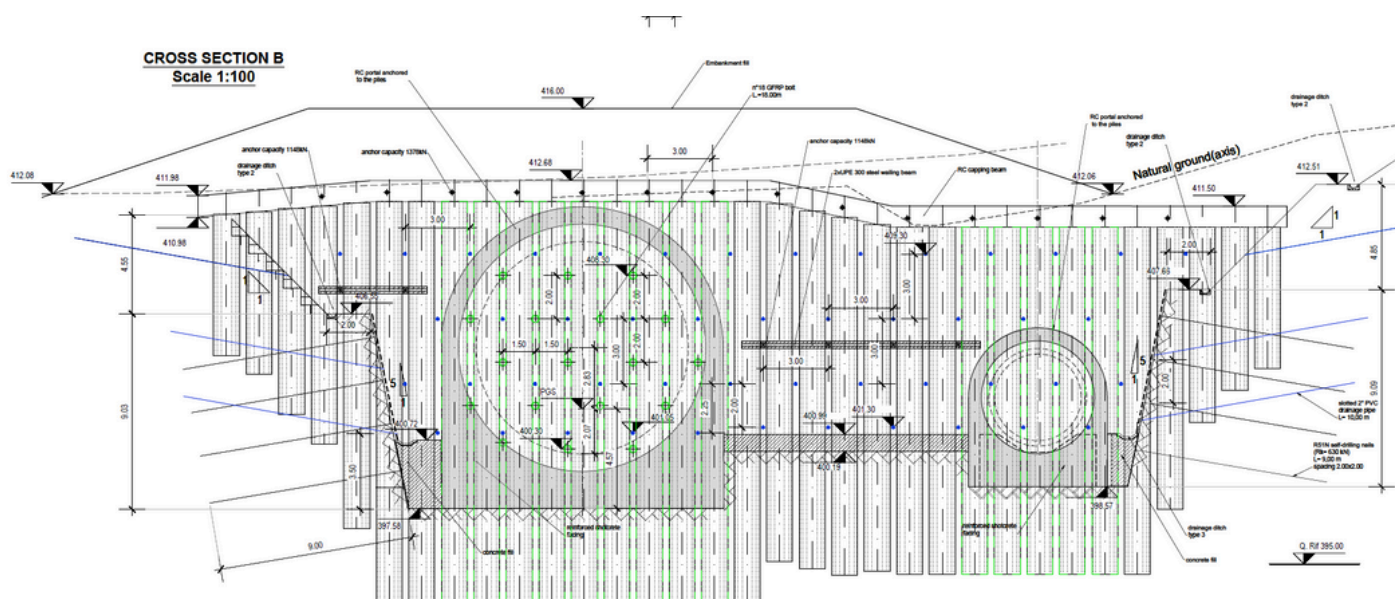




Portale tunelu T10 – realizacja firmy Tergon na linii kolejowej nr 104 odc. D

Zakres zlecenia i ogólny opis projektu

Firma Tergon zrealizowała portal wschodni i zachodni tunelu T10 w ramach modernizacji linii kolejowej nr 104 Chabówka – Nowy Sącz na odc. D Limanowa-Kłęczany, na zlecenie konsorcjum firm Budimex oraz Gülermak. Naszym głównym zadaniem było wykonanie konstrukcji ściany czołowej portalu tunelu T10 wraz z zabezpieczeniem przyległych skarp – zarówno po stronie wschodniej, jak i zachodniej tunelu. Zakres robót obejmował wykonanie palisady z pali wielkośrednicowych o średnicy 1200 mm, stanowiącej zasadniczy element konstrukcyjny ściany czołowej, a także pali typu plastic piles przy portalu wschodnim zabezpieczających etap przebijania się maszyny TBM przez konstrukcję portalu. Dodatkowo w projekcie uwzględniono zakotwienie palisady zwieńczonej ocieplem żelbetowym oraz niższymi ocieplami stalowymi, gwoździe z włókna szklanego w śladzie większej tarczy „Jadwiga” oraz gwoździe gruntowe zabezpieczające przyległe skarpy, które były niezbędne do kompleksowej realizacji konstrukcji oporowej. Dodatkowo, portale posiadają szereg drenów wierconych ułożonych zarówno w czole ścian jak i na przyległych skarpach, które poprawiają warunki gruntowo-wodne.



Rys. nr 1 – Widok ściany czołowej portalu wschodniego wraz z przekrojami przez przyległe skarpy - fragment dokumentacji projektowej



Zdj. nr 1 – Zdjęcia gotowego portalu wschodniego wraz z pracującymi maszynami TBM

Weryfikacja dokumentacji projektowej i wprowadzone usprawnienia

Budowa portali tunelu T10 prowadzona była wg dokumentacji otrzymanej od Generalnego Wykonawcy, jednakże inżynierowie firmy Tergon każdorazowo przed przystąpieniem do realizacji zleconych prac wykonują szczegółową analizę otrzymanej dokumentacji. Gdy widzimy możliwość usprawnienia prac lub zastosowania rozwiązań w naszej ocenie technologicznie lepszych, kontaktujemy się z Generalnym Wykonawcą i proponujemy modyfikacje – tak było również w tym przypadku.

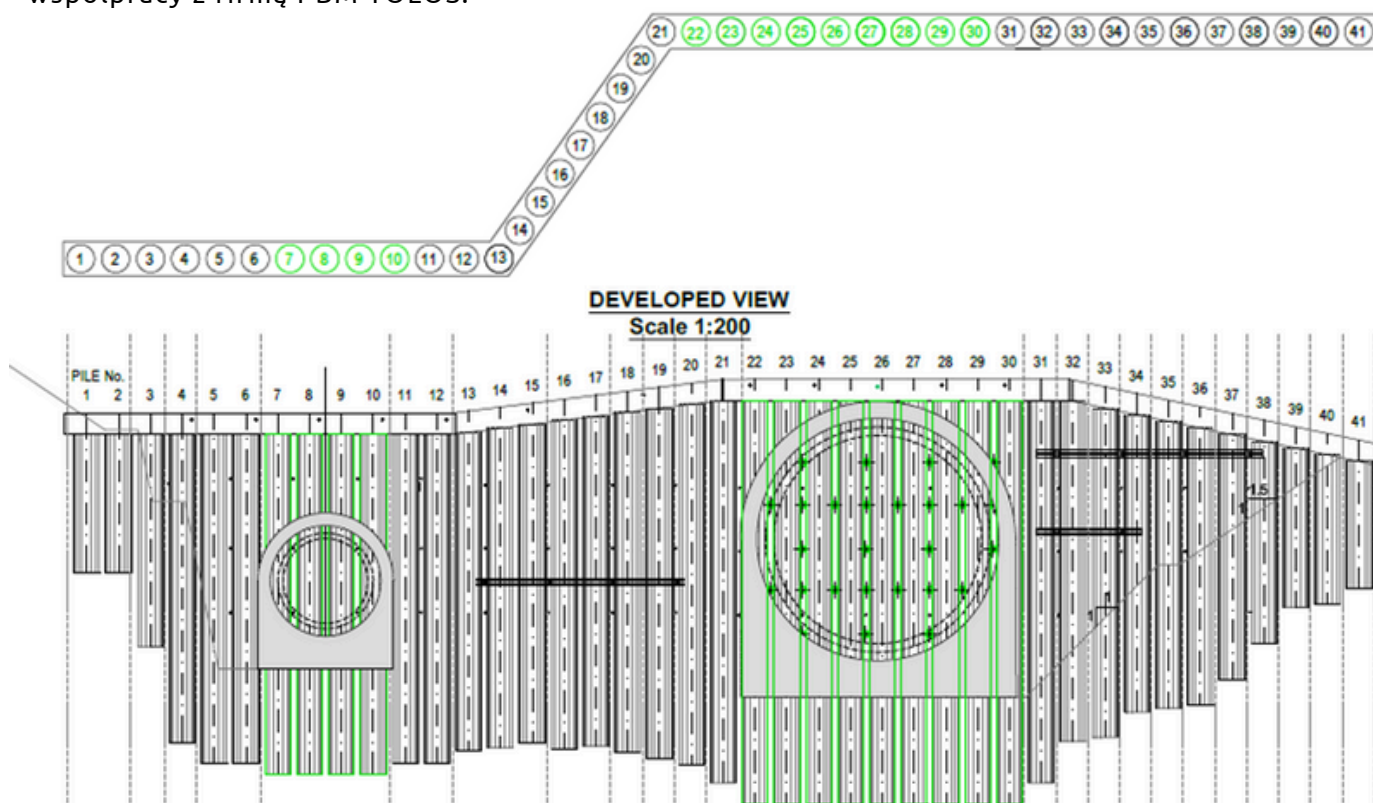
Bardzo istotnym etapem prac było przeprowadzenie dodatkowej analizy stateczności konstrukcji, czego efektem było wydanie projektu technologicznego kotwienia konstrukcji, który doprowadził do wprowadzenia zmian w pierwotnych założeniach. Korekta ta miała na celu zastosowanie sprawdzonej i bezpiecznej technologii zapewnienia stateczności konstrukcji z wykorzystaniem kotew linowych, w tym kotew wielobuławowych. Kluczowe okazało się także odpowiednie dobranie materiałów, które umożliwiły skuteczną realizację całego przedsięwzięcia.

Pale fundamentowe – główna konstrukcja nośna

Pale wielkośrednicowe, w tym pale ze zbrojeniem specjalnym

Ściana czołowa portalu wschodniego została wykonana z 33 pali wielkośrednicowych o średnicy 1200 mm i długości do 18,5m, a w przypadku portalu zachodniego z 41 pali wielkośrednicowych o średnicy 1200 mm i długości do 19m, stanowiących główną konstrukcję nośną. Długość pali była zróżnicowana ze względu na poziom dna wykopu oraz warunki gruntowe.

W ramach tego projektu wykonywaliśmy dwa rodzaje pali konstrukcyjnych różniących się typem zbrojenia. Szczególnie istotne było odpowiednie zaplanowanie doboru materiałów w miejscach, przez które przebiegała się tarcza TBM. Zgodnie z projektem, w tych miejscach zastosowaliśmy pale zbrojone specjalnym koszem z prętów z włókna szklanego, tzw. GFRP, tak aby maszyna rozwierająca mogła bezpiecznie przebić się przez palisadę, bez ryzyka uszkodzenia tarczy ani powstania niepożądanych uszkodzeń w konstrukcji ściany. Pile wielośrednicowe wykonano przy współpracy z firmą PBM TOLOS.



Rys. nr 2 – Plan palowania oraz widok pali ściany czołowej portalu zachodniego z dokumentacji projektowej – na zielono zaznaczono pale zbrojone koszami z prętów GFRP



Zdj. nr 2 – Zdjęcia sprefabrykowanych koszy z prętów GFRP średnicy 25mm

Przyspieszenie prac dzięki równoległemu palowaniu

Z uwagi na bardzo krótki czas realizacji narzucony przez Generalnego Wykonawcę wynikający z terminu kontraktu, wprowadziliśmy usprawnienie wykonania pali przy portalu wschodnim. Naszym celem jest zawsze – i tak było również w tym projekcie – dotrzymanie założonego terminu. Dlatego zdecydowaliśmy się na równoległe prowadzenie prac z użyciem dwóch zestawów maszyn do wiercenia pali wielkośrednicowych – jedna wykonywała pale o średnicy 1200 mm, druga wierciła układ pali plastycznych o średnicy 900 mm w zakresie tunelu ewakuacyjnego. W przypadku pali plastycznych liczył się zakres palowania, a nie średnica pojedynczych pali, dlatego i w tym przypadku zdecydowaliśmy się na optymalizację rozwiązania pierwotnego, zakładającego budowę bloku pali „plastic piles” z pali o średnicy 1200mm.



Zdj. nr 3 – Zdjęcie równoległej pracy dwóch palownic na portalu wschodnim

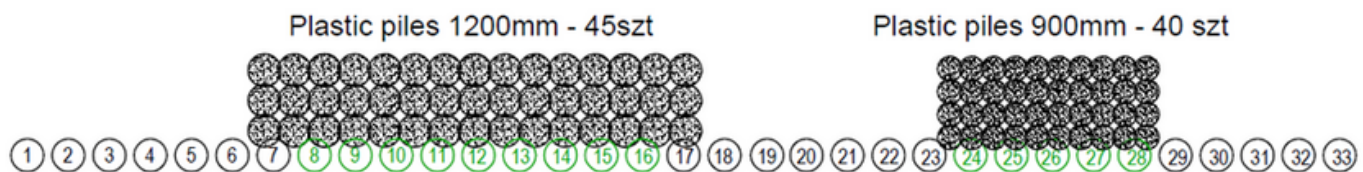
Rola pali plastycznych

Pale plastyczne to pale niezbrojone, wykonane ze słabszego betonu, stanowiące warstwę przejściową pomiędzy konstrukcyjnymi palami nośnymi, a podłożem gruntowym. Ich zadaniem jest stworzenie elastycznego bufora, który ogranicza różnicę sztywności pomiędzy elementami konstrukcyjnymi, a gruntem oraz stanowią dodatkowe zabezpieczenie przed niekontrolowanym zawalaniem w czole przodka tunelu w pierwszym etapie drążenia tunelu.

KEY

○ PILES WITH STEEL REBAR

○ PILES WITH GFRP REBAR

PLAN VIEW

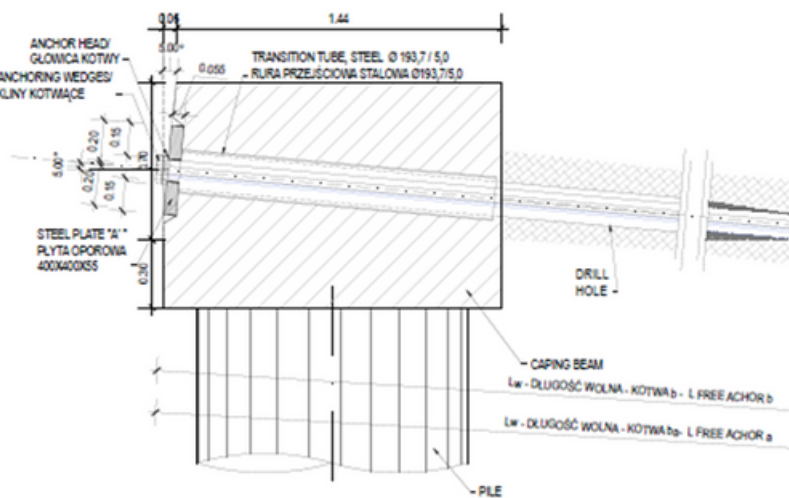
Rys. nr 3 – Plan palowania portalu wschodniego z uwzględnieniem pali plastycznych z Projektu Technologicznego

Rola żelbetowego oczepu

Dla zapewnienia stateczności całej konstrukcji wykonaliśmy również oczep żelbetowy zwieńczający pale nośne. Oczep ten stanowi integralny element konstrukcyjny, który zwieńcza pale palisady oraz jednocześnie stanowi dla nich punkt podparcia dzięki kotwom gruntowym zlokalizowanym w jego poziomie. Sama palisada – nawet wykonana z pali konstrukcyjnych o silnym stopniu zbrojenia – nie byłaby w stanie samodzielnie wytrzymać tak znacznego odstąpienia, wynikającego z różnicy poziomów gruntu po obu stronach ściany.



Zdj. nr 4 – Widok oczepu żelbetowego



Rys. nr 4 – Przekrój oczepu żelbetowego

Kotwy gruntowe – stabilizacja i bezpieczeństwo

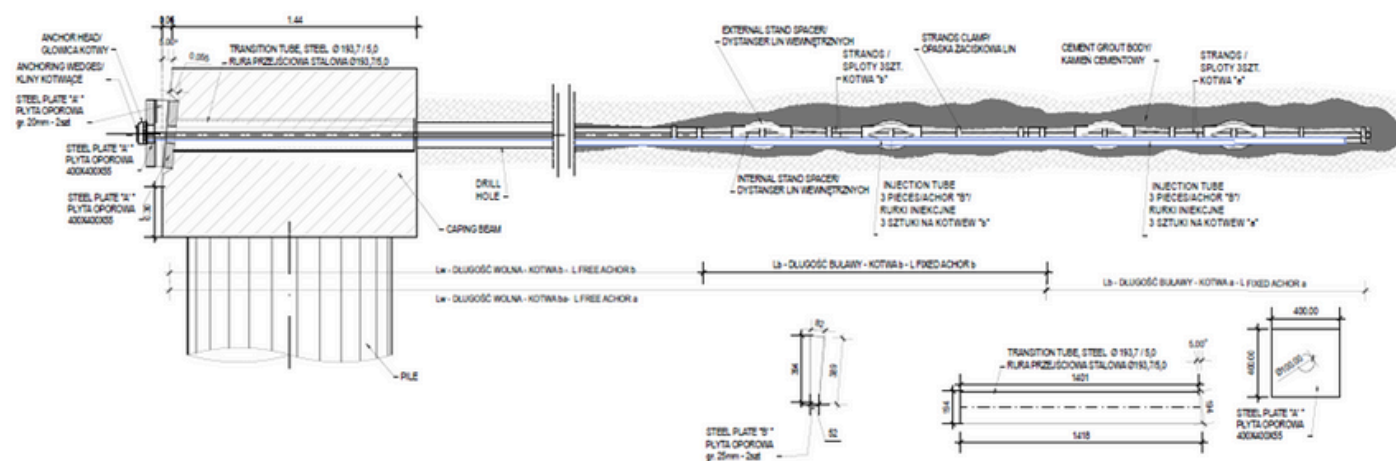
Funkcja i konstrukcja kotew - Nietypowa geometria i analiza kolizji z TBM

Aby przeciwdziałać naporowi gruntu i umożliwić bezpieczne wykonanie głębokiego wykopu, zastosowano linowe kotwy gruntowe, które występują na kilku poziomach. Są to elementy zapewniające stateczność konstrukcji, które wierci się na dużą głębokość za palisadą, oraz wytwarza buławę nośną zakotwioną w gruncie w bezpiecznej odległości.

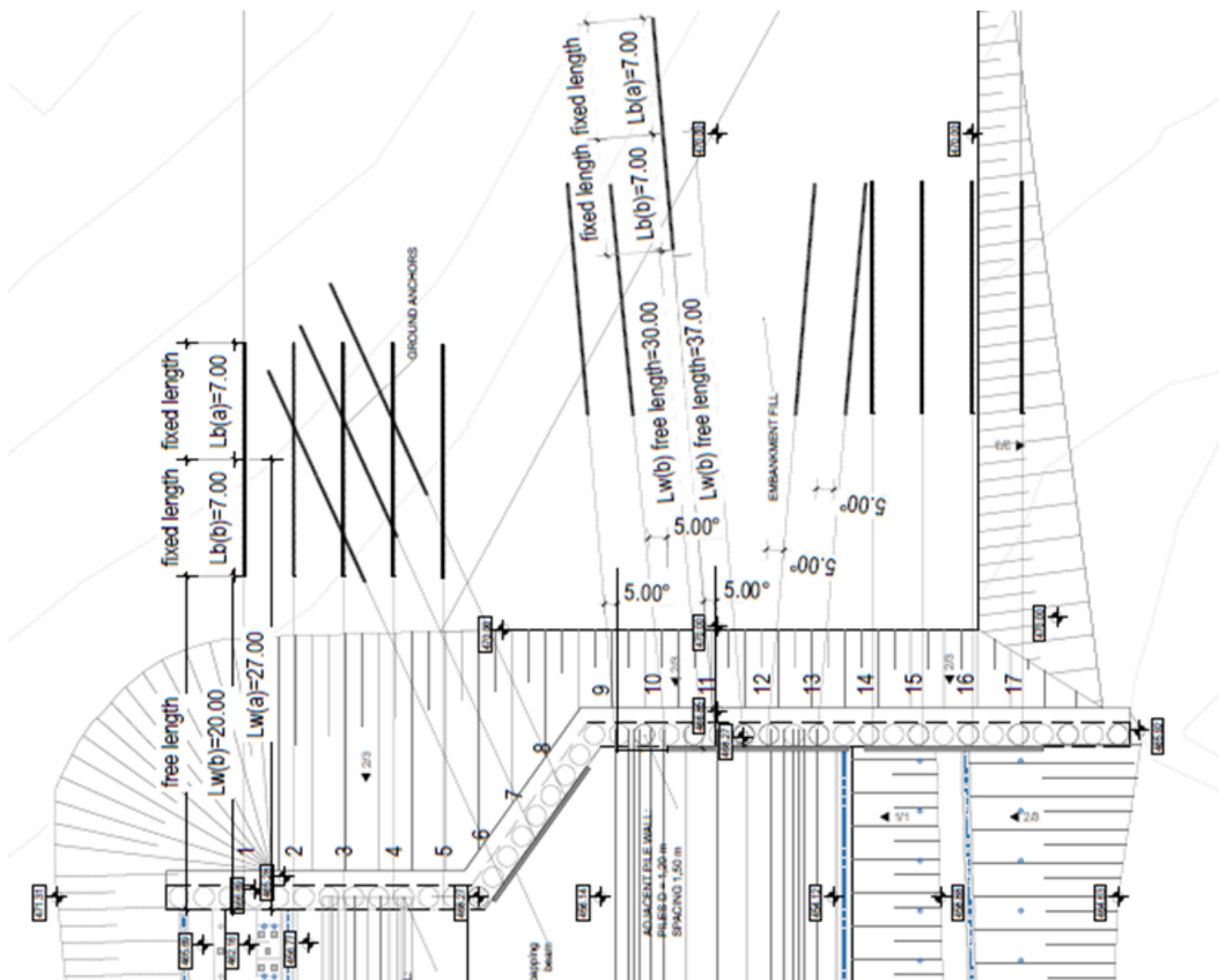
To właśnie te kotwy stabilizują konstrukcję i pozwalają jej przenieść parcie gruntu z ograniczeniem jej przemieszczeń. Firma Tergon zaprojektowała i zrealizowała w ramach budowy portali tunelu T10 kotwy gruntowe, w tym dwubuławowe, sięgające do 44m.

Wykonane w ramach projektu kotwy gruntowe musiały zostać odpowiednio dobrane zarówno pod względem długości, jak i kąta nachylenia, uwzględniając lokalne warunki gruntowe oraz geometrię całej konstrukcji. Szczególnym przypadkiem była kotwa prowadzona nad docelowym tunelem drążonym przez TBM — została ona zaprojektowana i wykonana w układzie poziomym, co nie jest rozwiązaniem standardowym. Takie prowadzenie było konieczne, aby uniknąć kolizji z przyszłą linią drążenia tunelu.

Z tego względu kluczowe było bardzo precyzyjne zaprojektowanie geometrii kotew – zarówno kąta wiercenia, jak i głębokości zakotwienia. Należało wykluczyć ryzyko, że tarcza TBM natrafi na buławę kotwy lub zbliży się do niej na odległość, która mogłaby zagrozić stabilności konstrukcji. To wymagało dużej dokładności projektowej i wykonawczej oraz ścisłej koordynacji między wszystkimi uczestnikami procesu projektowania.



Rys. nr 5 – Przekrój w miejscu kotwienia portalu wschodniego tuż nad dużą tarczą „Jadwiga” z Projektu Technologicznego – kotwa pozioma

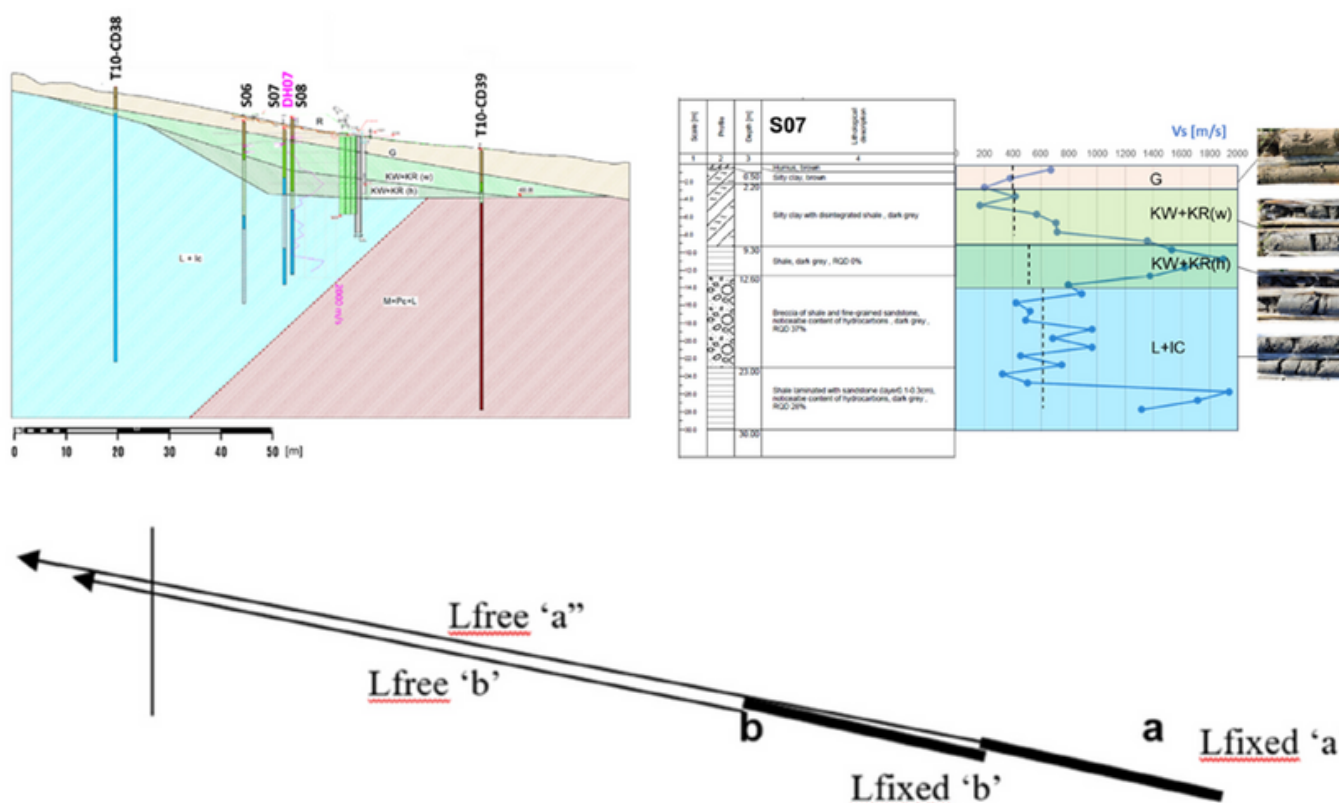


Rys. nr 6 – Plan kotwienia w poziomie oczepu żelbetowego portalu zachodniego z Projektu Technologicznego

Nowe obliczenia i autorskie rozwiązania

Kotwy gruntowe zastosowane w tym projekcie były elementem, w którym firma Tergon zdecydowała się ingerować na poziomie obliczeniowym. Przyjęliśmy na podstawie pierwotnego projektu, że kotwy muszą bezpiecznie przenosić maksymalną siłę do 1412kN, co wymagało dokładnej analizy i zaprojektowania rozwiązania, które zapewni nośność nie niższą niż zakładana w otrzymanym projekcie.

Firma Tergon posiada możliwości techniczne do wykonywania kotew o dużych średnicach jak założone zostały w otrzymanym projekcie, jednak już na etapie analizy dostrzegliśmy zbyt wiele ryzyk związanych z takim rozwiązaniem – zarówno technologicznych, jak i wykonawczych. Dlatego świadomie zdecydowaliśmy się zaproponować nową koncepcję, aby przeprojektować kotwy na średnicę 152 mm, wykorzystać technologię kotew wielobuławowych i opracować pełne obliczenia na nowo.



Rys. nr 7 – Wyciąg z dokumentacji geologiczno-inżynierskiej portalu wschodniego oraz schemat kotwy dwu-bułaowej przyjęty do analizy w Projekcie Technologicznym

Koordinacja i dodatkowe wzmocnienia

W niektórych przypadkach konieczne było wydłużenie kotew oraz szczegółowe sprawdzenie ich przebiegu pod kątem potencjalnych kolizji – zarówno pomiędzy samymi kotwami, jak i w odniesieniu do geometrii oraz trajektorii drążenia tunelu. W tym zakresie ściśle współpracowaliśmy z biurem projektowym odpowiedzialnym za całość projektu portalu. Uważamy, że było to działanie o kluczowym znaczeniu dla bezpieczeństwa oraz powodzenia dalszej realizacji projektu – co potwierdził ostatecznie bezproblemowy start drążenia tuneli, aż do wyjścia tarcz drążących poza strefę kotwienia portalu, w pełni zgodny z naszymi założeniami projektowymi.

Dodatkowo wykonaliśmy również kotwy w ścianie palisady, które następnie zostały spięte belką stalową, nie będące w śladzie przejścia tarczy wierzącej. Rozwiązanie to pełniło funkcję wzmocnienia konstrukcji oraz stabilizacji palisady – utrzymując pale dokładnie w miejscu, w którym zostały wykonane. Było to kluczowe dla zachowania geometrii ściany oraz zapewnienia jej odpowiedniej sztywności, szczególnie w rejonie przejścia tarczy TBM.

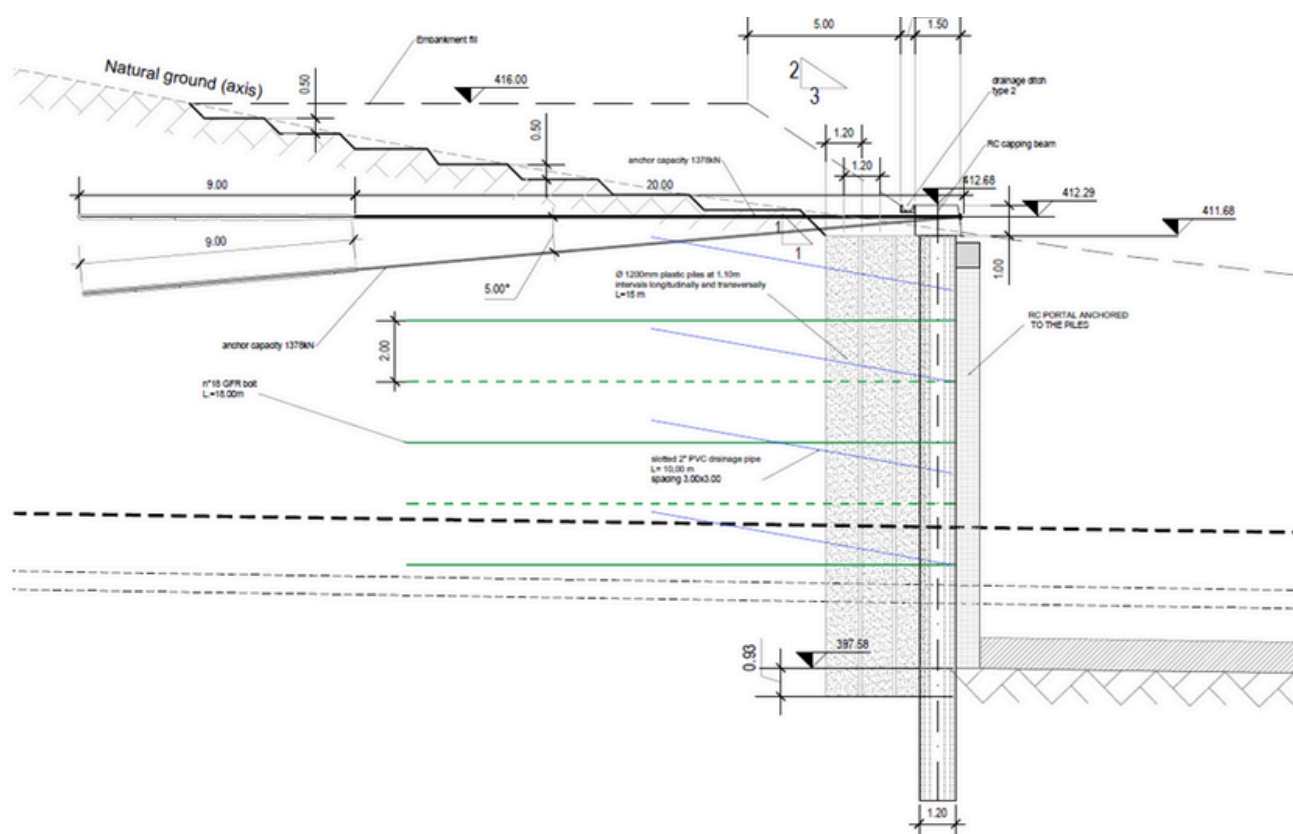
W celu weryfikacji przyjętych założeń projektowych, w palach wielkośrednicowych zabudowano rury inklinometryczne, które służyły do monitorowania odkształcenia konstrukcji palisady. Dodatkowo w głowicach kotew gruntowych zamontowano czujniki siły naciągu. Powyższe pozwoliło monitorować pracę konstrukcji oporowej zarówno w fazie jej odkopywania jak i fazy drążenia tuneli maszynami TBM.



Zdj. nr 5 – Praca zestawu do wiercenia kotew gruntowych na portalu zachodnim

Gwoździe gruntowe GFRP – technologia uzupełniająca

W ramach tego projektu zastosowaliśmy również kolejną technologię – poziome gwoździe gruntowe z włókna szklanego GFRP o długości 18m. Zostały one wykonane w obrębie śladu przejścia tarczy TBM, zarówno na portalu wprowadzającym wschodnim, jak i na wyprowadzającym maszynę - zachodnim. Było to szczególnie istotne ze względu na bardzo niewielki naziom istniejącego gruntu w rejonie ścian czołowych portali. Gwoździe wykonano z odpowiednio dobranego włókna szklanego, aby wyeliminować ryzyko uszkodzenia tarczy TBM w trakcie drążenia.



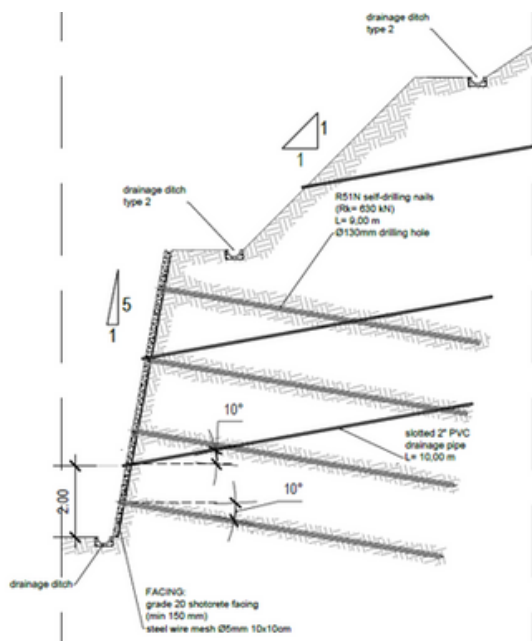
Rys. nr 8 – Przekrój ściany czołowej portalu wschodniego z dokumentacji projektowej – kolorem zielonym zaznaczono poziome gwoździe gruntowe GFRP w śladzie pracy dużej tarczy „Jadwiga”



Zdj. nr 6 – Praca zestawu do wiercenia gwoździ gruntowych GFRP oraz drenów wgłębnych w czole ściany portalu wschodniego

Zabezpieczenie skarp przylegających

Stateczność przyległych skarp, często mocno nachylonych, nawet 5:1 w bezpośredniej bliskości ściany czołowej została osiągnięta m.in. poprzez wbudowanie szeregu gwoździ gruntowych stalowych typu R51 oraz oblicowanie torkretem z siatką stalową. Dodatkowo w ramach prac wykonano również dreny wiercone odwadniające, prowadzone pod odpowiednim kątem, umożliwiające skuteczne odprowadzenie wody ze skarp przyległych. Ich zastosowanie wraz z układem gwoździ gruntowych poprawia warunki stateczności skarp.



Rys. nr 9 – Przekrój skarpy przyległej



Zdj. nr 7 – Praca zestawu do zabezpieczania skarp przyległych

Podsumowanie – wnioski z realizacji

Budowa portali tunelu T10 z pewnością należała do projektów bardzo złożonych technologicznie i logistycznie, co w powiązaniu z naciskiem na krótkie terminy realizacji stanowiło duże wyzwanie wykonawcze. O jej charakterze decydowały skomplikowane warunki gruntowe, w tym wiercenie w tak zwanym fliszu karpackim, mnogość zastosowanych technologii oraz konieczność wykorzystania nietypowych materiałów – takich jak włókno szklane. To właśnie różnorodność metod, nietypowe rozwiązania, wykonywanie robót w trudnych warunkach gruntowych oraz terenowych stanowiły o wyjątkowości tej realizacji.

Istotnym elementem naszego udziału w projekcie było również zaprojektowanie systemu zakotwienia palisady, który miał kluczowe znaczenie dla zapewnienia stateczności portali. W tym zakresie firma Tergon samodzielnie opracowała odpowiednie rozwiązania, angażując się w obliczenia konstrukcyjne i analizę pracy całego układu. Wprowadziliśmy autorsko zaprojektowane kotwy dwubuławowe, dostosowane zarówno do warunków gruntowych, trajektorii pracy maszyny TBM, oraz parametrów sprzętu, którym dysponowaliśmy.



Zdj. nr 8 – Zdjęcia przygotowanego portalu wschodniego do wprowadzenia maszyn TBM