

## **MODERNIZÁCIA TRATE ROKYCANY – PLZEŇ, RAŽBA TUNELOV EJPOVICE TECHNOLOGIOU TBM**

### **CONVERTIBLE TUNNELING MACHINE FOR THE EXCAVATION OF THE EJPOVICE**

**Štefan Ivor<sup>1</sup>  
Václav Anděl<sup>2</sup>  
Petr Hybský<sup>3</sup>**

#### **ABSTRAKT**

Výstavba tunelov, predovšetkým dlhých vzdialeností, sa v poslednej dobe stále viac začína odkláňať od metód konvenčných k metódam mechanizovaného tunelovania. Ruka v ruke s týmto trendom prichádza aj postupný vývoj a zdokonaľovanie tunelovacích strojov, ktoré sa musia stávať univerzálnejšie s oveľa väčším rozsahom použitia. Najväčším výzvam čelia výrobcovia strojov v prípadoch, kedy je trasu tunela nutné viesť v prostrediach s veľmi rozličnými geotechnickými parametrami. Práve taký je prípad v súčasnosti razeného Ejpovického tunela. Pre jeho výstavbu bol preto navrhnutý tzv. konvertibilný (tiež prestaviteľný) stroj.

#### **ABSTRACT**

Construction of tunnels, especially long distance, in recent times increasingly being diverted from conventional methods to methods of mechanized tunneling. Hand in hand with this trend comes the gradual development and improvement of the tunneling machines, which must become more versatile with a much greater range of applications. The biggest challenges facing the machine manufacturer in cases where it is necessary to keep the tunnel route in environments with very different geotechnical parameters. This is the case currently being mined Ejpovického tunnel. For its construction was therefore proposed so. Convertible (also adjustable) machine.

## **1 Úvod**

Východiskom pre analýzu zmien v režime prúdenia podzemných vôd vplyvom výstavby vodohospodárskych stavieb sú údaje o charaktere prúdenia podzemných vôd pred výstavbou alebo pred vzduťím hladiny v nádrži prípadne v zdrži. Po výstavbe vodohospodárskych stavieb a po vzduťí hladiny je možné na základe sledovania parametrov prúdenia priesakových a podzemných vôd určiť zmeny v režime prúdenia a hodnotiť účinky. Výstavba železničných koridorov je proces dlhodobý a hoci sa začal už v raných 90. rokoch, pretrváva do dnešných dní. V rámci tohoto procesu sa v súčasnosti uskutočňuje modernizácia železničnej trate medzi Rokycanami a Plzňou, ktorá je súčasťou III. koridoru.

---

<sup>1</sup>Ing. Štefan Ivor, Metrostav a.s., Koželužská Koželužská 2540/4 180 00 Praha 8 tel.: 606699449, e-mail: [stefan.ivor@metrostav.cz](mailto:stefan.ivor@metrostav.cz)

<sup>2</sup>Václav Anděl, Metrostav a.s., Koželužská Koželužská 2540/4 180 00 Praha 8 tel.: 607641703, e-mail: [vaclav.andel@metrostav.cz](mailto:vaclav.andel@metrostav.cz)

<sup>3</sup>Ing. Petr Hybský, Metrostav a.s., Koželužská Koželužská 2540/4 180 00 Praha 8 tel.: 606699449, e-mail: [petr.hybsky@metrostav.cz](mailto:petr.hybsky@metrostav.cz)

Existujúca trať sa v spomínanom úseku vinie a kľukatí odbočkou cez obec Chrást. Projekt modernizácie narysoval trasu priamejšie a nasmeroval ju pod dvojicu vrcholov - Homolka a Chlum. Pod nimi budú v budúcnosti vlaky jazdiť dvojicou tunelov.



Obr. 1 Pôvodné a novo navrhnuté vedenie trati v úseku Rokycany - Plzeň  
Fig. 1 Current and new design of a railway track between the cities Rokycany and Plzeň

## 2 Základné údaje o projekte

Stavba rieši modernizáciu trate vedenej z Rokycan až k zastávke Ejpovice prevažne po stávajúcom drážnom telese. Medzi Ejpovicami a zastávkou Plzeň-Doubravka je potom riešená preložka trate celkom mimo stávajúcu trať. Preložka je vedená v zhode s výhľadovou polohou vysokorychlostnej trate po nových pozemkách a pod vrcholmi Homolka a Chlum zamieri do tunelov Ejpovice. Jedná sa o tunely jednokoľajné pričom každý z nich je dlhý cca 4150 m. Výškové vedenie trasy je charakterizované jednotným sklonom 8 ‰ v celej dĺžke tunela, keď železničná trať klesá v smere staničenie, tj. od Rokycan do Plzne. Smerovo je os vedená v priamej v masíve Homolka a v oblúku s polomerom 1785 m v masívu Chlum. Jednokoľajné tunely budú prepojené sústavou celkom ôsmich prepojok, slúžiacich k úniku cestujúcich z požiarom zasiahnutého tunela do bezpečnej zóny druhého tunela, pre prístup jednotiek HaZZ PK v čase zásahu.

Od zastávky Plzeň-Doubravka do plzeňského hlavného nádraží sa potom využije stávajúca trasa trate. Napojenie koridoru smerom do stanice Chrást u Plzne bude zachované ako jednokoľajné.

Tabuľka 1 Základné parametre tunelov  
Table 1 Basic parameters of the tunnels

Typ tunelov	Jednokolejné
Tvar tunelov	Kruhový
Traťová rýchlosť	160 km/h
Plocha výrubu	76,047 m <sup>2</sup>

### **3 Mechanizované tunelovanie ako víťazná variantná ponuka**

Dlhú dobu sa v odborných kruhoch diskutovalo a volalo po tom, aby súťažné (zadávacie) podklady striktné nepredpisovali metódu výstavby ražby tunelov, ale aby dali uchádzačom možnosť jej voľby za účelom poskytnúť najvýhodnejšiu ponuku.

Ejpvické tunely boli v tomto smere jednou z prvých lastovičiek, pretože zadanie bolo síce vypracované na Novú rakúsku tunelovacia metódu, avšak firmám účastným vo výberovom konaní poskytlo možnosť podania alternatívnej ponuky.

Neskôr víťazná firma Metrostav a.s. v združení s firmou Subterra a.s. využila túto možnosť a vypracovala technické riešenie na ražbu všetkých tunelových úsekov pomocou metódy mechanizovaného tunelovanie. Tá oproti metódam konvenčným ponúkala v tomto konkrétnom prípade niekoľko nesporných výhod. Predovšetkým sa jedná o metódu, ktorá je sama o sebe schopná kompenzovať zeminové tlaky pôsobiace na čelbe tunela, je schopná redukovať stratu zeminy a tým minimalizovať sadanie povrchu bez toho, aby bolo potrebné vykonať iné opatrenia, napríklad zlepšovanie zeminy alebo tryskové injektáže. Neprehliadnuteľné je aj hľadisko časové, lebo metódou mechanizovaného tunelovanie je zhotoviteľská firma schopná za porovnateľný čas dosahovať rádovo vyšších postupov, ako v prípade metódy Novej rakúskej. Tým rozhodujúcim faktorom sú však finančné náklady. Tie jednoznačne hovoria v prospech mechanizovaného tunelovanie v prípade dlhších projektov.

### **4 Charakteristika použitej tunelovacej metódy**

Súčasná metóda výstavby tunelov sa formujú od začiatku 19. storočia a sú úzko späté s vtedajším rozmachom železničnej dopravy. Za viac ako dvesto rokov svojho vývoja majú postupy razenia stále rovnakú súslednosť operácií - rozpojenie horniny na čelbe, odťaženie rúbaniny a zaistenie výrubu. Pre každú zo spomínaných operácií sa v závislosti na geologických podmienkach vyvinul rôznych postupov a tiež rôzne strojné mechanizmy.

V posledných desaťročiach sa do popredia stále viac presadzuje metóda mechanizovaného tunelovanie, ktorá sa vyznačuje tým, že pre všetky zmienené pracovné operácie ražby používa jeden jediný strojný komplex - tzv. tunelovací stroj.

Cesta k vzniku komplexného stroja, ktorý je schopný vykonávať všetky základné tunelárske práce začala už v roku 1825, kedy Marc Isambard Brunel skonštruoval prvý štít pre ražbu tunela v nesúdržnom a nasiaknutom prostredí pod riekou Temžou. Štít sa neskôr stal súčasťou všetkých tunelovacích strojov určených do zemín a poloskalných hornín. Rovnako tak aj erektoři, zariadenia slúžiace na skladanie tybinkov, ktoré bývalo nevyhnutnou súčasťou prstencovej metódy.

Mechanizované tunelovanie prechádzalo svojím vývojom aj v oblasti razenia v horninách skalných. Priekopníkom bol Ch. Wilson v roku 1853 pri razení tunela Hoosac v Massachusetts v Spojených štátoch amerických. V roku 1931 vyrobila firma Schmidt-, Kranz & Co. raziaci stroj, ktorý vykazuje charakteristické znaky moderných raziacich strojov. Predovšetkým prítomnosťou reznej hlavy. Tá je v súčasnosti jednou z dominantných súčastí takmer všetkých tunelovacích strojov a to ako do hornín skalných, tak aj do hornín poloskalných a do zemín. Len pre každý typ prostredia je principiálne odlišná. Zatiaľ čo v mäkkších horninách prepadá rozpojená rúbanina cez otvory v reznej hlave, je v pevných skalných horninách poberaná pomocou zberačov umiestnených na okraji reznej hlavy.

### **5 Tunelovací stroj pre ražbu Ejpvických tunelov, operácie raziaceho cyklu.**

Prostredie, v ktorom sú razené Ejpvické tunely, je charakterizované priechodom dvoch vrcholov - Homolka a Chlumu. Hoci spolu tesne susedia, sú tvorené úplne odlišným

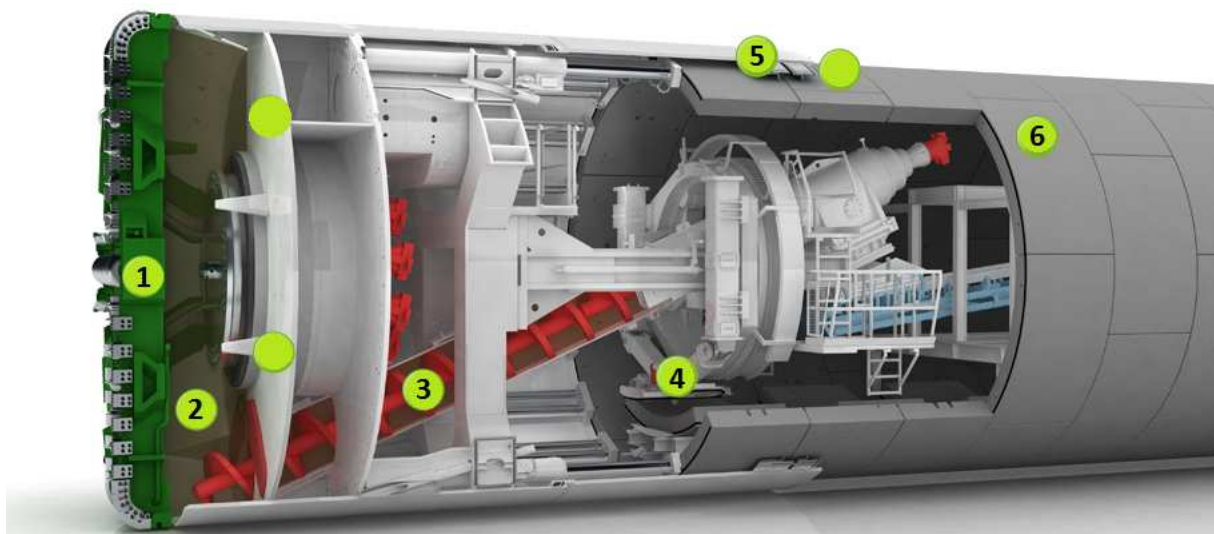
geologickým materiálom. Kým vrch Homolka je prevažne tvorený bridlicami, vrch Chlum je tvorený tvrdými spilitmi. Obe prostredia sú z hľadiska mechanizovaného tunelovania vhodné pre úplne iný druh tunelovacieho stroja. Homolka pre štít, Chlum pre raziaci stroj. Zhotovovať pre takýto projekt dva strojné mechanizmy by bolo finančne neefektívne. Z toho dôvodu bol pre Ejpvické tunely vyvinutý tzv. Konvertibilný stroj, ktorý je schopný s istou modifikáciou ražbu v rozličných geologických podmienkach.

Zhotoviteľská firma sa pri návrhu inšpirovala ražbou železničných tunelov vo francúzskom Saverne. Tamajší projekt bol tomu Ejpvickému podobný nielen dĺžkou razených tunelov (2 x 4 km), ale predovšetkým tou skutočnosťou, že aj v tomto prípade si geologické podmienky vyžiadali nasadenie konvertibilného stroja.

Tunelovací stroj je základne zeminovým štítom. Teda štítom so schopnosťou podopierania čelby pomocou špeciálne upravenej zeminy. Pre prostredie spilitov, teda pevných skalných hornín, bude stroj prestavený do tzv. „hardrock“ režimu.

Princíp fungovania zeminového štítu je nasledujúci:

Hornina na čelbe je rozpojovaná pomocou reznej hlavy (1). Skrz otvory v nej hornina prepadá do priestoru odťažovacej komory (2). Z odťažovacej komory je priebežne vynášaná skrz šnekový dopravník (3) na dopravník pásový, ktorý vedie na medzidepóniu umiestnenú na povrchu pred tunelom. V zadnej časti obálky štítu sa pomocou erektoru (4) stavia ostenie zložené z tybinkov (6). Všetky práce pracovného cyklu sa realizujú pod ochranou štítu (5). Zeminový štít má možnosť kompenzovať zeminové tlaky na čelbe. Tohto je dosiahnuté tak, že v priestore odťažovacej komory (2) sa z rozpojenej horniny pomocou pien vytvorí plastický materiál, ktorým je možné tlakom na čelbe čeliť.



Obr. 2 Grafické zobrazení principu zeminového štítu  
Fig. 2 Graphical representation of the EPB shield principle

Tabuľka 2 Základné parametre tunelovacieho stroja pre Ejpvické tunely  
Table 2 Basic parameters of the tunneling machine for Ejpvické tunnels

Typové označenie	Herrenknecht S-799
Typ stroja	Zeminový štít s možnosťou prestavby reznej hlavy do režimu raziaceho stroja
<b>Priemer reznej hlavy</b>	<b>9 890 mm</b>
Celková dĺžka včetně závesov	115 m
Hmotnosť včetně závesov	1 800 t
Celkový inštalovaný výkon	6 200 kW
Teoretická rychlosť	80 mm/min

Pre režim „hardrock“ sa modifikuje rezná hlava a osadí sa zberačmi, aby bolo možné ťažený materiál odvádzať do tzv. muckringu ("násypky"), pod násypku bude vysunutý pásový dopravník, slúžiaci pre dopravu rúbaniny ďalej skrz už vyrazený tunel na medzidepóniu umiestnenú na zariadení staveniska.



Obr. 3 Tunelovací stroj S-799 v továrni firmy Herrenknecht  
Fig. 3 Tunneling machine S-799 in production factory Herrenknecht

## 6 Predstihové práce pred ražbou

Pred samotným zahájením montáže stroja TBM a teda samotnou ražbou tunelov Ejpovice bolo nutné vyhlbiť zárez na strane vjazdového portálu o dĺžke cca 700 m, šírke cca 40 m a hĺbke v mieste portálovej steny cca 19 m. Samotné stavebné práce na hĺbení boli zastavené a neskôr spomaľené z dôvodu realizácie záchranného archeologického výskumu, ktorý bol vzhľadom k ploche budúceho zárezu natoľko rozsiahly a časovo náročný, že sa doba jeho trvania predĺžila na takmer jeden rok.

Po dokončení archeologických prác pokračovali stavebné práce samotným hĺbením zárezu. Jeho boky sú tvorené kombinovaným zaistením - pilótovou stenou a vystuženým striekaným betónom. Spolu s hĺbením prebiehali práce aj na výstavbe zariadenia staveniska.

Medzitým sa vo viac ako 500 km vzdialenom nemeckom meste Schwannau vyrábal, montoval a zostavoval tunelovacia stroj S-799. Ten bol po svojom dokončení podrobený prevádzkovým skúškam v rámci objednatelských prebierok. Celý, 115 metrov dlhý strojný komplex bol po prevzatí vo výrobni rozobraný, a po častiach postupne dovezený do priestoru vjazdového portálu Ejpovických tunelov. Väčšia časť dielov tunelovacieho stroja bola prevezená pomocou kamiónovej dopravy, avšak niektoré diely boli natoľko ťažké (napr. hlavné ložisko) a rozmerné, že k ich transportu musela byť použitá doprava lodná.

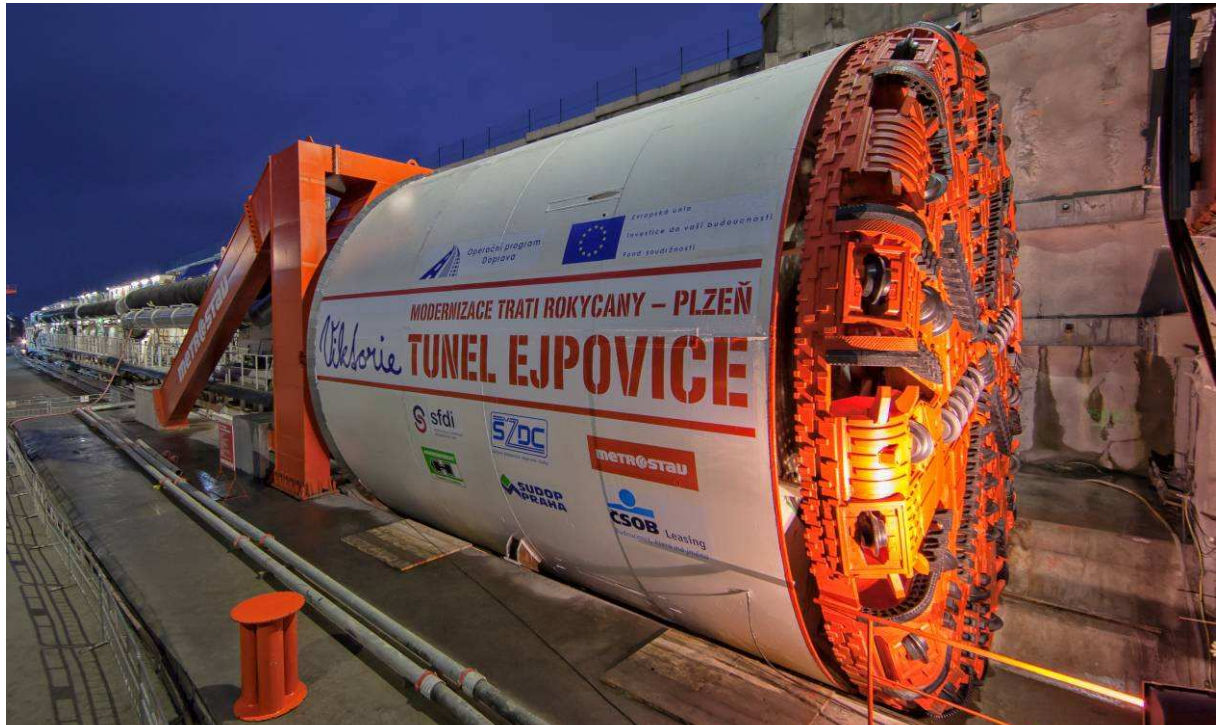
Na predpripravených konštrukciách bol stroj opätovne zostavený a boli na ňom zopakované prevádzkové skúšky. Všetky prípravné práce boli dokončené ku koncu mesiaca januára 2015 tak, že stroj bol k 1. februáru pripravený začať raziť. Ešte pred samotným zahájením ražby došlo k vysväteniu sošky Sv. Barbory včetně krstu samotného tunelovacieho stroja, ktorý dostal ženské meno Viktória.



Obr. 4. Konštrukcia zárezu navezujúceho na portálovú stenu tunelov  
Fig. 4. Pile wall of the open cut in front of the tunnel portal



Obr. 5 Montáž tunelovacieho stroja v predportáli ejpovického tunelu  
Fig. 5 Assembly of the tunneling machine in front of the Ejpovice tunnel portal



Obr. 6 Stroj S-799 je pripravený k ražbe  
Fig. 6 S-799 machine is ready to bore

## 7 Tybinky (definitívne ostenie) pre vystrojenie tunelov

Tunelové ostenie je vystrojené prefabrikovanými tybinkami z drátkobetonu. Prstence (ktoré budú zostavené zo 7 + 1 tybinkov) sú navrhnuté ako tzv. univerzálne. Jedná sa o koncept obojstranne skosených prstencov, u ktorých sa smerové a výškové vedenie zaisťuje ich natočením okolo pozdĺžnej osi. V mieste prepojek budú použité segmenty železobetónové s klasickou betonárskou výstužou vrátane prvých a posledných 20 m tunelov.

Dĺžka tybinkov je 2,0 m, ich hrúbka 0,40 m. Svetlý (vnútorný) priemer zostaveného prstenca je 8,70 m. Trieda pevnosti betónu je C45/55. Tybinky sú v rámci prstenca k sebe dočasne spájané šroubami, prstence sú navzájom v radiálnych škárah kotvené tzv. Dowels, teda akýmisi spojovacími tŕnami. Tybinky sú vyrábané na betonárke v Dýšina, ktorá je vo vzdialenosti necelých dvoch kilometrov od zariadenia staveniska.



Obr. 7 Skládka prefabrikovaných tybinkov  
Fig. 7 Storage place of precast segments

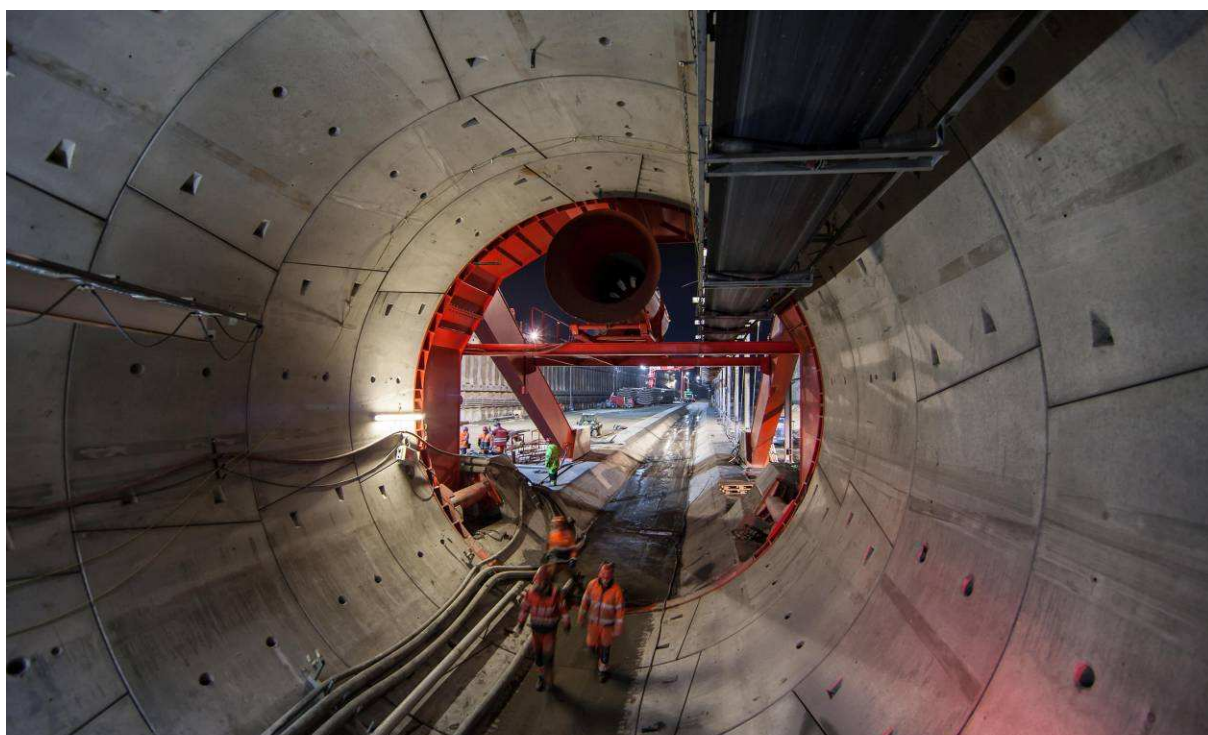
## 8 Zhodnotenie doposiaľ realizovaných razičských prác

18.11.2014 bola zahájená montáž tunelovacieho stroja na dne vjazdového portálu. Aj vďaka priaznivému počasiu na prelome rokov 2014/2015 bola dňa 1.2. 2015 zahájená ražba na južnom jednokolajnom tunelu. Po počiatočných problémoch spojených s neočakávanými vyššími deformáciami na portálovej stene vjazdového portálu, ktoré si vyžiadali dodatočné práce na jej zaistení a hlavne po prekonaní veľmi zložitých prvých cca 350 m razenej dĺžky južného tunelu z dôvodu výrazne horších geotechnických podmienok horninového prostredia spojených s výraznými prítokmi podzemnej vody (až 15 l/s z jednej čelby) a nestabilnou čelbou sa ražba južného tunelu stabilizovala a prebiehala podľa predpokladov. K dnešnému dňu t.j. k 16.7.2015 je vyrazených cca 1500 m Južného tunelu. Maximálny denný výkon bol dosiahnutý 32 m tunelu za 24 hod. Za mesiac máj bolo vyrazených 528 m južného tunelu včetně osadenia definitívneho ostenia.





Obr. 8 Manipulácia s tybinkami v útrobách tunelovacieho stroja  
Fig. 8 Manipulation with the segment inside the tunneling machine



Obr. 9 Definitívne ostenie Ejpvického tunelu  
Fig. 9 Tunnel lining of the Ejpvického tunel

## 9 Zoznam použitej literatúry

<http://www.rokycanyplzen.cz>

[https://cs.wikipedia.org/wiki/zeleznici\\_koridor](https://cs.wikipedia.org/wiki/zeleznici_koridor)

Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR, 2014 publikace ITA-AITES