



Tunele TS-26 i TS-32 w ciągu drogi ekspresowej S3 Bolków – Kamienna Góra



tekst: mgr. inż. PIOTR SARNOWSKI, mgr. inż. WOJCIECH NOWAK, mgr. inż. TOMASZ NOWACKI, mgr. inż. ŁUKASZ LEKKI, inż. KAROLINA ROSWAG-NOWACKA, PORR SA, zdjęcia i film: PORR SA

Budowane przez konsorcjum firm PORR SA oraz PORR Bau GmbH tunele TS-26 i TS-32 realizowane są w ramach inwestycji *Zaprojektowanie i wybudowanie drogi S3 Legnica (A4) – Lubawka, zadanie III od węzła Bolków (bez węzła) do węzła Kamienna Góra Północ (bez węzła), o długości ok. 16,1 km.*

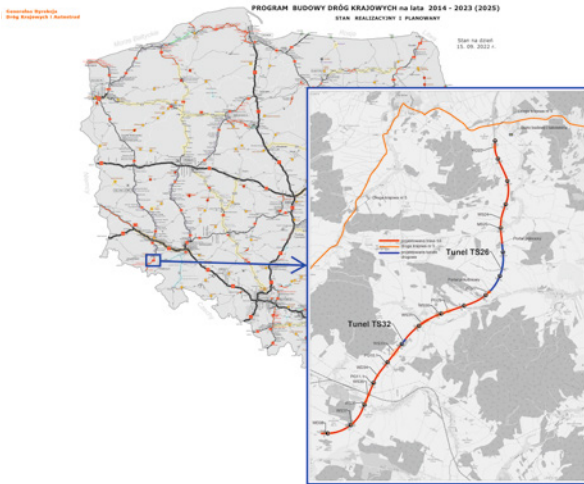
1. Wstęp

Budowana droga ekspresowa S3 jest ważnym szlakiem transportowym i stanowi część międzynarodowego korytarza drogowego TEN-T E65 wiodącego z północy na południe Europy (ryc. 1). Z uwagi na przyjętą przez inwestora (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad reprezentowana przez Oddział we Wrocławiu) formułę projektuj i buduj realizacja inwestycji została podzielona na dwa etapy: prac projektowych oraz realizacji robót. Etap prac projektowych rozpoczął się od podpisania umowy 17 października 2018 r. i zakończył się pozyskaniem decyzji ZRID 21 sierpnia 2020 r. Zakończenie robót planowane jest na 2024 r.

Tunel TS-26 o długości 2301,88 m, zlokalizowany w pobliżu miejscowości Stare Bogaczowice, jest obecnie najdłuższym pozamiejskim tunelem w Polsce. Tunel TS-32 o długości 320 m znajduje się w pobliżu miejscowości Gostków.

2. Opis konstrukcji tunelu

Obydwa tunele zaprojektowane są w ciągu drogi ekspresowej S3 o jezdniach poprowadzonych w osobnych nawach. Przekrój poprzeczny drogi w tunelach uwzględnia dwa pasy ruchu o szerokości 3,50 m, pas awaryjny 2,50 m, opaskę 0,50 m oraz obustronne chodniki ewakuacyjne o szerokości 1,00 m. Wysokość skrajni drogowej wynosi 4,70 m.



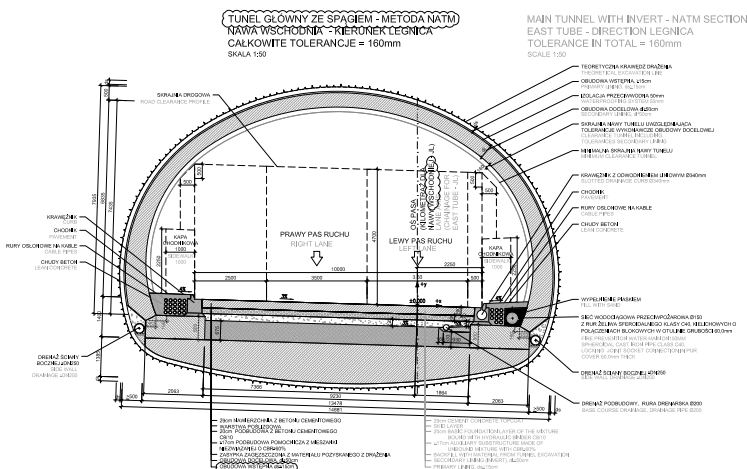
Ryc. 1. Lokalizacja tuneli w ciągu drogi ekspresowej S3 Bolków – Kamienna Góra

Rozwiązania konstrukcyjne w obydwu tunelach wynikają z zastosowanych odmiennych technologii ich budowy. Tunel TS-26 wykonywany jest metodą górniczą w technologii NATM (nowa metoda austriacka), natomiast tunel TS-32 metodą odkrywkową w wykopie otwartym.

2.1. Tunel TS-26

Tunel TS-26 składa się z części portalowych wykonywanych metodą odkrywkową o długości od 39,64 m do 49,24 m oraz z zasadniczej części wykonywanej metodą górniczą o długości 2213,00 m w przypadku nawy wschodniej i 2207,76 m dla nawy zachodniej.

Zgodnie z założeniami NATM budowa części górniczej tunelu TS-26 została podzielona na dwa etapy. Pierwszy z nich polegał na wydrążeniu tunelu i wykonaniu obudowy wstępnej, zabezpieczającej wyrobisko na czas drążenia. Drugim etapem było wykonanie obudowy ostatecznej, stanowiącej docelową konstrukcję tunelu. Typowy przekrój poprzeczny tunelu pokazano na rycinie 2.

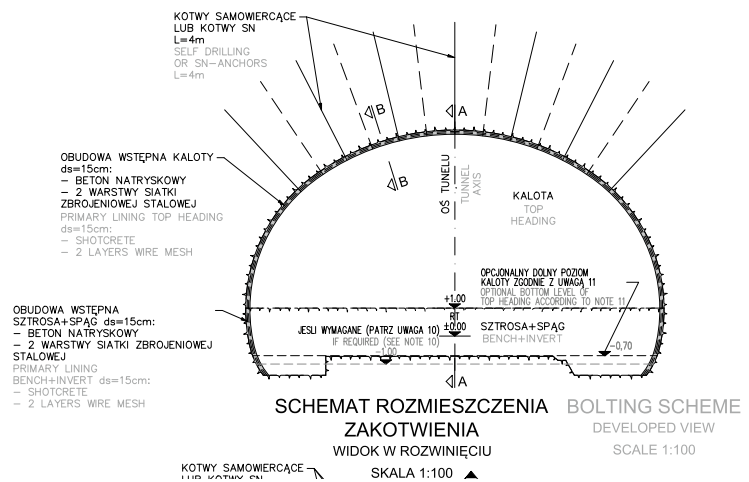


Ryc. 2. Typowy przekrój w tunelu TS-26 z płytą spagową

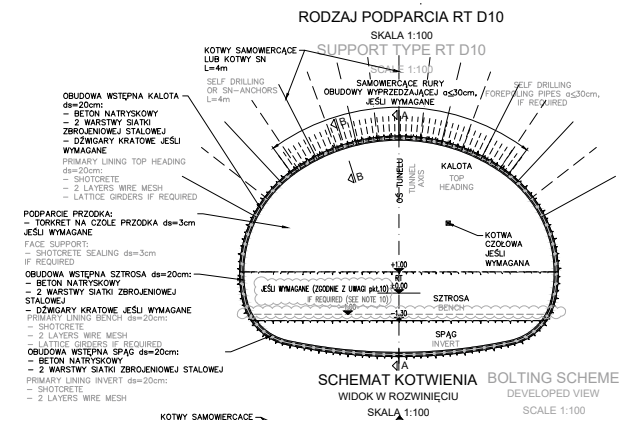
W projekcie tunelu TS-26 określono cztery główne typy obudowy wstępnej, oznaczone literowo: A, B, C, D, oraz po cztery podtypy dla każdego typu głównego, oznaczone liczbowo: 10, 20, 30, 40. W sumie zaprojektowano 16 typów obudów wstępnych o zastosowaniu określonym na podstawie przewidywanych

warunków geotechnicznych. Obudowa typu A10 przeznaczona była dla najkorzystniejszych warunków geotechnicznych, natomiast typu D40 miała zastosowanie przy najmniej sprzyjającej geologii. Dodatkowym podziałem było zaprojektowanie obudów z otwartym spągkiem (ryc. 3) oraz zamkniętym pierścieniem obudowy w części spągowej (ryc. 4).

Drążone wyrobisko miało szerokość ok. 15,0 m i wysokość do ok. 10,50 m. Całkowite pole przekroju poprzecznego tunelu wynosiło ok. 147 m². Przekrój tunelu został podzielony na trzy części: kalotę, sztrośę i spąg, których wymiary dostosowano do warunków geotechnicznych, zapewniając stateczność czoła przodka oraz uwzględniając wymagania sprzętowe narzucone przez wykonawcę.



Ryc. 3. Klasa obudowy wstępnej typu B10



Ryc. 4. Klasa obudowy wstępnej typu D10

Maksymalny nadkład nad tunelem to ok. 55 m. Minimalne przykrycie tunelu wynosi 6,0 m w strefach przyportalowych.

Obudowa wstępna tunelu składa się z następujących elementów: obudowa betonowa z betonu natryskowego o grubości od 15 cm do 30 cm, zbrojona siatką lub włóknami stalowymi, kotwy czołowe, beton natryskowy na czole przodka o grubości min. 3 cm, dźwigary stalowe (łuki), obudowa wyprzedzająca w postaci prętów stalowych o średnicy 25 mm, kotw samowiercących o średnicy 32 mm ($L_{min} = 4,00$ m), rur stalowych 51 mm x 3 mm ($L_{min} = 4,00$ m) lub parasola z rur stalowych 114 mm x 6,3 mm ($L = 15,0$ m), kotwy skalne ($L_{min} = 4,00$ m, 6–11 sztuk na zabiór) typu SN, samowiercące lub rozprężne. Parametrem określonym dla każdego typu obudowy była długość zabioru wynosząca w przypadku kaloty od 0,80 m

do 2,00 m, dla sztrocy i spągu od 1,60 m do 6,00 m. Obudowę wstępną zaprojektowano z betonu natryskowego klasy C20/25 w przypadku stosowania zbrojenia siatkami lub klasy C25/30 w przypadku stosowania włókien stalowych.

Pomiędzy obudową wstępną a obudową ostateczną znajduje się dwuwarstwowa izolacja w postaci geowłókniny o gramaturze 500g/m², pełniącej funkcję ochronną dla geomembrany PCV o grubości 2,10 mm.

Obudowa ostateczna tunelu została zaprojektowana z betonu klasy C40/50 o grubości min. 40 cm lub 50 cm, zbrojonego stalą zbrojeniową klasy B500SP. W przypadku obudowy bez płyty spągowej łuk obudowy oparty jest na ławach fundamentowych o wymiarach 2,06 m x 0,8 m. Płyta spągowa obudowy zamkniętej ma maksymalną grubość wynoszącą 1,40 m. Obudowa ostateczna tunelu została podzielona na bloki o długości 12,50 m, oddzielone pomiędzy sobą szczeliną przylegającą lub dylatacyjną. Całkowita liczba bloków obudowy tuneli głównych wynosi 184 sztuk dla nawy wschodniej oraz 185 sztuk dla nawy zachodniej.

W ociosach tunelu po obu stronach każdej nawy zaprojektowany został drenaż z rur DN 250, trwale obniżający zwierciadło wód gruntowych, eliminując występowanie parcia hydrostatycznego działającego na obudowę tunelu.

W tunelu zaprojektowano dziewięć wyjść awaryjnych w postaci przejść poprzecznych w rozstawie co max. 237,50 m, łączących obie nawy. Jedno z tych wyjść, umieszczone w środku długości tunelu, stanowi przejazd awaryjny dla służb ratowniczych.

Ze względów bezpieczeństwa oraz w trosce o trwałość konstrukcji zaprojektowano następujące nisze w obu nawach tunelu:

- nisza alarmowa (AP) z punktem alarmowym w rozstawie co max. 125 m, wyposażona w gaśnicę, koc ratunkowy oraz telefon alarmowy;
- nisza przeciwpożarowa (FN) wyposażona w hydrant w rozstawie co max. 250 m;
- nisza utrzymaniowa (MN) ze studnią rewizyjną do czyszczenia drenażu w rozstawie co max. 100 m.

W sumie w tunelu TS-26 zaprojektowano 38 punktów alarmowych, 20 nisz przeciwpożarowych oraz 92 nisze utrzymaniowe.

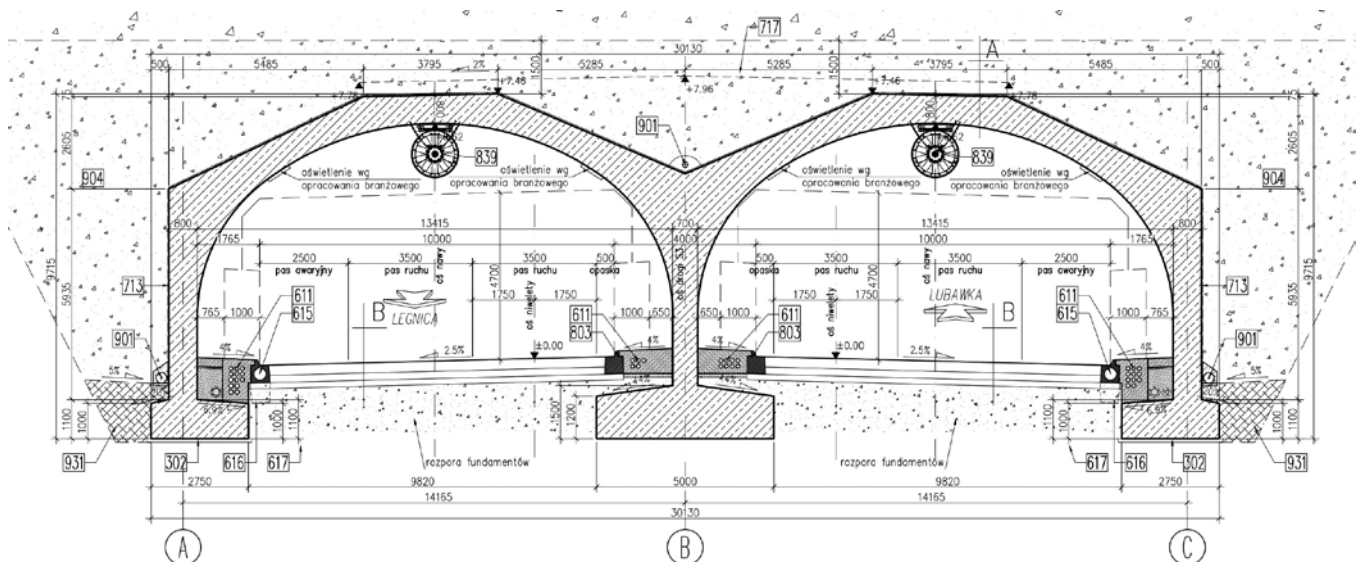
2.2. Tunel TS-32

Obiekt o długości 320 m zaprojektowano w układzie dwunawowej ramy żelbetowej, otwartej. Fundamenty posadowione są bezpośrednio na podłożu skalnym. Zaprojektowano ławy żelbetowe o szerokości 2,75 m w osi A i C oraz 5,0 m w osi B. Ustrój nośny stanowi żelbetowa, monolityczna, dwunawowa rama otwarta, o przekroju owalnym, z rozporami łączącymi fundamenty. Grubości poszczególnych elementów przekroju poprzecznego są zmienne i wynoszą od 0,65 m do 1,74 m. W rejonie wlotu i wylotu tunelu zaprojektowano ściany boczne zakończone skrzydłami podwieszonymi, których zakres został dostosowany do zasięgu skarp wykopu. Do wykonania konstrukcji tunelu wykorzystano beton C40/50 oraz stal zbrojeniową B500SP. Przekrój poprzeczny oraz przekrój podłużny tunelu przedstawiono na rycinach 5 i 6.

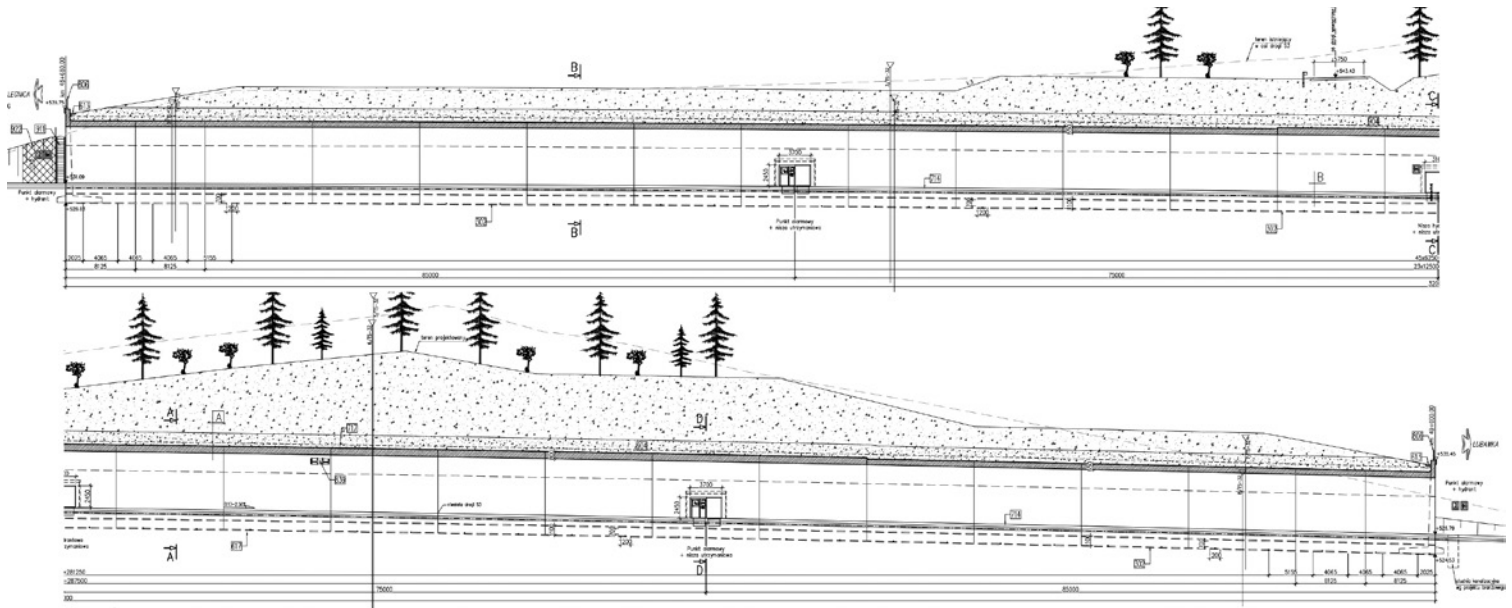
Konstrukcja tunelu składa się z 27 segmentów. Poszczególne segmenty są zdylatowane. Szczeliny dylatacyjne uszczelniono dwoma taśmami dylatacyjnymi, a od strony widocznej dodatkowo zabezpieczono ogniotrwałą masą elastyczną. Konstrukcja tunelu zabezpieczona jest od strony gruntu za pomocą izolacji wodoszczelnej (strop – papa termozgrzewalna, ściany – izolacja cienkowarstwowa oraz geokompozyt drenażowy). Dodatkowo w zasypce nad konstrukcją tunelu wykonana zostanie warstwa odcinająca z geomembrany o spawanych połączeniach.

W tunelu oraz w pobliżu wjazdów do tunelu zlokalizowano punkty alarmowe. Wewnątrz tunelu punkty te usytuowane zostały we wnękach ścian bocznych. Odległość pomiędzy poszczególnymi punktami alarmowymi nie przekracza 150 m. Zostaną one wyposażone w gaśnicę, koc ratunkowy oraz telefon alarmowy. W tunelu oraz przy wjazdach do tunelu zaprojektowano hydranty w rozstawie co ok. 165 m.

Konstrukcja nawierzchni jezdni w obu tunelach zostanie wykonana jako sztywna z betonu cementowego. Od wewnętrznej krawędzi jezdni kapy ograniczone są krawężnikami betonowymi, monolitycznymi, wykonanymi metodą ślizgową, a od strony zewnętrznej zostaną zamontowane prefabrykowane krawężniki szczelinowe, pełniące funkcję odwodnienia liniowego jezdni, wyposażone w syfony ograniczające możliwość rozprzestrzenienia się pożaru.



Ryc. 5. Przekrój poprzeczny tunelu TS-32



Ryc. 6. Przekrój podłużny tunelu TS-32

3. Warunki geotechniczne

3.1. Tunel TS-26

Odcinek tunelowy położony jest w strefie granicznej dwóch dużych jednostek geologicznych Sudetów, tj. Gór Kaczawskich i Depresji Śródsudeckiej (ryc. 7). Północna część tunelu na odcinku ok. 500 m znajduje się w obrębie skał serii ordowickich łupków serycytowych, kwarcytowych i zieleńców (Oc). Dalej ku południowi tunel wchodzi w utwory dolnokarbońskie Depresji Śródsudeckiej. Początkowo na odcinku ok. 600 m są to najstarsze utwory skalne tej sukcesji, takie jak mułowce, szarogłazy i zlepińce formacji (kulmu) Sadów Górnych (Ct), a w pozostałej części (ok. 1200 m) tunelu – podobnie litologicznie – serie mułowcowo-szarogłazowo-zlepińcowe formacji ze Starych Bogaczowic (Cw).

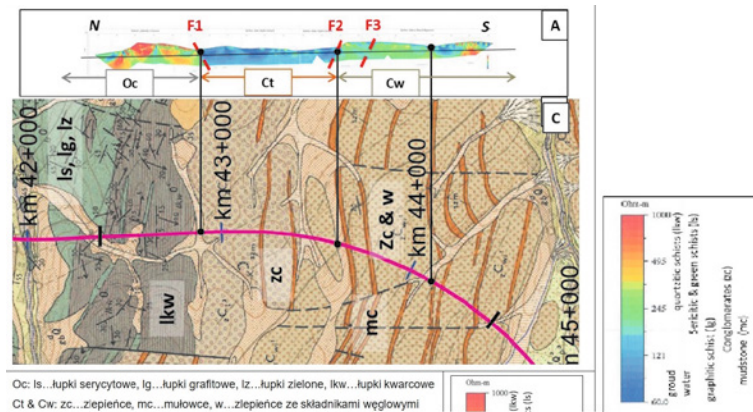
Główne systematyczne cechy nieciągłości (foliacja w Oc i warstwowanie w Ct i Cw) zapadają pod łagodnymi (0–30°) i umiarkowanymi (30–60°) kątami w kierunku południowym i lokalnie w kierunku zachodnim. Większość stref spękań występuje w tym samym układzie. Kąty zapadania wszystkich systemów nieciągłości pozostają poniżej 50°. Na długości tunelu wyróżniono trzy strefy uskokowe: F1, F2, F3.

W celu rozpoznania podłoża wykonano w sumie 48 otworów badawczych o głębokości od 11 m do 70 m o łącznej długości 1902 m. Przeprowadzono także 13 badań dylatometrycznych w trzech otworach badawczych oraz badania geofizyczne o łącznej długości 3253 m, tworzących siedem profili.

Wyróżnia się dwa poziomy wód gruntowych. Pierwszy, przy powierzchniowy, w strefie zwietrzenia oraz głębiej sięgające strefy nasycenia wodą gruntową w skale macierzystej, gdzie może występować znaczna przepuszczalność ośrodka i przepływ wód gruntowych przez wysoki stopień spękania zlepińców karbońskich i sekwencji łupków ordowickich.

Analizę i ocenę warunków geotechnicznych przeprowadzono według wytycznych [3].

Zgodnie z powyższym opracowaniem i na podstawie wykonanych badań dokonano podziału masywu skalnego na osiem typów gruntów, pokazanych w tabeli 1.



Ryc. 7. Przekrój geologiczny i przebieg tunelu na mapie geologicznej

Tab. 1. Typy gruntów i tabela parametrów

Typ gruntu	Typ skały	Parametry									
		RQD (%)	Standardowa Klasyfikacja GSI (-)	Gęstość ρ (g/cm^3)	Spójność c (MPa)	Kąt tarcia φ (°)	Wytrzymałość gotoworu UCS _{rm} (MPa)	Moduł deformacji D (GPa)	Moduł elastyczności E (GPa)	Stosunek Poisson ν (-)	At-rest earth pressure k_0 (-)
GT											
O1	schist unit	>50	40-55	2.6	1.000	31	2.5	1.8	3.6	0.25	0.33
O2		25-50	20-40	2.6	0.220	21	0.7	0.5	1.0	0.30	0.43
O3		<25	≤20	2.5	0.150	14	0.4	0.3	0.6	0.35	0.54
SO		-	-	2.1	0.010	25	-	0.1	0.1	0.35	0.58
C1	conglomerate unit	>50	50-60	2.6	2.100	37	8.4	2.2	4.4	0.20	0.25
C2		25-50	35-50	2.6	0.810	33	3.3	0.7	1.4	0.25	0.33
C3		<30	15-35	2.5	0.020	35	0.1	0.2	0.4	0.35	0.43
SC		-	-	2.1	0.010	28	-	0.1	0.1	0.35	0.53

Typ gruntu:

Materiał o podobnym wyglądzie i właściwościach:

- O1, O2, O3: łupki ordowickie, spękane i rozpadające się w różnym stopniu
 - C1, C2, C3: zlepienie karbońskie/mułowce/piaskowce, spękane i rozpadające się w różnym stopniu
 - SO: głównie rozpadająca się skala macierzysta, gleby reszkowe. Parametry zgodnie z literaturą
 - SC: głównie rozpadająca się skala macierzysta, gleby reszkowe z twardymi, zaokrąglonymi otoczkami. Parametry zgodnie z literaturą

3.2. Tunel TS-32

Tunel TS-32 przecina strefę serii utworów skalnych karbonu, wykształconych w postaci zlepieńców z wkładkami piaskowców, szarogłazów i mułowców. Kąt zapadania warstw skalnych mieści się w przedziale od 41° do 49° . Kierunek zapadania południowo-zachodni. W strefie przypowierzchniowej skały są silnie zwietrzałe, tworząc pokrywą zwietrzelinową skały macierzystej o miąższości sięgającej kilku metrów.

W celu rozpoznania podłoża wykonano w sumie osiem otworów badawczych o głębokości od 15 m do 35 m o łącznej długości 182 m. Przeprowadzone badania geofizyczne wykazały dwie strefy osłabionego górotworu na długości tunelu, wskazujące na silne zdegradowanie warstw skalnych lub jego nawodnienie.

W wykonanych otworach pełnordzeniowych zaobserwowano występowanie poziomu wód gruntowych na głębokości od 10,2 m do 19,9 m p.p.t.

4. Technologia budowy

Współczesne metody budowy tuneli należy podzielić na cztery grupy [1]:

- metoda górnicza podziemna,
- metoda odkrywkowa,
- metoda mechaniczna za pomocą tarcz TBM,
- metoda zatapiania tuneli.

Obydwa omawiane tunele, jak wskazano wcześniej, są realizowane według dwóch pierwszych metod. Tunel TS-26 wykonywany jest metodą górniczą w technologii NATM, natomiast tunel TS-32 metodą odkrywkową w wykopie otwartym.

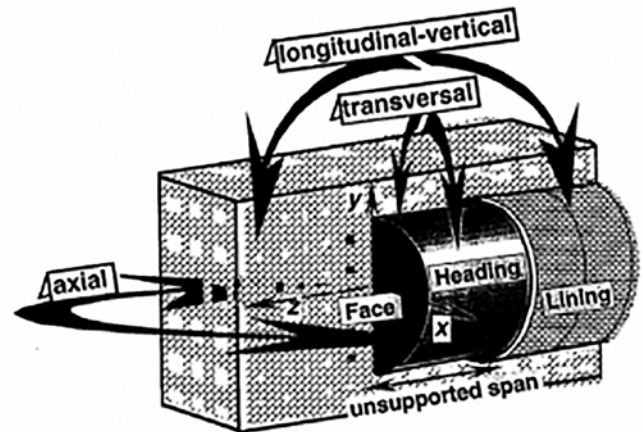
O wyborze NATM zdecydowało kilka czynników. Najważniejszym była, przedstawiona wcześniej, skomplikowana i zmienna budowa geologiczna przekraczanej przeszkody, ale też inne czynniki, jak krótka strefa wypłylenia w połowie długości tunelu, konieczność realizacji zadania w relatywnie krótkim czasie, efektywność kosztowa i doświadczenie firmy. Metoda NATM jest bardzo elastyczna, pozwalając na dobór rozwiązań konstrukcyjnych w zależności od napotkanych warunków i zachowania się górotworu. Elastyczność ta znakomicie odpowiadała na potrzeby spowodowane zmiennością górotworu przekraczanego tunelem TS-26.

W przypadku doboru technologii wykonania tunelu TS-32 sprawa była prostsza. Niewielki naziem w strefach przyportalowych sprawił, że dla ok. 60% długości tunelu jedyną technicznie uzasadnioną metodą była właśnie metoda odkrywkowa. Projektując tunel TS-32, mieliśmy ponadto niewiele miejsca w liniach środowiskowych. W tym przypadku należało poprowadzić i zaprojektować obie nawy tunelu w bezpośredniej bliskości siebie, co również ograniczało kubaturę wykopu i jednoznacznie wskazywało na racjonalność tej właśnie metody.

Obie metody zostaną szczegółowo omówione poniżej.

4.1. Tunel TS-26 – opis metody NATM

Metoda NATM technicznie polega na dążeniu do wykorzystania w jak największym stopniu efektu samonośności masywu skalnego, w którym prowadzone jest wyrobisko (ryc. 8). Chodzi o możliwie szybkie odtworzenie i utrzymanie pierwotnej wytrzymałości skał w otoczeniu tunelu, czyli w konturze wyrobiska. Dlatego, wykonując wyłom i tuż po jego wykonaniu, nie można dopuścić do rozluźnienia skał oraz powstania szczelin i spękań [2]. Czyni to niezwykle istotnym prawidłowe wykonanie



Ryc. 8. Schemat rozkładu naprężeń w ośrodku gruntowym

wyłomu. Owalny kształt tunelu i stosunkowo krótkie zabioiry, uwzględniające naturalny rozkład naprężeń w ośrodku gruntowym, pozwalają zachować stateczność i zabezpieczyć świeżo urobiony odcinek.

Mimo chwilowej stateczności zabezpieczenie to, czyli obudowa wstępna, musi zostać wykonane bardzo sprawnie i szybko. Dzięki temu zabiegowi wytwarzamy w konturze wyrobiska i jego sąsiedztwie trójosiowy stan naprężeń. Skała w stanie trójosiowym w porównaniu ze stanem jedno- lub dwuosiowym:

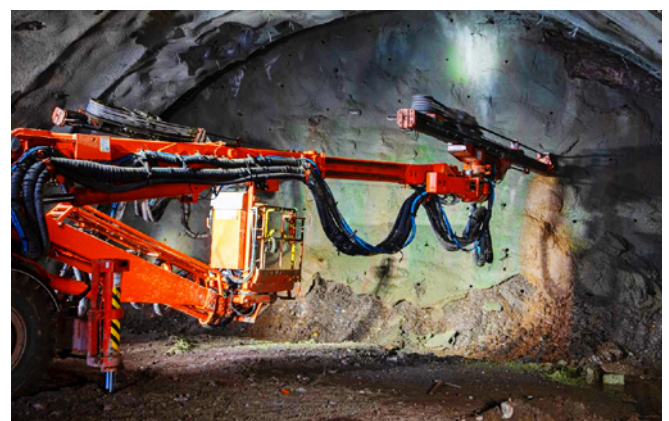
- ma większą wytrzymałość na ściskanie,
- zwiększa się wartość odkształcenia przed zniszczeniem,
- po przekroczeniu granicy wytrzymałości zmniejsza się kruchość skały, a zwiększa jej plastyczność.

Wszystko to zdecydowanie poprawia stateczność skał otaczających tunel.

Oczywiście istnieje cały asortyment materiałów i sposobów wzmacniania górotworu. W naszym przypadku zasadniczymi elementami obudowy wstępnej były: długość zabioru, beton natryskowy, siatki stalowe, dźwigary kratowe, obudowa kotwiowa, obudowa wyprzedzająca oraz kotwy czołowe. W dalszej części zostanie przedstawiony typowy cykl prowadzący do wykonania pojedynczego segmentu obudowy wstępnej.

4.2. Tunel TS-26 – wykonanie obudowy wstępnej

W znacznej części przy budowie tunelu TS-26 skała była urabiana za pomocą techniki strzałowej, jakkolwiek występowały fragmenty urabiane mechanicznie, naciskiem statycznym, przez frezujące kombajny górnicze. W technice strzałowej pierwszym krokiem jest wykonanie w ścianie przodka otworów strzałowych



Ryc. 9. Wiercenie otworów strzałowych

w celu późniejszej instalacji w nich materiałów wybuchowych. Ciśnienie gazów wywiązujące się w otworach strzałowych w wyniku wybuchu powoduje odspajanie się kawałków skały od calizny i ich rozdrobnienie. Pracę tę wykonują wiertnice tunelowe, przygotowując, w zależności od wymagań, od 70 do 100 otworów strzałowych. Rozmieszczenie otworów strzałowych w ścianie przodka ma pozwolić wykonać włom, ale również nadać wyrobisku żądany kształt. Waga tego zagadnienia została już omówiona. Praca ta w warunkach tunelu TS-26 została zilustrowana na rycinie 9.

Kolejną czynnością w cyklu jest umieszczenie materiałów wybuchowych w przygotowanych otworach strzałowych. Przed nabijaniem otwory te są dokładnie oczyszczane ze zwiercin. Otwory strzałowe łączy się w obwód strzałowy, który dodatkowo składa się z zapalników elektrycznych, linii strzałowej oraz zapalarki. Praca odbywa się z użyciem podnośników koszowych przez uprawnionych górników strzałowych. Proces zilustrowano na rycinie 10.

Po przygotowaniu obwodu strzałowego górnik strzałowy opuszcza miejsce strzelania, upewniając się, że wszyscy robotnicy znajdujący się w tunelu zostali wycofani do bezpiecznego miejsca i strzał może być przeprowadzony całkowicie bezpiecznie (ryc. 11). Po odpaleniu wszystkich ładunków praca może zostać wznowiona po należytych rozrzedzeniu gazów powstałych w wyniku wybuchu oraz sprawdzeniu kompletności odpalenia wszystkich ładunków.

Kolejno następuje ewentualne profilowanie wyrobiska do zakładanej geometrii oraz wywóz urobku z tunelu (ryc. 12). Załadunek odbywa się za pomocą specjalistycznych ładowarek i koparek tunelowych, a odwóz specjalnie do tego celu przeznaczonymi wozidłami.

Następnie jak najszybciej należy wykonać obudowę wstępną. Jej zadaniem jest ograniczenie strefy zniszczenia i spękań, dlatego tak ważny w tym procesie jest odpowiednio krótki czas na wykonanie tej czynności. Pierwszą fazą jest zatem założenie obudowy wstępnej z betonu natryskowego na kalotę, ociosy i odsłonięty przodek wyrobiska. W tym celu stosuje się beton natryskowy lub beton natryskowy zbrojony włóknami stalowymi. Stalowe zbrojenie rozproszone zapewnia wymaganą wytrzymałość obudowy na zginanie przy jednoczesnym skróceniu czasu wykonania obudowy w porównaniu ze zbrojeniem tradycyjnym.

Działania te i ich pilność mają na celu utrzymanie pierwotnej wytrzymałości górotworu i niedopuszczenie do powstania szczelin i spękań, co zostało uzasadnione w punkcie 4.2.

Drugim krokiem w procesie wykonywania obudowy wstępnej jest także jej wzmocnienie, aby była zdolna przenieść obciążenia pochodzące od strefy zniszczenia utworzonej wokół tunelu. W przypadku stosowania zbrojenia tradycyjnego siatkami polega to na jej zamocowaniu do już ułożonego betonu natryskowego (ewentualnie podłoża skalnego) i nałożeniu warstwy betonu natryskowego o grubości odpowiedniej dla danej klasy obudowy. Tak wykonana obudowa wstępna jest wzmocniana dźwigarami kratowymi w liczbie jeden na zabiór. Pogląd na tę czynność przedstawiono na rycinie 13.

Kolejnym krokiem jest wykonanie kotwienia obwodowego przy użyciu kotew dobranych do lokalnych warunków geologicznych (ryc. 14).

Czynność ta zamyka typowy cykl prowadzący do wykonania pojedynczego segmentu obudowy wstępnej, jednak nie



Ryc. 10. Ładowanie środków strzałowych



Ryc. 11. Moment wybuchu załadowanych ładunków



Ryc. 12. Wywóz urobku z tunelu



Ryc. 13. Wbudowywanie betonu natryskowego



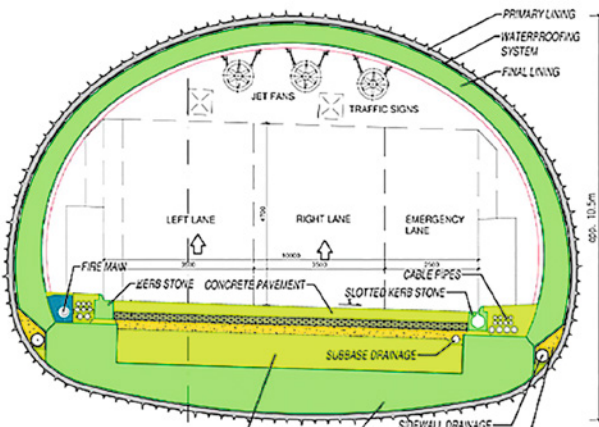
Ryc. 14. Wykonanie obudowy kotwionej

wyczerpuje – ze względu na ramy niniejszego opracowania – wszystkich jej elementów.

4.3. Tunel TS-26 – obudowa ostateczna

Dla stanu projektowanego przewidziano obudowę ostateczną. Jest to drugi etap realizacji, który zostanie w niniejszym opracowaniu tylko wspomniany.

Obudowa ostateczna została zaprojektowana z betonu monolitycznego wraz z drenażem. Konstrukcja łuku obudowy ostatecznej opiera się na betonowej płycie spągowej (dotyczy to niesprzyjających warunków geologicznych) w formie odwróconego łuku (ryc. 15).



Ryc. 15. Konstrukcja łuku obudowy ostatecznej

W sprzyjających warunkach geologicznych konstrukcja ta będzie oparta na przyczółkach masywnych.

Przygotowując obliczenia statyczne obudowy ostatecznej tunelu TS-26, sprawdzano nie tylko stany nośności i użytkownia wszystkich elementów tunelu (naw głównych, przejazdów i przejść ewakuacyjnych), ale też weryfikowano nośność konstrukcji w warunkach pożaru, uwzględniając krzywą pożarową RABT i czas pożaru $t = 240$ min.

4.4. Tunel TS-32

Ze względu na przebieg niwelety oraz charakterystykę górotworu do wykonania tunelu TS-32 wybrano metodę odkrywkową, tj. w otwartym wykopie szerokoprzestrzennym o skarpach pochylonych w stosunku 2:1. Średnia głębokość wykopu to ok. 15 m, największa 21 m. Oznacza to, że średnia grubość nadkładu nad projektowaną kalotą tunelu wynosiła ok. 5,5 m, a największa

ok. 11,5 m. Geologia oraz wykonane obliczenia wykazały, że stateczność skarp przy pochyleniu 2:1 jest zachowana i nie ma konieczności ich umocnienia w postaci np. gwoździ, kotwi lub pali, co jest charakterystyczne dla innych wariantów technologii odkrywkowej.

W pierwszej kolejności wykonano wykop w ilości ok. 230 tys. m³ w skale metodą strażową. Po utworzeniu wykopu przystąpiono do wyrównania jego dna, które w efekcie robót strażowych było nierówne, z licznymi zadoleniami po odspajaniu skał. Dno wyrównano przez wykonanie warstwy nasypu stabilizowanego na miejscu spoiwem hydraulicznym.

Ze względu na bezpieczeństwo prowadzenia robót konstrukcyjnych i pracujących ludzi na okres budowy, tj. ok. 24 miesięcy, zaprojektowano i wykonano zabezpieczenie w postaci kurtyny przeciwoślawkowej, niekotwionej, mocowanej w koronie i podstawie wykopu za pomocą gwoździ skalnych. Kurtynę wykonano z siatki stalowej, podwójnie splecionej, o oczku 8 x 10 cm. Pod siatką zastosowano geowłókninę w celu zabezpieczenia przed opadaniem drobnych okruchów skalnych. Powierzchnia zabezpieczenia wyniosła ok. 12 tys. m². Górna i dolna krawędź kurtyny zostały zamocowane do gwoździ za pośrednictwem liny granicznej. Wykonane zabezpieczenia przedstawiono na rycinie 16.



Ryc. 16. Zabezpieczenie ścian wykopu tunelu TS-32

Ze względu na wystąpienie pojedynczych obrywów skalnych, po kilku miesiącach od wykonania zabezpieczenia podstawowego skarp w postaci siatek zamontowano dodatkowe kotwy oraz liny energochłonne. Rozciągnięto liny poziomie w dwóch rzędach o łącznej długości ok. 1300 m.b., kotwione 180 gwoździami. Zadaniem lin zorientowanych poziomo jest spowolnienie lub zatrzymanie obrywów skalnych możliwie blisko miejsca odspojenia. W miejscu występowania powstałego nawisu skalnego na lewej, wyższej ścianie wykopu zastosowano dodatkowe cztery liny przekątne. Z uwagi na uszkodzenia geowłókniny spowodowane dotychczasowymi obrywami skalnymi usunięto ją, co dodatkowo umożliwiło stałą obserwację skarp wykopu.

Konstrukcja tunelu realizowana jest w trzech etapach. Fundamenty całą szerokością wraz z rozporami zrealizowano za pomocą deskowania systemowego przestawnego. Ściany wykonano za pomocą deskowania przesuwne (ściana w osi B) oraz przesuwno-przestawne (ściany w osiach A i C). Strop tunelu zbudowano za pomocą deskowania przesuwne, w pełni hydraulicznego zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. Sposób wykonania ścian i stropu przedstawiono na rycinach 17 i 18.



Ryc. 17. Ściany tunelu TS-32



Ryc. 18. Strop tunelu TS-32

Po wykonaniu konstrukcji tunelu oraz żelbetonowych wlotów następnym etapem prac są roboty izolacyjne. Ostatnim elementem technologii odkrywkowej jest zasypanie tunelu. Wewnątrz zostanie wykonane jego wyposażenie: kapy chodnikowe, nawierzchnia jezdni oraz systemy bezpieczeństwa. Do budowy tunelu TS-32 zostanie zużytych ok. 20 tys. m³ betonu konstrukcyjnego (w tym ok. 1900 m³ betonu nawierzchniowego) oraz blisko 2000 t stali zbrojeniowej.

5. Podsumowanie

Historia budowy tuneli drogowych w Polsce to zaledwie kilkanaście ostatnich lat. Tuneli co prawda ciągle jest mało, ale plany są dość perspektywiczne. Co jednak ważniejsze, przełamuje się stereotyp myślenia, że tunele są drogie i należy unikać ich budowy. Trend rozwojowy nie jest zjawiskiem występującym wyłącznie w Polsce. W ostatnim czasie obserwuje się przygotowywanie coraz śmielszych przedsięwzięć technicznych na



świecie, co idzie w parze z bardzo szybkim rozwojem techniki tunelowej. Celem tego artykułu jest przybliżenie części tych innowacji i osiągnięć oraz pokazanie ich wykorzystania do rozwiązywania problemów technicznych w warunkach konkretnej sytuacji w realiach polskich. Realizacja tych obiektów, w dużej części przez polskich pracowników, jest ważnym krokiem rozwojowym w dziedzinie raczkującego budownictwa tunelowego w Polsce. Czyni to tę realizację istotnym krokiem rozwojowym w tej dziedzinie inżynierii lądowej.

Literatura

- [1] Czaja P.: *Tunele – współczesne możliwości technologiczne budowy*. Wydawnictwo AGH. Kraków 2011.
- [2] Tajduś A., Cała M.: *Stabilizacja wyrobisk podziemnych*. Materiały konferencji Stabilizacja Masywów Skalnych w Podłożu Budowli Hydrotechnicznych, Warszawa, 14 września 2000.
- [3] *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb*. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2008.
- [4] Hoek E.: *A discussion on acceptable criteria for temporary support and final linings of large span transportation tunnel in poor rock*. Vancouver 1999.
- [5] Bieniawski Z.T.: *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. John Wiley & Sons, 1989.

Referat wygłoszony podczas Wrocławskich Dni Mostowych *Wyzwania współczesnego mostownictwa*, Wrocław, 24-25 listopada 2022 r.

www.porr.pl



Czytaj więcej



Ryc. 19. Tunel TS-32 z lotu ptaka

Inteligentne budowanie łączy.



PORR
porr.pl

PORR S.A. jest generalnym wykonawcą najdłuższego w Polsce pozamiejskiego tunelu drążonego w skale, który powstaje w ciągu trasy S3 Bolków - Kamienna Góra Płn.