

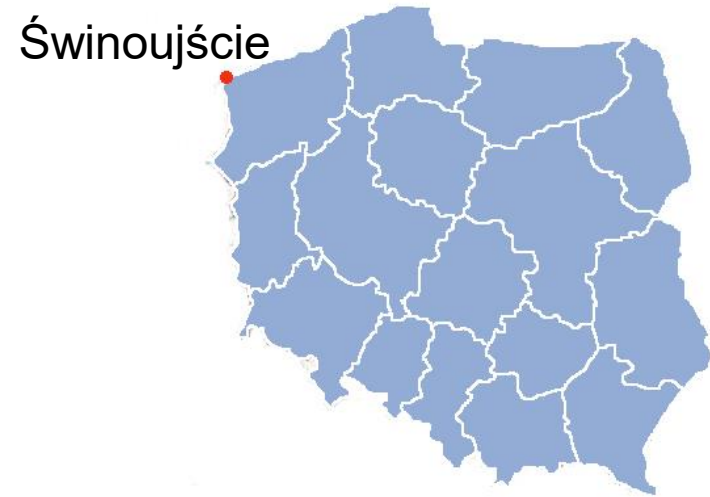
Usprawnienie połączenia komunikacyjnego pomiędzy wyspami Uznam i Wolin w Świnoujściu

Mrożenie gruntu na budowie tunelu w Świnoujściu jako sposób na minimalizację ryzyk wykonawczych

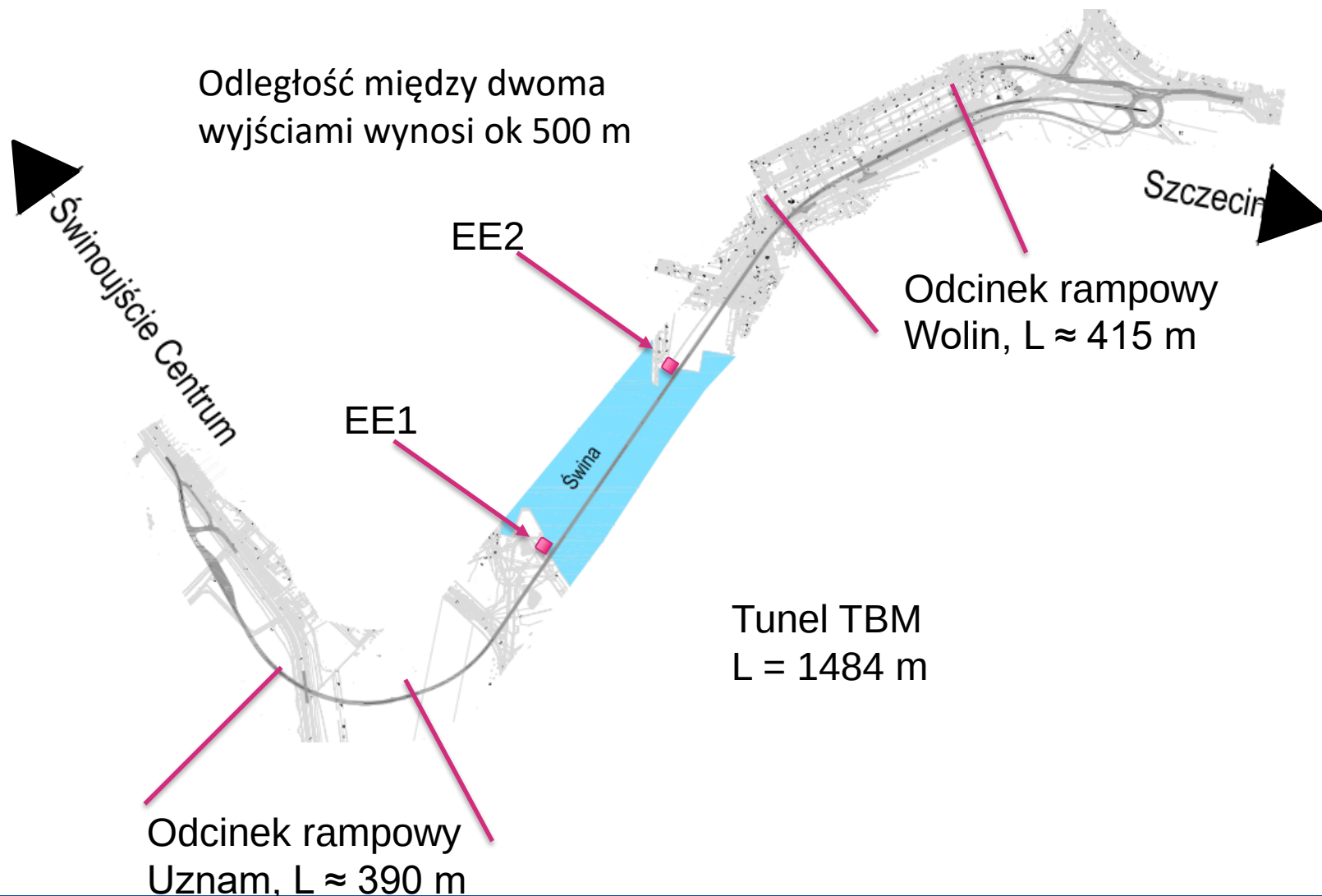
Tomasz Fortuna z-ca Dyrektora Kontraktu – Tunel Świnoujście s.c.

Zarys prezentacji

- Wyjścia ewakuacyjne
 - Lokalizacja
 - Geometria
 - Warunki gruntowe
- Projektowanie
- Technologia wykonania
- Geometria układu mrożenia gruntu
- Prace mrozeniowe
 - Opis działań
 - Monitoring prac i otwarcie obudowy tunelu

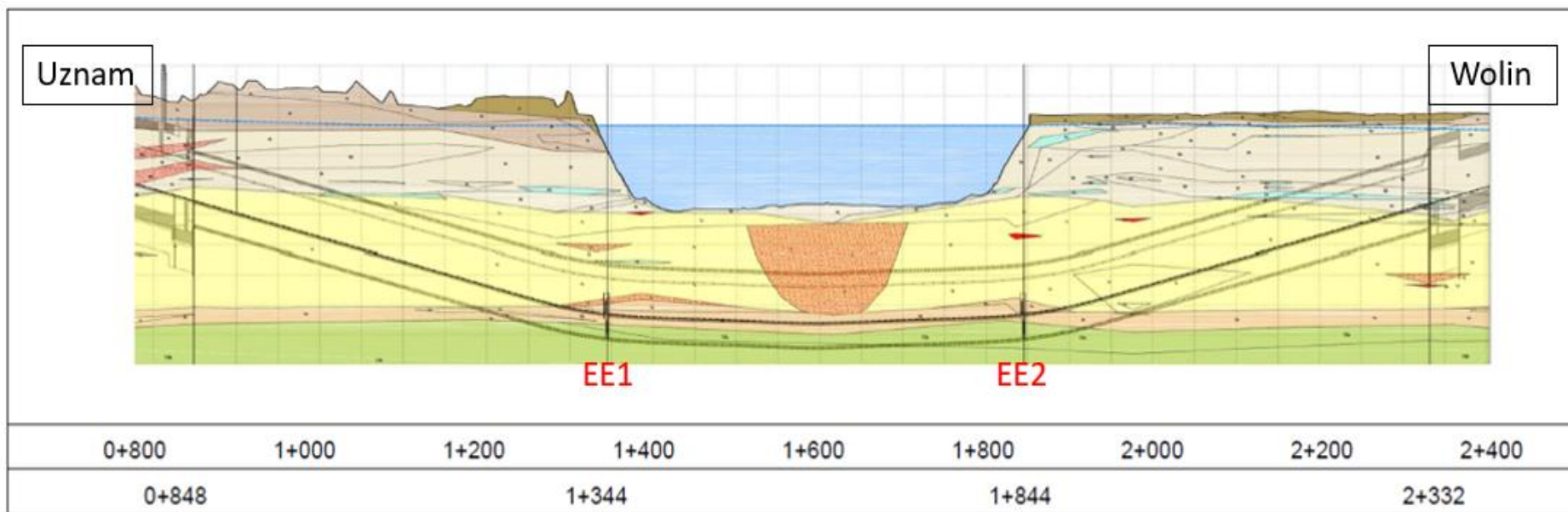


Lokalizacja



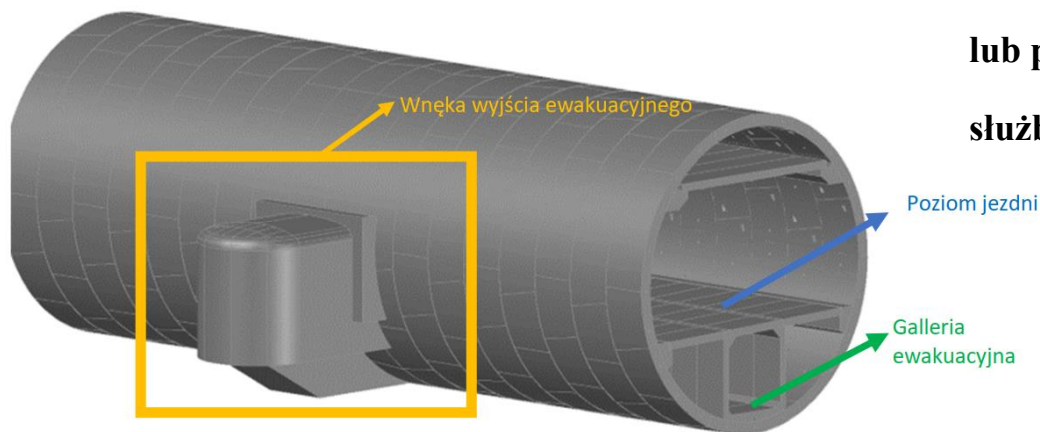
Wyjścia ewakuacyjne w tunelu TBM

Na odcinku tunelu drążonego TBM o długości ok 1484 m, zaprojektowano dwa wyjścia ewakuacyjne, dzieląc odcinek na niemal trzy równe strefy o długości około 494 m. Celem wyjść ewakuacyjnych jest umożliwienie bezpiecznego opuszczenia tunelu bez pojazdu, dotarcie do wyjść ewakuacyjnych znajdujących się po obu stronach tunelu.



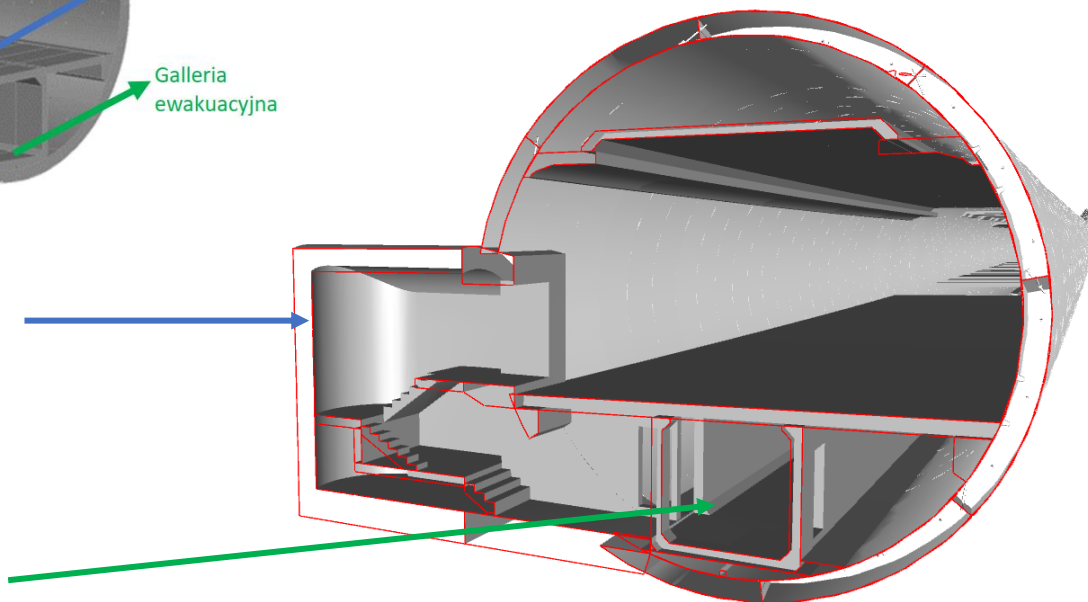
Geometria wyjść ewakuacyjnych

Wyjścia awaryjne umożliwiają użytkownikom tunelu opuścić tunel bez ich pojazdów i dotrzeć do bezpiecznego miejsca (galerii ewakuacyjnej) w przypadku wypadku lub pożaru i zapewniają również pieszy dostęp do tunelu służbom ratunkowym.



Wyjście
ewakuacyjne

Galleria
ewakuacyjna



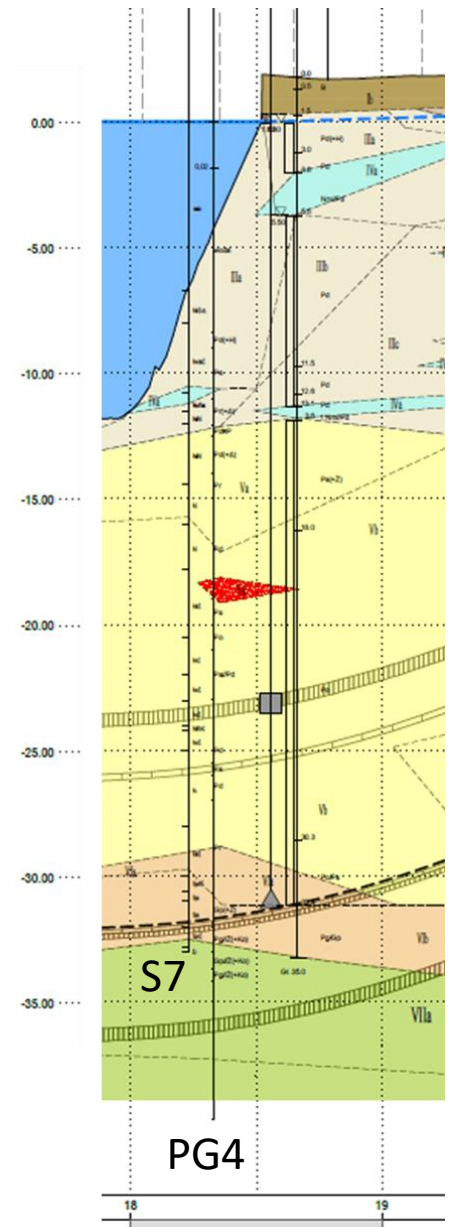
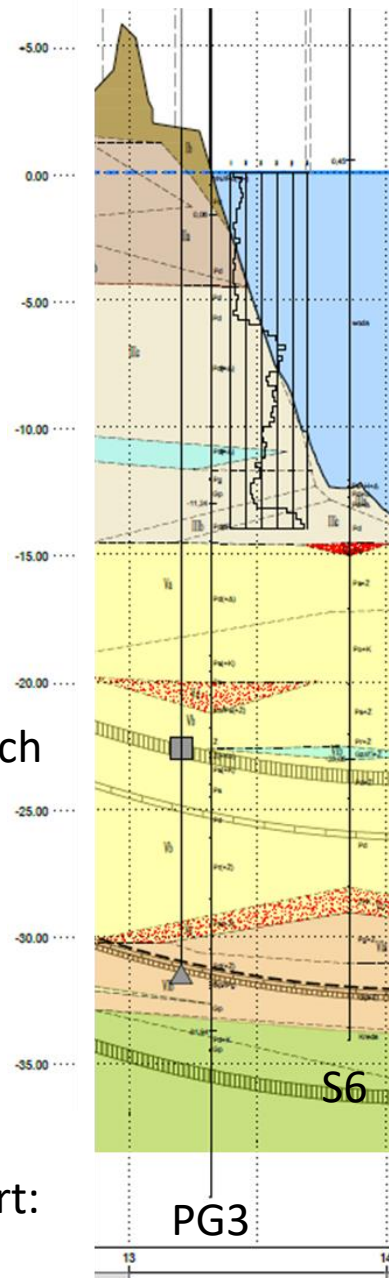
Warunki gruntowe

Warstwa	Jednostka geologiczna
I	Teren nasypowy (poch. ludzkie)
HOLOCEN	
II	Piasek drobny (akumulacja eoliczna)
III	Piasek drobny (pochodzenie morskie)
IV	Organiczna glina pylasta
PLEJSTOCEN	
V	Drobno-średni piasek i żwir
VI	Prekonsolidowana glina piaszczysta ze żwirem
KREDA	
VII	Kreda pizująca (skała macierzysta)

Poziom zwierciadła wody na obu odcinkach wynosi około 0 m n.p.m.

Warstwy gruntu poddawane mrożeniu to piaski, iły oraz kreda

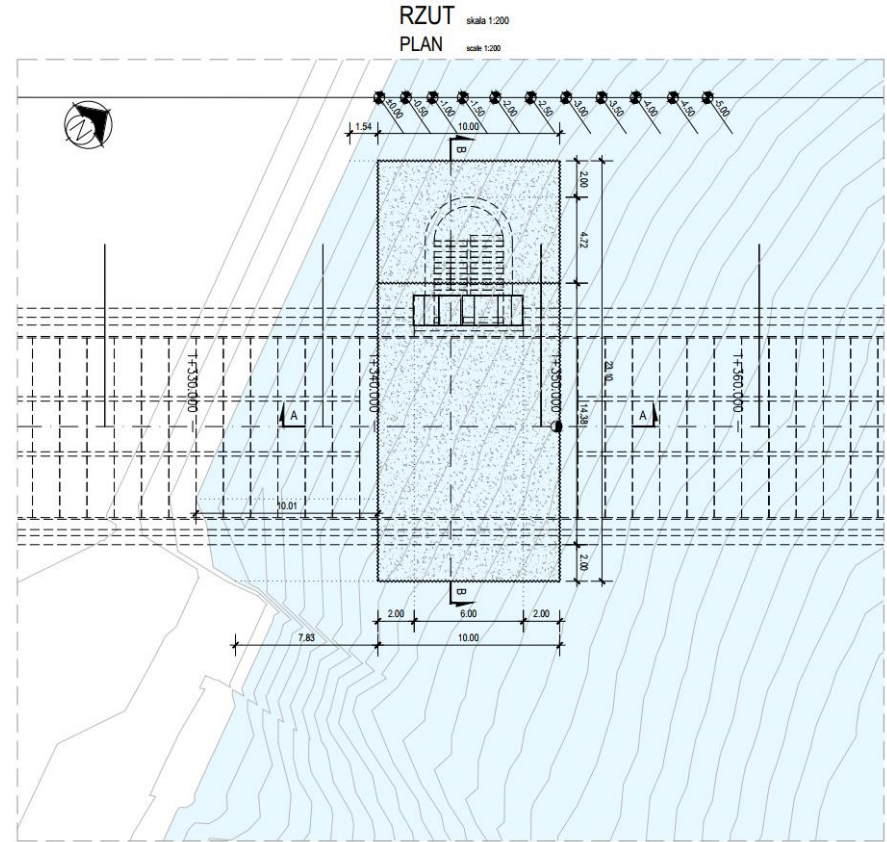
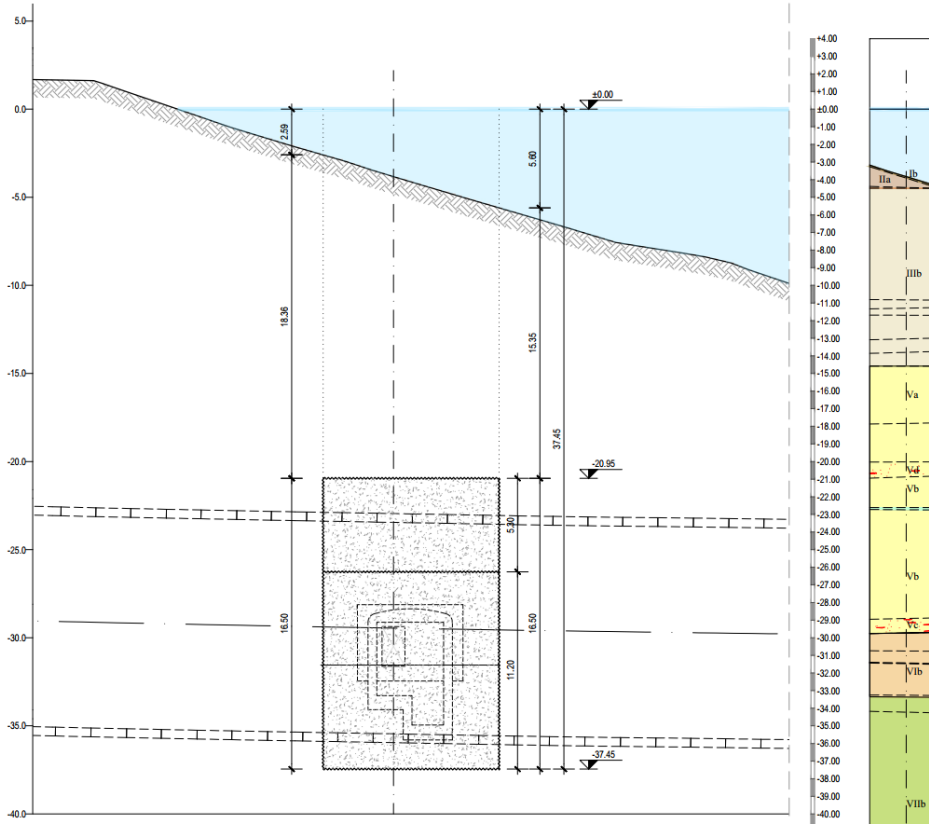
Odwiert:



Główne założenia do projektowania wzmocnienia gruntu

- Zamrażanie terenu można stosować w każdym rodzaju gruntu, niezależnie od przepuszczalności i wielkości ziarna.
Czynnikami ograniczającymi są zawartość wody, przepływ wody i zasolenie.
- Główne elementy, które należy wziąć pod uwagę podczas projektowania to:
 - • Geometria → odległość między rurami w celu uzyskania zamrożniętej ściany. W przypadku nisz definicję ściany w kształcie litery V lub objętości gruntu całkowicie zamrożonego, która zapewnia stabilność i wodoszczelność ;
 - • Projekt cieplny → energia, moc i czas wymagany do wygenerowania wymaganej ściany lodowej;
- Charakterystyka mechaniczna → właściwości termiczne gruntu do zamrażania;
 - • Charakterystyka mechaniczna → wytrzymałość zamrożniętej ściany potrzebna do podtrzymania podczas faz wykopu;
 - • Cechy fizyczne → wpływ na inne konstrukcje

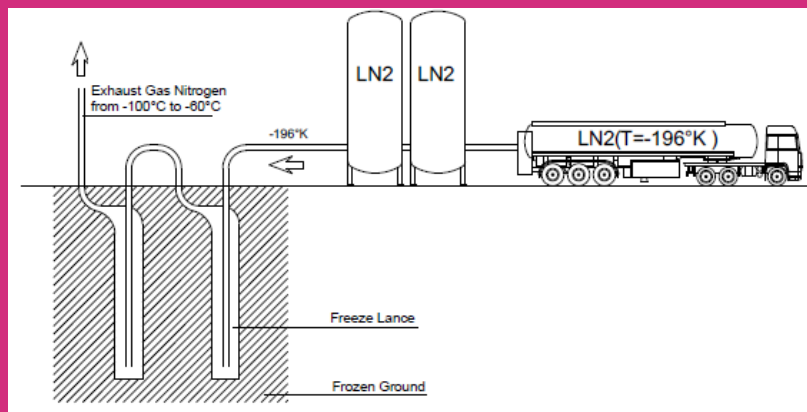
Rozważane opcje wykonania – jet grouting



Rozważane opcje wykonania – mrożenie gruntu

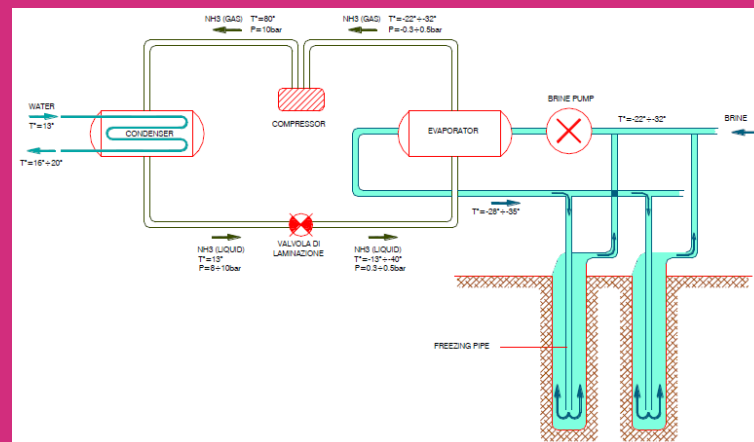
Metoda bezpośrednia (ciekły azot jako płyn chłodzący) → ciekły azot jest pompowany w temperaturze -196°C przez rury zamrażające z miedzi lub stali nierdzewnej, gdzie odparowuje, obniżając temperaturę do $-60 / -100^{\circ}\text{C}$;

Rys.1: Typowy system bezpośredniego mrożenia gruntu.



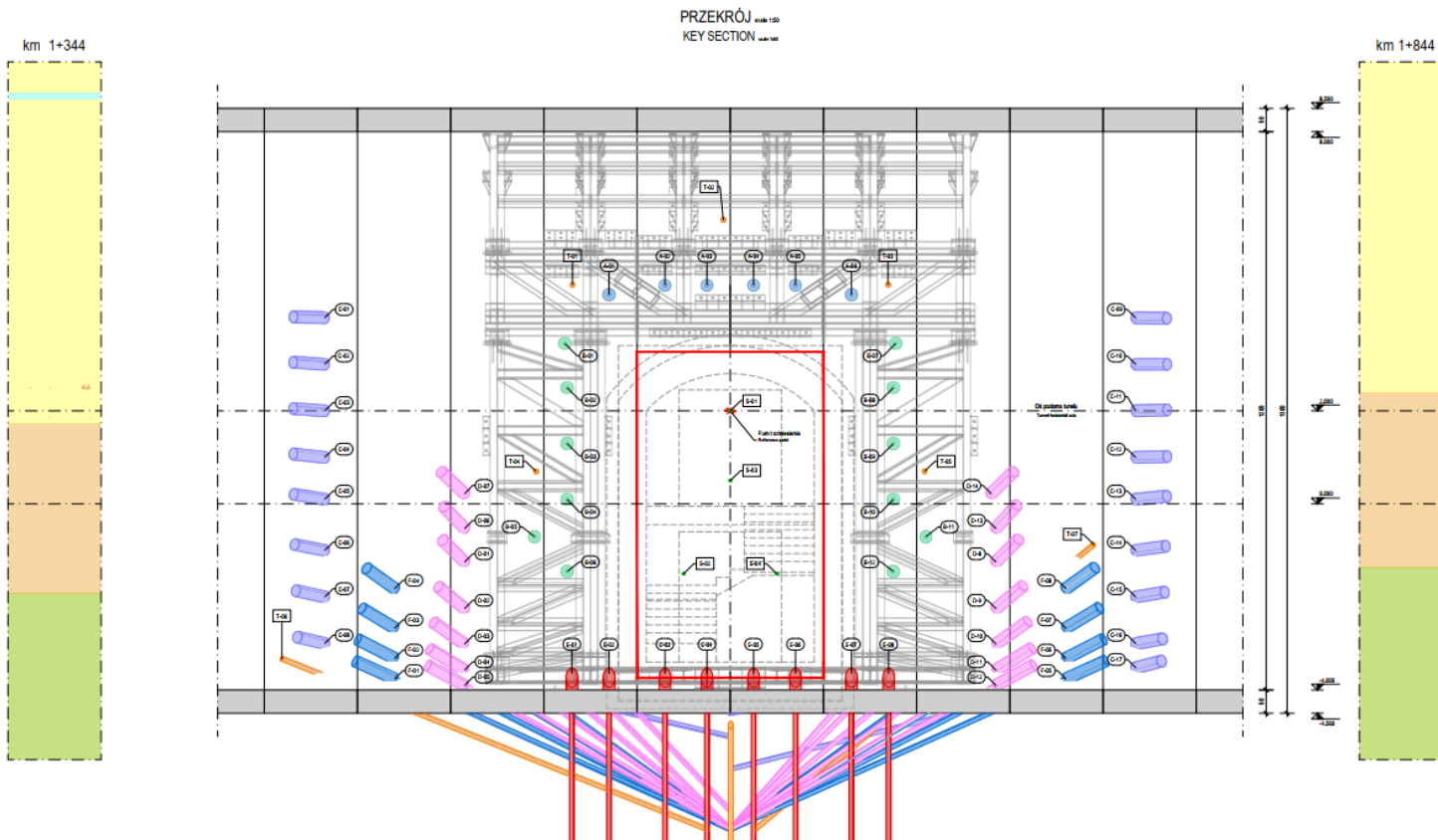
Metoda pośrednia (solanka jako płyn chłodzący) → W tym projekcie wykorzystywana jest metoda pośrednia. W tej metodzie jako płyn chłodzący wykorzystywana jest solanka. Solanka, zwykle roztwór chlorku wapnia, jest pompowana przez pompę solanki, przechodzi w zamrażającym zakładzie przemysłowym (parownik, w którym obwód NH_3 składa się ze sprężarki i skraplacza, obniża temperaturę środka mrozącego) i będzie ostatecznie pompowana do rur zamrażających w gruncie (rury wewnętrzne z polietylenu i zewnętrzne ze stali). Po przejściu do rur przez izolowany system kolektorów powierzchniowych, ciepła solanka jest ponownie schładzana w instalacji i przesyłana ponownie do obiegu zamkniętego.

Rys.2: Typowy pośredni system wspomagania zamarzania podłoża

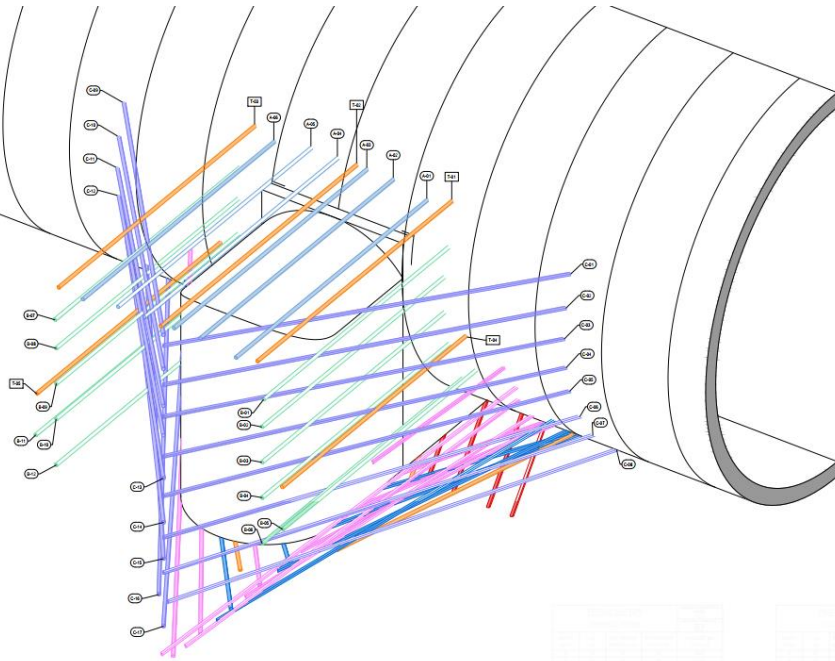


Metoda zamrażania gruntu

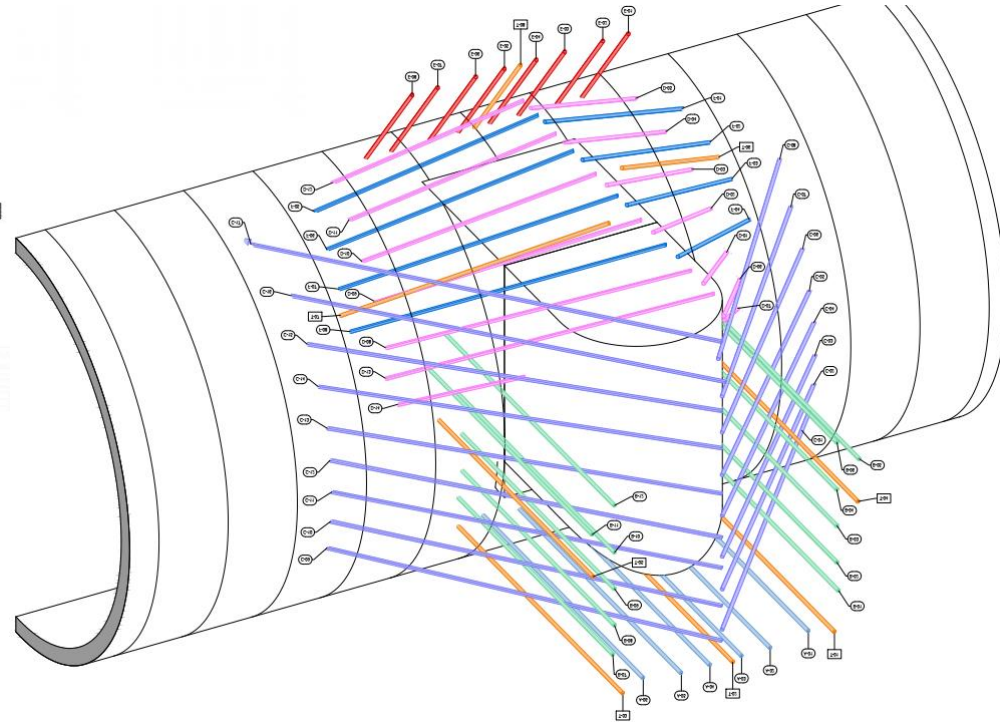
Zaprojektowano 7 grup odwiertów pod lance mroźeniowe, odwierty do pomiaru temperatury oraz drenaże. Łącznie 86 odwiertów na jedno wyjście ewakuacyjne w tym 74 odwierty układu mrożenia. Długość odwiertów od około 5m do niespełna 16m. Układ lanc mroźeniowych tworzy zamkniętą bryłę.



Geometria układu mrozenia



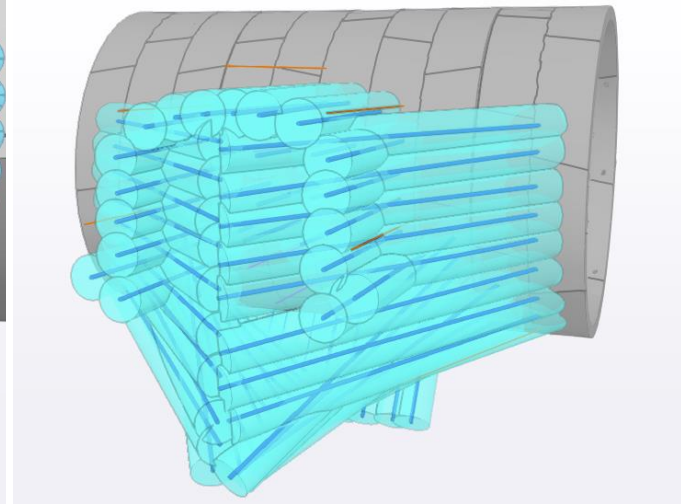
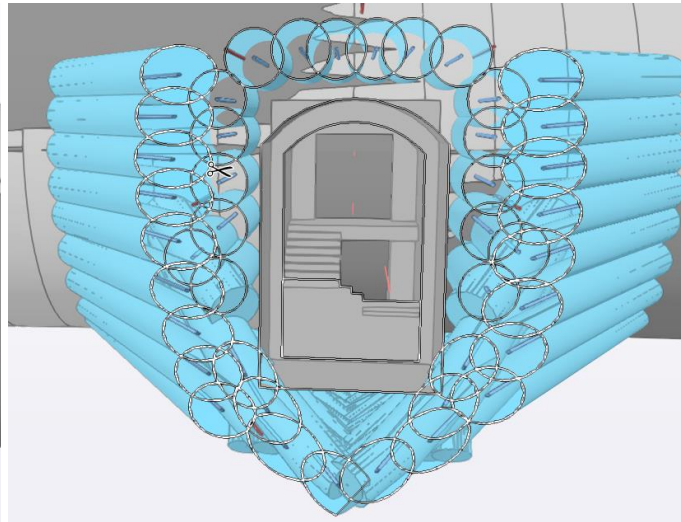
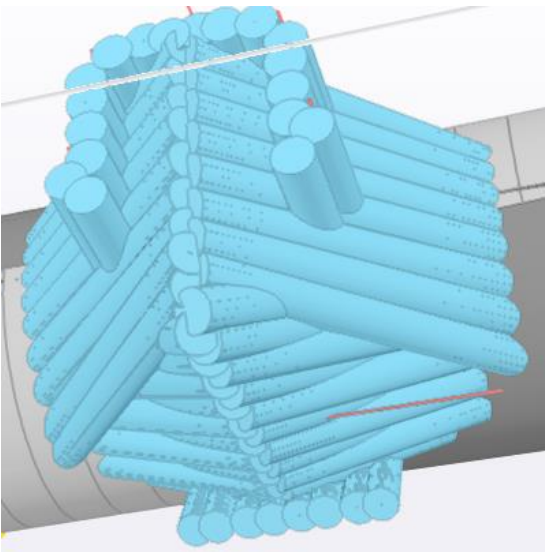
Widok z góry



Widok z dołu

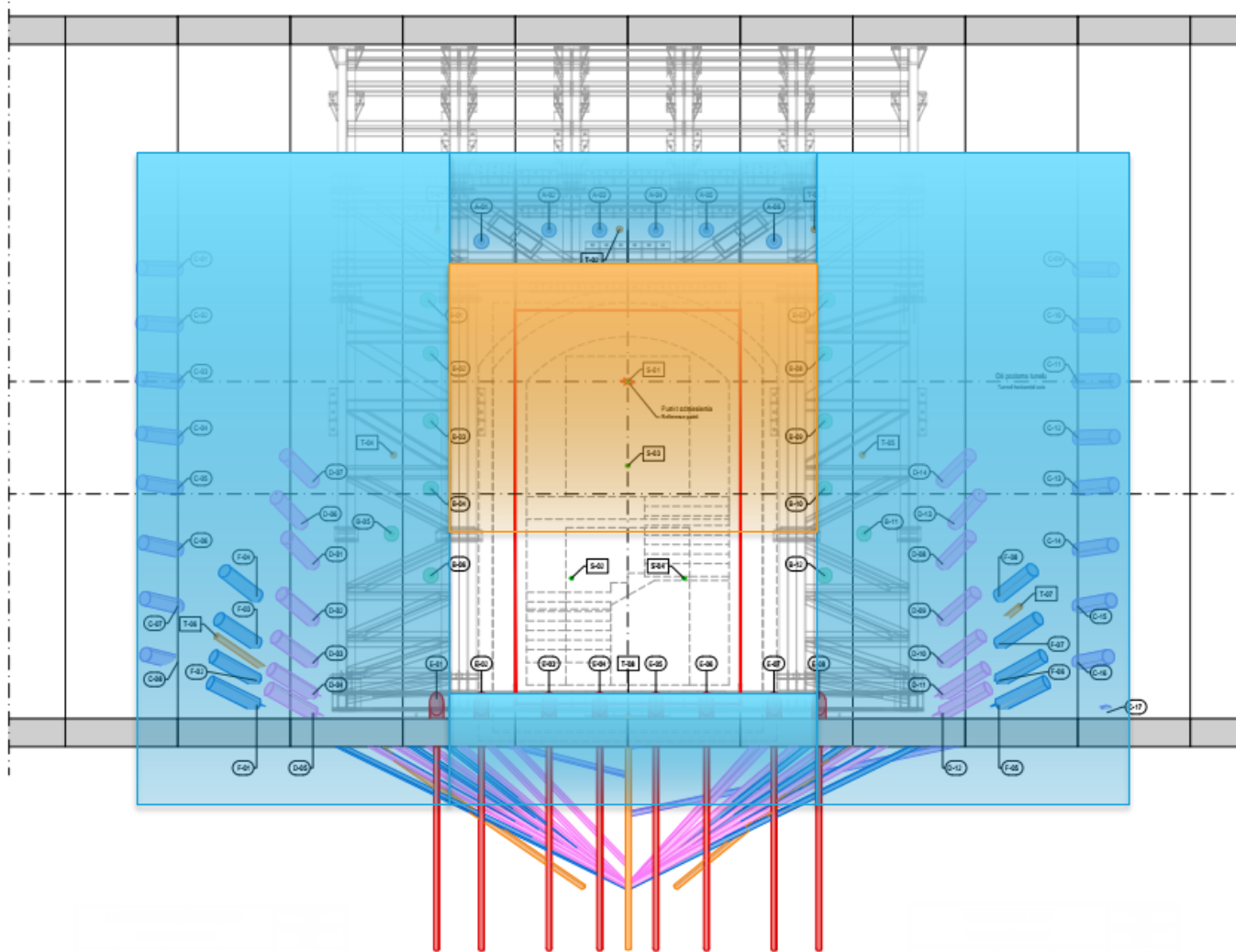
Teoretyczna geometria zmrożonej bryły gruntu

Do zagwarantowania stabilności i wodoszczelności gruntu wokół wykopu zastosowano metodą pośrednią zamrażania gruntu przy użyciu solanki. Roztwór chlorku wapnia schładzany jest do $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, następnie pompowany w zamkniętym obiegu instalacji, złożonych z rur wewnętrznych z polietylenu i zewnętrznych stalowych. Całość podłączona do agregatu mrozącego, obniżającego temperaturę solanki.



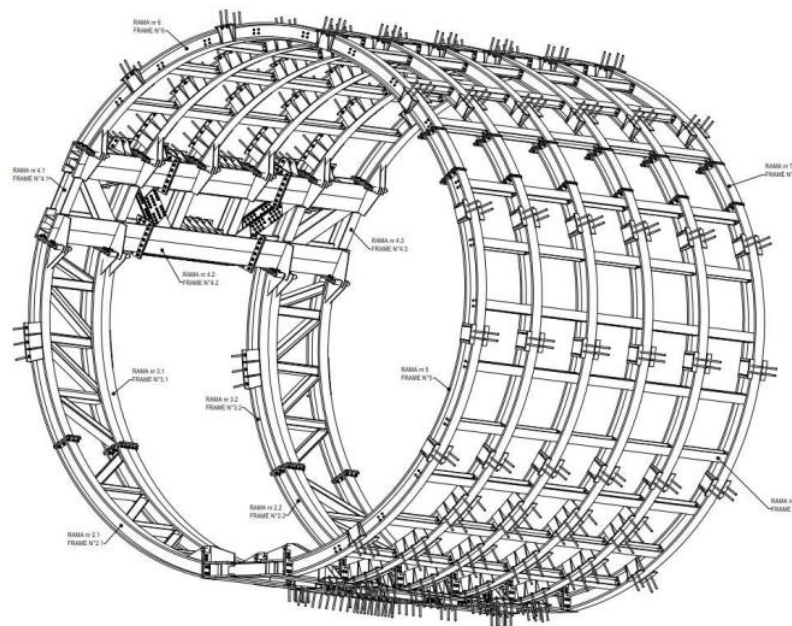
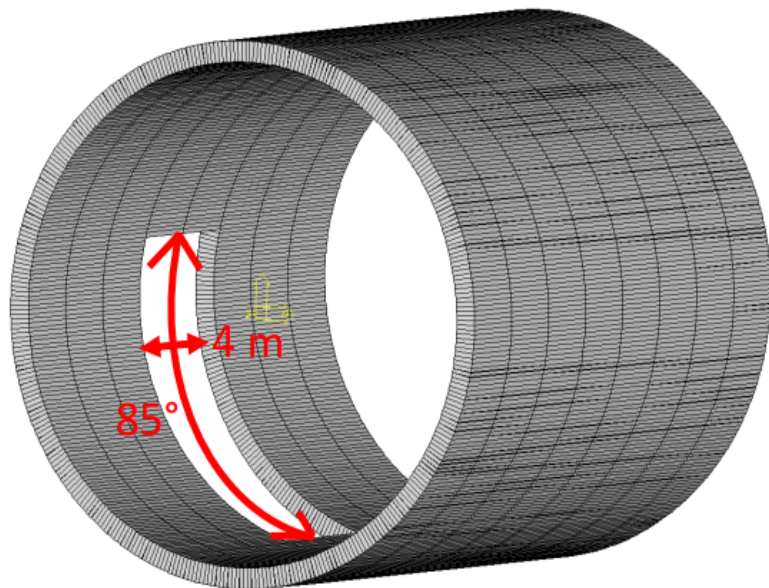
Kolejność mrożenia

Sumaryczna dł. odwiertów pod lance mrozeniowe - 643 m



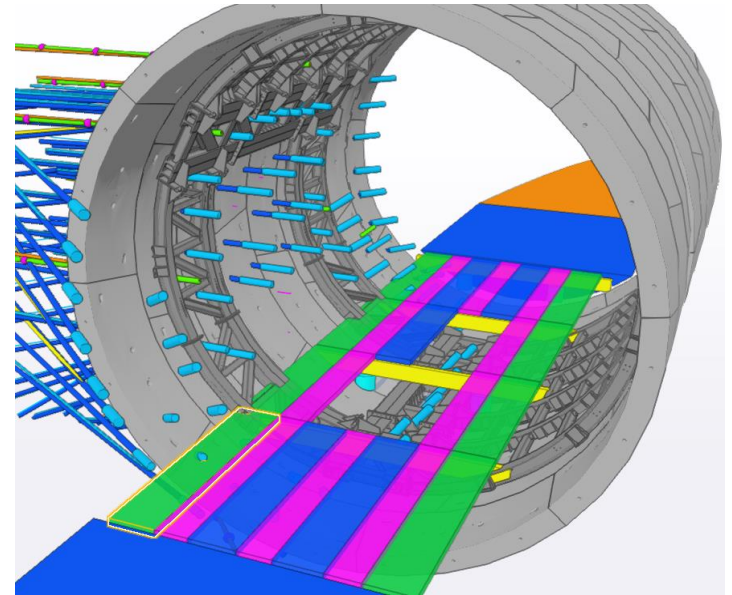
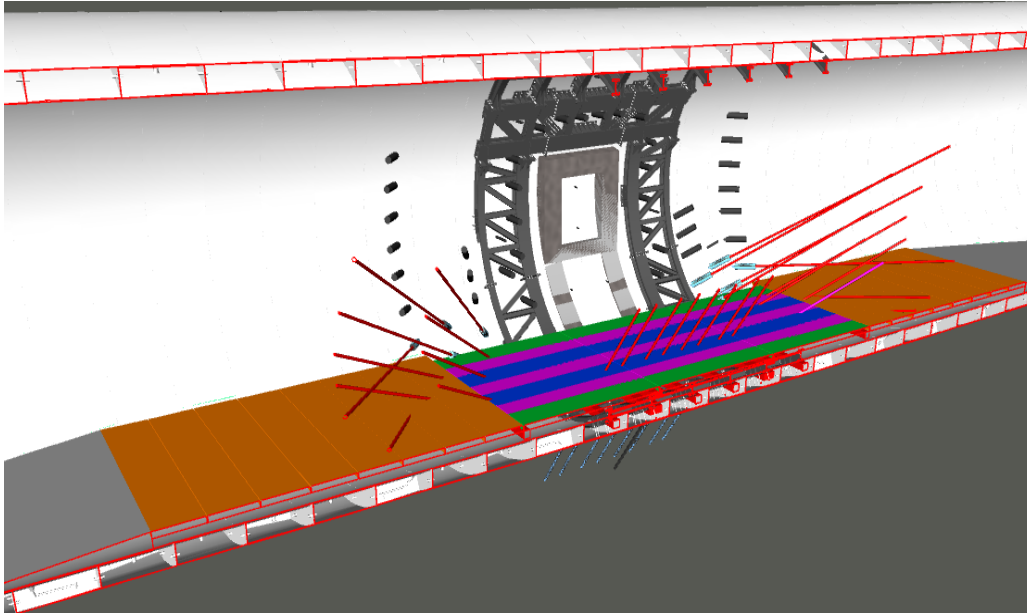
Tymczasowa stalowa rama podpierająca.

- Stalowa rama podpierająca zabezpieczają obudowę tunelu TBM, która przywraca ciągłość konstrukcji po wycięciu części pierścieni. Zaprojektowano rozwiązanie „pełno okrągłe” składające się z 6 stalowych pierścieni żebrowych i 2 poziomych oraz 2 pionowych kratownic. Masa konstrukcji stalowej 96 t.



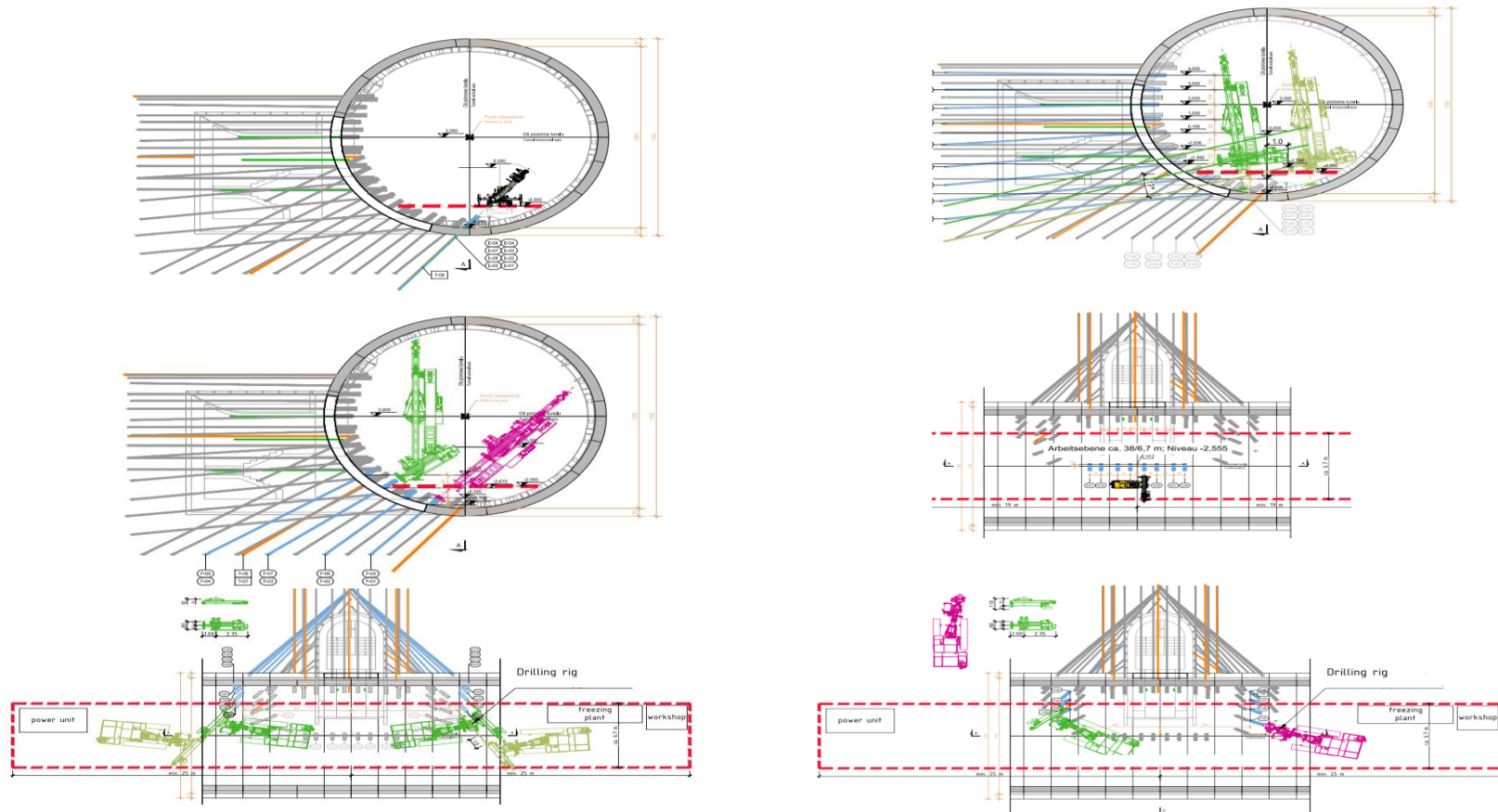
Wiercenie odwiertów kierunkowych pod lance

W celu realizacji odwiertów oraz umożliwienia prowadzenia logistyki w tunelu zaprojektowano platformę roboczą, złożoną z demontowanych paneli stalowych oraz ramp z kruszywa.



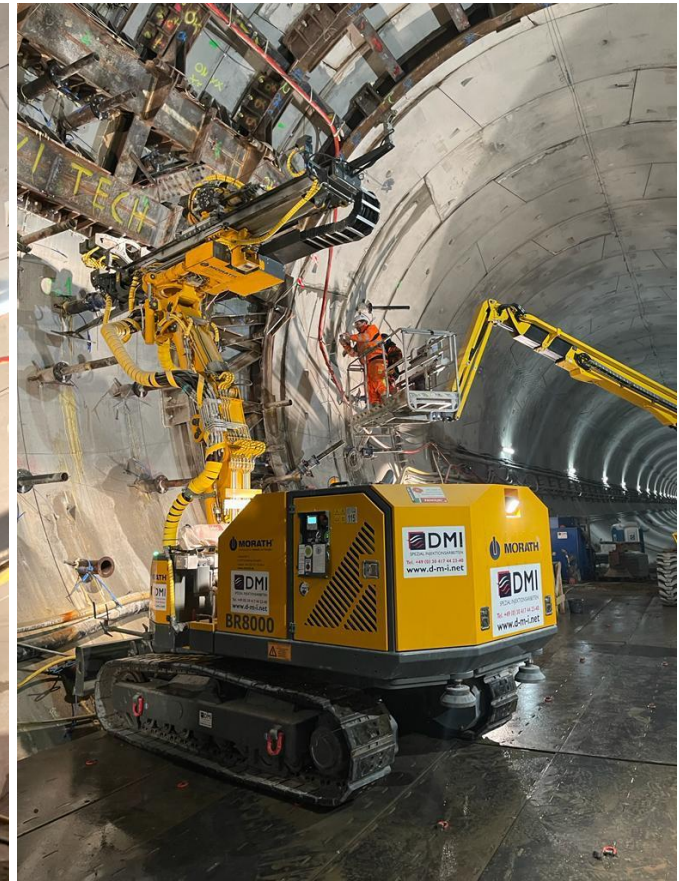
Analiza ustawienia wiertnic

Podczas projektowania rampy, przeanalizowano ustawienie wiertnic do każdej grupy odwiertów, biorąc pod uwagę ograniczenia sprzętowe..

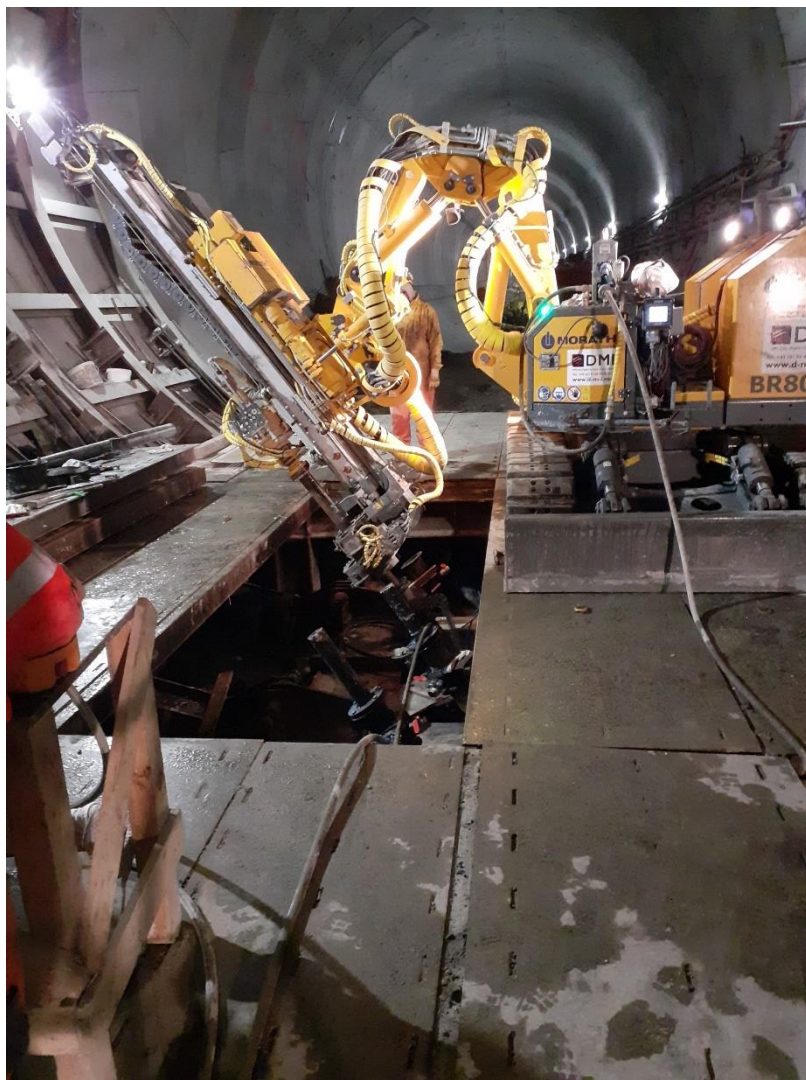


Wiertnice

Do realizacji skomplikowanego układu odwiertów przewidziano użycie aż trzech różnych wiertnic, zapewniając elastyczność pracy przy każdej z grup odwiertów. Wiercenie odbywało się w bliskim sąsiedztwie styków segmentów, co wymagało dużej precyzji w czasie realizacji odwiertu.

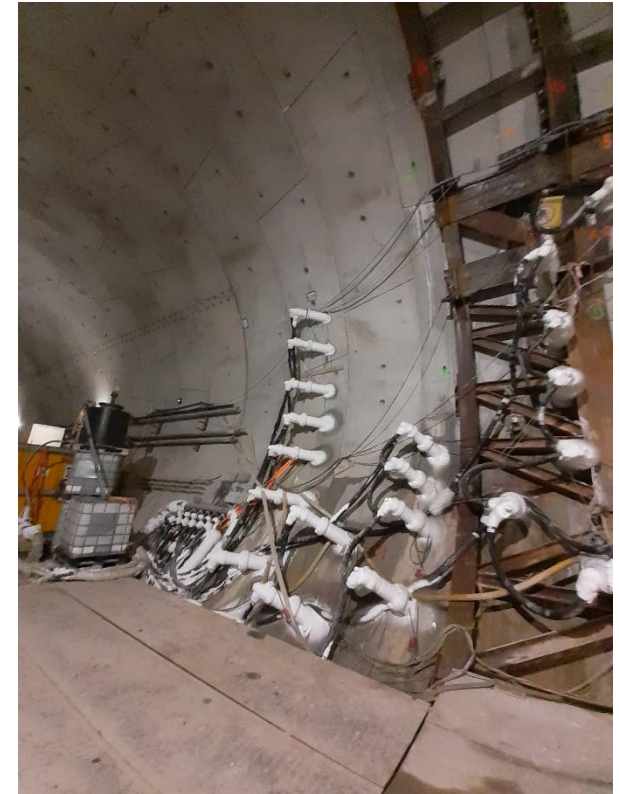


Odwierty w ograniczonej przestrzeni



Montaż instalacji mrozeniowej i rozpoczęcie mrożenia

Przy każdym z wyjść ewakuacyjnych zainstalowano agregat mrozeniowy o mocy około 170 KW, zbiorniki z solanką. W rdzeniu niszy na rurach drenarskich, zainstalowano manometry do pomiaru ciśnienia. Wzrost ciśnienia wskazuje zamykanie ściany lodowej.



Montaż izolacji na obudowie tunelu i ramie



Monitoring mrożenia

- Niezbędnym do zagwarantowania stabilności i bezpieczeństwa wykopu przy wyjściu awaryjnym jest mrożenie gruntu, a nieprzewidywalność procesu jest dość podwyższona, ważne jest dokładne i ciągłe monitorowanie zużycia i temperatury gruntu.
- Wokół elementów mrozących instalowane są sondy termiczne w celu monitorowania w czasie wydłużenia się zamrożonej ściany. Monitoring ma na celu określenie efektywnej grubości zamrożonej ściany i weryfikację zamknięcia kolumn. Ponadto podczas wykopu należy prowadzić monitoring w celu stałego sprawdzania obecności wymaganej grubości, a tym samym bezpieczeństwa wykopu.
- Monitoring pozwoli:
 - zweryfikować założenia projektowe,
 - zidentyfikować nieoczekiwane zachowanie procesu i na czas podjąć środki zaradcze (np. zwiększyć liczbę rur mrozących, zdefiniować potrzebne dodatkowe uzdatnianie gruntu),
 - ustalić, kiedy uzyskano projektową grubość zamrożonej ściany,
 - monitorować wymiary zamrożonej ściany podczas całego procesu wykopu, aż do wyłączenia systemu mrozeniowego.

Średnie pomiary temp. poszczególnych warstw

EE1

		Temperatury [C]												
		T0 (projektowe)	02-15	02-22	03-01	03-08	03-15	03-22	03-29	04-05	04-12	04-19	04-26	05-04
Piasek	T1, T2, T3	8	11,9	8,1	3,9	0,9	-2,7	-5,2	-7,6	-9,4	-10,7	-12,0	-12,8	-12,90
Gлина	T4, T5	8	12,4	3,3	-2,1	-7,4	-12,5	-15,4	-18,0	-19,5	-20,6	-21,7	-22,2	-21,50
Kreda	T6, T7, T8	8	10,6	8,4	2,5	-1,9	-6,0	-8,5	-10,6	-12,3	-13,5	-14,9	-15,7	-16,43

EE2

		T0 (projektowe)	02-28	03-08	03-15	03-22	03-29	04-05	04-12	04-19	04-26	05-04
Piasek	T1, T2, T3	8	11,28	5,58	2,33	-0,69	-4,00	-6,70	-8,62	-10,39	-12,05	-13,21
Gлина	T4, T5	8	11,06	1,43	-4,70	-10,22	-14,86	-17,66	-19,24	-20,66	-21,85	-22,66
Kreda	T6, T7, T8	8	10,29	2,75	-0,66	-4,34	-8,69	-11,51	-13,35	-14,84	-16,21	-17,27

Wstępnie projekt przewidywał

40 dni

Po wykonaniu dodatkowych badań gruntowych

50 dni

Po analizie danych systemu monitoringu

70-75 dni

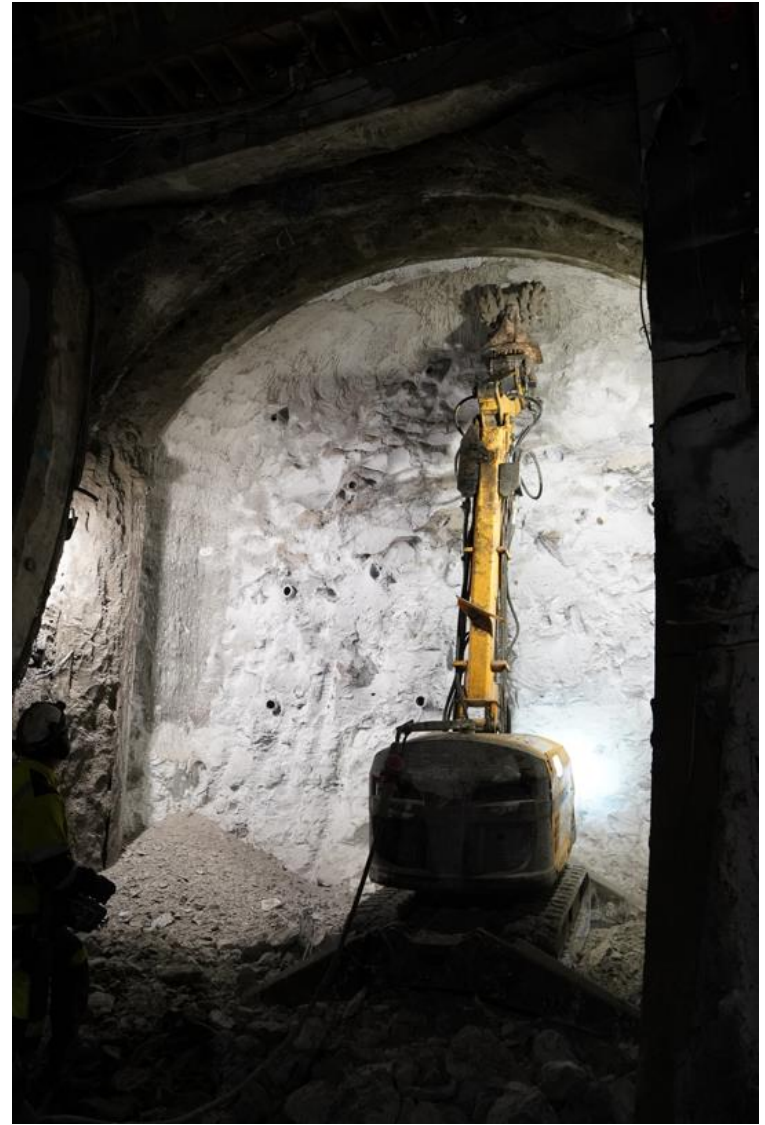
Ostatecznie obudowa tunelu została otwarta po

65 dniach

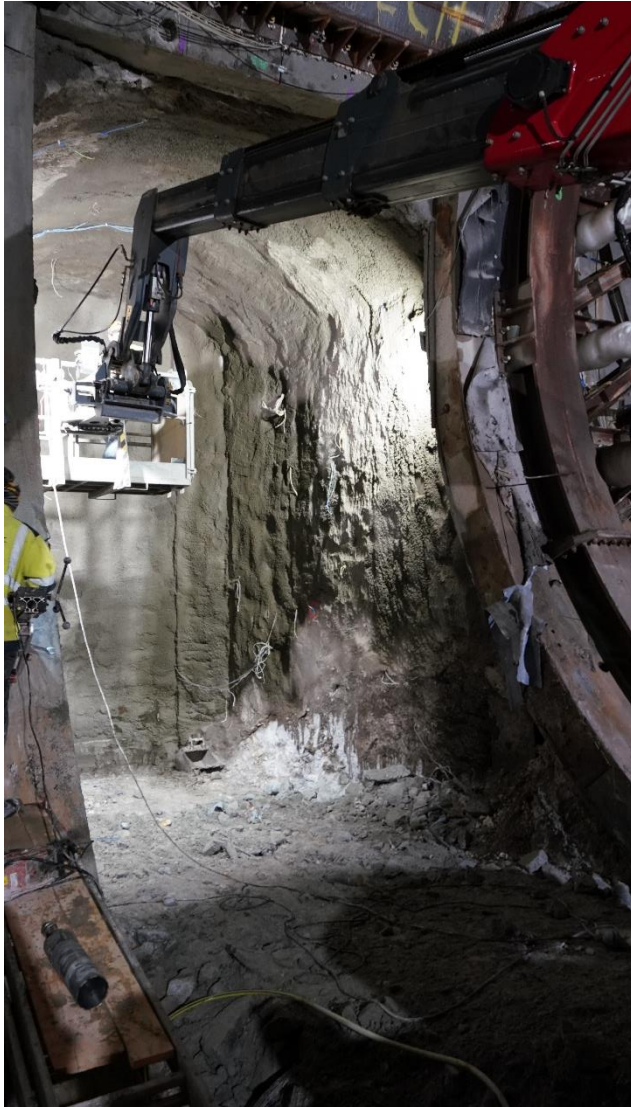
Testy – odwierty kontrolne



Wykop i montaż obudowystępnej



Wykop i montaż obudowystępnej



Dziękuję za uwagę