

TUNELE

REALIZACJA PORTALI TUNELOWYCH

W RAMACH BUDOWY
DROGI EKSPRESOWEJ S1
NA ODCINKU
PRZYBĘDZA – MIŁÓWKA

■ SZYMON ŻELAZNOWSKI
Projektant Keller Polska

Z TEKSTU DOWIESZ SIĘ:

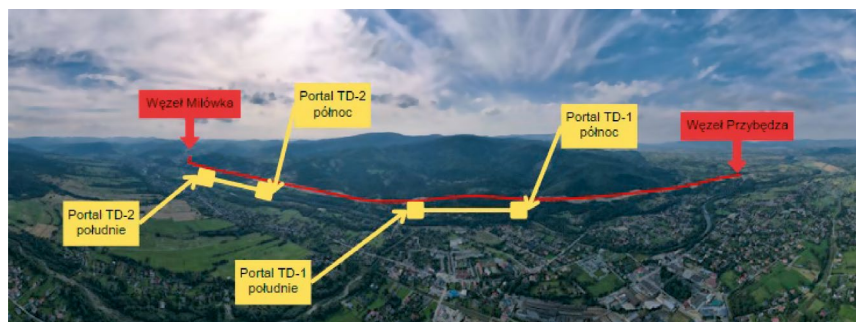
- ✓ na czym polegały prace związane z zabezpieczeniem wejść do tuneli,
- ✓ z jakimi wyzwaniami musiał uporać się zespół projektowo-wykonawczy,
- ✓ jakie rozwiązania zastosowano w trakcie realizacji.

FOT. | Portal TD-2 północ przez masyw Białozżyński Groń. Fot. GDDKiA

Budowa drogi ekspresowej S1 na odcinku od węzła „Przybędza” do węzła „Miłówka”, realizowana od 2019 r., stanowi bardzo trudne wyzwanie pod względem geotechnicznym oraz logistycznym. Newralgicznymi obiektami w kontekście realizacji założeń harmonogramu są dwa tunele o łącznej długości ok. 1800 m, wykonywane pod masywami Barania Góra i Białozżyński Groń (odpowiednio tunel TD-1 oraz tunel TD-2). Do wykonania tuneli zastosowano metodę drążenia NATM, polegającą na maksymalnym wykorzystaniu samonośności górotworu, co wymaga wykonywania robót w wielu etapach. Realizację prac w ramach budowy tuneli rozpoczyna się od wykonania portali tunelowych: są to

miejsca, w których tunel przechodzi przez powierzchnię i stanowią wejścia do obiektu. Portale muszą być zaprojektowane tak, aby umożliwiały bezpieczne rozpoczęcie drążenia tunelu. Firma Keller Polska podjęła

się wykonania kompleksowego zabezpieczenia wszystkich czterech portali dla obu tuneli – zarówno od strony projektowej, jak i wykonawczej. Rozwiązanie zabezpieczenia każdego z portali jest unikatowe, a różno-



FOT. 1. | Przebieg odcinka drogi ekspresowej S1

rodność wyzwań oraz problemów geotechnicznych, które napotkano w trakcie realizacji, ukazuje stopień skomplikowania całej budowy. W ramach budowy drogi S1 firma Keller Polska realizowała również zabezpieczenia licznych skarp głębokich wykopów i nasypów.

Jako typowe rozwiązanie wykorzystane do zabezpieczania ścian oraz skarp portali przyjęto gwoździowanie. Ściany czołowe (o nachyleniu 1:0,6) zabezpieczono dodatkowo torkretem zbrojonym, natomiast skarpy boczne, o łagodniejszym nachyleniu, zabezpieczano powierzchniowo siatką stalową przytwierdzoną szpilkami bądź gwoździami. Odwodnienie skarp miały zapewniać rowy stokowe oraz drenaże wgłębne. Przyjęte rozwiązanie było weryfikowane w szczególnie trudnych warunkach gruntowych fliszu karpackiego, gdzie na stosunkowo krótkim odcinku uwarunkowania geologiczne mogą się diametralnie różnić. W zależności od potrzeb, dla poszczególnych portali modyfikowano rozwiązanie pod względem technologii wykonania gwoździ, bądź wprowadzania dodatkowych elementów w postaci palisad lub mikropali.

PORTAL TD-1 POŁUDNIE

W pierwszej kolejności przystąpiono do projektowania oraz realizacji zabezpieczenia skarp portalu TD-1 południe. W więk-

szości wykopu dominowała warstwa skały twardej, piaskowcowo-zlepieńcowej o stosunkowo dobrych parametrach wytrzymałościowych ($R_c > 39 \text{ MPa}$), co pozwoliło na wykorzystanie stosunkowo krótkich gwoździ (7-10 m) do zabezpieczenia ściany czołowej o wysokości do 14 m.

Głównym wyzwaniem portalu TD-1 południe okazało się silne uszczelinowanie górotworu (rys. 1, fot. 2-3). Próby wykonania pierwotnie zakładanych gwoździ z przewiertem wstępnym bądź gwoździ samowiercących na standardowym zaczynie zakończyły się niepowodzeniem, ze względu na brak możliwości wykonania iniekcji gwoździa (ucieczka zaczynu cementowego w głąb górotworu).

Skala zastanego na budowie problemu wymusiła konieczność zrewidowania pierwotnego projektu oraz metody iniekcji gwoździ. Zespół projektowo-wykonawczy zdecydował się na próbę zastosowania pasty betonowej, którą zastąpiono standardowo podawany zaczyn cementowy. Opracowano specjalną recepturę materiału iniekcyjnego, którego zastosowanie zagwarantowało prawidłowe otulenie zbrojenia gwoździa, zapewnienie odpowiedniej przyczepności do bloków skalnych oraz brak ucieczki pasty w szczeliny, a w konsekwencji właściwe zabezpieczenie portalu. Ze względu na zastosowane modyfikacje materiałowe zwiększono również średnicę wiercenia gwoździ oraz ich długość.

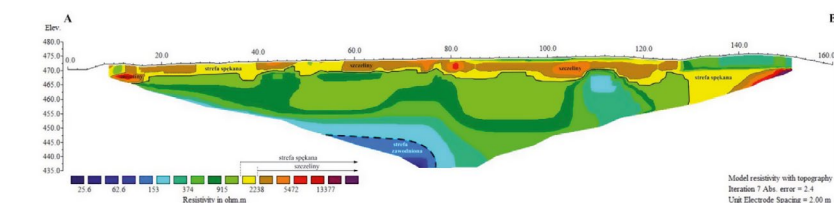


FOT. 4. | Wykonany portal TD-1 południe

PORTAL TD-2 PÓŁNOC

Niemal równocześnie z portalem TD-1 południe przystąpiono do prac nad zabezpieczeniem oddalonego od niego o ok. 2 km portalu TD-2 północ. Lokalizacja portalu charakteryzuje się zupełnie odmienną budową geologiczną od poprzednika: znajduje się na obszarze zaburzonym tektonicznie. Obszar TD-2 północ zaliczany jest do terenów predysponowanych osuwiskowo. W niedalekiej odległości (ok. 50 m) od portalu znajduje się czynne osuwisko zabezpieczane przez firmę Keller poprzez palisadę (KO-8). W podłożu zalegają zwietrzliny do głębokości ok. 10 m, a poniżej łupki pstry o bardzo niskich parametrach wytrzymałościowych: po odkopaniu zachowują się jak grunty zwietrzelinowe, a w kontakcie z wodą podlegają łatwemu rozmakaniu oraz są podatne na erozję (fot. 5).

W pierwszej wersji projektu zastosowano gwoździe o długościach 10-18 m, jednak o skali napotkanych komplikacji świadczy liczba zmian projektowych przeprowadzonych w trakcie budowy. Portal doczekał się pięciu rewizji oraz kilku dodatkowych opracowań dotyczących północnej skarpy bocznej. Znaczącą rolę w procesie projektowania ściany czołowej odegrał wcześniej założony monitoring skarpy oraz pomiary przeprowadzane w drążonym tunelu. Znaczne przemieszczenia w trakcie prowadzonych prac wymusiły zastosowanie dodatkowego zabezpieczenia w postaci wydłużenia gwoździ w dolnej części portalu oraz wykonanie pali CCFA u jego podstawy (fot. 6).



RYS. 1. | Wyniki badania elektrooporowego



FOT. 2-3. | Stan odkopanego górotworu – portal TD-1 południe



FOT. 5. | Wykop w obrębie zwierzeł w łupków pstrych



FOT. 6. | Trwające prace przy portalu



FOT. 7. | Wykonany portal TD-2 północ

Wyzwanie stanowiła również wspomniana wcześniej północna skarpa. Mimo bardzo łagodnego pochylenia (zbliżonego do 1:2), skarpa wykazywała zwiększone przemieszczenia. Ewentualne osunięcie zagrażało instalacji zasilającej wentylację tunelu TD 2.1. Nie można było pozwolić na potencjalne opóźnienie drążenia tunelu, w związku z tym zastosowano dodatkowe gwoździe o zwiększonej długości oraz nośności, a gdzie nie było to możliwe, dodatkowo mikropale wykonywane lekką maszyną z górnej części skarpy.

Zabezpieczenie tego portalu wymagało największego udziału zespołu projektowego. W trakcie realizacji wprowadzono szereg zmian projektowych, które musiały uwzględnić zastane skomplikowane warunki gruntowe oraz trwające równoległe prace przy drążeniu tuneli.

PORTAL TD-2 POŁUDNIE

Portal TD-2 południe wyróżnia w szczególności układ jego skarp: wykop portalu wcina się w górotwór tworząc charakterystyczny trójkątny kształt, który w najwyższym punkcie osiąga wysokość ok. 30 m. W podłożu zalegają głównie warstwy skał: w górnej części miękkie łupki, w dolnej twardsze piaskowce, często przewarstwione łupkami. W celu zabezpieczenia stateczności zastosowano gwoździe o długościach 12-28 m oraz zwiększono zasięg stosowania oblicowania z torkretu

Przyjęte rozwiązanie było weryfikowane w szczególnie trudnych warunkach gruntowych fliszu karpackiego, gdzie na stosunkowo krótkim odcinku uwarunkowania geologiczne mogą się diametralnie różnić



FOT. 8. | Wykonany portal TD-2 południe



Rozwiązanie zabezpieczenia każdego z portali jest unikatowe, a różnorodność wyzwań oraz problemów geotechnicznych, które napotkano w trakcie realizacji, ukazuje stopień skomplikowania całej budowy



na stromy fragment skarpy bocznej w narożniku portalu.

Ze względu na kształt ściany czołowej oraz niewielki nadkład gruntu nad planowanym tunelem TD-2.2 istniało ryzyko uruchomienia zjawisk osuwiskowych (równoległych do ściany zabezpieczenia) podczas drążenia obiektu. W tym celu zaprojektowano oraz wykonano palisadę wzdłuż tunelu. Wykonanie jej było wyzwaniem, ze względu na trwające prace nad właściwym zabezpieczeniem skarpy czołowej. Odpowiednie analizy numeryczne wykazały jednak możliwość bezpiecznego wprowadzenia ciężkiej maszyny na górę portalu, co pozwoliło na sprawne wykonanie robót.

PORTAL TD-1 PÓŁNOC

Podłoże w rejonie TD-1 północ jest bardzo zaburzone tektonicznie: w okolicy

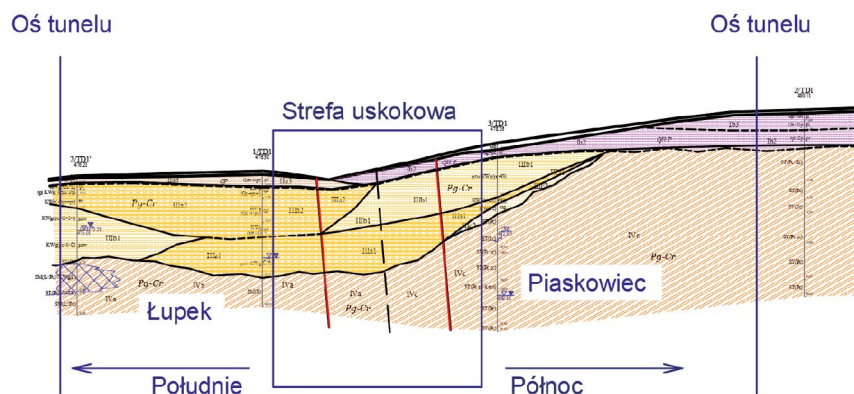
znajdują się trzy uskoki, a jeden z nich bezpośrednio przecina podłoże w miejscu portalu (rys. 2, fot. 9, 10). Na północ od uskoku zalegają twarde, trudno urabialne skały zlepieńcowe oraz piaskowce, natomiast na południe miękkie skały łupkowe. Dodatkowo wzdłuż uskoku biegnie jar, który podczas opadów zbiera wodę ze znacznego obszaru. Niewątpliwie lokalizacja tego zabezpieczenia przypadła na jedno z najtrudniejszych warunków gruntowo-wodnych na rozważanym odcinku trasy.

Zarówno ściana czołowa, jak i bardzo strome skarpy boczne wymagały zabezpieczenia długimi gwoździami (do 28 m) w bardzo gęstym rozstawie. Równie ważnym elementem zabezpieczenia okazało się odpowiednie odwodnienie portalu. Konieczne było zebranie wody napływającej z górnej części wzniesienia rowem stoko-

wym. Zaprojektowano również dodatkowy drenaż francuski bezpośrednio przy górnej krawędzi ściany czołowej oraz wykonano znaczną ilość drenów wgłębnych (w szczególności w rejonie jaru).



FOT. 9. | Teren przed wykonaniem portalu TD-1 północ z widocznym jarem/strefą uskokową



RYS. 2. | Badania w rejonie TD-1 północ w ramach DGI



FOT. 10. | Widoczna strefa uskokowa podczas trwających prac



FOT. 11. | Wykonany portal TD-1 północ, widoczny duży wypływ wody z drenów w miejscu jaru

Rejon uskoku okazał się problematyczny także podczas realizacji. W trakcie badań nośności gwoździ okazało się, że część z nich nie przenosi zakładanego obciążenia. Podjęto decyzję o wykonaniu poziomego otworu geologicznego w miejscu wcześniej niedostępnym dla badań. Na podstawie szczegółowej analizy dodatkowych danych, zespół projektowo-wykonawczy uznał, że problem leży w wypłukaniu zaczynu cementowego przez wodę, co wiązało się z ograniczeniem nośności zewnętrznej gwoździ. Rozwiązaniem była zmiana techniki wiercenia oraz iniekcji. Zastosowano metodę hybrydową, wykorzystującą tradycyjną metodę z przewierczeniem wstępnym do wykonania przewiertu sterowanego, następnie w miejscu przewiertu zastosowano gwoździe samowierzące pozwalające na odpowiednie zainiektowanie otworu (które ze względu na długość gwoździ oraz zakotwienie w skale twardej były niemożliwe do zastosowania bez przewiertu).

PODSUMOWANIE

Zabezpieczenie portali tunelowych wymagało wykonania 25 500 mb gwoździ gruntowych, 6500 m² powierzchni skarpy zabezpieczonej torkretem, 7500 mb drenów wgłębnych oraz 1000 mb pali CCFA, co stanowi jedynie część prac geotechnicznych wykonanych na odcinku obejścia Węgierskiej Górki. Kompleksowa realizacja zabezpieczeń w tak złożonych warunkach geologicznych wymagała ciągłego zaangażowania zespołu wykonawczego oraz projektowego. Wyzwania stawiane

Portal doczekał się pięciu rewizji oraz kilku dodatkowych opracowań dotyczących północnej skarpy bocznej



FOT. 12. | Widok na mury oporowe MO7, MO8, MO9, skarpy KO4, KO5, ścianę oporową SO4 oraz portal TD-1 północ



FOT. 13. | Widok na mur oporowy MO4, ścianę oporową SO2 oraz portal TD-2 południe

przez zmienność fliszu karpackiego wymagają szybkiej reakcji w dostosowywaniu rozwiązań projektowych oraz elastyczności zespołu wykonawczego, który ma do dyspozycji zróżnicowany sprzęt.

Planowane niebawem zakończenie prac wykonywanych przez firmę Keller Polska na przedmiotowym odcinku S1 potwierdza jej zdolność do podjęcia się kompleksowego zaprojektowania oraz wykonania robót geotechnicznych w skomplikowanych warunkach górskich. Doświadczenie zdobyte w szczególnie trudnym rejonie okolic Żywca oraz Wisły stanowi istotny atut firmy Keller w zakresie podobnych realizacji na południu Polski. |



III KONGRES GEOINŻYNIERIA I BUDOWNICTWO PODZIEMNE

24-26 WRZEŚNIA 2024 / RZESZÓW

PARTNERZY / PATRONI



TWOJA FIRMA TEŻ MOŻE ZOSTAĆ PARTNEREM KONGRESU

PARTNER GENERALNY



PARTNERZY PLATYNOWI



PARTNERZY ZŁOCI



PARTNERZY SREBRNI



ZAREJESTRUJ SIĘ!

konferencje.inzynieria.com

