



Certifikovaná metodika (N_{met})

pro posuzování rozsahu a obsahu geotechnického průzkumu, projektové dokumentace, geotechnického monitoringu a zajištění bezpečného provádění podzemních staveb pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů

Název projektu:	Nasazení tunelovací metody ražení pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů v podmínkách České republiky - technické a legislativní řešení
Číslo projektu:	TITVCBU913
Doba řešení:	1.10.2019 – 31.12.2021
Poskytovatel: (objednatel)	Technologická agentura České republiky Evropská 1692/37, 160 00, Praha 6
Konečný uživatel výsledků:	Český báňský úřad Kozí 4, P.O. BOX 140, Praha 1, 110 01
Řešitel projektu: (zpracovatel)	3G Consulting Engineers s.r.o. Na usedlosti 513/16, Praha 4, 147 00
Autorský tým:	prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. Ing. Martin Srb, Ph.D. Ing. Jakub Nosek, Ph.D. RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D. Mgr. Jiří Zmítko
Datum:	15. 12. 2021

Obsah:

CÍL METODIKY	5
VLASTNÍ POPIS METODIKY	6
I. POSUZOVÁNÍ OBSAHU A VÝSLEDKŮ GEOTECHNICKÝCH PRŮZKUMŮ	6
I.1. Definice geotechnického průzkumu pro výstavbu tunelů	6
I.2. Cíle geotechnického průzkumu pro výstavbu tunelů	6
I.3. Požadavky na jednotlivé etapy geotechnického průzkumu	8
I.3.1 Rozdělení průzkumu na etapy	8
I.3.2 Požadavky na průzkum orientační	8
I.3.3 Požadavky na průzkum předběžný	9
I.3.4 Požadavky na průzkum podrobný	9
I.3.5 Požadavky na průzkum doplňující	10
I.3.6 Požadavky na sledování během ražby tunelu	10
I.4. Potřebné podklady pro rozhodnutí o technologii výstavby tunelů	11
I.5. Požadavky na projekt geotechnického průzkumu	12
I.5.1 Obecné požadavky	12
I.5.2 Podklady potřebné pro návrh tunelovacího stroje	12
I.6. Požadavky na způsob vyhodnocení průzkumných prací	13
I.6.1 Rozdělení geologické dokumentace průzkumných prací	13
I.6.2 Požadavky na obsah prvotní geologické dokumentace	14
I.6.3 Požadavky na obsah druhotné geologické dokumentace	16
I.6.4 Souhrnná geologická dokumentace	16
I.7. Požadavky na zprávy o výsledcích průzkumných prací	16
I.7.1 Druhy zpráv	16
I.7.2 Požadavky na textovou část zpráv	17
I.7.3 Požadavky na přílohovou část zpráv	17
I.7.4 Požadavky na souhrnnou geotechnickou zprávu	20
I.7.5 Požadavky na základní geotechnickou zprávu	20
I.8. Požadavky na metody geotechnického průzkumu	21
I.8.1 Požadavky na vrtný průzkum	21
I.8.2 Požadavky na geotechnické zkoušky a měření	22
I.8.3 Požadavky na klasifikace horninového masivu	22
I.9. Volba typu tunelovacího stroje dle výsledků geotechnického průzkumu	23
I.9.1 Základní údaje	23
I.9.2 TBM do tvrdých hornin	24

I.9.3 Štíty	25
I.10. Požadavky na geologické sledování při mechanizovaných ražbách.....	29
I.10.1 Úvod do problematiky	29
I.10.2 TBM do tvrdých hornin	30
I.10.3 Štíty	31
I.10.4 Předstihový průzkum.....	32
I.10.5 Vyhodnocování údajů z tunelovacího stroje	33
I.10.6 Stanovení technologických tříd nebo módů ražby	33
I.11. Běžné chyby při provádění a vyhodnocení geotechnického průzkumu	34
I.12. Schvalování realizační dokumentace a výsledků geotechnického průzkumu	35
II. POSUZOVÁNÍ ROZSAHU A OBSAHU PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE	36
II.1. Úvod do problematiky	36
II.2. Požadavky na studii.....	36
II.3. Požadavky na dokumentaci pro územní rozhodnutí (DÚR).....	38
II.4. Dokumentace pro stavební povolení (DSP) a zadávací dokumentace stavby (ZDS) .	41
II.5. Realizační dokumentace stavby (RDS).....	46
II.6. Riziková analýza.....	50
II.7. Nezávislá kontrola dokumentace	50
II.8. Schvalování dokumentace	51
III. POSUZOVÁNÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ K MINIMALIZACI RIZIK.....	52
III.1. Zpracování rizikové analýzy.....	52
III.2. Základní rizika při ražbě tunelovacími stroji.....	54
III.3. Geologická a geotechnická rizika se zohledněním podmínek v ČR.....	61
III.3.1 Úvod do problematiky	61
III.3.2 Rizikové faktory z hlediska regionální inženýrské geologie	63
III.3.3 Zlomová pásma a systémy.....	64
III.3.4 Region krystalinika.....	64
III.3.5 Region nemetamorfovaného předvariského podkladu.....	66
III.3.6 Region permokarbonských pánví.....	70
III.3.7 Region křídových pánví.....	71
III.3.8 Subregion jihočeských pánví.....	71
III.3.9 Region terciérních depresí	72
III.3.10 Region neovulkanitů.....	72
III.3.11 Shrnutí regionálních geologických rizik	73
III.4. Bezpečnostní požadavky na mechanizované ražby	74
III.4.1 Základní bezpečnostní požadavky na mechanizované ražby	74
III.4.2 Řídící kabina (kontrolní stanoviště)	77

III.4.3 Elektrické jističe a bezpečnostní zařízení	77
III.4.4 Kontrolní zařízení a kontrolní systémy	79
III.4.5 Připojení návěsů	81
III.4.6 Navádění laserem	81
III.4.7 Ventilace a kontrola prachu a plynů	81
III.4.8 Požární ochrana	82
III.4.9 Skladování ochranných pomůcek pracovníků	83
III.4.10 Údržba	83
III.4.11 Dokumentace tunelovacího stroje	83
IV. POSUZOVÁNÍ ROZSAHU A OBSAHU GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU	85
IV.1. Úvod od problematiky monitoringu mechanizovaných ražeb	85
IV.2. Požadavky na dokumentaci monitoringu mechanizovaných ražeb	86
IV.2.1 Obecné požadavky	86
IV.2.2 Zadávací dokumentace monitoringu	86
IV.2.3 Realizační dokumentace monitoringu	87
IV.3. Požadavky na vyhodnocování výsledků monitoringu	88
IV.3.1 Rada geotechnického monitoringu	88
IV.3.2 Kancelář geotechnického monitoringu	89
IV.4. Požadavky na navržené přístrojové vybavení	90
IV.5. Požadavky na hodnocení horninového masivu	93
IV.6. Požadavky na vyhodnocování údajů z tunelovacího stroje	95
IV.6.1 Úvod do problematiky	95
IV.6.2 Požadavky na systém spravující údaje z tunelovacího stroje	95
IV.6.3 Cíle aplikace systému spravujícího údaje z tunelovacího stroje	96
IV.6.4 Výčet zaznamenávaných údajů z tunelovacího stroje	97
IV.7. Pasportizace objektů ovlivněných ražbou tunelu	99
SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	102
POPIS UPLATNĚNÍ	102
EKONOMICKÉ ASPEKTY	102
DEDIKACE	103
SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍCH VYDÁNÍ METODIKY	104
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	105

CÍL METODIKY

Tato certifikovaná metodika (N_{met}) vznikla v rámci řešení grantového projektu TITVCBU913 - Nasazení tunelovací metody ražení pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů v podmínkách České republiky - technické a legislativní řešení, který byl zadán zpracovateli Technologickou agenturou České republiky (TAČR).

Cílem grantového projektu byla implementace zahraničních zkušeností s ražbou podzemních děl pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů v geotechnických i legislativních podmínkách ČR a vytvoření unifikované právní i technické základny pro projektování, realizaci a posuzování technické úrovně i bezpečnosti práce při navrhování a provádění podzemních staveb mechanizovaným způsobem ražby pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů. Důvodem pro realizaci projektu byla především skutečnost, že platná legislativa v České republice byla dosud v oblasti podzemních staveb zaměřena především na konvenční metody výstavby. V České republice je ražba tunelů pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů novou tunelovací metodou, která má v zákonech, vyhláškách a předpisech zatím jen velmi malou oporu. Jedná se zejména o bezpečnost provádění a vhodnost použití této metody v různých geotechnických podmínkách. V oblasti dopravních tunelů byly touto metodou realizovány pouze tunely pražského metra na prodloužení trasy A v úseku Dejvice - Petřiny a železniční tunel Ejovice. V budoucnu lze nasazení této metody očekávat při výstavbě trasy metra D a v dlouhodobějším horizontu při ražbě tunelů na vysokorychlostních tratích.

V České republice dosud neexistovala metodika, nebo resortní předpisy, které by se problematikou ražby plnoprofilovými tunelovacími stroji zabývaly a které by bylo možné při výstavbě tunelů touto technologií závazně použít např. jako součást souboru smluvních dohod, nebo jiných závazných dokumentů, které definují požadavky na projektování, provádění a zajištění bezpečnosti při ražbě podzemních děl plnoprofilovými tunelovacími stroji.

Vlastní popis této certifikované metodiky je rozdělen v souladu se zadáním na čtyři následující oblasti:

- posuzování obsahu a výsledků geotechnických průzkumů s ohledem na návrh tunelovacího stroje a minimalizaci rizik během ražby
- posuzování rozsahu a obsahu projektové dokumentace tunelů a štol ražených pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů z hlediska návrhu technického řešení, posuzování geotechnických podmínek a volbě typu tunelovacího stroje
- posuzování navržených opatření k minimalizaci rizik a zajištění bezpečnosti práce při ražbě pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů pro konkrétní typy tunelovacích strojů a konkrétní geotechnické podmínky (kvazihomogenní celky)
- posuzování rozsahu a obsahu geotechnického monitoringu při výstavbě s ohledem na zajištění bezpečnosti ražby a objektu v nadloží

V závěru certifikované metodiky jsou uvedeny povinné údaje, jako je srovnání novosti postupů, popis uplatnění, ekonomické aspekty, dedikace, seznam publikací předcházejících vydání metodiky a seznam použité literatury.

VLASTNÍ POPIS METODIKY

I. POSUZOVÁNÍ OBSAHU A VÝSLEDKŮ GEOTECHNICKÝCH PRŮZKUMŮ

I.1. Definice geotechnického průzkumu pro výstavbu tunelů

Geotechnický průzkum je činnost směřující k získání potřebných poznatků o inženýrskogeologických a hydrologických poměrech a o geotechnických podmínkách horninového prostředí, včetně fyzikálně-mechanických vlastností horninového masivu, pro účely územního plánování, projektování a realizace tunelů. Geotechnický průzkum také zajišťuje hydrogeologická data potřebná k řešení otázek spojených se stavební činností. Geotechnický průzkum musí být navržen a proveden tak, aby zajistil všechny nezbytné poznatky a podklady pro příslušnou etapu přípravy i výstavby tunelu, včetně poznatků o historické báňské činnosti. Geotechnický průzkum musí poskytnout i údaje nezbytné k hodnocení geotechnických rizik a dalších rizik, spojených se stavbou tunelu. Geotechnický průzkum zahrnuje práce přípravné, projektové, kamerální, sledování a řízení terénních prací, práce vrtné, kopné práce, práce prováděné hornickým způsobem (průzkumné štoly), terénní zkoušky a měření, laboratorní zkoušky a práce vyhodnocovací.

I.2. Cíle geotechnického průzkumu pro výstavbu tunelů

Hlavní cíle geotechnického průzkumu realizovaného pro výstavbu tunelů jsou následující:

- Získání informací pro optimální směrové a výškové vedení trasy tunelu, pro umístění portálů, pro optimální volbu technologie stavby tunelu.
- Získání informací o geologických, strukturních a hydrogeologických poměrech a o geotechnických vlastnostech horninového masivu pro dimenzování dočasné výstroje i trvalého tunelového ostění a ostatních konstrukcí podzemních objektů souvisejících s výstavbou tunelu a pro případnou sanaci povrchové zástavby.
- Posouzení vlastností rubaniny a možnosti jejího využití jako stavebního materiálu.
- Zhodnocení vlivu ražby tunelu na povrch terénu (prognóza vývoje poklesových kotlin), zejména pokud je v jejich dosahu zástavba, inženýrské sítě či vodní plochy.
- Získání podkladů pro výběrové řízení na zhotovitele stavby tunelu (podklad pro ocenění a zpracování realizační dokumentace stavby tunelu).
- Posouzení vlivu výstavby tunelu na změnu hydrogeologických poměrů (dopad na zdroje podzemní vody, vliv na případnou nadzemní zástavbu, sedání stavby a podobně), ale také posouzení vlivu hydrogeologických poměrů na výstavbu tunelu a na změny geotechnických vlastností masivu.
- Získání podkladů pro projekt geotechnického monitoringu v průběhu výstavby tunelu a pro aplikaci principů observační metody navrhování konstrukcí.
- Získání podkladů pro zpracování rizikové analýzy ve všech fázích přípravy a výstavby tunelu.
- Stanovení strukturně-geologické a hydrogeologické poměry potenciální trasy budoucího tunelu.
- Ověření rozsahu a intenzity porušení horninového masivu endogenními účinky (alterace, tektonika) a exogenními vlivy (zvětrávací procesy, chemické zvětrání hornin, mechanické zvětrání horninového masivu, eroze, stabilitní problémy).
- Rozčlenění horninové prostředí v trase na základní kvazihomogenní celky.
- Příprava podkladů pro rozdělení horninového prostředí na geotechnické typy a subtypy a jeho zařazení do technologických tříd.

- Zjištění fyzikálních, zejména geomechanických vlastností zastižených hornin, zpracování podkladů pro volbu výpočtových parametrů do geotechnických výpočtů ostění tunelu a příprava geomechanických modelů.
- Inženýrskogeologická část geotechnického průzkumu ve vhodném rozsahu by měla poskytnout informace o geologické genezi území. Ty jsou důležitým podkladem pro volbu optimálního směrového i výškového vedení trasy tunelu a pro odhad odezvy horninového masivu na zásah do jeho původního stavu ražbou tunelu.
- Získání dostatečného množství informací pro zařazení zkoumaného geologického prostředí podle různých tunelářských klasifikací.
- Zajištění podkladů pro volbu technologie ražby a způsobu dočasného i trvalého zajištění výrubu.
- Poskytnutí podkladů pro směrové a výškové vedení trasy tunelů, pro volbu umístění a návrh portálů, technologie jejich hloubení a zajištění (například stabilitu svahů a pažení stavebních jam, bezproblémové odvodnění portálů i tunelu a to i s ohledem na okolní zástavbu, pokud se tunel ráží pod zástavbou).
- Poskytnutí informací pro návrh zajištění potenciálně dotčených objektů zástavby v nadloží, zejména spolehlivý odhad průběhu poklesových kotlin, velikosti deformačních a seismických účinků vyvolaných výstavbou, včetně ovlivnění místních geologických poměrů.
- Posouzení možných vlivů a dopadů stavby na životní prostředí.
- Zjištění anomálních, specifických rysů /vlastností/ horninového prostředí v zájmovém území stavby tunelu, které mají zásadní vliv na geotechnické podmínky přípravy a realizace stavby tunelu (geotechnické podmínky tunelování). Zejména se jedná o anomálie, jako jsou sesuvná území, významné neotektonické jevy, krasové jevy, existence bobtnavých hornin, poddolování, přírodní seismicity, termální jevy (voda, plyny, teplota), atypická přírodní napjatost horninového masivu, existenci tektonických zlomů, artézský obzor podzemní vody a další jevy.
- Zjištění hydrogeologických poměrů a předpoklad změn vodního režimu v průběhu ražeb, předpověď velikosti přítoků vody do tunelu.
- Vypracování podrobné strukturní analýzy horninového masivu dotčeného tunelem.
- Získání podkladů pro stanovení bezpečnosti ražeb, dočasné stability nezajištěné čelby a výrubu, prognóza nadvýlomů, stabilita připortálových a portálových úseků.
- Získání podkladů pro návrh opatření pro omezení nežádoucích korozních účinků prostředí (agresivita podzemních vod a vliv bludných proudů).

Projekt geotechnického průzkumu pro tunely by měl zohledňovat následující faktory:

- mocnost nadloží tunelu (jiné požadavky jsou na ražbu mělkých tunelů a jiné jsou požadavky u tunelů),
- umístění tunelu (při ražbách v prostředí městské zástavby je kladen výrazně větší důraz na bezpečnost ražeb a na minimalizaci deformací horninového masivu),
- velikost příčného řezu tunelu,
- počet a vzdálenost tunelových trub,
- povrchové či hlubinné zakládání objektů související s výstavbou tunelu,
- sanace stávajících objektů dotčených poklesovou kotlinou,
- použití rubaniny jako stavebního materiálu (zařazení hornin, rozpojitelnost, těžitelnost, ražnost, vrtatelnost, technologické třídy, použitelnost do násypů, použitelnost kamene nebo kameniva do různých typů stavebních konstrukcí a obkladových materiálů atp.),
- vliv podzemní vody (úroveň a kolísání hladiny podzemní vody, předpokládané přítoky vody, agresivita podzemních vod, propustnost prostředí, vlivu ražby tunelu na změny hydrogeologických poměrů dotčeného území, atd.).

I.3. Požadavky na jednotlivé etapy geotechnického průzkumu

I.3.1 Rozdělení průzkumu na etapy

Rozdělení geotechnického průzkumu na etapy je nezbytnou podmínkou pro jeho hospodárnou a kvalitní realizaci. K základním etapám geotechnického průzkumu obvykle náleží:

- průzkum orientační - zpravidla slouží pro vypracování studie
- průzkum předběžný - zpravidla slouží pro vypracování dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR)
- průzkum podrobný - zpravidla slouží pro vypracování dokumentace pro stavební povolení (DSP) a zadávací dokumentace stavby (ZDS)
- průzkum doplňující - zpravidla slouží pro vypracování realizační dokumentace stavby (RDS), někdy slouží i pro zadávací dokumentace stavby (ZDS)
- geotechnické sledování v průběhu stavby tunelu - zpravidla slouží pro aplikaci observačních principů během ražby

Rozsah prací by neměl přesahovat cíle příslušné etapy. Metodika a technika prací musí být přizpůsobena povaze a cílům jednotlivých etap. Práce v jednotlivých etapách by měly být upraveny tak, aby se mohly stát součástí komplexních prací v následující etapě. V každé etapě musí být plně využito prací a závěrů předcházejících etap. Závěry každé etapy musí obsahovat návrh náplně případné další etapy. Etapy je možné rozdělit na ucelené části (podetapy nebo fáze), podle potřeb řešení úkolu a požadavků objednatele. Poslední etapou geotechnického průzkumu pro tunel je geotechnické sledování ražby tunelu v rámci komplexního geotechnického monitoringu.

I.3.2 Požadavky na průzkum orientační

Průzkum orientační zpravidla slouží pro vypracování studie. Studie by měla vycházet z vyhodnocení geotechnických podmínek stavby (tj. vyhodnocení inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů). I když je při trasování dopravních staveb prioritou zajištění obslužnosti území a směrové i výškové vedení trasy z hlediska dopravy, mělo by vedení trasy být navrženo ve spolupráci s geotechnikem, neboť geotechnické poměry mohou výrazným způsobem ovlivňovat jak rizika při výstavbě, tak výši investičních nákladů. Ve studii by tunel měl být navržen ve variantách. Již ve fázi studie by měly být zahájeny úvahy o technologii ražby tunelu (konvenční nebo mechanizovaná ražba).

Průzkum orientační zahrnuje práce potřebné k prověření území, ve kterém se uvažuje se stavbou tunelu. Výsledkem orientačního průzkumu je předběžné posouzení možností existence geotechnických rizik, spojených s případnou výstavbou tunelu. Před zpracováním dokumentace této fáze průzkumu je vhodné vyhodnotit dostupné podklady vztahující se k dotčenému území, mezi které patří ortomapy, družicové snímky, topografické mapy, inženýrskogeologické a hydrogeologické mapy, mapy geofaktorů životního prostředí, geofyzikální průzkumy, veškeré dřívější geotechnické průzkumy, báňské mapy, klimatické podmínky, stavební dokumentace objektů, které by se mohly dostat do dosahu poklesových kotlin způsobených ražbou tunelu.

Hlavními pracovními metodami orientačního průzkumu jsou zejména studium archivních pramenů a z toho vyplývající využití poznatků základního geologického výzkumu a všech dřívějších průzkumných prací, studium zkoumaného území z hlediska geologie, geomorfologie, hydrologie apod., dokumentace přirozených a umělých odkrytů, základní mapování v rozsahu potřebném pro uvažovanou studii stavby tunelu, návrh a provedení

omezeného rozsahu průzkumných prací zejména za použití nepřímých metod (geofyzikální metody, letecké snímkování apod.).

I.3.3 Požadavky na průzkum předběžný

Průzkum předběžný vychází z průzkumu orientačního a zpravidla slouží pro vypracování DÚR. Hlavním cílem projektové dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) by měla být optimalizace technického řešení pro zvolenou alternativu vedení trasy z hlediska bezpečnosti a nákladů výstavby tunelu. Na základě upřesnění informací o geotechnických poměrech v trase díla a rozpracování technického řešení musí dojít k určení definitivního výškového a směrového vedení trasy, zejména s ohledem na vhodné umístění portálů, dostatečnou výšku nadloží nebo zjištěné tektonické poruchy, které by mohly výrazně zkomplikovat výstavbu a vést k nárůstu nákladů výstavby. V dokumentaci pro územní rozhodnutí (DÚR) je třeba určit základní parametry technického řešení, stanovit základní technologii výstavby (konvenční nebo mechanizovaná ražby, případně kombinace těchto základních způsobů), nároky na demolice, požadavky na zajištění geomonitoringu a průzkumů, atd.

Průzkum předběžný zahrnuje práce potřebné ke spolehlivé identifikaci geotechnických rizik, posouzení technické realizovatelnosti díla ve zkoumaném horninovém prostředí a optimalizaci zásadního technického řešení pro zvolenou alternativu vedení trasy z hlediska bezpečnosti i hospodárnosti. Hlavními pracovními metodami předběžného průzkumu jsou zejména inženýrskogeologické mapování území, podrobné studium zkoumaného území a zhodnocení jeho geomorfologických jevů, dokumentace přirozených i umělých odkryvů, návrh, provedení a vyhodnocení omezeného rozsahu odkryvných prací, odběry charakteristických vzorků hornin a podzemní vody pro laboratorní zkoušky, provedení a vyhodnocení omezeného rozsahu laboratorních a terénních zkoušek hornin a rozsáhlejší aplikace geofyzikálních metod.

I.3.4 Požadavky na průzkum podrobný

Průzkum podrobný vychází z průzkumu předběžného a zpravidla slouží pro vypracování DSP a ZDS. Dokumentace pro stavební povolení (DSP) slouží u tunelů pro vydání stavebního povolení, následně je po úpravách a doplněních použita jako zadávací dokumentace stavby (ZDS). DSP/ZDS musí pojmenovat a zahrnovat všechny náklady na požadované činnosti spojené nejen s vlastní stavbou, ale také činnosti spojené s uvedením tunelu do provozu a se servisem během záruční doby.

Průzkum podrobný zahrnuje práce potřebné k získání co nejúplnějších informací geotechnického charakteru, umožňujících předvídat spolupůsobení mezi horninovým prostředím, tunelovým ostěním a případný vliv na objekty zástavby v nadloží. Hlavními pracovními metodami podrobného průzkumu jsou využití poznatků všech předchozích průzkumů a zvláště předběžného průzkumu v zájmovém území, návrh, provedení a vyhodnocení dostatečného rozsahu odkryvných prací se systematickými odběry vzorků hornin a vody pro laboratorní zkoušky, návrh a provedení dalších potřebných terénních zkoušek a měření, aplikace dalších geofyzikálních metod v součinnosti s ostatními průzkumnými pracemi, zpracování a vyhodnocení laboratorních zkoušek vzorků hornin a vody, potřebné specializované hydrogeologické a hydrotechnické práce. Také je možné využít prostředky matematického či fyzikálního modelování geotechnických problémů.

Interpretované výsledky podrobného průzkumu by měly zahrnovat všechny potřebné údaje pro návrh plnoprofilového tunelovacího stroje (geotechnické parametry kvazihomogenních celků, výška nadloží včetně úrovně skalního podloží, průběh hladiny podzemní vody a očekávané přítoky podzemní vody, abrazivita, lepivost, indexové parametry, bobtnavost, agresivita podzemní vody, zatřídění dle tunelářských klasifikací odpovídajících předpokládané tunelovací metodě, výskyt smíšené čelby, překážky v trase díla, krasové jevy, výskyt metanu, výskyt kontaminace, injektovatelnost masivu, rozpojitelnost, odtěžitelnost a zpracovatelnost rubaniny, atd.).

I.3.5 Požadavky na průzkum doplňující

Průzkum doplňující vychází z průzkumu podrobného a zpravidla slouží pro zpracování RDS (případně i ZDS). RDS by měla zahrnovat komplexní statické výpočty hlavních i pomocných konstrukcí. V technické zprávě by měl být uveden přehled provedených výpočtů zahrnujících ověření rozhodujících dimenzí a průřezů, včetně základních údajů pro řádné vedení a vyhodnocení geomonitoringu (hodnoty sedání povrchu nadloží, deformace horninového masivu, atd.). Dokumentace by měla být provedena v podrobnostech nutných pro jednoznačné provedení díla (včetně všech pomocných konstrukcí).

Doplňující průzkum se provádí pro doplnění, případně upřesnění výsledků podrobného průzkumu. Je podkladem pro vypracování zadávací případně realizační dokumentace stavby tunelu. Většinou je zaměřen na speciální dílčí problémy, které vyplynuly z výsledků podrobného průzkumu, nebo ze skutečností, které se objevily po zahájení stavby (rozdíl mezi skutečnými a předpokládanými geologickými poměry). Doplnující průzkum je třeba provést při podstatné změně polohy portálů či trasy tunelu.

I.3.6 Požadavky na sledování během ražby tunelu

Geotechnické sledování v průběhu ražeb tunelu by mělo zahrnovat práce potřebné k řešení geotechnických problémů vznikajících v průběhu výstavby, porovnávání závěrů předchozích etap průzkumu s poznatky při vlastní stavbě, konzultační odbornou spolupráci s objednatelem a zhotovitelem tunelu, sledování stability čelby a ostění, formulaci doporučení k úpravám technologie ražby, vykreslení zastižených geologických poměrů jako součást dokumentace skutečného provedení stavby, stanovování nových charakteristických hodnot vlastností hornin a zemin, zpřesnění předchozích závěrů geotechnického průzkumu, návrh případného provedení doplňujícího geotechnického průzkumu v průběhu ražeb tunelu, v případě nesouladu geotechnických podkladů použitých pro zpracování DSP stavby s poznatky získanými při výstavbě

Hlavními pracovními metodami sledování během ražby tunelu jsou dokumentace dočasných odkryvů, zejména čelby a líců výrubů, stěn stavebních jam podzemních objektů a portálů apod., odebrání kontrolních vzorků hornin z čelby, případně ověřovací zkoušky jejich vlastností, soustavné porovnávání závěrů předchozích etap průzkumu s poznatky získanými během ražby a příprava technických doporučení k úpravám technologie ražby a ostění, monitoring, tj. přímá měření reakce horninového masivu na postup stavby. Jeho výstupem jsou doporučení případných korekcí pro další postup výstavby.

U všech typů tunelovacích strojů by mělo být vyhodnocováno složení odtěžené rubaniny. Při využití otevřených tunelovacích strojů by mělo probíhat geologické mapování výrubu

z dostupných otvorů v řezné hlavě a po stranách stroje. Obecně je možné využívat geofyzikální metody a předvrty, což ale musí být zohledněno při návrhu konstrukce a výrobě tunelovacího stroje. Předpokládané chování masivu by také mělo být porovnáváno s předpoklady uvedenými v ZDS a upřesňováno dle výsledků monitoringu a dle dalších údajů zjištěných při ražbě (potřebné tlaky na čelbě a plášti tunelovacího stroje, potřebný krouticí moment a přítlak, atd.).

I.4. Potřebné podklady pro rozhodnutí o technologii výstavby tunelů

Pro přípravu stavby je třeba stanovit základní parametry vedení trasy liniového díla. Obvykle se řada možností vedení trasy redukuje na několik málo variant, které se dále rozpracují. Dokumentace zpracovaná ve více variantách slouží obvykle ke konečnému rozhodnutí investora při výběru definitivní trasy stavby. V některých případech, zejména u staveb v intravilánu, mohou být pro výběr trasy určující nikoliv hlediska technická a geotechnická, ale hlediska urbanistická a společenská. Nejpозději v rámci této fáze by měl investor rozhodnout také o způsobu zadání stavby, který mimo jiné determinuje postup výběru technologie výstavby.

Technologie výstavby může být stanovena již při zadávání stavby, ale nemusí tomu tak být vždy. Pokud se investor rozhodne stanovit v zadávacích podmínkách technologii výstavby, bere na sebe část rizika z možnosti nevhodné volby příslušné technologie. Na druhé straně volba technologie ve fázi přípravy zadání stavby umožňuje detailnější propracování zadávací dokumentace, stanovení zadávacích podmínek včetně postupů případných dodatečných nároků. Pokud investor toto rozhodnutí učiní, může ve fázi přípravy zadání stavby přistoupit k dostatečně detailnímu zpracování zadávací dokumentace, což umožní další redukci rizik na obou smluvních stranách.

Pro výběr technologie tunelování musí být zvažovány zejména následující technické parametry a související podstatné vlastnosti podzemní liniové stavby:

- délka tunelu,
- geologické a hydrogeologické podmínky,
- umístění a přístupy k podzemnímu dílu včetně zajištění zdrojů a rozvinutí zařízení staveniště,
- vliv na okolní zástavbu (dopravní omezení zejména ve městech apod.),
- vliv na životní prostředí,
- kvalita stavby (vodotěsnost, mrazuvzdornost, odolnost vůči CHRL, požáru apod.),
- cena,
- doba výstavby,
- způsob financování stavby,
- úspěšnost (zejména cenová i kvalitativní) a možnost opakování používané či zamýšlené varianty tunelovacího stroje na zvažovaném respektive navazujícím budoucím projektu.

Pokud nelze již v první fázi přípravy projektu jednoznačně rozhodnout o technologii ražeb, pak je nutné připustit více technologických variant řešení v navazujících stupních projektové dokumentace. Výběr technologie provádění raženého díla je podstatné pro další průběh návrhu výstavby, pro zvážení technických možností navrženého řešení, pro vyčíslení konečné ceny i doby výstavby. Posouzení by proto mělo být zahrnuto například již ve studii proveditelnosti stavby.

Hlavním faktorem pro úspěšné použití některého typu tunelovacího stroje je znalost geologických a hydrogeologických poměrů v trase raženého díla. Vzhledem k tomu, že v souběhu s přípravou stavby není obvykle inženýrskogeologický průzkum uzavřen, nelze vyloučit, že zejména některé technické údaje bude třeba dodatečně doplňovat.

I.5. Požadavky na projekt geotechnického průzkumu

I.5.1 Obecné požadavky

Realizační dokumentace geotechnického průzkumu je podrobným souborem podkladů stanovících rozsah, způsob realizace, vyhodnocování a časové posloupnosti prací na průzkumu včetně určení ceny za tyto práce. Při zpracování realizační dokumentace geotechnického průzkumu se vychází ze zadávacích podmínek výběrového řízení na zhotovitele geotechnického průzkumu či z jiných požadavků zadavatele.

Členění a rozsah realizační dokumentace geotechnického průzkumu, jakož i podrobnost jeho zpracování, přímo závisí na významu, rozsahu a náročnosti navrhovaného tunelu. Dokumentace je zpravidla členěna do následujících částí:

Geotechnická část dokumentace - zahrnuje část inženýrskogeologickou, hydrogeologickou, hydrochemickou, speciální měřické práce apod. Uvádí se účel, cíl a metodika prací, rozsah prací, závazné pracovní postupy, vzájemná návaznost jednotlivých druhů prací, formulují se požadavky na odborné kooperace a očekávané výstupy geotechnického průzkumu.

Technické požadavky na průzkumné práce odkryvné - jedná se o technologii vrtání, odebírání porušených a neporušených vzorků hornin a vzorků vody, způsob provádění kopných a báňských děl, způsob provádění a potřebné zařízení pro čerpací zkoušky, způsob provádění a zajištění jiných terénních zkoušek a měření, práce geodetické a vzájemná návaznost prací.

Cenová specifikace - vypracuje se na všechny práce v členění podle jednotlivých druhů prací, ve smlouvě o dílo se uvádí podle požadavků zadavatele.

Přílohy dokumentace - vypracovávají se ke znázornění údajů, které nelze dostatečně vyjádřit textem, nebo k doložení okolností rozhodných pro uskutečnění prací. Jestliže je navrženo provedení odkryvných prací, musí být jako součást realizační dokumentace vždy vypracován situační plán zájmového území s vyznačením míst odkryvných prací, dále geologické řezy v rozsahu potřebném pro projektovou dokumentaci stavby, zakreslení ochranných pásem, návrhy vystrojení průzkumných děl, popř. zápisy o střetech zájmů, apod.

Podrobný časový harmonogram prací – musí být vždy součástí dokumentace.

Změny projektu geotechnického průzkumu je třeba zpracovat, pokud dojde v průběhu provádění geotechnického průzkumu ke změně projekčního řešení stavby, zejména ke změně směrového nebo výškového vedení tunelu, nebo pokud jsou dílčí výsledky průzkumu natolik odlišné od předpokladů dokumentace geotechnického průzkumu, že dosažení cílů průzkumu vyžaduje změnu koncepce dokumentace geotechnického průzkumu, jeho rozsahu nebo zásadní změnu lokalizace a druhu technických prací.

I.5.2 Podklady potřebné pro návrh tunelovacího stroje

Mechanizované tunelování klade větší důraz na některé položky geotechnického průzkumu, což vyplývá ze specifik tohoto typu tunelování. Hlavními vstupními parametry pro návrh tunelovacího stroje jsou:

- pevnost v tlaku,
- abrazivita

- lepidlost (možno stanovit nepřímou prostřednictvím obsahu jílovitých minerálů), skalní masiv je nutné pro tento účel rozmělnit,
- indexové parametry (zrnitost vč. přítomnosti balvanů, Atterbergovy meze),
- základní fyzikální vlastnosti (vlhkost, objemová hmotnost, pórovitost, stupeň nasycení),
- bobtnavost,
- průběh hladiny podzemní vody a očekávané přítoky podzemní vody,
- původní geostatická napjatost,
- agresivita podzemní vody vůči betonu a oceli,
- puklinatost horninového prostředí (hodnocená prostřednictvím tunelářských klasifikací např. RQD, QTS, Q, RMR atd.),
- smíšená čelba (pod smíšenou čelbou se rozumí výskyt dvou a více typů horninového prostředí na čelbě s odlišnými geotechnickými vlastnostmi, např. skalní hornina a zemina),
- smyková pevnost (c , φ),
- deformační parametry (E , ν),
- koeficient bočního tlaku (K_0),
- překážky v trase díla (kanalizace, důlní díla, štětové stěny, studny),
- krasové jevy,
- výskyt metanu,
- chemická rezidua (průsak z čerpacích stanic),
- výška nadloží a výška skalního nadloží,
- přítomnost a vzdálenost existujících podzemních objektů a inženýrských sítí od tunelu,
- injektovatelnost masivu,
- rozpojitelnost, odtěžitelnost a zpracovatelnost rubaninu.

Dále jsou nezbytnými výstupy z geotechnického průzkumu:

- potřeba předstihových opatření,
- pasportizace podzemních konstrukcí a inženýrských sítí v zóně deformačního ovlivnění ražbami v blízkosti trasy. Součástí pasportizace musí být stavebně-technický průzkum zaměřený i na způsob a provedení založení budov. V případě trubních inženýrských sítí (stok) by mělo být předmětem pasportizace i ověření jejich skutečné polohy a výškového vedení.

I.6. Požadavky na způsob vyhodnocení průzkumných prací

I.6.1 Rozdělení geologické dokumentace průzkumných prací

Geologickou dokumentací průzkumných prací se rozumí písemné, grafické a hmotné dokladové podchycení všech skutečností zjištěných při geotechnickém průzkumu. Podle časového sledu dokumentování se geologická dokumentace dělí na tři fáze:

- prvotní geologická dokumentace - zahrnuje písemnou a grafickou, případně fotografickou dokumentaci pořizovanou v terénu nebo v laboratoři při sledování a řízení prací,
- druhotná geologická dokumentace - zahrnuje průběžné kamerální a laboratorní zpřesňování a hodnocení všech údajů, zpracované na základě prvotní dokumentace, potřebné ke správnému usměrňování dalších průzkumných prací a k výslednému zhodnocení poznatků,
- souhrnná geologická dokumentace - zahrnuje materiály prvotní i druhotné dokumentace upravené do definitivní formy a dále výsledné zpracování všech poznatků získaných průzkumem pro daný účel,

Po zpracování souhrnné geologické dokumentace řešitel geotechnického průzkumu veškerý dokumentační materiál roztřídí a předá k archivaci. Způsob archivace se upravuje interními pokyny zhotovitele.

I.6.2 Požadavky na obsah prvotní geologické dokumentace

Prvotní geologická dokumentace zahrnuje popis hornin a horninových prostředí na základě dokumentačních vzorků nebo přímého vyšetření stěn průzkumného díla (odkryvu) a záznamy o dalších zjištěných skutečnostech významných z hlediska účelu průzkumu. Při prvotní geologické dokumentaci se u každého dokumentovaného díla uvádí v záhlaví záznamů zejména tyto údaje:

- název a číslo zakázky,
- označení průzkumného díla,
- druh díla,
- rozměry díla, vrtací zařízení, průměr, druh, rozpojovací nástroj atd.,
- časový průběh vrtání a časový průběh kolísání hladiny podzemní vody (minimálně její naraženou a ustálenou hladinu), dobu za kterou došlo k ustálení, teplotu a zápach,
- jméno vedoucího pracovní čty,
- datum pořízení dokumentace a podpis zodpovědného pracovníka.

Dokumentace vrtů se provádí vždy písemně, případně i graficky, podle makroskopického popisu dokumentačních vzorků hornin. V dohodnutých případech se provádí také barevná fotografická dokumentace. Při popisu se uvádí zejména hloubkové rozmezí popisovaných hornin, petrografický popis, konzistence nebo ulehlost, tektonické porušení, navětrání, stratigrafické zařazení, údaje o podzemní vodě, odběry vzorků hornin a vody, apod. U jádrových vrtů se mimo to uvádí délka získaného jádra v jednotlivých návrtech, maximální velikost jádra a délky jednotlivých kusů, charakter a sklony ploch dělitelnosti apod.

Dokumentace prací kopných (popř. prací prováděných hornickým způsobem), se musí provést podle přímé prohlídky stěn průzkumného díla na místě. Samotná písemná dokumentace se vyhotoví při jednoduchých geologických poměrech. Při složitějších geologických poměrech nebo při větších nárocích na podrobnost dokumentace se používá kombinace písemné, grafické a fotografické dokumentace. O způsobu dokumentace rozhoduje podle složitosti místních geologických poměrů a účelů díla řešitel geotechnického průzkumu. Úložné poměry, tektonické jevy apod. se znázorňují nákresey. Souvislost mezi nákresem a popisem díla musí být zajištěna značkami, čísly nebo jiným vhodným způsobem. Grafická dokumentace se provádí zpravidla v měřítku 1:20 až 1:100, nejčastěji však v měřítku 1:50. Vysvětlivky značek musí být přiloženy. Při dokumentaci šachet a rýh se musí vyznačit orientace dokumentovaných stěn ke světovým stranám, v grafické dokumentaci se vyznačují místa odběrů vzorků hornin a vody. Mimořádná hydrogeologická pozorování se zaznamenávají zvláště do knihy zřízené za tímto účelem. Ve vodorovných a úklonných dílech se zavede periodické měření velikosti průtoků a teploty u všech větších nebo charakteristických přítoků a u ústí všech sběrných kanálů, u rozsáhlých hornických prací se sestavuje důlní hydrogeologická mapa, v níž se vyznačují přítoky vody, místa měření, místa odběrů vzorků, propustnost hornin, pukliny podle stupně zvodnění, chemické složení vod a další údaje podle potřeby.

Dokumentace terénních zkoušek a měření se pořizuje individuálním způsobem, odpovídajícím druhu a účelu prací (zkoušky, měření). Zaznamenávají se především údaje, jejichž získání je cílem prováděných prací nebo údaje a nákresey o provedených opatřeních a všechny ostatní okolnosti, důležité pro konečné zhodnocení těchto prací. Záznamy

pořizované v terénu se musí vést tak, aby byly trvale a obecně srozumitelné. Každý záznam musí být opatřen datem a podpisem odpovědného pracovníka, názvem a číslem zakázky.

Dokumentace přirozených nebo dočasných odkryvů zahrnuje dokumentaci trvalých přirozených (výchozy hornin, skalní defilé) či umělých (terénní úpravy, těžební stěny, zářezy komunikací) odkryvů. Dokumentace se pořizuje u takových odkryvů, které mohou přispět k podrobnějšímu poznání geologických, hydrogeologických či geotechnických poměrů ve vztahu k cíli průzkumu. Umístění dokumentovaných odkryvů v terénu se vyznačuje graficky do topografických map vhodného měřítko nebo identifikací podle souřadnic. Vzhledem k povaze těchto odkryvů se prvotní geologická dokumentace provádí většinou graficky v kombinaci s psaným popisem. Souvislost mezi popisem a nákresem musí být zajištěna srozumitelným způsobem. Samotná písemná dokumentace se vyhotoví jen při jednoduchých geologických poměrech. U složitých poměrů je vhodné využít i dokumentaci fotografickou. Pro grafické zpracování se volí podle rozsahu odkryvů nebo složitosti znázorňovaných jevů měřítko 1:50 až 1:200. Při dokumentaci se zaznamenává zejména mocnost a průběh jednotlivých vrstev, jejich petrografické určení, charakter, orientace a četnost odlučných systémů, dosah a povaha navětrání, případně rozvolnění hornin, výrony podzemní vody a místa měření či odběrů vzorků. Dokumentace dočasných odkryvů se řídí obdobnými zásadami, jaké platí pro odkryvy trvalé povahy. Jedná se většinou o stavební či těžební činnosti, dočasně přístupné během provádění průzkumných prací (zemníky, stavební jámy, skrývky, výkopy pro inženýrské sítě apod.). Vzhledem k časovému omezení existence těchto odkryvů je třeba jejich prostorovou identifikaci provádět zvláště pečlivě a dokumentaci opatřit přesným časovým údajem o jejím pořízení.

Denní záznamy odkryvných prací mají povahu veřejných listin. Musí být svázan do knihy s číslovanými listy. Denní záznamy musí být vyplňovány průběžně, nejpozději současně s ukončením pracovní směny. Do denního záznamu se zaznamenávají zejména:

- převzetí pracoviště, zahájení, přerušení nebo ukončení prací s příslušným odůvodněním, údaje o postupu jednotlivých druhů prací
- hrubý popis hornin, popř. třída těžitelnosti, naražená a ustálená hladina podzemní vody, její kolísání, úroveň před zahájením a po ukončení směny a po každém přerušení práce, záznamy o odběru zvláštních vzorků hornin a vzorků vody,
- veškeré skutečnosti, které mají nepříznivý vliv na plynulý průběh prací,
- odkazy na záznamy v provozním deníku,
- záznamy o kontrolách oprávněných osob,
- mimořádné události a škody, způsobené na pracích přírodními vlivy (dešťové přívaly, průvaly důlních vod, výskyt kuřavek apod.),
- stručná charakteristika počasí a teplota vzduchu.

Provozní deník odkryvných prací má povahu veřejné listiny obsahující číslované stránky. Provozní deník se vede na všech pracovištích, na nichž se provádějí technické práce. Provozní deník je určen pro záznamy, které svou povahou nebo rozsahem nemohou být pojaty do denního záznamu. Patří sem především podrobné instrukce a pokyny davané řešitelem geotechnického průzkumu pracovní četě, konstatování závad, požadavky nebo příkazy a termíny na jejich odstranění, instrukce ke speciálním pracím, doplňující příkazy a pokyny pro práce likvidační apod. Vedoucí pracovní čety zaznamenává do provozního deníku podrobnosti o mimořádných událostech vzniklých v průběhu prací, záznamy a náčrty o přípravě a provedení speciálních technických prací apod. Úvodní matriční záznamy zapisuje do provozního deníku pracovní čety odpovědný zástupce zhotovitele technických prací vždy před zahájením technických prací. Úvodní matriční záznamy zahrnují zejména:

- označení pracovní čety a jméno jejího vedoucího,
- název a číslo zakázky,

- jméno řešitele geotechnického průzkumu a spojení na něj,
- příkaz k provádění prací a jejich základní specifikaci podle smluvních podkladů v rozsahu potřebném pro řádnou práci čety,
- záznam o předání potřebné dokumentace.

I.6.3 Požadavky na obsah druhotné geologické dokumentace

Druhotná geologická dokumentace obsahuje zejména tyto materiály:

- zhodnocení vrtů a jiných sond,
- zhodnocení laboratorních zkoušek a rozborů,
- výsledky měřických prací,
- technickou zprávu zhotovitele vrtů a jiných sond,
- ostatní druhotnou geologickou dokumentaci.

Dokumentace se musí zpracovávat tak, aby neustále dávala přehled o výsledcích geotechnického průzkumu podle posledních poznatků a tím umožňovala co nejučelnější vedení dalšího průzkumu. Každý jednotlivý materiál musí být označen mimo jiné daty vypracování a daty příslušných doplňků a oprav.

Hlavním dokumentem je technická zpráva o skutečném provedení odkryvných prací (zejména vrtů). Nezbytnou součástí technické zprávy je případný výstrojový list vystrojených děl. Ostatní druhotnou geologickou dokumentací se rozumí dílčí zhodnocení výsledků prvotní geologické dokumentace, jako např. pracovní mapy, řezy, blokdigramy, grafy čerpacích zkoušek a jiné grafické podklady, ve kterých se průběžně doplňují základní představy o úložných poměrech, vlastnostech hornin, hydrogeologických poměrech apod., podle dílčích poznatků z prováděných prací.

I.6.4 Souhrnná geologická dokumentace

Souhrnná geologická dokumentace zahrnuje materiály prvotní i druhotné dokumentace upravené do definitivní formy příslušné kapitoly závěrečné zprávy.

I.7. Požadavky na zprávy o výsledcích průzkumných prací

I.7.1 Druhy zpráv

Pro vyhodnocení výsledků geotechnického průzkumu jsou používány závěrečné zprávy, dílčí zprávy a předběžné zprávy. Také může být připravena souhrnná geotechnická zpráva a základní geotechnická zpráva.

Závěrečná zpráva tvoří nedílný celek. Její jednotlivé části nelze vytrhávat z kontextu a používat autonomně. Závěrečnou zprávou se ukončí každý geotechnický průzkum. Zpráva musí řešit všechny otázky stanovené smlouvou o dílo. Závěrečná zpráva se vypracuje i v tom případě, že se nedosáhlo požadovaného cíle, nebo že navržené práce nebyly z různých důvodů ukončeny.

Dílčí (resp. etapové) zprávy je možné vypracovat pro ucelené části (podetapy, fáze) geotechnického průzkumu. Dílčí zprávy se číslují v pořadí, jak byly vydány. Závěry jednotlivých dílčích zpráv musí být pro příslušnou část geotechnického průzkumu konečné a závazné. Rozčlenění průzkumu na etapy (podetapy, fáze) a počet dílčích zpráv je nutné stanovit smluvně.

Předběžné zprávy se vypracovávají na základě požadavku zadavatele, uplatněného při přípravě smlouvy. Předběžné zprávy obsahují informativní a předběžné údaje, odpovídající znalostem přírodních podmínek a stavu technických prací v době jejího zpracování. V předběžné zprávě se musí uvést míra závaznosti poskytovaných údajů.

Zprávy o výsledcích průzkumu zpravidla obsahují textovou a přílohovou část.

I.7.2 Požadavky na textovou část zpráv

Textová část zprávy obsahuje úvod, všeobecnou část, podrobnou část a závěry.

Úvod by měl uvést údaje hospodářsko-administrativního charakteru, topografické vymezení polohy zájmového prostoru (obec, okres, list mapy), pracovní podklady poskytnuté zadavatelem a speciální zadání stanovené zadavatelem (termínová omezení, věcná zadání atp.), popis pracovní metodiky a přehled použitých technických prací s odůvodněním případných odchylek od původního záměru.

Všeobecná část by měla vymezit předmět průzkumu. Měla by být popsána stavba, pro kterou se průzkum provádí, měly by být uvedeny cíle průzkumu. Měly by být uvedeny informace o prozkoumanosti území, o fyzikálně-geografických poměrech, geomorfologii, o geologii okolí zkoumaného místa, o tektonice, stratigrafii, atd. Měly by být zhodnoceny výsledky starších průzkumných prací z hlediska řešené problematiky (použilo-li se archivních materiálů, citují se použité výchozí prameny).

Podrobná část by měla obsahovat souhrnné výsledky geologicko-průzkumných prací, laboratorních zkoušek a speciálních prací použitých k řešení vlastní problematiky. Všechny výsledky průzkumu se uspořádají v souladu s účelem jejich využití. U výpočtů se musí uvádět postup (metoda, rovnice, program) s označením autora, výchozí hodnoty a předpoklady. U převzatých údajů je třeba uvést odkaz na archivní pramen.

Závěr by měl přinést návrh způsobů využití výsledků průzkumu. Stručně by měly být zhodnoceny celkové výsledky průzkumu a jmenovitě se uvedou definitivní hodnoty a údaje vyplývající z výsledků průzkumných prací pro potřeby sledovaného cíle a účelu průzkumu. Měly by být shrnuty všechny okolnosti, které mohou ovlivnit realizaci záměru, pro který byl průzkum prováděn, a které naopak může vyvolat jeho realizace v okolním prostředí. Pokud jsou uvedeny číselné hodnoty, musí být výslovně uvedeno, zda jsou převzaty z literatury, normy nebo zda byly vypočteny na základě provedených zkoušek a měření. Závěr zprávy musí obsahovat výčet problémů, které musí být ještě řešeny, případně návrh doplňkových průzkumných prací pro jejich řešení.

I.7.3 Požadavky na přílohovou část zpráv

Přílohová část zprávy zahrnuje materiály, jimiž se dokládá obsah textové části zprávy. Člení se zpravidla na grafické přílohy, textové přílohy a fotografickou dokumentaci. Přílohová část závěrečné zprávy může obsahovat i jiné přílohy (podklady) než dále uvedené, pokud je jich třeba k dokumentaci závěrů uvedených v textové části.

Grafické přílohy musí být na úvodním formátu označeny rozpiskou s uvedením názvu a sídla zhotovitele, názvu a sídla zadavatele, označení geotechnického průzkumu, místa průzkumu, čísla objektu nebo kilometráže, názvu a čísla přílohy a měřítko. V rozpisce se uvede, kdo

přílohu zpracoval, vykreslil a schválil. Grafické přílohy tvoří zejména situace zájmového území, účelové mapy, přehledné geologické profily a podrobné geologické profily.

Situace zájmového území se musí vypracovat vždy, pokud byly k průzkumu použity odkryvné práce. Na situaci musí být vždy vyznačen sever. Měřítko se řídí účelem a podrobností průzkumu. Je-li měřítko situace příliš podrobné (více než 1:5 000), musí se přiložit výsek topografické mapy přehledného měřítka s vyznačením zájmového území tak, aby byla možná vzájemná návaznost obou situací. Průzkumná díla a odkryvy se vyznačují smluvenými značkami. Pokud to dovoluje podrobnost měřítka, tak je výhodné vyznačit v situaci kóty průzkumných děl. Vyznačuje se průběh konstruovaných přehledných geologických profilů i průběh podrobných profilů, které se zpravidla označují římskými číslicemi nebo velkými písmeny a orientují se označením jejich pravé strany římskou číslicí s čarou. Dále se vyznačují provedené geofyzikální profily. Pokud to připouští přehlednost, je vhodné zakreslit odkryvná díla a ostatní údaje přímo do účelové geologické mapy zájmového území.

Účelové mapy zahrnují inženýrsko-geologické, hydrogeologické, dokumentační a jiné mapy. Sestavují se podle platných předpisů. Podrobnost znázorňovaných údajů musí odpovídat zvolenému měřítku mapy.

Přehledné geologické profily a řezy se zpracovávají podle následujících zásad. Výsledky odkryvných prací se grafickým způsobem znázorňují do přehledných geologických a geotechnických profilů, které se vedou podélnou osou tunelové trouby a charakteristických geologických a geotechnických řezů ve svislé rovině na podélnou osu tunelu. Měřítko délkové a výškové (a jeho případné převýšení) se volí podle účelu a podrobnosti průzkumu. Pokud je to možné, je třeba dát přednost nepřevýšeným řezům. Musí být vyznačena srovnávací rovina s absolutní kótou, vzdálenosti jednotlivých průzkumných děl a orientace vůči světovým stranám. Petrografický a litologický popis hornin se uvádí ve vysvětlivkách. Každému rozlišovanému typu hornin přísluší číslo (značka), která se uvádí jak ve vysvětlivkách, tak v profilu vedle grafické kolonky vrtu. Vyznačují se absolutní kóty povrchu terénu v místech průzkumných děl, rozhraní jednotlivých litologických celků - vrstev důležitých z hlediska účelu průzkumu (předkvartérní podklad), zóny zvětrání, hladiny podzemní vody, konečná hloubka vrtu, místa odběru vzorků zemin, hornin a vody s udáním relativní hloubky odběru. Na titulním formátu přílohy se uvádí vysvětlivky objasňující použité značky.

Podrobné geologické profily a řezy slouží pro grafické znázornění výsledků průzkumu, které se týkají jednotlivých průzkumných děl nebo jiných odkryvů. Řezy se vedou zpravidla kolmo na osu tunelové trouby. Profily se pak vedou ve svislé rovině proložené podélnou osou tunelu. V případě potřeby se vykreslují i takové profily a řezy, které co nejlépe vykreslují úložné poměry hornin a hydrogeologické poměry v místech souvisejících objektů. Obvykle se vykreslují v měřítcích 1:100 a podrobnějších. Vyznačují se v nich, vedle petrografického rozlišení horniny v inženýrskogeologickém průzkumu, sklony odlučných ploch (vrstevní plochy, břidličnatost, pukliny), stupeň zvětrání, výnosy jádra příp. maximální délka jádra z návrtu a počet kusů jádra na bm, výsledky terénních a laboratorních zkoušek, karotáže, zatřídění podle požadovaných kritérií apod. U instrumentovaných děl se uvádí mimo uvedených základních údajů, naražená a ustálená hladina podzemní vody, způsob hloubení, definitivní výstroj vrtu a místa odběrů vzorků hornin a vody, chemismus podzemní vody apod. U podrobné geologické dokumentace odkryvů je vhodné vyznačit místa dokumentovaná zároveň fotograficky. V ostatním platí zásady jako pro přehledné geologické profily a řezy.

Textové přílohy zahrnují inženýrskogeologickou dokumentaci průzkumných děl a odkryvů v systematickém uspořádání, zprávy o laboratorních zkouškách zemin a skalních hornin,

grafy čerpacích zkoušek, zprávy o rozborech vody, zprávy o terénních zkouškách a měřeních, měřické zprávy, technické zprávy o odkryvných pracích, atd. Textové přílohy musí být opatřeny datem vypracování konceptu, podpisem příslušných odpovědných pracovníků. Textová dokumentace převzatých průzkumných děl se musí přikládat v samostatné příloze. Ve zprávě pak musí být uveden archiv, archivní číslo, autor a všechny použité i převzaté dokumentační body musí být zakresleny v mapě dokumentace.

Inženýrskogeologická dokumentace: Petrografický popis se sestavuje podle druhotné geologické dokumentace. U každého díla se uvádí v záhlaví popisu označení průzkumného díla, jeho druh, rozměr (profil) se změnami podle hloubky souřadnice JTSC a kóta povrchu terénu, resp. zhlaví nebo ohlubeně. Rozmezí jednotlivých vrstev se uvádí s přesností na 0,1 m, pokud není smluvně určeno jinak. U popisu každého díla se uvádí hloubka navrtané a ustálené hladiny podzemní vody. V případě, že hladina podzemní vody nebyla zastižena, musí být tato skutečnost výslovně uvedena. Dále se uvádí odběry vzorků zemin k laboratornímu vyšetření s udáním hloubky odběru, odběry vzorků vody k rozboru s datem odběru, hloubky speciálních zkoušek (zatěžovací zkoušky, penetrace, vsakovací zkoušky apod.) a konečná hloubka průzkumného díla. U průzkumu malého rozsahu (3 - 5 sond) je možno uvést petrografické popisy v textové části závěrečné zprávy.

Zpráva o laboratorních zkouškách zemin a skalních hornin kromě zhodnocení a souhrnných výsledků uspořádaných v tabulkách se uvádí i protokoly o výsledcích všech provedených zkoušek včetně použitých metodik.

Grafy čerpacích zkoušek dokumentují průběh čerpacích zkoušek a ostatní zaznamenávané faktory. Při skupinovém čerpání se hydrogeologické faktory mohou vykreslovat podle uvážení řešitele průzkumu i společně. V grafu dlouhodobé a poloprovozní čerpací zkoušky se vykresluje v závislosti na čase průběh depresí a dosažených vydatností, nebo průběh snižování hladiny v závislosti na konstantní vydatnosti podle metodiky čerpací zkoušky. Uvádí se změny teploty čerpané vody, srážky, průběh stoupacích zkoušek a kolísání hladiny v pozorovacích objektech, příp. povrchových tocích. Vyznačuje se rovněž přerušení čerpání (poruchy). Samostatně se vykresluje závislost vydatnosti na snížení hladiny (čára vydatnosti). Dokumentace informativních a krátkodobých čerpacích zkoušek v podmínkách neustáleného proudění závisí na metodice výpočtu.

Zpráva o rozborech vody kromě zhodnocení a souhrnných výsledků uspořádaných v tabulkách se uvádí i protokoly o výsledcích všech provedených zkoušek včetně použitých metodik.

Zprávy o terénních zkouškách a měřeních kromě zhodnocení a souhrnných výsledků uspořádaných v tabulkách uvádí i protokoly o výsledcích všech provedených zkoušek včetně použitých metodik.

Měřická (geodetická) zpráva uvádí minimálně přehled polohopisných a výškopisných souřadnic všech průzkumných děl a způsob zaměření včetně grafických příloh – situací s vyznačením zaměřených děl.

Technická zpráva o odkryvných pracích obsahuje popis odkryvných prací, rozbor mimořádných okolností a odchylek od programu, které mají význam pro splnění vytčeného cíle a dokumentují lepší poznání vlastností vyšetřovaného prostředí (například popis likvidace, ztráty výplachu, parametry výplachu, popis a vysvětlení mimořádných obtíží při hloubení, atd.).

Fotografická dokumentace zachycuje skutečnosti případně i dočasné jevy, které graficky nelze s dostatečnou přesností, nebo jen velmi obtížně, znázornit. Slouží k dokreslení

představy o údajích ve zprávě, popř. v ostatních přílohách. Zejména se jedná o čelby během ražby průzkumné štoly, fotografie výchozů atd. Smluvně může být předepsána soustavná geologická dokumentace vrtného jádra. Snímky se upravují tak, aby byla možná prostorová a rozměrová orientace záběrů. U každého snímku se uvádí vysvětlující text, autor a datum záběru. Součástí dokumentace musí být seznam obsažených vyobrazení (snímků).

I.7.4 Požadavky na souhrnnou geotechnickou zprávu

Pro DSP se zpracovává tak zvaná souhrnná geotechnická zpráva. Souhrnná geotechnická zpráva obsahuje rekapitulaci všech geotechnických zpráv, posudků, expertiz, výpočtů atd., které byly v průběhu přípravy výstavby provedeny. Důležité je zdůraznění cílů, pro které byly ty či ony dokumenty pořízeny a vymezena doba jejich pořízení vzhledem k časové ose přípravy výstavby. Základním smyslem je souhrnné závěrečné zhodnocení geologických poměrů a geotechnických vlastností horninového masivu v konečném místě výstavby.

Souhrnná zpráva kromě toho, že umožňuje orientaci v různých geotechnických dokumentech, které vznikaly v průběhu různých etap přípravy výstavby tunelového díla, má také za cíl vyloučit chybné nebo neprofesionální použití geotechnických dat, vznikajících v expertizách a zprávách zpracovávaných za různým účelem různými uživateli GTP.

Souhrnná geotechnická zpráva je podkladem pro projektanta a statika. Musí obsahovat doporučené charakteristické hodnoty parametrů hornin, o jejichž konečné „obežetné“ (viz EC 7) volbě a způsobu využití do statických výpočtů ostění tunelů či jiných částí konstrukčních prvků podzemních staveb následně rozhodne projektant daných konstrukcí.

I.7.5 Požadavky na základní geotechnickou zprávu

Základní geotechnická zpráva se účelově zpracovává pro zadávací dokumentaci pro výběr zhotovitele ražby tunelu a pro řízení geotechnických rizik během ražby. Základní geotechnická zpráva je podkladem pro ocenění nákladů spojených s výstavbou tunelu a podkladem pro stanovení kritérií pro posouzení, zda byly při ražbě zastíženy odlišné geotechnické poměry než ty, které byly uvedeny v zadávací dokumentaci a které předpokládal projektant. Tato zpráva je také základním geotechnickým dokumentem, na jehož základě volí jak objednatel, tak i zhotovitel stavby tunelu svou strategii řízení geotechnických rizik během ražby tunelového díla.

Základní geotechnická zpráva má být součástí zadávací dokumentace pro výběr zhotovitele stavby a následně i smluvní dokumentace zhotovitele stavby. Daným způsobem se geotechnické parametry stávají smluvně garantovanými (investorem vůči zhotoviteli). Tím se smluvně zajistí, že pokud budou skutečné geotechnické poměry zastíženy na stavbě odlišné od poměrů předpokládaných, tak budou k dispozici postupy a pravidla, umožňující dosáhnout mezi zhotovitelem a investorem dohody o finančním vypořádání důsledků plynoucích z těchto odlišností. Tyto postupy a pravidla by měly být smluvně definovány pro obě možnosti odlišností – skutečné geotechnické podmínky mohou být horší, nebo lepší než předpokládané. Uvedeným postupem snižuje investor nejistoty zhotovitele stavby (o skutečných geotechnických podmínkách zastížených na staveništi) při zpracovávání jeho cenové nabídky. Část rizika (že budou geotechnické podmínky ve skutečnosti jiné, než se předpokládá) přebírá investor.

Základní geotechnická zpráva musí být vypracována zkušenými geotechnickými experty. Při zpracovávání základní geotechnické zprávy je důležitá nejen znalost geologických poměrů, ale i znalosti technologií výstavby konkrétní stavby, znalost zásady řízení geotechnických

rizik i projektování a navrhování inženýrských konstrukcí. Proto by při zpracování základní geotechnické zprávy měl být vytvořen tým složený z různých specialistů. Vždy ho však musí vést zkušený odborník geotechnik.

I.8. Požadavky na metody geotechnického průzkumu

I.8.1 Požadavky na vrtný průzkum

Průzkumné vrty musí projít všechny významné vrstvy horninového prostředí. Ukončí se dostatečně hluboko pod předpokládanou počvou tunelu, kde se již neprojeví změny napjatosti vyvolané výstavbou podzemního díla. Některé vrty musí být tak hluboké, aby prokázaly, že v podloží tunelu se nenachází stlačitelná či objemově nestálá vrstva, která by mohla ohrozit stabilitu tunelové trouby.

Pokud se ještě pod počvou tunelu budou nacházet nevhodné vrstvy, je třeba jimi projít nejméně do hloubky rovnající se dvěma až třem průměrům tunelové trouby a zjistit přetvárné parametry těchto vrstev včetně jejich mocnosti. Při navrhování hloubek vrtů a při provádění vrtů je třeba mít na mysli, že se na základě průzkumu může niveleta tunelu posunout do větší hloubky.

Je třeba se přesvědčit, zda se průzkumné vrty nenalézají v místě geologické anomálie. Například, zda vrt nezastihl ojedinělý balvan, nebo místo v jehož okolí je naopak zvětrání skalního podkladu daleko hlubší a intenzivnější, nebo vrt zastihl tektonické pásmo (poruchu). Vrtný průzkum pro mělký tunel musí identifikovat rozsah a hloubku případných navážek.

Počet průzkumných vrtů (nebo jiných sond) a jejich uspořádání ve zkoumaném území vychází z potřeby stanovit stratigrafii vrstev a její proměnlivost a určit mechanické vlastnosti reprezentativních souvrství hornin včetně jejich vertikálních i horizontálních změn podél celé trasy tunelu.

Vrty (nebo jiné sondy) musí umožnit rozdělení trasy tunelu na jednotlivé kvazihomogenní celky důležité pro projektovou dokumentaci tunelu a přiřadit jim charakteristické vlastnosti zastižených hornin a chování zastižených typů horninového prostředí včetně zařazení do technologických tříd.

Umístění a vzájemná vzdálenost průzkumných vrtů (nebo jiných sond) má snížit na minimum nebezpečí, že v průběhu geotechnického průzkumu nebude objevena taková anomálie v geologických poměrech, která by později měla význam pro statický návrh ostění tunelu a dokumentace technologie ražby tunelu, pro který se průzkum provádí.

Pro konečné optimální rozvržení průzkumných vrtů (nebo jiných sond) je žádoucí využít geofyzikální měření a jeho vyhodnocení. Geofyzikální měření by mělo vždy předcházet zahájení vrtných i kopných prací i navržení programu geotechnických zkoušek.

Počet průzkumných vrtů (nebo jiných sond) závisí na geologických poměrech zájmového území, na předpokladu jejich proměnlivosti podél potenciální budoucí trasy tunelu i na existenci objektů nadzemní zástavby, které mohou být stavbou tunelu dotčeny. Čím proměnlivější a složitější jsou geologické poměry, tím komplexnější má být geofyzikální měření, tím větší počet průzkumných vrtů (nebo jiných sond) i ostatních průzkumných prací, zejména geotechnických zkoušek, je třeba provést. Přesný počet vrtů na jednotku délky tunelu nelze normativně stanovit.

Vrty se nerozmisťují pravidelně, ale umísťují se zejména do míst s předpokládanými extrémně nevhodnými geologickými poměry, kde lze očekávat problémy při ražení (tektonické poruchy, geologická rozhraní, zlomy a poruchy). Vrty se umísťují alespoň dva, lépe tři v jednom profilu kolmo na podélnou osu tunelu, aby v této rovině bylo možno konstruovat příčné geologické řezy. Někdy se provádějí šikmé vrty z paralelních údolí. Prozkoumány musí být všechny geologické formace dotčené budoucí trasou tunelu včetně portálů.

Požadavky na vrtné práce musí stanovit jednoznačně požadavky na kvalitu vrtných prací, které zajistí kvalitní popis vrtného jádra: zejména je nutné odlišit původní diskontinuity od porušení jádra vzniklých při vrtání (je třeba se vyvarovat poškození vrtného jádra). Do geotechnického průzkumu je vhodné v opodstatněných případech zahrnout i práce kopné, protože v šachtách lze klasifikovat horninový masiv podstatně spolehlivěji.

I.8.2 Požadavky na geotechnické zkoušky a měření

Rozsah zkoušek a měření a jejich komplexnost i zaměření musí respektovat stanovené cíle geotechnického průzkumu, které musí být v dokumentaci geotechnického průzkumu podrobně popsány a zdůvodněny. Mechanické vlastnosti horninového prostředí ve složitých geotechnických poměrech a pro náročnou stavbu, kam tunely obecně patří, musí být stanovovány ve shodě s Eurokódem 7 a musí být určeny vždy na základě dostatečně komplexního souboru zkoušek a přímého měření na vzorcích hornin, či vhodně situovaných terénních zkoušek. Soubor realizovaných zkoušek a měření by neměl záviset pouze na možnostech a zkušenostech zhotovitele geotechnického průzkumu.

Každá zkouška i každé měření musí být v dokumentaci geotechnického průzkumu zdůvodněny. Musí být zřejmé, jak a k čemu má být získaný výsledek zkoušky použit. Je třeba definovat otázky, na které má výsledek každé zkoušky poskytnout odpověď.

V současné době je k dispozici řada metod, které lze pro geotechnický průzkum s úspěchem použít. Při volbě optimálních metod je třeba přihlédnout k rozsahu průzkumu, jeho etapě, času i finančním prostředkům, které jsou k dispozici. Jsou různě náročné na financování a na čas nutný k jejich provedení. Záleží rovněž na dosavadní míře prozkoumanosti dotčeného území a na lokálních zvyklostech. Ke zvýšení věrohodnosti výsledků průzkumu je žádoucí kombinovat různé průzkumné metody (například kombinovat práce vrtné s geofyzikálním měřením, terénní měření s laboratorními zkouškami atp.).

I.8.3 Požadavky na klasifikace horninového masivu

Klasifikační systémy jsou běžně používány pro konvenční tunelování. Klasifikace umožňuje zhotoviteli ocenit jednotku postupu ražby, způsob zajištění výrubu a další opatření. Pro mechanizovanou ražbu není doposud globální shoda na používaném systému klasifikace. Pro popis chování skalního masivu pro mechanizovanou ražbu je použitelná například upravená klasifikace RMR (Rock Mass Rating) nebo upravená klasifikace Q (Q_{TBM}). Pro popis chování zeminového a poloskalního prostředí pro mechanizovanou ražbu je použitelná například klasifikace podle německé normy DIN 18312.

Klasifikační systém Q_{TBM} je nyní ve vývoji, v současném stavu tohoto systému obecně nelze doporučit jeho použití za účelem určování technologických tříd v průběhu výstavby. Klasifikační systém Q_{TBM} může být pro daný účel použitý pouze jako jedno z kritérií, ne však jako jediné nebo rozhodující kritérium. Hlavními důvody jsou nejednoznačnost (některé parametry systému jsou velmi citlivé a nejednoznačně stanovitelné) a relativní složitost

systému. Systém Q_{TBM} by neměl být používán ke smluvním účelům, protože to může vést k výrazným neshodám (odlišné zatřídění zhotovitelem a investorem).

V České republice klasifikaci a zatřídění horninového masivu pro ražbu tunelovacím strojem částečně upravuje ČSN 73 7508. Zatřídění je možné doplnit geotechnickými zkouškami prováděnými v rámci geomonitoringu podle postupů definovaných ve smluvní dokumentaci a na základě kontroly hlavních technických parametrů stroje. Prosté zatřídění výrubu není dostatečné pro určení parametrů mechanizované ražby. Je nezbytné popsat další předpokládané ukazatele a údaje, a to především:

- popis zajištění čelby (nebo stabilizace) – je potřeba (tzn. ražba s podporou čela), není potřeba (tzn. ražba bez podpory čela),
- postup zpracování rubaniny,
- přítoky vody, ztížení ražení ve zvodnělém prostředí – při úpadním ražení a při přítoku vod nad 1 l/sec do čelby se musí s tímto ztížením ražeb uvažovat,
- úseky se smíšenou čelbou,
- velikost opěrných tlaků na čelbě, podél štítu a podél ostění,
- počet požadovaných předvrtů a jejich předpokládaná délka,
- lepivost rubaniny (při výskytu lepivých zemin se uvažuje ztížení ražení a nutnost častější výměny rezných nástrojů v důsledku zadírání jejich ložisek),
- předpokládaný harmonogram ražeb.

I.9. Volba typu tunelovacího stroje dle výsledků geotechnického průzkumu

I.9.1 Základní údaje

Volba typu tunelovacího stroje na základě geologických podmínek je zásadním rozhodnutím, které výrazně ovlivňuje rychlost, hospodárnost a bezpečnost výstavby. Nejdůležitější parametry horninového masivu a vhodnost jednotlivých typů tunelovacích strojů do různých geotechnických podmínek jsou prezentovány v tab. I.1.

Dosavadní zkušenosti ukazují, že pokud je možné na základě geologických podmínek zajišťovat výrub s dostatečným odstupem za čelbou, je ražba pomocí razicího stroje bez pláště nejrychlejší (jelikož doba potřebná pro zajištění výrubu v tomto případě není zahrnuta do razicích cyklů). V případě použití tunelovacího stroje s jednoduchým pláštěm v takovýchto podmínkách se doba výstavby zvyšuje, jelikož segmentové ostění je ukládáno pod ochranou pláště a po dobu ukládání musí být ražba přerušena. V ideálních geologických podmínkách je výkon stroje s pláštěm o 40 % nižší. Na druhou stranu je použití stroje s pláštěm vhodnější v nepříznivých geologických podmínkách. V proměnlivých geologických podmínkách je ideálním řešením nasazení tunelovacího stroje s dvojitým štítem. Podmínkou pro mechanizovanou ražbu je, aby reakce sil vyvozovaných štítem byly spolehlivě přeneseny do stěn výrubu, nebo na konstrukci ostění. Je třeba přenést tíhu tunelovacího stroje a zatížení jeho pláště horninovým tlakem. Problém může představovat hmotnost rezné hlavy při přechodu přes poruchovou zónu, jelikož její hmotnost dosahuje až několik set tun, dále reakce od přítlačné síly a krouticího momentu působícího na reznou hlavu. Přenos sil je zajištěn následovně – u otevřených razicích strojů TBM rozepřením stroje do stěn výrubu, stroje s pláštěm se opírají o poslední prsteneček ostění a stroje s dvojitým štítem dokáží kombinovat tyto dva způsoby v závislosti na geologických podmínkách.

Tab. I.1 Vhodnost nasazení tunelovacího stroje vzhledem ke geologickým podmínkám

Geotechnická veličina		Horniny		Zeminy			
		masiv stabilní až rozpukaný	masiv rozpukaný až drobnivý	soudržné a stabilní	soudržné a nestabilní	smíšené podmínky	nesoudržné
Tlaková pevnost horniny	[MN/m ²]	50 až 300		1	0,1		
Tahová pevnost horniny	[MN/m ²]	5 až 25					
Hodnota indexu RQD	[%]	50 až 100					
Vzdálenost diskontinuit	[m]	> 0,6 až 2	0,06 až 0,6				
Soudržnost	[kN/m ²]			>30	5 až 30	5 až 30	
Rozložení zrnitosti	< 0,02 [%]			30	30		10
	< 0,06 [%]			>30	>30		
Otevřené TBM	nad HPV	vhodné	možné				
	pod HPV	vhodné	možné				
TBM se štítem	nad HPV	možné	vhodné				
	pod HPV	možné	(vhodné)				
Štít bez podpory čelby	nad HPV	možné	možné	vhodné			
	pod HPV	možné	(vhodné)				
Štít s mechanickou podporou čelby	nad HPV			možné	vhodné	vhodné	(možné)
	pod HPV						
Pneumatický štít	nad HPV						
	pod HPV				možné	vhodné	
Bentonitový štít	nad HPV	(možné)	možné				možné
	pod HPV					možné	vhodné
Zeminový štít	nad HPV						
	pod HPV			(možné)	vhodné	možné	(možné)

Při výběru vhodného tunelovacího stroje je vždy dobré uvažovat, jakými dodatečnými zařízeními by měl být vybaven, v případě že se skutečné podmínky na staveništi budou odchylovat od předpokládaných.

I.9.2 TBM do tvrdých hornin

TBM do tvrdých hornin bez štítu

Hlavní oblast nasazení razicího stroje (TBM) bez štítu leží od spojitých až po rozpukané pevné horniny, kde může být potlačen přítok puklinové vody. Pevnost v jednoosém tlaku horniny by měla činit 50 – 300 MPa. Vyšší pevnost, houževnatost a větší obsah tvrdých minerálů limitují ekonomické nasazení stroje (kritérium abrazivity - index CERCHAR¹ - CAI). Na druhé straně omezuje možnost použití TBM nutnost zachycení jeho rozpěrných desek do masivu. Další rozhodující vlastností horniny je její pevnost v příčném tahu, jejíž hodnota by měla ležet mezi 5 a 25 MPa. Dále se ještě zjišťuje hodnota RQD masivu, která by měla být 50 až 100 %, a vzdálenost diskontinuit větší než 0,6 m. Tyto hodnoty by měly zajistit

¹ Index CAI byl publikován v r. 1986 ústavem Centre d'Etudes et des Recherches des Charbonages de France.

bezpečné nasazení TBM bez štítu. V případě nižších hodnot RQD je stabilitu masivu třeba ověřit.

TBM do tvrdých hornin se štítem

Hlavní pole nasazení razicího stroje (TBM) se štítem je velmi široké od rozpukaných až drobných hornin s vyskytující se puklinovou vodou až po tvrdé horniny. Je velmi vhodné využít jeho vlastností při ražbě v tvrdých horninách, které obsahují poruchové zóny a u kterých se očekávají nutná stabilizační opatření ihned za čelbou. Pevnost horniny ve skále může být stejná jako v případě razicího stroje bez štítu, avšak soudržnost horniny je značně menší. V závislosti na tomto pak index RQD nabývá hodnot 10 až 50 %, to odpovídá vzdálenosti puklin 0,6 až 0,06 m. Obecně je vhodné nasazení stroje při hodnotách pevnosti v tlaku 5-50 MPa a pevnosti v příčném tahu 0,5-5 MPa. Rozsah nasazení razicího stroje s dvojitým štítem pak vychází z oblastí nasazení razicího stroje bez štítu a razicího stroje se štítem, které se na trase budoucího tunelu vzájemně kombinují.

I.9.3 Štíty

Štíty jsou nasazovány v zeminách s obsahem nebo bez obsahu podzemní vody. Štíty zpravidla obsahují zařízení pro tlakovou podporu čelby. Na základě použitého způsobu podpory čelby jsou stroje nasazovány v rozdílných podmínkách.

Štíty bez podpory čelby

Jejich použití je vhodné, pokud je čelba stabilní například v tuhých jílech. Řezná hlava rozmělnuje zeminu a ta je odvážena pomocí přepravníkových pásů. Tento typ stroje je nejčastěji nasazován do suchých a stabilních jíílů. Aby ani při ražbě v nízkém nadloží nevznikalo sedání povrchu, měla by pevnost zeminy v tlaku dosahovat hodnoty alespoň 1 MPa. Soudržnost zeminy by pak měla být vyšší než 30 kPa. Pouze v málo drobných horninách jsou akceptovatelné přítoky puklinové vody.

Štíty s mechanickou podporou čelby

Podpora čelby je prováděna pomocí uzavřené řezné hlavy, která se o čelbu opírá. Mezi paprsky řezné hlavy jsou elasticky uloženy podpůrné desky čelby. Rubanina putuje z čelby skrz mezery mezi paprsky a podpůrnými deskami do pracovní komory. Úroveň otevření mezer je možné regulovat. Kvůli soustavnému a celoplošnému kontaktu mezi řeznou hlavou a čelbou je pro pohon stroje vyžadován velký kroutící moment. U zemin inklinujících k tečení je však tato podpora nedostatečná a má za následek nadměrné sedání terénu. Kvůli celoplošné řezné hlavě mohou být lehce těženy nejčastěji suché zeminy. Problém představují větší valouny, které tento stroj velmi špatně zvládá. Soudržnost zeminy by se měla pohybovat mezi 5 a 30 kPa. Velikost pobíraných zrn je shora omezena velikostí mezer v řezací hlavě. Aby nedocházelo k sedání terénu, musí se velikost mezer v řezné hlavě a přítlak stroje regulovat.

Pneumatické štíty

Jejich použití je vhodné, pokud trasa ražby probíhá pod hladinou podzemní vody. Zařízením na podporu čelby pomocí stlačeného vzduchu se doplňují stroje bez podpory čelby nebo s mechanickou podporou čelby. Tlakovou podporu čelby je možné zajistit několika způsoby. Prvním způsobem je, že v části raženého tunelu je udržován přetlak (starší způsob, v tunelu musí být umístěna přetlaková komora), nebo je stroj vybaven těsnící tlakovou stěnou a následně je pod přetlakem udržována pouze pracovní komora. Velkou pozornost je třeba přikládat oběhu tlakového vzduchu přes izolaci na ocase stroje a ostění.

Tento typ štítu je výhodný v případě, pokud by předcházely dva typy štítů (bez podpory nebo s mechanickou podporou) musely pracovat pod hladinou podzemní vody. Jeho výhodou je lehká přizpůsobitelnost okolním podmínkám. Rozhodujícím kritériem pro nasazení toho stroje je dostatečně nízká propustnost podloží. Při vyšší propustnosti hrozí protržení nadloží, ztráta tlaku na čelbě a následný zával nebo zatopení. Pneumatické štítování lze použít v zeminách s propustností maximálně $k = 10^{-4}$ m/s. Minimální výška nadloží v případě ražby pod vodními toky musí být v závislosti na zpřesněných geologických podmínkách $h_{min} = D$ až $2D$ (D je průměr štítu).

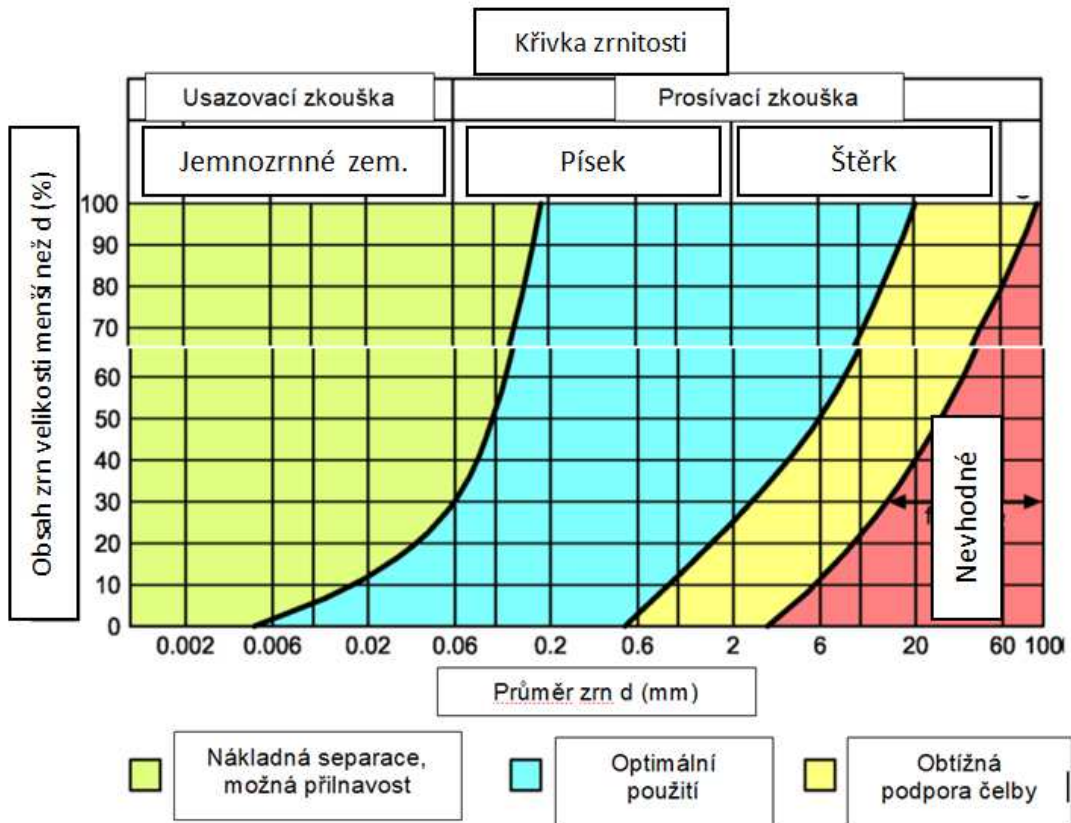
Bentonitové štíty

V případě tohoto štítu vytváří přítlak na čelbu kapalina. Na základě propustnosti konkrétního prostředí se volí vhodný druh kapaliny, jejíž hustotu nebo viskozitu je možné v průběhu ražby měnit. Nejlepší vlastnosti, jako podporující kapalina dle zkušeností vykazovala bentonitová suspenze.

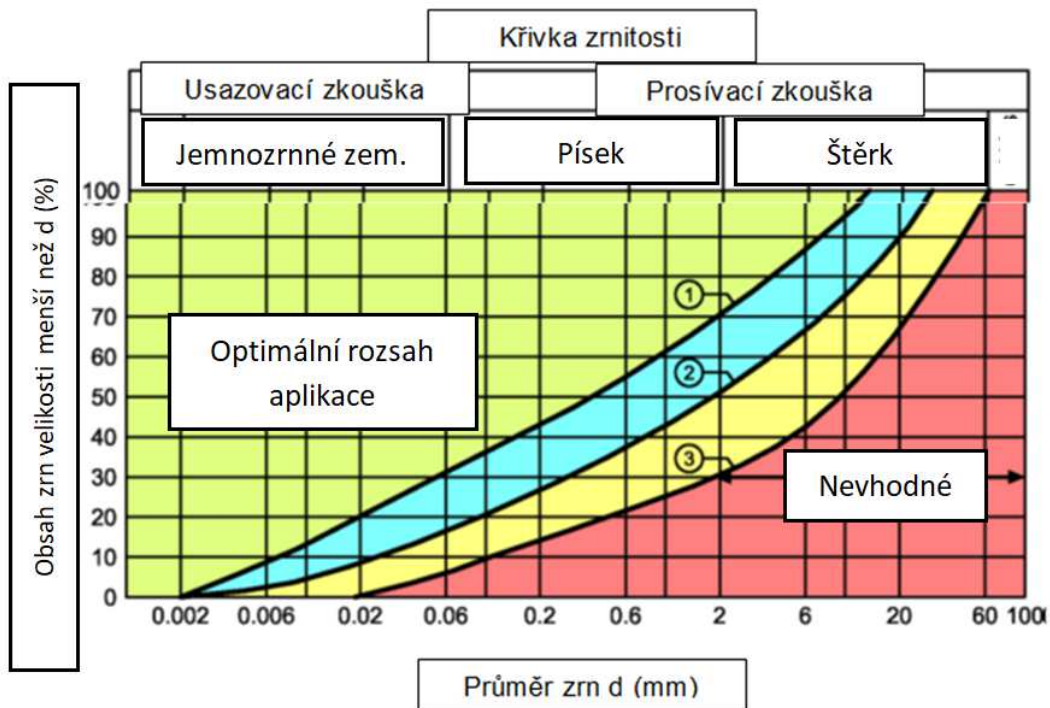
Bentonitový štít je používán (obr. I.1) v málo soudržných až nesoudržných zeminách i pod hladinou podzemní vody. Typickým místem nasazení jsou pískové nebo štěrkové zeminy. Avšak hrubozrnné štěrky zabraňují vytvoření kapalinové membrány (jsou příliš propustné). V případě vysoké propustnosti horninového masivu musí být podporující kapalina dle toho upravena. Větší kameny jsou pro transport potrubím zdrobňovány drtičem, který je součástí stroje. Procentuální zastoupení jemných zrn menších než 0,02 mm by se mělo pohybovat okolo 10 %. Větší obsah těchto částic může vést k problémům při následné separaci bentonitové suspenze a rubaniny.

Zeminové štíty

Zeminové štíty jsou vhodné především do prostředí s vyšším obsahem jemnozrnných částic (obr. I.2). Obsah jemných částic menších než 0,06 mm by měl ležet okolo 30 %. K vytvoření potřebného kašovitého prostředí v odtězovací komoře musí rozpojovaná zemina obsahovat vodu, nebo musí být voda dodatečně přiváděna. Docílení požadované konzistence je možné pomocí přidání vhodného zlepšujícího prostředku, jako jsou pěny, polymery nebo bentonit. Přidáním těchto prostředků se i účinně snižuje či likviduje lepivost rubaniny.



Obr. I.1 Rozsah nasazení bentonitového štítu v závislosti na zrnitosti zeminy



Obr. I.2 Rozsah nasazení zeminového štítu v závislosti na zrnitosti zeminy

Upravování zeminy je nutné pro index konzistence 0,4–0,75, přidává se voda, při indexu konzistence větším než 0,75 se přidává jíla, polymerová suspenze nebo pěna. Při propustnosti zeminy menší než 10^{-5} m/s a tlaku nižším než 2 bary se přidává rovněž jíla, polymerová suspenze nebo pěna. V případě propustnosti menší než 10^{-4} m/s se přidává bentonitová kaše, polymerová suspenze nebo pěna s polymerovými aditivami.

Štíty s možností změny způsobu podpory čelby

Většina tunelů prochází územím, kde jsou geologické podmínky po délce trasy proměnné – od skalních hornin až po zeminy. Proto je nutné v závislosti na geologických podmínkách měnit i způsob podpory čelby. Některé změny způsobu podpory nevyžadují přestavbu stroje a některé ano.

a) Stroje, u kterých není nutná přestavba:

- Zeminový štít na pneumatický štít
- Bentonitový štít na pneumatický štít

b) Stroje, u kterých je možná změna způsobu podpory čelby pouze pomocí přestavby:

- Bentonitový štít na štít bez podpory čelby
- Bentonitový štít na zeminový štít
- Zeminový štít na štít bez podpory čelby
- Bentonitový štít na razicí stroj se štítem

Překryv použití bentonitových štítů a zeminových štítů

V posledních letech se rozšířilo používání štítů, zejména pak štítů zeminových. Zeminové štíty byly původně navrhovány pro zeminy s obsahem jemných částic větším než 30%, ale díky pokroku v úpravách zemin jsou už také používány i pro tunelování v hrubozrnných zeminách.

Samotná zrnitost zeminy není jediným rozhodujícím faktorem pro volbu bentonitového nebo zeminového štítu. Dalším důležitým faktorem je přítomnost vrstev tvrdé horniny, nebo vrstev obsahující velké množství balvanů (z tvrdých balvanů je obtížné vytvořit potřebnou kašovitou konzistenci zeminy v odtěžovací komoře zeminového štítu). Další podmínky pro rozhodování jsou následující: okolí ražeb velmi citlivé na sedání, možnost přístupu pro údržbu na čelbu v podmínkách vysokého tlaku zeminy a vody, možnost použití stlačeného vzduchu pro zajištění rovnováhy na čelbě ve vysoce propustných zeminách nebo vysoké hydrostatické tlaky v hrubozrnných zeminách.

Výhody bentonitového štítu leží hlavně na straně snižování rizik, naproti tomu jeho nevýhodou je vyšší cena oproti zeminovému štítu. To způsobí, že je často nakonec zvolen zeminový štít z hlediska jeho menší finanční náročnosti. Zeminový štít je však mnohem citlivější na změnu geologických podmínek na čelbě, proto je nutné při jeho nasazení ve složitých podmínkách analýza rizik zvláště důležitá. Velmi vhodné se ukázalo spojit náklady na snížení počátečních rizik s náklady na případné odstraňování poruch. To může vést k výsledku, že použití bentonitového štítu se bude nakonec jevit jako ekonomičtější varianta.

Ve složitých geologických podmínkách by nemělo být rozhodnutí, který typ mechanizovaného štítu se má použít, ponecháno zcela na trhu. Ekonomický tlak totiž způsobuje, že některá rizika s ohledem na nákladnost jejich snížení jsou zanedbávána. V takovýchto oblastech je dále vhodné, aby analýzu rizik provedl sám investor a případně závazné použití bentonitového štítu k ražbě by obsahovaly již podmínky soutěže na výběr zhotovitele. U obou typů štítů je třeba při rozhodování mít na zřeteli jejich vlastnosti v různých podmínkách.

I.10. Požadavky na geologické sledování při mechanizovaných ražbách

I.10.1 Úvod do problematiky

Vyhodnocování zastižených geologických poměrů by se mělo skládat ze dvou dílčích částí. První část by měla být zaměřena na přímé sledování a vyhodnocování geologických poměrů, druhá část by měla být zaměřena vyhodnocení dat o provozu tunelovacího stroje.

Z důvodu přímé dokumentace geologických podmínek mohou být odebírány různé typy vzorků:

- Neporušené a nepromíchané - z masivu během geotechnického průzkumu
- Porušené a nepromíchané - z čelby během ražby (sběr těchto vzorků může vyžadovat vstup na čelbu za zvýšeného tlaku vzduchu – hyperbarické podmínky)
- Porušené a promíchané – z pracovní komory stroje, či z dopravníkového pásu během ražby

Pro účely geologického sledování by měly být vyhodnocovány vrty prováděné v rámci monitoringu (např. extenzometry a inklinometry), které jsou neporušené a nepromíchané. Z geotechnických vlastností by měly být sledovány především následující parametry:

- CAI (CERCHAR Abrasivity Index)
- UCS hornin (jednoosá pevnost hornin v tlaku)
- Přítoky podzemní vody
- Konzistence (porovnání s Atterbergovými konzistenčními mezemi)
- Objemová hmotnost horniny/rubaniny (pro odvození objemové hmotnosti insitu)

Dokumentace čelby by měla být prováděna v závislosti na typu tunelovacího stroje. Měl by být prováděn odběr vzorků a laboratorní stanovení fyzikálně-mechanických parametrů a CAI, zatřídění hornin, geologická dokumentace čelby, příčný a podélný řez s extrapolací do okolí a prognózou před čelbou, doplněno fotodokumentací. Také by měla být prováděna dokumentace rubaniny a dokumentace předstihových vrtů (pokud jsou realizovány).

Dalším bodem dokumentace geologických podmínek je monitoring přítoků vody, což v případě štítů se zapaženou čelbou souvisí s použitým módem ražby.

Pokud je možná vizuální kontrola čelby, probíhá kontrola vzniku nadvýlomu na čelbě a v oblasti nad řeznou hlavou vizuálně (otevřený, případně i částečně uzavřený mód ražby). Pokud není možná vizuální kontrola (uzavřený, případně i částečně uzavřený mód ražby), vychází identifikace nadvýlomu z bilance těžných hmot (porovnání váhy skutečně těžené zeminy a váhy předpokládaného množství těžené zeminy pro určitý délkový postup ražby).

I.10.2 TBM do tvrdých hornin

TBM do tvrdých hornin bez štítu

Geologické sledování ražeb prováděných TBM do tvrdých hornin bez štítu a s ostěním ze stříkaného betonu (nebo bez ostění) by mělo zahrnovat dokumentaci horninového prostředí následujících oblastí:

- Oblast řezné hlavy: především dokumentace skrze otvory v řezné hlavě pro účely oprav a údržby hlavy – zpravidla jde o kruhové průřezy o průměru cca 80 cm; dále skrze otvory začišťovacích dlát a otvory řezných disků
- Oblast za řeznou hlavou, kde by měl být horninový masiv přístupný po celém obvodu provedeného výrubu
- Dokumentace rubaniny na přepravním pásu

Dokumentace čelby v prostoru řezné hlavy v daném případě nehraje tak důležitou roli jako v případě TBM do tvrdých hornin se štítem a se segmentovým ostěním, kde je zpravidla přístup k horninovému masivu za řeznou hlavou značně omezený.

TBM do tvrdých hornin se štítem

Geologické sledování ražeb prováděných TBM do tvrdých hornin se štítem a se segmentovým ostěním by mělo zahrnovat dokumentaci horninového prostředí následujících oblastí:

- Oblast řezné hlavy: především dokumentace skrze otvory v řezné hlavě pro účely oprav a údržby hlavy – zpravidla jde o kruhové průřezy o průměru cca 80 cm; dále skrze otvory začišťovacích dlát a otvory řezných disků
- Oblast teleskopického štítu (pokud se jedná o dvojitý štít): otvory ve štítu, v případě zatažení teleskopického štítu dokumentace kompletního horninového prstence
- Otvory v segmentech: dokumentace skrze otvory v segmentech prvního prstence za štítem (otvory v segmentech mohou být osazeny závitem s víkem a slouží k injektáži prostoru mezi prstencem a horninovým masivem)
- Dokumentace rubaniny na přepravním pásu

Dokumentace čelby v prostoru řezné hlavy představuje nejdůležitější referenční oblast pro stanovení procentuálního zastoupení horninových typů a celkové posouzení chování systému. Zbývající oblasti pak slouží jako doplňující podklad a ověření chování systému.

Před samotným vykloněním se k čelbě je nutné se přesvědčit o stabilitě čelby, čili o přítomnosti volných bloků, vzniku odprysků apod. Vzhledem ke stísněnému prostoru a časovému omezení na dokumentaci je nutné jednat rychle a současně opatrně. Nejprve by čelba měla být fotografována v různých na sebe kolmých směrech pohledu. Viditelné strukturní prvky je třeba popsat, jejich orientace a sklon by měly být odhadovány, jelikož geologický kompas zpravidla nelze použít z důvodu magnetického pole tunelovacího stroje. Pevnost horniny by měla být ověřena geologickým kladivem nebo jiným způsobem. Z prostoru komory by mělo být možné zkontrolovat zanesení štítu stroje. Po ukončení dokumentace čelby by měla následovat dokumentace v teleskopické části štítu (pokud jde o dvojitý štít) a v dalším kroku kontrola otvorů v segmentech ostění a mezery mezi prstencem a horninovým masivem jednoho až dvou prstenců přístupných hned za štítem stroje. Kontrola by měla být provedena pro odhalení nadvýlomů, rozvolnění horninového masivu a

dosednutí větších bloků na prstenec, což teoreticky může zapříčinit vznik trhlin v segmentech.

I.10.3 Štíty

Štíty bez podpory čelby

Geologické sledování ražeb prováděných štíty bez zapažení je obdobné jako při konvenčních ražbách, geolog může vizuálně zkontrolovat celou čelbu, navíc lze také vizuálně kontrolovat rozpojování horninového masivu, které zpravidla je realizováno pomocí rypadla nebo frézy.

Štíty s mechanickou podporou čelby

Podpora čelby je prováděna pomocí uzavřené řezné hlavy, která se o čelbu opírá. Geologické sledování ražeb prováděných by mělo zahrnovat dokumentaci horninového prostředí následujících oblastí:

- Oblast řezné hlavy: především dokumentace skrze otvory v řezné hlavě, skrze otvory začišťovacích dlát a otvory řezných disků
- Otvory v segmentech: dokumentace skrze otvory v segmentech prvního prstence za štítem
- Dokumentace rubaniny na přepravním pásu

Štíty s podporou čelby pomocí tlakového media

Geologické sledování ražby může být realizováno při zastavení stroje odběrem vzorků horninového masivu na čelbě (porušené a nepromíchané) a během ražby odběrem z dopravníkového pásu (porušené a promíchané).

Dokumentace čelby by měla být prováděna při technologických přestávkách (např. při instalaci ostění nebo výměně řezných nástrojů). Měl by být prováděn odběr vzorků a laboratorní stanovení fyzikálně-mechanických parametrů a CAI, zatřídění hornin, geologická dokumentace čelby, příčný a podélný řez s extrapolací do okolí a prognózou před čelbou, doplněno fotodokumentací. Také by měla být prováděna dokumentace rubaniny a dokumentace předstihových vrtů (pokud jsou realizovány).

Dalším bodem dokumentace geologických podmínek je monitoring přítoků vody, který by měl být prováděn rozdílně v závislosti na aktuálním módu ražby:

- Otevřený mód umožňuje přímá měření přítoků vody. V případě zjištění vyšších přítoků je nutné přejít do částečně uzavřeného či uzavřeného módu, pokud to použitý typ tunelovacího stroje umožňuje.
- Částečně uzavřený mód umožňuje určení přítoků vody na základě výstupů ze systému pro sledování ražby, protože jedním z vyhodnocovaných dat by měla být zdánlivá objemová hmotnost rubaniny v těžební komoře stroje. Na základě tohoto parametru je možné nepřímo monitorovat přítoky do prostoru komory stroje. V případě zjištění vyšších přítoků je možné aplikovat zvýšení podpůrného tlaku či přechod do uzavřeného módu.
- Uzavřený mód by měl zcela zamezit přítokům vody.

Pokud je možná vizuální kontrola čelby, probíhá kontrola vzniku nadvýlomu na čelbě a v oblasti nad řeznou hlavou vizuálně (otevřený, případně i částečně uzavřený mód ražby).

Pokud není možná vizuální kontrola (uzavřený, případně i částečně uzavřený mód ražby), vychází identifikace nadvýlomu z bilance těžných hmot (mas). Bilance mas sleduje na základě výstupů ze systému pro sledování ražeb množství rubaniny. To je stanovováno pomocí vah na pásovém dopravníku (sledována váha) a scannerů na pásovém dopravníku (sledován objem). Zpravidla je doporučeno stroj vybavit dvěma váhami, aby se snížila pravděpodobnost jejich chybových hlášení a výsledky měření jedné váhy byly ověřitelné. Pravidelná kalibrace těchto zařízení pomocí odebraných vzorků je nutná. Změřené množství by mělo být srovnáváno s teoretickým výrubem v rámci systému pro sledování ražby. Srovnání by mělo probíhat v reálném čase a měly by být srovnávány jednak množství za vyrubaný prstenec (záběr) a také trendy v průběhu sumační křivky hmotnosti (objemu) rubaniny. Čistý objem vyraženého masivu by měl být vypočítán měřením objemu vytěženého materiálu a odečtením objemu vzniklého nakypřením rubaniny a objemu vzniklého přidáváním kondicionovacích prostředků. To lze porovnat s teoretickým vytěženým objemem vypočteným z průměru řezné hlavy tunelovacího stroje a délky zdvihu posuvných lisů během cyklu. Čistá hmotnost vyrubaného materiálu může být vypočtena měřením hmotnosti vytěženého materiálu a odečtením hmotnosti kondicionovacích prostředků. To může být srovnáno s teoretickou hmotností vytěženého materiálu, vypočítanou z teoretického vytěženého objemu, a in-situ objemové hmotnosti rubaniny. Popsaná srovnání představují postup pro identifikaci možného nadvýlomu.

I.10.4 Předstihový průzkum

Při mechanizovaných ražbách je možné provádět předstihový průzkum a následnou prognózu geologických a geotechnických podmínek ražeb. Předstihový průzkum se provádí spíše u delších tunelů s vyšším nadložím. Cílem by měla být především identifikace významných tektonických poruch či poruchových zón a zdrojů přítoků podzemní vody. Metody používané pro tyto účely zahrnují jak geofyzikální metody, tak rotační příklepové předvrty, lze používat i jádrové vrty.

Z geofyzikálních metod lze např. využít seismický systém prognózy TSWD (tunnel seismic while drilling), kdy tunelovací stroj je využíván jako zdroj seismických vln. Geofony osazené v radiálních vrtech hloubky 10 m, ve třech profilech o vzájemné osové vzdálenosti cca 150 - 250 m, přijímají tyto seismické vlny. Data by měla být vyhodnocována denně s prognózou na vzdálenost cca 100 m před čelbu tunelu. Přirozeně je možné využít i další geofyzikální metody v závislosti na předpokládaných geologických podmínkách a cílech daného průzkumu.

Předvrty realizované rotačně-příklepovým vrtání představují důležitou metodu předstihového průzkumu. Standardně je prováděn přibližně subhorizontální předvrt skrze vrtné prostupy v plášti stroje. Předvrt by měl být realizován v závislosti na poznacích geofyzikálního průzkumu a jejich doporučení (pokud je geofyzikální průzkum prováděn). Přítomnost geologa a celková dokumentace realizace předvrty by měla být součástí geologické dokumentace in-situ. Ta by měla zahrnovat petrografický popis výnosu z vrtu zachytávaném na síti. Na základě charakteru rozvrtané horniny a pozorované rovnoměrnosti rychlosti vrtání lze odhadnout stupeň rozpukanosti horninového masivu. Ze zvýšeného zakalení vrtného výplachu, výrazně nerovnoměrného průběhu vrtání a úlomků hornin na síti (nebo z jejich úplné absence) lze usuzovat na zastížení poruchové zóny a odhadnout její charakter. V případě přítoků podzemní vody do vrtu by měl být prováděn odběr a popis vzorků vody. Po ukončení předvrty by měla být geologická dokumentace porovnána a vyhodnocena s ohledem na data z vrtné soupravy (tj. rychlost vrtání, příklep, tlak vody, přítlak vrtné soupravy apod.) a měla by být součástí prognózy chování horninového masivu na ražbu v příslušném

úseku tunelu. V případě zastižení významné poruchové zóny by nejprve tato zóna měla být prostorově ověřena dalšími vrty, aby se v případě nutnosti přistoupilo k vrtu jádrovému skrze řeznou hlavu. Další metodou pro odhad charakteru materiálu výplně dané zóny mohou být vodní tlakové zkoušky. Pokud dojde k zastižení výrazně zvodnělých poruch (např. přítok do vrtu cca 20-30 l/s), měly by být realizovány další vrty z důvodu odvodnění horninového masivu. Ze vzorků získaných z jádrových vrtů by měly být provedeny laboratorní zkoušky jednoosé pevnosti v tlaku (UCS), abrazivity horniny (CAI - CERCHAR Abrasivity Index), případně i další potřebné zkoušky.

I.10.5 Vyhodnocování údajů z tunelovacího stroje

Moderní tunelovací stroje zpravidla obsahují řadu složitých součástí a zařízení. Jejich kontrola a řízení je prováděna na základě měření ze senzorů, jimiž je stroj vybaven. Tyto senzory zajišťují nepřetržité monitorování stavu stroje a podmínek ražby. Na základě soustavného vyhodnocování dostupných dat sbíraných z tunelovacího stroje je možné lépe interpretovat a predikovat geologické podmínky ražby. V rámci monitoringu mechanizovaných ražeb jsou sledovány a vyhodnocovány hlavní technické parametry plnoprofilového tunelovacího stroje. Mezi tyto hlavní parametry stroje patří především:

- směrové a výškové vedení (odchylky od teoretické osy tunelu)
- kroutící moment
- přítlak (tlak na čelbě), tlak na jednotlivých lisech
- rychlost penetrace
- množství vytěžené rubaniny (stanoveno jejím vážením)
- injektážní tlaky a množství injektáže (do prostředí čelby, pláště, rubu ostění).

Uvedené údaje slouží mimo jiné nepřímému sledování geologických podmínek, což je prováděno zejména na základě sil měřených mezi strojem a masivem. Důležitá je například závislost mezi hloubkou penetrace řezné hlavy za otáčku a čisté síly působící na řezné nástroje. Dalším důležitým ukazatelem je závislost hloubky penetrace řezné hlavy během jedné otáčky a nutného točivého momentu při určitých otáčkách řezné hlavy za minutu. Tyto závislosti jsou kvantifikovány do specifické řezné energie stroje a penetračního indexu. Na základě kombinace znalostí z obou dílčích systémů je možné odvozovat skutečné geotechnické podmínky masivu.

I.10.6 Stanovení technologických tříd nebo módů ražby

Rozdělení tunelu po jeho délce na kvazihomogenní celky a na technologické třídy (nebo módy ražby v případě štítů s podporou čelby) v závislosti na předpokládaných geotechnických podmínkách je prováděno v projektové přípravě díla. Technologické třídy a související opatření se stanovují zejména na základě předpokládaných geotechnických podmínek, norem, zkušeností, místních zvyklostí, parametrů stavebního díla, statických výpočtů apod.

Předpokládané rozdělení technologických (nebo módů ražby) po délce tunelu je jedním z hlavních podkladů při stanovení harmonogramu a cenové nabídky budoucího zhotovitele. Zhotovitel ve své nabídce stanoví na základě svých znalostí a zkušeností plánované rychlosti ražby v jednotlivých třídách (módech), obvykle v jednotkách m/den. Uzavřením smlouvy o dílo mezi objednatelem a zhotovitelem se stávají plánované rychlosti ražby v

jednotlivých třídách, časový postup ražeb, harmonogram a cenová nabídka závaznými ve vztahu k definovaným třídám ražby. Je proto důležité, aby tyto rychlosti postupu a další podrobnosti byly součástí nabídek.

Je nutné, aby technologické třídy (módy ražby) a postupy jejich určování byly stanoveny jednoznačným způsobem v projektové dokumentaci, nabídce a smlouvě o dílo. Tím je dán základ pro snadnější a přesnější zařizování v průběhu výstavby.

Při ražbách pomocí tunelovacích strojů typu TBM do tvrdých hornin bez štítu je vhodné a obvyklé provádět zařizování do technologických tříd, které se liší způsobem zajištění (vzdálenost příhradových rámců, délka a počet svorníků, atd.). Metody pro zařizování by měly být stanoveny v závislosti na geologických podmínkách, přístupy k zařizování se na různých projektech výrazně liší, tudíž nelze doporučit jednotný postup. Některé parametry horninového masivu je možné zohledňovat a proplácet odděleně bez ohledu na technologickou třídu (např. abrazivita nebo lepidivost). Při ražbách pomocí štítů s podporou čelby by se rozhodnutí o módu ražby mělo odvíjet od stability čelby, od hydrogeologických poměrů a od požadavků na přípustné sedání nadloží (tj. při mělkých ražbách pod zástavbou by měl být vzhledem k bezpečnosti používán uzavřený mód).

I.11. Běžné chyby při provádění a vyhodnocení geotechnického průzkumu

Při provádění a vyhodnocení geotechnického průzkumu se nejčastěji vyskytují následující chyby:

- Příliš krátkými vrty není zjištěna hloubka povrchu skalního podkladu nebo vhodná hloubka pro výškové vedení nivelety tunelu, nebo nejsou zjištěny jiné pro stavbu důležité strukturní prvky horninového masivu.
- Chybnou technologií vrtání dojde k poškození horniny, následně pak neporušená hornina může být chybně popsána jako porušená.
- Může dojít k opomenutí poruchových oblastí nebo jiných významných ploch nespojitostí, které jsou nedostatečně charakterizovány (strukturní vlastnosti, mechanické vlastnosti povrchů diskontinuit, výplně diskontinuit, hydrogeologické vlastnosti).
- Špatným odběrem neporušených vzorků, chybami při jejich ošetření, při dopravě a přípravě i nekvalitním provedením laboratorních zkoušek mohou být zjištěny příliš nízké deformační moduly a smykové pevnosti hornin, které pak vedou ke konzervativnímu návrhu ražeb.
- Ke zkouškám z vrtných jader mohou být vybrány pouze nejkvalitnější vzorky, což může vést k přecenění pevnosti i deformačních modulů zkoumané horniny.
- Terénní zkoušky jsou prováděny ve vrtech hloubených nevhodnou technologií, čímž dochází k podcenění přetvárných vlastností horninového masivu.
- Může dojít k nevhodnému stanovení vodního režimu, ustálená poloha hladiny podzemní vody byla zjišťována krátkodobě (např. pouze v období sucha). To může způsobit nesprávný předpoklad hydrostatického tlaku.
- Nedostatečná komplexnost průzkumu nebo nevhodné umístění vrtů mohou vést ke zvýšenému nebezpečí neočekávaného zastižení poruchové zóny, dalšího typu hornin nezjištěné průzkumem, odlišných technologických tříd, odlišné vrtatelnosti a těžitelnosti hornin atd.
- Pokud po realizaci geotechnického průzkumu dojde ke změně směrového nebo výškového vedení tunelu, tak pro novou polohu tunelu mohou být chybně předpokládány geologické poměry stanovené průzkumem pro původní trasu.

I.12. Schvalování realizační dokumentace a výsledků geotechnického průzkumu

Odsouhlasení realizační dokumentace a výsledků geotechnického průzkumu stavby nebo provede objednatel před a po ukončení základních etap geotechnického průzkumu. Vyslovení souhlasu s provedenými přípravnými a průzkumnými pracemi je současně pokyn k jejich pokračování. Aktem odsouhlasení se ale zhotovitel geotechnického průzkumu nezbavuje odpovědnosti vyplývající ze závazků smlouvy o dílo. Požaduje-li objednatel provést odsouhlasení fází nebo částí geotechnického průzkumu, je tento požadavek uveden. Vyskytne-li se v průběhu zpracování geotechnického průzkumu problém, jehož řešení má zásadní vliv zejména na technickou nebo ekonomickou úroveň průzkumu, musí zhotovitel průzkumu požádat objednatele o urychlené projednání a odsouhlasení navrženého řešení. Doklady o odsouhlasení realizační dokumentace nebo výsledků geotechnického průzkumu zařadí zhotovitel dokumentace nebo průzkumu do dokladové části dokumentace.

II. POSUZOVÁNÍ ROZSAHU A OBSAHU PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE

II.1. Úvod do problematiky

Na začátku této části je třeba stručně okomentovat rozdíly mezi požadavky na konvenční ražby a na mechanizované ražby pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů. Pro konvenční ražby v ČR i v zahraničí je nejčastěji používána Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM), která patří mezi observační metody. To znamená, že předem navržené technologické třídy zajištění výrubu jsou aplikovány dle skutečně zastižených inženýrsko-geologických podmínek se zohledněním výsledků geomonitoringu. NRTM umožňuje velmi výraznou flexibilitu způsobu ražby (délka záběru, členění čelby, mocnost primárního ostění, délka a rozteč svorníků, počet vrstev ocelových sítí, možnosti zajištění čelby a přístropí, injektáže, atd.). Naopak mechanizovaná ražba pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů obecně není považována za observační metodu. Tento přístup však není zcela přesný, daný způsob ražby také zohledňuje zastižené inženýrskogeologické podmínky a výsledky geomonitoringu, jen možnosti úprav způsobu ražby jsou výrazně omezenější. U ražby pomocí tunelovacích štítů lze změnit mód ražeb (otevřený, polouzavřený nebo uzavřený), v případě uzavřeného módu lze měnit velikost podpůrného tlaku na čelbu a na plášť a injektážní tlak za segmenty, a také lze používat různě vyztužené segmenty. U ražby pomocí TBM do tvrdých hornin lze upravovat mocnost ostění ze stříkaného betonu, délku a rozteč svorníků, počet vrstev ocelových sítí, atd.). Plnoprofilové tunelovací stroje obecně také umožňují využití předstihových opatření, jako jsou injektáže nebo mikropilotové deštníky.

Díky uvedenému přístupu platí u konvenčních i mechanizovaných ražeb, že plánovanou liniovou stavbu je třeba předem rozdělit podle předpokládaného geologického prostředí na kvazihomogenní celky, kterým jsou před vlastní ražbou přiřazeny technologické třídy (módy ražby). Dané technologické třídy (módy ražby) by během ražby (konvenční i mechanizované) měly být aplikovány a případně upravovány dle skutečně zastižených inženýrsko-geologických podmínek a se zohledněním výsledků geomonitoringu.

II.2. Požadavky na studii

Projekt ve fázi studie by měl vycházet z vyhodnocení geotechnických podmínek stavby (tj. vyhodnocení inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů). Při trasování dopravních staveb je prioritou zajištění obslužnosti území a směrové i výškové vedení trasy z hlediska dopravy. Geotechnické poměry však mohou výrazným způsobem ovlivňovat jak rizika při výstavbě, tak výši investičních nákladů. Proto by vedení trasy mělo být navrženo ve spolupráci s geotechnikem. Vyhodnocení by mělo být provedeno na základě rešerše archivních materiálů včetně dostupných inženýrsko-geologického map, případně i na základě orientačního geotechnického průzkumu. Měla by být zohledněna mapa krajinářského vyhodnocení zón záplavových území, mapa chráněných ložiskových území, mapa dobývacích prostorů, mapa ochranných pásem vodních zdrojů a jiných ochranných pásem, evidence ložisek vyhrazených a nevyhrazených nerostů, atd.

Připravovaný tunel by měl být navržen ve variantách. Studie by s ohledem na bezpečnost ražeb měla obsahovat průkaz realizovatelnosti tunelu a porovnání jednotlivých variant řešení. Studie by měla být vypracována pouze do podrobností nutných pro návrh umístění tunelové stavby. Studie by měla umožnit odhad investičních nákladů a určení základních charakteristik stavby, které umožňují zjistit důležité podmiňující předpoklady a vlivy na životní

prostředí, a které jsou podkladem pro hodnocení variant. Studie tunelu by měla být zpracována společně se studií celkové trasy. Již ve fázi studie by měly být zahájeny úvahy o technologii ražby tunelu (konvenční nebo mechanizovaná ražba). Podkladem k tomuto rozhodování by měla být podrobná geologická a geotechnická rešerše zájmového území, na jejímž základě by měly být uvedeny předpokládané inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry. Přirozeně kromě předpokládaných geotechnických podmínek jsou úvahy o možnosti nasazení plnoprofilových tunelovacích strojů ovlivněny i dalšími důležitými faktory (celková délka připravovaného tunelu nebo více tunelů, výhodnost kruhového profilu pro předpokládaný účel tunelu, možnost ovlivnění objektů či sítí v okolí tunelu (zóně ovlivnění), poloha a velikost předpokládaných záborů, atd.). Studie by měla umožňovat zpracování posudku vlivu stavby na životní prostředí (EIA).

Studie tunelové stavby by měla obsahovat následující položky:

Zprávy

- cíle a rozsah studie
- použité podklady (např. inženýrskogeologické mapy, mapa krajinářského vyhodnocení zón záplavových území, mapa chráněných ložiskových území, mapa dobývacích prostorů, mapa ochranných pásem vodních zdrojů a jiných ochranných pásem, evidence ložisek vyhrazených a nevyhrazených nerostů, další dostupné informace o geotechnických poměrech, atd.)
- popis navržených variant trasového vedení tunelu s vymezením oblastí se složitými geotechnickými poměry (sesuvy, poddolování, atd.)
- předpokládané inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry tunelu
- základní prognóza účinků stavby na životní prostředí a na objekty v zóně ovlivnění
- ekonomické porovnání navržených variant
- seznam a kvantifikace předpokládaných rizik (riziková analýza)
- závěrečná doporučení, požadavků na další průzkumy, které je nutno zpracovat pro další stupeň dokumentace

Výkresová dokumentace

- přehledná situace navržených variant trasy M 1 : 50 000
- vzorové příčné řezy tunelu M 1 : 200
- situace navržených variant trasy tunelu M 1 : 5 000
- podélné řezy jednotlivých variant M 1 : 2 000/200 (včetně základních geotechnických údajů a rámcových návrhů technologie výstavby)

Požadavky na způsob předání dokumentace

Všechny zprávy by měly být předány objednateli v plném rozsahu ve formátu PDF. Všechny výkresy by měly být předány objednateli v plném rozsahu v otevřené formě ve formátu DWG nebo DXF. Veškerá ostatní dokumentace, zpracovaná v rámci studie, by měla být předána objednateli ve formátu PDF nebo DWF, pokud není objednatelem požadována otevřená forma dokumentace (DOC, XLS, apod.).

Nezávislá kontrola dokumentace

Projektová dokumentace ve fázi studie by měla být kontrolována odborným znalcem jmenovaným ČBÚ, případně dalšími experty pracujícími pro zadavatele tunelové stavby. Správné koncepční řešení tunelové stavby výrazně snižuje možná rizika při realizaci ražeb.

II.3. Požadavky na dokumentaci pro územní rozhodnutí (DÚR)

Dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) by měla vycházet z projektu ve fázi studie (včetně využitých podkladů), z územně plánovací dokumentace, z dokumentace o hodnocení vlivu stavby na životní prostředí a z provedeného předběžného geotechnického průzkumu. Měly by být zohledněny údaje o poloze inženýrských sítí a povrchové zástavbě v zóně ovlivnění, případně specifické podmínky objednatele. U dopravních tunelů je třeba také zohlednit návrh směrového a výškového vedení trasy, návrh příčného uspořádání, dopravně-inženýrské údaje, atd.

Nejdůležitějším cílem projektové dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) by měla být optimalizace technického řešení pro zvolenou variantu vedení trasy z hlediska bezpečnosti a nákladů výstavby tunelu. Na základě upřesnění informací o geotechnických poměrech v trase díla a rozpracování technického řešení musí dojít k určení definitivního výškového a směrového vedení trasy, zejména s ohledem na vhodné umístění portálů, dostatečnou výšku nadloží nebo zjištěné tektonické poruchy, které by mohly výrazně zkomplikovat výstavbu a vést k nárůstu nákladů výstavby.

Dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) musí určit základní parametry technického řešení, stanovit základní technologii výstavby (konvenční nebo mechanizovaná ražba, případně kombinace těchto základních způsobů), nároky na demolice, požadavky na zajištění geomonitoringu a průzkumů, atd.

Trvalé a dočasné zábory nutné pro výstavbu, provoz a údržbu díla musí být vyřešeny v dokumentaci pro územní rozhodnutí (DÚR). Hranice dočasných a trvalých záborů pozemků by měla být podrobně definována se zohledněním možností technologie výstavby tunelu, se zohledněním provizorních a definitivních sítí (včetně kabelových) a se zohledněním bezpečnosti vlastní výstavby. Musí být stanoven rozsah stavebních jam, dotčených přeložek inženýrských sítí, ploch zařízení stavenišť, včetně dočasných skládek, přístupové cesty a komunikace, možnost odvodnění (i povrchového), oplocení stavby, provádění výkopů a zpětných zásypů, včetně přístupu na jednotlivé etáže výkopu nebo zásypu.

Mechanizovaná ražba pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů ve srovnání s konvenční ražbou klade vyšší nároky na prostor, kapacitu staveniště a jeho vybavení, a to jak ve fázi přípravných prací (montáže zařízení pro výstavbu), tak ve fázi provádění vlastních ražeb. Vzhledem k rozměrům tunelovacích strojů je nutné připravit volné plochy pro dočasné uložení jednotlivých přivezených částí strojní sestavy, plochy pro montáž a pokud možno i dostatečný prostor před portálem. Délka tunelovacího stroje připraveného pro ražbu může být vyšší než sto metrů. V omezených podmínkách zařízení staveniště je také možné zahájit ražbu tunelovacím strojem, ale má to negativní vliv na harmonogram a cenu výstavby.

Mechanizovaná ražba pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů má také značné nároky na skladovací prostory, ať už pro segmentové ostění, pro provozní kapaliny, hydraulické oleje, chemii pro ražbu, atd. Vzhledem k vyšší rychlosti ražby jsou také zpravidla vyšší nároky na prostor pro mezideponii rubaniny. Často bývá součástí zařízení staveniště i výrobní prefabrikovaných segmentů ostění. Nedílnou součástí mnoha projektů je i konsignační sklad

náhradních dílů, který je nezbytný v případě větší dopravní vzdálenosti od skladů či továrny výrobce tunelovacího stroje.

Také může být třeba umístit na zařízení staveniště další technologické jednotky - např. chladič věže (výparník tepla z chladičského okruhu od stroje), rozpínací a trafostanice, zásobník pásového dopravníku (horizontální nebo věžový), myčka pásového dopravníku, ventilátorová stanice, míchací centrum pro výplňovou maltu, separační jednotka pro bentonitovou suspenzi, kompresory pro dýchatelný vzduch (pro práci lidí v přetlaku vzduchu), kolejová i svislá doprava a další.

Na základě výpočtů a odborného odhadu by měly být v dokumentaci pro územní rozhodnutí (DÚR) stanoveny zóny poklesů, zóny sledování, zóny ovlivnění s ohledem na vyvolané deformace nadloží, seizmické účinky, ovlivnění režimu podzemních vod atd. Dané zóny by měly být zakresleny do základní koordinační situace. V zóně ovlivnění by před odevzdáním dokumentace měla být provedena inventarizace dotčených objektů s ohledem na typ konstrukce a citlivost na případné negativní účinky ražby.

V rámci přípravy dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) by měly být vypracovány detailní požadavky na podrobný geotechnický průzkum určený pro zpracování dalšího stupně projektové dokumentace. Pro předpokládané geotechnické poměry a očekávané chování horninového masivu při ražbě by měla být připravena základní koncepce měření a sledování realizovaného v rámci geomonitoringu (včetně požadavků na záměry).

Průzkumy a doprovodné studie (např. vizualizace) související s dokumentací pro územní rozhodnutí (DÚR) by měly být dokladovány v samostatné části dokumentace.

Dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) tunelů by měla obsahovat:

Zprávy

- základní údaje včetně záborů
- důvody výběru vedení trasy a tunelu z navržených variant
- podrobné vyhodnocení předběžného geotechnického průzkumu s doporučením pro další fáze projektové přípravy a realizace díla;
- návrh technologie výstavby a popis stavebního řešení
- koncepce organizace výstavby
- uvedení požadavků na vodotěsnost tunelu
- seznam a kvantifikace předpokládaných rizik (riziková analýza) při výstavbě
- soupis doprovodných dokumentací
- přehled průzkumů, které je nutno zpracovat pro další stupeň dokumentace

Statické výpočty

- zjednodušený výpočet ostění pro předpokládaná zatížení a jejich kombinace (při dvouplášťovém ostění je třeba posoudit obě ostění)
- výpočet sedání nadloží a šířky poklesové kotliny
- výpočet deformací výrubu s ohledem na návrh tunelovacího stroje

Výkresová dokumentace

- přehledná situace M 1 : 5 000 (2 000)
- koordinační situace M 1 : 1 000 (včetně zakreslení všech zón, hranice dočasných a trvalých záborů pozemků, hrany stavebních jam a předzářezů, ploch zařízení staveniště a trvalých ploch, včetně příjezdových staveništních a trvalých komunikací, vedení všech tras sítí, atd.)
- vzorové příčné řezy M 1 : 100
- podélné řezy s geotechnickými údaji relevantními pro předpokládanou tunelovací metodu a technologií postupu výstavby M 1 : 2 000/200
- charakteristické příčné řezy s geotechnickými údaji a se zakreslením objektů a ochranných zón M 1 : 200 (včetně řezů v místech stavebních jam a předzářezů se zakreslením způsobu zajištění stability)
- výkresy ostatních stavebních objektů M 1 : 100
- geotechnický monitoring, návrh vzdálenosti měřických profilů, sledované veličiny

Požadavky na způsob předání dokumentace

Všechny zprávy a statické výpočty by měly být předány objednateli v plném rozsahu ve formátu PDF. Všechny výkresy by měly být předány objednateli v plném rozsahu v otevřené formě ve formátu DWG nebo DXF. Veškerá ostatní dokumentace by měla být předána objednateli ve formátu PDF nebo DWF, pokud není objednatelem požadována otevřená forma dokumentace.

Dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) tunelů by měla splňovat následující požadavky:

- na základě rizikové analýzy by měly být definovány možné scénáře rizik spojených se stupněm prozkoumanosti zájmového území, volbou předpokládané tunelovací metody, rozpracovaností technického řešení, atd. Riziková analýza by měla uvést seznam (registr) předpokládaných rizik, ohodnocení jejich míry (pravděpodobnost výskytu, závažnost dopadu) a návrh opatření pro zmírnění rizik.
- měly by být uvedeny možné úpravy technického řešení s ohledem použití observačních principů a s ohledem na zpřesnění geotechnické prognózy na základě podrobného geotechnického průzkumu (úprava/upřesnění polohy ražených portálů, rozsahu stavebních jam v rámci záboru pozemků a způsobu zajištění jejich stability apod.).
- mělo by být dokladováno vlastní technické řešení (situační výkres, podélný profil a charakteristické příčné řezy s vyznačenou geologickou stavbou horninového masivu a jeho předpokládanými geotechnickými vlastnostmi a parametry, vzorové příčné řezy, řešení zajištění portálů, včetně osazení do terénu, předpokládané základní dimenze ostění, způsob zajištění vodonepropustnosti ostění, koncepce provizorního a definitivního odvodnění tunelu, opatření pro úpravu důlní vody, základní statické a stabilitní výpočty)
- mělo by být provedeno vyhodnocení předpokládaných geotechnických podmínek pro ražbu tunelu, včetně stanovení typů chování horninového prostředí podle předpokládané tunelovací metody
- mělo by být proveden základní návrh technologie provádění, včetně předběžného statického průkazu dimenzí ostění v daných geotechnických podmínkách, požadavky a nároky na podrobný geotechnický průzkum prováděný jako podklad pro další stupeň dokumentace (DSP)

- mělo by být ověřen možný střet zájmů (ložiska nerostů, chráněná ložisková území, ochranná pásma vodních zdrojů apod.)
- měla by být stanovena zóna ovlivnění, ve které se mohou projevit nepříznivé indukované účinky stavby, měla by být provedena prognóza velikosti těchto účinků
- měla by být provedena inventarizace objektů v zóně ovlivnění a podél dopravních tras staveništní dopravy a základní stanovení odolnosti objektů zejména na deformační a seizmické účinky (povrchové stavby všech druhů, podzemní stavby, inženýrské sítě povrchové i podzemní, prameny, studny, jiné jímací objekty, případně jiné nemovitosti), závěry stavebně-technického průzkumu
- měla by být připravena základní koncepce geomonitoringu při stavbě tunelu předpokládanou tunelovací metodou a s ohledem na navržené konstrukce tunelu, včetně monitoringu objektů v zóně ovlivnění a podél dopravních tras a stanovení případného dočasného záboru pozemků pro monitorovací objekty
- měla by být připravena opatření na minimalizaci a kompenzaci účinků stavby na životní prostředí

Doprovodná dokumentace zachycuje veškeré související průzkumy zpracované v průběhu zpracování DÚR. Výsledky těchto průzkumů by měly být zohledněny v technickém řešení. V doprovodné dokumentaci by měly být dokladovány veškeré rozhodující podklady, zápisy z jednání, vyjádření, která nejsou dokladovány v základní dokumentaci DÚR. V doprovodné dokumentaci může být:

- Inventarizace objektů v zóně ovlivnění, včetně protokolu o inventarizaci objektu
- Stavebně-technický průzkum objektů v zóně ovlivnění, případně i v zóně sledování, včetně základní fotodokumentace a základní výkresové dokumentace.
- Předběžný inženýrskogeologický průzkum provedený převážně na základě archivních podkladů s cílem stanovit chování horninového masivu při ražbě a získání geotechnických parametrů rozhodujících pro předpokládanou tunelovací metodu (abrazivita, stabilita nezajištěného výrubu, přítoky podzemní vody atd.). V oblasti portálů, resp. stavebních jam předzářezů a hloubených úseků tunelu, je vhodné průzkum doplnit o geofyzikální metody a vrtný průzkum s cílem určení geologických rozhraní pro návrh zajištění svahů stavebních jam
- Průzkum stávajících inženýrských sítí a podzemních objektů by měl zahrnovat vodovodní řady a přípojky, kanalizační řady, plynovod, potrubní pošta, slaboproud – kabelové sítě i nadzemní sdělovací sítě, silnoproud – VVN, VN, NN, ostatní sítě v zemi (potrubí, sdružené trasy, kabelovody apod.).

Nezávislá kontrola dokumentace

DÚR by měla být kontrolována odborným znalcem jmenovaným ČBÚ, případně dalšími experty pracujícími pro zadavatele tunelové stavby. Správné koncepční řešení tunelové stavby výrazně snižuje rizika realizace ražeb.

II.4. Dokumentace pro stavební povolení (DSP) a zadávací dokumentace stavby (ZDS)

Dokumentace pro stavební povolení (DSP) slouží u tunelů pro vydání stavebního povolení, následně je po úpravách a doplněních použita jako zadávací dokumentace stavby (ZDS). DSP/ZDS musí pojmenovat a zahrnovat všechny náklady na požadované činnosti spojené nejen s vlastní stavbou, ale také na činnosti spojené s uvedením tunelu do provozu a se

servisem během záruční doby. Vzhledem k tomu, že požadavky na podrobnost DSP a ZDS jsou obdobné, tak jsou v této metodice uvedeny oba stupně společně.

Základní výchozí podklady pro zpracování dokumentace pro stavební povolení (DSP) tunelů by měly být následující:

- odsouhlasená dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR)
- rozhodnutí o umístění stavby se stanovisky a požadavky účastníků územního řízení
- podrobný geotechnický průzkum zaměřený na získání relevantních informací pro ražbu tunelu předpokládanými tunelovacími metodami
- stavebně technický průzkum (případně podrobná pasportizace) všech povrchových objektů a inženýrských sítí v zóně ovlivnění (sledování)
- další provedené průzkumy (stavebně technický průzkum objektů v zóně ovlivnění, stanovení deformační odolnosti objektů v zóně sledování, atd.)
- závěry a doporučení z doprovodných dokumentací k DÚR a DSP

I pro mechanizovanou ražbu pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů by mělo být umožněno využití observačních postupů, měly by být stanoveny varovné stavy zejména z hlediska přípustných deformací povrchu terénu a zajištění stability objektů v nadloží u mělce umístěných tunelů. Geomonitoring by měl být prováděn po celou dobu výstavby a také během záruční doby tunelu v rozsahu a obsahu odpovídajícím daným podmínkám a způsobu výstavby. Ukončit geomonitoring je možné dříve pouze v případě, pokud dojde k uklidnění pohybů.

V projektové dokumentaci je nutno jednoznačně stanovit práva a povinnosti celého řešitelského týmu dle pravidel uvedených v báňských předpisech. Stavební dozor musí být na stavbě při ražbách trvale přítomen, obdobně musí probíhat nepřetržitě geomonitoring (ve smyslu vyhlášky č. 55/1996 Sb. ČBÚ v platném znění). Pokud je uvažováno s variantním řešením technologie výstavby (např. konvenční nebo mechanizovaná ražba), musí být i toto zohledněno v zadávací dokumentaci.

Dokumentace by měla podrobně definovat kritéria kvality také pro ražbu včetně instalace ostění a měla by jasně definovat práva a kompetence při interpretaci zastížených geotechnických podmínek.

Dokumentace pro stavební povolení (DSP) a zadávací dokumentace stavby (ZDS) by měly splňovat následující požadavky:

- na základě rizikové analýzy by měly být definovány možné scénáře rizik spojených se stupněm prozkoumanosti zájmového území (interpretované výsledky podrobného geotechnického průzkumu), volbou předpokládané tunelovací metody, rozpracovaností technického řešení. Riziková analýza by měla uvést seznam (registr) předpokládaných rizik, ohodnocení jejich míry (pravděpodobnost výskytu, závažnost dopadu) a návrh opatření pro zmírnění rizik.
- měly by být uvedeny možné úpravy technického řešení ve stupni RDS s ohledem použití observačních principů a zpřesnění geotechnické prognózy na základě výsledků GTM při hloubení stavebních jam, přístupových podzemních děl i při vlastní ražbě tunelů.
- měly by být dosaženy a podrobně rozpracovány požadavky stanovené v DÚR, měly by být dodrženy odsouhlasené koncepce DÚR případně úpravy technického řešení s ohledem na nové poznatky zjištěné v rámci podrobného geotechnického průzkumu, ZDS by měla zohledňovat podmínky stavebního povolení

- měly by být zohledněny geotechnické parametry podle zjištěného typu chování horninového masivu (na základě podrobného geotechnického průzkumu je horninové prostředí v trase budoucího díla rozděleno podle chování horninového prostředí na geotechnické typy, části budoucí trasy díla jsou rozčleněny na kvazihomogenní celky, které jsou jedním z podkladů pro zařazení příslušného úseku tunelu do jednotlivých technologických tříd nebo módů ražby)
- měly by být rozpracována technologie výstavby pro jednotlivé technologické třídy nebo módy ražby
- součástí projektové dokumentace by měla být riziková analýza faktorů ovlivňujících bezpečnost provádění díla a objektů v dosahu možného ovlivnění na základě celkového vyhodnocení výsledků provedeného geotechnického průzkumu (rizika by měla být rozdělena mezi zhotovitele a objednatele, s tím by měly souviset jejich práva a povinnosti)
- měly by být stanoveny požadavky na způsob a rozsah geomonitoringu, případně úpravy zóny ovlivnění s ohledem na vyvolané deformace nadloží a ovlivnění režimu podzemních vod na základě nově zjištěných informací v rámci podrobného geotechnického průzkumu
- měly by být proveden návrh organizace pravidelného vyhodnocování geomonitoringu s ohledem na případné dosažení varovných stavů a včasné použití stanovených opatření k bezpečnému provádění ve smyslu vyhlášky 55/1996 Sb. a EC7 (využití observačních principů)

Dokumentace pro stavební povolení (DSP) a zadávací dokumentace stavby (ZDS) by měla obsahovat:

Zprávy

- základní údaje
- vyhodnocení dosud provedených geotechnických průzkumů, podrobný popis geotechnických podmínek s ohledem na předpokládanou metodu výstavby tunelu, rozdělení horninového masivu na kvazihomogenní celky, včetně doporučených hodnot geotechnických parametrů
- stanovení postupu (způsobu) výstavby, včetně návrhu technologických tříd (módů ražby), očekávané hodnoty deformací povrchu nadloží
- požadavky na tunelovací stroj (typ, průměr, přítlak, kroučící moment, váha, umožnění předvrtů, umožnění geofyzikálního průzkumu, atd.)
- maximální povolené deformace povrchu a objektů podél trasy budovaného díla, stanovení varovných stavů pro navržené konstrukce a objekty v nadloží
- maximální povolenou polohovou a výškovou odchylku pro geodetické vedení stroje
- typ tunelovacího stroje, vyznačení technologických tříd (módů ražeb) v jednotlivých úsecích podle horninových a hydrogeologických poměrů, zástavby atd. (např. s uvedením v podélném řezu), popis zajištění čelby (tzn. ražba s podporou nebo bez podpory čelby)
- předpokládané problematické úseky (smíšená čelba, výskyt lepivých zemin, horniny s vysokou obrusností (abrazivitou), možné dutiny, tektonické poruchy, atd.)
- velikost opěrných tlaků na čelbě, podél štítu a při injektáži rubu ostění
- přítoky vody, ztížení ražby ve zvodnělém prostředí (při úpadním ražení a při přítoku vod nad 1 l/sec do čelby se s tímto ztížením ražeb uvažovat musí)

- pro technologické třídy (módy ražby) musí být také uvedeno, podle jakých kritérií bude prováděno zatřídění
- typ dopravy rubaniny, dílců ostění a dalšího materiálu musí být zohledněn v přístupových objektech do budovaných tunelů, včetně možnosti obslužného vybavení kolejovou tratí a kolejovými vozidly, nebo pásovou dopravou (dopravníkem) atd.
- dokumentace by měla počítat s předpokládaným charakterem rubaniny z důvodů konečného uložení nebo jejího využití
- ochrana díla proti průvalům vod a zvodnělého materiálu (i povrchových), ochrana díla při povodních, koncepce vedení vod v tunelu a před portály, likvidace důlních vod (včetně trvalých přítoků podzemních vod), systém ochrany díla proti pronikání podzemní a srážkové vody do díla, ochrana proti vnějším vlivům
- podrobný geomonitoring, včetně popisu varovných stavů a kritérií pro zvýšení nebo snížení četností měření v závislosti na vývoji sledované veličiny v čase
- seznam a kvantifikace předpokládaných rizik (riziková analýza)
- harmonogram postupu výstavby díla

Statické výpočty

Statické výpočty jsou vypracovány pro definitivní stav i pro jednotlivé fáze výstavby (např. pokud je předpokládáno využití dvouplášťového ostění nebo provizorní zajištění ostění při realizaci propojek). Výpočty by měly simulovat chování horninového masivu při ražbě v daném kvazihomogenním celku s navrženým způsobem zajištění stability výrubu (např. využití pažení čelby při ražbě štíty nebo využití předstihových opatření pro zvýšení stability horninového masivu). Statický výpočet by měl umožnit posouzení oboru platnosti navržených řešení a rizika (nejistoty) z toho vyplývajícího. Statický výpočet stanovuje mezní hodnoty deformačních změn (včetně jejich předpokládaného časového průběhu). Statický výpočet zohledňuje rozsah použití jednotlivých technologických postupů, rychlost ražby atd. Měly by být zohledněny výsledky podrobné pasportizace objektů a inženýrských sítí v zóně ovlivnění.

Typy statických výpočtů:

- statické výpočty ostění pro jednotlivé technologické třídy, kritické průřezy z hlediska objektů a inženýrských sítí v nadloží atd. Stanoví předpokládané množství výztuže ostění pomocí ukazatele kg/m^3 betonu ostění, stanoví případné úseky bez prutové výztuže (např. s rozptýlenou výztuží)
- statické výpočty ostění hloubených úseků tunelu
- statické a stabilitní výpočty stavebních jam
- další statické posudky dle potřeb projektové dokumentace (např. posouzení objektů v zóně poklesů, stability sesuvných území, atd.).

Výkresová dokumentace

- celková situace M 1 : 5 000 (2 000)
- koordinační situace M 1 : 500 včetně zakreslení zóny poklesů, ovlivnění a sledování, vedení inženýrských sítí (včetně provizorních), tras pro dopravu materiálu z/do tunelu, skladu segmentů a pásových dopravníků, atd.
- vzorové příčné řezy M 1 : 50 všech příčných profilů ostění včetně tunelových propojek
- charakteristické příčné řezy s geotechnickými údaji, včetně rozsahu poklesové zóny a zakreslením objektů a sítí v nadloží M 1 : 100 (200)

- podélné řezy s geotechnickými údaji a prognózou rozdělení raženého úseku tunelu na technologické třídy výrubu (nebo módy ražby v případě štítů) M 1 : 2 000/200 (M 1 : 1 000/100 v zastavěném území)
- výkresy ostění – při použití segmentového ostění (používáno u štítů) je třeba uvést tvar segmentů a jejich tloušťku, množství výztuže, detaily (spojování, požadavky na vodotěsnost, atd.), při použití ostění ze stříkaného betonu (používáno u TBM do tvrdých hornin) je třeba uvést skladbu primárního a sekundárního ostění, typy a délky svorníků a sítí, dimenze výztužných rámců, atd.). Je třeba uvést tabulky výkazu materiálu pro jednotlivé technologické třídy výrubu na 1 záběr (prstenec) a 1 m tunelu
- návrh izolačního systému (pryžová těsnění v drážkách na stěnách segmentů, nebo fóliová izolace pro dvouplášťové ostění) a drenáží, včetně návrhu úpravy a odvedení drenážních vod
- řešení detailů napojení různých typů ostění, hydroizolačního systému, drenážního systému, vnitřního vybavení tunelu, napojení tunelů na tunelové propojky, prostupy kabelů apod.
- výkresy jednotlivých stavebních objektů a provozních souborů
- situace plánu organizace výstavby (POV)
- výkresy stavebních jam a povrchových objektů (situace, příčné řezy), včetně zajištění odvodnění
- situace pomocných úprav, záborů pro provádění geomonitoringu v celé oblasti vlastního tunelu a příportálových zářezů

Geotechnické vyhodnocení zájmového území

Dokumentace by měla uvést interpretované výsledky všech provedených průzkumných prací. Interpretované výsledky geotechnického průzkumu by měly zahrnovat všechny potřebné údaje pro návrh plnoprofilového tunelovacího stroje (geotechnické parametry kvazihomogenních celků, výška nadloží včetně úrovně skalního podloží, průběh hladiny podzemní vody a očekávané přítoky podzemní vody, abrazivita, lepivost, indexové parametry, bobtnavost, agresivita podzemní vody, zařídění dle tunelářských klasifikací odpovídajících předpokládané tunelovací metodě, výskyt smíšené čelby, překážky v trase díla, krasové jevy, výskyt metanu, výskyt kontaminace, injektovatelnost masivu, rozpojitelnost, odtěžitelnost a zpracovatelnost rubaniny, atd.).

Doprovodná dokumentace by měla zahrnovat veškeré související průzkumy, které byly zpracovány. Příklady doprovodné dokumentace:

- Zaměření stávajících objektů a inženýrských sítí - vnější znaky inženýrských sítí, vnější povrchová hrana objektů, vstupy do objektů a obchodů, linie chodníků, atd.
- Doplňující geotechnický průzkum - upřesňující konkrétní informace o horninovém masivu podle doporučení projektanta DSP/DZS s ohledem na konkrétní návrh technického řešení tunelu
- Podrobná pasportizace objektů v zóně ovlivnění - předmětem je podrobná pasportizace technického stavu všech objektů
- Projekt geotechnického monitoringu - průvodní zpráva, organizace geomonitoringu, popis varovných stavů, četnost měření, situace bodů geomonitoringu, schéma osazení konvergenčních bodů a ostatních měření, atd. Projekt geotechnického monitoringu musí být vypracován na základě požadavků projektanta na ověření předpokladů uvedených v dokumentaci, za kterých je technické řešení navrženo a projekt vypracován. Rozsah i obsah měření a sledování musí odpovídat konkrétnímu

technickému řešení tunelu a daným geotechnickým podmínkám, přičemž musí být uvedeny očekávané hodnoty sledovaných veličin a kritéria pro jejich vyhodnocování.

- Dokladová část - doklady z projednávání.

Požadavky na způsob předání dokumentace

Všechny zprávy, statické výpočty a geotechnické vyhodnocení by měly být předány objednateli v plném rozsahu ve formátu PDF. Všechny výkresy by měly být předány objednateli v plném rozsahu v otevřené formě ve formátu DWG nebo DXF. Veškerá ostatní dokumentace by měla být předána objednateli ve formátu PDF nebo DWF, pokud není objednatelem požadována otevřená forma dokumentace.

Nezávislá kontrola dokumentace

Dokumentace by měla být kontrolována odborným znalcem jmenovaným ČBÚ, případně dalšími experty pracujícími pro zadavatele tunelové stavby.

II.5. Realizační dokumentace stavby (RDS)

Realizační dokumentace stavby (RDS) je dokumentace, která slouží k řádnému provedení díla v rozsahu zadávací dokumentace stavby a případných odsouhlasených změn prováděných v souladu s principy observační metody. Také slouží objednateli ke kontrole prací při realizaci stavebního díla. Součástí RDS je také dokumentace všech zhotovovaných a pomocných konstrukcí a prací souvisejících s ražbou tunelu. RDS by měla zahrnovat komplexní statické výpočty hlavních i pomocných konstrukcí. V technické zprávě by měl být uveden přehled provedených výpočtů zahrnujících ověření rozhodujících dimenzí a průřezů, včetně základních údajů pro řádné vedení a vyhodnocení geomonitoringu (hodnoty sedání povrchu nadloží, deformace horninového masivu, atd.). Dokumentace by měla být provedena v podrobnostech nutných pro jednoznačné provedení díla (včetně všech pomocných konstrukcí). Zhotovitel by měl vypracovat havarijní plán na řešení mimořádných událostí dle báňských předpisů.

I pro ražbu pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů by RDS měla být zpracována dle pravidel observační metody (zejména při ražbě s nízkým nadložím v intravilánu). Měla by být projektově připravena účinná opatření využitelná při překročení stanovených mezí či při nepřijatelných trendech. RDS by měla potvrdit nebo upřesnit základní kritéria varovných stavů pro jednotlivá měření realizovaná v rámci geomonitoringu. Zhotovitel stavby obvykle smluvně upřesňuje rozsah RDS dle svých požadavků a technologických možností výstavby. RDS je součástí dodávky stavebního díla. Projektová dokumentace musí splňovat požadavky báňských předpisů, zejména vyhlášku č. 55/1996 Sb.

Nezbytnou součástí je dokladová část, která musí obsahovat zápisy z technických rad, výrobních výborů, z projednání konceptů a schválení RDS za účasti objednatele stavby, správce stavby, zhotovitele stavby a případně expertů. Musí obsahovat prohlášení zhotovitele projektu o splnění podmínek uvedených v ZTKP, TKP, TP a příslušných ČSN. Veškeré změny vůči zadávací dokumentaci stavby (ZDS) musejí být řádně dokladovány dle platných předpisů objednatele. Zhotovitel stavby předkládá RDS objednateli (správci stavby) k odsouhlasení.

RDS by měla optimalizovat technické řešení na základě výsledků geomonitoringu a skutečně zastižených geotechnických podmínek. Zpracovatel RDS by měl úzce spolupracovat

s dotčenými stranami (dodavatel a relevantní subdodavatelé, projektant, odpovědný řešitel geomonitoringu, koordináční tým stavby, atd.).

Jednotlivé části realizační dokumentace stavby (RDS) by měly obsahovat:

Zprávy

- základní údaje, podklady
- použité technické normy a předpisy
- popis geologických poměrů, včetně zařídění do technologických tříd (módů ražby)
- popis použitého tunelovacího stroje (typ, průměr, přítlak, kroutící moment, váha, atd.)
- další požadavky na tunelovací stroj (možnost předvrtů, injektáží, mikropilotových deštníků, geofyzikálního průzkumu, atd.)
- maximální povolené deformace povrchu a objektů podél trasy budovaného díla (platí pro ražby v intravilánu)
- maximální povolenou polohovou a výškovou odchylku pro geodetické vedení stroje
- úseky, v nichž je při mechanizované ražbě světlý průřez tunelu stanoven (zvětšen) s ohledem na tolerance montáže kruhového segmentového ostění
- předpokládané problematické úseky (smíšená čelba, výskyt lepidlivých zemin, horniny s vysokou obrusností, možné dutiny, tektonické poruchy, atd.)
- velikost opěrných tlaků na čelbě, podél štítu a při injektáži rubu ostění
- přítoky vody, ztížení ražení ve zvodnělém prostředí (při úpadním ražení a při přítoku vod nad 1 l/sec do čelby se s tímto ztížením ražeb uvažovat musí)
- kritéria, podle kterých se ražby zařídí do technologických tříd (módů ražby)
- typ dopravy rubaniny, dílců ostění a dalšího materiálu musí být zohledněn v přístupových objektech do budovaných tunelů, včetně možnosti obslužného vybavení kolejovou tratí a kolejovými vozidly nebo pásovou dopravou (dopravníkem) atd.
- dokumentace by měla počítat s předpokládaným objemem (včetně nakypření) a charakterem rubaniny z důvodů konečného uložení nebo jejího využití
- požadavky na rozsah a obsah geomonitoringu stanovené projektantem
- projekt geomonitoringu s uvedením rozsahu navržených způsobů měření, četností měření, varovných stavů a způsobu vyhodnocování geomonitoringu
- způsob zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- seznam a kvantifikace předpokládaných rizik, návrh zmírňujících opatření (riziková analýza)
- navazující objekty a inženýrské sítě
- prohlášení o koordinaci souvisejících objektů a provozních souborů;
- prohlášení o splnění zadávacích podmínek a platných předpisů
- zpracování připomínek ke konceptu dokumentace
- doklady, zápisy, projednání připomínek

Výkresová dokumentace

- celková situace M 1 : 5 000 (2 000)
- vytyčovací výkres M 1 : 500
- koordináční situace M 1 : 500 včetně zakreslení zóny poklesů, ovlivnění a sledování, vedení inženýrských sítí (včetně provizorních), tras pro dopravu materiálu z/do tunelu, skladu segmentů a pásových dopravníků, atd.

- vzorové příčné řezy M 1 : 50 všech příčných profilů ostění včetně tunelových propojek
- charakteristické příčné řezy s geotechnickými údaji, včetně rozsahu poklesové zóny a zakreslením objektů a sítí v nadloží M 1 : 100 (200)
- podélné řezy s geotechnickými údaji a prognózou rozdělení raženého úseku tunelu na technologické třídy výrubu (nebo módy ražby v případě štítů) M 1 : 500/50
- výkresová a technická dokumentace navrženého tunelovacího stroje
- výkresy ostění – geometrie ostění (včetně tolerancí a nadvýšení). Při použití segmentového ostění (používáno u štítů) je třeba uvést tvar segmentů (rozvinutý prstenec), tloušťku, výkresy výztuže, detaily (spojování, požadavky na vodotěsnost, atd.), při použití ostění ze stříkaného betonu (používáno u TBM do tvrdých hornin) je třeba uvést skladbu primárního a sekundárního ostění, výkresy příhradových výztužných oblouků, typy a délky svorníků a sítí, dimenze výztužných rámců, atd.). Je třeba uvést tabulky výkazu materiálu pro jednotlivé technologické třídy výrubu na 1 záběr (prstenec) a 1 m tunelu
- návrh izolačního systému (pryžová těsnění pro segmenty nebo fóliová izolace pro dvouplášťové ostění) a drenáží, včetně návrhu úpravy a odvedení drenážních vod
- řešení detailů napojení různých typů ostění, hydroizolačního systému, drenážního systému, vnitřního vybavení tunelu, napojení tunelů na tunelové propojky, prostupy kabelů apod.
- výkresy jednotlivých stavebních objektů a provozních souborů
- situace plánu organizace výstavby (POV)
- výkresy stavebních jam a povrchových objektů (situace, příčné řezy), včetně zajištění odvodnění
- situace pomocných úprav, připomocí, záborů pro provádění geomonitoringu v celé oblasti vlastního tunelu a příportálových zářezů

Statické výpočty

Statické výpočty by měly být vypracovány pro definitivní stav i pro jednotlivé fáze výstavby (ražby). Výpočty by měly simulovat chování horninového masivu při ražbě v daném kvazihomogenním celku s navrženým způsobem zajištění stability výrubu. Statický výpočet stanovuje mezní hodnoty deformačních změn, které jsou využity jako varovné stavy v projektu geomonitoringu.

Návrh tunelového ostění musí respektovat nejen jeho finální funkci, ale musí zohlednit i transportní cyklus segmentu (při použití segmentového ostění). Během transportního cyklu segmentů mezi výrobnou a erektorem je se segmenty prováděno mnoho operací, během kterých jsou segmenty vystavovány značnému namáhání. Vliv každého dopravního procesu působícího na segment musí být zohledněn. Také je třeba při všech těchto operacích uvažovat skutečné stáří betonu (např. přesun segmentů z formy). Jelikož sestavování segmentů probíhá pomocí erektoru, jsou během této operace segmenty vystaveny mnoha zatížením: zatížení při zvedání segmentu (uvažuje se jako vlastní tíha segmentu modifikovaná dynamickým součinitelem), zatížení, která vznikají při stlačování izolace, zatížení vzniklá nárazem segmentu, zatížení vzniklé použitím spojovacích systémů, tlakem lisů tunelovacího stroje, apod.

Obecně jsou pro návrh rozhodující geotechnické parametry předpokládaných kvazihomogenních celků. Z hydrogeologického hlediska je pro návrh podstatná zejména výška hladiny podzemní vody, a tím vzniklý hydrostatický tlak na ostění, s kterým je nutné počítat zejména při návrhu izolace mezi segmenty. Ze stálých zatížení je třeba uvažovat

vlastní tíhu konstrukce a tíhu pevného vybavení, zatížení způsobené okolním masivem, zatížení způsobená blízkými konstrukcemi, hydrostatický tlak, zatížení vzniklá při injektáži rubu ostění.

Z nahodilých zatížení je třeba uvažovat dopravní zatížení uvnitř tunelu, zatížení působící na povrchu terénu, zatížení vzniklá během provádění konstrukce, zatížení vzniklá při dopravě segmentu (skladování, přemísťování, nakládání, vykládání, instalace erektorem), zatížení vzniklá od posunu stroje vpřed, které do ostění přenáší hydraulické lisy, zatížení vzniklá při zaplňování mezery mezi segmentem a ostěním injektáží (i když zpravidla není rozhodující), zatížení teplotou, atd. Dalšími požadavky, na která je třeba konstrukci posoudit, jsou tvarová stabilita ostění. Velmi důležité, z hlediska tunelů nacházejících se pod hladinou podzemní vody, je posouzení na vztlak.

Kromě mezního stavu únosnosti je třeba konstrukci posoudit i na mezní stav použitelnosti. Musí být zajištěno, aby případné trhliny splňovaly požadavky na přípustné rozevření. Napětí v betonu i v oceli musí být v provozním stavu značně nižší než při mezní stavu únosnosti konstrukce (mezní stav omezení napětí). U dopravních tunelů by měla být posouzena i požární odolnost.

Geotechnické vyhodnocení zájmového území

Dokumentace by měla uvést interpretované výsledky všech provedených průzkumných prací. Interpretované výsledky geotechnického průzkumu by měly zahrnovat všechny potřebné údaje pro bezpečnou ražbu pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje. Během vlastní ražby pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje by předpokládané údaje měly být průběžně upřesňovány. U všech typů tunelovacích strojů by mělo být vyhodnocováno složení odtěžené rubaniny. Při využití otevřených tunelovacích strojů by mělo probíhat geologické mapování výrubu z dostupných otvorů v řezné hlavě a po stranách stroje. Obecně je možné využívat geofyzikální metody a předvrty, což ale musí být zohledněno při výrobě tunelovacího stroje. Předpokládané chování masivu by také mělo být porovnáváno s předpoklady uvedenými v ZDS a upřesňováno dle výsledků monitoringu a dle dalších údajů zjištěných při ražbě (potřebné tlaky na čelbě a plášti tunelovacího stroje, potřebný kroutící moment a přítlak, atd.).

Požadavky na způsob předání dokumentace

Všechny zprávy, statické výpočty a geotechnické vyhodnocení by měly být předány objednateli v plném rozsahu ve formátu PDF. Všechny výkresy by měly být předány objednateli v plném rozsahu v otevřené formě ve formátu DWG nebo DXF. Veškerá ostatní dokumentace by měla být předána objednateli ve formátu PDF nebo DWF, pokud není objednatelem požadována otevřená forma dokumentace.

Požadavky na segmentové ostění

V případě použití segmentového ostění stanoví RDS detailní návrh segmentového ostění, včetně jeho geometrie a vyztužení. Dále určuje, jaké bude používat spoje dílců v příčném a podélném směru. Také je třeba specifikovat těsnění segmentového ostění (při požadavku na vodonepropustnost ostění).

V daném ohledu je třeba stanovit výslednou toleranci nepřesnosti vzájemné polohy segmentů ve směru do líce nebo do rubu ostění, která je dána mj. dovolenou odchylkou těsnění mezi segmenty, kdy je těsnění schopno odolávat požadovanému hydrostatickému tlaku. Obvykle je daná tolerance do 3 mm. Také je třeba uvést toleranci nepřesnosti rozevření spáry mezi segmenty (obecně by neměla přesahovat 1 mm).

Také by v RDS měla být stanovena tolerance výroby jednotlivých segmentů ostění. Aby ostění na stycích řádně přenášelo potřebné kontaktní síly, a rovněž nebyla omezena účinnost těsnění, je zapotřebí dodržet vysokou přesnost výroby. Tolerance se obvykle pohybují v hodnotách blízkých $\pm 0,5$ mm na délkových rozměrech.

V realizační dokumentaci se také uvede, jakým způsobem se budou opravovat poškozené dílce nebo dílce či spoje, které nejsou odolné proti vodě.

RDS by měla stanovit způsob vyplňování mezery mezi ostěním a horninou (injektáž prostoru za prstencem ostění), když prstenec ostění opouští obálku tunelovacího stroje. Dále by měla stanovit sekundární injekční systémy skrz segmentové ostění pro kontrolu vyplnění a možnost cíleného, nebo potřebného, doinjektování.

V RDS by mělo být uvedeno, jakým způsobem budou napojeny prostupy do příčných (propojovacích) tunelů, jímek atd., včetně detailů napojení hydroizolace.

RDS má dokladovat logistiku pro dopravu segmentového ostění z místa výroby ke stroji a rubaniny z tunelu až na skládku.

Nezávislá kontrola

RDS by měla být kontrolována odborným znalcem jmenovaným ČBÚ, případně dalšími experty pracujícími pro zadavatele tunelové stavby.

II.6. Riziková analýza

Úvodní riziková analýza by měla být provedena již v počátečních fázích přípravy projektu. V průběhu dalších fází přípravy (jednotlivé stupně projektové dokumentace) by provedená analýza měla být postupně upřesňována a doplňována.

Příležitosti optimalizace projektu by měly být začleněny aplikací důsledných a rychlých schvalovacích postupů. Riziková analýza by měla být praktickým nástrojem, který umožní identifikaci a minimalizaci potenciálních rizik v průběhu přípravy a během realizace projektu. Kvalitní průběžná práce s riziky by měla vést k redukci potenciálních problémů výstavby (úspory času a prostředků, minimalizace obtížně řešitelných situací). Provedená riziková analýza by měla dostatečně korespondovat se stavem přípravy a měla by být soustředěna na především aspekty projektu, které je možné optimalizovat.

II.7. Nezávislá kontrola dokumentace

Pro všechny stupně projektové dokumentace by měly být vypracovány nezávislé posudky, veškeré připomínky k dokumentaci by měly být náležitě zapracovány a měly by být součástí čistopisu dokumentace. Posouzení by měl zajistit objednatel, posouzení by měl zpracovat odborný znalec jmenovaný ČBÚ, případně další experti pracující pro objednatele. Kontrola

prováděná na úrovni RDS není schopna napravit koncepční chyby návrhu technického řešení a postupu výstavby, které jsou již pevně zakotveny v DÚR a DSP.

II.8. Schvalování dokumentace

Odsouhlasení dokumentace provede objednatel po ukončení základních fází rozpracování dokumentace. Vyslovení souhlasu s provedenými projektovými pracemi je současně pokyn k jejich pokračování. Aktem odsouhlasení se ale zhotovitel dokumentace nezbavuje odpovědnosti vyplývající ze závazků smlouvy o dílo. Požaduje-li objednatel provést odsouhlasení fází nebo částí dokumentace, je tento požadavek uveden. Vyskytne-li se v průběhu zpracování dokumentace problém, jehož řešení má zásadní vliv zejména na funkční, technickou nebo ekonomickou úroveň návrhu, musí zhotovitel dokumentace požádat objednatele o urychlené projednání a odsouhlasení navrženého řešení. Doklady o odsouhlasení dokumentace zařadí zhotovitel dokumentace do dokladové části dokumentace. Dokumentaci tunelů je nutné ve všech stupních projednat s OBÚ.

III. POSUZOVÁNÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ K MINIMALIZACI RIZIK

III.1. Zpracování rizikové analýzy

Úvodní riziková analýza by měla být provedena již v počátečních fázích přípravy projektu. V průběhu dalších fází přípravy, ale i v průběhu výstavby by provedená analýza měla být postupně upřesňována a doplňována. Riziková analýza zaměřená na výstavbu tunelu by měla řešit především následující oblasti:

- Rizika ražeb související se zvolenou metodou výstavby
- Geologické poměry (tektonické poruchy, tlačivé horniny, krasové jevy, atd.)
- Hydrogeologické poměry (nadměrné přítoky vody, agresivní vody, ovlivnění HPV atd.)
- Logistické problémy (nakládání s rubaninou, doprava, prostor, atd.)
- Zařízení staveniště, ovlivnění okolí, životní prostředí

Příležitosti optimalizace projektu či výstavby by měly být začleněny aplikací důsledných a rychlých schvalovacích postupů. Riziková analýza by měla být praktickým nástrojem, který umožní identifikaci a minimalizaci potenciálních rizik v průběhu přípravy a během realizace projektu. Kvalitní průběžná práce s riziky by měla vést k redukci potenciálních problémů (úspory času a prostředků, minimalizace obtížně řešitelných situací). Provedená riziková analýza by měla dostatečně korespondovat se stavem přípravy, analýza by měla být soustředěna především na ty aspekty projektu, které je možné optimalizovat.

Pro aktualizaci rizikové analýzy a pro umožnění následné práce s riziky během přípravy a následné výstavby je vhodné využít jednoduchý a dostatečně srozumitelný způsob. Doporučený postup pro zpracování rizikové analýzy je následující:

- Identifikace a popis veškerých potenciálních rizik, vytvoření seznamu (registru) rizik (tab. III.1).
- Stanovení pravděpodobnosti výskytu (tab. III.2) a závažnosti dopadu rizik (tab. 3). Pro kvantifikaci zpravidla stačí rozsah ohodnocení 1-5.
- Určení úrovně rizik na základě pravděpodobnosti výskytu a závažnosti dopadu rizik. Jednotlivé úrovně je vhodné barevně odlišit (např. zelená = nízká úroveň, žlutá = střední úroveň, červená = vysoká úroveň – viz. tab. III.4). Různým úrovním velikosti rizik by měly odpovídat požadované akce (tab. III.5).
- Stanovení zmírňujících opatření pro zabránění realizace či zmírnění dopadu jednotlivých rizik (aktivní a pasivní opatření).
- Určení zbytkové úrovně rizik. Je opět vhodné jednotlivé úrovně barevně odlišit.
- Určení způsobu zacházení s výslednými riziky.

Tab. III.1 Seznam (registr) rizik

Číslo	Činnost	Riziko	Úvodní úroveň rizik			Zmírňující opatření	Zbytková úroveň rizik			Je zbytková úroveň rizik významná (A/N)	Zodpovědná strana	Stav (aktivní / uzavřené)
			Pravděpodobnost	Závažnost	Úroveň rizika		Pravděpodobnost	Závažnost	Úroveň rizika			

Tab. III.2 Příklad stanovení pravděpodobnosti výskytu rizik (známkování 1-5)

Známka	Výskyt	Popis pravděpodobnosti
1	Nepravděpodobný	cca 1 : 1000
2	Řídký	cca 1 : 100
3	Občasný	cca 1 : 10
4	Pravděpodobný	Spíše se stane než ne
5	Častý	Očekávaný výskyt

Tab. III.3 Příklad stanovení závažnosti dopadu rizik (známkování 1-5)

Známka	Bezpečnost práce	Navýšení ceny	Prodloužení doby výstavy
1	Menší zranění	1 mil Kč navíc	Méně než 1 týden
2	Menší zranění s ošetřením	10 mil Kč navíc	1 týden až 1 měsíc
3	Zranění znamenající neschopnost	100 mil Kč navíc, zpoždění v týdnech	1 měsíc až 3 měsíce
4	Těžké zranění	1 mld Kč navíc, zpoždění v měsících	3 měsíce až 1 rok
5	Oběti na životech, trvalé následky	Možnost nedokončení projektu	Více než 1 rok

Tab. III.4 Příklad stanovení úrovně rizik

Pravděpodobnost výskytu	Závažnost dopadu				
	1	2	3	4	5
5					
4					
3					
2					
1					

Tab. III.5 Příklad akcí požadovaných pro jednotlivé úrovně rizik

Úroveň rizika	Bezpečnostní rizika realizace	Komerční rizika	Provozní rizika
Nízká	Kontrola, že riziko nelze eliminovat změnou návrh Pokračovat v návrhu	Hledání alternativních řešení, zvážit cenu prostředků pro omezení rizika (v závislosti na závažnosti důsledků rizika)	
Střední	Zvážit alternativní návrh či změnu metody realizace V případě nedostupnosti alternativ specifikace předběžných opatření, která budou použita Vyjmenování výsledných rizik v registru	Informovat o skutečnosti relevantní strany (řídící pracovníky projektu, dotčené majitele a provozovatele, atd.)	
Vysoká	Hledání alternativních řešení V případě nedostupnosti alternativ specifikace předběžných opatření, která budou použita. Informovat o skutečnosti relevantní strany Vyjmenování výsledných rizik v registru	Vyjmenování výsledných rizik v registru	

Veškerá rizika by měla být dostatečně přehledně a srozumitelně zpracována v tabulkové formě. Kromě tabulkové podoby, zahrnující základní informace, by riziková analýza měla obsahovat i textovou část, ve které by měly být detailněji rozebrány aspekty jednotlivých rizik. V dokumentaci by měl být doporučen způsob práce s výslednými riziky (nositel rizika, doporučení změn v projektu, možný rozsah dopadu nejzávažnějších rizik na dobu a cenu výstavby, doporučená výše finanční rezervy, způsoby dalšího sledování daného rizika, atd.).

III.2. Základní rizika při ražbě tunelovacími stroji

Selhání konceptu ražby pomocí tunelovacích strojů

Selhání konceptu ražby pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů může nastat při neočekávaně nepříznivém chování horninového masivu, případně v kombinaci s nesprávným vedením stroje. Například může dojít k uvíznutí nebo propadu tunelovacího stroje, po kterém se již nepodaří tunelovací stroj zprovoznit. Díky nutnosti realizace vyprošťovacích opatření, nebo častějším změnám módu ražby (a s tím spojenými komplikacemi), se může ukázat mechanizovaná ražba jako neekonomická, případně zcela nevhodná. Z praxe je také známo mnoho případů, kdy byla zakázka zadána uchazeči s nižší cenou tunelovacího stroje, jehož konstrukce nebyla vyřešena dostatečně detailně s ohledem na použití v daném prostředí. To následně způsobilo problémy při ražbě, které znamenaly velké zpoždění, případně nutnost přepracování projektu (tj. vícenákłady hrazené investorem).

Uvážnutí tunelovacího stroje

V geologicky nepříznivých úsecích s vyšším nadložím může na tunelovací stroj působit vysoký tlak horninového masivu, který může vést ke znemožnění další ražby (uvážnutí tunelovacího stroje). K uvážnutí stroje také může dojít kvůli delšímu přerušení ražeb, během kterého dojde k sevření horninového masivu kolem stroje. Dané riziko především hrozí v tektonicky porušených zónách nebo v zeminách. K uvážnutí stroje také může dojít z jiných důvodů (zablokování nebo poničení řezné hlavy). Riziku lze předejít vhodným naplánováním odstávek stroje pro jeho údržbu (výměna řezných nástrojů, oprava opotřebovaných dílů, atd.). Odstávky by měly být naplánovány do vhodných úseků (hloubené úseky, šachty, kvalitní skalní masiv, atd.). Riziku lze také předejít použitím předstihových opatření (např. mikropilotových deštníků nebo konsolidačních injektáží). V některých případech může být účinná lubrikace pláště stroje (zpravidla bentonitem). V případě uvážnutí tunelovacího stroje je zpravidla třeba stroj vyprostit pomocí konvenční ražby (zajištění a odtěžení horninového masivu nad tunelovacím strojem, případně vyražení obchvatové štoly a vytvoření kaverny před tunelovacím strojem).

Nestabilita a závaly v prostoru čelby

K nestabilitě nebo závalům v prostoru čelby může docházet v geologicky nepříznivých úsecích (zeminy, tektonicky rozrušené horniny, horniny s hladkými diskontinuitami zapadajícími do tunelu), situaci ještě může výrazně zhoršovat přítomnost podzemní vody, zejména při vyšším hydrostatickém tlaku. Riziko může být výrazně sníženo využitím štítů umožňujícím ražbu v uzavřeném módu (tlaková kontrola čelby). Dále je možné stabilitu prostoru čelby zvýšit pomocí předstihových opatření (mikropilotových deštníků, předstihových injektáží, odvodňovacích vrtů, atd.). Propadům v prostoru čelby lze také zabránit důslednou kontrolou množství odtěžené rubaniny pomocí vážení, objem odtěžené rubaniny musí korespondovat s předpokládaným množstvím, při větším objemu je třeba odtěžování rubaniny zastavit.

Lepivost horninového masivu (zanesení rozpojovacích mechanismů)

Problém zanášení rozpojovacích mechanismů (dlát a disků) je výrazně závislý na podílu jemnozrnných částic v rubanině (přilnavost, lepivost, atd.) a na přítocích vody. U zeminových štítů obecně nastává častěji při ražbě v uzavřeném módu, kde záleží také na přísadách pro zpracovatelnost rubaniny, případně způsobu lubrikace materiálu v prostoru řezné hlavy. Zanesení rozpojovacích mechanismů může mít vliv na bezpečnost ražeb (potřeba vstupu osob do prostoru před řeznou hlavou pro čištění či výměnu řezných nástrojů, případně uvážnutí tunelovacího stroje a potřeba vyprošťování stroje pomocí konvenčních ražeb). Nebezpečí zanesení rozpojovacích mechanismů lze redukovat optimalizací řezné hlavy (velikost a tvar otvorů pro odtěžování rubaniny, uspořádání diskových nožů, atd.), předem uspořádáním disků na řezné hlavě (samočinné čištění nánosů na discích při zastížení tvrdších horninových vrstev), citlivým řízením přítlaku v oblastech kritických na zanášení a pravidelnou údržbou a čištěním řezných nástrojů. Zanášení lze také omezit přidáváním vhodných přísad do odtěžovací komory.

Abrazivita horninového masivu (opotřebení rozpojovacích mechanismů)

V současnosti zatím neexistuje pro horninový masiv spolehlivý způsob posouzení, který by dokázal opotřebení nástrojů dobře předpovídat. Faktory ovlivňující opotřebení jsou jednak geotechnické (např. petrografické složení, křivka zrnitosti, tvar zrn, ulehlost, orientace a hustota diskontinuit, atd.), jednak provozně-technické faktory (např. tvar a rozložení řezných nástrojů, odstraňování rubaniny z čelby, atd.). Pro ražbu v tvrdých horninách se používají valivé disky. U strojů větších než 4 m v průměru je rozměr dlát téměř vždy stejný (17 nebo 19 palců). V současné době se používá takový tvar nástrojů, aby se kontaktní plocha nástrojů při jejich opotřebení nezvyšovala, a tím byl stále zachován poměr přítláčné síly k penetraci. Valivá dláta je možné použít několikrát za sebou, pakliže je lze dílensky opravovat.

Na vysoký obrus rozpojovacích nástrojů na řezné hlavě (a případně dopravníků) má vliv především množství křemene obsažené v horninovém masivu, případně také výskyt dalších minerálů (např. pyritu). Obsahu křemene v rubanině by měl být průběžně kontrolován (např. LCPC test, CERCHAR test, ekvivalentní podíl křemene na tvrdosti dle stupnice Rosiwal, atd.), obdobně by mělo být pravidelně kontrolováno opotřebení řezných nástrojů, což je možné vyhodnocovat pomocí senzorů. Výměna řezných nástrojů je zpravidla naplánována před ražbou, v ideálním případě jsou řezné nástroje vyměňovány v místech, kde je umožněn přístup k řezné hlavě (např. hloubené úseky nebo šachty, výjimečně předem vytvořené příčné stabilní stěny). Pokud obdobná místa nejsou k dispozici, tak by řezné nástroje měly být vyměňovány v místech s příznivými geologickými poměry, kde je dostatečná stabilita čelby a kde nehrozí uvíznutí stroje. Přirozeně je výhodnější, pokud je možné vyměňovat řezné nástroje přímo z tunelovacího stroje (pokud není nutný vstup osob před řeznou hlavou). Vysoký obrus rozpojovacích mechanismů může mít vliv na bezpečnost ražeb (častější potřeba vstupu osob do prostoru před řeznou hlavou, případně uvíznutí tunelovacího stroje a potřeba vyprošťování stroje pomocí konvenčních ražeb).

Krasové jevy

Výskyt krasových jevů může velmi negativně ovlivnit průběh ražeb. Rozhodující je velikost a četnost krasových dutin, které se vyskytují v trase tunelu. Obecně většina dutin má velikost v řádu decimetrů nebo jednotek metrů, zpravidla ale nelze zcela vyloučit i dutiny, jejichž velikost se pohybuje v řádu vyšších jednotek nebo desítek metrů. Již dutina v řádu nižších jednotek metrů však může mít pro ražbu pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů fatální následky, neboť může dojít ke vzpříčení, zaboření, případně i k propadu tunelovacího stroje do dutiny, což znamená následné vyprošťování stroje nebo jeho likvidaci. Dalším problémem jsou dutiny, nacházející se v bezprostředním okolí tunelu, které však nemusí být při mechanizované ražbě vůbec detekovány. Ty pak mohou ovlivnit dlouhodobou stabilitu díla (např. kvůli chybějícímu či nerovnoměrnému opření segmentového ostění a s tím související problematické stabilitě tunelové roury přímo v dutině). Z těchto důvodů a vzhledem k vysokým nákladům a časovým ztrátám pro zmáhání rozsahu škod v případě, že by taková situace skutečně nastala, je posouzení tohoto rizika v krasových oblastech velmi důležité. Při ražbě v krasu je důležitá včasná detekce dutin, což lze zajistit pomocí geofyzikálního průzkumu nebo předvrtů z tunelovacího stroje. Dutiny před strojem by měly být odvodněny (pokud v nich je voda) a zainjektovány.

Přítoky podzemní vody

Přestože vodní přítoky již od několika l/s znamenají pro ražbu tunelovacích strojů jistou komplikaci, lze se s touto skutečností vypořádat. Při otevřeném způsobu ražby se přitékající voda hromadí v počvě tunelu zejména při osazování segmentů, kdy tunelovací stroj většinou stojí a voda přitéká přes otevřené čelo stroje. V daném případě lze však vodu odčerpávat pomocí ponorného čerpadla. U ražby v uzavřeném módu pomocí zeminových štítů nastává problém s konzistencí rubaniny a komplikace s její dopravou pomocí dopravníků (zejména pásových). Natlakování šnekového dopravníku tekutým materiálem obvykle způsobí zatopení spodní části stroje, s následným obtížným odstraněním nečistot. Při nižších pravidelných přítocích však lze konzistenci korigovat pomocí přísad, které např. způsobí zgelovatění tekuté složky a tím dopravu rubaniny pomocí dopravníků usnadní. U vysokých přítoků vody (cca nad 25 l/s) již může nastat problém s rychlostí čerpání vody (zejména u úpadních tunelů, kdy nedochází k odtoku vody gravitačně). V daných případech může dojít k zatopení tunelu, což může mít zásadní vliv na bezpečnost pracovníků, ale také může dojít k zásadnějšímu poškození tunelovacího stroje a použitého vybavení. V extrémních případech mohou vysoké přítoky vody znemožnit další ražbu. Vysoké přítoky vody lze eliminovat různými způsoby (např. uzavřený mód ražeb, předstihové injektáže, odvodňovací vrty, atd.).

Poškození objektů způsobené nadměrným sedáním nadloží

Při ražbě pomocí tunelovacího stroje může být sedání nadloží vyvoláno různými způsoby. Nejčastěji deformacemi čelby a výrubu v oblasti tunelovacího stroje. Tento jev není možné při otevřeném způsobu ražby potlačit, pouze u uzavřeného způsobu ražby pomocí štítů lze deformace regulovat protlakem v rozpojovací komoře (případně i na plášti stroje). Dále může být sedání povrchu způsobeno snížením HPV vedoucímu ke stlačení nadloží. Případně může sedání povrchu také způsobit nedostatečná injektáž rubu segmentového ostění a následné vyplnění daného prostoru rozvolněnou horninou, přičemž zóna rozvolnění se rozšíří až na povrch. Rizika spojená s povrchovým sedáním jsou důležitá především v úsecích tunelu s nízkým nadložím pod zástavbou, komunikacemi a inženýrskými sítěmi. Případné prevence a sanace poklesů pak mohou mít různě vysoký dopad (např. použití kompenzačních injektáží je velmi drahé). Pravděpodobnost vzniku tohoto rizika lze však snížit citlivým postupem při ražbě.

Neplánované změny režimu tunelovacích strojů

V některých případech jsou používány konvertibilní tunelovací stroje umožňující ražbu ve dvou různých režimech (např. tunelovací stroj použitý na tunelu Ejovice umožňoval ražbu jako zeminový štít, ale po úpravách sloužil i jako TBM do tvrdých hornin). Ražba pomocí štítů umožňuje otevřený nebo uzavřený mód ražby. Zpravidla se předem předpokládá využití různých režimů (módů) pro různé úseky ražeb. Někdy však může vyvstát potřeba častějších změn (nebo se použití některých módů neosvědčí), což se může výrazně promítnout do výsledného harmonogramu ražeb (prodloužení doby výstavby). Dané nebezpečí hrozí především v pestrých geologických formacích (např. ve flyši).

Porušení stability ostění tunelu při ražbě otvoru pro propojku

Při ražbě tunelových propojek, případně při rozšiřování profilu vyraženého pomocí tunelovacích strojů (např. v odbočce), dochází k zásahu do nainstalovaného ostění a k další změně napjatosti horninového masivu. Vznikem otvoru a následnou ražbou je změněn rovnovážný stav napjatosti systému hornina – ostění, čímž je změněn průběh vnitřních sil v uzavřeném prstenci a dochází k redistribuci zatížení, přičemž jeho část je přenášena i sousedními prstenci. Proto je třeba dostatečně navrhnout provizorní podepření ostění s otvorem.

Antropogenní tělesa

Pro ražbu pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů mohou být výrazným problémem všechny umělé překážky zasahující do trasy tunelu. Největším problémem bývají ocelové nebo dřevěné překážky, které mohou přerušit nebo znemožnit další ražbu tunelovacím strojem. Známé překážky je zpravidla třeba s předstihem odstranit. Pokud nejsou antropogenní překážky detekovány s předstihem, tak může dojít k výraznému poškození řezné hlavy, navíc je pak často nutné tyto překážky obtížně odstraňovat pomocí konvenčních ražeb. Mezi antropogenní překážky zpravidla patří zapažené vrty, hlubinné základy (např. piloty, štetovnice, podzemní stěny), podzemní objekty (tunely, štoly, stará důlní díla), sítě (potrubí, kabely), atd. Také může kvůli neznámým objektům nebo kavernám dojít k vybočení tunelovacího stroje z projektované trasy, případně k propadu stroje.

Přetížení segmentového ostění vzpříčením tunelovacího stroje

Při vzpříčení nebo zaboření tunelovacího stroje, a při následné snaze o jeho další posun (nebo vyproštění), dochází k velmi nerovnoměrnému tlaku na ostění. Ten pak může způsobit poškození nebo destrukci ostění. K tomuto jevu může dojít také při mírném vybočení tunelovacího stroje z projektované trasy a ukvapené snaze osádky jej co nejdříve vrátit zpět, přičemž nejsou respektovány minimální poloměry zatáčení stroje, pohybující se ve stovkách metrů. K těmto jevům dochází zpravidla v měkkých horninách, resp. v proměnlivých podmínkách. Poškozené ostění je pak nutno opravit nebo vyměnit.

Přetížení ostění bobtnavým tlakem

Bobtnavý tlak vyvozují některé jílové minerály a v případě jeho výskytu je třeba buď na něj konstrukci tunelu dostatečně nadimenzovat, což vede ke značnému zvětšení dimenzí ostění, nebo učinit opatření k jeho zmírnění (zpravidla zvětšením výrubu, částečným uvolněním deformací, nebo zřízením deformační zóny vyplněné stlačitelným materiálem).

Přetížení ostění hydrostatickým tlakem

V případě vysoké hladiny podzemní vody nad raženým tunelem mohou být horizonty podzemních vod propojeny a na vodonepropustné ostění může působit tlak velmi vysokého vodního sloupce. Mohou se také vyskytovat zavěšené horizonty s vysokými hydraulickými gradienty vůči hladině hlavního horizontu. Díky fenoménu podélného proudění v rozvolněné zóně kolem výrubu pak výška vodního sloupce nemusí korespondovat s jednotlivými zvodněmi, ani s reliéfem povrchu. Vzhledem k tomu, že návrhový hydrostatický tlak má vliv

na výslednou tloušťku ostění a její změna znamená významný finanční dopad, je třeba velikost uvažovaného hydrostatického tlaku velmi dobře zvážit.

Nedostatečné opření segmentového ostění do horniny

Správná nosná funkce segmentového ostění je zajištěna mj. jeho řádným opřením do horninového masivu v bocích profilu. K tomu je nutné dokonalé vyplnění prostoru kontaktní spáry (prostor mezi ostěním a horninovým masivem), jehož mocnost zpravidla je cca 10 – 15 cm. Nedokonalé vyplnění kontaktní spáry může nastat při zasypání spáry horninovými úlomky nebo nedbalostí při provádění injektáže (nedostatečné, nekvalitní nebo opožděné vyplnění). Dalším fenoménem je opření ostění do měkkého horninového prostředí, kdy je sice kontaktní spára dobře zainjektována, ale hornina se tlakem ostění deformuje, protože není schopna vyvolané tlaky přenést. Tyto stavy vedou k nadměrným deformacím ostění, jeho netěsnostem až k poškozením, nebo k problémům při osazování dalšího prstence, který je nutno napojit na předcházející zdeformovaný prsteneček.

Nedostatečná vodonepropustnost ostění

V případě požadavku na vodonepropustnost jednoplášťového segmentového ostění a při vyšším hydrostatickém tlaku, může být zajištění vodonepropustnosti problematické. To se týká jak vlastního systému těsnění, tak uspořádání spar segmentů a vymezení povolených výrobních a stavebních tolerancí. V souvislosti s vodotěsností je třeba mít na zřeteli také deformace ostění vlivem zatížení a odolnost dílců proti poškození. Vodotěsnost konstrukce je třeba zajistit i v místech přechodu jedné metody výstavby na druhou (např. traťové tunely ražené štíty a propojky ražené pomocí NRTM). Vzhledem k odlišným způsobům systému hydroizolace je místo napojení poměrně rizikové. Při vyšším hydrostatickém tlaku je pak třeba toto napojení řádně nadimenzovat. Zkušenosti ukazují, že tyto detaily jsou velmi náročné jak z hlediska technického návrhu, tak z hlediska preciznosti provádění, zejména při vyšším hydrostatickém tlaku.

Požár

Vznik požáru během výstavby může mít fatální důsledky (ohrožení životů pracovníků, zničení nebo poškození vybavení používaného pro výstavbu, atd.). Také může dojít k závažnějšímu poškození tunelového ostění, což může ovlivnit stabilitu konstrukce samotné, tak i nadloží, případně i objekty, komunikace a sítě v okolí tunelu. Proto je třeba striktně dodržovat bezpečnostní předpisy pro zamezení vzniku požáru během výstavby. Všechny stroje použité pro práci v podzemí, musí být požárně bezpečné. Pro pohon tunelovacích strojů se zpravidla používají elektromotory, pro dopravu a další činnosti lze použít dieselové motory s katalyzátory, použití zážehových benzinových motorů v podzemí není dovoleno. Pro případ vzniku požáru by měl být připraven havarijný plán (evakuace osob, zamezení šíření požáru, likvidace požáru, atd.).

Agresivita podzemní vody

Vyšší agresivita podzemní vody může mít vliv na životnost a trvanlivost podzemních konstrukcí, v extrémních případech i na použitou mechanizaci (tunelovací stroje včetně jejich

návěsů, dopravníky, atd.). Předpokládané agresivité podzemní vody by měl být přizpůsoben návrh konstrukce i návrh mechanizace použité pro ražby.

Pokles hladiny podzemní vody (HPV)

K poklesu HPV může dojít dočasně během ražby, případně i dlouhodobě. Pokles HPV může mít negativní vliv na vodu ve studních v okolí stavby, pokles HPV také může způsobit výraznější sedání povrchu terénu, což v konečném důsledku může vést k poškození objektů, komunikací a inženýrských sítí nad tunelem. I přes připuštění poklesu HPV během výstavby, a vodotěsné ostění tunelu, se lokálně nemusí podařit obnovit původní stav podzemních vod. K tomu může dojít např. přerušením cest s pohybem podzemní vody, které se vybudováním tunelu přeruší. Další možností je podélné odvádění vody rozvolněnou zónou horniny podél tunelu. Tyto skutečnosti však při metodě ražby pomocí tunelovacích strojů nemusí být vůbec zaznamenány, protože obvod výrubu není volně přístupný. Pak hrozí snížení původní hladiny podzemní vody.

Vibrace během výstavby

Při ražbě tunelovacím strojem vznikají vibrace zejména z rotace řezné hlavy za současného přítlaku do horniny. Horninovým masivem se pak mohou přenášet i na větší vzdálenosti (řádově desítky až první stovky metrů) a případně i do stavebních objektů na povrchu. Charakter vibrací je kontinuální a jejich trvání závisí na postupu ražby, jednotlivé záběry jsou obecně raženy v řádu desítek minut. Vzhledem k tomu, že ražba pomocí tunelovacích strojů postupuje rychleji v porovnání s konvenčními ražbami, tak se předpokládá, že ovlivnění jednoho daného objektu může trvat několik dní, maximálně týdnů. Vliv vibrací může být významný především při nízkém nadloží v intravilánu, v problematických případech může být řešením omezení ražby v době nočního klidu.

Problémy s dopravníky

Možné ucpávání dopravníků je nejvíce závislé na podílu jemnozrnných částic v rubanině (přílnavost, lepivost, atd.) a na přítocích vody. Ucpávání přitom nastává jak u pásových dopravníků, tak i u jiných druhů (např. šnekové dopravníky u zeminových štítů). Problémy opačného charakteru pak nastávají u pásových dopravníků, kdy zejména u zeminových štítů může mít dopravovaná rubanina řídkou konzistenci, což způsobuje stékání rubaniny z pásového dopravníku na zem. Významnou roli mohou hrát přísady používané pro zpracování rubaniny (pokud jsou používány). V případě ražby v tvrdých skalních horninách hrozí nebezpečí pádu rubaniny z dopravníkového pásu (z prostorových důvodů umístěných většinou u stropu tunelu), což může ohrozit pracovníky a stroje v prostoru pod pásem.

Poruchy tunelovacího stroje

Kromě skrytých materiálových vad je důležité pro vznik poruch tunelovacího stroje konstrukční řešení jednotlivých částí stroje, včetně kvality součástek. Měly by být dodržovány bezpečnostní předpisy. Tunelovací stroje, včetně jejich přídatných zařízení, by měly být obsluhovány patřičně vyškoleným personálem. Tunelovací stroje mohou být velmi komplikované, pořizovací cena stroje a parametry stroje mají obecně vliv na jeho

spolehlivost během ražby. Použití repasovaných strojů může znamenat jejich vyšší poruchovost, což může mít přímý vliv na bezpečnost ražeb.

Zpracovatelnost rubaniny

Zpracovatelnost rubaniny u zeminových štítů závisí na správném použití lubrikačních přísad. Přísady se používají při ražbě v uzavřeném módu, kdy je rubanina transportována z uzavřené rozpojovací komory šnekovým dopravníkem do prostoru štítu, odkud pokračuje její transport pásovými dopravníky. Konzistence rubaniny musí proto vyhovovat oběma druhům dopravníků. Pomocí přísad se docílí měkké až tuhé konzistence, která je vhodná pro oba druhy dopravníků.

Kontaminace

Pro ražbu znamená problém především kontaminace uranem, azbestem, sírou. Při kontaminaci rubaniny musí být přijata opatření pro manipulaci a deponování rubaniny (bezpečnost pracovníků, nebezpečí kontaminace okolí stavby a skládky rubaniny, problematická využitelnost rubaniny, atd.).

Výrony plynů

Výrony metanu (CH_4) mohou být nebezpečné vzhledem k jeho výbušné povaze, především při koncentraci metanu od 4 do 14 % hrozí nebezpečí exploze. Kromě metanu mohou být nebezpečné i výrony dalších plynů, které obdobně jako metan mohou snížit kvalitu vzduchu v prostoru tunelovacího stroje (např. CO_2 , CO, H_2S - sirovodík, N, atd.). Proto musí být průběžně sledováno složení vzduchu v podzemí, při nepříznivém složení vzduchu je třeba tunel evakuovat a vyvětrat.

III.3. Geologická a geotechnická rizika se zohledněním podmínek v ČR

III.3.1 Úvod do problematiky

Rizika vyplývající z realizace tunelové stavby v daném geologickém prostředí jsou dána zejména geotechnickými vlastnostmi prostředí, které jsou výsledkem procesů při jeho vzniku (genezi). Následně je pak toto prostředí ovlivňováno dalšími procesy:

- Endogenními procesy (tektonika, seismika, vulkanismus – utvářející stavbu země a makrorelief).
- Exogenní (zvětrávání, chemické a fyzikální procesy, eroze, kras, sufoze, svahové pohyby atd.).
- Antropogenní procesy (procesy ovlivňující přírodní podmínky, nebo jsou vlivem člověka vyvolány).

Výsledkem je převážně heterogenní prostředí, kde v podstatě stoupá míra geotechnického rizika s mírou heterogenity. Současně však nejsou vyloučeny podmínky prakticky homogenní, ve kterých při vhodném přístupu a volbě způsobu ražby jsou rizika minimální. Rovněž však existují prostředí geneticky homogenní a následně neovlivněná, jejichž geotechnické vlastnosti jsou však natolik nepříznivé, že míra rizika je dána právě těmito vlastnostmi.

Samostatným fenoménem jsou pak poruchové zóny. Mnohdy mají regionální charakter, postihují několik geologických formací bez ohledu na jejich vznik a litologickou stavbu. Vytvářejí extrémně heterogenní prostředí s nízkými geotechnickými parametry. Tyto zóny je třeba považovat za samostatné geotechnické celky a jako takové je posuzovat a charakterizovat.

Z pohledu regionální charakteristiky nelze jednoznačně přiřadit určité geotechnické riziko k dané regionálně geotechnické formaci. Pouze pravděpodobnost výskytu určitého geotechnického rizika je v některých regionálně geologických formacích vyšší.

Geologická a geotechnická rizika lze rozdělit do následujících kategorií:

1. Rizika spojená s heterogenitou prostředí: např. průchod poruchovými zónami, ražba v blízkosti poruchových zón, časté střídání pevné a porušené horniny, ražba při nízkém nadloží, atd.
2. Rizika spojené s náhlým a neočekávaným zhoršením podmínek: např. průvaly podzemní vody, výskyt krasových jevů, apod.
3. Rizika spojená s vlastnostmi horninového prostředí, která způsobují zpomalení, eventuálně zastavení ražeb, úpravy způsobu ražby. Následkem jsou ekonomické a technické důsledky. Například zvýšená (neočekávaná) lepivost horniny, zvýšená abrazivita a podobně.
4. Rizika vyplývající z ohrožení osádky a zařízení v důsledku nebezpečných chemicko – fyzikálních vlastností prostředí, výrony plynů, nebezpečí výbuchu, požáru a podobně.
5. Rizika spojená s využitím území (historicky i současně), zejména vliv těžby a stavebná činnosti. Poddolovaná území, podzemní i nadzemní objekty.

Následně lze rizika dělit podle místa projevu účinků a doby vzniku:

1. Bezprostředně ovlivňující proces rozpojení a odtěžení (oblast čelby a rozpojovací části)
 - Nestabilita výrubu (horninového prostředí) před razicí hlavou, uvolňování bloků horniny obecně.
 - Objemové změny, tlaky, lepivost.
 - Paralelní poruchové zóny.
 - Problémy s odtěžením rozbředlého materiálu.

- Vliv hydrodynamických účinků proudící vody. Sufoze v úsecích a zónách tlakové podzemní vody a v místech s výrazně porušenou, převážně nesoudržnou horninou (písky, kakirit, apod.).
 - Nutnost předstihových opatření před razicí hlavou, MP deštníky, stříkaný beton, injektáže, štoly.
2. Rizika ovlivňující technologickou část tunelovacího stroje za rozpojovací částí
- Uvolňování bloků horniny v místě rozeprání stroje. Problémy s rozepráním stroje v zónách nadvýlomů a polohách měkkých hornin.
 - Zvýšená sedimentace rozpojeného a vodou vyplavovaného materiálu v oblasti za razicí hlavou.
 - Směrové a výškové problémy s vedením stroje (neúnosné podloží, paralelní poruchová pásma se směrem ražení, atd.).
3. Rizika ovlivňující zajištěnou (vyztuženou) část tunelu
- Deformace, případně porušení ostění v hotové části tunelu.
 - Důsledky těchto rizik – havárie, následně vyžadují řešení. Tato řešení, speciální způsoby na odstranění havárií, zmáhání a podobně, následně představují další, zejména bezpečnostní a ekonomická rizika.

III.3.2 Rizikové faktory z hlediska regionální inženýrské geologie

Český masív je rozdělen z pohledu regionální inženýrské geologie na šest regionů:

- Region krystalinika
- Region nemetamorfovaného předvariského podkladu
- Region permokarbonských pánví
- Region křídových pánví
- Region neovulkanitů
- Region terciérních depresí

Tyto regiony jsou odlišné svou geologickou stavbou, vznikem a procesy, kterým byly vystaveny a tedy i inženýrskogeologickými charakteristikami.

Každý inženýrskogeologický region je tedy typický i určitými typy nebo kombinacemi geotechnických rizik.

Současně však nelze opomenout struktury „nadregionálního“ charakteru (zlomová pásma a systémy), které ovlivňují území napříč geologickými strukturami. A právě z hlediska pozemních staveb jsou jedním ze základních fenoménů určujících charakter prostředí.

Jedná se zejména o hlavní zlomová pásma a případně o horniny pronikající skrz ostatní geologické jednotky. V některých případech spolu tyto struktury souvisí. (např. proniky vulkanitů v oblasti oháreckého riftu).

Tato pásma v některých případech tvoří více či méně ostré hranice mezi jednotlivými inženýrskogeologickými regiony.

Z hlediska vedení tras dlouhých tunelů jsou právě tyto struktury primárním faktorem, který je nutné zohlednit již v prvních fázích návrhu trasy. Současně je třeba je charakterizovat jako samostatné celky se specifickými vlastnostmi a riziky.

III.3.3 Zlomová pásma a systémy

Přehled hlavních zlomových pásem a jejich průběh je uveden v inženýrskogeologickém členění.

Zlomová (či poruchová) pásma jsou obecně provázena:

- náhlou změnou vlastností prostředí
- nepříznivými vlastnostmi prostředí
- změnou původní struktury a charakteru hornin
- zvýšenými přítoky vody
- nepříznivým deformačně-napjatostním chováním masívu

Charakter hornin v poruchových zónách je dán typem původní horniny a vlivy, které na ní působily, zejména se jedná o:

- Tektonické procesy (tlak, posuny, drcení)
- Alterace a zvětrávání (přeměna minerálů, rozpad hornin)
- Vliv vody případně hydrotermální procesy
- Tepelné (kaustické) ovlivnění vlivem proniku vulkanitů
- Vznik druhotných minerálů

Lokálním strukturám se lze často vyhnout již v úvodních fázích projektu, případně je možné jejich vliv výrazně eliminovat.

U struktur regionálního charakteru již jsou možnosti úpravy trasy značně omezené. V případě tras vysokorychlostních železničních tratí (VRT) je již směrová i výšková úprava trasy často velmi omezená.

V podstatě jedinou možnou reakcí je pak úprava trasy tak, aby poruchovou zónou procházela na co možná nejkratší trase. Tedy trasa musí být vedena nejlépe kolmo na poruchové pásmo. Čím ostřejší je úhel křížení, tím delší úsek trasy je ovlivněn poruchovým pásmem. Přičemž vliv poruchy je zřejmý již minimálně ve vzdálenosti odpovídající cca průměru tunelu.

Možnost kolize tras dlouhých tunelů s poruchovými pásmi regionálního charakteru by tedy měla být řešena již v prvních (přípravných) fázích projektů, kdy je ještě možná zásadnější úprava směrového vedení.

III.3.4 Region krystalinika

Nejrozsáhlejší region, přičemž je na velké části území zakryt mladšími jednotkami. Z hlediska ražby tunelů VRT mohou být tedy horniny tohoto inženýrsko-geologického (IG) regionu zastíženy i v rámci ostatních IG regionů.

Ze všech regionů má nejsložitější tektonickou stavbu, litologicky je velice pestrý.

Je formován převážně zlomy krušnohorského směru (SV – JZ) a pásmy sudetského směru (SZ – JV).

Z hlediska inženýrské geologie vyčleňujeme tři formace hornin (již popsáno v regionálním inženýrsko-geologickém členění [5]):

- Formaci plutonitů
- Formaci vysoko metamorfovaných hornin
- Formaci slaběji metamorfovaných hornin

Plutonity

Z hlediska ražby tunelů představují převážně homogenní prostředí bez výrazných změn vlastností a charakteru horniny.

Riziko mohou představovat portálové, případně mělké úseky v dosahu zvětrávání, zejména náhlou změnou vlastností mezi pevnou horninou a eluvii vyplňujícími pukliny. Zóny vyplněné či tvořené eluviem mohou být mocné i několik metrů. Známé jsou případy kaolinizace do hloubek přes 100 m.

Místy se mohou nacházet i chemicky zvětralé – kaolinizované granity.

Obecně se jedná o abrazivní horniny s hodnotou indexu CAI v intervalu 3,5 až 5.

Formace vysokometamorfovaných hornin

Převážně pararuly s výraznou břidličnatostí, svory a svorové ruly, vyskytují se však v podstatě veškeré typy metamorfovaných hornin případně aplitů.

Riziko představují zejména tektonická pásma s výrazně porušenou horninou, mohou být zastížena mylonitizované pásma, kataklazity.

Poměrně časté jsou výskyty grafitu, který často je často doprovází poruchová pásma a tektonické polohy. Vyskytuje se jak ve formě výraznějších až několik metrů mocných poloh, tak jako povlak na plochách diskontinuit. Pro tyto zóny je typická výrazná nestabilita prostředí, případná přítomnost vody (přirozená i technologická) stabilitu dále výrazně snižuje.

Lokálně se vyskytují vápence, převážně rekrystalizované do mramorů. Přestože jsou zastoupeny jen minimálně, mohou být postiženy krasověním. Známé jsou systémy jeskyní a dutin o rozměrech až stovek metrů vázané na čočky těchto hornin. Příkladem jsou např. Chýnovské jeskyně, Bozkovské jeskyně. (Turnov), Ledeč n. Sázavou, Chrudimsko.

Formace slaběji metamorfovaných hornin

Tato formace zahrnuje všechny ostatní jednotky krystalinika (kromě moldanubika a hlubinných vyvřelin). S výjimkou Šumavy a Českého lesa tvoří v podstatě všechna ostatní pohoří.

Zahrnuje širokou škálu hornin: Břidličné ruly, svory s krystalickými vápenci, metabazity, šedé ruly, ortoruly, migmatity, červené ortoruly, granulitové ruly, fylity, fylitické břidlice s vložkami kvarcitických fylitů až kvarcitů. Sericitické a chloritické fylity, svory chloriticko-muskovitické, svorové ruly a migmatity, grafitické fylity, krystalické vápence a zelené břidlice.

Tyto horniny se vyznačují převážně nepravidelným rozpadem podmíněným břidličnatostí s deskovitou odlučností (desky, střípky, roubíky).

Rizikem pro ražbu jsou zejména poruchová pásma provázená změnami vlastností horniny. Z hlediska stability výrubu, zejména v prostoru před razící hlavou tunelovacích strojů lze za nejvíce rizikové považovat grafitické břidlice, chloritické a sericitické břidlice.

Nejvyšší hodnoty abrazivity dosahují kvarcitu (obecně nejabrazivnější horniny), kvarcitické ruly a křemenné ruly.

III.3.5 Region nemetamorfovaného předvariského podkladu

Jsou vymezeny dva subregiony:

- Barrandien
- Moravské paleozoikum

Příčemž Barrandien lze dále rozdělit na algonkium a starší paleozoikum.

Litologicky pestré území zahrnující celou škálu hornin, místy postižených proniky proterozoických vulkanitů.

Barrandien je dělen na:

Algonkium tvořené komplexem jílovitých a drobovitých břidlic s vložkami drob, slepenců, bulžníků a vyvěřelin. Ve vyšších úrovních flyšového charakteru.

Starší paleozoikum, které je dále, dle stratigrafie, děleno na:

Kambrium, převážně slepence, pískovce a droby.

Ordovik, pískovce, droby, břidlice (místy charakteru jílovců a ž jílů). Podrobný litologický popis je uveden v regionálním inženýrskogeologickém členění.

Silur, devon, graptolitové břidlice, vápence.

Stratigraficky spadají mezi horniny siluru a devonu také vulkanity – diabasy, tvoří ložní žíly a submarinní příkrovy, tufy a aglomeráty – charakter skalních hornin, odolné vůči zvětrávání.

S výjimkou vulkanitů, je u všech uvedených horninových typů dominantním strukturálním prvkem vrstevnatost podmiňující rozpad hornin zejména na střípkovité, deskovité a roubíkovité fragmenty. Díky provrásnění je častým rizikovým faktorem nepříznivá orientace vrstevních ploch vůči směru ražby, způsobující vypadávání horninových bloků a klínů. Toto riziko narůstá v místech výraznějšího tektonického porušení.

V tektonických zónách dochází k rozpadu na střípkovité úlomky s vyhlazenými plochami. Místy pak jílovité, tlačivé polohy rozložených hornin.

Pro jílovité horniny obecně je nutné očekávat zvýšené riziko lepivosti.

Opět je však rozhodujícím faktorem stupeň tektonického porušení, který je prvořadým činitelem ovlivňujícím chování a deformační projevy.

Pro břidlice je typické fosilní zvětrávání, jeho dosah je nepravidelný, mnohde dosahuje do hloubek nad 10 m. Hranice zvětralé horniny vůči skalnímu podloží je nepravidelná s náhlými změnami průběhu.

Silurské a devonské a jsou často postiženy krasovými jevy, mnohdy poměrně rozsáhlého charakteru.

Kras

V oblastech budovaných karbonátovými horninami, zejména tedy vápenci se nacházejí (mohou nacházet) výrazné krasové jevy. Z hlediska podzemních staveb jsou zásadní zejména dutiny, mnohdy svými rozměry přesahující desítky metrů.

Krasové dutiny představují riziko nebo kombinaci rizik z několika ohledů.

Obecně se jedná o prostory vzniklé primárně rozpuštěním karbonátových hornin (ojediněle i jiných typů hornin – sádrovec, sůl, některé typy pískovců).

Sekundárně může docházet k jejich zvětšování i mechanickými účinky proudící vody případně vodou unášeným materiálem. Logicky dochází i ke kombinaci obou těchto faktorů.

Dutiny vznikají zejména rozšiřováním vrstevních ploch jako základního strukturního prvku a na vrstvy nejčastěji kolmých (ortogonální) puklin, případně výraznějších tektonických poruch.

Vznikají tedy jak systémy převážně horizontální, tak i vertikální, komínovité vznikající právě na kříženích svislých systémů puklin. Výsledkem pak mohou být propojené systémy s několika úrovněmi.

Tyto dutiny lze ve vztahu k podzemnímu dílu rozdělit podle několika kritérií, zejména velikosti, pozici vůči trase, tvaru, typu zvodnění a charakteru výplně.

Krasové dutiny jsou s ohledem na velikost členěny ve speleologii na neprůchozí a průchozí (průlezná) s průměrem nad 50 cm. V hydrogeologii podle schopnosti umožnit proudění vody.

Z hlediska podzemních staveb lze jako rozměrový parametr považovat poměr k ploše výrubu. Dutiny pak lze podle velikosti klasifikovat jako:

- Malé do 10% rozměru,
- střední 10 – 30%
- velké nad 30%

S ohledem na výplň lze dutiny popsat jako:

- Otevřené dutiny, s vyšším nadložím, bez výplně.
- Otevřené dutiny, s vyšším nadložím, sekundárně zcela vyplněné (převážně směsí zvětraliny s proměnlivým podílem bloků horniny).
- Otevřené dutiny, s vyšším nadložím, částečně vyplněné, (převážně směsí zvětraliny s proměnlivým podílem bloků horniny, výjimečně pouze zaklíněné bloky, kdy jemnější zeminy byly odplaveny vodou).
- Dutiny spojené s povrchem, zcela nebo částečně vyplněné směsí zvětraliny a bloků horniny.

S ohledem na zvodnění:

- Suché
- Vyplněné vodou, (statické, průtočné)

- Periodicky průtočné

S ohledem na pozici vůči podzemnímu dílu:

- V nadloží (mimo profil, nezasahující do profilu).
- V okolí podzemního díla, zasahující do profilu.
- V podloží, nezasahující do profilu.

Rizika vyplývající z jednotlivých popisných kategorií.

Míra ovlivnění podzemního díla krasovou strukturou je závislá zejména na kombinaci jednotlivých uvedených faktorů.

Primárně znamenají dutiny náhlou změnu charakteru prostředí skalní hornina – dutina.

Jednotlivě lze rizika definovat následovně:

Podle velikosti

Zejména u dutin s velikostí nad 30% díla vzrůstají rizika:

- Se směrovým vedením
- Stabilizací stroje
- Únikem stabilizační suspenze

Menší dutiny zásadnější problémy nezpůsobují

Podle typu výplně

Otevřené dutiny mohou způsobovat rizika uvedená u dutin s velikostí nad 30% profilu díla. Celkově představují menší riziko než dutiny s výplní.

Dutiny s výplní zvětralinami s příměsí bloků představují zejména riziko vypadávání výplně, toto riziko je vyšší u ne zcela vyplněných dutin, ve kterých není výplň konsolidována.

U vertikálních, a obecně dutin nad profilem díla hrozí i řízení bloků horniny, mnohdy řádově o objemu m³. Ty mohou být vyvolány dynamickými účinky stroje, uvolněním části bloků, deformační reakcí masívu případně kombinací uvedených faktorů.

U dutin spojených s povrchem (či blízkých povrchu) je riziko zvýšeno o vypadávání, případně splach zvětralin z povrchové zóny. Nejsou vyloučeny propady povrchu a podobně.

Obecně lze za rizikovější považovat dutiny, které jsou vyplněny jen částečně.

Podle zvodnění

Přítomnost vody obecně zesiluje negativní účinky ostatních rizikových faktorů.

Statická zvodnění (bez dotace, případně s minimální dotací)

Z hlediska vlastní přítomnosti vody hrozí náhlé průvaly o značných objemech. V případě statické zásoby bez dotace z okolí dochází k poměrně rychlému vyprázdnění systému. Řádově jde o hodiny, maximálně dny.

Nelze zcela vyloučit následné projevy sedání na povrchu.

Dotované průtočné systémy

Opět hrozí náhlé průvaly značných objemů. Dochází však pouze k částečnému snížení přítoku, následně dojde k ustálení průtoku dle vydatnosti zdrojové oblasti, případně klimatických podmínek. Průtok (přítok do díla) však může stále dosahovat vysokých objemů v řádech desítek až stovek l/s.

Periodické

V podstatě se jedná o průtočné systémy, v nichž dochází k proudění vody v závislosti na klimatických podmínkách a ročním období. Nebezpečí spočívá v možnosti náhlého přítoku velkého objemu vody, případně směsi vody se zeminou a bloky horniny.

Podle pozice

V nadloží (mimo profil, nezasahující do profilu) – pokud je mezi takovouto dutinou a profilem tunelu taková vzdálenost, že hornina je schopna přenést veškeré deformace a nevzniká nebezpečí zhroutení, pak tento typ dutin nepředstavuje výrazné riziko.

V opačném případě je nutné realizovat opatření na zajištění stability horninového masívu.

Pokud je nasazen stroj využívající k zajištění čelby suspenzi, a v případě, že je tento typ dutiny propojen do systému vzniká nebezpečí úniku pažící suspenze do prostoru systému dutin, případně až na povrch. Tedy hrozí riziko ztráty stability čelby a zvýšená spotřeba suspenze.

Existuje i možnost deprese ve skalní hornině, která je vyplněna zvodněnými (málo soudržnými) sedimenty. Zde vzniká riziko jak úniku směsi, tak zejména možného propadu povrchu terénu. K tomu dochází v případě, kdy dojde k porušení „dna“ deprese a propojení s krasovým systémem. Dojde k vyplavování výplně, mnohdy je pak efekt zvýšen proudící pažící suspenzí.

V okolí podzemního díla, zasahující do profilu

V tomto případě vzniká rovněž riziko úniku pažící suspenze v případě stroje s touto technologií.

Dalším rizikem je problematické zajištění polohy stroje, jeho rozepření v okolní hornině a tím zajištění směrového vedení.

Situace, kdy se dutiny nacházejí v okolí díla, je nutné řešit například předražením inkriminované části konvenčně. Vyplněním a stabilizací dutin tak, aby byl umožněn bezpečný průchod stroje tímto úsekem.

V podloží, nezasahující do profilu

I v tomto případě hrozí únik suspenze.

Zásadní nebezpečí však spočívá v možnosti propadu části stroje. Nelze vyloučit ani následné propady v již vyztužených částech.

Mimo zastižení dutiny během ražby totiž existuje i riziko průchodu ražby těsně nad dutinou. Většinou k této situaci dochází v pevné krasem postižené hornině, kdy nedojde ke kolapsu horninového pilíře (můstku) oddělujícího profil ražby od dutiny. Podobné situace byly zastiženy například při ražbách tunelů metodou NRTM s horizontálním členěním, kdy při ražbě jádra nebo dna byly odhaleny dutiny velkých rozměrů. Přestože nad nimi probíhaly práce a provoz těžkých mechanismů během ražen kalot nebyly většinou objeveny.

Zajištění těchto dutin představuje mnohdy nutnost jejich „překlenutí“ předpokládající vytvoření jakýchsi trémových konstrukcí.

Uvedená rizika je vždy nutné hodnotit ve vzájemné kombinaci. Jen výjimečně se lze setkat pouze s jedním z uvedených typů bez možného vlivu dalších.

III.3.6 Region permokarbonských pánví

Geneticky a stratigraficky lze horniny permokarbonu rozdělit na dva typy:

- Sedimenty – Jílovce, prachovce, pískovce a slepence.
- Vulkanity – Křemenné porfyry (ryolity), melafyry.

Z technického hlediska se jedná o dva rozdílné typy hornin.

V případě sedimentů lze zvýšenou míru rizika předpokládat v případě jílovců a prachovců, převážně však pouze ve spojení s tektonickým porušením, vodou a v prostředí výraznějších tektonických zón.

Vulkanity jsou převážně velmi odolné, pevné abrazivní horniny. Ryolity jsou v důsledku vzniku typické několika zónami s rozdílnými strukturními a v důsledku i technickými parametry. Místy jsou poměrně náchylné ke zvětrávání a rozpadavé na reziduum charakteru štěrku. Lokálně jsou výlevná tělesa střídána tělesy tvořenými eruptivy, charakteru ryolitových tufů.

Melafyry jsou převážně kompaktní, nepravidelně rozpadavé horniny bez pravidelné struktury.

Obecně se jedná o skalní horniny, ve kterých je případné porušení opět spojené s průběhem výraznějších tektonických linií.

III.3.7 Region křídových pánví

Dva litologické komplexy:

- Pelitický (jíly, jílovce, silty, siltovce, slíny, slínovce)
- Psamitický (pískovce)

Pelitické horniny jsou obecně náchylnější k zvětrávání a snadněji podléhají klimatickým vlivům. Zejména pak jejich zvětraliny, případně tektonicky ovlivněná pásma mají charakter jílovitých zemin, se všemi jejich negativními technickými vlastnostmi (lepivost, objemová nestálost, rozbrídavost, nízké smykové parametry, tlačivost atd.).

Z hlediska geomechanických vlastností lze za nejhorší považovat jílovce (případně jílovce s uhelnou příměsí) peruckého souvrství.

Pískovce a písčité vápence jsou převážně pevné, abrazivní horniny s poměrně značnou odolností vůči vnějším vlivům.

Problematické mohou být okraje plošin, kde jsou pevné pískovce náchylné k blokovým pohybům, zejména na pelitickém podloží. Okrajové bloky tak mohou různě posunuty oproti své původní poloze (poklesy, natočení, překocení), případně hrozí ztráta jejich stability v důsledku stavební činnosti.

S křídovými horninami (respektive pánvemi budovanými těmito horninami) je spojeny významné hydrogeologické kolektory. Jsou vázané na písčité souvrství, vzájemně oddělená izolátory z jílovitých poloh. Tyto kolektory jsou významnými zdroji pitné vody v mnoha regionech. Z tohoto důvodu je vždy v případě jakékoliv podzemní stavby v tomto prostředí nutné zhodnocení vzájemného vlivu stavby a prostředí. Toto posouzení je jedním ze základních požadavků již v prvních fázích návrhu tras podzemních staveb.

III.3.8 Subregion jihočeských pánví

Jihočeské pánve jsou ohraničeny tektonicky aktivními zlomovými pásmi. Oblast obou pánví je postižena řadou zlomů náležejících ke třem systémům.

Nejvýraznějšími pásmi jsou zlomy související se systémem jáchymovského hlubinného zlomu se směrem SZ – JV a zlomy navazující na systém Blanické brázdy SSV – JJZ. Tyto zlomy postihují jak sedimentární výplň pánví, tak ohraničují pánve vůči okolnímu krystaliniku. Třetím zlomovým pásmem je systém probíhající ve směru ZSZ – VJV. Složitost tektonické stavby jihočeských pánví je zřejmá z následujícího obrázku.

Křídové horniny jsou zastoupeny i v Třeboňské a Budějovické pánvi. Nejvýrazněji, až ve ¾ plochy, je zastoupeno klikovské souvrství. Je tvořeno souborem písčitých až jílovitých sedimentů (místa s podílem zuhelnatělé rostlinné drtě). Pro souvrství je typické výrazně nepravidelné uspořádání se změnami ve vertikálním i horizontálním směru.

Celkově se jedná o prostředí s nepříznivými geomechanickými parametry s poměrně složitou strukturně – tektonickou stavbou.

Nepříznivý charakter tohoto souvrství souvisí i s hydrogeologickými poměry. Podzemní voda zde vytváří více horizontů, mnohdy i mělkých, s napjatou hladinou, s omezenou mírou vzájemné komunikace v rámci propustnějších písčitých poloh.

III.3.9 Region terciérních depresí

Pánve v Čechách jsou převážně ohraničeny výraznými tektonickými pásmy:

Severozápadní a severní Čechy

Jihočeské pánve (Budějovická, Třeboňská)

Relikty na území Moravy:

Sedimenty náležející převážně k mořským sedimentům karpatské předhlubně.

Charakteristika

Sedimenty pánví představují v převážné míře zeminy a horniny málo únosné, stlačitelné, citlivé na změny vlhkosti, objemově nestálé. S nízkými geomechanickými parametry.

Území v místech vývoje uhelných slojí jsou výrazně poznamenána historickou i současnou těžbou uhlí a dalšími souvisejícími procesy.

Oblasti tvořené terciérními horninami patří mezi oblasti s nejvyšším výskytem svahových pohybů na území ČR. Svahové pohyby postihují jak přirozené svahy, tak i svahy umělých těles (násypy, valy, výsypky atd.). Přirozené svahy tvořené jílovitými horninami mají sklony pouze v intervalu 9 až 12°.

Vznik severočeských pánví je spojen s několika zlomovými pásmy (okrajovými zlomy). Nejvýraznější strukturou je pásmo krušnohorské zlomu. Podél něj jsou vyvlečeny mimo hornin terciéru i křídové horniny. Ty společně tvoří jakýsi nepravidelný „lem“ vystupující na rozhraní pánve a svahu. Pásmo krušnohorského zlomu (oblast ovlivnění) je široké několik stovek metrů, maxima okolo 1 km. Mimo pánevní sedimenty postihuje i horniny krystalinika.

Nejedná se o jedinou zlomovou linii, ale soustavu více rovnoběžných zlomů, jejichž průběh je přerušen menšími příčnými zlomy.

Stejně tak sedimentační prostor pánve není pravidelný, ale je příčně rozdělen zlomy a hřbety na několik oddělených pánví. Místy ani nedošlo k vytvoření uhelné sloje.

Na JV je oblast ohraničena pásmem litoměřického hlubinného zlomu, středem pak probíhá tzv. centrální hlubinný zlom. Povrchovým projevem litoměřického hlubinného zlomu je středohorský zlom ohraničující České středohoří na JV.

Převážně s těmito zlomovými pásmy jsou spjaty proniky vulkanitů Českého středohoří.

Oblast terciérních pánví nelze z hlediska vedení tras podzemních staveb charakterizovat určitým typickým rizikem. Představují soubor (koncentraci) několika rizik, která je nutno posuzovat ve vzájemné kombinaci s ohledem na výsledný dopad.

III.3.10 Region neovulkanitů

Tvoří dvě souvislé oblasti:

- Doupovské hory
- České středohoří

Ojedinele pak lokální výstupy prakticky na celém území.

Jedná se zejména o výlevné vyvřeliny, skupin trachytických, fonolitických a čedičových hornin, spolu s jejich tufy, tufovými aglomeráty a tufity. Např. stratovulkán Doupovských hor je tvořen z 20% lávami a 80% pyroklastiky.

Z technického hlediska lze vyčlenit tři horninové typy:

Pevné skalní horniny (jak tmavé typu bazaltů, tak světlé charakteru znělců)

Pyroklastika (jemnozrnné, hrubozrnné, většinou málo zpevněné, méně odolné)

Kontaktně (kausticky) postižené, místy až přeměněné horniny. Stratigraficky starší horniny (převážně sedimenty) tepelně ovlivněné pronikajícími vulkanity. Vyskytují se lokálně na styku vulkanitů se staršími (převážně křídovými, méně pak permokarbonskými sedimenty).

Vulkanické komplexy (jejich proniky) a jejich okolí jsou typické rychlým střídáním hornin se zcela odlišnými geomechanickými a technickými parametry. Přičemž se na relativně malých územích mohou vyskytovat jak různé genetické typy vulkanitů, tak i převážně starší sedimentární horniny a rovněž i horniny krystalinika.

Vulkanity tvoří jak tělesa s výrazně vertikálními tvary (přívodní dráhy), tak i tělesa horizontální (výlevy, případně proniky do vrstev sedimentů).

Pyroklastika pak mnohdy vytvářejí až desítky metrů mocné polohy vyplňující prostory historických pánví a depresí. Místně se nacházejí polohy pyroklastik redeponované vodou.

Z pohledu výstavby tunelů jsou nejrizikovější střídání ostrá střídání horniny zcela odlišných charakteristik. Výskyt jak velmi pevných, abrazivních skalních hornin na straně jedné a tufitických hornin nabývajících až charakteru jílovitých zemin na straně druhé.

Obdobně rizikové mohou být i roztroušené proniky v ostatních inženýrskogeologických regionech.

III.3.11 Shrnutí regionálních geologických rizik

Nelze konstatovat, že určité riziko je specifické pro určitý inženýrskogeologický region. Rizika spojená s budováním podzemních staveb jsou v podstatě obdobná ve všech regionech. Výjimkou jsou ve své podstatě pouze krasové oblasti, ale s krasovými projevy se lze setkat i v regionech, které jsou z velké části budovány horninami nepodléhajícími krasovění.

Rizika jsou bez ohledu na region vázána na charakter porušení masívu v trase stavby, strukturu, míru zvětrávání a alterace, vliv vody, existenci tektonických poruch a vlivy vyplývajícími ze vzniku území.

Zásadním rizikem je vždy kolize s tektonickými pásmi a poruchami obecně. Na nich, a v jejich blízkosti, dochází k největšímu ovlivnění a změnám charakteru horninového prostředí. Zde jsou oproti okolí zásadně pozměněny hydrogeologické poměry.

Druhým výrazným fenoménem jsou místa styku rozdílných litologických formací, ta nemusí být nutně spojena s průběhem poruchových pásem. Jejich projevy však mohou být obdobné jako u tektonických pásem.

III.4. Bezpečnostní požadavky na mechanizované ražby

III.4.1 Základní bezpečnostní požadavky na mechanizované ražby

Mechanizované ražby obecně v porovnání s konvenčními ražbami znamenají výrazně bezpečnější pracovní prostředí pro přítomné pracovníky. I tak mechanizované ražby znamenají řadu bezpečnostních rizik, která je třeba zohlednit a minimalizovat. Následující text vychází především z dokumentu EN 12336 (2005): Tunnelling machines. Shield machines, thrust boring machines, auger boring machines, lining erection equipment. Safety requirements.

V následujícím textu jsou uvedeny požadavky a opatření pro snížení nebezpečí, která vyžadují speciální přístup. Při návrhu plnoprofilových tunelovacích strojů by měly být zohledněny následující aspekty:

- Výsledky rizikové analýzy (seznam předpokládaných rizik, eliminace nebo redukce předpokládaných rizik, výsledná úroveň rizik a připravená opatření pro jejich zvládnutí, způsob rozdělení zodpovědnosti za možná rizika)
- Nezbytná úroveň výcviku pracovníků obsluhujících tunelovací stroj

Materiál

Materiály použité pro výrobu tunelovacího stroje a materiály použité při ražbě musí být vybrány tak, aby byla zvýšena bezpečnost pracovníků během ražby. Umělohmotné materiály musí být nehořlavé nebo samozhášecí. Speciální pozornost použitým materiálům by měla být věnována při ražbách s použitím stlačeného vzduchu (vzhledem ke zvýšenému nebezpečí vzniku požáru).

Kontaktní plochy

Přístupné části tunelovacího stroje musí být navrženy a vyrobeny tak, aby nemohlo dojít ke kontaktům nechráněných osob s ostrými hranami, rohy nebo drsnými povrchy, které by mohly způsobit zranění. Totéž platí pro horké povrchy.

Ochrana proti prasklým hadicím a trubkám

Hadice a trubky, které mohou prasknout a způsobit zranění pracovníkům, musí být trvale zabezpečeny proti vnějšímu poškození.

Řezná hlava tunelovacího stroje

Pokud je nezbytné umožnit přístup skrz tlakovou přepážku do prostoru za řeznou hlavu a přístup skrz řeznou hlavu do prostoru před řeznou hlavou, tak přístupové otvory musí mít dostatečnou velikost.

V případě použití tunelovacího stroje v nestabilních geologických podmínkách musí být přijata adekvátní opatření pro zajištění bezpečného přístupu pro kontroly a opravy řezné hlavy. Daná opatření mohou zahrnovat podporu čelby, uzavírání nebezpečného prostoru nebo zajištění prostoru stlačeným vzduchem.

Řezná hlava musí být vybavena brzdým systémem pro zabránění neplánovaného pohybu řezné hlavy. Systém musí být aktivován, pokud je řezná hlava zastavena z nestandardních důvodů během pracovního cyklu.

Manipulace s těžkými břemeny

Pokud váha, rozměry nebo tvar částí tunelovacího stroje a zařízení s ním souvisejících neumožňují ruční manipulaci, tak dané části musí být vybaveny doplňky pro zdvihací zařízení, nebo musí být navrženy tak, aby mohly být dovybaveny potřebnými doplňky. K dispozici musí také být zařízení pro dopravu a manipulaci s částmi, které vyžadují pravidelnou výměnu, jako třeba jsou řezné nástroje.

Pokud segmenty tunelového ostění mají hmotnost vyšší než 50 kg, tak musí být tunelovací stroj vybaven zařízením pro manipulaci se segmenty a erektorem. Navijáky a motory daných zařízení musí být vybaveny mechanickými brzdami, které jsou deaktivovány během jejich provozu.

Segmenty s hladkým povrchem mohou být přemísťovány pomocí vakuových desek. Zdvihací zařízení, využívající vakuových desek, musí být vybaveno zvukovým a vizuálním alarmem aktivovaným při ztrátě více než 20% minimální hodnoty vakua.

Všechny části používané pro zdvih musí být navrženy a vyrobeny v souladu s normami (např. EN 292-2). Všechny hydraulické a pneumatické lisy, motory a vakuové desky, které zdvihají břemena, musí být vyrobeny tak, že při porušení okruhu nebo při vypnutí energie bude břemeno i nadále drženo pomocí pojistek nebo brzd, které jsou obecně vypnuté během manipulace.

Ztráta stability

Všechny tunelovací stroje slouží jako dočasné zajištění výrubu během ražby tunelu nebo štoly. Proto musí být tunelovací stroje navrženy tak, aby přenesly všechna zatížení od horninového masivu i od posunu tunelovacího stroje.

Projektanti a výrobci tunelovacích strojů musí zajistit soulad s danými požadavky v případě, že je stroj používán v lokalitě, pro kterou byl navržen. V některých případech se stává, že je stroj používán i v jiné lokalitě, než pro kterou byl původně určen při jeho návrhu a výrobě. V daných případech je splnění podmínek zodpovědností pilota tunelovacího stroje. Všechny informace související s konstrukcí tunelovacího stroje musí být uvedeny v servisní knížce, nebo musí být dostupné u výrobce stroje po celou dobu životnosti stroje, nebo minimálně po dobu 10 let.

Při použití rozpěrných desek u TBM do tvrdých hornin může být řezná hlava nastartována a přítlačná síla aplikována pouze při dosažení minimálního rozpěrného tlaku, který zabrání rotaci nebo zpětnému zatlačení tunelovacího stroje. Pokud se rozpěrný tlak sníží pod minimální hodnotu, musí dojít k automatickému vypnutí řezné hlavy a přítlačné síly.

Všechny tunelovací stroje mohou být vystaveny pomalé rotaci (rolování) způsobené nerovnoměrnou distribucí sil. Proto by měla být věnována při návrhu a výrobě tunelovacích strojů a jejich přídatných zařízení pozornost požadavku na omezení excentrického zatížení. Tunelovací stroje musí být vybaveny efektivním systémem pro korekce rolování (natočení), aby stroj a jeho přídatná zařízení byla uvedena do jejich správné polohy.

Rychlá rotace tunelovacího stroje může nastat v případě, že se řezná hlava zasekne v horninovém masivu. Všechny tunelovací stroje proto musí být vybaveny ochranným zařízením, které vypne pohon motoru v případě rychlé rotace stroje.

Podrobné informace ohledně možností zajištění čelby u různých typů tunelovacích strojů byly uvedeny v předchozích kvartálních zprávách.

Přístup na pracoviště včetně údržby

Výrobce musí vybavit tunelovací stroj prostředky pro bezpečný přístup na pracoviště i pro jeho bezpečné opuštění (schody, žebříky, lávky, atd.). Pracovní oblasti tunelovacího stroje musí být navrženy a vyrobeny tak, aby byla minimalizována rizika pádu a kolize. Oblasti tunelovacího stroje a jeho návěsů, ve kterých dochází k nakládání a vykládání materiálu mezi dopravním systémem a strojem, musí být navrženy a vyrobeny tak, aby byl zajištěn bezpečný příchod a odchod pracovníků. Manuál by měl obsahovat podrobné rozměry předpokládaného systému pro dopravu v tunelu a podpůrného systému.

Přístupové cesty na tunelovacím stroji nebo mezi strojem a tunelem musí mít minimální plochu příčného řezu 0,5 m², ve které musí být volný obdélníkový prostor minimálně 700 mm vysoký a minimálně 450 mm široký. Pochozí povrch přístupových cest musí být minimálně 300 mm široký. Zábradlí a spodní lišty jsou nezbytné, pokud je pochozí plocha užší než 300 mm. Přístupové cesty nesmí být přerušeny dveřmi nebo skladem materiálu či vybavení. Změny směru nebo úrovně přístupových cest musí být omezeny na nezbytné minimum. V případě ramp a schodišť musí být zábradlí nebo chytý umístěny aspoň na jedné straně cesty.

Pokud je tunelovací stroj příliš malý pro umístění schodů nebo žebříků, tak musí být vybaven chytý a stupačkami, neklouzavým povrchem a fixačními body pro úvazky. Podrobnosti lze nalézt v ISO 2867 (sekce 6 a 7) a ISO 2860.

Přístupové otvory (např. do tlakové komory nebo skrz řeznou hlavu) musí mít minimálně 400 mm průměr a 0,2 m² plochu. Pokud lze, tak by rozměry měly být větší než uvedené minimum.

Ochrana proti padajícím předmětům, nestabilitě čelby a zaplavení

Řídící kabiny (kontrolní stanoviště) tunelovacích strojů musí být vybaveny ochrannými střechami, aby byla zajištěna dostatečná ochrana pracovníků. To neplatí, pokud je kontrolní stanoviště v tunelu pod ochranou ostění nebo pod přiměřenou ochrannou deskou. Typy ostění a ochranných desek musí být uvedeny v manuálu pro obsluhu stroje. Pracovníci provádějící provizorní zajišťovací práce musí být chráněny podobným způsobem. Adekvátnost ochranných střech musí být ověřena výpočtem. Měly by být splněny požadavky uvedené v EN 23 449.

Citlivé části tunelovacího stroje, jako jsou kabely, transformátory, hydraulická potrubí a hadice, které jsou vystaveny nebezpečí padajících objektů, by měly být chráněny.

Při ražbě tunelů s nezapaženou čelbou je vždy riziko nestability čelby. Všechny otevřené tunelovací stroje musí být vybaveny prostředky pro zajištění čelby, které umožní zvládnutí předpokládaných geologických podmínek (a zajištění čelby během delších odstávek stroje). Mohou to například být výklopné pažící desky, dřevěná pažení, atd.

Významné riziko představuje možnost zaplavení tunelu, což by mohlo vést k úrazům nebo utonutí pracovníků. Všechny tunelovací stroje by měly být vybaveny vhodným čerpacím zařízením pro předpokládané hydrogeologické podmínky. Tunelovací stroje včetně návěsů musí být vybaveny jasnými a efektivními prostředky pro nouzový únik pracovníků. Při nebezpečí zaplavení tunelu by tunelovací stroje měly mít těsnící přepážky, které zajistí bezpečný prostor po jistou dobu.

III.4.2 Řídící kabina (kontrolní stanoviště)

Kontrolní stanoviště tunelovacích strojů musí být umístěna v kabině nebo musí být pracovníci na stanovišti chráněni jiným způsobem proti mechanickým úrazům, prachu, plynům, výparům, hluku a vibracím. Řídící kabiny tunelovacích strojů by měly být konstruovány tak, aby zajišťovaly bezpečné prostředí (např. ventilace, výhled, zmírnění hluku a vibrací, ochrana před padajícími předměty, vytápění nebo chlazení prostoru, atd.). Kabiny by také měly umožňovat rychlou evakuaci v případě nebezpečí. Materiál použitý pro řídicí kabiny by měl být nehořlavý a neměl by také způsobovat toxické výpary v případě požáru.

Řídící kabiny by měly být navrženy tak, aby pokud možno zabránily únavě a stresu pracovníků. To by mělo zohledňovat fakt, že pracovníci mohou používat těžké rukavice, boty a jiné ochranné prostředky. Pokud lze, tak by rozměry měly respektovat EN 23 411. Sedadlo by po řádném nastavení mělo umožňovat stabilní a komfortní pozici. Sedadlo by mělo tlumit vibrace z tunelovacího stroje na přijatelnou úroveň.

Řídící kabina by měla umožňovat dostatečný výhled při zajištění bezpečnosti všech pracovníků. Výhled může být zajištěn pomocí průmyslových kamer a obrazovek, pokud by zajištění přímé vizuální kontroly bylo komplikované nebo nedostatečné. Pokud celý prostor tunelovacího stroje není viditelný z kontrolního stanoviště, tak musí být na stanovišti (v kabině) instalována indikační světla nebo jiná obdobná zařízení indikující, že je stroj připraven k provozu, že další zařízení jsou připravena k provozu nebo už jsou v provozu, že monitorovací systém je v provozu a že bezpečnostní pojistky jsou aktivovány.

III.4.3 Elektrické jističe a bezpečnostní zařízení

Zajištění pohyblivých částí stroje

Všechny pohyblivé části tunelovacího stroje musí být vybaveny elektrickými jističi a ochrannými zařízeními, aby nedošlo ke kontaktu mezi pracovníky a pohyblivými částmi stroje, což by mohlo vést k úrazům. Pokud to není praktické z technických nebo ekonomických důvodů, vhodné varovné signály by se měly zobrazovat na tunelovacím stroji, které jsou dobře viditelné, případně by pohyblivé části měly být natřeny varovnými barvami.

Přístup do řezné hlavy

Přístup do oblasti umožňující kontakt s řeznou hlavou musí být umožněn pouze v případě, že je řezná hlava zcela zastavena. Přístup k řezné hlavě musí být chráněn dveřmi případně jiným obdobným způsobem.

Vybavení pro dopravu

Nejvýznamnější riziko související s provozem a obsluhou transportních zařízení představuje vtažení těla, resp. části těla člověka (především jeho ruky) do místa náběhu dopravního pásu (unášecího prostředku). Přitom ke každému třetímu smrtelnému úrazu v rámci celé skupiny dopravníků dochází při vtažení do místa náběhu unášecího prostředku na buben pásového dopravníku.

Ke vtažení (zejména ruky člověka a v krajním případě i celé osoby) do míst náběhu dochází nejčastěji při čištění bubnu, popř. dopravního pásu, a to při prokluzu dopravního pásu, kdy vzniká relativní pohyb dopravního pásu vůči poháněcímu bubnu, způsobený rozdílem rychlostí dopravního pásu a obvodové rychlosti hnacího bubnu. V krajním případě se může dopravní pás i zastavit. Což znamená, že opatření protiúrazové prevence za účelem bezpečné a zdraví neohrožující práce spočívají v zajištění bezpečnosti pásových dopravníků, resp. v zajištění přenosových schopností pohonu pásového dopravníku, a to ve všech případech, které mohou při provozu nastat. K prokluzům dochází nejčastěji při nalepování zejména kluzkého a mokrého materiálu na povrch bubnu, popř. na vnitřní – dolní krycí vrstvu dopravního pásu.

- Každé transportní zařízení by mělo být provozováno v souladu s průvodní dokumentací a s požadavky předpisů k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Součástí průvodní dokumentace je i provozní předpis, včetně návodu k obsluze, který by měl obsahovat též informace o možném použití příslušného transportního zařízení, dovoleném zatížení nebo plnění nákladem, o důsledcích nesprávného nebo nedovoleného používání, popř. též informace o zvláštních podmínkách provozu – v jiném než normálním pracovním prostředí atd. V provozním předpise musí být uveden i popis míst vyžadujících pracovní obsluhu a kontrolu při provozu příslušného transportního zařízení, jakož i pokyny pro zaškolení obsluhy apod. Součástí provozní dokumentace musí být dále bližší údaje o způsobu a formě přezkušování příslušného transportního zařízení před jeho uvedením do provozu, dále pak informace o nebezpečných místech, která nemohou být z provozních důvodů zakryta, jakož i pokyny pro údržbu, čištění, odstraňování poruch a provádění oprav, včetně způsobu zajištění transportního zařízení v průběhu oprav, prohlídek apod. Provozní dokumentace dále musí obsahovat termíny prohlídek a údržby provozovaného zařízení.
- Obsluhou zařízení mohou být pověřeni pouze zaškolení a zdravotně způsobilí zaměstnanci.
- Obsluha musí být seznámena s vypínači pro zastavení provozovaného zařízení, včetně vypínačů nouzových.
- Přetěžování transportních zařízení je zakázáno.
- Samovolné zásahy do konstrukce a vybavení provozovaného zařízení jsou zakázány.
- Při chodu zařízení je zakázáno zejména jeho čištění, mazání, vyřazování z funkce bezpečnostních zařízení apod., jakož i doprava osob na nosném prostředku.
- Pro každé provozované zařízení je třeba vést knihu provozu.

Všechny druhy pásových dopravníků mají stanoveny specifické požadavky pro jejich zkoušení. Požadovány jsou následující druhy zkoušek:

1. Vnější prohlídka a kontrola – Provádí se před prvním spuštěním dopravníku, přičemž kontrola je zaměřena zejména na ověření kompletnosti a správnosti montáže podle dokumentace, na správné umístění dopravníku na základech, osové vyrovnaní atd., na správnost montáže napínacího zařízení, motorů převodovek apod., na správnost položení

dopravního pásu, jeho spojení, kompletnost ochranných a pojistných zařízení, činnost výstražných a signálních zařízení, správnost montáže čisticích zařízení apod.

2. Zkouška při chodu bez zatížení – Následuje po úspěšné vnější prohlídce a kontrole. Provádí se po dosažení stálosti pohybu dopravního pásu, přičemž je sledována zejména činnost napínacího zařízení, brzd, otáčení bubnů a válečků, dále pak rychlost, chod a středění dopravního pásu, návaznost na chod navazujících strojních zařízení apod.

3. Zkouška se zatížením – Následuje po úspěšně provedené zkoušce bez zatížení za situace, že přepravovaný náklad musí odpovídat charakteristice nákladů, pro které je dopravník určen. Sleduje se správné naložení dopravníku v jeho podélném směru včetně středění přepravovaného nákladu na dopravním pásu, jakož i středění dopravního pásu na bubnech a válečcích, spolehlivost ochrany proti spadávání materiálu z dopravního pásu atd., dále pak plynulost a spolehlivost přesypů, dosažený výkon, činnost brzd, napínacího zařízení, dosahované teploty ložisek, činnost čisticího a signalizačního zařízení apod.

O zkoušce se vyhotovuje zpráva, která tvoří součást průvodní dokumentace. Pokud příslušný dopravník nevyhoví předepsaným zkouškám, nelze jej uvést do provozu.

III.4.4 Kontrolní zařízení a kontrolní systémy

Základní požadavky

Kontrolní zařízení musí:

- Být jasně viditelné a identifikovatelné, v případě potřeby vhodně označeny
- Umístěny pro bezpečný provoz, např. aby nedošlo k neúmyslné aktivaci zařízení umístěných blízko sebe
- Umístěny blízko sebe, pokud spínací a vypínací funkce jsou řízeny stejným kontrolním zařízením
- Umístěny tak, aby často používané provozní prostředky byly dobře dosažitelné řidičem tunelovacího stroje
- Mít dostatečně robustní konstrukci vhodnou pro předpokládané provozní podmínky

Pokud je zařízení navrženo a vyrobeno pro více procesů, tak požadovaný proces musí být jasně zobrazen a v případě potřeby i potvrzen.

Každý tunelovací stroj musí být vybaven obrazovými zařízeními umožňujícími bezpečný provoz stroje. Řidič tunelovacího stroje musí být schopen přečíst uvedené pokyny ze svého stanoviště.

Kontrolní systém musí být zkonstruován tak, aby byl spolehlivý při používání v podzemí, systém musí odolávat hrubší manipulaci a vibracím. Především:

- Vypínání pohonu hydraulických čerpadel nesmí vést k nekontrolovaným pohybům, které by mohly být nebezpečné.
- Při výpadku elektrické energie by neměly vzniknout nebezpečné provozní podmínky.
- Porucha hydraulických a elektrických spínačů by neměla vést k neočekávaným pohybům jakékoliv části tunelovacího stroje.
- Mělo by být možné individuálně zapnout a vypnout všechny různé provozní funkce, které jsou normálně zapínány a vypínány postupně, během údržby.

Každé kontrolní stanoviště musí být vybaveno vypínačem na klíč, kterým je možné vypnout a zabránit provozu všech systémů kontrolovaných z daného stanoviště. Dané vypnutí musí být realizováno bezpečným způsobem. Plnoprofilové tunelovací stroje musí být vybaveny provozním panelem, který je spojený přímo s řeznou hlavou ve spojovací skříní. Provozní panel musí mít přednost před všemi dalšími provozními funkcemi kontrolujícími řeznou hlavu.

Zapínání a vypínání

Tunelovací stroje mohou být spuštěny pouze úmyslnou aktivací. Na hlavním kontrolním panelu musí být pro daný účel pouze jeden vypínač, veškeré vypínače na přidavných zařízeních musí být podřízeny hlavnímu vypínači. Po vypnutí tunelovacího stroje je možné jej znovu nastartovat jedním vypínačem.

Zvukový varovný systém musí být instalován na rychle se pohybujících strojích, jako jsou otevřené pásové dopravníky. Startovací signál musí být elektricky připojen, aby zajistil minimální předstih varování 15 sekund. U tunelovacích strojů umožňujících přístup k řezné hlavě musí být obdobný zvukový signál nainstalovaný a elektricky připojený s minimálním předstihem varování 10 sekund. Pokud se návěsy pohybují nezávisle na tunelovacím stroji, tak opět musí být vybaveny zvukovým varovným signálem, který zajistí minimální předstih varování 10 sekund.

Tunelovací stroje musí být vybaveny provozním zařízením, které umožní je bezpečně zcela zastavit. Každé kontrolní stanoviště musí být vybaveno provozním zařízením, které zastaví jednu nebo všechny pohyblivé části nezávisle na typu nebezpečí. Ovládací prvky pro zastavení musí mít přednost před ovládacími prvky pro uvedení do provozu.

Nouzové zastavení

Elektrická nebo elektricky kontrolovaná hydraulická zařízení musí být vybavena zařízeními pro nouzová zastavení - např. blokovací (zastavovací) lanka. Zařízení pro nouzová zastavení musí být umístěna tam, kde pomohou snížit nebezpečí, především na hlavním kontrolním stanovišti (v řídicí kabině) a na dalších kontrolních stanovištích.

Zařízení pro nouzová zastavení musí korespondovat s EN 418, zejména musí:

- Být provozována oddělenými elektrickými obvody.
- Být jednoduše a bezpečně přístupná, minimálně na hlavním kontrolním stanovišti (v řídicí kabině) a v každé potenciálně nebezpečné oblasti nebo na každém přístupu k řezné hlavě.
- Zamknuta mechanicky ve vypnuté poloze a uvolněna záměrně vypínačem, který byl aktivován.
- Umístěna u transformátorů vysokého napětí, kde jsou fixována pro přerušení obvodu s vysokým napětím.

Pokud centrální hydraulická nebo pneumatická provozní zařízení nemají zařízení pro nouzové zastavení, tak se musí automaticky vracet do neutrální polohy, pokud nejsou používána.

III.4.5 Připojení návěsů

Všechna připojení tunelovacího stroje a návěsů tažených za ním musí být navržena a vyrobena tak, aby přenesla veškeré tahové namáhání s následujícími součiniteli bezpečnosti:

- Řetězy – 4 násobek pevnosti
- Tyče – 2 násobek meze kluzu

Pokud jsou použita dvě spojení, každé z nich musí přenést celkové tahové namáhání. Následující součinitele tření musí být použity pro výpočty tahové síly:

- Návěsy umístěné na lyžinách: $\mu = 1,0$
- Návěsy umístěné na kolejkách: $\mu = 0,3$

Pro použití v tunelech a šachtách s odklonem větší než 15° od vodorovné roviny musí mít návěsy druhou brzdu.

III.4.6 Navádění laserem

Pokud je tunelovací stroj naváděn laserem, musí být laser umístěn tak, aby nebezpečí zasažení očí pracovníků bylo minimalizováno. Vhodné varovné tabule mohou označovat nebezpečná místa.

III.4.7 Ventilace a kontrola prachu a plynů

Všechny tunelovací stroje musí mít dostatečnou ventilaci, zařízení pro redukci a sběr prachu. Podrobnosti ohledně rozměrů a typu daných zařízení musí být uvedeny v provozním manuálu stroje.

Výfukové plyny (emise)

Pokud lze, tak by na tunelovacím stroji neměly být používány spalovací motory. Pokud jsou použity spalovací motory, tak pouze dieslové nebo LPG. Všechna použitelná praktická opatření musí být použita pro snížení úniku emisí toxických plynů do tunelu. Dieslová hydraulická zařízení používaná pro mikrotunelování, nebo protlačování, musí být umístěna mimo portál tunelu. Daná zařízení musí být umístěny tak, aby únik plynů do tunelu byl minimalizován.

Složení vzduchu

Úniky plynů z horninového masivu mohou znamenat nebezpečí. Dané plyny mohou být toxické nebo hořlavé nebo mohou snižovat koncentraci kyslíku ve vzduchu na nebezpečnou úroveň.

Všechny tunelovací stroje (kromě těch jednoduchých) musí být vybaveny zařízením pro monitoring vzduchu, které je schopno detekovat nízkou hodnotu kyslíku a hořlavé plyny. Další zařízení by mělo monitorovat toxické a radioaktivní plyny (např. radon). U jednoduchých tunelovacích strojů může být monitoring plynů prováděn pomocí přenosných zařízení.

U všech tunelovacích strojů musí být senzory monitorovacích zařízení umístěny co nejbližší čelbě. V případě velkých tunelovacích strojů mohou být na stroji potřebné další senzory, aby jejich rozmístění bylo dostatečné v rámci vlastního stroje i jeho návěsů. V případě strojů pro mikrotunelování musí být senzory umístěny na protlačovacím zařízení a v buňkách na povrchu, pokud jsou buňky umístěny nad šachtou. Přenosná zařízení pro monitoring vzduchu musí být používána při inspekcích čelby a při vstupech do pracovní komory stroje.

Všechna zařízení pro monitoring vzduchu musí vydávat výstražná vizuální a zvuková znamení v případě nebezpečných koncentrací toxických, hořlavých nebo výbušných plynů, dále také v případě nebezpečně nízké koncentrace kyslíku ve vzduchu. Pokud jsou očekávány vysoké koncentrace hořlavých plynů, tak musí být monitorovací zařízení připevněno k tunelovacímu stroji a všechna elektrická a mechanická zařízení musí být automaticky vypnuta, pokud koncentrace daných plynů překročí 1,5%. Za daných okolností musí zařízení pro odstraňování prachu, přídavné ventilace, nouzové osvětlení a komunikační prostředky být navrženy tak, aby odolaly výbuchům.

Výbušné podmínky vzduchu

Pokud koncentraci vznětlivých plynů nelze udržet pod 0,25% pomocí ventilace, tak musí mít tunelovací stroj a další použitá zařízení elektrické vybavení odolné proti výbuchům. Všechny tunelovací stroje vyrobené pro obdobné provozní podmínky musí splňovat normy pro vybavení používané ve výbušných podmínkách a uhelných dolech.

III.4.8 Požární ochrana

Vypuknutí požáru v podzemí představuje výrazné riziko. Tunelovací stroje musí být vybaveny jasně označenými a efektivními únikovými cestami ze všech pracovišť. Tunelovací stroje by měly být navrženy a vyrobeny z nehořlavých materiálů. Polstrování a izolace by měly být vyrobeny z odolných materiálů, které dovolí lineární šíření plamenů s maximem 250 mm/min (testování dle ISO 3795).

Všechny minerální hydraulické kapaliny musí obsahovat jasné barvivo, aby úniky kapaliny byly rychle viditelné. Nádrže obsahující minerální hydraulické kapaliny musí být vybaveny varovnými systémy indikující nízkou a velmi vysokou úroveň oleje. Všechny hydraulické systémy, obsahující minerální olej, musí být navrženy tak, aby ztráta oleje byla minimalizována v případě poruchy a aby porucha byla zjistitelná co nejdříve.

Tunelovací stroje včetně návěsů a dalších zařízení musí být vybaveny systémy pro hašení požáru případně hasicími přístroji s minimální hmotností hasícího prostředku 6 kg. Hasící prostředek musí být vhodný pro všechny teoreticky možné typy požárů. Hasící systémy musí být v souladu s EN 3.

Hasící systémy musí být vhodně rozmístěny na tunelovacím stroji, návěsích a dalším vybavení, především musí být na nebezpečných místech jako hlavní stanoviště (řídící kabina stroje), blízko hlavního motoru řezné hlavy, u motorů pohánějících hydraulické lisy, u elektrických rozvodových skříní a transformátorů. Hasící přístroje musí být umístěny mezi pracovišti (pracovníky) a místy možného vzniku požáru. Hasící přístroje musí být dobře dostupné a přístup k nim nesmí být nikdy blokován. Hasící přístroje musí být umístěny tak, aby k jejich vyjmutí z držáků nebyly třeba žádné nástroje.

Zvýšená pozornost požárními opatřeními by měla být věnována při práci se stlačeným vzduchem (např. pneumatické štíty – APB), kde je riziko požáru vyšší.

Pro případ požáru či jiného nebezpečí mohou být tunelovací stroje vybaveny záchrannými kabinami poskytujícími bezpečný úkryt s dostatkem vzduchu pro příslušný počet pracovníků. O použití záchranných kabin (refuge chambers) by mělo být rozhodnuto na základě rizikové analýzy.

III.4.9 Skladování ochranných pomůcek pracovníků

V případě dostatku místa může být sklad ochranných pomůcek osádky tunelovacího stroje umístěn na návěsech (např. nosítka, dýchací přístroje, příkrývky, atd.). Sklad musí být čistý a chráněn proti prachu a vlhkosti. Sklad musí být jasně označen.

III.4.10 Údržba

Práce ve stísněných prostorách tunelovacích strojů a zejména v prostoru řezné hlavy znamená pro pracovníky údržby nebezpečí zranění. Všechny tunelovací stroje včetně návěsů a dalších zařízení musí být vyrobeny tak, aby rektifikace, mazání a další práce údržby mohly být prováděny bezpečným způsobem. Pokud lze, tak by tunelovací stroje měly být vyrobeny tak, aby opravy, rektifikace, mazání, čištění a další práce údržby mohly být prováděny na zastaveném tunelovacím stroji.

V případě potřeby přístupu k řezné hlavě musí mít tunelovací stroj vhodné přístupové cesty a těsnící přepážky. Pokud lze, tak by pracovníci měli provádět údržbu pod ochranou štítu stroje.

V případě potřeby přístupu do prostoru mezi řeznou hlavou a čelbou (včetně tlakové komory), vhodná opatření musí být provedena pro zajištění stability prostoru (podpora nezajištěného výrubu). Před vstupem osob a během daných vstupů musí být vypnuty motory tunelovacího stroje.

III.4.11 Dokumentace tunelovacího stroje

Výrobci tunelovacích strojů musí dodat provozní instrukce s informacemi pro bezpečný provoz a údržbu jako součást dodání jejich tunelovacího stroje. Návod k obsluze stroje je důležitým dokumentem. Text návodu musí být dostatečně srozumitelný, jasný a kompletní. Formulace textu musí korespondovat s úrovní zaškolení a znalostí relevantních pracovníků. Veškeré informace související s bezpečností pracovníků musí být v textu zvýrazněny odlišným typem písma. Tyto instrukce musí zahrnovat veškeré aspekty uvedené v EN 292-2. V informacích o bezpečnosti musí být uvedena veškerá rizika a informace relevantní pro jejich snížení. V dokumentaci tunelovacího stroje by také měly být uvedeny informace o předpokládaných geologických a hydrogeologických poměrech, pro které byl stroj navržen, včetně předpokládaného zatížení.

V odůvodněných případech by provozní instrukce stroje měly obsahovat doporučení pro odlišné provozní podmínky oproti původním předpokladům. Pokud instrukce předpokládají jistou úroveň kompetence a zkušenosti řidiče tunelovacího stroje, tak by to mělo být jasně uvedeno.

Provozní instrukce by také měly zahrnovat sekci o záznamech údržby tunelovacího stroje, kde by měly být uvedeny podrobnosti o výraznějších úpravách stroje.

Podrobnosti o bezpečnosti práce v dokumentaci stroje jsou uvedeny v CEN TC 151/WG4 N8.

IV. POSUZOVÁNÍ ROZSAHU A OBSAHU GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU

IV.1. Úvod od problematiky monitoringu mechanizovaných ražeb

Monitoring musí být součástí výstavby každého podzemního díla bez ohledu na způsob jeho výstavby. Podmiňuje jeho bezpečnou a zároveň ekonomickou ražbu. Z hlediska zadání stavby platí v České republice pro monitoring normativní předpis Ministerstva dopravy ČR TP 237 i pro mechanizovanou ražbu.

Monitoring je souborem měření, pozorování a hodnocení zaměřený na sledování a kontrolu reakce horninového prostředí, na stavbu tunelu a sledování indukovaných účinků v okolí stavby, v zóně poklesů a v zóně sledování. Veškerá měření se zdokumentují, zpracují a s vyhodnocením se poskytnou všem účastníkům stavby.

Součástí tunelovacích strojů je sledování velkého množství veličin tak, aby ražba probíhala bezpečně a ekonomicky. Při mechanizované ražbě zpravidla neprobíhá monitoring prováděný měřičskou organizací uvnitř tunelu. Určité naměřené hodnoty jsou ale přebírány pro získání celkové znalosti geotechnických podmínek ražby. V některých ohledech jsou požadavky na monitoring při mechanizované ražbě vyšší než při ražbě konvenční.

To souvisí především s vysokou rychlostí mechanizovaných ražeb oproti konvenčním ražbám. Proto musí být některé metodiky monitoringu prováděny metodami kontinuálního monitoringu s dálkovým přenosem dat účastníkům výstavby (ale pouze některé metody monitoringu lze automatizovat a ne pro všechny cíle monitoringu je automatizace potřeba). Jinak není možné na případné anomální a v čase okamžité projevy horninového prostředí účinně reagovat. Platí to zejména při ražbě pod nízkým nadložím a v intravilánu.

Kontinuálním (automatickým) monitoringem nazýváme bezobslužný sběr dat v předem nastavených intervalech a jejich automatizované zpracování. Kontinuální monitoring by měl být spuštěn v dostatečném předstihu před vlastními ražbami (v řádu týdnů), aby byl zdokumentován původní stav horninového prostředí, aby bylo možné eliminovat případné parazitní vlivy (změny teploty, tlaku, slunečního osvětlení atd.) na výsledky měření ještě před ražbami.

Pro monitoring sedání povrchu a pro zkoumání efektivnosti opatření proti sedání je vhodné nasazení hloubkových extenzometrů v ose tunelu, nebo alespoň hloubkových nivelačních značek (to se týká nivelace na zpevněných površích – vozovkách atd., nivelační značky je nutno stabilizovat do podložních vrstev vozovek atd.). Výsledků monitoringu musí být k dispozici účastníkům výstavby, a především obsluze stroje (nejlépe on-line přes webové rozhraní).

Při návrhu rozsahu a obsahu geotechnického monitoringu je vždy nutné znát odpověď na otázku, jak budou jeho výsledky využitelné v konkrétním geologickém prostředí při konkrétním způsobu ražby a pro konkrétní situaci v nadloží. Správně navržený, prováděný, a zejména pak komplexně vyhodnocený geotechnický monitoring, má zásadní význam pro bezpečnost provádění, dále by měl sloužit pro optimalizaci technického řešení, s čímž úzce souvisí výsledné náklady stavby.

Na základě výsledků geotechnického monitoringu mohou být:

- operativně prováděny úpravy technologického postupu výstavby (např. velikost tlaku na čelbě plnoprofilového štítu, použití předstihových injektáží, atd.);

- navrhována doprovodná opatření omezující vliv tunelování na povrch území (kompenzační injektáže, podchycení základů, clony z tryskové injektáže atd.);
- navrhována opatření omezující poškození objektů v nadloží (zpevňování základů, vyztužení stěn a schodišť, podchycení kleneb, atd.);
- získávány podklady pro návrh sekundárního ostění (pokud bude využito)

IV.2. Požadavky na dokumentaci monitoringu mechanizovaných ražeb

IV.2.1 Obecné požadavky

Dokumentací monitoringu je soubor písemné a výkresové dokumentace, která musí jednoznačně definovat cíle monitoringu, jeho prostředky, rozsah monitoringu co do metod, počtu a situování měřických profilů i četnosti měření, technické kvalitativní podmínky pro jeho provádění (požadavky na spolehlivost, přesnost měření, organizaci a řízení), způsob interpretace výsledků a přijímání opatření včetně kontroly jejich účinnosti.

Dokumentace monitoringu tunelu by měla být součástí dokumentace pro stavební povolení stavby a měla by také být informativní přílohou zadávací dokumentace pro výběr zhotovitele stavby, aby ten mohl při zpracování své nabídky zohlednit nutné technologické pauzy pro provádění předepsaných měření.

IV.2.2 Zadávací dokumentace monitoringu

Zadávací dokumentace monitoringu je dokumentace upravená a doplněná pro účely výběrového řízení na zhotovitele monitoringu. Měla by obsahovat podrobné technicko-kvalitativní podmínky provádění měření i kvalifikační kritéria pro výběr zhotovitele monitoringu. Zadávací dokumentace pro výběr zhotovitele monitoringu nesmí předepisovat výrobce měřící či jiné techniky potřebné pro provádění měření a zpracování dat.

V případě potřeby kontrolní monitoring pokračuje i po kolaudaci stavby všude tam, kde nedošlo k ustálení sledovaných veličin, a to po dobu alespoň pěti let nebo do doby průkazného ustálení sledovaných veličin (hladina podzemní vody, vydatnost pramenů a odvodňovacích vrtů, pohyby povrchu území, chování nosných konstrukcí, zejména portálů a příportálových konstrukcí). To by měly respektovat i podmínky v zadávací dokumentaci pro výběr zhotovitele monitoringu.

V náročných geotechnických podmínkách (např. v prostředí s výskytem krasových jevů, opuštěných důlních děl nebo stok) by měly být součástí monitoringu průzkumné předvrty před tunelovací stroj pro ověření geotechnických podmínek před strojem. Tyto předvrty poskytnou informace o podmínkách před čelbou, avšak za cenu zpomalení postupů ražeb. Proto musí být v dokumentaci pro výběr zhotovitele stavby a monitoringu tyto položky obsaženy.

Dokumentace pro výběr zhotovitele monitoringu by měla být zpracována ve vazbě na dokumentaci pro výběr zhotovitele stavby v otázce zatřídění ražeb do tříd rozpojitelnosti / vystrojení nebo režimu ražby – monitoring by měl obsahovat i geotechnické zkoušky hornin a zemin během ražeb. Tyto zkoušky jsou součástí kontroly shody skutečně zastižených geotechnických podmínek s předpokládanými a sestávají se z manuálního odběru vzorků na čelbě. Četnosti provádění těchto geotechnických zkoušek musí být popsány v dokumentaci pro výběr zhotovitele monitoringu ve vazbě na dokumentaci pro výběr zhotovitele stavby.

Četnost by měla být omezena na pravidelné neproduktivní odstávky stroje vyhrazené pro údržbu stroje, tak aby odběr horninových vzorků neovlivnil výkon tunelovacího stroje.

Provádění monitoringu by mělo být pružné v reakci na provádění ražeb, nemělo by být svázané dokumentací pro výběr zhotovitele monitoringu, četnost měření by se měla odvíjet od situace na stavbě (např. trend naměřených hodnot, vzdálenost čelby, atd.). V dokumentaci pro výběr zhotovitele monitoringu by uvažované počty měření měly být pouze předpokladem, který je možné zpřesňovat během vlastní realizace stavby a monitoringu (tj. zvyšovat nebo snižovat počet měření vůči dokumentaci pro výběr zhotovitele monitoringu podle potřeby) v rámci celkového cenového rámce monitoringu.

IV.2.3 Realizační dokumentace monitoringu

Realizační dokumentace monitoringu musí být vycházet ze zadávací dokumentace monitoringu. Realizační dokumentace monitoringu musí být zpracována zhotovitelem monitoringu ve spolupráci s projektantem realizační dokumentace podzemního díla a musí být schválena zadavatelem monitoringu ještě před zahájením výstavby tunelu. Realizační dokumentace monitoringu by měla být součástí smluvních dohod mezi objednatelem stavby a účastníky výstavby tunelu.

Realizační dokumentace monitoringu zpřesňuje umístění jednotlivých měřících míst. Dále dopracovává organizaci a plán řízení měření, zpřesňuje fungování kanceláře monitoringu, plán součinnosti všech poddodavatelů monitoringu a obsahuje jednoznačnou definici výstupů jejich činností. Realizační dokumentace monitoringu již obsahuje konkrétní výrobce měřící techniky, které budou použity a v přílohách i jejich technickou dokumentaci a specifické požadavky na jejich osazení.

Realizační dokumentace stavby zpřesňuje místa měření, četnost měření a varovné stavy pro jednotlivé typy měření a kritéria pro jejich přijetí. Dokumentace stavby integruje monitorovací práce do konkrétního systému řízení dané stavby a do systému řízení rizik ražeb tunelu.

V realizační dokumentaci monitoringu musí být uveden podrobný popis odpovědností jednotlivých účastníků výstavby v rozhodovacím procesu, navazujícím na hodnocení výsledků monitoringu, návaznost na systém řízení rizik na stavbě, stejně tak jako pracovní náplně a odpovědnosti klíčových členů týmu kanceláře monitoringu.

Nezbytnou součástí realizační dokumentace monitoringu je dopracování postupů, jak budou schvalovány odlišné geotechnické podmínky a jaký bude postup při zařazování hornin do geotechnických a technologických tříd. Tato část musí být provázána se smluvními vztahy mezi zhotovitelem stavby a objednatelem a mezi zhotovitelem monitoringu a objednatelem.

Realizační dokumentace monitoringu musí obsahovat podrobné požadavky na součinnost zhotovitele stavby při provádění měření na stavbě a popisuje podrobný tok informací k jednotlivým účastníkům výstavby. Součástí realizační dokumentace monitoringu je plán jeho organizace a řízení, který by měl obsahovat:

- Organizační schéma měření a práce s daty. To obsahuje plán rozhodovacích kroků, směřujících k naplnění zadaných úkolů monitoringu.
- Pravidla, co který subjekt měří a kdy, jakým způsobem, kam, jak rychle a v jaké formě se předávají informace o výsledcích měření.
- Způsob posuzování kritérií varovných stavů, jak se přijímají a vyhláší varovné stavy.

- Způsob schvalování a zavádění připravených technických a organizačních opatření, souvisejících s varovnými stavy atp.
- Návaznosti na havarijný plán zhotovitele ražeb, zpracovaný dle vyhlášky ČBÚ č. 55/1996 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Pokud má stavba vypracovaný samostatný systém řízení rizik, obsahuje realizační dokumentace monitoringu způsob propojení monitoringu se systémem řízení rizik na stavbě.

IV.3. Požadavky na vyhodnocování výsledků monitoringu

IV.3.1 Rada geotechnického monitoringu

Průběh prací geotechnického monitoringu, jejich komplexnost, správnou interpretaci výsledků měření a sledování by měly být na pravidelných schůzkách kontrolovány a diskutovány za přítomnosti zástupců investora, projektanta, zhotovitele ražeb a zhotovitele geotechnického monitoringu, v České republice je pro daný účel většinou ustanovena rada geotechnického monitoringu (RAMO). Předseda RAMO by měl být přímo podřízen investorovi díla a měl by podávat zprávu o činnosti na poradách vedení stavby. Členové RAMO by se měli vyjadřovat k výsledkům měření geotechnického monitoringu. RAMO by mělo zasedat pravidelně minimálně jednou za 2 týdny. V případě zjištění nepříznivého vývoje deformací je třeba svolat zasedání RAMO operativně okamžitě. Konečná rozhodnutí přijímá RAMO po odborné diskusi. Rozhodnutí RAMO jsou doporučujícím podkladem pro vedení stavby, které na jejich základě navrhuje další detailní postup prací. Povinností členů RAMO je odpovědně formulovat svá stanoviska a řádně zajišťovat uplatnění přijatých závěrů ve svých organizacích. RAMO by mělo vydávat hospodárná doporučení jak pro realizaci stavby, tak i pro rozsah měření a jeho úpravy. Cílem je minimalizace možností vzniku mimořádných situací, případně jejich rychlá a odborná zvládnutí, pokud nastanou. Z každého zasedání RAMO by měl být vyhotoven zápis, kterého přílohou by měl být přehled měření a výsledků geotechnického monitoringu prováděného v období mezi dvěma zasedáními RAMO.

RAMO by mělo vydávat odborná stanoviska k:

- technologii provádění podzemního díla
- četnosti a rozsahu potřebných měření
- vyhodnocení zjištěných geotechnických poměrů díla
- prognóze geotechnických poměrů díla
- potřebě změn technologie výstavby
- potřebným sanačním metodám
- rozsahu nadvýlomů a posouzení případné opodstatněnosti jejich vzniků,
- posouzení závěrečné zprávy geotechnického monitoringu

V případě potřeby může rada k jednání přizvat i jiné odborníky z oboru geotechniky a tunelových staveb. Členy RAMO by měli být:

Stálí členové:

- předseda RAMO (zástupce investora),
- vedoucí kanceláře geotechnického monitoringu (vedoucí pro podzemní část),
- vedoucí geotechnického monitoringu pro povrchovou část
- hlavní stavbyvedoucí (závodní)
- odpovědný projektant
- technický dozor investora
- zástupce investora

Nestálí členové:

- odpovědní stavbyvedoucí podzhotovitele speciálních prací (např. injektáže)
- geolog provádějící dokumentaci čelby v rámci geotechnického monitoringu
- hydrogeolog či další odborní pracovníci provádějící geotechnický monitoring
- externí specialisté.

IV.3.2 Kancelář geotechnického monitoringu

Pro účely sběru naměřených hodnot, jejich centrální evidence, archivace a pro přípravu podkladů pro vyhodnocování a tvorbu výstupních dat by měla být zřízena kancelář monitoringu. Kancelář by měl řídit vedoucí kanceláře monitoringu, který by měl být členem RAMO. Pracoviště by mělo být vybaveno centrálním archivačním počítačem s přístupem do informačního systému monitoringu. K povinnostem vedoucího kanceláře monitoringu by mělo patřit:

- vypracování návrhu týdenního aktuálního plánu měření
- koordinace všech měření tak, aby tato byla prováděna v souladu se schváleným týdenním
- aktuálním plánem měření a dle postupu ražeb
- zpracování výstupů jednotlivých měření dle požadavku RAMO
- pravidelná příprava podkladů pro hodnocení výsledků měření a pro zasedání RAMO
- souvislé vyhodnocování výsledků měření s ohledem na jejich vztah k varovným stavům,
- předávání informací o dosažení varovného stavu zodpovědným osobám (RAMO, pohotovostní režim stavby, havarijní plán stavby, atd.).

Veškerá změřená data, včetně dalších relevantních informací (např. geologická dokumentace čelby) a poznatků o faktorech, které by mohly ovlivnit změřené výsledky, by měly být ukládány do jednotné databáze výsledků měření. Archivace výsledků měření by měla umožňovat zhodnocení interakce horninového masívu a podzemního díla v každém okamžiku ražby, zpětnou analýzu jejich chování a predikci dalšího vývoje měřených hodnot.

Primární data (přímé výstupy z měřících zařízení) by měla být ukládána zpracovatelem měření neprodleně po provedení na serveru kanceláře monitoringu bez možnosti jejich další editace do zvláštního adresáře. Kromě využití pro zpracování protokolů by měla být využita při řešení sporných případů vyhodnocení, ztrátě protokolů, apod. Za správu primární databáze a souborů v systému adresářů by měl odpovídat vedoucí kanceláře monitoringu.

Primární data a data filtrovaná a korigovaná, včetně vyhodnocených záznamů, tak by měla být zásadně uložena odděleně. Primární data nesmí být po změření a uložení do databáze jakkoliv upravována. Prvotní vyhodnocení (protokoly) naměřených dat by měl provádět vždy přímý zpracovatel měření či sledování - převod naměřených dat do příslušného a všem srozumitelného textového, tabulkového a grafického formátu. Naměřená data dodávaná v digitální formě by měla být archivována na pevném disku počítače a zálohována minimálně jednou měsíčně. V případě archivace dat ze systému sledování ražby tunelovacího stroje je možné použít zabezpečená cloudová úložiště.

Geologická dokumentace čelby zpracovávaná v rámci inženýrsko-geologického sledování by měla být archivována ve formě písemné, a dále v podobě digitálních fotografií na pevném disku počítače a ve formě elektronických kopií (scan) v databázi monitoringu. Výsledky jednotlivých měření geotechnického monitoringu by měly být ukládány neprodleně po změření a návratu do kanceláře monitoringu do primární databáze. Zhodnocení do formy grafických výstupů včetně ukládání do výstupní databáze by měla být provedena v závislosti

na náročnosti zpracování měření, zpravidla do 2 hodin po provedení měření, nejpozději však do 8 hodin po každém měření.

Geologická dokumentace čeleb musí být předávána ihned odpovědnému zástupci zhotovitele průzkumu přímo na stavbě, v digitální podobě do připravených adresářů výstupní databáze v co možná nejkratší době po návratu do kanceláře monitoringu.

Kancelář monitoringu musí denně zpřístupňovat výsledky měření na informačním systému monitoringu (ISM) okamžitě po vyhodnocení. Přístup do databáze ISM musí mít účastníci stavby schválení investorem. V případě, že hodnoty měření dosáhnou limitu varovného stavu, informuje vedoucí kanceláře monitoringu pracovníka investora zodpovědného za dílo, odpovědného řešitele geologických prací, závodního a odpovědného projektanta.

Před zasedáním RAMO připraví kancelář monitoringu hodnocení výsledků všech měření za uplynulé období (mezi dvěma zasedání RAMO). Podklady pro kompletní hodnocení výsledků připraví kancelář monitoringu v předstihu a předá je předem RAMO. Závěry z hodnocení přednese předseda RAMO na poradě vedení stavby. Po skončení stavebních prací vypracuje zhotovitel monitoringu Závěrečnou zprávu monitoringu, ve které jsou shrnuty a vyhodnoceny všechny výsledky provedeného geotechnického monitoringu.

IV.4. Požadavky na navržené přístrojové vybavení

Instrumentace je ta část monitoringu, která se zabývá měřicí přístrojovou technikou včetně sběru a přenosu dat, kalibrací přístrojové techniky, instalací měřících přístrojů, respektive čidel a údržbou celého monitorovacího systému v provozuschopném stavu. Při návrhu instrumentace se vychází z definovaného cíle měření, z požadavků na přesnost měření, na dlouhodobost měření, na spolehlivost měření, na odolnost proti vnějším vlivům (atmosférické vlivy, možnosti poškození přístrojové techniky v průběhu ražeb, prachem, vlhkem případně jinými externími vlivy, atd.). Při volbě instrumentace je třeba zohlednit:

- předpokládané velikosti očekávaných hodnot měřených veličin
- předpokládaný vývoj měřených veličin v čase
- potřebnou kvalifikaci obslužného personálu
- požadavky na ochranu instrumentace během výstavby
- očekávané množství měřených dat a době sledování
- druh veličin, které budou předmětem měření (posuvy, síly, pórové tlaky, atd.)
- metody měření
- požadavky na dálkový přenos dat, skladování dat a na jejich samočinné zpracovávání

Požadavky na měřené veličiny a cíle měření by měly být stanoveny zpracovatelem zadávací dokumentace monitoringu. Podkladem je dokumentace pro stavební povolení stavby nebo dokumentace pro zadání stavby. Konkrétní volbu měřících přístrojů provádí zhotovitel monitoringu v realizační dokumentaci monitoringu.

Optimální soubor měření musí být v projektu monitoringu navržen podle konkrétních specifických podmínek dané stavby (např. ražba pod zástavbou nebo mimo zástavbu, typ a citlivost objektů v poklesové kotlině, výška nadloží, geologické a hydrogeologické poměry, atd.).

Sledovanými veličinami při monitoringu mechanizovaných ražeb zpravidla jsou především: deformace, posuny, relativní posuny, poloha HPV, přítoky vody do podzemního díla a její chemismus, vibrace, dynamické, seismické a akustické účinky od ražby, atd. Dále jsou zaznamenávány a vyhodnocovány údaje z tunelovacích strojů. Zaznamenávají se časové

průběhy sledovaných hodnot, součtové čáry a rychlosti změn měřených hodnot, případně i zrychlení hodnot měřených veličin). Pro základní typy tunelářských technologií jsou veličiny sledované při monitorování ražby tunelu informativně uvedeny v tab. VI.1. (dle doporučení ITA AITES WG2).

Tab. VI.1 Doporučené monitorované veličiny dle způsobu ražby tunelu (dle ITA WG2)

	Mělké tunely, konvenční ražba	Zeminový štít pod HPV	TBM do tvrdých hornin
vizuální prohlídky výrubů a ostění	●	○	○
deformace čelby	○	x	x
sedání povrchu terénu	●	●	○
sklon poklesové kotliny	●	○	○
posuny horninového masivu ve vrtech (inklinometry a extenzometry)	○	○	x
deformace ostění *	●	○	● / ○
šířka trhlin	○	○	○
únosnost kotev, zemní tlaky	○	○	○
napětí na kontaktu horniny a ostění *	○	x	○ / x
přítoky vod do tunelu	●	○	x
povrchové srážky	x	x	x
hydrostatický a pórový tlak	●	●	●
teplota a chemismus vody	x	x	○
teplota vzduchu	x	○	●
tlak vzduchu	x	x	x
vlhkost vzduchu	x	x	○
vibrace, seismické účinky	○	●	x
údaje z tunelovacího stroje (viz. kap. 8)		●	●

Vysvětlivky:

- základní, obvykle vždy měřená veličina
- důležitá, často měřená veličina
- x doplňující veličina

* u TBM do tvrdých hornin závisí na typu ostění (stříkaný beton / segmentové ostění)

V následující tabulce jsou obvyklé rozsahy a přesnosti měření vybraných metod měření při instrumentaci ražeb tunelových staveb (podle ITA WG2).

Tab. VI.2 Obvyklé rozsahy a přesnosti měření vybraných metod (dle ITA WG2)

Veličina	Instrumentace	▪ rozsah ▪ rozlišení ▪ přesnost
svislý posuv	nivelace, trigonometrie,	▪ bez omezení ▪ 0.1 mm ▪ 0.5~1.0 mm
pokles	hydrostatická nivelace, LVDT měřidla	▪ 100 mm ▪ 0.01~0.02 mm ▪ ± 0.25 mm
posuv ve směru měřidla	tyčový extenzometr, pásový extenzometr	▪ 100 mm ▪ 0.01 mm ▪ $\pm 0.01\sim 0.05$ mm
svislý posuv	měření z družic	▪ bez omezení ▪ do ± 50 mm ▪ do ± 1 mm
posuv na povrchu terénu ve směru měřidla	povrchové pásmové extenzometry	▪ 0.01% ▪ 0.001~0.005% ▪ 0.01~0.05 mm
úplný vektor posuvu ve třech složkách	totální optické stanice	▪ bez omezení ▪ 0.1~1.0 mm ▪ 0.5~2.0 mm
změna náklonu	náklonoměry s elektronickými čidly	▪ 50 mm/m (do 175 mm/m) ▪ 0.05 mm/m (do 0.3 mm/m) ▪ do 0.1 mm/m
vodorovný posuv přepočtený z náklonu	inklinometrické sondy	▪ $\pm 53^\circ$ od svislice ▪ 0.04 mm/m ▪ ± 5 mm/25 m
zemní tlaky	tlakové podušky	▪ do 1 MPa ▪ do 0.1% zatížení ▪ do 1.0% zatížení
poloha hladiny podzemní vody	otevřené piezometry	▪ bez omezení ▪ ± 10 mm ▪ $\pm 10\sim 20$ mm
pórový tlak vody	piezometry	▪ 0~20 bar ▪ 0.01 bar ▪ 0.5% napětí ± 0.02 bar
šířka trhlin	dilatometry	▪ ± 20 mm ▪ 0.5 mm ▪ ± 1 mm
posuv	posuvné mikrometry	▪ do 150 mm ▪ 0.02 mm ▪ ± 0.02 mm
deformace, napětí přepočtené z deformace na základě znalosti modulu pružnosti	strunové deformetry	▪ do 100 mm ▪ do 0.02% měřené hodnoty ▪ do 0.15% měřené hodnoty
deformace ostění a konstrukcí	strunová čidla a deformetry	▪ do 3000 $\mu\epsilon$ ▪ 0.5~1.0 $\mu\epsilon$ ▪ $\pm 1\sim 4$ $\mu\epsilon$

konvergence tunelového ostění	konvergenční pásmo, pásmový extenzometr	<ul style="list-style-type: none"> ▪ do 30 mm ▪ 0.001~0.05 mm ▪ $\pm 0.003\sim 0.5$ mm
posuv ve směru měřidla	tyčové extenzometry instalované do vrtů prováděných z tunelu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100 mm (3000 $\mu\epsilon$) ▪ 0.01 mm (0.5 $\mu\epsilon$) ▪ $\pm 0.01\sim 0.05$ mm ($\pm 1\sim 10$ $\mu\epsilon$)
napětí zemní tlak	tlakové podušky	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2-20 MPa ▪ 0.025~0.25% měř. hodnoty ▪ 0.1%~2.0% měř. hodnoty

Požadavky na měřicí rozsahy, rozlišení a přesnosti jednotlivých měřičských metod obsahuje zadávací dokumentace pro výběr zhotovitele monitoringu. Realizační dokumentace monitoringu pak obsahuje konkrétní rozsahy, rozlišení a přesnosti navržených měřičích přístrojů a metod.

Při mechanizovaných ražbách tunelů mohou být využita následující měření:

- Měření deformací výrubu
 - Měření deformací výrubu – konvergenci
 - Měření deformací horninového masivu v okolí výrubu
 - Extenzometry
 - Inklinometry
 - Klouzavé deformetry
 - Trigonometrické měření, měření optickými totálními stanicemi
 - Měření deformací na povrchu
 - Nivelace na povrchu terénu
 - Měření náklonů
 - Hydrostatická nivelace
 - Měření trhlin na objektech
- Měření napětí
 - Měření tlaku horniny na ostění tunelu
 - Přímé měření stavu napětí v primárním ostění
 - Nepřímé měření napjatosti ostění strunovými deformetry
- Měření sil
 - Dynamometry pro měření sil v kotvách
 - Strunové deformetry
- Měření seismických, dynamických a akustických účinků
- Měření teploty
- Měření vodního režimu
 - Změny polohy hladiny podzemní vody
 - Měření hydrostatického tlaku na sekundární ostění
 - Měření přítoků vody do tunelu
 - Měření pórových tlaků
 - Měření chemismu vody

IV.5. Požadavky na hodnocení horninového masivu

Vyhodnocování zastižených geologických poměrů by se mělo skládat ze dvou dílčích částí. První část by měla být zaměřena na přímé sledování a vyhodnocování geologických poměrů, druhá část by měla být zaměřena na vyhodnocení dat o provozu tunelovacího stroje.

Z důvodu přímé dokumentace geologických podmínek mohou být odebírány různé typy vzorků:

- Neporušené a nepromíchané - z masivu během geotechnického průzkumu
- Porušené a nepromíchané - z čelby během ražby (sběr těchto vzorků může vyžadovat vstup na čelbu za zvýšeného tlaku vzduchu – hyperbarické podmínky)
- Porušené a promíchané – z pracovní komory stroje, či z dopravníkového pásu během ražby

Pro účely geologického sledování by měly být vyhodnocovány vrty prováděné v rámci monitoringu (např. extenzometry a inklinometry), které jsou neporušené a nepromíchané. Geologické sledování ražby může být realizováno při zastavení stroje odběrem vzorků horninového masivu na čelbě (porušené a nepromíchané) a během ražby odběrem z dopravníkového pásu (porušené a promíchané).

Z geotechnických vlastností by měly být sledovány především následující parametry:

- Index abrasivity CAI (CERCHAR Abrasivity Index)
- UCS hornin (jednoosá pevnost hornin v tlaku – Uniaxial Confined Stress)
- Přítoky podzemní vody
- Konzistence (porovnání s Atterbergovými konzistenčními mezemi)
- Objemová hmotnost horniny/rubaniny (pro odvození objemové hmotnosti in-situ)

Dokumentace čelby by měla být prováděna při technologických přestávkách (při instalaci ostění nebo při technologických přestávkách). Měl by být prováděn odběr vzorků a laboratorní stanovení fyzikálně-mechanických parametrů a CAI, zatřídění hornin, geologická dokumentace čelby, příčný a podélný řez s extrapolací do okolí a prognózou před čelbou, doplněno fotodokumentací. Také by měla být prováděna dokumentace rubaniny a dokumentace předstihových vrtů (pokud jsou realizovány).

Dalším bodem dokumentace geologických podmínek je monitoring přítoků vody, který by měl být prováděn rozdílně v závislosti na aktuálním módu ražby:

- Otevřený mód umožňuje přímá měření přítoků vody. V případě zjištění vyšších přítoků je nutné přejít do částečně uzavřeného či uzavřeného módu, pokud to použitý typ tunelovacího stroje umožňuje.
- Částečně uzavřený mód umožňuje určení přítoků vody na základě výstupů ze systému pro sledování ražby, protože jedním z vyhodnocovaných dat by měla být zdánlivá objemová hmotnost rubaniny v těžební komoře stroje. Na základě tohoto parametru je možné nepřímo monitorovat přítoky do prostoru komory stroje. V případě zjištění vyšších přítoků je možné aplikovat zvýšení podpůrného tlaku či přechod do uzavřeného módu.
- Uzavřený mód by měl zcela zamezit přítokům vody.

Pokud je možná vizuální kontrola čelby, probíhá kontrola vzniku nadvýlomu na čelbě a v oblasti nad řeznou hlavou vizuálně (otevřený, případně i částečně uzavřený mód ražby).

Pokud není možná vizuální kontrola (uzavřený, případně i částečně uzavřený mód ražby), vychází identifikace nadvýlomu z bilance těžené zeminy (bilance mas). Bilance mas sleduje na základě výstupů ze systému pro sledování ražeb množství rubaniny. To je stanovováno pomocí vah na pásovém dopravníku (váha) a scannerů na pásovém dopravníku (objem). Zpravidla je doporučeno stroj vybavit dvěma váhami, aby se snížila pravděpodobnost jejich chybových hlášení a výsledky měření jedné váhy byly ověřitelné. Pravidelná kalibrace těchto zařízení pomocí odebraných vzorků je nutná. Změřené množství by mělo být srovnáváno s teoretickým výrubem v rámci systému pro sledování ražby. Srovnání by mělo probíhat v

reálném čase a měly by být srovnávány jednak množství za vyrubaný prstenec (záběr) a také trendy v průběhu sumační křivky hmotnosti (objemu) rubaniny. Čistý objem vyraženého masivu by měl být vypočítán měřením objemu vytěženého materiálu a odečtením objemu vzniklého nakypřením rubaniny a objemu vzniklého přidáváním kondicionovacích prostředků. To lze porovnat s teoretickým vytěženým objemem vypočteným z průměru řezné hlavy tunelovacího stroje a délky zdvihu posuvných lisů během cyklu. Čistá hmotnost vyrubaného materiálu může být vypočtena měřením hmotnosti vytěženého materiálu a odečtením hmotnosti kondicionovacích prostředků. To může být srovnáno s teoretickou hmotností vytěženého materiálu vypočítanou z teoretického vytěženého objemu a in-situ objemové hmotnosti rubaniny. Popsaná srovnání představují postup pro identifikaci možného nadvýlomu.

IV.6. Požadavky na vyhodnocování údajů z tunelovacího stroje

IV.6.1 Úvod do problematiky

Moderní tunelovací stroje zpravidla obsahují řadu komplikovanějších součástí a zařízení, které vyžadují neustálou kontrolu a řízení. Jejich kontrola a řízení je prováděna na základě měření ze senzorů, jimiž je stroj vybaven. Tyto senzory zajišťují nepřetržité monitorování stavu stroje a podmínek ražby. Na základě soustavného vyhodnocování dostupných dat sbíraných z tunelovacího stroje je možné lépe predikovat potenciální rizika a hrozící nebezpečí. V rámci monitoringu mechanizovaných ražeb by měly být sledovány a vyhodnocovány hlavní technické parametry plnoprofilového tunelovacího stroje. Mezi tyto hlavní parametry stroje patří především:

- směrové a výškové vedení (odchylky od teoretické osy tunelu)
- kroutící moment
- přítlak (tlak na čelbě), tlak na jednotlivých lisech
- rychlost penetrace
- množství vytěžené rubaniny (stanoveno jejím vážením)
- injektážní tlaky a množství injektáže (čelba, plášť, rub ostění)

Uvedené údaje slouží mimo jiné nepřímému sledování geologických podmínek, což je prováděno zejména na základě sil měřených mezi strojem a masivem. Důležitá je například závislost mezi hloubkou penetrace řezné hlavy za otáčku a čisté síly působící na řezné nástroje. Dalším důležitým ukazatelem je závislost hloubky penetrace řezné hlavy během jedné otáčky a nutného točivého momentu při určitých otáčkách řezné hlavy za minutu. Tyto závislosti jsou kvantifikovány do specifické řezné energie stroje a penetračního indexu. Na základě kombinace znalostí z obou dílčích systémů je možné odvodit, obvykle s dostatečnou přesností, skutečné geotechnické podmínky masivu.

IV.6.2 Požadavky na systém spravující údaje z tunelovacího stroje

Pro vyhodnocování a monitorování ražeb je vhodné používat nezávislý systém shromažďující a spravující údaje o provozu stroje během ražeb i prostojů. Tento systém musí být schopen příslušná data automaticky v plné šíři zachytit, zobrazovat a následně uložit na archivační jednotky. Systém musí umožňovat zobrazení aktuálních dat o ražbě i průběhy pro data zaznamenaná během určitého období ražby. Automaticky generovaná data

strojem by měla být sbírána v pravidelném taktu (např. každých 10 s v intravilánu), neautomaticky generovaná data mají být sbírána dle potřeby. Vedle těchto aktuálních dat mají být zobrazovatelná data vázající se k jednomu cyklu ražby. Jedním cyklem ražby se rozumí vyrazení délky odpovídající délce segmentu ostění a následné sestavení celého prstence ostění. Mezi tato data patří hodnoty na začátku a na konci cyklu, minimální, maximální a průměrné hodnoty během cyklu. Systém musí umožňovat graficky zobrazovat pásma, ve kterých se hodnoty dat nacházely. Veškerá data musí být zpětně časově i místně lokalizovatelná. Spravovaná data musí být v každém okamžiku a v reálném čase přístupná všem účastníkům výstavby (nejlépe pomocí webového rozhraní). Systém by měl umožňovat zobrazování dat po libovolně volitelných skupinách a pro libovolné úseky ražby, aby bylo možné proces ražby soustavně komplexně vyhodnocovat a naplnit tak cíle aplikace systému. V rámci pokročilého vyhodnocování dat by měl systém umožňovat vytváření diagramů pro regresní a korelační analýzu. V neposlední řadě by měl systém umožňovat načtení následujících dat:

- Měření prováděných v rámci geotechnického monitoringu výstavby
- Elektronických výkresů tunelu (např. podélný geotechnický řez, který by měl být během ražby aktualizovatelný)
- GIS mapové podklady
- Referenční hodnoty (či požadovaný rozptyl parametrů) z realizačního projektu stavby pro parametry ražby pro každý záběr (např. požadované tlaky na čelbě, požadované tlaky injektáže na zadní obálce štítu, požadovaný objem na prstenec, maximální deformace povrchu, teoretický objem výrubu prstence, výška hladiny podzemní vody, atd.)

Zejména měření z geotechnického monitoringu musí být možné v rámci vizualizací v reálném čase kombinovat s daty z ražeb. Systém by měl umožňovat automatické vytváření zpráv s vyhodnocením definovaných parametrů ražby specificky pro jednotlivé účastníky výstavby. Tyto zprávy by měl být systém schopný automaticky rozesílat emailem. Obsah generovaných zpráv by měl být upřesněn v realizační dokumentaci projektu geotechnického monitoringu. V případě problematických událostí musí být firma dodávající systém sledování schopná poskytnout konzultace s vyhodnocením dat. V případě výpadku přenosu dat ze stroje do systému sledování, musí být data ze stroje do systému nahrána dodatečně v nejbližší možné době.

IV.6.3 Cíle aplikace systému spravujícího údaje z tunelovacího stroje

Souhrnným cílem aplikace systému by mělo být umožnění ověření principů návrhu během ražby a kontrola jejich dodržování. V kombinaci s běžným geotechnickým monitoringem by měl systém pro sledování ražby tvořit základ pro aplikaci principů observační metody v mechanizovaném tunelování (tj. na základě získaných dat by mělo být umožněno vyhodnotit ražbu). Aplikace systému pro sledování ražby by měla mít následující dílčí podrobnější cíle:

- Potvrzení třídy (módu) ražby nebo potvrzení nutnosti změnit třídu (mód) ražby v kvazihomogenním celku
- Sledování shody mezi projektem a skutečným provedením
 - Srovnávání naměřených hodnot s očekávanými hodnotami pro ražbu
- Kontrola dosažení požadované kvality provádění
- Sledování zatížení segmentů
 - Kvalita provedení výplně za rub ostění během ražby
- Snížení rizik plynoucích z ražby a předcházení problémovým situacím
 - Kontrola podpory čelby snižující možnost jejího kolapsu
 - Kontrola vzniku nechtěných nadvýlomů a výplně mezery za ostěním

- Alarm v případě překročení varovných stavů definovaných projektem a automatické informování všech účastníků výstavby
- Vyhodnocení v reálném čase a na základě měřených trendů schopnost předpovídání dalšího vývoje
- Dokumentace procesu ražeb - podklad pro řešení sporů
- Zajištění informací o možné změně geotechnických podmínek oproti předpokládaným - Analýza ražby z hlediska:
 - Opotřebení řezných nástrojů v závislosti na podmínkách ražby
 - Možných intervencí na čelbě a nutnosti jejich provádění – vyhodnocení přítoků vody a tlaku HPV
 - Zalepování řezných nástrojů v závislosti na podmínkách ražby
 - V kombinaci s geotechnickým monitoringem analýza vlivu podpůrného tlaku a injektážního tlaku za rub ostění na okolí

IV.6.4 Výčet zaznamenávaných údajů z tunelovacího stroje

Automaticky generovaná data strojem by měla být sbírána v pravidelném taktu (např. každých 10 s), neautomaticky generovaná data mají být sbírána dle potřeby. V systému by měla být zaznamenávány, vizualizovány a vyhodnocovány zejména data týkající se následujících okruhů (pokud tunelovací stroj není určitým zařízením vybavený, tak měření odpadá):

- Aktuální mód (režim) ražby
- Aktuální váha/objem a sumační křivka rubaniny na pásovém dopravníku určená minimálně pomocí jedné váhy
 - Objem extrahované rubaniny z pracovní komory
- Časy v rámci cyklu – výšečové grafy
 - Ražba
 - Sestavování segmentů
 - Prostoje
- Geodetická data o ražbě
 - 3D poloha stroje v souřadném systému a velikost rotace okolo všech jeho os
 - Číslo cyklu (prstence ostění) a staničení
 - Odchylna od plánované polohy
 - Pozice osy prstence ostění
 - Ovalizace prstence ostění
- Kondicionování rubaniny na řezné hlavě, v pracovní komoře a ve šnekovém dopravníku (platí pro zeminové štíty)
 - Tlak a průtok kondicionovacího média každou tryskou
 - Objem kondicionovacího média proteklého skrz každou trysku
 - FER, FIR v zařízení na tvorbu pěny
 - Složení pěny: voda, tensid, vzduch, polymery, bentonit
 - Mód kondicionování – manuální/semi-automatika/automatika
- Podpory čelby
 - Podpůrné tlaky doporučeno minimálně ve třech různých výškových úrovních pracovní komory s využitím minimálně dvou senzorů pro úroveň
 - Tlak stlačeného vzduchu
 - Ztráty stlačeného vzduchu m^3/min při intervencích
 - Ztráty stlačeného vzduchu jako sumační křivka při intervencích
 - Tlak vzduchu v hyperbarické komoře
 - Teplota v pracovní komoře stroje

- Zdánlivá objemová hmotnost rubaniny v pracovní komoře
- Tlak a průtok zařízením pro automatickou kontrolu podpůrného tlaku na čelbě (zařízení pro vstřík bentonitu/polymerů do pracovní komory) – pokud je jím stroj vybaven
- Posuvné lisy
 - Hydraulický tlak a síla v každém lisu (skupině)
 - Velikost zdvihu každého lisu (skupiny)
 - Chod lisů během sestavování prstence ostění
 - Síly v kloubových lisech a jejich pozice (pokud je stroj vybaven kloubem)
 - Automatizovaný propočet rovnosti spáry mezi prstenci
 - Evidování velikosti volného prostoru mezi vnější stranou segmentů a ocelovou konstrukcí zadní obálky štítu před a po sestavení posledního prstence (případně zmenšení průměru v oblasti injektážních trysek má být uvažováno)
 - Směr jednotlivých posuvných lisů stroje (skupin) vůči poslednímu sestavenému prstenci ostění
- Prostožů stroje a jejich důvody
- Rozpojování rubaniny
 - Záznamy o opotřebování řezných nástrojů
 - Záznamy o výměnách řezných nástrojů
 - Specifická energie rozpojování masivu (dává do souvislosti aplikovaný točivý moment stroje a řeznou sílu nástrojů), penetrační index (dává do souvislosti řeznou sílu nástrojů a jejich penetraci)
 - Zatížení jednotlivých řezných nástrojů a informace z automatické detekce opotřebení (pokud je stroj tímto vybaven)
- Řezná hlava
 - Doba otáčení řezné hlavy
 - Otáčky řezné hlavy (RPM – revolutions per minute)
 - Směr otáčení
 - Točivý moment
 - Penetrace za otáčku (PR – penetration rate)
 - Rychlost ražby (AR – advance rate)
 - Odběr proudu (příkon)
 - Síla v hydraulických lisech řezné hlavy (pokud je jimi stroj vybaven)
 - Nastavený nadvýlom řezné hlavy
 - Pozice řezné hlavy (pokud je posuvná)
 - Tlak, teplota a spotřeba oleje a vazelíny v uložení řezné hlavy
- Sestavování prstenců ostění a jejich zatížení
 - Pozice klenáku
- Šnekový dopravník (platí pro zeminové štíty):
 - Teplota ve šnekovém dopravníku
 - Tlak podél šnekového dopravníku
 - Otáčky šneku
 - Točivý moment šneku
 - Směr otáčení šneku
 - Poloha dvířek u šnekového dopravníku
- Teploty a tlak v chladicím systému, funkce motorů, kontrola průsaků
- Utěsnění zadní obálky stroje
 - Tlaky pump a objemy vazelíny
 - Počet zdvihů čerpadla
- Výplňová injektáž za rub segmentového ostění (pokud je použito)

- Součásti vícekomponentní injektáže – objemy složek
- Celkový objem injektáže v každé trysce
- Tlak v každé trysce
- Srovnání požadovaného tlaku a objemu se skutečnými v závislosti na skutečném posunu stroje
- Objemová hmotnost injektáže
- Měření hmotnosti injektované hmoty
- Zařízení pro vstřik bentonitu do pracovní komory (pokud je jím stroj vybaven)
 - Tlak vstřikovaného bentonitu
 - Objem vstřikovaného bentonitu
- Systém musí shromažďovat i data o kalibraci jednotlivých senzorů umístěných na tunelovacím stroji.

IV.7. Pasportizace objektů ovlivněných ražbou tunelu

Pasportizace objektů je z hlediska deformací zástavby způsobených tunelováním mimořádně důležitou součástí projektové dokumentace, neboť registruje stav povrchové zástavby v pásmu ovlivnění před zahájením výstavby podzemního díla. Tento původní stav objektu by měl být při pasportizaci podrobně zdokumentován, případně aktualizován časově co nejbližší k termínu zahájení výstavby. Doplnující vyhodnocení stavebně-technického stavu se provádí diagnostickou analýzou objektu.

K základním atributům pasportizační dokumentace patří:

- Je významným podkladem pro diagnostickou analýzu objektu, neboť dokumentuje stav objektu před jeho ovlivněním výstavbou podzemního díla. Pasportizační dokument musí být potvrzen majitelem objektu.
- Umožňuje identifikovat a kvantifikovat změny, ke kterým dochází na objektech v průběhu ražby; na základě těchto zjištění je možno, v souladu s předem stanoveným systémem varovných stavů, realizovat případná dodatečná stabilizační opatření.
- Umožňuje porovnání stavu objektu před zahájením ražby se stavem po jejich dokončení. Konečný stav se dokumentuje v závěrečné repasportizaci, opět potvrzené vlastníkem objektu. Pasportizace a repasportizace jsou významným průkazným materiálem při řešení možných sporů, vzniklých v souvislosti se skutečným nebo domnělým poškozením objektu.

Diagnostická analýza objektu zajišťuje zhodnocení pasportizací zdokumentovaného okamžitého stavu objektů, a to zejména z hlediska jejich pravděpodobné odezvy na ražbu podzemního díla, která vyvolává deformace nadloží a případné seismické zatížení objektů. Diagnostická analýza musí být prováděna zkušeným statikem, který se dokonale orientuje v oboru pozemních staveb, dynamiky i v geotechnických disciplínách.

Při stanovení (přibližné) velikosti pravděpodobné indukované odezvy objektu na ražbu podzemního díla, z níž se odvozuje jednak možná potřeba předstihových stabilizačních opatření na vlastním objektu, jednak velikost limitních hodnot deformací dodatečně přípustných pro objekt vystavený účinkům ražby, je nutno zvážit následující hlediska:

- Citlivost konstrukce nebo jejích částí vůči vlivům tunelování:

- objekty citlivé vůči nerovnoměrnému sedání a otřesům, jejichž součástími jsou např. překlady a nosníky klenuté z cihel, ploché cihelné klenby nad suterénními a přízemními místnostmi, cihelné sloupy a pilíře, krakorcovitě uložené balkony a arkýře, velké prosklené výlohy nebo celé fasády; chatrné stavby
- ostatní objekty
- Stupeň požadované ochrany:
 - objekty vyžadující vyšší míru bezpečnosti proti vlivům tunelování, např. objekty historické, památkově chráněné, společensky významné či funkčně nepostradatelné,
 - ostatní objekty
- Rozsah zjištěných poškození:
 - objekty poškozené poruchami staticky nezávažnými (hodnoceno z hlediska možných účinků připravované ražby)
 - objekty s poruchami staticky závažnými (hodnoceno z hlediska možných účinků připravované ražby)
 - objekty neporušené
- Stavebně-historický vývoj:
 - objekty postižené v minulosti mimořádnou událostí (povodeň, požár, různé typy havárií, včetně havárií inženýrských sítí v blízkosti objektu, zemětřesení)
 - objekty nacházející se v dosahu ovlivnění stavbou, která mohla v minulosti vyvolat její přetížení, sednutí či porušení (stavební jáma v proluce, ovlivnění předchozí ražbou, změna hydrologických podmínek, sanační, zejména injektážní práce)
 - objekty, u nichž došlo v minulosti k přetížení konstrukce oproti původnímu návrhu, např. z důvodu změny využití objektu (třeba jen dočasné)
 - objekty, u nichž nesprávně provedená přestavba či rekonstrukce nevhodně mění statické působení konstrukcí, což vede k jejím poruchám
 - objekty pouze kosmeticky rekonstruované, u nichž povrchové úpravy vnější i vnitřní pouze překrývají špatný stavební i statický stav objektu
 - objekty v minulosti kvalitně a ze statického hlediska správně rekonstruované
 - objekty se standardním průběhem životnosti bez mimořádných ovlivnění
- Poloha ražbou ovlivněných objektů vůči prostorovému situování podzemního díla:
 - objekty příčně situované vůči podzemnímu dílu
 - objekty podélně situované vůči podzemnímu dílu
 - umístění základů objektu v poklesové kotlině

I při uvážení všech uvedených hledisek je spolehlivé určení přípustného přetvoření terénu a povrchových objektů, které je způsobeno ražbou podzemního díla, velmi obtížné. Problém je v tom, že deformace nadloží, vzniklé při ražbě, způsobují ovlivnění povrchové zástavby, u níž však nejsou známy úrovně namáhání konstrukčních prvků objektu, včetně prvků základových. Tato namáhání vznikla superpozicí působení stálých, nahodilých i mimořádných zatížení, a také v důsledku nerovnoměrného sedání objektu, často i dlouhodobého.

Jelikož není znám výchozí stav, a ani není možné jej hodnověrně ověřit, je nutno veškerá číselná kritéria pro maximální sednutí a pro přípustné hodnoty nerovnoměrného sednutí, souvisejících se sklony poklesové kotliny, považovat jen za orientační. Konečné hodnoty celkového průměrného sednutí a limitní hodnoty nerovnoměrného sednutí udává ČSN EN 1997-1. Ty jsou platné pro novostavby, pro případ deformací vyvolaných ražbou je nutná

podstatná redukce. Používané redukce pro maximální hodnotu indukovaného sednutí, které berou v úvahu relevantní aspekty a opodstatněné závěry diagnostické analýzy, se pohybují mezi 30% až 50% normou udávaných hodnot celkového průměrného sednutí i sednutí nerovnoměrného.

SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

V České republice dosud neexistovala metodika nebo resortní předpis, které by se problematikou ražby plnoprofilovými tunelovacími stroji zabývaly a které by bylo možné při výstavbě tunelů touto technologií závazně použít např. jako součást souboru smluvních dohod, nebo jiných závazných dokumentů, které definují požadavky na projektování, provádění a zajištění bezpečnosti při ražbě podzemních děl plnoprofilovými tunelovacími stroji.

POPIS UPLATNĚNÍ

Certifikovaná metodika je jedním z výsledků grantového projektu TITVCBU913, jehož cílem byla implementace zahraničních zkušeností s ražbou podzemních děl pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů v geotechnických i legislativních podmínkách ČR a vytvoření unifikované právní i technické základny pro projektování, realizaci a posuzování technické úrovně i bezpečnosti práce při navrhování a provádění podzemních staveb mechanizovaným způsobem ražby pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů. Důvodem pro realizaci projektu byla především skutečnost, že platná legislativa v České republice byla dosud v oblasti podzemních staveb zaměřena především na konvenční metody výstavby. V České republice je ražba tunelů pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů novou tunelovací metodou, která má v zákonech, vyhláškách a předpisech zatím jen velmi malou oporu. Jedná se zejména o bezpečnost provádění a vhodnost použití této metody v různých geotechnických podmínkách.

Certifikovaná metodika bude sloužit jako závazný podklad pro projektování mechanizovaných ražeb podzemních děl pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů a stane se součástí kontrolních činností orgánů státní báňské správy. V případě zájmu investorských organizací se může stát nedílnou součástí souboru smluvních dohod pro projektování a výstavbu podzemních staveb ražených pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů. Dosažené výsledky budou kromě používání certifikované metodiky v odpovídajícím rozsahu implementovány do vyhlášky č. 55/1996 Sb. o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí, ve znění pozdějších předpisů.

Konečným uživatelem metodiky bude Český báňský úřad (ČBÚ). Dále mohou certifikovanou metodiku využívat investorské organizace, organizace provádějící podzemní stavby, projekční a konzultační kanceláře, pracovníci vykonávající dozor při výstavbě podzemních děl pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů.

EKONOMICKÉ ASPEKTY

Obecně lze certifikovanou metodiku začít používat v praxi bez dalších nákladů. Používání certifikované metodiky v praxi nebude mít kvantifikovatelný přímý ekonomický přínos pro Český báňský úřad, ani pro další organizace zainteresované do výstavby podzemních staveb (investorské organizace, zhotovitelské organizace, projekční kanceláře, atd.). Stěžejním přínosem využívání certifikované metodiky v praxi bude zvýšení bezpečnosti ražeb a snížení míry rizik výstavby (redukce nebezpečí vzniku mimořádných událostí), což obecně znamená pozitivní vliv na náklady a časový harmonogram podzemních staveb realizovaných pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů.

DEDIKACE

Tato certifikovaná metodika byla připravena s podporou grantového projektu TITVCBU913 - Nasazení tunelovací metody ražení pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů v podmínkách České republiky - technické a legislativní řešení, který byl zadán zpracovateli Technologickou agenturou České republiky (TAČR) v roce 2019.

OPONENTI

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze

Ing. Petr Kastner – Český báňský úřad (odbor hornictví)

PODÍL PRÁCE AUTORŮ

prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. – 20%

Ing. Martin Srb, Ph.D. – 20%

Ing. Jakub Nosek, Ph.D. – 20%

RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D. – 20%

Mgr. Jiří Zmítko – 20%

SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍCH VYDÁNÍ METODIKY

- [1] Hilar, M. a kol. (2019): Zpráva za 1. kvartál řešení projektu (31.12.2019)
- [2] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 2. kvartál řešení projektu (15.4.2020)
- [3] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 3. kvartál řešení projektu - Rozdělení území České republiky z hlediska regionální inženýrské geologie (26.6.2020)
- [4] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 3. kvartál řešení projektu - Připravované tunely v České republice s předpokládanou ražbou pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů (26.6.2020)
- [5] Hilar, M. a kol. (2020): Hneleg - Specifikace návrhu technického řešení podzemních děl ražených pomocí různých typů plnoprofilových tunelovacích strojů v geotechnických podmínkách ČR se zohledněním zahraničních zkušeností (28.8.2020)
- [6] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 3. kvartál řešení projektu - Požadavky na projektovou dokumentaci (3.9.2020)
- [7] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 3. kvartál řešení projektu - Využití BIM pro tunely (28.8.2020)
- [8] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 4. kvartál řešení projektu - Rizika při mechanizované ražbě a opatření pro jejich minimalizaci (9.10.2020)
- [9] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 4. kvartál řešení projektu - Rizika při mechanizované ražbě tunelů v krasových oblastech (9.10.2020)
- [10] Hilar, M. a kol. (2020): Zpráva za 4. kvartál řešení projektu - Rizika při mechanizované ražbě s vysokým hydrostatickým tlakem (9.10.2020)
- [11] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 5. kvartál řešení projektu - Bezpečnost práce při mechanizovaných ražbách (20.1.2021)
- [12] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 5. kvartál řešení projektu - Příklady mechanizovaných ražeb realizovaných v obtížných geologických podmínkách (20.1.2021)
- [13] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 6. kvartál řešení projektu - Analýza legislativních dokumentů používaných v ČR pro mechanizované ražby tunelů (15.7.2021)
- [14] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 6. kvartál řešení projektu - Geologická a geotechnická rizika při mechanizované ražbě v České republice (8.4.2021)
- [15] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 6. kvartál řešení projektu - Záchrané kontejnery používané při výstavbě ražených tunelů (8.4.2021)
- [16] Hilar, M. a kol. (2021): Hneleg - Specifikace podmínek pro zajištění bezpečnosti práce při ražbě plnoprofilovými tunelovacími stroji, definice rozsahu projektové dokumentace, minimalizace rizik, návrh opatření k předcházení mimořádným událostem a jejich případné řešení (15.7.2021)
- [17] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 7. kvartál řešení projektu - Metodika pro posuzování obsahu a výsledku geotechnických průzkumů pro mechanizované ražby (15.7.2021)
- [18] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 7. kvartál řešení projektu - Metodika pro posuzování rozsahu a obsahu projektové dokumentace (25.6.2021)
- [19] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 8. kvartál řešení projektu - Metodika pro posuzování rozsahu a obsahu geotechnického monitoringu mechanizovaných ražeb (14.10.2021)
- [20] Hilar, M. a kol. (2021): Zpráva za 8. kvartál řešení projektu - Metodika pro minimalizaci rizik při mechanizovaných ražbách (14.10.2021)

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Odborné knihy - zahraničí

- [1] Barton, N. (2000): TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock. A. A. Balkema Publishers; United Kingdom
- [2] Bilgin, N. et al. (2014): Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- [3] Bilgin, N. et al. (2016): TBM Excavation in Difficult Ground Conditions. Wilhelm Ernst & Sohn.
- [4] Brox, D. (2017): Practical Guide to Rock Tunneling. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- [5] Chapman, D., et al (2010): Introduction to Tunnel Construction. CRC Press. Germany.
- [6] Gilbert, P.H. et al. (2013): Underground Engineering for Sustainable Urban Development. National Academy of Sciences, USA.
- [7] Goel, R.K. et al. (2012): Underground Infrastructures. Elsevier.
- [8] Guglielmetti, V., et al. (2007): Mechanized Tunnelling in Urban Areas: Design methodology and construction control. CRC Press. Germany.
- [9] Hemphill, G.B. (2013): Practical tunnel construction. John Wiley & Sons, USA.
- [10] Kolymbas, D. (2008): Tunnelling and Tunnel Mechanics - A Rational Approach to Tunnelling. Springer.
- [11] Lunardi, P. (2008): Design and Construction of Tunnels. Analysis of controlled deformation in rocks and soils (ADECO-RS). Springer.
- [12] Maidl, B. et al. (2013): Handbook of Tunnel Engineering - Volume I: Structures and Methods. Wilhelm Ernst & Sohn.
- [13] Maidl, B. et al. (2014): Handbook of Tunnel Engineering - Volume II: Basics and Additional Services for Design and Construction. Wilhelm Ernst & Sohn.
- [14] Maidl, B. et al. (2008): Hardrock Tunnel Boring Machines. Wilhelm Ernst & Sohn.
- [15] Maidl, B. et al. (2012): Mechanised Shield Tunnelling. Wilhelm Ernst & Sohn.
- [16] Pennington, T.W. (2011): Tunneling Beneath Open Water. A Practical Guide for Risk Management and Site Investigations. Parsons Brinckerhoff Inc. USA
- [17] Ponnuswamy, S. et al. (2016): Transportation tunnels. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- [18] Singh, B., et al. (2006): Tunnelling in Weak Rocks. Elsevier Science
- [19] Tatiya, R. (2005): Civil excavations and tunnelling – a practical guide. Thomas Telford Limited
- [20] Wittke, W., et al. (2007): Stability Analysis and Design for Mechanized Tunneling. Aachen, Germany.
- [21] Wood, A. M. (2000): Tunnelling: Management by design. Taylor & Francis

Odborné knihy - ČR

- [22] Barták, J.; Pruška, J. (2011): Podzemní stavby. ČVUT, Praha, 2011.
- [23] Horák, V. (2007): Podzemní stavby. Modul BF06-M01. VUT, Brno.
- [24] Horák, V. (2007): Podzemní stavby. Modul BF06-M02. VUT, Brno.
- [25] Matula, M.; Pašek, J. Regionálna inžinierska geológia ČSSR. SNTL (1986)
- [26] Chaloupský, J. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. ÚUG. (1989)

Závěrečné práce - zahraničí

- [27] Aggarwal, C. (2017): Practical design of shield tunnel lining.
- [28] Font-Capo, J. (2012): Interaction between groundwater and TBM (Tunnel Boring Machine) excavated tunnels. PhD Thesis. Technical University of Catalonia, Spain.
- [29] Membah, J.F.J. (2016): Parametric cost estimating and risk analysis of transportation tunneling projects. PhD Thesis. North Dakota State University, USA.

- [30] Ramoni, M. (2010): On the feasibility of TBM drives in squeezing ground and the risk of shield jamming. PhD Thesis. ETH Zurich. Switzerland.
- [31] Špačková, O. (2012): Risk management of tunnel construction projects. PhD Thesis. Czech Technical University.
- [32] Wilfing, L.S.F. (2016): The Influence of Geotechnical Parameters on Penetration Prediction in TBM Tunneling in Hard Rock. PhD Thesis. Technischen Universität München, Germany.

Závěrečné práce - ČR

- [33] Hilar, M. (2016): Současné trendy ve výstavbě ražených dopravních tunelů. Inaugurační spis. FSV ČVUT v Praze, Praha.
- [34] Hilar, M. (2008): Příprava a výstavba dlouhých železničních tunelů. Habilitační práce. FSV ČVUT v Praze, Praha.
- [35] Beňo, J. (2015): Segmentová ostění z drátkobetonu. Disertační práce, ČVUT.
- [36] Faltýnek, J. (2019): Segmentová ostění tunelů. Disertační práce, ČVUT.
- [37] Froněk, M. (2011): Segmentová ostění tunelů z vláknobetonu. Bakalářská práce, ČVUT.
- [38] Žižka, Z. (2010): Plnoprofilové tunelovací stroje. Bakalářská práce, ČVUT.
- [39] Caravanas, A. (2017): Analýza, optimalizace a predikce výstavby ražených tunelů v souvislosti s třídami ražby. Disertační práce, ČVUT.

Mezinárodní organizace

- [40] EFNARC (2005): Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock. United Kingdom.
- [41] FIB (2007): Fire design of concrete structures – materials, structures and modelling (state-of-art report). International Federation for Structural Concrete FIB. Lausanne, Switzerland.
- [42] ITIG (2012): A code of practice for risk management of tunnel works. The International Tunnelling Insurance Group. United Kingdom.
- [43] FIT (2004): Fire in Tunnels. Fire Safe Design – Rail Tunnels. European Thematic Network Fire in Tunnels (FIT).
- [44] FIT (2004): Fire in Tunnels. Fire Safe Design – Road Tunnels. European Thematic Network Fire in Tunnels (FIT).
- [45] JRC (2019): Standardisation needs for the design of underground structures. Technical report by the Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service.

Mezinárodní tunelářská asociace (ITA/AITES)

- [46] ITA – WG2 (2000): Guidelines for the Design of Shield Tunnel Lining, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 15, No. 3, pp. 303-331, 2000.
- [47] ITA (2001): Safe working in tunnelling.
- [48] ITA – WG2 – Tiberi, G. et al. (2019): Twenty years of FRC tunnel final lining: Lessons learnt, design proposal and new development. I
- [49] ITA – WG2 – Mendi, B. et al. (2019): Guidelines for the design of segmental tunnel linings.
- [50] ITA – WG2 (2011): Monitoring and control in tunnel construction.
- [51] ITA – WG2 – Yoo, C. (2015): Strategy for site investigation of tunnelling projects.
- [52] ITA – WG14 and WG19 – Babenderde, L., Ehrbar, H. et al. (2016): Recommendations on the development process for mined tunnels
- [53] ITA – WG17 – Seingre, G. et al. (2017): TBM excavation of long and deep tunnels under difficult rock conditions.
- [54] ITAtech (2014): ITAtech guidelines on the best practices for segment backfilling.

- [55] ITAtech – Berger, W. et al. (2013): ITAtech guidelines on standard indication of load cases for calculation of rating life (L10) of TBM main bearings.
- [56] ITAtech – Eberle, C. et al. (2016): ITAtech guidance for precast fibre reinforced concrete segments – vol. 1: Design aspects.
- [57] ITAtech – Eberle, C. et al. (2018): Guideline for good practice of fibre reinforced precast segment – vol. 2: Production aspects.
- [58] ITAtech – Dickmann, T. et al. (2018): Geophysical ahead investigation methods – Seismic methods.
- [59] ITAtech – Dickmann, T. et al. (2019): ITAtech guidelines on rebuilds of machinery for mechanized tunnel excavation.

Evropské normy a předpisy

- [60] EN 12336: Tunnelling machines. Shield machines, thrust boring machines, auger boring machines, lining erection equipment. Safety requirements. 2005
- [61] EN 292: Safety of machinery – Basic concepts; General principles of design.
- [62] EN 23411: Earth-moving machinery – Human physical dimensions of operators & minimum operator space envelope.
- [63] EN 23449: Earth-moving machinery – Falling object protective structures (FOPS) – Laboratory test and performance requirements.
- [64] EN 3: Portable Fire Extinguishers.
- [65] EN 418: Safety of machinery – Emergency stop equipment.
- [66] ISO 2860: Earth-moving machines – minimum access dimensions. 1983.
- [67] ISO 2867: Earth-moving machinery – Access systems. 1980
- [68] ISO 3457: Earth-moving machinery – Guards & shields; Definitions & specifications. 1986.
- [69] ISO 3795: Road vehicles – Determination of burning behaviour of interior material for motor vehicles. 1989.
- [70] ISO 3864: Safety colours and safety signs. 1984.
- [71] ISO 4414: Pneumatic fluid power – Recommendations for the application of equipment to transmission and control systems. 1982.
- [72] CEN TC 114 N196 Temperature of Touchable Surfaces; Ergonomic Data to Establish Temperature Limit Values for Hot Surfaces.
- [73] CEN TC 151/WG4 N22 Tunnelling Machines – Air Locks; Safety Requirements.
- [74] CEN TC 151/WG4 N8 Tunnelling Machines; Shield Machines, Horizontal Thrustboring Machines, Lining Erection Equipment; Safety Requirements.

Česká republika

- [75] CzTA - Barták, J., et al. (2007): Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR. CzTA ITA-AITES, 2007.
- [76] CzTA - Mosler, J., et al. (2007): Uživatelská příručka pro konvenční tunelování. CzTA ITA-AITES, 2019.
- [77] Svoboda J. a kol. (2016): Technické kvalitativní podmínky pro dokumentaci staveb pozemních komunikací. Kapitola 7 – Tunely, podzemní objekty a galerie (tunelové stavby. Ministerstvo dopravy, obor pozemních komunikací, 2016.
- [78] ČBÚ (2012): Předpis č. 55/1996 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí (se zohledněním úprav uvedených ve vyhlášce č. 265/2012 Sb.)

- [79] Metroprojekt Praha a.s. (2020): Výstavba trasy I.D metra v Praze - úsek Pankrác-Depo Písnice. Projektová dokumentace ve stupni PDPS.
- [80] SUDOP Praha a.s. (2006 - 2009): Praha – Beroun, nové železniční spojení. Přípravná projektová dokumentace.
- [81] Metroprojekt Praha a.s. (2014 - 2018): Modernizace trati Rokycany - Plzeň. Projektová dokumentace ve stupni DPS.
- [82] ČSN EN 1997-1, Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla.
- [83] Rozsypal, A. a kol. (2007): Technické podmínky 76 - Část C - Geotechnický průzkum pro navrhování a provádění tunelů pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy ČR.
- [84] Rozsypal, A. a kol. (2011): Technické podmínky 237 - Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy ČR.

Austrálie

- [85] WC (2006): Tunnels under Construction. Code of Practice. New South Wales Government. Australia.
- [86] SWA (2013): Guide for tunnelling work. Safe Work Australia.
- [87] WHS (2012): Tunnelling. Code of Practice 2007. Workplace Health and Safety Queensland. Australia.
- [88] Austroads (2018): Guide to Road Tunnels (parts 1 – 4). Sydney, Australia.

Čína

- [89] GB (2017): Code for construction and acceptance of shield tunnelling method. National Standard of the People's Republic of China. GB 50446-2017, China.
- [90] GB (2008): Technical Code for Waterproofing of Underground Works. National Standard of the People's Republic of China. GB 50108-2008, China.

Francie (AFTES)

- [91] AFTES – Taillebois, A. et al. (2005): Segmental gaskets. AFTES Recommendations.
- [92] AFTES – Longchap, P. et al. (2005): Choosing mechanised tunnelling techniques. AFTES Recommendations. France.
- [93] AFTES – Mercier Sofretu, F. et al. (2005): Mechanized excavation. AFTES Recommendations. France.
- [94] AFTES - Guedon, M. P. (2005): The Design, Sizing and Construction of Precast Concrete Segments Installed at the Rear of a Tunnel Boring Machine (TBM). AFTES Recommendations. France.
- [95] AFTES – Longchap, P. et al. (2005): Slurry for use in slurry-shield TBM. AFTES Recommendations. France.
- [96] AFTES – Reynaud, L. et al. (2005): Contract practice in tunnel construction contract for the supply of tunnelling machines. AFTES Recommendations. France.
- [97] AFTES – Ramond, P. et al. (2010): Design of tunnel bored with TBMs with respect to the arrival of public rescue service and self-rescue of workers during the worksite phase. AFTES Recommendations. France.
- [98] AFTES – Guedon, P. et al. (2013): Design, dimensioning and execution of precast steel fibre reinforced concrete arch segments. AFTES Recommendations.
- [99] AFTES – Mercier Sofretu, F. et al. (1992): Proposals concerning the measurements and testing to be performed in connexion with a mechanical cutting: characterisation of rock samples. AFTES Recommendations. France.
- [100] AFTES – Robert, A. et al. (2014): Forward probing ahead of tunnel boring machines. AFTES Recommendations. France.
- [101] AFTES – Longchap, P. et al. (2014): Watertightness of precast concrete lining segments. AFTES Recommendations.

- [102] FSTT (2006): Microtunneling and Horizontal Drilling. Recommendations. French Society for Trenchless Technology. France.

Japonsko

- [103] JICA (2018): Guideline for Design of Road Tunnel. Japan International Cooperation Agency (JICA). Japan.
- [104] JSCE - Dobashi, H. et al. (2016): Standard Specifications for Tunnelling 2016: Shield Tunnels. Japan Society of Civil Engineering (JSCE). Japan.
- [105] JSCE - Takahashi, H. et al. (2018): Standard Specifications for Tunnelling 2016: Mountain Tunnels. Japan Society of Civil Engineering (JSCE). Japan.
- [106] JSCE - Takemura, J. et al. (2018): Standard Specifications for Tunnelling 2016: Cut-and-Cover Tunnels. Japan Society of Civil Engineering (JSCE). Japan.
- [107] JSCE - Kimura, S. et al. (2018): Standard Specifications for Tunnelling 2016: Common. Japan Society of Civil Engineering (JSCE). Japan.
- [108] Takano, Y. (1996): State of the Art on Shield Tunnelling in Japan - Automation of Shield Tunnelling. Modern Engineering and Technology Seminar CIE.

Německo (DAUB)

- [109] DAUB – Ehrbar, H. et al. (2019): BIM in Tunnelling. Germany.
- [110] DAUB – Bandmann, M. et al. (2007): Recommendations for planning and implementation of occupational health and safety concept on underground worksites. STUVA, Germany.
- [111] DAUB – Billing, B. et al. (2013): Recommendations for the design, production and installation of segmental rings. Germany.
- [112] DAUB – Žižka, Z. et al. (2010): Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground. Germany.
- [113] DAUB – Maidl, U. et al. (2010): Recommendation for the Selection of Tunnel Boring Machines. Germany.
- [114] STUVA (2005): STUVA Recommendations for testing and application of sealing gaskets in segmental linings. Germany.
- [115] STUVA (2006): STUVA Recommendations for use of gaskets for sealing segmental linings. Germany.
- [116] Richtlinie (2018): Zielgenau bis ans Ende des Tunnels. Ernst & Sohn. Berlin. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

Norsko

- [117] NTS (1998): Norwegian TBM Tunnelling. Norwegian Tunnelling Society. Norway.
- [118] NPRA (2004): Road Tunnels. Norwegian Public Roads Administration Handbooks. Norway.
- [119] NGI (1997): NGI - The Q-method used in TBM tunnels, field mapping and core logging. Norwegian Geotechnical Institute.

Rakousko (OEGG)

- [120] OEGG – Eichiner, H. O. (2017): Expert Comments to EN 12715 – Grouting. Austria.
- [121] OEGG - Galler, R. et al. (2016): Guideline for the Cost Determination for Transportation Infrastructure Projects. Austria.
- [122] OEGG - Atzl, G. et al. (2016): Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik. Österreich.
- [123] ONORM B 2203-2 (2005): Underground works — Works contract. Part 2: Continuous driving (TBM tunnelling). Austria.

Spojené království (Anglie) – BTS a ICE

- [124] BS (1999): Design of road tunnels. British Standard. United Kingdom.
- [125] BS (1997): Safety of unshielded tunnel boring machines and rodless shaft boring machines for rock. British Standard. United Kingdom.
- [126] BSI (2001): Code of practice for safety in tunnelling in the construction industry. British Standards Institution. United Kingdom.
- [127] BSI (2011): Code of practice for health and safety in tunnelling in the construction industry. British Standards Institution. United Kingdom.
- [128] BSI (2016): Tunnel design - Design of concrete segmental tunnel linings - Code of practice. British Standards Institution. United Kingdom.
- [129] BTS (2003): The joint code of practice for risk management of tunnel works in the UK. British Tunnelling Society. United Kingdom.
- [130] King, M. (2010): CrossRail – Earth pressure balance TBM minimum requirements. Crossrail Ltd., United Kingdom.
- [131] BTS and ICE – Biggart, A. et al. (2005): Closed-face tunnelling machines and ground stability (a guideline for best practice). British Tunnelling Society and Institution of Civil Engineers. Thomas Telford. United Kingdom.
- [132] BTS and ICE – Francis, M. et al. (2010): Specification for tunnelling (Third edition). British Tunnelling Society and Institution of Civil Engineers. Thomas Telford. United Kingdom.
- [133] BTS (2012): A guide to the Work in Compressed Air Regulations 1996. British Tunnelling Society. United Kingdom.
- [134] BTS and ICE - Smith, C. et al. (2004): Tunnel lining design guide. Thomas Telford. United Kingdom.
- [135] PJA – Hough, C.M. (1995): Guide to best practice for the installation of pipe jacks and microtunnels. Pipe Jacking Association. London. United Kingdom.
- [136] PJA – Hough, C.M. (2017): An introduction to pipe jacking and microtunnelling. Pipe Jacking Association. London. United Kingdom.
- [137] BTS and ICE – Barratt, J. et al. (2011): Monitoring Underground Construction - A best practice guide. Thomas Telford Limited. United Kingdom.
- [138] BTS and ICE – Francis, M. et al. (2010): Specification for tunnelling. 3rd edition. Thomas Telford Limited. United Kingdom.
- [139] ICE – Beard, A. (2012): Handbook of Tunnel Fire Safety. Thomas Telford Limited. United Kingdom.

Švýcarsko

- [140] SIA (2004): Design of Tunnels - Basic Principles. SIA 197:2004. Swiss Standards.
- [141] SIA (2004): Design of Tunnels – Railway Tunnels. SIA 197/1:2004. Swiss Standards.
- [142] SIA (2007): General conditions for underground construction. SIA 118/198/2007. Swiss Standards.
- [143] ASTRA (2019): Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik. ASTRA 24001
- [144] Anagnostou, G., Ehrbar, H. (2013): Swiss underground construction and tunnel codes. Tunnelling Switzerland.

USA

- [145] ACI – Mobasher, B. (2016): Report on Design and Construction of Fiber-Reinforced Precast Concrete Tunnel Segments. USA.
- [146] NHI – Hung, C. J. et al. (2009): Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements. National Highway Institute. USA.
- [147] NCHRP – Thompson, K. et al. (2011): Best Practices For Roadway Tunnel Design, Construction, Maintenance, Inspection, And Operations. National Cooperative Highway Research Program. USA.
- [148] NFPA – Connel, W.G. et al. (2017): Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other

- Limited Access Highways. Technical Committee on Road Tunnel and Highway Fire Protection. USA.
- [149] US Army (1997): Engineering and Design – Tunnels and Shafts in Rock. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, USA.
- [150] UCA – O'Carroll, J. et al. (2012): Guidelines for Improved Risk Management on Tunnel and Underground Construction Projects in the United States of America. Underground Construction Association of SME. USA.
- [151] SME – Goodfellow, R.J.F. (2011): Concrete for Underground Structures - Guidelines for Design and Construction. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME)