

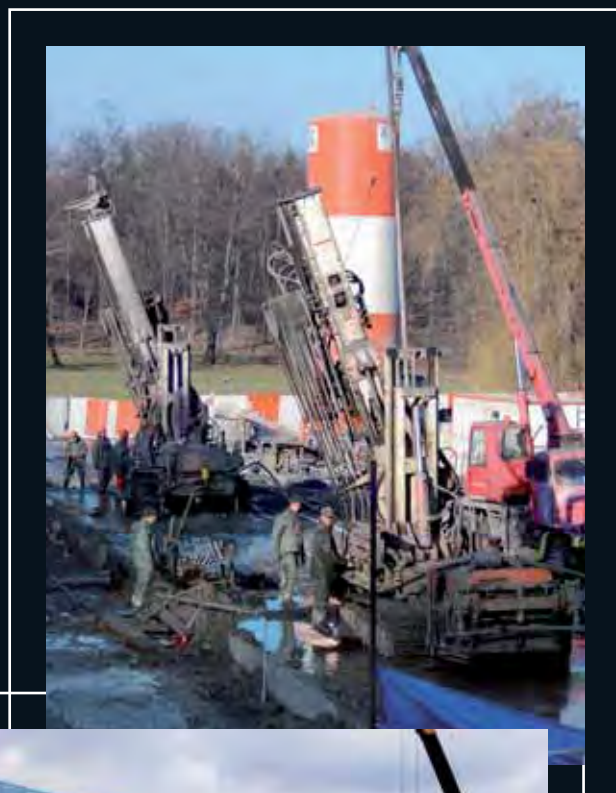
Časopis ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, a. s.

# ZAKLÁDÁNÍ

3/2008 Ročník XX



- **Hlavní nádraží v Praze: stavební jámy pro výstavbu podchodů**
- **Tunelový komplex Blanka: sanační opatření v Královské oboře**
- **VMO Brno Dobrovského: stavební jámy hloubených tunelů v Žabovřeskách**
- **Slovinský přístav Koper: beraněné piloty na komunikaci Koper – Lucijja**



# Velký městský okruh Dobrovského B – stavební jámy hloubených částí tunelů Žabovřesky

**Královopolský tunel je součástí velkého městského okruhu v Brně a spojuje již hotové úseky městského okruhu v městských částech Žabovřesky a Královo Pole. Je rozdělen na dvě samostatné tunelové trouby. Ražená část tunelů má délku cca 1050 m, zbylou část tvoří hloubené úseky pro jednotlivé tunelové trouby délky 134 m pro tunel I a 148 m pro tunel II. V textu je popsáno technické řešení zajištění stavební jámy tunelu I a tunelu II, provizorních portálů a definitivního portálu.**



Hloubení podzemních stěn definitivního portálu

## Geologické a hydrogeologické poměry

Svrchní vrstvy zájmové oblasti jsou tvořeny převážně konstrukčními vrstvami stávajících vozovek o mocnosti až 1 m. Stavební jáma tunelu I zastihne pouze souvrství neogenních jílu. Hloubením stavební jámy tunelu II je odkryt i kvartérní pokrov, který tvoří **spraše a sprašové hlíny**. Zeminy tohoto typu vytvářejí souvrství, v němž dominují prachovité a jílovité hlíny s převážně nízkým podílem jemnozrné a střednozrné klastické příměsi. Dle klasifikace ČSN náleží tyto zeminy převážně do třídy F6 CI, méně F6 CL a ojediněle F4 CS či F2 CG.

Ve stavební jámě se dále nacházejí podložní fluviální sedimenty – **jílovité hlíny**. Zeminy tohoto typu vytvářejí souvrství, v němž dominují jílovité hlíny s proměnlivým, ale převážně nízkým podílem písčité frakce. Dle klasifikace ČSN náleží tyto zeminy převážně do třídy F6 CI, méně F6 CL. Místně se vyskytují polohy až s vysokou plasticitou, které tvoří zemina třídy F8 CH.

**Neogenní jíly** tvoří v zájmovém prostoru spodní část zkoumaného masivu, v níž zvětrávací procesy již podstatně neovlivňují jejich geotechnické vlastnosti. Zeminy neogenního masivu mají charakter zemin soudržných – jílu

nebo jílovitých hlín. Dle klasifikace ČSN 73 1001 náleží do skupiny F8 symbolu CV. Konzistence zemin tohoto typu je převážně pevná, méně tuhá. Do násypů jsou nevhodné. Podle ČSN 73 3050 jsou zeminy zařazeny převážně do 3. třídy těžitelnosti dle TKP 4 do I.

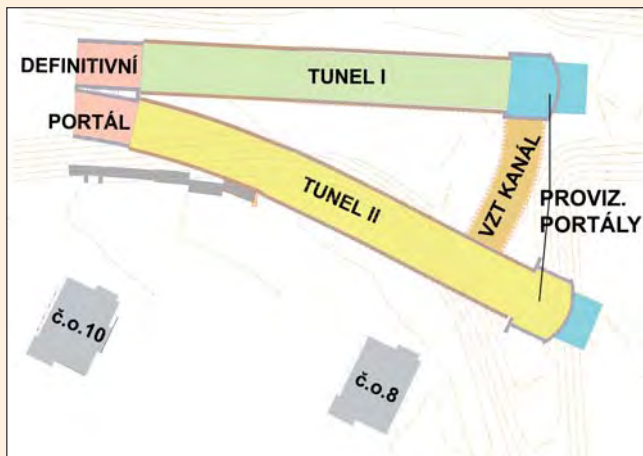
**Podzemní voda** byla zjištěna v provedených vrtech IG průzkumu jen ojediněle. Bývá vázána na bázi tenkých vrstev písků a štěrků v povrchu terciérních jílu. V povrchu potrhovaných jílu se ztrácí podél trhlinek do hlubších poloh v terciéru. Z hlediska chemického složení vykazuje voda síranovou agresivitu ve stupni XA2 v prostoru provizorního portálu TII v hodnotě 1180 mg/l. V prostoru stavební jámy Žabovřesky byla voda zastížena pouze v oblasti kolem provizorního portálu tunelu II, a to pouze v archivních vrtech.

## Technické řešení stavby

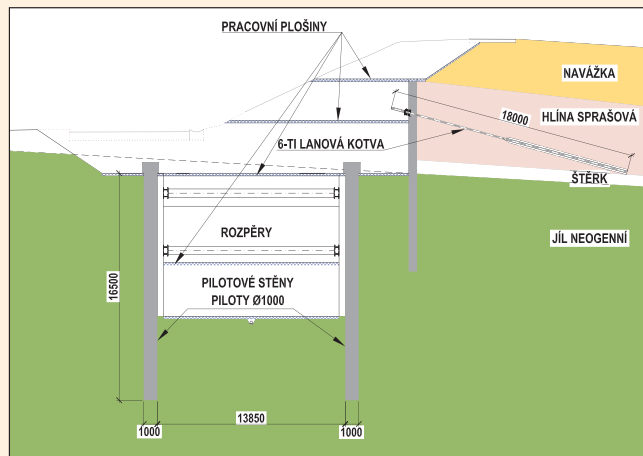
Prostor výstavby hloubených částí tunelů v Žabovřeskách je situován do cca 7 m hlubokého zářezu šestiproudové komunikace na ulici Žabovřeská před jejím mimoúrovňovým křížením s ulicí Hradecká. Ulice Žabovřeská je součástí VMO, ulice Hradecká je čtyřproudová radiála z Brna směrem na Svitavy. V tomto prostoru jsou kromě portálových a hloubených částí tunelů navrženy ještě nájezdové rampy mimoúrovňového křížení ulic Hradecká–Žabovřeská, které spolu s galeriemi a protihlukovými stěnami částečně kříží obě tunelové trouby a zčásti s nimi bezprostředně sousedí. Z hlediska technického řešení lze rozdělit stavbu na **stavební jámu tunelu I, stavební jámu tunelu II, provizorní portály a definitivní portál.**

## Stavební jámy tunelů I a II

Tunelové trouby ve svých hloubených částech budou monoliticky vybetonovány do stavebních jam, pažených oboustranně pilotovými



Obr. 1: Situace



Obr. 2: Příčný řez stavební jámou tunelu II v km 0,420



Detail zhlaví pilot pažení jámy tunelu I



Pohled na stavební jámu tunelu I od provizorního portálu

stěnami. Pilotová stěna stavební jámy pro tunel I je budována z úrovně vozovky ulice Žabovřeská, stavební jáma tunelu II zasahuje svojí pravou stranou do svahu zářezu Žabovřeské, kde se přibližuje k panelové zástavbě na ulici Voroněžská. Tento svah byl nejprve zajištěn záporovým pažením z dřevěných paží ze svaňovaného předkopu výšky 2 m. Záporny jsou navrženy z profilů HEB 240–280 délky 9–14 m v osové vzdálenosti 1,54–2,0 m. Kotveny jsou v jedné řadě šestipramencovými kotvami délky 15,5–16,5 m přes ocelové převázky. Celková délka záporové stěny je 70,5 m.

#### Pažení stavebních jam vrtnými pilotami

**Pažení stavební jámy tunelu II** je provedeno oboustrannou rozpíranou pilotovou stěnou v osové vzdálenosti 7,425 m od osy tunelu II. Piloty prům. 1000 mm á 1,50 m jsou zhotoveny z pracovní plošiny postupně se snižující až na úroveň cca –2,5 m pod stávající komunikací na ulici Žabovřeské. Hloubka pilotových stěn je 16,0–16,5 m, při odkopu 8,6–11 m. V koruně jsou pilotové stěny spojeny převázkovým trámem 1,2x0,8 m. Piloty v začátku stavební jámy jsou vrtny z úrovně zadní stěny galerie větve H5 mimoúrovňového křížení, tj. o 3,5 m výše než zbývající piloty pažících konstrukcí. Zčásti je zde převázka pilot společná se základovým blokem galerie větve H5. Tento úsek je proto v převázkovém trámu kotven šestipramencovými kotvami délky 15,5 m. Zbývající úseky pilotových stěn jsou rozpírány

v jedné až dvou úrovních trubkovými ocelovými rozpěrami z ocelových trub  $\varnothing$  610/8 mm v rozteči 2,5–4 m. Úrovně rozpírání musely zohledňovat podjezdnou výšku mezi dnem etáže výkopu, stavební jámy a rozpěrů. Půdorysné rozteče rozpěr a délky dílčích ocelových převázkových trámů pod rozpěrami byly navrženy s ohledem na postupnou demontáž rozpěr při betonáži jednotlivých dilatačních celků hloubených tunelů. Pažení stavební jámy tunelu II je navrženo jako konstrukce trvalá. Po skončení své pažící funkce, tj. po betonáži tunelu, budou přes korunní převázkový trám vybetonována příčná roznašecí žebra jako nosníky pod základy cca 10 m vysoké protihlukové stěny se zásypem a následnou parkovou úpravou.

**Pažení stavební jámy I** je řešeno stejným způsobem jako u stavební jámy pro tunel II, jen piloty byly provedeny přímo z úrovně stávající komunikace.

#### Pažení stavební jámy pro vzduchotechnický kanál

Pažení je navrženo z pilot prům. 660 mm á 1,50 m, délky 8,5 m. V koruně je pilotová stěna spojena převázkovým trámem příčných rozměrů 1,2x0,8 m a následně rozepřena ocelovými trubkami 377/10 mm á 4 m v úrovni převázkového trámu. Hloubka výkopu je zde cca 4–4,5 m. Pilotové stěny všech částí stavební jámy budou při postupné těžbě jámy začištěny a opatřeny vyrovnávací vrstvou betonu tloušťky do 0,5 m,

kteřá bude sloužit jako podklad pod hydroizolaci tunelové trouby.

#### Provizorní portály tunelů

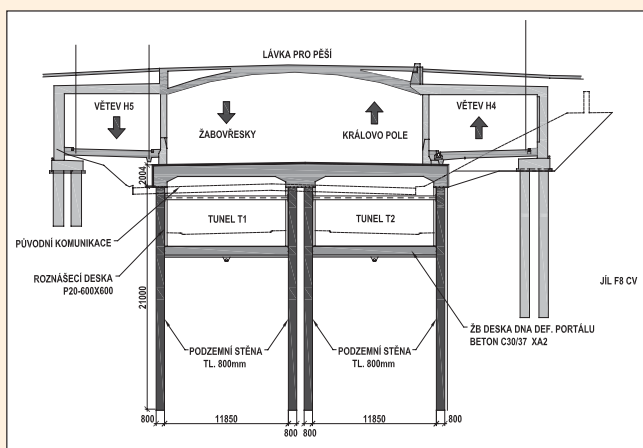
Jedná se pažení boků a čela stavební jámy podzemními stěnami. Čelo má v půdorysu tvar klenby (s poloměrem oblouku 14,45 m) v místě začátku ražby tunelů. Začátek ražby je proveden z čelní stěny pod ochranou mikropilotového deštníku.

#### Provizorní portál tunelu I

Hloubka podzemní stěny je zde 20,0 m při max. odkopu 13,2 m. V koruně jsou podzemní stěny zmonolitněny žlb. převázkou rozměru 0,90x0,80 m. V hloubce 1,5 m pod korunou podzemních stěn je navrženo rozepření ocelovými trubkami 610/8 mm. Na úrovni –6,5 m pod korunou stěn jsou podélné části pažení kotveny sedmipramencovými kotvami délky 22,0/14,0 m. V pravé boční stěně portálu je navrženo napojení vzduchotechnického kanálu. Pro tento účel bude ve stěně vybourán otvor rozměrů 10x4,75 m. Před bouráním musí být odstraněny rozpěry v horní úrovni pažení. V této fázi je stěna přikotvena pouze jednou řadou kotev, což klade vysoké nároky na jejich únosnost. Požadovaná zaručená síla v kotvách je 980 kN, přičemž celá délka kotev je v neogenním jílu.

#### Provizorní portál tunelu II

Hloubka podzemní stěny je 25,0 m při maximálním odkopu 15,5 m. V koruně jsou podzemní



Obr. 3: Příkladný řez portálem

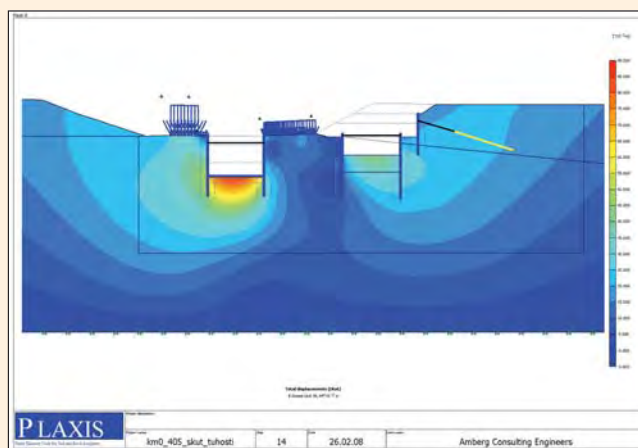
stěny zmonolitněny žlb. převázkou rozměru 0,90x0,80 m. Stěny jsou rozepřeny v koruně monolitickými žebry průřezu 1,5x0,5 m. Tato žebra slouží po dobu výstavby jako rozpěry, v definitivním stavu budou vynášet základy protihlukové stěny. Po výšce je stěna kotvena dvěma řadami předpjatých lanových kotev – v první řadě šestilanovými délkou 26,0/12,0 m a ve druhé řadě sedmilanovými délkou 22,0/12,0 m.

### Definitivní portál

Definitivní portál tvoří vjezd do tunelové trouby a nachází se cca 150 m před provizorním portálem. Délka portálové části je cca 18,5 m. Pažení definitivního portálu tvoří zároveň svislou část ostění tunelů v portálové části. Důvodem je stísněnost prostoru výstavby – po levé straně probíhá těsně provizorní komunikace, převádějící veřejnou dopravu z původní šestiproudé komunikace ve dvou pružích. Ta je hluboce zaříznuta do svahu zářezu ulice Žabovřeská. Na pravé straně navazuje portál tunelů na větev mimoúrovňové vozovky H5 a protihlukové galerie. Na stropní desce jsou

uloženy vnitřní stěny galerií, přes konstrukce galerií stropní deska přenáší i zatížení lávky pro pěší přes velký městský okruh.

Nosnou svislou část konstrukce portálu tvoří po obou stranách podzemní stěny hl. 21,0 m a tl. 0,8 m. Mezi tunelovými troubami I a II tvoří pažící podzemní stěny výztužný pilíř. Střední stěny obou tunelů jsou mezi sebou propojeny dvěma příčnými výztužnými stěnami rovněž z podzemních stěn tl. 800 mm. V čele středního pilíře z podzemních stěn je navrženo sepnutí střední podzemní stěny tunelu I a II dvěma dvojicemi ocelových táhel z oceli 32 mm. Podzemní stěny jsou rozepřeny v definitivním stavu deskami dna tunelů a stropní deskou. Desky dna tunelu tl. 800 mm jsou rozděleny na dva dilatační celky se zalomenými pracovními spárami. V příčném směru je deska kloubově uložena do podzemních stěn. Kloub je tvořen dvěma vyfrézovanými průběžnými drážkami do podzemní stěny šířky 250 mm do hloubky 75 mm při horním a spodním povrchu, do kterých budou navrtány šikmé otvory pro trny prům. R20. Stropní deska tvoří jeden dilatační celek nad oběma tune-



Obr. 4: Společný výpočtový model obou jam v programu PLAXIS

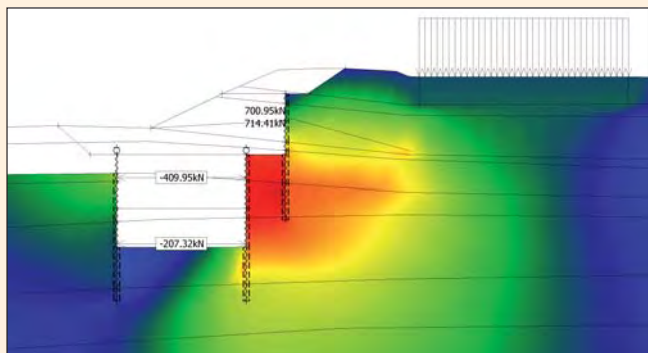
lovými troubami. V příčném řezu je navržena jako spojitý nosník o dvou polích s tloušťkou 1100 mm a nad podporami je zesílena podélnými prahy na celkovou tl. 2100 mm. Betonována bude ve dvou krocích, pracovní spára je navržena v polovině délky. Odstup betonáže by měl být cca 5–7 dní, kdy proběhne větší část smrštění první části stropní desky. Celková plocha desky je 501 m<sup>2</sup>.

### Statické výpočty

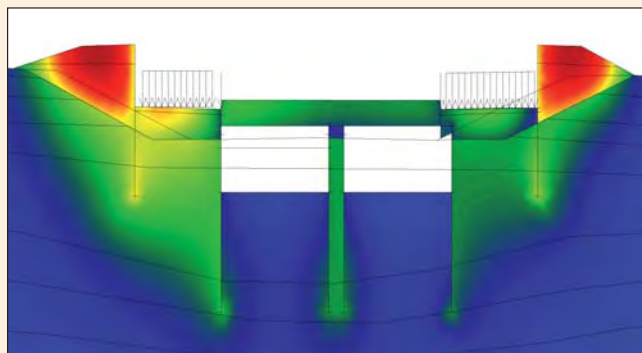
Vzhledem k závažnosti geotechnické problematiky a návaznosti ostatních objektů na stavbu hloubených částí tunelů byla konstrukce pažení posouzena ve více stupních zpřesnění. Vlastní návrh konstrukce byl proveden programem GEO4 – MKP a programem PLAXIS. Dílčí části pažících konstrukcí pak v modulech programu GEO5. Posouzení probíhalo v krocích odpovídajících reálným postupům výstavby. Pro vzájemné ovlivnění obou stavebních jam byl použit společný model v programu PLAXIS. Celková šířka společného modelu je 250,0 m, výška pak 45,0 m (dno modelu bylo uvažováno cca 15,0 m pod dno jámy). Zeminy byly modelovány pomocí Hardening Soil modelu s efektivními parametry. Tento model umožňuje vycházet z rozdílného chování při prvotním přitížení a odtížení, kdy je uvažován vyšší deformační modul.

Ve výpočtu jednotlivých řezů stavebními jámami a portálem programem GEO4 – MKP byl použit modifikovaný Mohr-Coulombův materiálový model (s hladkou plochou porušení v deviatorové rovině). Tímto způsobem byly posouzeny všechny separátní řezy konstrukcí. Řez stavební jámou tunelu II v km 0,420 byl navíc posouzen ve dvou fázích. V prvním posudku Mohr-Coulombovým materiálovým modelem byly získány dimenzační vnitřní síly na konstrukci. Pro modelování reálných deformací objektů (a rovněž reálné hodnoty zvedání dna stavební jámy) byl podobně jako v Hardening Soil modelu v programu PLAXIS zadán modul  $E_{ur}$ , který byl zadán ručně do vstupních hodnot přibližně jako trojnásobek původně zadaných  $E_{def}$ . Důvodem je blízkost panelového domu





Obr. 5: Matematický model řezu v km 0,420 tunelu II



Obr. 6: Matematický model definitivního portálu

Voroněžská 8 a rovněž fakt, že v tomto řezu probíhá napojení VZT kanálu na tunel II. Právě odtěžení příčného kanálu vnese do masívu odlehčení, které znamená vysoké deformace celé oblasti včetně obytného domu. Proto musel být upraven postup výstavby tak, aby odtěžení kanálu proběhlo až po betonáži části tunelové trouby v předmětném úseku.

#### Závěr

Stavební jáma hloubených částí tunelů v Žabovřeskách je jednou z největších stavebních jam v zastavěné části Brna. Výstavbu významně komplikují souběžně probíhající přeložky inženýrských sítí a organizace veřejné dopravy přes staveniště. Díky úzké spolupráci zpracovatele projektu s přímým

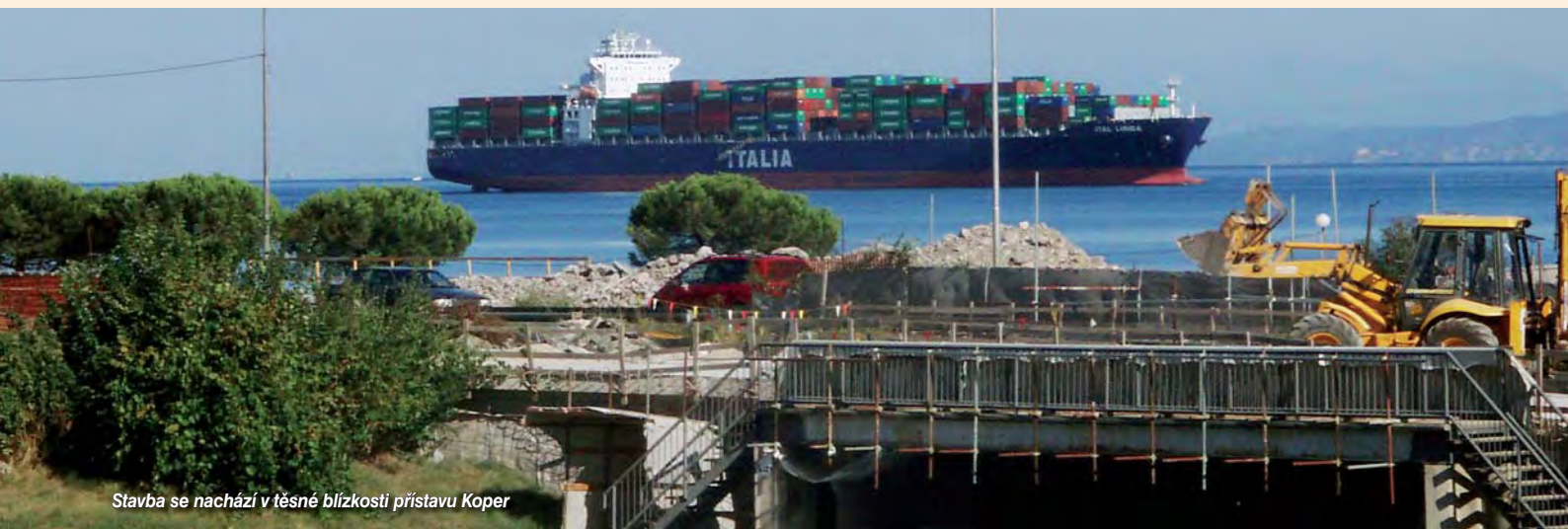
zhotovitelem stavby (Zakládání staveb, a. s.) ve fázi vypracování realizačního projektu se podařilo optimalizovat návrh pažicích konstrukcí. Průběh výstavby je po celou dobu sledován podrobným monitoringem stavby se zaměřením na kritická místa. Sledovány jsou deformace geodetických bodů na konstrukcích pažení stavebních jam, kotvení síly dynamometrů na kotvách a inklinometry jsou měřeny deformace podzemních stěn provizorních portálů i definitivního portálu. Objekt Voroněžská 8 je po dobu výstavby sledován geodeticky.

**Ing. Jaroslav Lacina, Amberg Engineering Brno, a. s.**

Foto: autor a Libor Štěřba

#### Big city ring road Dobrovského B – foundation pits of excavated tunnel parts Žabovřesky

Královopolský tunel is a part of a big city ring road in Brno and connects the parts in city districts Žabovřesky and Královo Pole, which has already been finished. It is divided into two independent tunnel tubes. Driven part is 1,050 m long, the rest are driven parts for individual tunnel tubes at the length of 134 m for tunnel I and 148 m for tunnel II. In the text you can find information about technical solution of securing the foundation pit of tunnel I and tunnel II, temporary portals and finished portal.



Stavba se nachází v těsné blízkosti přístavu Koper

## Dosavadní výsledky naší spolupráce se slovinskou firmou Primorje d. d. Ajdovščina

Na podzim roku 2007 se po dlouholeté předešlé spolupráci podařilo podepsat oficiální dlouhodobou smlouvu o spolupráci mezi slovinskou stavební firmou Primorje d. d. a Zakládáním staveb, a. s. Od doby podpisu smlouvy jsme ve Slovinsku realizovali několik zajímavých akcí, v textu se podrobněji věnujeme stavbě komunikace H5 Koper-Lucija, založené na beraněných prefabrikovaných železobetonových pilotách.

Smlouva mezi oběma společnostmi má za úkol zkvalitnit a rozšířit dosavadní spolupráci na slovinském trhu a případně i na území republik bývalé Jugoslávie a bývalého Československa. Primorje d. d. zastupuje celou skupinu Primorje a Zakládání staveb, a. s., zastupuje celou skupinu Zakládání staveb.