

Rys. 1. Miasteczko kontenerów



Budowa tuneli na trasie S7 Naprawa – Skomielna Biała – okiem inżyniera

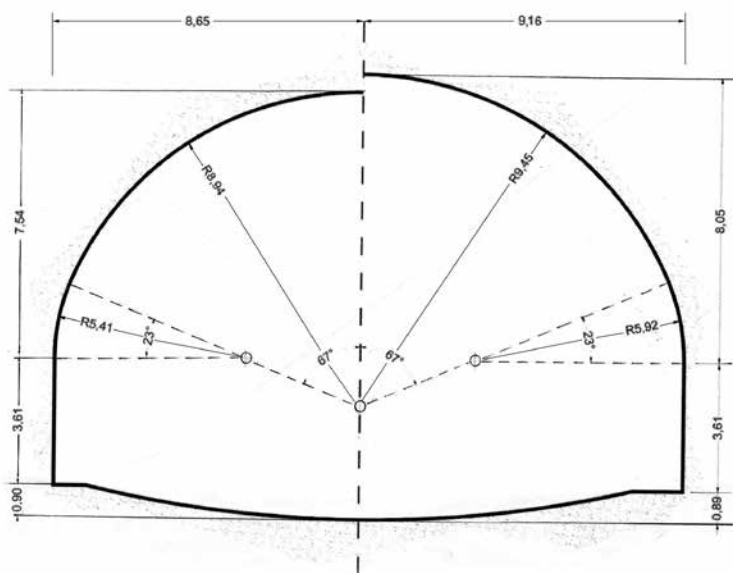
Bliska końca budowa aktualnie najdłuższego w Polsce, podwójnego pozamiejskiego tunelu drogowego pod górą Mały Luboń w Beskidzie Wyspowym w ciągu trasy ekspresowej S7 początkowo uchodziła za nowe wyzwanie dla inżynierów, czyli – przedsięwzięcie „od zera”. Budziła emocje, obawy, uzasadnione zainteresowanie mediów, powszechną ciekawość.

W artykule opisano zwięźle warunki hydrogeologiczne tamtejszego masywu skalnego, nowatorski sposób drążenia oraz obudowy wyrobisk, ze skróconą analizą jej potencjału konstrukcyjnego. Zwrócono uwagę także na obszerne zaplecza inwestycji, rozwiązania wentylacji tuneli, ich odwodnienia, organizację wykonawstwa czy nadzoru administracyjnego.

Zaplecze budowy

Bezpośrednie zaplecze dla potrzeb robót podziemnych urządzono zarówno w pobliżu wlotu do tuneli od strony Naprawy, jak i Skomielnej Białej. Tam przygotowano teren pod składowisko materiałów budowlanych, parking dla maszyn samobieżnych, podstacje energetyczne, wentylatorownie zasilające lutniociągi, przewidziano miejsce na zwłokowisko urobku. Wypada wspomnieć o drogach serwisowych, łączących główne place budowy z istniejącą siecią szos publicznych.

Rys. 2. Obrys wyłomu [5]



Kompleks uzupełniła specjalnie zainstalowana, wysokowydajna, 3-węzłowa wytwórnia betonu towarowego na zboczach Małego Lubonia, tuż przy szosie DK7, oraz tymczasowe, lecz w pełni uzbrojone, osiedle klimatyzowanych kontenerów mieszkalno-biurowych przy szosie DK28 w kierunku Jordanowa, gdzie zapewniono przyzwoite warunki socjalno-bytowe dla 180 pracowników.

Warunki hydrogeologiczne

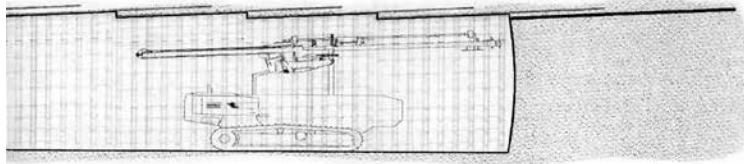
Tunele przebijano w trudnych warunkach hydrogeologicznych utworów fliszowych, wykształconych w efekcie procesów orogenicznych wypiętrzania Karpat, głównie w okresie trzeciorzędu. Flisz to zespół grubo- lub drobnoziarnistych skał osadowych pochodzenia morskiego, zbudowany z piaskowca, często z przerostami naprzemianległych, cienkich warstw – na ogół gęsto uławicznych, spękanych łupków i itołupeków, zlepieńców, które miejscami przejmują dominację w profilu geologicznym. W rejonie Lubonia występują też wtrącenia mułowca czy laminatu łupkowego. Struktura i tekstura skał jest dalece zróżnicowana, mają one odmienny skład petrograficzny, w konsekwencji – duży rozrzut parametrów fizyko-mechanicznych w obrębie tej samej właściwości; anizotropia dochodzi nawet do 10-krotności.

Dodatkowe komplikacje mnoży zmienne nachylenie warstw (25÷60%), raz w kierunku drążenia tuneli, innym razem – w kierunku przeciwnym, jako efekt zaburzeń tektonicznych, takich jak fałdy, uskoki.

I tych lokalnych przeszkód często nie ujawniały standardowe, pionowe odwierty badawcze z powierzchni terenu, wykonane wcześniej dla potrzeb projektowania. Szansę pełnego rozpoznania dały dopiero poziome otwory wyprzedzające czoło przodka – wiercone w trakcie drążenia wyrobiska.

Wyłom tunelu, urabianie calizny skalnej i odstawa urobku

Obrys wyłomu uwzględnia skrajnie ruchu dopuszczalnych pojazdów samochodowych w tunelu, rezerwy dla potrzeb rewizji czy stanów awaryjnych, wymagania systemu wentylacji oraz wyposażenia stałego, także – grubość obudowy. Zaprojektowany został oszczędnie w formie dwukrzywiznowego sklepie-



nia i pionowych ścian przyociosowych, tzw. sztrocy (rys. 2). Projektowana powierzchnia wyłomu wynosi 173 m², przy wysokości wyrobiska $H_{\max} = 12,05$ m i szerokości $S_{\max} = 8,56$ m lub 190 m² przy wymiarach – odpowiednio 12,56 m i 9,16 m.

Ze względu na relatywnie krótki wybieg tunelu oraz skomplikowane, nieraz co kilka metrów zmieniające się środowisko fliszu, zrezygnowano z wysokowydajnej technologii zwiercania pełnoprzekrojową tarczą na rzecz drążenia sposobem górniczym. Koszt zakupu takiego zestawu maszynowego byłby wyższy niż korzyść wynikająca z przyspieszenia bicia wyrobisk. Na korzyść przyjętego rozwiązania przemawiała dodatkowo trudność z zainstalowaniem mocy rzędu 10 tys. kW, jakiej wymagałby napęd tarczy TBM, nawet po zsumowaniu dostępnych źródeł energii z lokalnych stacji transformatorowych WN w Rabce-Zdroju, Jordanowie i Makowie Podhalańskim.

Część wyrobisk przebijano z wykorzystaniem samojezdnych maszyn kruszących, takich jak koparki Hitachi typoszeregu ZX czy Volvo typoszeregu EC. Wyposażano je w głowice udarowe lub skrawające. W razie potrzeby, tzn. gdy w czole przodka pojawiła się intruzja litego piaskowca, przychodziła z pomocą technika strzałowa (rozkruszanie mikroładunkami). Tym sposobem urabiano masyw skał słabych, spękanych, naruszonych trzęcierządowymi ruchami górotwórczymi. Gdy górotwór budowały skały bardziej zwarte, jednolite, mocniejsze - stosowano klasyczne wysadzanie calizny materiałem wybuchowym (dynamit, pentryt i inne) w całym polu przodka. Do wykonywania otworów, zarówno tych czółowych, jak i w stropie lub ociosach, dla potrzeb robót strzałowych, ale też kotwienia czy rozpoznania geotechnicznego - służyły wiertnice AtlasCopco z trójramienną ramą na podwoziu kołowym.

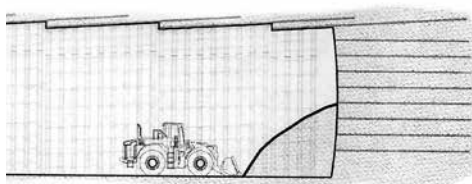
Cykl roboczy przewidywał następnie wprowadzenie w przestrzeń przodka ładowarki CAT 966M lub Volvo L150G, które po nabraniu urobku czerpakiem ze spągu (rys. 4) – zesypywały go do skrzyni ładunkowej wozów odstawczych typu Bell B300 lub Volvo A30D o ładowności 40 t, a te wywoziły materiał z wyrobiska na zwałowisko zewnętrzne. Park samobieżnych maszyn uzupełniały ciężarówki Iveco, ładowarki z wysięgnikiem teleskopowym Manitou MRT czy Merio Roto 38.16, przekłuwacz

Soilmec ST60 do przewiertów sterowanych, pompy mieszanki betonowej Cifa oraz wiele innych urządzeń.

Obudowa wstępna

– monitoring konturu odsłoneń skalnych

Generalny wykonawca zaadaptował z powodzeniem metodę tunelowania A.DE.CO.-RS (*Analysis of Controlled Deformations in Rocks and Soils*), opracowaną we Włoszech w latach 80. przez prof. Pietro Lunardiego. Według opisu [2, 3, 5] polega ona na ciągłym kontrolowaniu deformacji i odkształcenia wyłomu, umożliwiającym szybką reakcję dostosowania parametrów nośności kolejnego kroku obudowy i zabezpieczeń frontu przodka – w ślad za informacją z monitoringu. Metoda wymaga specjalnego oczyunikowania, m.in. przyrządami, tensometrami, wskaźnikami obciążenia. Bardzo pomocne okazało się rozwiązanie stabilizowania:



Rys. 3. Wiercenie otworów dla nadstropowego wachlarza kotwi (obudowa parasolowa) [5]

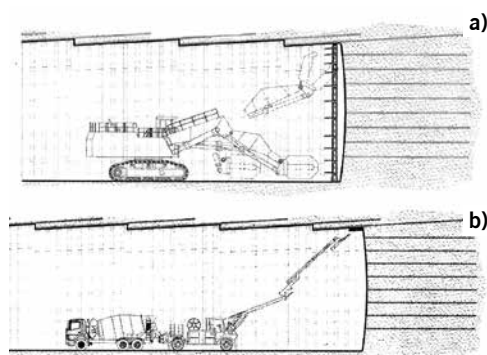


- górnej strefy wyprzedzenia przodka rusztem kilkumetrowych kotwi wklejanych – w układzie wachlarzowym (rys. 4, 5), nazwanym przez wykonawcę obudową parasolową
- czola przodka wiązką kilkunastometrowych, urabialnych rur z włókna szklanego, osadzanych w otworach wyprzedzających, którymi wtlaczałno szybkosprawną zaczyn uszczelniająco-spajający górotwór przed urobieniem (rys. 4, 5).

I te właśnie zabiegi skutecznie zapobiegły samostannemu, niekontrolowanemu wysypowi obluźwanego rumoszu skalnego do wyrobiska w odcinkach naturalnej destrukcji, rozluźnienia górotworu.

Obudowę wstępną zakładano tu natychmiast po opróżnieniu przodka z urobku, zabudowując odsłonecie co 2 m profilowanymi dwuteowo żebrami obrysowym IPE 180, od czasu do czasu – z pro-

Rys. 4. Czoło przodka, z lewej: opróżnianie strefy przodka z urobku [5] z prawej: hałda urobku po odstrzale [GDDKiA]



Rys. 5. Obudowa wstępna: a) instalacja żeber obudowy wstępnej [5] b) torkretowanie [5] c) widok ogólny [GDDKiA]



Rys. 6. Wykonawstwo żelbetowej obudowy ostatecznej: z lewej – przestawne rusztowanie do montażu zbrojenia [GDDKiA], z prawej – deskowanie do zabudowy betonu [GDDKiA]

mienistym przykotwieniem strefy kaloty. Pojedyncze odrzwia obudowy wstępnej (2 elementy boczne + 1 element stropowy) łączono „na sżywno” poprzez ześrubowanie kołnierzy zamka, a następnie ustawiano w płaszczyźnie pionowej, wykorzystując koparkę z wysięgnikiem przebrojonym w szybkozłazcze chwytakowe (rys. 5 – instalacja żeber). Na odsłonięciach skalnych między żebrami mocowano siatkę stalową. Gdy udział piaskowca w polu wyłomu spadał do 85-50% (klasa IV wg skali RMR [1]), rozstaw odrzwia zagęszczano do 1,5 m, a w przypadku dalszego pogorszenia jakości skał w przodku (klasa V wg skali RMR [1]) lub zaburzeń górotworu, np. uskokiem – nawet do 1,0 m

Powierzchnię odsłonięcia ociosów i sklepienia torkretowano dwoma warstwami – technologią „na mokro”, zapewniającą lepszą jakość betonowego natrysku o grubości łącznej 0,25 m (rys. 5 – torkretowanie). Pierwszą warstwą wypełniano nierówności wyłomu, z przykryciem stalowej siatki, druga stanowiła uzupełnienie do wysokości żebra obudowy wstępnej.

Montaż sączków i folii izolacyjnej, obudowa ostateczna

Technologia drążenia przewidywała, że w określonej odległości za czołem przodka przesuwa się zespół wielopoziomowego rusztowania (rys. 6 – przestawne rusztowanie), służący do:

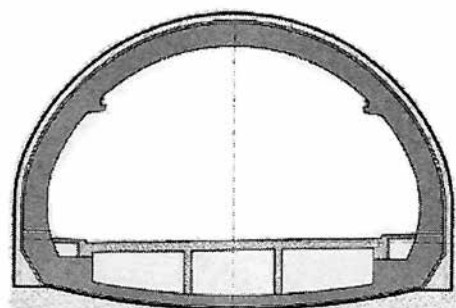
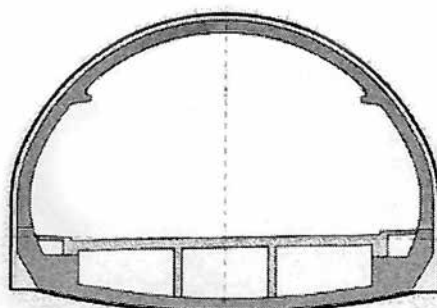
- mocowania dwuwarstwowej opinki ze sztucznego tworzywa, na którą składa się:
 - powłoka gąbczastej geowłókniny – z zadaniem ciągłego odsączania wód doptywających ze strony sklepienia i ociosów
 - powłoka folii hydroizolacyjnej – z zadaniem odcięcia „strefy suchej” (z myślą o obudowie ostatecznej) od skalnej „strefy mokrej”; konstrukcja nośna tunelu – z założenia ma być bowiem wodoszczelna
- montażu podwójnej siatki stalowych prętów $\varnothing 6 \div 20$ mm dla zbrojenia betonu obudowy ostatecznej.

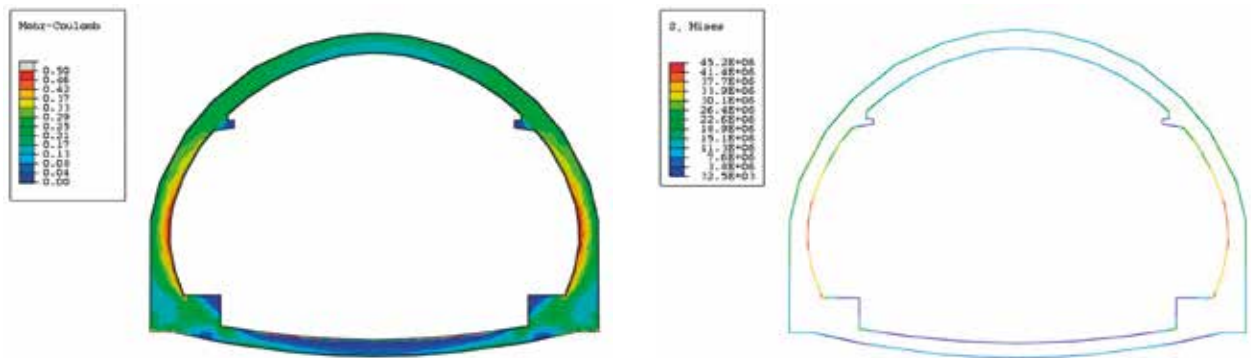
Dalej, za rusztowaniem przemieszczał się kompleks deskowania obudowy ostatecznej, z własnym ukła-

dem hydraulicznym, zasilanym pompą FPT. Jego indywidualnie zaprojektowaną konstrukcją złożono z ram i rygli MK oraz węzłów i blach TMK. Rama wspierała się na belce z profili DUPN, przenoszącej obciążenia od betonowania na podłoże, za pośrednictwem kółek tocznych. Całość posztyto blachami grubości 5 mm. Specjalne kryzy umożliwiały zatłaczanie mieszanki betonowej, a okna rewizyjne i króćce w zworniku – obserwację prawidłowości betonowania. Wyposażenie wózka uzupełniały wibratory pneumatyczne do zagęszczania świeżej masy betonowej za deskowaniem [6]. Postęp układania betonu - odcinkami długości 7,5 m w przypadku deskowania MK. Zastąpił je szalunek przejezdny Tunnel Service o masie 340 t i długości 12,5 m, przy pomocy którego kontynuowano zabudowę betonu w większości wyrobisk (rys. 6 – deskowanie) Obudowa ostateczna to zbrojony beton klasy C50/60, układany warstwą grubości 0,5 m – tam, gdzie otoczenie skalne tunelu budował piaskowiec. Natomiast w miejscach ewidentnego osłabienia górotworu żelbet ulega pogrubieniu do 1,0 m. W pierwszej kolejności, po przybierze spągu na głębokość ok. 0,9 m, betonowany był spód wyrobiska wraz z ławami przyociosowymi, potem reszta. Po skrupulatnym potwierdzeniu oczekiwanych właściwości betonu drogą laboratoryjną, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad dopuściła do zastosowania innowacyjną recepturę na bazie kruszywa wapiennego, cementu CEM I oraz nowoczesnych domieszek i dodatków. Beton obudowy ostatecznej tuneli, oprócz wysokiej wytrzymałości (BWW), odznacza się mrozoodpornością F200 i wodoszczelnością W8 (według PN-B-6265:2018 „Krajowe uzupełnienie normy PN-EN 206 „Beton...”).

Monolityczna płyta podjezdniowa (rys. 7) została podzielona średnio co 100 m poprzecznymi szczelinami dylatacyjnymi, które zaślepiają typowe złącza mostowe, dodatkowo uszczelniane na wypadek zapłonu substancji uplastycznionych lub upłynionych – wskutek pożaru.

Rys. 7. Żelbetowa obudowa ostateczna grubości 0,5 m i 1,0 m z płytą podjezdniową [5] – schemat poglądowy





dniowej, wspartej na dwóch rzędach słupów i podpór oraz na progach przy bocznych ścianach onśnych tunelu (rys. 7).

W szczycie zapotrzebowania budowy tuneli i obiektów towarzyszących z pobliskiej wytwórni betonu towarowego ekspediowano dziennie nawet po 60 ładunków mieszanki betonowej, rozłożonej betonmieszarkami ciężarowymi. Aby ograniczyć straty transportowe na stromych wzniosach terenu, a jednocześnie nie przekraczać urzędowo dopuszczalnej masy całkowitej na drogach publicznych, wozy napełniano tylko w 80% ich pojemności.

Potencjał obudowy tunelu

Jak wynika z informacji pozyskiwanej z monitoringu [1], poza trudnościami z utrzymaniem czoła tunelu przy otwieraniu frontu robót – zwłaszcza od strony północnej (przejście pod szosą zakopiański), ale także od strony południowej na krótszym odcinku, gdzie flisz odznaczał się najgorszymi parametrami geotechnicznymi, obudowa wstępna spełniła swoje zadanie, zapewniając rozruchową stateczność tunelu i stabilizację procesu konwergencji wyrobisk. Żelbetowa obudowa ostateczna kroczyła zwykle w odstępnie ok. 65 m za czołem przodka, przy bardzo niewielkiej już konwergencji. Lecz właśnie ten rodzaj oddziaływania oraz zjawiska reologiczne decydują o warunkach rzeczywistego obciążenia obudowy w długim okresie jej eksploatacji.

Szacunkowe analizy MES przeprowadzone na dostępnych danych pozwoliły ustalić stopień wykorzystania potencjału obudowy ostatecznej. Jej znaczna grubość, wynosząca zwykle 0,5 m, miejscami nawet 1,0 m, oraz wysoki poziom zbrojenia wydaje się być nie do końca skonsumowany. Zakładając obciążenie obudowy ostatecznej wynikające z 15% całkowitej konwergencji tunelu, wyężenie jej poszczególnych elementów – betonu C50/60 według warunku Coulomba – Mohra, czy stali S550 według warunku HMH, nie przekracza odpowiednio 40% oraz 10% (rys. 8).

Podział kompetencji

Okazało się, że w obrębie inwestycji tunelowej „Naprawa – Skomielna Biała” nakładają się kompetencje uregulowań Prawo budowlane i Prawo górnicze, przy czym – nie istniała wyraźna granica wpływów. Drogą porozumienia inwestora (GDD-KiA), generalnego wykonawcy (ASTALDI S.p.A) oraz administracji branżowej i państwowej – ustalono, że Urząd Górniczy obejmie swym nadzorem roboty tunelowe związane bezpośrednio z drążeniem wyrobisk, z postawieniem obudowy wstępnej łącznie, zaś Urząd Nadzoru Budowlanego –

wszystkie inne prace budowlane, począwszy od wykonawstwa żelbetowej obudowy ostatecznej.

W myśl tego podziału – menadżerowie budowy zmuszeni byli uzyskać dodatkowo uprawnienia górnicze, jak np. kierownik ruchu zakładu górniczego, kierownik robót górniczych, nadsztygar, natomiast członkowie załogi – przodowy, strażowy, operator montażu obudowy wstępnej. I co ciekawe, te polskie uprawnienia zyskała duża część zatrudnionych tam pracowników z Włoch.

Organizacja wykonawstwa, zabezpieczenia terenowe

Roboty tunelowe rozpoczęto z kierunku północnego w marcu 2017 r. Zamierzając przyspieszyć tempo prac, pół roku po starcie, uruchomiono przeciwbieżny front drążenia od strony południowej – „na zbiecie”. Kiedy przebijanie pierwszej nitki trwało nieco ponad 2,5 roku, to z nitką drugą uporano się szybciej. Nabyte doświadczenie zaowocowało. Duże, niespodziewane osuwisko gruntu wymieszanego z druzgotem skalnym – fragment zbrocza góry w rejonie wylotu tuneli od strony Skomielnej Białej, odcięło okresowo południowy dostęp do wyrobisk, co w konsekwencji wstrzymało i znacznie opóźniło dalsze przebijanie wyrobisk. Wówczas uwagę skoncentrowano na likwidacji osuwiska oraz zabezpieczeniu odstonieć skarp w otoczeniu południowego wylotu. Konstrukcja zagłębionego w gruncie kompleksu czerpni świeżego powietrza, zlokalizowanego przed północnymi portalami wyrobisk, jest gotowa. Trwają roboty wykończeniowe i montaż ostatecznego wyposażenia. Po oddaniu obiektu do użytku, powietrze tłoczone będzie całym przebiegiem części podjezdniowej, przez przyciososowe nawiewniki trafi do strefy ruchu samochodów, skąd dzięki pracy wentylatorów podstropowych przemieszczane będzie ku południowym wylotom tuneli. Lecz system wentylacji tuneli jest tak zaprojektowany, by w razie potrzeby odwrócić kierunek przepływu powietrza. Tak więc, zagwarantowano możliwość zarządzania przewietrzaniem w obu kierunkach. Obecnie w wyrobiskach trwają prace instalacyjne i wykończeniowe. Po kolejnych korektach terminowych, skorygowany harmonogram robót przewiduje ich zakończenie wraz ze schyłkiem bieżącego roku. Docelowo ułożona zostanie dwupasmowa jezdnia (2 x 3,5 m) z okrajem dla postoju awaryjnego o szerokości 3,0 m oraz z zatoką postojową 3-metrowej szerokości w połowie drogi. Jeden z tuneli przeznaczony będzie dla ruchu w kierunku Zakopanego, drugi – dla kierunku przeciwnego. Co 172,5 m obydwie nitki łączone są przecznicami ucieczkowymi na wypadek awaryjnego wstrzymania ruchu samochodów

Rys. 8. Mapy wyężenia M-C betonu obudowy ostatecznej oraz naprężenia zredukowanych HMH stali zbrojeniowej



a)



b)



c)

Rys. 9. Zabezpieczenia obszaru osuwiskowego przy południowym portalu tuneli (strona wschodnia):
 a) wysoka palisada rozmieszczona schodkowo
 b) mur oporowy i kamienny zasyp
 c) głowica głębokich kotwi gruntowych

w jednej z nich. Obydwie wyposażone są w system sygnalizacji, kamer obserwacyjnych, instalacje ppoż., oświetlenie, oznaczenia dróg ewakuacyjnych – łącznie z niszami alarmowymi czy hydrantowymi.

Odwadnianie tuneli

W trakcie drążenia, jeszcze przed zbiegiem przodków – od strony północnej roboty prowadzone były ze spadkiem, po upadzie, więc wody wysączające się ze skał spływały i gromadziły w strefie przodkowej. Aby uniknąć nadmiernego zabłocenia spągu – co kilkadziesiąt metrów zagłębiano tam rzępie – studzienkę wyposażoną w pompę i rurociągiem odprowadzano wodę na zewnątrz. Natomiast w przypadku frontu robót udostępnionego od strony południowej, w kierunku „po wzniosie”, wody spływały samoczynnie tymczasowym korytem spagowym.

Odprowadzaniu wód odsączanych z zaobudowy mają służyć dwa kolektory w nasady ociosów w części podjezdniowej tunelu – jako rozwiązanie ostateczne.

strefy zabioru wachlarzowym rusztem stalowych kotwi traconych. Podobnie, niezwykle skuteczne okazały się przedwierty poziome, w których osadzano urabialne rury z tworzywa sztucznego. Nie dość, że pozwalały na iniekcję spękań górotworu, to same również stabilizowały go, zapobiegając niekontrolowanemu wysypowi skał.

3. Z uwagi na wymogi prawne, dokonano podziału kompetencji nadzoru. Urzędowy patronat górniczy zadbał nie tylko o prawidłowość rozmieszczania, nabijania i odpalania ładunków wybuchowych, ale także o niezbędną wentylację przodka, sposób magazynowania i transportowania materiałów wybuchowych, BHP czy sposób dokumentowania robót.
4. Z analizy numerycznej konstrukcji obudowy tuneli „Naprawa – Skomielna Biała” wynika, że według stanu na dzień dzisiejszy jej potencjał nie jest do końca wykorzystany. Grubość, klasa betonu oraz układ i ilość zbrojenia pozwalają przenieść znacznie większe obciążenia ze strony otoczenia skalnego, nawet te skrajnie nierównomierne.

5. Przewymiarowanie da się wytłumaczyć oczekiwaniem gwarancji trwałości obiektu co najmniej na 100 lat, zatem poza horyzont czasowy zakreślony aktualną normą PN-EN 206 „Beton...”. Obecny koszt betonu w obudowie ostatecznej to zaledwie 5,6% kosztów inwestycji, więc ewentualne oszczędności z tego tytułu byłyby praktycznie niezauważalne.
6. Taki a nie inny zestaw konstrukcyjny obudowy zawiera sporą rezerwę, zapas nośności na wypadek naturalnego pogorszenia właściwości geotechnicznych w perspektywie kilkudziesięciu lat. Nie ma bowiem pewności, czy aktualna stabilność obciążeń z upływem czasu nie zmieni się na niekorzyść, a konstrukcja ma przecież trwać a priori w stanie nienaruszonym.

7. Inwestor (GDDKiA) przywiązuje dużą wagę do bezpieczeństwa ruchu samochodów podczas eksploatacji tuneli, jak również i ich konstrukcji. Przykładowo – zrezygnowano z koncepcji przyspieszenia otwarcia jednego z nich dla ruchu kołowego, podczas gdy w drugim kontynuowano by prace wykończeniowe, uniemożliwiające wykorzystanie go jako drogi ucieczkowej. Zapadła więc świadoma decyzja oddania do użytku obydwu nitek – jednocześnie. Zdecydowano również o osłonie betonowych ociosów (do wysokości gzymsu) natryskiem ognioochronnym.

dr inż. Zdzisław B. Kohutek

Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce

dr hab. inż. Jerzy Cieślik, prof. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Literatura:

1. Cała M., Tajduś A.: Budowa tuneli w warunkach fliszu karpackiego. I Polskie Forum Tunelowe, Wrocław - 23.01.2019.
2. Jończyk M.: Tunele – nowoczesne podejście do projektowania. <https://docplayer.pl/114146624...>
3. Lunardi P., Bindi R.: The evolution of reinforcement of the advance core using fibre glass elements for short and long term stability of tunnels under difficult stress-strain conditions: design, technologies and operating methods. www.rocksoil.com/pdf/157_r.pdf
4. Sambath S.H., Tokarz P.: Beton jako podstawowy materiał stosowany przy budowie tunelu drogowego S7 Naprawa – Skomielna Biała. Budownictwo-Technologie-Architektura, nr 1/2020
5. Schiavone F.: Podejście metodologiczne do analizy i projektowania tunelu S7 Mały Luboń. Konferencja Polskiego Kongresu Drogowego, Zakopane – 25.01.2017.
6. Smolarczyk M.: Wózek do betonowania „szyty na miarę” na budowie najdłuższego tunelu drogowego w Polsce. www.inzynieria.com/tunele...

Dane techniczne charakteryzujące skalę budowy

- całkowita długość pojedynczego tunelu – 2,06 km, w tym ok. 0,14 km części wlotowych, wykonywanych jako odkrywka
- postęp przodka – średnio 2 m/dobę, przy obłożeniu na 3 zmiany robocze po 8 godzin każda – przez 7 dni w tygodniu
- ilość urobku skalnego – 173 m³/m.b. przy mniejszym wlocie i 190 m³/m.b. przy większym; łącznie – ok. 664 tys. m³; po rozkruszeniu – do wykorzystania poza tunelem na podbudowę drogową i wypełnienia terenu
- zużycie materiałów wybuchowych – ok. 350 ton
- zużycie betonu – 128 tys. m³
- spadek nawierzchni – 0,5% w kierunku południowym
- koszt budowy tuneli – blisko 1 miliard złotych.

Podsumowanie i wnioski

1. Nowa austriacka metoda tunelowania (NATM) polega na tym, że sztywną obudowę ostateczną stawia się po całkowitym odprężeniu skał, tzn. gdy konwergencja stropu i ociosów osiągnie maksimum, ale koniecznie przed początkiem generowania strefy spękań górotworu wokół wyrobiska. Natomiast włoska metoda A.DE.CO.-RS dodatkowo troszczy się o stan czoła przodka. Wprowadza pojęcie ekstruzji i podział na przodek stateczny, tymczasowo stateczny i bez stateczności. Można zatem stwierdzić, że jest racjonalnym rozwinięciem metody austriackiej.
2. Nowatorskim, skutecznym rozwiązaniem, dotychczas niespotykanym w Polsce, jest górna osłona