z dodatkiem plastifikatora

Fig. 5. Experimental screw conveyor extraction device for the test of conditioned soil

Piana stosowana jako plastifikator gruntu jest uzyskiwana z przemysłowego generatora piany, dostosowanego do celów laboratoryjnych. Badanie to pozwala sprawdzić skuteczność stosowania plastifikatora oraz parametry urobku wyznaczone podczas badania konsystencji metodą rozplywu stożka w większej skali oraz umożliwić porównanie z procesem zbliżonym do rzeczywistej pracy tarczy EPB.

Grunt został prawidłowo uplastyczniony dodatkami, jeśli przenośnik ślimakowy jest w stanie transportować urobek w sposób ciągły, a zanotowane ciśnienie wzdłuż ślimaka zmniejsza się regularnie od czujnika położonego najbliżej komory roboczej aż do ostatniego. Ponadto to badanie pozwala ocenić, czy dodatek piany umożliwia zachowanie stałego ciśnienia urobku w przenośniku ślimakowym i zmniejszenie momentu obrotowego głowicy tarczy.

Badanie zużycia narzędzi skrawających. W celu oceny, czy przyjęte dodatki uplastyczniające grunt przyczyniają się do zmniejszenia zużycia metalowych części tarczy oraz tarcia któregoś dysku (rodzaj noża skrawającego) obraca się ze stałą prędkością w gruncie w czasie wstępnie zdefiniowanym podczas badań laboratoryjnych. Na tej podstawie określa się procedurę testu określającego zużycie materiału noża. Badanie jest prowadzone wraz z pomiarem strat materiału testowane-



Fot. 2. Zmodyfikowany układ badawczy do badania przepuszczalności – na zdjęciu widać poziom wody, która przechodzi przez próbkę

Photo. 2. The modified permeability test – it is possible to see the position of water that is passing through the sample when the photograph was taken

go dysku skrawającego (wykonanego z mosiądzu lub aluminium) [10] lub noży skrawających [11, 12]. Przed i po badaniu obserwuje się stan narzędzi testowych i dokonuje pomiaru zastosowanego momentu obrotowego. Na fotografiach 3, 4, 5 pokazano urządzenia skrawające w głowicy tarczy EPB oraz ich zużycie po wykonaniu odcinka tunelu metra warszawskiego.



Fot. 3. Szczegół konstrukcyjny głowicy – widoczne noże skrawające, otwory do wprowadzania urobku do komory roboczej oraz dysze do iniekcji piany

Photo. 3. The details of cutter head-knives, openings for soil transportation and the nozzle for foam injection



Fot. 4. Głowica tarczy EPB i urządzenia skrawające (dyski, noże) przed drążeniem tunelu

Photo. 4. Cutter head of TBM EPB before the operation – cutter tools (discs and knives)



Fot. 5. Głowica tarczy EPB po wykonaniu 800 m tunelu i przejściu przez ścianę szczelinową stacji „Świętokrzyska” – widoczny stopień zużycia narzędzi skrawających

Photo. 5. TBM EPB cutter head after drilling 800 m of tunnel and break-through of diaphragm wall of Świętokrzyska metro station – see the degree of wear of cutting tools

Podsumowanie

Zaletą tarcz EPB jest prosta budowa i niezawodne funkcjonowanie. W korzystnych warunkach gruntowych można osiągnąć duży postęp drążenia przy niższym koszcie inwestycyjnym i mniejszej zainstalowanej mocy całkowitej niż w przypadku tarcz zawieszonych.

W Warszawie, w bardzo zróżnicowanych warunkach geotechnicznych, w których pracowały tarcze EPB (od piasków średnich, przez piaski drobne, gliny piaszczyste i zwarte aż do ilów) uzyskano średni postęp robót ok. 12 m gotowego tunelu na dobę, a w sprzyjających warunkach nawet 42 m (rekord światowy tarczy EPB). Do wad tego typu tarcz należy zaliczyć wymaganie większego momentu obrotowego głowicy skrawającej, mocniejszej konstrukcji samej głowicy i większej mocy dźwigników hydraulicznych, służących do przesuwania tarczy. Zanieczyszczony urobek jest transportowany w sposób otwarty, narażając personel na ewentualne skażenie.

W Warszawie jako plastyfikator zastosowano pianę, która ulegała biodegradacji. Nie było więc zagrożenia wywołanego skażeniem urobku oraz problemu niekorzystnego oddziaływania na środowisko i wody gruntowe. Przed wyborem typu plastyfikatora, a następnie określeniem wskaźnika FER przeprowadzono wszystkie opisane wcześniej badania. Podane postępy robót oraz fakt nieznacznych osiadań powierzchni terenu w wyniku powstania niecki odkształcenia nad tarczami potwierdziły właściwy dobór typu tarczy oraz dodatków uplastyczniających urobek w warunkach geotechnicznych istniejących na trasie tuneli metra.

Literatura

- [1] AFTES Recommendations. Choosing mechanized tunnelling techniques. GT4R3A1. TC 23 2000.
- [2] DAUB Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen. Stand 10/2010.
- [3] Koyama Y. Present status and technology of shield tunnelling method in Japan. Tunnelling and underground space technology, vol. 18, 04-06.2003, str. 145 – 159.
- [4] Grodecki W., Technologia tarcz zmechanizowanych. Część I. Materiały seminarium na prawach rękopisu. Metro Warszawskie. Warszawa 2006.
- [5] Thewes M., TBM tunneling challenges – redefining the state of the art. Tunnel. Collection of keynote lectures. ITA-AITES WTC 2007, str. 13 – 21.
- [6] Anagnostou G. and Kovari K. (1996), Face stability conditions with Earth-pressure balanced Shields, Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 11, No. 2, Pergamon – Oxford, pp. 165 – 173.
- [7] EFNARC (2005) „Specification and guidelines for the use of specialist products for Mechanized Tunneling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock,” Recommendation of European Federation of Producers and Contractors of Specialist Products for Structures.
- [8] Peila D., Oggeri C. and Vinai R. (2007), Screw Conveyor Device for laboratory tests on conditioned soil for EPB tunnelling operations, Journal of Geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE, Vol. 133, pp. 1622 – 1625.
- [9] Vinai R., Borio L., Peila D., Oggeri C. and Pelizza S. (2008), Soil conditioning for EPB Tunnelling, Tunnels & Tunnelling international, Vol. XII.
- [10] Peila D., Picchio A., Barbero M., Bozza F. (2011), Wear tests on conditioned soils for EPB tunnelling, GEAM, 2011.
- [11] Nilsen B., Dahl F., Holzhauser J., Raleigh P. (2011) New test methodology for estimating the abrasiveness of soil for TBM tunneling, 2007 RETC, Toronto.
- [12] Gharahbagh E. A., Rostani J. (2011) Study of tool wear in Soft Ground Tunneling and introduction of a new soil abrasivity test, ITA-AITES WTC 2011, Helsinki.