

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



**Nejlepší umístění průzkumných štol v
tunelovém stavitelství**

**The Best location of exploratory galleries in
tunnel engineering**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Pavel Tůma

Vedoucí: Doc. Ing. Karel Drozd, CSc.

Sedlec-Prčice, srpen 2008

GEOTECHNIKA
PRŮZKUMNÉ ŠTOLY
TUNELOVÉ STAVBY
LAHOVICE - VEŠTEC

Obsah

I. Úvod	2
II. Co je to průzkumná štola a její funkce v tunelovém stavitelství	2
Obecně	2
Přednosti průzkumných štol proti vrtům	2
III. Technologie výrubu štoly (tunelu)	3
Obecně	3
Presplit	4
Hladký odstřel a zpožděný palník	4
Nadvýlom	7
Výztuž	7
IV. Fenner-Pacherova křivka	8
V. Nová rakouská tunelovací metoda	9
Zásady a principy	9
Klasifikace GSI	10
Členění výrubu	11
VI. Ovlivnění budoucí tunelové stavby polohou průzkumné štoly	12
VII. Časový odstup mezi štolou a tunelem	14
VIII. Definitivní úpravy pro tunel (ze štoly)	14
IX. Ražené tunely v Praze a poloha průzkumných štol	16
X. Závěr	19
XI. Použité podklady/seznam literatury	20

Poděkování: Chtěl bych poděkovat vedoucímu své práce Doc. Ing. Karlovi Drozdovi, CSc. za rady a poskytnuté materiály.

I. Úvod

Tato práce se zabývá nejvhodnějším umístěním průzkumné štoly v rámci profilu tunelové stavby z hlediska maximálního možného využití jejího průzkumného potenciálu a případného negativního či pozitivního ovlivnění budoucí tunelové stavby, které je dáno právě volbou polohy. Dále se práce zabývá přednostmi průzkumných štol proti jiným průzkumným metodám, zejména vrtům. Cílem je shrnout současné poznatky a zkušenosti z ražby těchto velice nákladných děl, která se poslední dobou v hojně míře v tunelovém stavitelství využívají, a zhodnotit jejich umístění v různých částech profilu s demonstrací na některých tunelech v Praze, kde se průzkumné štoly razily.

II. Co je to průzkumná štola a její funkce v tunelovém stavitelství

Obecně

Jako štola se dá označit liniová stavba, u které převládá délka díla oproti výšce a šířce. Velikost plochy příčného profilu je zpravidla menší než 16 m^2 a podélný sklon je nejvýše 10° od vodorovné roviny. Pokud je plocha příčného profilu větší než 16 m^2 jedná se terminologicky už o tunel, ale existuje spousta případů, kdy je plocha příčného profilu štoly větší, např. průzkumná štola tunelu Slivenec - Lahovice má plochu 25 m^2 (Sálus a Vozarik, 2005). Pokud tyto liniové stavby mají sklon od 10° až 60° od vodorovné roviny jsou to takzvané úklonné štoly resp. tunely. V tunelovém stavitelství jsou sklony silničních tunelů determinovány normami pro silniční stavby, proto se hodnoty sklonů štol pohybují v jednotkách stupňů.

Sklon je také důležitý pro odvádění důlních vod ze štoly. Pokud jde o dovrchní ražbu, mohou být podzemní vody odváděny samospádem odtokovým kanálem v počvě štoly, případně jiným drenážním systémem. Při úpadní ražbě se musí podzemní vody odčerpávat čerpadly. V závislosti na síle přítoku do štoly se nasazují různé výkonná čerpadla v případě transportu vody na delší vzdálenosti se využívají i přečerpávací stanice a jímky. Jenom samotné vyražení průzkumné štoly má ten efekt, že při ražbě tunelu je výrub suchý a přítoky do díla se mohou jen nepatrně zvětšit.

Bývá zvykem navrhovat z ekonomických důvodů co nejmenší plochu profilu štoly. Pro některá geotechnická pozorování jsou vhodné větší profily např. se v části délky štoly profil rozšíří na rozměry kaloty budoucího tunelu, což má i své technologické zdůvodnění - mohou se zde míjet těžební mechanismy s menšími časovými prostoji, dále se zde instalují příslušná média dopravující na čelbu technologickou vodu, stlačený vzduch a elektřinu, případně prvky zajišťující odvětrání čelby (ventilátory).

Přednosti průzkumných štol proti vrtům

Funkce průzkumných štol v tunelovém stavitelství je taková, aby umožnila co možná nejkvalitnější zhodnocení geologických a geotechnických poměrů (v trase budoucího tunelu) v rámci podrobného geologického průzkumu při složitých geologických podmínkách. Podrobnou dokumentací geologických poměrů jednotlivých čeleb se získávají důležité údaje o stratigrafii a petrologii hornin, tektonice (četnost, průběžnosti, orientace a výplň ploch nespojitosti), přítoku podzemních vod a dále se mohou ověřit technologické vlastnosti hornin (pevnost, stupeň zvětrání, třídy ražnosti, atd.). V průzkumných štolách se mohou provádět různá měření, která se řadí do geotechnického monitoringu celého díla jako například měření konvergencí výrubu (pro

účely určení technologických tříd pro Novou rakouskou tunelovací metodu - NATM), měření deformací výrubu, měření pevnostních charakteristik hornin in situ, vlhkost, přítoky podzemních vod, atd. Štola umožňuje zjistit to, co nelze zjistit ostatními druhy podrobného geologického průzkumu: stabilitu nevystrojeného výrubu v čase, délky záběrů, tvoření nadvýlomů, skutečné deformace výrubu, poruchové zóny, skutečné přítoky vody s pozitivním částečným odvodněním pro budoucí ražbu, účinnost kotvení a jehlování a další podrobnosti. Rovněž je možno s předstihem z profilu štoly provádět v poruchových zónách sanační a doplňková opatření pro ražbu velkého tunelu (Bohman et al. , 2005).

Vrtný průzkum v patřičné hustotě pro tunelové stavby poskytuje pouze bodově ověřené informace o geologických a geotechnických poměrech zkoumané oblasti. Ze sítě vrtů se dá sestavit geologický řez území, který částečně vypovídá o geologické situaci a z měřících prací ve vrtech lze získat některé geotechnické vlastnosti hornin, ale v určité míře zkreslené (pevnostní charakteristiky určené na vrtném jádru, různá karotážní měření - pórovitost, vlhkost, atd.). Vrtný průzkum lze ještě doplnit o geofyzikální měření pro ověření geologické situace, ale někdy je přesnost měření nedostatečná, například při ražbě průzkumné štoly pro tunel Lahovice-Vestec byla v rámci geofyzikálního průzkumu identifikována cca 50 m mocná tektonicky porušená zóna (staničení cca 599 m až 647 m). V průzkumné štolě byla poruchová zóna zastížena až ve staničení cca 669 m a ražba v ní průběžně pokračovala do staničení cca 711 m (Bohman et al. , 2005). Průzkumná štola má hlavní přednost před vrty hlavně v tom, že lze komplexně a kontinuálně prokoumat danou oblast, přičemž vrty poskytují pouze bodové informace. Co se týká ekonomičnosti, tak na průzkumnou štolu jsou vynakládány mnohem větší výdaje než na vrtný průzkum, ale ty mohou být vykoupeny výsledky průzkumu, který například upozorní na skutečnosti, jež vrtný průzkum neodhalil a mohly by vést ke komplikaci při ražbě vlastního tunelu (např. vysoké přítoky podzemních vod). Průzkumná štola má výhodu oproti vrtům i v tom, že v případě zhoršení geologických podmínek lze provést různá opatření pro zlepšení těchto podmínek např. v případě málo mocného nadloží (zvětralé libeňské břidlice 1,5 m, saturované šterkopisky 11 m v blízkosti historické Šlechtovy restaurace ve svahu mezi Letnou a Stromovkou) lze provést tryskovou a tlakovou horninovou injektáž pomocí systému vrtů, uspořádaných do radiálních vějířů, samotná ražba pokračuje pod ochranou mikropilotových deštníků (Šourek et al. , 2007).

III. Technologie výrubu štoly (tunelu)

Obecně

Ražení v pevnějších horninách se provádí v současném stadiu vývoje tunelovacích metod buď:

cyklickým způsobem, při němž pravidelně opakují operace, které vždy v souhrnu jednoho cyklu umožní postup ražby o jeden pracovní záběr. Rozpojování horniny se provádí většinou pomocí trhavin, využívá se však i beztrhavinové ražení (při menších pevnostech horniny), nebo plynulým způsobem, při němž se podzemní dílo najednou „vyvrtává“ pomocí mohutného tzv. plnoprofilového tunelovacího stroje. Při cyklickém ražení pomocí trhacích prací se pracovní cyklus skládá z následujících činností:

Vrtání, nabíjení a odstřel, větrání, nakládání a odvoz rubaniny, provizorní vyztužení, prodlužování instalací (větrací lutny, potrubí tlakové vody a vzduchu, odvodnění).

Vrtání patří k časově nejnáročnějším činnostem z pracovního cyklu. Při této činnosti se pomocí výkonných pneumatických nebo ještě výkonnějších hydraulických vrtacích kladiv realizují vrty, které slouží k umístění náloží trhaviny. Vrtání probíhá na rotačně-příklepném principu a v současné době již jen zcela výjimečně ručně. Vrtací kladiva jsou běžně umístěna ve větším počtu na lafetách kolového nebo pásového vrtacího vozu, postup vrtání je plně mechanizovaný a řízený jedním pracovníkem; u nejmodernějších vrtacích strojů s využitím počítače. Vrty v čelbě tunely nejsou rozmístěny nahodile, nýbrž každý z nich má přesné místo v tzv. vrtném schématu. Vrtné schéma představuje takové rozmístění vrtů, které při správně navržených ostatních parametrech odstřelu zajistí postup ražby o délku jednoho záběru v projektem požadovaném profilu štoly či tunelu. Ve vrtném schématu jsou rozmístěny tři základní typy vrtů (obr. 2):

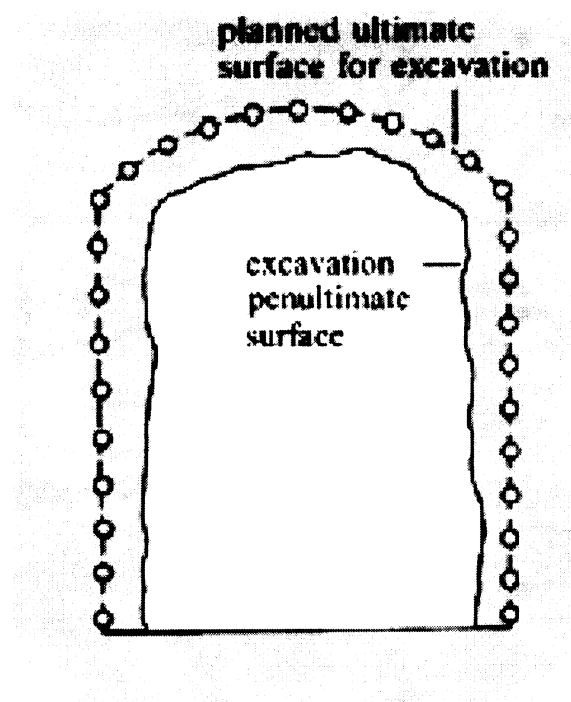
Záломové vrty, jejichž nálože po výbuchu konají nejobtížnější práci s prvotní výtrží horniny, která je upnutá ze všech stran do okolního masivu (vyjma prostoru již provedeného výrubu). Jsou umístěny ve speciálních sestavách v oblasti těžiště čelby, odpalují se jako první a vytvoří zálohu do čelby. Sbíhavé zálohy používají vrty, které nejsou kolmé k čelbě a mají tvar klínu, jehlanu nebo kužele (obr. 2 b)), což umožňuje snazší výtrž upnuté horniny; funkčně jsou zcela vyhovující, jejich vrtání je však obtížnější. Přímé zálohy mají všechny vrty kolmé k čelbě a pro usnadnění výtrže se upnutí horniny v čelbě snižuje provedením nenabitých vrtů. K neznámějším typům válcových zálohu patří spirálový zálohu (tzv. „kanadská zátka“) a švédský „Coromant“ zálohu (obr. 2 d)). Přibírkové vrty, jejichž v desítkách milisekund zpožděné exploze náloží zajišťují rozšíření zálohu. Působení energie trhaviny je usnadněno usměrněním výbuchu do již vytrženého prostoru zálohu; vrtají se proto vždy kolmo k čelbě a obsahují menší množství trhaviny (upraveno podle Bartáka, 2008).

Presplit

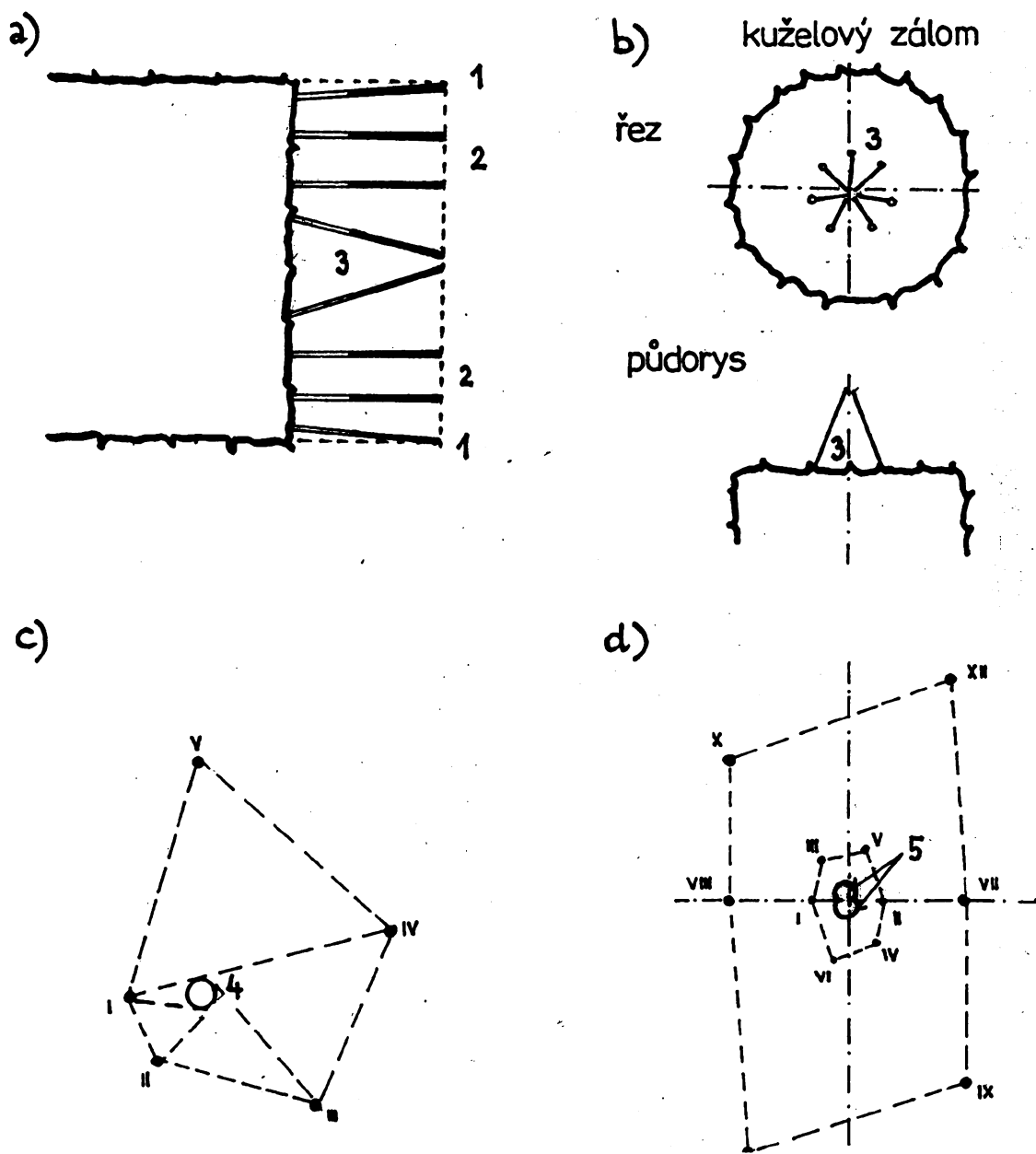
Obrysové vrty slouží k umístění náloží, které mají zajistit po výbuchu vylomení co nejpřesnějšího obrysu podzemního díla, současně však nesmí výrazně poškodit trhlinami horninový masiv v okolí výrubu. Tyto požadavky lze účinně zajistit speciálními způsoby tzv. řízeného výlomu – hladkým odpalem a presplittingem („předštípnutím“). Oba postupy mají určité společné rysy, liší se však podstatně okamžikem odpalu obrysových vrtů. Společnými znaky jsou hustě rozmístěné vrty po obvodě výrubu (vzdálenost cca 30 cm), které nejsou všechny nabity (nenabitě vrty slouží jako perforace), používání trhavin s nízkou náložovou hustotou (málo výkonné trhaviny – např. OBRYSIT), případně tlumení účinku výbuchu nálože vůči horninovému masivu (např. půlenou dřevěnou tyčí) (upraveno podle Bartáka, 2008).

Hladký odstřel a zpožděný palník

Hladký odstřel takto uspořádané obrysové nálože odpaluje po zálohu a přibírkových vrtech až jako poslední v pořadí (zpoždění v desítkách až stovkách milisekund), takže obrysové vrty vlastně dočišťují obrys výrubu do prostoru předchozího hrubého výlomu (obr. 1). Presplitting naopak nálože v obrysových vrtech odpaluje jako první v pořadí a jejich úkolem je vytvořit mezi obrysovými vrty nabitými i prázdnými trhlinu. Tato trhlinka přesně sleduje tvar budoucího výlomu a současně vytváří účinný přechodový odpor proti nepříznivému působení následujících výbuchů vnitřních náloží profilu na horninový masiv za lícem výrubu (upraveno podle Bartáka, 2008).



Obr. 1 Stav výrubu před hladkým odstřelem (podle Bradyho, 2006)



Obr. 2 Vrtné schéma a typy zálomů (upraveno podle Bartáka, 2008)

a) vrtné schéma (podélný řez), b) sbíhavý kuželový zálom, c) spirálový zálom, d) Coromant zálom

1 – obrysové vrty, 2 – příbirkové vrty, 3 – zálomové vrty, 4 – velkoprofilový nenabížený vrt, 5 – nenabížený převrtaný vrt, I až XII – pořadí odpálení náloží v nabížených vrtech

Nadvýlom

Při ražbě štoly může docházet k nadměrnému výlomu neboli nadvýlomu, jenž je negativním efektem při rozpojování hornin. Dochází k němu hlavně u hornin, které jsou vrstevnaté a přitom tvrdé, takže vyžadují intenzivní využití trhavin. Další zhoršení způsobuje nevhodný způsob při odstřelování (Záruba, Mencl, 1957). Značné nadměrné výlomy vznikají například v tektonicky porušených ordovických břidlicích, jak se poznalo při ražení tunelů v okolí Prahy. Při stavbě tunelu na spojovací dráze z Libně do Vršovic se uvolňovaly ordovické břidlice natolik, že vznikaly nad klenbou komíny 2 - 3 m vysoké (Čapek, 1920). V současné době se v Praze razí tunely také v převážně ordovických břidlicích, 20.5.2008 došlo k nadvýlomu při ražbě severní tunelové trouby tunelového komplexu Blanka v oblasti Stromovky (jílovitoprachovité břidlice, dobrotivského souvrství, ordovik). V této části tunelového komplexu byla průzkumná štola vedena pouze v jižní tunelové troubě, kde k takhle rozsáhlému nadvýlomu nedošlo.

Při ražbě tunelů a štol trhavinami se samotný technologický proces neobejde bez tzv. technologicky nutného nadvýlomu, který ovlivňují tyto činitele: divergence a deviace vrtů v závislosti na postupu na odstřel, metoda rozpojování i jiné faktory s poukazem na možnosti minimalizace technologicky nutného nadvýlomu. Technologicky nutný nadvýlom je závislý na velkém počtu činitelů, jako např. divergence vrtů, deviace vrtů, přesnost vytyčování, zavrtávání a směřování obrysových vrtů, odchylky vrtů v průběhu jejich vrtání a jiné, dále technická úroveň použité vrtné a trhací techniky - možnost přesného vytyčování vrtů a nastavení úhlu jejich divergence, vhodné trhaviny a rozněcovadla, metoda rozpojování (klasická, hladký výlom), vlastnosti horninového masivu (hlavně strukturně-tektonické, diskontinuita a heterogenita). Nálože v obrysových vrtů je možné dimenzovat buď klasicky, nebo aplikovat metody hladkého výlomu (předštep). Výběr metody rozpojování ve značné míře ovlivní hodnoty nadvýlomů. Při klasickém rozpojování dochází k silnému porušování horninového pláště a v závislosti na pevnosti horninového masivu a stupni jeho porušení - diskontinuity můžou doprovázet značné nadvýlomy. Pro eliminaci, resp. zmenšení těchto nepříznivých účinků se v zahraničí běžně na obrysu aplikuje hlavně hladký odstřel (smooth blasting), který je účinnější a lehčeji realizovatelný než přeštep (presplitting). Úlohou metod řízeného výlomu je zmenšení porušování horniny v pilíři, získat hladší - rovnější plochu výlomu, tedy snížit hodnoty technologicky nutného nadvýlomu a zároveň pozitivně ovlivnit (zmenšit) geologický, případně i jiné nadvýlomy. Metody řízeného výlomu "šetří" horninu, což je zvláště důležité a efektivní v málo a středně pevných a v středně a málo porušených horninových masivech. Při aplikaci metod řízeného výlomu riziko silného porušování horniny v pilíři podstatnou mírou klesá a v kompaktních, málo porušených masivech se toto riziko prakticky eliminuje. Požadavek snižovat nadvýlomy, se bez aplikace metod řízeného výlomu nedá plně dosáhnout (upraveno podle Dojčára, 2000).

Výztuž

Jako provizorní výztuž při cyklickém ražení štol mohou sloužit: výdřeva, ocelová výztuž, svorníková výztuž a stříkaný beton. Výdřeva (výztuž z dřevěných prvků) se dnes jako dočasná výztuž štol nepoužívá nebo jen výjimečně se používají dřevěné prvky pro zvýšení únosnosti jiných typů výstroje. Výhodou je rychlá instalace a kvalitní aktivace (utažení pomocí dřevěných klínů). Ocelová výztuž je v současnosti nejrozšířenějším typem výztuže, jde o žebrové prvky se stropními pažinami (typ Union) nebo se stříkaným betonem. Žebra mají různý příčný průřez (U, I

nebo H) nebo jsou typu TH, hvězdovitého a příhradového profilu. TH výztuž (nebo typ K - korýtková) jsou poddajné a dovolují při přetížení proklouznutí jednotlivých dílů, spojených třmeny. Svorníková výztuž není klasickým způsobem vestavěna dovnitř výrubu. Tyčové ocelové či sklolaminátové prvky, které se vkládají do vrtů, přikotvují líc výrubu do vzdálenější oblasti horninového masívu, která není provedením výrubu porušena a přenáší zatížení přirozeným klenbovým účinkem. Optimální délka svorníků se pohybuje okolo 1/3 šířky výrubu. Svorníky se mohou po zabudování předepnout, čímž dojde k okamžitému aktivnímu podepření líce výlomu, nebo se líc výrubu nechá v přijatelné míře deformovat, čímž dojde k jejich postupné aktivaci a vytvoření rovnováhy mezi horninovým masivem a svorníkovou výztuží. Stříkaný beton je bez bednění ukládaná (nástríkem nanášená) betonová směs se zrnitostí až 16 mm; nejčastěji se používá směs se zrny do 8 mm, s urychlovačem tuhnutí a přísadami, se spotřebou cementu 400 až 600 kg/m³. Nástrík se provádí dálkově ovládaným manipulátorem (ve stísněných prostorách ručně obsluhovanou stříkací pistolí) ve vrstvách tl. 5 až 15 cm, do nichž jsou postupně zastříkávány armovací sítě a výztužná ocelová žebra dle požadavků projektu. Po zatuhnutí lze stříkat vrstvy další, při čemž spojení obou vrstev je velmi dokonalé. Výroba stříkaného betonu se provádí suchou nebo mokrou cestou, které se liší jednak technologií přípravy stříkané směsi, jednak velikostí odpadu při stříkání. Suchý stříkaný beton má výrazně vyšší odpad (při stříkání na strop až 30 % směsi, která se nesmí znovu použít), lze jej však dobře aplikovat i na mokré povrch výrubu. Množství odpadu u mokrého stříkaného betonu se pohybuje do 10 %. Díky urychlovači tuhnutí mají stříkané betony rychlý nárůst pevnosti (v průběhu 8 hodin se může pevnost nastříkaného betonu pohybovat okolo 5 MPa), takže stříkané betony jsou schopné přenést plynulý nárůst horninových tlaků (upraveno podle Bartáka, 2008).

IV. Fenner-Pacherova křivka (upraveno podle Mencla, 1993)

Fenner-Pacherova křivka je zjednodušeným, ale názorným vyjádřením skutečnosti, že horninový tlak na tunelové ostění závisí na vývoji deformací horninového masívu ještě před osazením ostění a při jeho stavbě.

Jestliže v Masívu vyrazíme otvor, jeho výrub se postupně zdeformuje, protože jeho stěny ztratily podepření, jenž poskytovala odstraněná hornina. Při otevření výrubu se uplatňují v přírodě dva deformační účinky:

a) účinek odlehčení horninového masívu, z něž byla odstraněna hornina. Prakticky se celý otvor poněkud zdvihne, což se projeví i zdvihem povrchu území (účinek tzv. geostatického vztlaku).

b) druhý účinek je vyvolaný tím, že výrub ztratil původní podepření, které mu poskytovala hornina jádra výrubu. V důsledku tohoto účinku se výrub opalizuje.

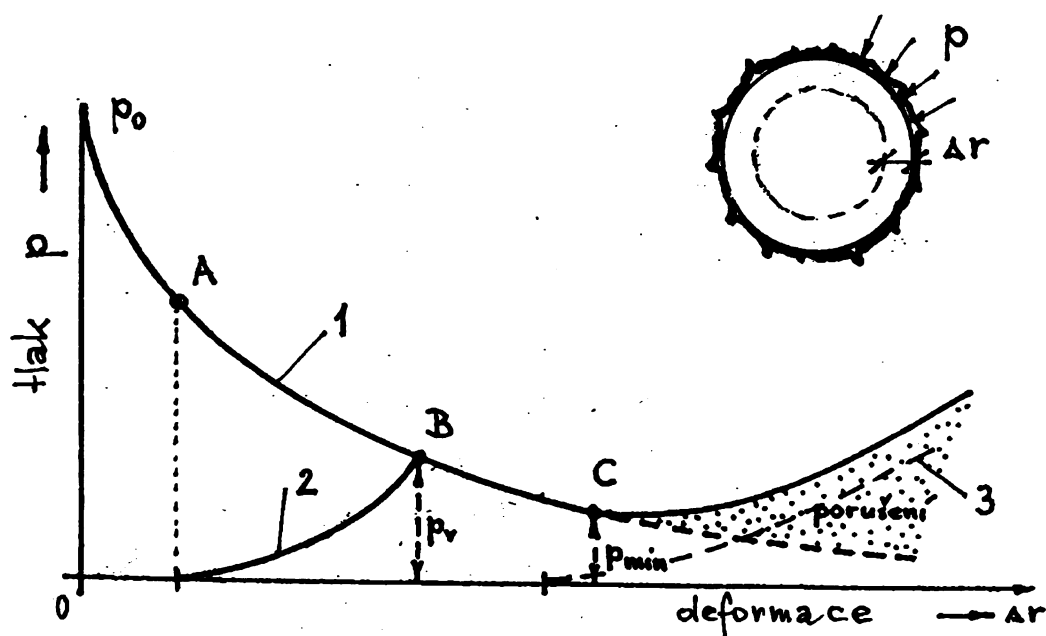
U prvního jevu můžeme předpokládat, že se na konvergenci výrubu projevuje nepatrně. Druhý jev, který ovalizuje výrub, vyvolává jeho konvergenci a způsobuje tlak horniny na ostění, postavíme-li mu do cesty tuto umělou konstrukci.

Ke konvergenci výrubu dochází díky tzv. efektu čela (vzdalování se čela od sledovaného příčného profilu, s rostoucí vzdáleností klesá vyztužovací účinek horninového jádra) a díky efektu času (deformace rostou i při zastavení postupu čela). Deformace vyvolané ražením začínají již před čelem, jsou to takzvané předběhající deformace (čelo výrubu se deformuje i směrem do výrubu).

Pokud výrub v určité vzdálenosti za čelem opatříme ostěním, začne se deformovat společně s ostěním a průběh deformací bude menší a dříve se zastaví. V tomto případě můžeme mluvit o takzvaných zabráněných deformacích. Čím větší poměrnou částí deformací výrubu bez

ostění budou zabráněné deformace, tím větší poměrnou částí primárního geostatického tlaku bude tzv. pravý horninový tlak (čili tlak, který skutečně působí na instalované ostění).

Fenner-Pacherova křivka (viz obr. 3) znázorňuje závislost radiální deformace výrubu na velikosti tlaku, který zevnitř podepírá výrub (pravý horninový tlak). Podle autorů křivky je tento tlak reakcí výstroje výrubu, zatížení výstroje nebude odpovídat plně tíži nadloží, připustíme-li, aby se výrub poněkud zdeformoval. Bod A - deformace výrubu před osazením ostění. Osadíme-li ostění, bude nakonec tím méně zatíženo, čím větší deformace výrubu jsme připustili před jeho osazením. Průsečík B udává velikost pravého horninového tlaku ve vyšetřovaném místě rubu ostění (rovnovážný stav). Pokud bychom osadili ostění pozdě, pak už by se deformace zastavit nepodařilo, protože na ostění by působil horninový tlak z rozvolnění, který je tím větší, čím déle ostění osadíme. Bod C - příliš pozdě instalované ostění, kdy už nedojde k vytvoření rovnovážného stavu a hrozí zhroucení ostění.



Obr. 3 Fenner-Pacherova křivka (upraveno podle Bartáka, 2008)

1 – Fenner-Pacherova křivka, 2 – křivka odporu výstroje, 3 – křivka odporu pozdě zabudované výstroje

Fenner-Pacherova křivka dobře znázorňuje základní zásadu Nové rakouské tunelovací metody (NATM), která říká, že ostění se má vestavět v "pravý čas", ne dříve a ne později. "Pravý čas" je dán polohou minima na křivce. Je ovšem významná výjimka: je-li nadloží nízké a zastavěné, je nutno vestavět ostění dříve, dokud deformace nadloží nepřekročí přípustnou hodnotu. Další význam křivky je v tom, že nám umožňuje propočítat zatížení ostění v závislosti na deformacích výrubu, připuštěných při výstavbě. proto umožňuje i kontrolovat výstavbu měření konvergencí výrubu.

V. Nová rakouská tunelovací metoda

Zásady a principy

NRTM je tunelovací metoda, která vědomě a cíleně využívá nosných vlastností horninového masivu s cílem optimalizovat proces ražení a zabezpečování výrubu a minimalizovat s tím spojené ekonomické náklady. Při výstavbě tunelů pomocí NRTM je obvykle stabilita výrubu zajištěna primárním ostěním a definitivní konstrukce tunelové trouby (sekundární ostění) je budována teprve po ustálení napětově-deformačního stavu v okolí výrubu. Hlavními konstrukčními prvky primárního ostění jsou stříkaný beton a kotevní systém. Nedílnou součástí NRTM je geotechnický monitoring opírající se především o měření deformací tunelového výrubu. NRTM se tak z hlediska geotechnického řadí do skupiny observačních metod, u kterých je průběh výstavby průběžně sledován, a způsob ražby a zajištění výrubu primárním ostěním jsou upravovány podle skutečného chování výrubu a horninového masivu.

Působení horninového masivu v okolí výrubu jako nosného prvku je dosahováno co nejmenším porušením při rozpojování a co nejrychlejším zpevněním povrchu výrubu stříkaným betonem a použitím zpravidla radiálních kotev zlepšujících vlastnosti masivu. Spolupůsobením horninového masivu s primárním (vnějším) ostěním vzniká nosný systém přenášející zatížení/napětí vzniklá v masivu provedením výrubu. V hlubších tunelech je nutné napětí masivu po provedení výrubu snížit umožněním radiálních deformací masivu do výrubu na hodnotu, kterou je nosný systém schopen přenést po doznění/ukončení deformací. Koncepce technologie ražení a vyztužování musí být zaměřena na maximální využití vlastností horninového masivu.

Horniny se rozpojují všemi běžnými způsoby (střelné práce, pneumatická kladiva, výložníkové frézy, bagry) s výjimkou rozpojování plnoprofilovým razicím strojem. Vystrojování a zajišťování výrubu se provádí především stříkaným betonem (primární/vnější ostění), doplněným příhradovými nebo plnostěnnými obloukovými nosníky a vyztužnými sítěmi a/nebo drátkobetonem. Spřažení tohoto vnitřního vystrojení výrubu s horninovým masivem je zajištěno pomocí soudržnosti líce výrubu se stříkaným betonem a kotevním systémem. Definitivní/vnitřní ostění se obvykle provádí z monolitického betonu (prostého nebo vyztuženého) a je obvykle chráněno mezilehlou fóliovou izolací. V souladu s požadavky konkrétního projektu je také možné provést vodotěsné vnitřní ostění z vodonepropustného betonu bez fóliové izolace nebo primární/vnější ostění ze stříkaného betonu ponechat jako definitivní.







Výsledky geotechnického průzkumu musí umožnit návrh technologie ražby, vystrojení a budování primárního i sekundárního ostění a jeho bezpečnou verifikaci prostřednictvím výpočetních postupů, matematického modelování nebo praktických testů. Musí poskytnout i dostatek informací pro návrh zajištění potenciálně dotčených objektů nadzemní zástavby, to je zejména spolehlivý odhad průběhu poklesových kotlin. Dále musí přinést podklady pro volbu umístění portálů, návrh technologie jejich hloubení a zajištění. Například z hlediska stability svahů a pažení stavebních jam, bezproblémového odvodnění portálů i tunelu, a to i s ohledem na okolní zástavbu, především pokud se tunel razí v intravilánu měst. Postupným cílem je získání dostatečného množství informací pro zařazení zkoumaného geologického prostředí podle některých z tunelářských klasifikací, jako je Q (Barton), RMR (Bieniawski), GSI (Hoek), nebo podle rakouské směrnice OGG pro geotechnický návrh tunelů (upraveno podle Aldorfa et al. , 2006).

Klasifikace GSI

Pro současně ražené tunely v Praze je podle mého názoru z hlediska geologických poměrů nevhodnější klasifikace GSI (Geological Strength Index), která byla aplikována při ražbě tunelu Mrázovka v převážně tektonicky porušeném masivu jílovitých ordovických břidlic s nízkým nadložím a městskou zástavbou. RMR klasifikace (Bieniawski) je pro potřeby NATM v těchto podmínkách nevhodná, protože je nepřesná pro určování deformačních charakteristik v poruchových pásmech a raději pracuje s vyššími deformačními moduly horninového masívu, navíc není schopná řešit problémy krátkodobé stability čelby. Klasifikační systém Q (Barton et al.) také není vhodný do tohoto prostředí, protože při určování deformačních charakteristik horninového masívu poskytuje příliš vysoké hodnoty deformačního modulu. Q systém je dnes používán pro potřeby Norské tunelovací metody (NTM), která používá nové výztuhové prvky jako je například stříkaný beton vyztužený vlákny.

Aplikace klasifikace GSI spočívá na čtyřech vstupních parametrech, které vedou k výpočtu pevnostních a deformačních charakteristik porušené horniny: jednoosá pevnost vzorku horniny, Hoekova materiálová konstanta m_i (Marinos, Hoek, 2000), index GSI (Marinos, Hoek, 2000), a faktor porušení horninového masívu D (Marinos, Hoek, 2002).

Table 3: Geological strength index for jointed rock masses.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos 2000)		SURFACE CONDITIONS				
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled fillings. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and infilled surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80		N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity				30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					20
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10
		← DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES				

Obr. 4 Určení indexu GSI (Marinos, Hoek, 2000)

Členění výrubu

Pokud nejsou štola či tunel raženy plnoprofilově, využívá se členění výrubu, což je určité schéma, podle kterého postupuje ražba. Dělí se na:

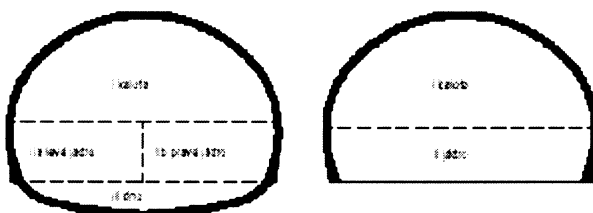
- vodorovné - horizontální členění výrubu (členění kalota, jádro, dno);
- svislé - vertikální členění výrubu (členění na levý a pravý boční tunel, středový tunel, levé a popř. pravé jádro)

Členění výrubu se provádí zpravidla z následujících důvodů:

- geologických a geotechnických (stabilita výrubu, zmenšení plochy čelby, velikost deformací a vliv na nadzemní zástavbu);
- z důvodů prováděcích – akční rádius použité mechanizace – schopnost strojů obsáhnout prostor celé čelby (výška čelby 6 – 7 m, šířka čelby 8 – 12 m).

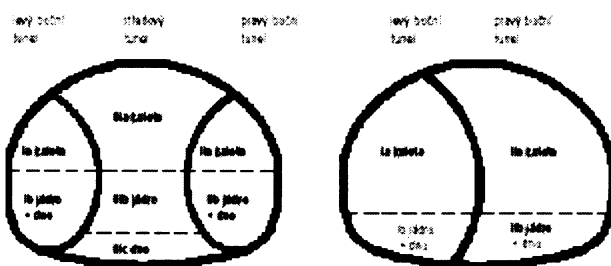
Vodorovné členění se zpravidla volí z důvodu prováděcích, popř. z důvodu stability čelby, svislé členění se provádí u tunelů velkých profilů z obojích důvodů – jak prováděcích, tak stabilitních. Svislé členění čelby zároveň výrazně snižuje deformace na povrchu a vliv na zástavbu na povrchu (Aldorf et al., 2006).

Příklady vodorovného členění výrubu



Pozn. : la - čísla a písmena označují pořadí provádění výrubu

Příklady svislého členění výrubu



Pozn. : la - čísla a písmena označují pořadí provádění výrubu

Obr. 5 Členění výrubu při NATM

VI. Ovlivnění budoucí tunelové stavby polohou průzkumné štoly

Jak už bylo uvedeno výše, funkce průzkumných štol v tunelovém stavitelství je taková, aby umožnila co možná nejkvalitnější zhodnocení geologických a geotechnických poměrů. Tím pádem by měla upozornit na místa v trase budoucího tunelu, kde by mohlo dojít ke komplikacím při ražbě tunelu. Z průzkumné štoly lze případně tato místa vhodným způsobem sanovat a tím zlepšit podmínky budoucí ražby. Samotné vyražení průzkumné štoly má pozitivní efekt už jenom v tom, že částečně odvodní okolí výrubu budoucího tunelu, ale také znamená určitý zásah do horninového prostředí co se týče změny napětí, jenž může generovat deformace výrubu. Když se začne poté razit tunel, nejsou v jeho trase původní geostatické poměry, ale poměry ovlivněné přítomností štoly.

Podle Kirschova řešení (Kirsch, 1898), které se zabývá distribucí napětí okolo kruhovitěho výrubu, lze určit takzvanou koncentraci napětí kolem výrubu. Kirsch převedl do polárních souřadnic původní geostatické napětí okolo výrubu, jenž má dvě složky - vertikální σ_z a horizontální σ_h , přičemž součinitel $K = \sigma_h / \sigma_z$ je různý pro různé typy hornin. Získal tak vztah pro radiální napětí σ_r , které působí ve směru radiály a tangenciální napětí σ_θ , jenž působí ve směru změny úhlu θ , sevřeného radiálou a svislicí ($\theta = 0^\circ$ je strop, $\theta = 90^\circ$ je boční stěna).

Koncentrace napětí je poměr tangenciálního napětí ku vertikálnímu napětí čili σ_θ / σ_z a je uvažován pro různá K . Kirschovo řešení je schopné uvažovat potencionální vliv různě orientovaných tektonických poruch okolo výrubu díky porovnání normálových a tangenciálních napětí na plochách nespojitosti. Efektivní metodou, jak monitorovat podzemní díla, je provádět měření změny vzdáleností mezi dvěma body na ploše výrubu a vzdálenosti dvou bodů ve vrtu kolmém na plochu výrubu. Takto dostaneme hodnoty přetvoření ve směru radiálním a tangenciálním, pro která existují vztahy odvozené z Kirschova řešení. Kirschovo řešení se ovšem nezabývá otázkou tíhy rozvolněného nadloží, neřeší tedy vliv velikosti výrubu, což může být zavádějící u větších výrubů, jenž jsou určitě méně stabilní než menší výrubu ve stejných podmínkách. Kirschovo řešení popisuje pouze elastické chování okolo výrubu.

Pro získání lepší představy o plastickém chování v okolí výrubu existuje model navržený Johnem Brayem (1967). Bray uvažoval, že provedením výrubu se v jeho okolí začne hornina chovat plasticky díky neúnosnému tlaku na horninu, která se začne porušovat podle Mohr-Coulombovy teorie a okolo výrubu se vytvoří takzvaná plastická zóna určité mocnosti. V plastické zóně dochází k poruchám horniny podél logaritmických spirál, které jsou odchýleny o úhel δ od radiály. Tento úhel je různý pro různé napěťové podmínky. Pro mocnost plastické zóny odvodil Bray vztah, který říká, že čím je vyšší původní geostatické napětí v místě výrubu a čím je nižší tlak ostění na výrub, tím je mocnost plastické zóny vyšší. Velké hodnoty mocnosti plastické zóny kolem výrubu indikují to, že velké množství horniny je v rozvolněném stavu a na ostění působí navíc tíže této části rozvolněného horninového masívu.

Obě řešení, jak Kirschovo, tak Brayovo, ukazují, že v okolí výrubu dochází k redistribuci napětí a jeho těsné okolí se nějakým způsobem porušuje, ať už se chová plasticky nebo elasticky. Tyto poruchové zóny proto mohou vznikat v těsném okolí štol a se zvyšující se vzdáleností od výrubu klesá rozsah těchto zón. Tato úvaha by se měla také aplikovat při navrhování umístění průzkumné štoly do profilu budoucího tunelu a to tak, aby štola co nejméně negativně ovlivňovala výrub tunelu. Proto by se měla z tohoto hlediska umístit co možná nejdále od okraje výrubu.

Návrh umístění průzkumné štoly závisí na několika aspektech. Je to zejména problém složitosti geologických poměrů, na něž může upozornit některá z etap průzkumu území. Pokud se

předpokládají velice složité geotechnické poměry, bude se zřejmě muset přistoupit k členění výrubu tunelu a to pravděpodobně k vertikálnímu, jenž je pro obtížnější geologické podmínky vhodnější. Je dobré, aby štola byla využita při ražbě tunelu z principu technologického, takže by bylo vhodné ji při členění výrubu využít jako součást dílčího výrubu. Při vertikálním členění se výrub dělí na dvě opěrové štoly (levý a pravý boční tunel), kalotu (přístropí), jádro a dno. Pro umístění průzkumné štoly by bylo nejvhodnější jádro, ale z hlediska technologického postupu by to bylo nevhodné, protože jádro se spolu s dnem razí v pořadí jako poslední. V úvahu tedy připadají opěrové štoly a kalota. Pokud bychom volili průzkumnou štolu jako součást jedné z opěrových stol, znamenalo by to excentrické umístění štoly v rámci profilu tunelu a za předpokladu, že při složitých geologických podmínkách se může kvalita horninového masívu podstatně měnit i na krátkých vzdálenostech, je více pravděpodobné, že bychom nemuseli zastihnout jevy důležité pro celý profil tunelu. Takže zbývá štolu umístit do kaloty a to tak, aby co nejméně narušovala horninové prostředí okolo výrubu tunelu, to znamená umístit jí na dno kaloty. V případě horizontálního členění (kalota, opěří, dno) by bylo opět nejvhodnější štolu umístit do dna kaloty. Ideální případ by byl při ražbě tunelu na plný profil, kdy by štola mohla být umístěna uprostřed profilu, ale na plný profil se tunel razí za předpokladu velice příznivých geologických podmínek a štola se neprovádí. Výjimkou by mohl být tunel malého profilu ražený v méně příznivých podmínkách. Svou roli hraje také velikost příčného profilu štoly, zpravidla se volí profil štoly do 16 m², ale v současné době projektanti požadují profil větší (tunely Lahovice - Vestec, Lahovice - Slivenec, profil cca 25 m²). V případě velkého příčného profilu je výhodné štolu situovat do střední části kaloty s tím, že strop štoly se bude shodovat se stropem tunelu, ale z toho plynou už výše uvedená rizika.

Dalším aspektem pro návrh umístění štoly je způsob ražby samotné štoly. Štoly se razí většinou za pomoci trhavin a bývají dimenzovány pro jednokolejnou důlní trať s dvoukolejnými výhybnami (např. průzkumná štola pro tunely Blanka). Použití trhavin má za následek porušení horninového masívu, což lze snížit praktikami hladkého výlomu či presplittingu, jak je uvedeno výše. Přes to musíme očekávat porušení horninového masívu, i proto by se neměla štola umísťovat k okraji profilu tunelu.

Posledním aspektem pro umístění průzkumné štoly je požadavek metod monitoringu či geotechnických měření, jako je například pozorování konvergencí nevystrojeného výrubu nebo geotechnická měření na rozšířených profilech na celou šířku kaloty (tunely Lahovice - Vestec, Lahovice - Slivenec). Podle mého názoru mají tyto metody na stavbu tunelu spíše negativní vliv, protože tím, že horninové prostředí v okraji tunelového výrubu takto zkusíme, tak ho vlastně zhoršujeme a je otázkou, zda výsledky těchto měření a pozorování dokáží vykoupit toto narušení.

VII. Časový odstup mezi štolou a tunelem

Otázka časového odstupu mezi štolou a tunelem je podle mého názoru také důležitá z hlediska ovlivnění tunelu průzkumnou štolou. Vyplývá to ze statě o Fenner-Pacherově křivce a o zásadách a principech Nové rakouské tunelovací metody. Jak říká Fenner-Pacherova křivka, je potřeba do nevystrojeného výrubu umístit včas ostění, aby křivka odporu výstroje a křivka klesajícího horninového tlaku dostaly do rovnovážného stavu (viz bod B na obr. 3).

Při proměnlivých geologických podmínkách se toto nemusí podařit (zejména v poruchových pásmech, náchylných k tvorbě nadvýlomů), výrub štoly se může neustále deformovat pod tíhou rozvolněného nadloží. Podle Fenner-Pacherovy křivky platí: čím větší jsou deformace ostění, tím větší tlak na něj působí (souvisí to s rostoucí výškou rozvolnění nad

výrubem). Aby budoucí tunel byl co nejméně ovlivněn ražbou průzkumné štoly, bylo by výhodné začít jeho ražbu co nejdříve po vyražení průzkumné štoly.

VIII. Definitivní úpravy pro tunel (ze štoly)

Další funkcí průzkumné štoly je možnost provést v předstihu určitá opatření vedoucí ke zlepšení podmínek ražby tunelu. Tyto možnosti se nabízejí především v oblastech poruchových pásem, méně kvalitní horniny (náchylnost k tvorbě nadvýlomů), sníženého nadloží se zástavbou, zvodnělých štěrkopísků, podcházení říčních koryt, křížení s jinou stavbou atp.

V oblastech poruchových pásem a zhoršené kvality hornin lze z průzkumné štoly provádět kotvení nadloží pomocí svorníků nebo provést tryskovou injektáž, jako například při ražbě tunelového komplexu Blanka v závěrečném úseku štola procházela geotechnicky velmi komplikovaným prostředím, které reprezentovaly vysoce rozpukané řevnické křemence a nekvalitní jílovito-prachovité břidlice libeňského souvrství. Nadloží výšky 12 m tvořilo 2 m zvětralé a navětralé horniny a 10 m mocné, vodou saturované štěrkopísky. Pro bezpečný průchod tímto úsekem bylo v předpolí ražeb použito tlakových injektáží na bázi jílocementu. Přestože přítoky z jednotlivých vrtů pro tyto injektáže (\varnothing 90 mm) dosahovaly až 15 l/s, samotná následná ražba probíhala v relativně „suchém“ prostředí (Butovič, 2004).

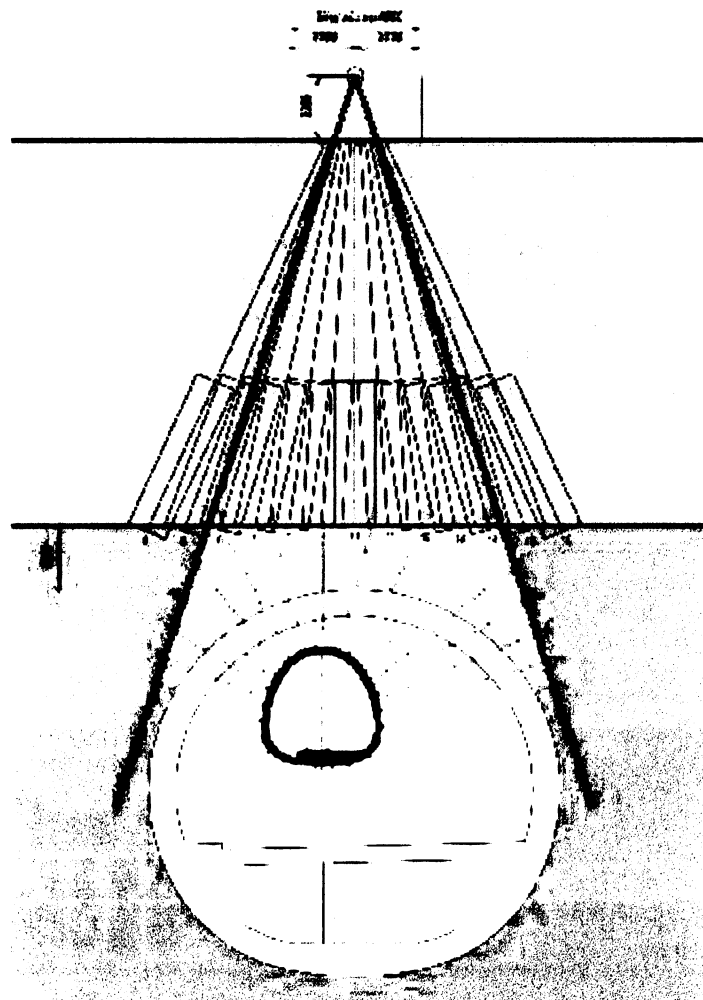
V oblastech méně mocného nadloží lze využít rovněž tryskovou injektáž pro stabilizaci výrubu a zmírnění poklesu povrchu např. sanační a kompenzační injektáže z průzkumné štoly tunelu Mrázovka (Šperger, 2006) nebo již výše zmíněná sanace pod Šlechtovou restaurací ve Stromovce.

V případě vysoce zvodnělých oblastí či oblastí se zvýšenými přítoky z puklinových systémů lze provést odvodnění. Např. při ražbě průzkumné štoly pro tunely Blanka byly vrtány dlouhé dovrchní předvrty. V místech bezprostředního ohrožení průvalem vod nebo zvodnělých materiálů byly navrženy dva, v ostatních případech pouze jeden. Jejich délka je 23,0 m a překrývají se o 3,0 m. Některé byly navrženy jako jádrové o průměru 76 mm, ostatní jako bezjádrové o průměru 46 mm. Jejich hlavním účelem bylo zmapování případných zvodní v předpolí ražby průzkumné štoly. Jsou vrtány přes obturátor tak, aby v případě provrtání do plně zvodnělého materiálu bylo možné vrt jednoduchým způsobem uzavřít. Po provedení se po ustálení přítoku měří velikost působícího hydrostatického tlaku (Butovič, 2004).

Při realizaci tunelu Mrázovka měla průzkumná štola podle Hudka (2007) velký význam i při samotné ražbě tunelu, zejména se z ní prováděly sanační injektáže a presiometrická kontrola jejich úspěšnosti. Dále štola působila jako mohutná kotva do čelby kaloty a pomáhala tak zvýšit její stabilitu.

Velkoprofilové průzkumné štoly, umístěné v plné výšce kaloty, lze ještě využít podle Hasíka (2007) pro osazení stropu štoly, který je identický se stropem tunelu, segmentem klenby primárního ostění, aby působil jako podélný tuhý nosník, který bude v nepříznivých horninových podmínkách schopen výrazně omezit deformace v hornině a poklesy povrchu při rozšiřování výrubu přístropí a jeho zajišťování.

Shrnutí: většina definitivních úprav pro tunely se provádí pomocí vrtné techniky, nejvýznamnějšími opatřeními jsou asi tryskové a tlakové injektáže, které mají velice široké uplatnění.

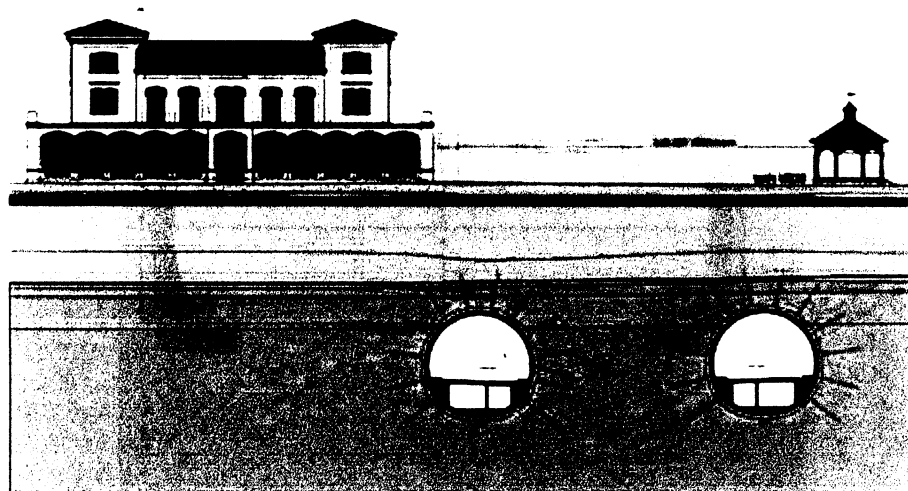


Obr 5. Trysková injektáž prováděná z povrchu doplněná o tlakovou injektáž z průzkumné štoly tunelu Blanka (Butovič, 2007)

IX. Ražené tunely v Praze a poloha průzkumných štol

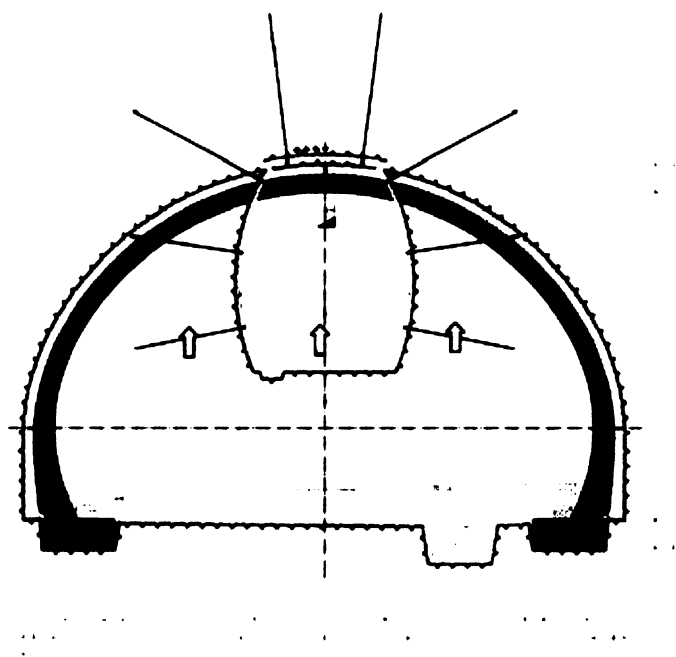
V současné době jsou v Praze realizovány tunelové stavby, které jsou součástí takzvaného městského okruhu. Jedná se o ražené úseky tunelového komplexu Blanka, jenž je částí úseku městského okruhu Malovanka-Pelc-Tyrolka (Dvořák, 2006) a tunely Lochkov (čili Slivenec-Lahovice) a Komořany (Lahovice-Vestec) stavby 514 a 513.

Průzkumná štola tunelového komplexu Blanka byla umístěna excentricky ve vrcholu kaloty (obr. 6) a umožňuje tak v případě nutnosti dílčí členění kaloty tunelu. Jedná se o štolu s teoretickou plochou výrubu $10,5 \text{ m}^2$, navrženou pro jednokolejnou důlní dopravu s dvoukolejnými výhybnami po 150 m, která byla ražena v s převážnou délkou 1950 m v jižní tunelové troubě a ve svahu u Letné i v severní tunelové troubě. V trase průzkumné štoly jsou navrženy 2 rozrážky pro provádění geotechnických zkoušek in situ. První z nich je umístěna v blízkosti raženého portálu budoucích tunelů a bude sloužit ke stanovení pevnostních a deformačních parametrů zastiženého horninového prostředí jako podklad pro statické výpočty tunelů a návrh statického zajištění stěn stavebních jam o hloubce až 22,0 m. Druhá rozrážka je umístěna v dobrotivských břidlicích v trase průzkumné štoly (Butovič, 2004).



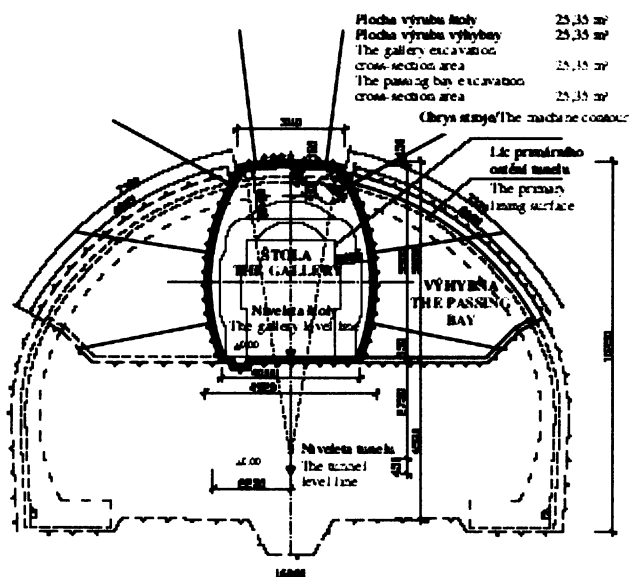
Obr. 6 Příčný řez raženými tunely v prostoru pod Stromovkou (Šourek 2007)

Průzkumná štola tunelu Slivenec-Lahovice (stavby 514) o profilu 25 m^2 je dlouhá 1313 m a byla navržena jako stropní v pravém stoupajícím třípruhovém tunelu (obr 7). sklon štoly je 3,9 %. Štola má plnou výšku budoucí kaloty a křivost tvaru klenby štoly kopíruje rub primárního ostění tunelu. Ve štole bylo realizováno osm zvětšených geotechnických profilů na celou šíři kaloty v délkách 12 až 42 m s plochou výrubu cca 66 m^2 , které byly využívány po dobu ražby i jako výhybny. Vzdálenost mezi zvětšenými profily se pohybovala od 140 m do 160 m. Geotechnické měření bylo zaměřeno hlavně na zjištění velikosti deformací při ražbě celého průřezu kaloty a získání podkladů pro stanovení nezbytných opatření pro ražbu obou tunelových trub. Vystrojovací prvky štoly i kalot byly stříkaný beton, síť, výztužné rámy BRETEX, svorníky IBO, HUS a BOLTEX. Technologie výstavby i podmínky pro provádění geotechnického měření in situ a umístění prostor pro geotechnická měření v kalotě budoucího díla si vyžádaly jako optimální velikost profilu štoly okolo 25 m^2 (Sálus, 2005).



Obr. 7 Vzorový příčný řez třípruhovým tunelem stavby 514 s plochým dnem (Hasík, 2006)

Průzkumná štola tunelu Lahovice-Vestec (stavby 513) byla navržena „moderně“ již jako dílčí výrub velkého tunelu, jako střední část kaloty (obr. 8). Způsob ražby a zajištění většího profilu jsou shodné jako u velkých tunelů. Při zahájení prací na prováděcí dokumentaci byla poloha posunuta těsně nad ostění budoucích tunelů, protože nebylo možno určit technologickou třídu NRTM pro budoucí tunely shodně jako pro štolu. Takto navržená štola umožňuje zjistit, co nelze zjistit ostatními druhy podrobného geologického průzkumu: stabilitu nevystrojeného výrubu v čase, délky záběrů, tvoření nadvýlomů, skutečné deformace, poruchové zóny, skutečné přítoky vody s pozitivním částečným odvodněním pro budoucí ražbu, účinnost kotvení a jehlování a další podrobnosti. Rovněž je možno v předstihu z profilu štoly provádět v poruchových zónách sanační a doplňková opatření pro ražbu velkého tunelu. Toto všechno zjistíme již ve štole poměrně přesně, ale přesto nejjistější výsledky skutečného chování výrubu získáme ze skutečného tvaru 1:1. Proto byl již do projektu pro výběr zhotovitele začleněn „pokusný výrub“, 30 m dlouhý úsek s výrubem na plný profil kaloty tunelu. Zde byly taky změřeny skutečné deformace i poklesy na povrchu. V pořadí ražby třetí výhybna byla navržena zároveň jako zkušební kalota třípruhového tunelu v délce 30 m a profilu 61,3 m². Zde také proběhl největší počet zkoušek prostředí ve štole a v bezprostředním okolí budoucího tunelu (Hasík, 2005).



Obr. 8 Štola a výhybna v tunelu – příčný profil (Hasík, 2005)

X. Závěr

Průzkumná štola je velice nákladné a technologicky náročné dílo, jenž si zasluhuje zvláštní pozornost, protože její úloha je velice důležitá pro ražbu tunelu a proto by se měly maximalizovat poznatky, získávané ať už měřeními či pozorováními a uplatnit je při realizaci tunelu.

Podle mého názoru je jedním z nejdůležitějších požadavků na průzkumnou štolu její poloha v příčném profilu tunelu. Štola by měla být situována tak, aby svým zásahem do horninového prostředí co nejméně negativně ovlivňovala výrub budoucího tunelu. Je větší pravděpodobnost, že tunel bude méně ovlivněn, když štolu umístíme co nejbližší středu tunelového profilu a ne jak někteří autoři píší "moderně" jako dílčí výrub velkého tunelu, jako střední část kaloty. Takovéto umístění má nesporně mnoho výše zmíněných výhod (př. rozšíření na plnou šíři kaloty a provádět měření a pozorování) navíc je lepší co se týká technologie a ekonomie. Štoly umístěné uprostřed profilu tunelu také přináší cenné poznatky z horninového prostředí, dokonce i výše zmiňované rozšíření na plnou šíři kaloty by se při tomto umístění dalo aproximovat, a to provedením kolmých rozrážek, kde by mohla probíhat geotechnická měření. Dokonce preventivní a definitivní opatření z takto umístěné štoly pro tunel je stejně dobře proveditelné jako ze štol umístěných do vrcholu kaloty. Horší by to bylo se začleněním takto umístěné štoly do členění výrubu.

Dnes se možná se zdá umístění do vrcholu kaloty ideální (svědčí o tom situování průzkumných štol v tunelech Lochkov a Komořany), protože urychlí celý proces ražby a tím pádem ušetří investorovi peníze, ale nesmí se zapomínat na to, že tunel je dílo, které by mělo mít dlouhou životnost a mělo by být dlouhou dobu funkční, takže zůstává otázkou fakt, zda má cenu provádět štoly situované do stropu či štoly s velký profilem a zda nebudou kvalitní výsledky pozorování a měření z těchto štol vykoupeny v budoucnosti dalšími investicemi do nákladných oprav tunelů. Myslím si, že teprve časem se ověří správnost kombinace této polohy průzkumné štoly a metod Nové rakouské tunelovací metody.

Další otázkou zůstává, zda lze vůbec velkoprofilovou štolu, navrženou do střední části kaloty jako dílčí výrub tunelu, považovat za průzkumnou štolu a neuvažovat jí pouze jako dílčí výrub, který je v dostatečném předstihu ražen před uzavíráním plného profilu tunelu.

XI. Použité podklady/seznam literatury

ALDORF, Josef, et al. *Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 42 s. Dokumenty Českého tunelářského komitétu ITA/AITES.

BARTÁK, Jiří. *Podzemní stavby* [online]. 2008 [cit. 2008-08-22]. Dostupný z WWW: <<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2008/05/bartak-podzemni-stavby.pdf>>.

BOHMAN, Radan, et al. PRŮZKUMNÁ ŠTOLA A TUNELY STAVBY 513 SILNIČNÍHO. *Tunel časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 2005, roč. 14., č. 2/2005, s. 40-46.

BRADY, B. G. H., BROWN, E. T. *Rock mechanic for underground mining*. [s.l.] : [s.n.], 2006. Blasting mechanics, s. 518-542.

BUTOVIČ, Alexandr. Průzkumná štola pro tunely Blanka. *Tunel : časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 2004, roč. 13., č. 1/2004, s. 13-18.

BUTOVIČ, Alexandr. Tunely Blanka, stavba Špejchar–Pelc–Tyrolka, rozsáhlá stavba ve složitých podmínkách. *Zakládání staveb*. 2007, roč. 19., č. 3/2007, s. 18-22.

DOJČÁR, Ondrej. Technologicky nutný nadvýlom pri razení tunelov trhavinami. *Tunel : časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 2000, roč. 9., č. 2/2000, s. 9-16.

DVOŘÁK, Josef. Stav přípravy a realizace sítě hlavních komunikací v Praze se zaměřením na tunelové stavby na městském okruhu a radiálách. *Tunel : časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 2006, roč. 15., č. 3/2006, s. 37-47.

HASÍK, Otakar, ZÁVORA, Karel, DÁVID, Mároš. *Dálniční tunely na silničním okruhu kolem Prahy* [online]. 2007, 03-Sep-2007 11:17 [cit. 2008-08-22]. Dostupný z WWW: <<http://mo.ttnz.cz/wordpress/wp-content/uploads/dokumenty/>>.

HASÍK, Otakar, ZÁVORA, Karel, DÁVID, Mároš. Tunely Lochkov a Komořany - silniční tunely na okruhu kolem Prahy, Stavby 513, 514. *Tunel : časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 2006, roč. 15., č. 1/2006, s. 35-43.

HUDEK, Jiří, CHMELÁŘ, Radovan. *Zhodnocení terénních zkoušek pro tunel Mrázovka* [online]. 2007, 01-Sep-2007 14:04 [cit. 2008-08-22]. Dostupný z WWW: <<http://mo.ttnz.cz/wordpress/wp-content/uploads/dokumenty/>>.

CHELAŘ, Radovan. Evaluation of rock massif during application of New Austrian Tunnelling Method (NATM) in fault zones of Mrázovka tunnel in Prague. *Acta Univesitas Carolinae - Geologica*. 2004, no. 2004, s. 81-87.

MARINOS, Paul, HOEK, Evert. *GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation* [online]. 2000 [cit. 2008-08-22]. Dostupný z WWW: <www.rocscience.com/hoek/references/H2000a.pdf>.

MENCL, Jiří. Fenner-Pacherova křivka. *Tunel : časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 1993, roč. 2., č. 2/1993, s. 5-8.

Openings in competent rock. *Rock Mechanics in Engineering for Underground Openings*. 1990, s. 215

Plastic behavior around tunnels. *Rock Mechanics in Engineering for Underground Openings*. 1990, s. 232-239.

SÁLUS, Vladimír, VOZARIK, Petr. Štola tunelu Slivenec-Lahovice silničního okruhu kolem Prahy, stavba 514. *Tunel : časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 2005, roč. 14., č. 2/2005, s. 19-21.

ŠOUREK, Pavel, et al. Tunelový komplex Blanka - mimořádná stavba nového století. *Tunel : časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES*. 2007, roč. 16., č. 3/2007, s. 4-12.

ZÁRUBA, Quido, MENCL, Vojtěch. *Inženýrská geologie*. ČSAV. Praha : ČSAV, 1957. 486 s.