



Komořanský portál

Tunely stavby 513 Silničního okruhu kolem Prahy – předpoklady projektu a první zkušenosti z realizace

Praha se stejně jako většina evropských metropolí dlouhodobě potýká s narůstající intenzitou dopravy a dopravním přetížením centra města. Tuto situaci má podstatně změnit silniční okruh, který je rozdělen do 11 staveb, označených čísly 510 až 520. Úsek mezi Vestcem a Lahovicemi je označován jako stavba 513. Směrem od Lahovic, kde navazuje na stavbu 514, trasa překračuje mostním objektem řeku Vltavu a prudce stoupá ve dvou směrově rozdělených tunelových troubách od Komořan k Cholupicím. V příportálových úsecích, kde nepříznivé geotechnické podmínky neumožňují ražbu tunelů, probíhá jejich výstavba v otevřených stavebních jámách. V úsecích se vhodnými geotechnickými poměry jsou tunely raženy pomocí nové rakouské tunelovací metody (NRTM).

Podélný sklon tunelů 4% vyžaduje použití v jižní tunelové troubě, navržené pro stoupání, třípruhový profil s šířkou mezi obrubníky 11,75 m. V opačném směru v severní tunelové troubě pro klesání postačuje dvoupruhový profil s nouzovým pruhem šířky 1,5 m. Celková šířka vozovky, která mezi obrubníky dosahuje 9,75 m, hraje důležitou roli z hlediska výše investičních nákladů, neboť významně ovlivňuje nutnou plochu výrubu. Podle české normy ČSN 737507 je šířka vozovky mezi obrubníky natolik důležitým údajem, že určuje přímo kategorii tunelů.

Před zahájením prací obdržel zhotovitel stavby výsledky geotechnického průzkumu, jehož součástí byly i informace získané při ražbě průzkumné geotechnické štoly, situované ve středu kaloty jižního třípruhového tunelu (obr. 1). Stabilitu výrubu průzkumné štoly soudkovitého tvaru o ploše výrubu 25 m² zajišťuje primární ostění ze stříkaného betonu, vyztužené ocelovými sítěmi a výztužnými příhradovými rámy. V oblasti stavební jámy komořanského portálu byla štola ražena v písčích a stabilitu výrubu zajišťovaly předražené ocelové pažiny (obr. 5).

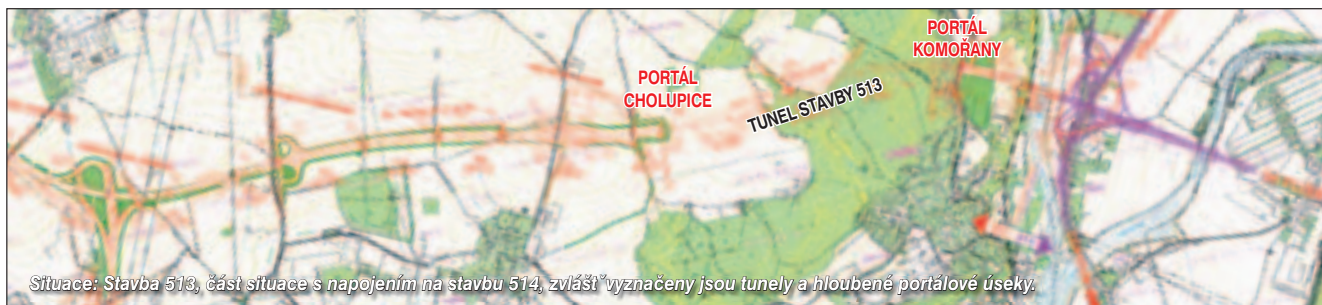


Obr. 1: Průzkumná štola situovaná ve středu kaloty jižního tunelu

Štola o světle výšce 5,5 m a šířce 4,5 m probíhá v celé délce jižního tunelu a umožňuje větrání i odvodnění podzemního díla během výstavby.

Geotechnické poměry lokality, prognóza a skutečnost

Zatímco v případě hloubených úseků tunelů



Situace: Stavba 513, část situace s napojením na stavbu 514, zvlášť vyznačeny jsou tunely a hloubené portálové úseky.



Obr. 2: Sklon diskontinuit na čelbě kaloty jižního tunelu



Obr. 3: Vrstva ulehleho písku ve stavební jámě Komořany

hrají geotechnické poměry roli spíše z hlediska návrhu zajištění stability svahů stavebních jam a způsobu založení hloubených tunelů, u ražených úseků tunelů představuje horninový masiv stavební materiál, který se spolu s ostěním významně podílí na celkové únosnosti systému ostění – hornina. Získání geotechnických parametrů je důležitým podkladem pro návrh technologického postupu výstavby i způsobu zajištění stability výrubu zejména během ražby. Geotechnický průzkum v předchozích stupních projektové dokumentace zahrnoval vrtný průzkum, geofyzikální průzkum i geotechnická sledování, prováděná v průzkumné štole. Součástí geotechnického průzkumu tvořil i pokusný úsek průzkumné štoly ražený v plném profilu kaloty budoucího třípruhového tunelu. Termín provádění průzkumné štoly však časově kolidoval s termínem dokončení zadávací dokumentace stavby. Získané výsledky zohledňovala zadávací dokumentace proto pouze částečně, a technologické třídy výrubu navržené v realizační dokumentaci tak zcela nekorespondují se zadávací dokumentací.

Skalní horniny jsou ve větších hloubkách dokonale zpevněné bez průlinové propustnosti. Pukliny jsou většinou těsně sepnuté nebo vyplněné. Pouze v mocnějších polohách drob či ordovických křemenců byl avizován pohyb podzemní vody. Vlivem průzkumné štoly došlo k částečnému odvodnění masivu a během výstavby tunelů se potvrdily průzkumem očekávané minimální přítoky podzemní vody do prostoru výrubu, které dosahovaly max. 2 l/s. Hlavní systém diskontinuit tvoří vrstevní plochy. Jejich sklon měl podle prognózy v případě

dovrchní ražby od Komořan směrem k Cholupec zapadat do horninového masivu a příznivě ovlivňovat stabilitu čelby. Optimistický předpoklad se během ražby nepotvrdil a sklon systému diskontinuit se v průběhu ražby velmi často měnil (obr. 2). Grafitická výplň puklin způsobovala lokální nestabilitu čelby i líce nezajištěného výrubu, což vyžadovalo před provedením záběru aplikaci stabilizačních opatření (zpravidla jehlování obvodu kaloty). I přes provedená opatření nebylo možné zcela zabránit lokálnímu vypadávání bloků horniny z obnaženého líce výrubu. Celkově však vykazuje horninový masiv vysoký stupeň stability. Měřené deformace líce výrubu po provedení záběru rychle odeznívají a nepřekračují obvykle po vyražení plného profilu tunelu 10 mm. Maximální měřená deformace výrubu nepřesáhla při ploše tunelu téměř 140 m² hodnotu 30 mm.

Hloubené tunely Komořany

Stavební jáma níže položeného komořanského portálu dosahuje v nejhlubším místě hloubky 30 m a šířky 50 m. Délka hloubených tunelů přesahuje 170 m. Zajištění boků stavební jámy je prováděno z přirozeně svahovaného předvýkopu, z jehož dna jsou vrtány piloty a záporny, stabilizující spodní partie stěn jámy. I když geotechnický průzkum avizoval bázi pokryvů mělce pode dnem stavební jámy, doplňující průzkum ukázal, že písčité sedimenty naplavené v minulosti Vltavou dosahují větších mocností a piloty ani záporny nelze ve větší části jámy vetknout do skalního podloží. Skutečnost, že se po celé výšce stavební jámy nachází pouze vrstva písčitých sedimentů (obr. 3), ovlivňovala dimenze pilot, zápor

i způsob kotvení jámy. Spolu s omezenou šířkou dočasného záboru pozemků pro realizaci hloubených tunelů vedla změna geologických poměrů k úpravě způsobu zajištění stavební jámy. V rámci zpracování realizační dokumentace muselo dojít k prohloubení svisle pažených stěn na úkor svahované části, aby bylo možné v rámci vymezeného záboru pozemků dílo realizovat. O návrhu stavební jámy Komořany podrobněji pojednává následující článek doc. Ing. Masopusta, CSc.

Horninový pilíř dosahuje na portále ražených tunelů mocnosti pouze 10 m, což klade zvýšené nároky pro zajištění stability díla při zahájení ražby severního i jižního tunelu (obr. 4). Odtěžování stavební jámy probíhá po etážích, které respektují technologii provádění pažení jámy, betonáže převážek a předpinání kotev. Ve stavební jámě se v profilu hloubeného jižního tunelu nachází průzkumná štola, jejíž ostění bylo nutno při odtěžování jámy bourat. Obnažené ostění štoly, tvořené předháněnými ocelovými pažinami a střikaným betonem se sítí a příhradovými ramenaty, skýtá netypický pohled (obr. 5). Hloubené tunely prováděné ve stavební jámě nekorespondují šířkovým uspořádáním s profilem navazujících ražených tunelů. Do hloubených tunelů zasahují připojovací a odbočovací pruhy přílehlých plánovaných křižovatek, což vede ke zvětšení jejich šířky o jeden jízdní pruh. Stísněné poměry před portálem tunelu neumožnily splnit bezpečnostní doporučení směrnice 2004/54/ES Evropského parlamentu a rady o umístění připojovacích pruhů v dostatečné vzdálenosti před portálem. Ostění hloubených tunelů tvoří železobetonová klenbová konstrukce plošně založená na masivní spodní klenbě. Pro betonáž bloků spodní

Obr. 4: Horninový pilíř mezi tunely – pohled z demolané průzkumné štoly



Obr. 5: Hnané pažení po obnažení rubu štoly – portál Komořany



klenby délky 12 m zajistil zhotovitel speciální pojízdné bednění (obr. 6). Založení na jemnozrnných píscích vedlo k debatám o způsobu úpravy a ochrany základové spáry. Nakonec zvítězil názor projektanta RDS spáru neupravovat hutněním nebo jiným zlepšením, ale z ponechané ochranné vrstvy zeminy tloušťky až 1 m s ústupem mechanismů upravit dno jámy do tvaru spodní klenby tunelu. Upravené dno jámy zhotovitel stabilizoval stříkaným betonem, na který následně provedl vrstvu podkladního betonu. Před stabilizací stříkaným betonem byl po upraveném dně jámy zakázán pohyb mechanismů i lidí, neboť okamžitě docházelo k nakypření jinak ulehlého a konsolidovaného písku. V případě poškození základové spáry byl nakypřený materiál opatrně vytěžen a nahrazen podkladním betonem. Práce probíhaly za zvýšeného dohledu zhotovitele i investora a každá základová spára byla před betonáží přebrána kompetentními zástupci vedení stavby (obr. 6). Celková šířka nosné konstrukce jižního hloubeného tunelu přesahuje 21 m, severního pak 16 m. Minimální tloušťka ostění ve vrcholu klenby severního tunelu činí 600 mm. U jižního tunelu se vzhledem k rozpětí klenby a výšce zpětného zásypu zvětšuje na 800 mm, resp. v místě největší výšky nadloží až na 1000 mm. S ohledem na snižující se mocnost nadloží směrem k portálu tunelu a značné délce hloubených tunelů je dimenzování ostění z ekonomických důvodů provedeno po úsecích, ve kterých dochází ke změně tloušťky ostění i stupně vyztužení. Oba hloubené tunely jsou proti průniku podzemní vody chráněny „deštníkovým systémem“ pláštové fóliové izolace, umístěné v oblasti klenby tunelu. Voda je po izolaci svedena do bočních tunelových drenáží a dále ke komořanskému portálu.

Hloubené tunely Cholutice

Prostorové poměry na cholupickém portále nejsou tak stísněné jako na komořanské straně a stavební jámu lze částečně provést svahováním severního svahu jámy v přirozeném sklonu 1,5 : 1 se zajištěním stability svahu tyčovými kotvami a vrstvou stříkaného betonu se sítí. Pouze na jižní straně jámy vyžadují místní poměry stěnu jámy zapažit záporovým pažením o světlosti výšce 6 až 9 m. Práce na stavební jámě započaly vrtáním zápor a pilot v květnu 2007 s následnou betonáží ztužujícího hlavového



Obr. 8: Primární ostění se spodní klenbou – plocha výrubu 165 m²

trámu portálové stěny. Následovalo odtěžování stavební jámy po etapách a osazování a předepínání pramencových kotev v jednotlivých kotevních úrovních na portálové stěně a jižní záporové stěně. Rozpojování probíhalo bez použití trhacích prací. Jedinou komplikací opět představovalo bourání primárního ostění průzkumné štoly (obr. 7).

Oba hloubené tunely navazují beze změny tvaru vnitřního líce ostění přímo na profil ražených tunelů. Pouze dimenze ostění se oproti raženým tunelům u hloubených tunelů zvětšuje ze 400 mm na 600 mm. Vzhledem ke zcela odlišným základovým poměrům je na rozdíl od komořanského portálu konstrukce ostění založena na patkách. Návrh na změnu založení podal zhotovitel, resp. zpracovatel RDS, na základě vyhodnocení geotechnických poměrů po vytěžení stavební jámy. O problematice zajištění stavební jámy podrobněji pojednává dále uvedený článek Ing. Jozefa Kuráně.

Specifika ražených úseků tunelů

Již při návrhu primárního ostění tunelu a technologického postupu ražby musí projektant zohlednit blokové schéma betonáže definitivního ostění. Dispoziční řešení tunelů vychází z délky bloku betonáže definitivního ostění 12 m. V úsecích ražených tunelů poblíž obou portálů vyžadují geotechnické poměry rychlé uzavírání spodní klenby tunelu. V úsecích dále od portálu

je použit příčný profil bez uzavření spodní klenby a horní klenba spočívá na patkách. Návrh technologických tříd výrubu tuto skutečnost zohledňuje. Úsek ražený v technologické třídě výrubu 5a, určené do nejhorsích geotechnických podmínek, má délku určenou jako násobek délky bloku betonáže definitivního ostění, aby se v rámci jednoho bloku betonáže neměnil konstrukční typ a ostění nebylo založeno na patkách i spodní klenbě. Výrazně lepší než průzkumem původně očekávané geotechnické podmínky umožnily provádět ostění bez spodní klenby i v technologické třídě výrubu 5a. Spodní klenba je proto navržena pouze u prvních bloků betonáže ražených tunelů (obr. 8). V dalších úsecích již není spodní klenba použita a rozhraní mezi jednotlivými technologickými třídami výrubu není vázáno na spáry mezi bloky betonáže definitivního ostění. Další úpravy standardně navržených technologických tříd výrubu vyžaduje situování tunelových propojek, výklenků pro osazení skříňní SOS, požárního hydrantu a výklenků na čištění boční tunelové drenáže.

Délka ražených úseků jižního a severního tunelu není totožná. Oba tunely leží ve směrových obloucích. Zatímco osa jižního tunelu tvoří rovnoběžku k ose hlavní trasy, osa severního tunelu se v prostoru komořanského portálu od osy hlavní trasy nejprve odklání, v dalším úseku probíhá rovnoběžně s hlavní trasou a před portálem Cholutice se opět k ose hlavní

Obr. 6: Upravená základová spára hloubených tunelů



Obr. 7: Zbytek ostění průzkumné štoly a mikropilotový deštník – portál Cholutice





Obr. 9: Minimální vzdálenost tunelů u propojky č. 1

trasy přimyká. Tím je na většině délky ražených úseků tunelu zajištěna dostatečná vzdálenost obou tunelových trub, důležitá pro stabilitu horninového pilíře mezi tunely (obr. 9). Rozdělení tunelu na bloky betonáže definitivního ostění stejné délky vede ke standardizaci konstrukčního řešení a ovlivňuje technické řešení dalších stavebních objektů i provozních souborů technologického vybavení tunelu. Kromě polohy propojek a výklenků ovlivňuje blokové schéma i polohu kanalizačních a kabelových šachet, spárovez vozovky, umístění světel nouzového osvětlení a chrániček pro kabely vedené v definitivním ostění tunelu k jednotlivým zařízením technologického vybavení. Jako základní byl při návrhu blokového schématu zvolen jižní tunel, vzhledem k paralelnímu průběhu osy tunelu s osou hlavní trasy. Délka raženého úseku tunelu je bezesbýtky rozdělena na bloky délky 12 m. Bloky betonáže atypické délky se v jižním tunelu nevyskytují. Polohu únikových tunelových propojek určují požadavky na bezpečnost provozu a v tunelech se jich nachází celkem 8. Osa tunelové propojky odpovídá vždy ose bloku betonáže. Vhodnou úpravou polohy portálů, situováním tunelových propojek a vedením trasy jižního tunelu se podařilo vytvořit blokové schéma severního tunelu pouze s pěti atypickými bloky betonáže. Základní pravidla pro zajištění stability výrubu a technologický postup výstavby definují technologické třídy výrubu. Projektant realizační dokumentace provedl analýzu znalostí o horninovém masivu v trase tunelů a následně upravil technologické třídy výrubu obou tunelů. Pravidla zadávací dokumentace takový postup umožňují. Realizační dokumentace obsahuje pro každý tunel v souladu se zadávací dokumentací 3 technologické třídy výrubu, označované 3, 4 a 5a. Technologická třída výrubu 5a je určena do

nejtěžších geotechnických podmínek a obsahuje i modifikaci pro ražbu pod ochranou mikropilotového deštníku od obou portálů. Další dvě třídy pak definují způsob zajištění stability výrubu a technologický postup výstavby v lepších geotechnických podmínkách.

Průzkumná štola

Pro ověření geotechnických podmínek byla v předstihu před ražbou tunelu vyražena v ose jižního tunelu průzkumná štola. Projektant štoly našel její optimální polohu v profilu kaloty. Počva štoly se nachází v úrovni 3,35 m nad úrovní nivelety tunelu a světla výška dosahuje 5,5 m. Šířka štoly 4,5 m umožnila bezproblémový pohyb mechanismů, neumožnila však jejich vzájemné míjení při provozu ve štole. Proto jsou po cca 200 m jednostranným rozšířením profilu štoly do profilu kaloty budoucího tunelu vytvořeny výhybny. V jenom úseku došlo v rámci geotechnického průzkumu k vyražení pokus-

ného výrubu v plném profilu kaloty budoucího tunelu s počvou v úrovni počvy průzkumné štoly. Při návrhu technologických tříd výrubu jižního třípruhového tunelu zohlednil projektant realizační dokumentace polohu průzkumné štoly a pokusil se maximálně využít jejich rozměrů při úpravě tvaru příčného řezu tunelu. Limitujícím faktorem bylo výškové vedení trasy tunelu i celková plocha výrubu ovlivňující rozsah prováděných prací a tím i výši investičních nákladů. Po dohodě se zhotovitelem s ohledem na nasazenou mechanizaci došlo ke zvětšení výšky kaloty z 5,7 m na 6,6 m za cenu prohloubení její počvy na úroveň 2,25 m nad niveletu tunelu, tj. o 1,1 m oproti počvě průzkumné štoly. Nadvýšený rub primárního ostění tunelu odpovídal teoretickému líci primárního ostění štoly, aby bylo možno výztužné rámy a sítě ostění tunelu umístit pod primární ostění štoly. Odchyly a tolerance provádění primárního ostění štoly směrem do profilu však mnohdy vedly k nutnosti jeho demolice. Rovněž využití jednostranných výhyben jako součástí primárního ostění tunelu se ukázalo nereálné. Pokusný výrub plného profilu kaloty se podařilo díky dobrým geotechnickým podmínkám v daném úseku zachovat a zakomponovat do primárního ostění tunelu. Průzkumná štola snížila objem výrubu kaloty při šířce výrubu v počvě kaloty 16,4 m a výšce kaloty 6,6 m z 85 m³ jen na cca 60 m³ na běžný metr tunelu. Plocha výrubu jádra dosahovala při výšce výrubu 3,56 m až 57 m³/bm. V technologické třídě výrubu 5a se spodní klenbou tvořil třetí část vertikálního členění profil počvy o ploše 25 m². Plocha výrubu největšího profilu se spodní klenbou dosahuje po odečtení plochy výrubu průzkumné štoly více než 140 m², včetně průzkumné štoly pak 165 m². Plocha výrubu jižního tunelu bez spodní klenby dosahuje 113 m², resp. 138 m² včetně plochy průzkumné štoly.



Obr. 10: Rozšiřování štoly v místě výhybny – zahájení ražby

Alternativní způsob zahájení ražby jižního tunelu

Komplikace s nedostatečnými zábery pozemků v oblasti obou stavebních jam oddalovaly termín zahájení jejich odtěžování a tím i zahájení ražby obou tunelů. Proto zpracovatel realizační dokumentace navrhl po dohodě se zhotovitelem alternativní způsob zahájení ražby jižního třípruhového tunelu, který byl následně předložen objednateli k odsouhlasení. Návrh spočíval v rozšíření profilu průzkumné štoly na plný profil kaloty tunelu a zahájení ražby z vytvořeného náraží uvnitř horninového masivu. Odtěžování rubaniny i doprava materiálu do podzemí probíhaly přes průzkumnou štolu. Jako optimální místo pro zahájení ražeb byla využita první jednostranná výhybna štoly, situovaná cca 80 m za pilotovou stěnou komořanského portálu. Po rozšíření profilu výhybny následovala dovrchní ražba směrem k cholupickému portálu. V realizační dokumentaci představoval alternativní návrh pouze variantní řešení technologického postupu prací. Technologické třídy výrubu i standardní technologické postupy výstavby zůstaly zachovány. Ražba jižního tunelu byla zahájena dne 2. 4. 2007 rozšířením výhyby průzkumné štoly (obr. 10). Nedostatek prostoru omezoval zpočátku výkony a ražba probíhala v technologické třídě výrubu 5a s modifikací bez spodní klenby. Délka záběru v kalotě se pohybovala do 1 m. Přímá ostění výhybny štoly zasahovalo do profilu tunelu a muselo být po jednotlivých záběrech odstraněno. Rychlost ražby se pohybovala do 1 m za den. Po vytvoření dostatečného manipulačního prostoru a zlepšení geotechnických podmínek ve větší vzdálenosti od portálu se výkony zvyšovaly až na 2 záběry kaloty za den s průměrnou rychlostí ražby 4,2 až 5,4 m/den. I když celkově vykazoval horninový masiv vysokou stabilitu, docházelo při prodlužování délky záběru k nežádoucím nadvýrubům způsobeným lokálními vypadáváním bloků horniny po

plochách diskontinuit, a to jak na líci výrubu, tak z čelby (obr. 11).

Po proražení jižního tunelu dne 18. 3. 2008 lze konstatovat, že i přes jistá omezení, způsobená stísněným prostorem průzkumné štoly jako dopravní komunikace, umožnilo alternativní řešení zahájit ražbu tunelu před dořešením problému v oblasti tunelových portálů a před odtěžením stavebních jam.

Během dovrchní ražby tunelu od komořanského portálu došlo k vytěžení stavební jámy Cholupice na úroveň kaloty tunelů, navrtání mikropilotových deštníků, betonáží ochranných železobetonových věnců a přípravě portálu pro zahájení úpadní ražby. Odtěžování obou stavebních jam probíhalo po etapách s ochranným celkem po obvodu průzkumné štoly. Po vytěžení jam bylo nutné provést demolici štoly a zahájit standardní ražbu od portálu, jak bylo původně plánováno.

Závěr

V současné době jsou vytěženy obě stavební jámy a proražen jižní třípruhový tunel. Ve stavební jámě Komořany probíhá betonáž definitivního ostění hloubeného jižního tunelu. Ražba severního dvoupruhového tunelu rychle postupuje od Komořan i Cholupic a zhotovitelé firmy Skanska-BS a Subterra se k sobě blíží rychlostí až 10 m za den. Současně se v lokalitě Nouzov hloubí vzduchotechnická šachta o průměru 8 m, která je situována mezi oba tunely v místě propojky č. 5 a slouží k odvětrání tunelů za provozu v případě, kdy by emise na portálech přesáhly přípustné meze. Dovrchní ražba jižního tunelu alternativním způsobem s využitím průzkumné štoly jako dopravní cesty minimalizovala časový skluz na počátku harmonogramu. Před vytěžením stavebních jam tak bylo vyraženo bezmála 700 m jižního tunelu v kalotě a 400 m v jádře. Pozitivní přístup zástupců investora i zhotovitele přispěl k překonání počátečních problémů. I přes rozsáhlé změny

bezpečnostního řešení stavby vyžadované až během výstavby a zejména s nimi spojeného rozšíření severního tunelu, lze předpokládat, že nasazením akceleračních opatření dojde ke zkrácení původně plánovaného termínu výstavby. Při stavbě tunelů Komořany se poprvé v České republice uplatňuje originální metoda oceňování ražby a způsobu zajištění stability výrubu, který umožňuje využití výhod NRTM a operativní změnu způsobu zajištění stability výrubu na základě skutečně zastižených geotechnických podmínek. Iniciátorem nového pojetí zadávacích podmínek zcela v duchu zásad NRTM je firma D2 Consult, která plně využívá svých dlouholetých zahraničních zkušeností z tunelářsky vyspělých zemí Evropy a která během realizace prováděla poradenskou činnost pro investora stavby, kterým je Ředitelství silnic a dálnic České republiky.

Ing. Libor Mařík, IKP Consulting Engineers, s. r. o.
Foto: autor

Investor: Ředitelství silnic a dálnic ČR;
Technická pomoc ŘSD ČR: D2 Consult Prague, s. r. o. ;
Geomonitoring: Mott MacDonald;
Zpracovatel DSP/DZS: Pragoprojet, a. s. ;
Realizační dokumentace: IKP Consulting Engineers, s. r. o. ;
Realizace: Sdružení Vestec-Lahovice, vzniklé z firem SKANSKA-DS, a. s., SKANSKA-BS, a. s., a ALPINE MAYREDER Bau, GmbH;
Práce spec. zakládání: Zakládání staveb, a. s., Skanska CZ – Závod Speciální zakládání;

Tunnels of construction 513 – road system around Prague – design and first experience from realization

Prague similarly as other big European cities has had troubles with increasing traffic and traffic jams in the centre for a longer time. New road system around Prague is expected to significantly change this situation. The system is divided into 11 construction parts numbered from 510 to 520. The part between Vestec and Lahovice has number 513. From Lahovice where the construction is connected to structure number 514 the line crosses the river Vltava and goes steeply up in two separate tunnels from Komořany to Cholupice. Nearby tunnel face where complicated geotechnical conditions do not allow for tunnel driving the construction runs in open foundation pits. In parts with suitable geotechnical conditions the tunnels are driven using new Austrian tunnel method.



Obr. 11: Nestabilita čelby při nepříznivém sklonu puklin