



Plac budowy Letná, październik 2010 r.

Projekt tunelowy Blanka w Pradze czeskiej

tekst: ANNA SIEDLECKA, zdjęcia: METROSTAV A.S.

Największą podziemną inwestycją obecnie budowaną w Czechach jest bez wątpienia kompleks tunelowy Blanka w Pradze. Ten rozległy projekt, realizowany w ramach budowy północno-zachodniego odcinka obwodnicy miasta, ma całkowitą długość 6382 m i dopełnia już otwartą, 17-kilometrową część obwodnicy z tunelami Zličovskim, Mrázovką i Strahovskim. Po oddaniu do użytkowania, co zaplanowano na 2014 r., powstanie najdłuższy tunel w Czechach i najdłuższy tunel miejski w Europie; jednocześnie będzie on również najdłuższym jednolitym tunelem wykonanym metodą górniczą na terenie Czech – o długości aż 2,23 km.

Budowana trasa obwodnicy prowadzi przez mocno zurbanizowany teren na granicy historycznego centrum Pragi oraz przez chronione tereny Královské obory – Stromovki. Układ trasy wytyczono już na początku lat 90. XX w., a następnie wybrano optymalny wariant przebiegu tego odcinka obwodnicy. W celu minimalizacji niekorzystnego wpływu robót budowlanych, a przede wszystkim późniejszego ruchu samochodowego na nowo powstałej sieci drogowej na okoliczne tereny, przeważającą część inwestycji zdecydowano się poprowadzić w tunelach budowanych z powierzchni, choć w dużej części również wykonywanych metodą górniczą. W ten sposób powstał projekt kompleksu tunelowego Blanka, obejmujący trzy odcinki tunelowe – od skrzyżowania Malovanka do północnego portalu tunelu Strahovskiego i skrzyżowania Troja, w pobliżu nowego mostu Trojskiego przez Wełtawę. Odcinki te płynnie łączą się na skrzyżowaniach wielopoziomowych Prašný most i U Vorlíků.

W kolejności od już otwartego odcinka zachodniej obwodnicy miasta zlokalizowane będą:

- **odcinek tunelowy Brusnice**, prowadzący od północnego portalu tunelu Strahovskiego ulicą Patočkovą, początkowo tunelami wykonanymi metodą odkrywkową. Za skrzyżowaniem z ulicą Myslbekovą trasa przechodzi w odcinek wykonany metodą górniczą i kończy się przed skrzyżowaniem Prašný most, gdzie przechodzi na powrót w tunele wykonane odkrywkowo. Całkowita długość sekcji wynosi 1,4 km, z czego 550 m to tunele wykonane metodą górniczą;
- **odcinek tunelowy Dejvice**, rozpoczynający się na skrzyżowaniu Prašný most i prowadzący na całej długości w tunelach wykonanych odkrywkowo ulicą Milady Horákovéj aż do wykopu na Letnéj, gdzie w przyszłości będzie zlokalizowane skrzyżowanie U Vorlíků. Całkowita długość sekcji wynosi 1,0 km;
- **odcinek tunelowy Královská obora**, prowadzący od skrzyżowania U Vorlíků najpierw krótkim odcinkiem na Letnéj, wykonanym odkrywkowo, który łączy się z odcinkiem wykonanym metodą górniczą, prowadzącym w kierunku zabu-



Plan sytuacyjny budowy tunelu Blanka



Wizualizacja węzła Malovanka



Tunele wykonane metodą odkrywkową oraz tunele sklepione na Triji

dowań Stromovki (Královské obory), kanału żeglugowego, Císařské wyspy, Wełtawy i dalej odcinkiem wykonanym odkrywkowo aż do portalu trojskiego. Całkowita długość odcinka wynosi 3,09 km, z czego 2230 m jest drążonych.

Trasa obwodnicy jest na całej długości rozdzielona kierunkowo na samodzielne tunele dwu- i trzypasmowe w każdym kierunku. Liczba pasów ruchu odpowiada jego natężeniu, spadkowi podłużnemu trasy, a przede wszystkim potrzebie powiązania łącznic skrzyżowań wielopoziomowych, zapewniających połączenie obwodnicy z siecią komunikacyjną na powierzchni.

W fazie przygotowania i realizacji odcinek został podzielony na cztery sekcje:

- sekcja nr 0065 **Strahovský tunel samochodowy, etap 2A i 2B,**
- sekcja nr 9515 **Myslbečková – Pražský most (MYPRA),**
- sekcja nr 0080 **Pražský most – Špejchar (PRAŠ),**
- sekcja nr 0079 **Špejchar – Pelc-Tyrolka (ŠPELC).**

Zakres inwestycji jest niespotykany i można go porównać jedynie z budową pierwszych odcinków praskiego metra. Odpowiada mu również długość przygotowań, liczba inwestycji towarzyszących, wielkość przebudowywanych sieci inżynierskich, organizacja transportu publicznego, koordynacja i organizacja robót. W trakcie realizacji, głównie na jej końcowym etapie, inwestycja będzie znacząco wpływała na transport w przeważającej części Pragi. Przewiduje się, że dojdzie do znacznej poprawy środowiska naturalnego na granicy historycznego centrum Pragi, wpisanego na listę dziedzictwa historycznego i kulturalnego UNESCO. Dziś obszar ten jest ekstremalnie obciążony przez ruch tranzytowy bez ograniczeń tonażu, co ma oczywiście swoje ekologiczne następstwa. Dodatkowo ukończenie i oddanie do użytku północno-zachodniego odcinka obwodnicy miasta umożliwi

liwi po wielu dziesięcioleciach powrót do kwestii tzw. magistrali północ – południe, tym razem z zamiarem zaadaptowania jej do nowoczesnie pojmowanego historycznego centrum miasta, z którego zostanie całkowicie wyłączony ruch tranzytowy.

Usytuowanie pionowe i poziome

Ze względu na rozmiary inwestycji w ramach opisu rozwiązań kierunkowych i wysokościowych ograniczymy się tylko do informacji ogólnych i podania wartości maksymalnych i minimalnych. Pod względem wysokościowym trasa tuneli obniża się na całej długości od skrzyżowania Malovanka aż pod Wełtawę, odkąd wznosi się do portalu trojskiego. Maksymalny spadek podłużny wynosi 5% na odcinku tunelowym Královská obora, od zjazdu z Letnéj pod Stromovką. Różnica niwelet pomiędzy najwyższym i najniższym miejscem tunelu to 113,5 m. Na usytuowanie poziome składa się duża liczba łuków prawo- i lewostronnych oraz pośrednich krzywych przejściowych. Najmniejsza wartość promienia łuku kierunkowego (300 m), z pominięciem łącznic na skrzyżowaniach, została osiągnięta na odcinku tunelowym Královská obora. Szerokość pasów ruchu na całej długości odcinka wynosi 3,5 m, wysokość przejazdu 4,8 m. Projektowana prędkość – 70 km/h.

Rozwiązania techniczne i konstrukcyjne

Jak już wspomniano, cały kompleks tunelowy Blanka składa się z kilku ściśle ze sobą powiązanych odcinków tunelowych, wykonanych zarówno metodą odkrywkową, jak i metodą górniczą.

Wszystkie tunele górnicze zaprojektowano jako dwuwarstwowe, realizowane w sposób konwencjonalny, przy pomocy nowej austriackiej metody tunelowej (NATM). Obudowy oraz



Tunele wykonane metodą górniczą, drążone na odcinku Špejchar – Pelc-Tyrolka

izolacje są zamknięte. Do zabezpieczenia wyrobiska przewidziano wykorzystanie obudowy wstępnej z betonu natryskowego, wzmocnionej ramami kratowymi ze stali zbrojeniowej, spawanymi sieciami stalowymi oraz zwornikami. Drążenie będzie przebiegało etapami. Jako zabezpieczenie uzupełniające na odcinkach krytycznych będą wykonywane iniekcje gruntowe, iniekcje natryskowe, parasole z mikropali, sklepienia dolne kaloty, zmiany w podziale powierzchni wyrobiska, ewentualnie kombinacje wymienionych regulacji. Profil tunelu dwupasmowego wynosi 123,7 m², a trzypasmowego 172,6 m². Dla zapewnienia wodoszczelności tuneli drążonych zaprojektowano specjalny system hydroizolacji.

Obudowa ostateczna tuneli górniczych jest zaprojektowana jako zamknięta, monolityczna, żelbetowa. Tunel w przekroju poprzecznym składa się z przestrzeni komunikacyjnej nad jezdnią oraz z przestrzeni pod powierzchnią jezdni, w której zostały przewidziane kanały wentylacji przeciwpożarowej oraz instalacji rozprowadzających sieci inżynierskie. Razem z obudową ostateczną, podzieloną na sklepienie górne i dolne, będą realizowane również niektóre części konstrukcji wewnętrznych (płyta i ściana, na których usytuowana będzie jezdnia). Do betonu sklepienia górnego zostaną dodane włókna polipropylenowe, które z jednej strony służą jako ochrona przeciw powstawaniu rys przy początkowym kurczeniu betonu, z drugiej strony są skutecznym środkiem obniżającym wpływ temperatury w czasie pożaru na straty nośności obudowy betonowej.

Tunele wykonane metodą odkrywkową, klasyczne, są zaprojektowane zawsze w otwartym wykopie, zabezpieczonym kotwionymi ścianami podziemnymi, ściankami berlińskimi lub na mikropalach, ewentualnie skarpowaniem lub kotwionymi ściankami skalnymi. Nośną konstrukcję ramową tunelu tworzy dolna płyta fundamentowa (z kanałem instalacyjnym) ze ścianami i stropem płaskim lub sklepieniem górnym. Wszystkie konstrukcje są monolityczne, żelbetowe, z dodatkiem włókien polipropylenowych. Ten typ konstrukcji został zastosowany w miejscach o złożonym rozmieszczeniu przestrzennym przy portalach końcowych, w miejscach łączenia z częścią górniczą, gdzie przy tunelu w wykopie są umieszczone następne obiekty, jak np. centrale technologiczne, garaże podziemne lub łącznice.

Tunele wykonane odkrywkowo metodą mediolańską (podstropową) są przewidziane w miejscach o bardzo ograniczonych warunkach przestrzennych oraz w miejscach z ko-

niecznością minimalizacji czasowych ograniczeń w ruchu na powierzchni. Sposób ich wykonania polega na budowie podziemnych monolitycznych ścian konstrukcyjnych z powierzchni, ewentualnie z zabezpieczonego wykopu. Następnie na wyrównanej powierzchni dna wykopu betonuje się docelową konstrukcję nośną stropu (opartą na ścianach podziemnych), która później zostanie zasypana. W dalszej kolejności można będzie wykonać prace wykończeniowe na powierzchni i przywrócić ruch. Drążenie właściwego profilu tunelowego wykonuje się z zabezpieczonego wykopu dopiero po zakończeniu całego odcinka, przez drążenie czoła przodka klasycznymi metodami górniczymi. Na całej długości tunele tego rodzaju mają wspólną ścianę środkową. W przekroju poprzecznym tunel składa się z dolnej płyty żelbetowej, podziemnych ścian posadowionych na podłożu nośnym oraz żelbetowej płyty stropowej.

W całym kompleksie tunelowym Blanka jest wiele interesujących rozwiązań detali oraz bardzo wymagających odcinków zarówno pod względem technicznym, jak i budowlanym. Z racji rozległego zakresu inwestycji poświęcimy uwagę tylko niektórym z nich. Najbardziej interesujące i najbardziej skomplikowane zostały opisane poniżej (w kierunku od Malovanky do Pelc-Tyrolki).

Pierwszym złożonym odcinkiem jest część portalowa tunelu, połączona ze skrzyżowaniem Malovanka. Cały zespół tuneli odkrywkowych z jedną łącznicą wjazdową i łącznicą z przyszłą ulicą Břevnovská tworzy monolit żelbetowy. Jego część stanowi również maszynownia systemów wentylacyjnych z dalszymi pomieszczeniami technologicznymi umieszczonymi między tunelami.

Skomplikowane warunki projektowania i budowy wystąpiły na brusnickim odcinku tuneli górniczych, gdzie wysokościowe prowadzenie trasy uniemożliwiło umieszczenie drążonego tunelu w masywie skalnym. Części tuneli trzypasmowych będą drążone w warstwach czwartorzędowych, stanowiących przevažnie osady eoliczne (lessy i gliny lessowe). Jako zabezpieczenie uzupełniające przy drążeniu przewidziano kolumny poziome iniekcji strumieniowej, wykonane z wyprzedzeniem nad górnym sklepieniem tunelu.

W rozległym, otwartym wykopie budowlanym na skrzyżowaniu Prašný most zostały razem umieszczone łącznice, centrum technologiczne oraz garaże podziemne na 463 miejsc. Fragmentem skrzyżowania jest również nowy most nad trasą kolejową w kierunku na Vítězné náměstí. Koordynacja prac na poszczególnych częściach obiektu, przy zachowaniu ruchu samochodowego i tramwajowego na powierzchni, z koniecznością umożliwienia dostępu do drążonego odcinka tunelu Brusnice oraz odcinka tuneli dejvických wykonanych metodą mediolańską, stanowi bardzo trudne zadanie zarówno z punktu widzenia organizacyjnego, jak i rozwiązań konstrukcyjnych obiektu. Dodatkowo plac budowy jest usytuowany w zabytkowej części Pragi, w bliskiej odległości Zamku Praskiego.

Kolejnym wymagającym odcinkiem jest przebicie tuneli metodą odkrywkową w ramach dejvického odcinka tunelowego, między westybuliem stacji metra Hradčanská i torowiskiem dworca ČD Praha-Dejvice. Dla celów budowy tuneli wykonywanych metodą podstropową północna część westybulu zostanie rozebrana, a po ich realizacji postawiona na nowo wraz z budową nowego przejścia podziemnego pod torami ČD do ulicy Dejvickéj. Rozwiązania techniczne musiały być

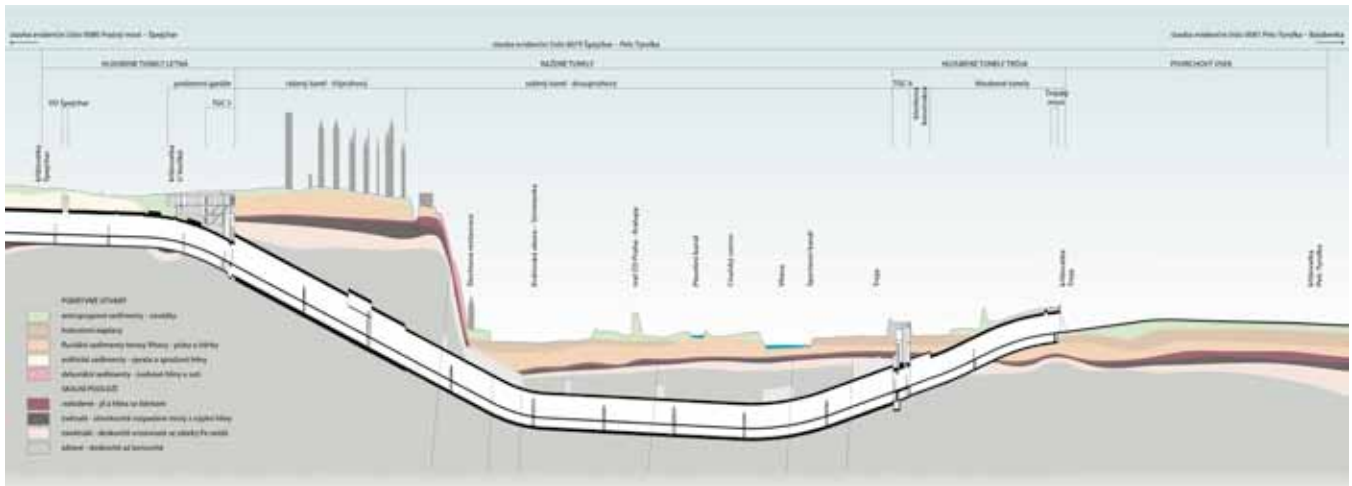
Dane techniczne inwestycji

Długość kompleksu tunelowego Blanka	Północna nitka tunelu [m]	Południowa nitka tunelu [m]
Odcinek Brusnice		
Odcinek wykonany metodą odkrywkową	546,07	539,29
Odcinek wykonany metodą górniczą	534,95	550,26
Odcinek wykonany metodą odkrywkową	323,96	308,72
Suma	1104,98	1398,27
Odcinek Dejvice		
Odcinek wykonany metodą odkrywkową	1006,82	1004,98
Suma	1006,82	1004,98
Odcinek Královská obora		
Odcinek wykonany metodą odkrywkową	290,69	294,93
Odcinek wykonany metodą górniczą	2230,77	2223,83
Odcinek wykonany metodą odkrywkową	568,94	537,22
Suma	3090,40	3085,98
Długość całkowita tuneli trasy głównej		
Długość całkowita tuneli wykonanych metodą górniczą	2765,72	2774,09
Długość całkowita tuneli wykonanych metodą odkrywkową	2736,48	2715,05
Długość całkowita tuneli	5502	5489
Długość łącznic tunelowych wykonanych metodą odkrywkową		
Malovanka	138,8	68
Prašný most	114	199,9
U Vorlíků	196	353,6
Trója	0	77,7
Suma	448,8	699,2

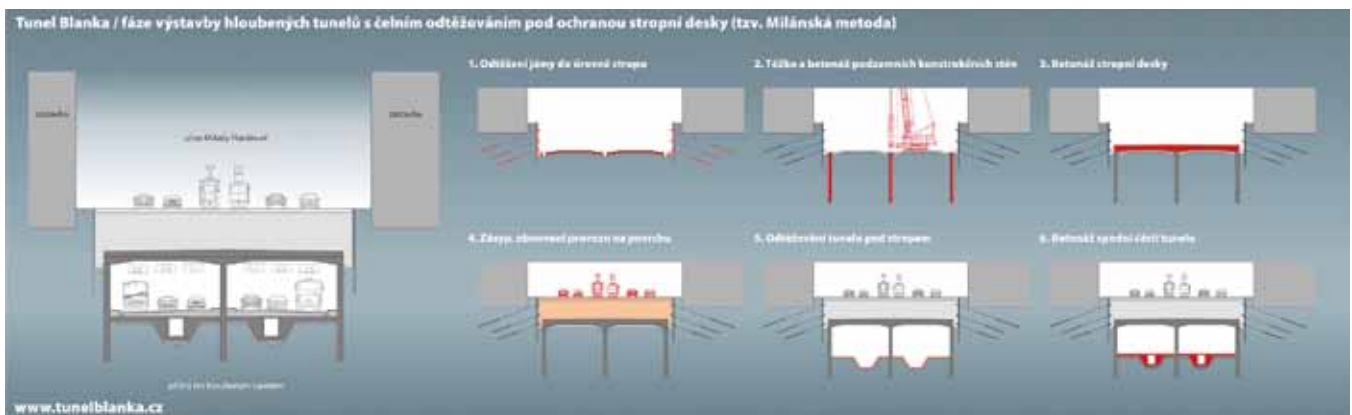
Tunele wykonane metodą odkrywkową w sumie	6599,53 m
Tunele wykonane metodą górniczą w sumie	5539,81 m
Tunele w sumie	12139,34 m
Powierzchnia wyrobiska	
Dwupasmowa	123,7 m ²
Trzypasmowa	172,6 m ²
Minimalny nakład tuneli wykonanych metodą górniczą	8 m
Maksymalny nakład tuneli wykonanych metodą górniczą	44 m
Roboty budowlane	
Obiekty wykonane metodą górniczą	944 000 m ³ (obszar wyrobiska)
Obiekty wykonane metodą odkrywkową	1 270 000 m ³ (przestrzeń obudowana)
Wysokość przejazdu	4,8 m
Szerokość pasa jezdni	3,5 m
Maksymalny spadek	5%
Projektowana prędkość	70 km/h

ponadto koordynowane z możliwością modernizacji całego obszaru dworca kolejowego i trasy kolejowej Praga – Kladno. Elementem tego projektu jest również budowa drugiego wstępu ze stacją Hradčanská, bezpośrednio powiązaną ze stacją kolejową.

Problematyczna koordynacja budowy z istniejącą siecią komunikacyjną miała miejsce również na całej długości tuneli wykonanych odkrywkowo na odcinku Dejvice – Letná-Prašný most. Trasa jest prowadzona głównie ulicą Milady Horákové, która jest główną trasą łączącą wschodnią i zachodnią część



Przekrój podłużny tunelu pod Wełtawą



Tunel Blanka, faza budowy tuneli odkrywkowych z drążeniem czoda przodka zabezpieczonego płytą stropową (metoda mediolańska)



Tunel Blanka, faza wykonania obudowy ostatecznej dwupasmowego tunelu

miasta na jego północnym obszarze. Przede wszystkim z tego powodu wykorzystano technologię tuneli odkrywkowych realizowanych metodą podstropową, z zabezpieczeniem w postaci stałych konstrukcji nośnych stropu i ścian. Dzięki temu rozwiązaniu dojdzie do bardzo wyraźnego skrócenia czasu zajęcia pasów ruchu na powierzchni i ograniczeń w ruchu (z dużym udziałem komunikacji miejskiej).

Kolejnym znaczącym elementem kompleksu tunelowego jest część portalowa tuneli wykonanych odkrywkowo na Letnéj. W otwartym wykopie budowlanym o głębokości do 25 m znajdują się – oprócz skrzyżowania (z czterema łącznicami tunelowymi), właściwych tuneli i podziemnego centrum technologicznego – również garaże podziemne z 863 miejscami parkingowymi. Bardzo złożony obiekt z siedmioma kondygnacjami podziemnymi pod rozległym płaskowyzem

Letenska jest zaprojektowany jako żelbetowa konstrukcja monolityczna, której stopniowa budowa i rozwiązania techniczne będą podporządkowane nadrzędnemu celowi, jakim jest uzyskanie dostępu do tuneli drążonych pod Stromovką.

W wykopie budowlanym na Letnéj zaczynają się tunele wykonywane metodą górniczą odcinka Kralovska obora, prowadzące od portalu koło stadionu AC Sparta i kończące się w okolicy Trojskiego jazu na drugim brzegu Wełtawy. Większych komplikacji przy budowie tych tuneli górniczych można spodziewać się tylko na odcinku o długości ok. 160 m od podnóża stoku Letné do Stromovky, w pobliżu strawionej pożarem budowli historycznej restauracji Šlechtovej. Oba tunele przechodzą w tym miejscu z najniższym nadkładem na granicy warstw libeńskich łupków i rewnickich kwarcytów o słabej nośności. Najmniejsza wysokość nadkładu skalnego wynosi tutaj ok. 1,5 m, ponad nadkładem znajdują się nasycone wodą żwiry o grubości warstwy ok. 11 m. Dlatego też na tym odcinku, przed drążeniem właściwych tuneli ze sztolni eksploracyjnej zostanie wykonana strumieniowo-ciśnieniowa iniekcja skalna przy pomocy systemu kotew.

Istotną częścią inwestycji jest przejście tuneli górniczych pod Wełtawą. Chodzi o już czwartą w kolejności trasę tunelową (trasy metra), wydrążoną pod korytem rzeki. W tym przypadku jednak osiągnięto największy profil wyrobiska (120 m²), przy minimalnym nadkładzie pod dnem Wełtawy, wynoszącym 14,5 m. Zakłada się, że zwiększone przepływy nie powinny stanowić jakichś dramatycznych komplikacji podczas budowy.

W celu zabezpieczenia przeciwpożarowego oraz wentylacji przeważającej części tuneli górniczych odcinka Kralovska obora pod zabudową mieszkaniową na Letnéj został zaprojektowany złożony kompleks drażonych, podziemnych obiektów technologicznych. Chodzi głównie o maszynownię wentylacji, kanały wentylacyjne i sztolnie łączące, przywodzące i odprowadzające. Największym obiektem jest tu maszynownia wentylacyjna, umieszczona równolegle do trasy tuneli. Powierzchnia wyrobiska wynosi prawie 300 m², długość 125 m, wysokość nadkładu skalnego 25 m. Do obiektu maszynowni wentylacji są ściśle przyłączone kanały wentylacyjne przywodzące i odprowadzające. Ten złożony węzeł podziemny można było zaprojektować w tym miejscu jedynie dzięki bardzo sprzyjającym warunkom geologicznym.

Ostatnią częścią kompleksu tunelowego Blanka jest tunel wykonany odkrywkowo na trojskim brzegu. Tunele są tutaj zbudowane w otwartych wykopach budowlanych. Pomimo faktu, że zostały umieszczone za wałami przeciwpowodziowymi, jednym z ważnych kryteriów projektu był wpływ stanu powodziowego w rzece na możliwość wyparcia tunelu. Po zamodelowaniu przepustowości wału przeciwpowodziowego wraz z oporem hydraulicznym, wysokością piezometryczną oraz ocenie konstrukcji tunelu możliwość ta została wyeliminowana. Budowa obwodnicy miasta jest tutaj skoordynowana z budową zabezpieczeń przeciwpowodziowych miasta stołecznego (budowa nr 0012).

Technologiczne wyposażenie tunelu

Wyposażenie technologiczne i zabezpieczające kompleksu tunelowego Blanka spełnia, a w wielu przypadkach nawet przekracza, minimalne wymagania bezpieczeństwa, ustanowione w dyrektywie unijnej 2004/54/EC o bezpieczeństwie tuneli drogowych. Kompleks jest kolejnym obiektem tunelowym na obwodnicy miasta i bezpośrednio łączy się z Strahovskim tunelem samochodowym. Fakt sterowania i kierowania wszystkich praskich tuneli samochodowych z dwóch dyspozytorni (jedna dla kierowania ruchem, druga do śledzenia i sterowania wyposażenia technologicznego) wymusił wyposażenie kompleksu tunelowego Blanka w odpowiedni system monitorujący, kierujący oraz zabezpieczający, kompatybilny z pozostałymi tunelami.

Wyposażenie technologiczne kompleksu tunelowego Blanka:

- **osprzęt do maszyn** (tory dla żurawi),
- **sygnalizacja świetlna** (oznaczenie i kierowanie ruchem, szlabany, system informacyjny, urządzenia sygnalizacji świetlnej),
- **urządzenia wentylacyjne** (główna wentylacja tunelu, wentylacja pomieszczeń pomocniczych),
- **urządzenia trybu automatycznego** (system kierujący, urządzenia pomiarowe substancji szkodliwych oraz prędkości przepływu powietrza, identyfikacja warunków drogowych, zamknięty system TV, urządzenia zabezpieczające),
- **urządzenia wysokiego napięcia** (rozprowadzenie wysokiego napięcia, uzziemienie, oświetlenie tuneli i pomieszczeń pomocniczych),
- **urządzenia niskiego napięcia**,
- **stacja trafo**,
- **stacja benzynowa**.

Znaczenie tunelu z punktu widzenia komunikacji w Pradze oraz zakładane wysokie natężenie ruchu miały wpływ na wysokie wymagania dotyczące niezawodności projektowanych syste-



Maszynownia urządzeń wentylacyjnych

mów technologicznych, jak najmniejszych kosztów utrzymania, włącznie z minimalizacją kosztów eksploatacji, a zwłaszcza kosztów energii elektrycznej. Na zużycie energii elektrycznej tuneli drogowych wpływa głównie system oświetleniowy i wentylacyjny. Z tego powodu szczególną uwagę poświęcono właśnie projektowi systemu wentylacyjnego.

System wentylacyjny w kompleksie tunelowym Blanka wykorzystuje efekt tłoka poruszających się pojazdów oraz łączy zasady wentylacji poprzecznej i podłużnej z lokalnym odprowadzeniem lub nadmuchem powietrza w tunelu jednokierunkowym. W normalnych warunkach powietrze będzie doprowadzane głównie portalami wjazdowymi w połączeniu z lokalnymi nadmuchami na całej długości tunelu. Zanieczyszczone powietrze będzie odprowadzane w sposób wymuszony przez cztery połączone poprzecznie maszynownie, tak aby w jak największej mierze ograniczyć wydobywanie się spalin z portali wyjazdowych.

Odprowadzenie dymu w przypadku pożaru jest w tunelach drażonych zabezpieczone wymuszonym odprowadzeniem przez otwory w stropie (co ok. 80 m), połączone zamykanymi kłapkami, do odprowadzającego kanału wentylacyjnego pod jezdnią. Na odcinkach wykonanych odkrywkowo dym jest odprowadzany w sposób wymuszony przez lokalne maszynownie lub przy pomocy wentylatorów strumieniowych umieszczonych przy portalach łącznic.

Ze względu na złożoność systemu oraz połączenie każdego z tuneli łącznicami wjazdowymi i wyjazdowymi z lokalną komunikacją na powierzchni, do zaprojektowania systemu wentylacyjnego, a głównie do automatycznego systemu jego sterowania, wykorzystano program do symulacji VENTSIM. Program ten został opracowany w związku z oddaniem do użytkowania tunelu Mrázovka w latach 2004–2005. Dla zminimalizowania mocy wentylatorów zostały zaprojektowane – na podstawie modelowania matematycznego i fizycznego, we współpracy z wydziałem budowy maszyn ČVUT w Pradze – korekty budowy ważniejszych węzłów wentylacyjnych, np. wielkości, liczby i kształtu otworów zasycających.

Tekst powstał na podstawie informacji przekazanych przez firmę Metrostav a.s.