

Górotwór elementem konstrukcji nośnej tunelu

# Budowa najdłuższego tunelu w Polsce metodą górnictwą i odkrywkową

inż. František Očkaják, inż. Marek Ševčík, inż. Jozef Bartoš

Rampa zjazdowa z kaloty drążonego tunelu w Lalikach

Tunel w Lalikach stanowi element zadania inwestycyjnego o nazwie *Budowa drogi ekspresowej S69 Bielsko-Biała – Żywiec – Zwardoń, odcinek C2 Szare – Laliki*. Inwestycja w części tunelowej obejmuje wykonanie dwóch równoległych wyrobisk: tunelu drogowego – dwukierunkowego, o trzech pasach ruchu, tunelu ewakuacyjnego oraz czterech przejść poprzecznych między tunelami, przechodzących przez zbocze Sobczakowej Grapy.

## 1. Lokalizacja inwestycji

Projektowany tunel przecina grzbiet Sobczakowej Grapy (766,3 m n.p.m.). Zlokalizowany jest w miejscowości Laliki, w ciągu nowo projektowanej drogi ekspresowej S69 Bielsko-Biała – Żywiec – Zwardoń na odcinku od km 41+708,00 (początek tunelu, portal północny) do km 42+386,00 (koniec tunelu, portal południowy).

## 2. Opis obiektu

Konstrukcja tunelu drogowego: żelbetowa, dwie warstwy obudowy – zewnętrzna (wstępna) i wewnętrzna (stała).

Konstrukcja tunelu ewakuacyjnego: żelbetowa, jedna warstwa obudowy.

Długość: 678,00 m.

Rozstaw osiowy tunelu drogowego i tunelu ewakuacyjnego: 30,7 m.

Zewnętrzne gabaryty tunelu drogowego: 12,7 x 9,0 m.

Szerokość użytkowa przekroju typowego: 11,2 m, w tym jezdnia 8,40 m.

Pasy ruchu w tunelu: 2 x 3,5 m = 7,0 m, opaski 2 x 0,7 m.

Wysokość nad jezdnią w osi tunelu: 6,55 m.

Klasa drogi: S.

Wysokość skrajni drogi: 4,7 m.

## 3. Koszty

Portal północny: 450 941,11 zł.

Portal południowy: 353 956,38 zł.

Tunel: 122 602 728,69 zł.

Wypożyczenie tunelu: 24 627 048,53 zł.

Łącznie: 148 034 674,71 zł.

## 4. Warunki geotechniczne

Górotwór jest zbudowany z paleogenicznych warstw fliszowych łupków ilastych oraz piaskowców. Łupki ilaste są częściowo wapniowe i piaskowcowe, przeważnie glaukonityczne. W strefie zwietrzania oraz tektonicznego spękania mają charakter ilów bądź piargów kamienisto-ilastych lub ilasto-kamienistych.

Z warstwowych minerałów ilastych zawierają chlorek, łyszczyk ilasty, rzadko kaolinit. Dominantnymi, rozdzielonymi powierzchniami w tym górotworze są warstwowe nieciągłości, które razem z uwarstwieniem powodują rozpad górotworu na deskowe i graniastosłupowe fragmenty i bloki.

### 4.1. Tektonika

Masyw fliszowy, w którym będzie drążony tunel, charakteryzuje się zmiennością strukturalną, a tym samym skomplikowaną tektoniką. Wynika to w znacznym stopniu z znajdującej się w tym obszarze krawędzi nasunięcia płaszczowiny magurskiej na płaszczowinę śląską. Orogenetyczne przemieszczenie się jednostki magurskiej spowodowało wytworzenie łusek i zaburzenie regularnego zapadania warstw w postaci większych lub mniejszych sfałdowań i dyslokacji warstw. Masyw ten, oprócz nieciągłości międzywarstwowych, cechuje występowanie spękań i szczelin o zróżnicowanej charakterystyce.

### 4.2. Warunki hydrogeologiczne

Wzdłuż trasy tunelu w żadnym z odwierconych otworów badawczych nie stwierdzono występowania horyzontów wodonośnych, a lokalnie górotwór wykazywał charakter drenujący. Należy się liczyć z okresowym występowaniem nawodnienia górotworu z wód opadowych i roztopów. W gruntach pokrywowych woda o charakterze sączeniowym występuje lokalnie. Stan zawodnienia może cechować się znacznymi wahaniami sezonowymi. Na trasie drążenia nie stwierdzono wyraźnych



Operacja ładowania w czole przodku tunelu w Lalikach

dopływów wody. Jej obecność ma raczej charakter sezonowy, woda dostaje się przez drenowe warstwy skały.

Warunki wodne w rejonie projektowanego tunelu generalnie nie są skomplikowane i nie powinny stwarzać trudności w czasie drążenia.

### 5. Rozwiązania architektoniczno-budowlane

Obiekt został sklasyfikowany jako tunel drogowy, płytki, wykonywany metodami górniczą i odkrywkową, jednonawowy, o obudowie monolitycznej żelbetowej.

Przekrój poprzeczny tunelu ma kształt podkowiasty, wynikający z charakteru pracy konstrukcji. Powierzchnia czołowa portali nachylona jest zgodnie z nachyleniem skarp otaczających, tj. 1:1,5.

Tunel posiada cztery poprzeczne przejścia (łączniki), łączące tunel drogowy z tunelem ewakuacyjnym.

Jezdnia drogi w tunelu ma pochylenie poprzeczne, jednostronne, na łuku 5,5%, natomiast na krzywej przejściowej zmienne 5,5–0,0%, 0,0–2,0%, na prostej 2,0%. Oś trasy na odcinku tunelowym ma stały spadek podłużny 4,0% w kierunku południowej głowicy tunelu. Rozwiązanie wysokościowe wynika z projektowanej niwelety drogi i warunków terenowych.

W bezpośrednim sąsiedztwie obu portali powstaną wolno stojące budynki techniczne, przeznaczone do sterowania ruchem w tunelu. Budynki będą jednokondygnacyjne z częścią podpiwniczoną. Część podziemna, o wysokości 2,2 m, pełni rolę tunelu kablowego.

### 6. Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe

#### 6.1. Konstrukcja rury tunelu drogowego

Obudowę tunelu odcinka górniczego zaprojektowano jako dwuwarstwową: powłoka zewnętrzna – wstępna (tymczasowa), powłoka wewnętrzna – stała.

Obie warstwy oddziela membrana hydroizolacyjna, wykonana jako ciągła z dwuwarstwowej folii o kontrolowanych stykach sąsiadujących arkuszy.

Konstrukcję rury tunelu ewakuacyjnego stanowi powłoka wstępna.

#### 6.2. Konstrukcja rury łącznika

Przeznica posiada konstrukcję analogiczną do konstrukcji tunelu.

Przekrój wyłomu poprzeczny jest bliski kołowemu, osiągnięte wysokość ok. 4,0 m, szerokość 3,8 m. Sklepienie spągowe posiada górną powierzchnię poziomą oraz grubość w środku rozpiętości 0,75 m.

#### 6.3. Elementy bezpieczeństwa ruchu

W ciągu drogi ekspresowej S69 na odcinkach dojazdowych zaprojektowano bariery energochłonne SP-01.

Równoległe do tunelu przebiegać będzie tunel ewakuacyjny. Tunele zostaną połączone czterema poprzecznymi przejściami (łącznikami), w odstępach co ok. 150 m.

#### Dane podstawowe dotyczące budowy tunelu w Lalikach

Inwestor: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad

Wykonawca: konsorcjum Bögl & Krýsl k.s. – Praga, Czechy (lider),

Doprastav a.s. – Bratysława, Słowacja (partner)

Nazwa budowy: *Budowa drogi ekspresowej S69 Bielsko-Biała – Żywiec –*

*Zwardoń; odcinek C2: Szare – Laliki km 40+475 – km 43+155,74*

Projektant: Mosty Katowice Sp. z o.o.

Długość tunelu drogowego – część drążona: 630 m

Długość tunelu drogowego – część głębiona: 48 m

Długość tunelu ewakuacyjnego – część drążona: 627 m

Długość tunelu ewakuacyjnego – część głębiona: 52 m

Długość całkowita przejść poprzecznych: 92 m

Ilość całkowita urobku ze wszystkich obiektów w części drążonej: 92 100 m<sup>3</sup>

Wykopy gruntu przed portalem południowym i północnym: 164 330 m<sup>3</sup>

Ilość całkowita betonu natryskowego NB 25: 15 000 m<sup>3</sup>

Ilość całkowita betonu lanego B 35, B 45, B 50: 25 630 m<sup>3</sup>

Ilość całkowita stali: 3480 t

Cykl realizacji: 24 miesiące

Termin realizacji: listopad 2007 – listopad 2009



Opracowanie czoła przodka tunelu w Lalikach – koparka tunelowa

#### 6.4. Stacje awaryjne

W tunelu projektuje się stacje awaryjne, rozłożone na przemian po lewej i prawej stronie, w odstępach (od portalu północnego) 88,0 m; 85,0 m; 5 x 84,0 m; 85,0 m. Po lewej stronie tunelu stacje będą usytuowane w niszach sygnalizacyjnych, a po prawej – w poprzecznych przejściach łączących tunel z tunelem ewakuacyjnym.

#### 7. Wznoszenie obiektu

##### 7.1. Informacje ogólne

Na przeważającej długości tunel drogowy i tunel ewakuacyjny zostaną wykonane klasyczną metodą górniczą z zastosowaniem zasad NATM (Nowa Austriacka Metoda Tunelowa), w myśl których górotwór stanowi element konstrukcji nośnej tunelu, przy czym jego ciśnienie po powstaniu wyłomu zostanie obniżone przez wykonanie obudowy wstępnej, będącej jedynie tymczasową powłoką zabezpieczającą, umożliwiającą jednak odkształcenia i przesunięcia górotworu. Odkształcenia górotworu należy dopuścić w pewnych granicach czasowych i wykorzystać do wykonania obudowy ostatecznej. Obudowa wstępna zostanie wykonana z użyciem obudowy ze stalowych łuków, zbrojonego betonu natryskowego i kotew. Podczas drążenia tuneli należy na bieżąco prowadzić geologiczno-inżynierskie prace kontrolno-badawcze oraz monitoring geotechniczny, pokazujący ruchy górotworu podczas drążenia w celach ostrzegawczych.

##### 7.2. Drążenie rury tunelu

W przeważającej większości przypadków dla utrzymania stanu odwodnienia w trakcie prac związanych z drążeniem, tunel drążony jest wznosząco. Z powodu układu warstw oraz wymagań odwodnieniowych również tunel w Lalikach będzie drążony w sposób wznoszący, z południa na północ, w celu redukcji działań związanych z podpieraniem czoła przodka.

Tunel odcinka górniczego, w związku z dużą powierzchnią przekroju, należy wykonać z podziałem na warstwy: kalota, sztrosa, spąg. Rozluźnianie górotworu odbywa się poprzez

lekkie strzelanie w skałę zwartej, w strefie rozluźnionej za pomocą koparek, ze wspomaganiami strzelań rozluźniających. Przy szczególnie niekorzystnych warunkach mogą się okazać konieczne następujące działania: przebijanie sztolni pilotowej w kalocie i następujące po tym rozszerzenie do pełnego przekroju kaloty oraz wykonanie sklepienia kalotowego.

Czoło przodka, zależnie od wymogów, będzie zabezpieczane przy pomocy podpór, betonu natryskowego i kotew. Lokalnie może wyniknąć konieczność prowadzenia działań wyprzedzających, mających na celu odwodnienie.

Parametry obudowy będą dobierane w zależności od rzeczywistych warunków występujących na miejscu budowy, określanych na podstawie następujących pomiarów: geodezyjne przekroje pomiarowe w rozstawie 10–20-krotność szerokości kaloty z trójwymiarowym pomiarem przesunięcia stropu i ociosów bocznych, geotechniczne przekroje pomiarowe do ustalania ciśnienia górotworu za pomocą trzech tensometrów oraz do pomiaru działania kotew – trzy kotwy pomiarowe.

##### 7.3. Drążenie rury tunelu ewakuacyjnego (sztolnia równoległa)

Sztolnia drążona będzie w pełnym przekroju. Sztolnia powinna wyprzedzić drążenie rury tunelu w celu rozpoznania szczegółów budowy górotworu.

Rozluźnianie górotworu odbywa się poprzez lekkie strzelanie za pomocą koparek. Tymczasowe zabezpieczenie następuje przy pomocy zbrojonego betonu natryskowego (alternatywnie beton natryskowy z wypełnieniem włóknami stalowymi) i kotew. Dla stanu końcowego sztolni może okazać się konieczne, zależnie od obciążenia powłoki z betonu natryskowego, umieszczenie lokalnie dodatkowej zbrojonej warstwy z betonu natryskowego o grubości 10 cm.

##### 8. Część drążona tunelu drogowego, ewakuacyjnego oraz części poprzecznych

Przy pomocy szablony na skarpie został narysowany rzeczywisty profil wykopu i wykonano zabezpieczający parasol



Portal południowy tunelu w Lalikach – widok ze środka



Figura św. Barbary – portal południowy tunelu w Lalikach

mikropalowy. Drażenie głównego i ewakuacyjnego tunelu realizuje się paralelnie według NATM, przy pomocy wiertniczo-rozrywczych robót i maszyn budowlanych. Drażenie drogowego tunelu podzielono na kalotę, jądro i dno; tunelu ewakuacyjnego oraz przejść poprzecznych – na kalotę i dno.

Urobek przy pomocy ładowarek kołowych i wozidła zostanie wywieziony na zewnątrz tunelu. Po wydrążeniu tunelu drogowego, tunelu ewakuacyjnego oraz przejść poprzecznych prace skoncentrują się na realizacji dna wszystkich wymienionych obiektów wraz z betonowaniem stron obydwu portali. Najpierw zostanie wykonana hydroizolacja oraz ochrona hydroizolacji betonową powłoką o grubości 15 cm, następnie zbrojenie i ostateczne betonowanie. Później zostanie wykonany montaż podłużnego drenu, ułożonego w żwirowym łóżku po obu stronach tunelu ze średnicą 200 mm.

Na dnie tunelu zostaną zamontowane tory kolejowe dla ruchomej platformy (wózka) do wykonywania izolacji, zbrojenia, deskowania i betonowania obudowy zasadniczej. Realizacja obudowy zasadniczej będzie wykonywana od południowego do północnego portalu, rozpoczynając od montażu hydroizolacji przez zbrojenie i betonowanie w 12-metrowych standardowych blokach. Obudowa zasadnicza będzie wykonywana na wszystkich obiektach (tunel drogowy, ewakuacyjny oraz przejścia poprzeczne) równocześnie. Podczas ostatnich prac nad obudową zasadniczą, przed demontażem ruchomej platformy zostaną zabetonowane nietypowe bloki portalowe w głębinnych częściach systemowego deskowania.

#### 8.1. Chodniki

Po zakończeniu betonowania obudowy zasadniczej zostaną podjęte prace przy chodnikach. Składają się na nie: montaż zbrojenia, deskowanie i betonowanie, montaż przewodów kablowych i – wraz z warstwami konstrukcyjnymi jezdni – montaż wodociągów pożarowych, hydrantów i głównej rury odwodnienia Ø 300 mm. Podczas realizacji chodników, w określonych odstępach czasu, na obudowę zasadniczą zostanie naniesiona ostateczna powłoka ochronna – nawierzchniowa.

#### 8.2. Portale

Strefy przyportalowe tunelu, ze względu na małą wysokość nadkładu, zostaną wykonane metodą odkrywkową i oddzielone od obudowy ostatecznej odcinka górniczego dylatacją pionową. Zasyp odcinków odkrywkowych należy przeprowadzić warstwami zagęszczanymi mechanicznie z wykorzystaniem materiału pochodzącego z tego wykopu. Pierwotne prace przy budowie tunelu rozpoczęły się przy portalu południowym od zbudowania zaplecza budowy, dla ok. 100 pracowników wykonawcy, geomonitoringu, nadzoru budowlanego i innych. Następnie wykonano: drogi dojazdowe do zaplecza i do otwartego wykopu przed tunelem, przyłączenia wodociągowe dla potrzeb zaplecza oraz wody technologicznej dla budowy tunelu, przyłącze zasilania elektroenergetycznego ze stacją transformatorową 400 kVA. Kanalizacja budowy odbiera wody ściekowe i inne zanieczyszczone wody do szamba. Pozostałe wody z tunelu są oczyszczane typowym koalescencyjnym separatorem.

Budowę portali wykonuje się stopniowym wykopem karbu, zabezpieczeniem skarp stalowymi siatkami, żerdziami oraz betonem natryskowym aż do poziomu drażonej części tunelu – do niwelety dna tunelu. Później następuje odwodnienie skarpy czelnej i skarpy bocznych. Prace wykonywano bez przerwy, całodobowo, czyli podczas dni roboczych, weekendów i świąt.

Skarpy tunelu zostaną zabezpieczone zasypem konstrukcji monolitycznych głębinowej części tunelu, zagęszczanych po określonych warstwach oraz realizacją ściany gabionowej. Roboty na skarpach będą wykonywane równocześnie z robotami przy obudowie zasadniczej.

#### 9. Technologia – wyposażenie tunelu

Podczas nanoszenia ostatecznej powłoki ochronnej (nawierzchniowej) na obudowę zasadniczą wszystkich obiektów (tunelu drogowego, ewakuacyjnego oraz przejść poprzecznych) rozpoczną się prace związane z wyposażeniem tunelu. Będą polegać na: zbudowaniu budynków technicznych do sterowania tunelem, montażu wentylacji, oświetlenia, nagłośnienia, monitoringu, sygnalizacji przeciwpożarowej, systemu sterowniczego, hydrantów, systemów komunikacyjnych, linii telefonicznej dla obsługi tunelu, urządzeń pierwszej pomocy (kabiny SOS), radia. Na końcu nastąpi sprawdzenie i wypróbowanie funkcjonowania całego systemu.

Zaprojektowano pięć par wentylatorów strumieniowych, montowanych do stropu w rozstawie 135 m oraz dwa wentylatory w tunelu ewakuacyjnym rozmieszczone w okolicach portali.

#### 10. Oddziaływanie na środowisko

Realizacja obiektu tunelowego, a zwłaszcza wykopu służącego do wykonania odcinków odkrywkowych tunelu, stanowi ingerencję w środowisko naturalne. Wiąże się to z zaburzeniem stosunków wodnych, degradacją warstwy humusowej i szaty roślinnej. Dlatego też ważnym elementem wykonania obiektu jest rekultywacja naruszonego terenu, a główną przesłanką dla realizatorów inwestycji winno być dążenie do minimalizacji przekształceń, zwłaszcza że inwestycja zlokalizowana jest w strefie ochronnej Żywieckiego Parku Krajobrazowego.

Drażenie tunelu spowoduje obniżenie poziomu wód gruntowych, w zależności od gęstości górotworu aż do spągu tunelu. Studnie i źródła w obszarze tego oddziaływania mogą wyschnąć.

Na skutek drażnienia tunelu dochodzi do osiadania powierzchni terenu i powstania zagłębień. Wynikłe zagłębienia, w zależności od formy, mogą powodować ujemne skutki w stosunku do zabudowań znajdujących się w obszarze oddziaływania.

Podczas strzelania dochodzi do rozprzestrzeniania się oddziaływań powodowanych przez wstrząsy i odgłosy materiałowe.

Współpraca: GDDKiA Oddział w Katowicach  
Zdjęcia: Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne