

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**Fakulta stavební**  
**Katedra technologie staveb**

**Bezpečnost práce v tunelech.**

**Health and safety in tunnels.**

Bakalářská práce

**Annette Larsson**

Studijní program:

Stavební inženýrství

Studijní obor:

Příprava, provoz a technologie staveb

Vedoucí práce:

Ing. Michal Procházka, Ph.D.

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Larsson	Jméno: Annette	Osobní číslo: 458571
Zadávající katedra: K122		
Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství		
Studijní obor: (3607R045) Příprava, realizace a provoz staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Bezpečnost práce v tunelech	
Název bakalářské práce anglicky: Health and safety in tunnels	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte rešerši na téma tunelovacích metod. Rozšiřte rešerši o bezpečnost práce na stavbách ve výkopech a činnostech prováděných báňským způsobem. Proveďte porovnání legislativních rozdílů. Popište a vyhodnoťte rizika z hlediska bezpečnosti práce v uvedených metodách. Výše uvedenou problematiku popište na konkrétních příkladech.	
Seznam doporučené literatury: NORWEGIAN TUNNELLING TECHNOLOGY, Publication No. 23, Norwegian Tunnelling Society, Oslo, Norway , 2014 ISBN 978-82-92641-30-9 KLEPSATEL, F., KUSÝ, P., KOPÁČIK, A.: Podzemné stavby I Metódy tunelovania, STU Bratislava, 1998 ISBN 80-227-1028-8 Vyhláška č. 55/1996 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí. Český báňský úřad. ISBN 80-85780-42-9 SCHIFFAUER, F. Porovnání metod TBM a NATM, aplikace pro železniční Berounský tunel. Diplomová práce Ostrava: VŠB-TU 2007.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 21.02.2020	Termín odevzdání bakalářské práce: 17.05.2020 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>21.2.2020</u> Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

### **Čestné prohlášení**

Tímto prohlašuji na svou čest, že jsem tuto bakalářskou práci v celém jejím rozsahu zpracovala samostatně, s využitím konzultací a uvedených podkladů.

V Praze, dne

.....

Annette Larsson

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala prof. Ing. Jiřímu Bartákovi, DrSc. a Ing. Michalovi Procházkovi, Ph.D., za jejich vstřícnost, odborné vedení, připomínky a cenné rady. Dále děkuji svým rodičům a nejbližší rodině za podporu během celého studia a při psaní této práce.

PhDr. Ivaně Ortmanové a Bc. Elišce Faitové děkuji za korekci textu a motivaci.

Rovněž děkuji zaměstnancům společnosti Metrostav a.s. jmenovitě panu Ing. Jiřímu Šachovi, Václavu Andělovi, Ing. Jiřímu Kociánovi a Ing. Mariánu Hrkovi za poskytnutí projektové dokumentace na referenční stavby.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce pojednává o bezpečnosti práce v tunelech. Je rozdělena do rešeršní a praktické části. Rešeršní část je zaměřena na základní používané tunelovací metody v Evropě a popis legislativy pojednávající o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci u činností prováděných hornickým způsobem. Praktická část bakalářské práce nastiňuje problematiku vlivu lidského faktoru při určování míry rizika. K tomuto účelu posloužil dotazník vyplněný několika odborníky z praxe. Součástí praktické části je rovněž výpis nejzávažnějších rizik na referenčních realizovaných stavbách.

**Klíčová slova:** BOZP, OOPP, podzemní stavby, metody tunelování, tunelovací stroje (TM), razicí stroje (TBM), Norská tunelovací metoda (NTM), Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM).

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on health and safety in tunnels. This thesis is divided in two main parts, a theoretical part and practical part. The theoretical part deals with the basic tunneling methods used in Europe. Furthermore, the main laws and standards about underground construction work are included. The practical part of this bachelor thesis introduces the effect of differences of the estimated risk levels among professional tunnel experts in the field of health and safety in tunnels. To achieve this goal, a questionnaire has been performed and filled in by experts. The practical part also contains a list of the most dangerous risks determined on the real underground constructions.

**Keywords:** OSH, PPE, underground structures, tunneling methods, tunneling machines (TM), tunnel boring machines (TBM), Norwegian method of tunneling (NMT), New Austrian tunneling method (NATM)

POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY .....	7
ÚVOD .....	8
CÍLE .....	9
<b>1. Teoretická část.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Podzemní stavby .....</b>	<b>10</b>
1.1.1. Historie podzemních staveb .....	10
1.1.2. Dělení.....	13
<b>1.2. Metody tunelování .....</b>	<b>15</b>
1.2.1. Konvenční tunelování – Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM).....	15
1.2.2. Konvenční tunelování – Norská tunelovací metoda (NTM), Drill & Blast .....	21
1.2.3. Mechanizované tunelování.....	27
<b>1.3. BOZP a Legislativa .....</b>	<b>36</b>
1.3.1. Pracovně právní vztahy .....	36
1.3.2. Stavební dílo .....	38
1.3.3. Báňské dílo .....	42
1.3.4. Rizika.....	51
<b>1.4. Referenční realizace.....</b>	<b>53</b>
1.4.1. Silniční tunel Prešov (Slovensko) .....	53
1.4.2. Silniční tunel Moane (Norsko) .....	56
1.4.3. Železniční tunely Ejpovice (Česko).....	61
<b>2. Praktická část.....</b>	<b>66</b>
<b>2.1. BOZP u NRTM .....</b>	<b>66</b>
2.1.1. Popis rizik.....	66
2.1.2. Vyhodnocení rizik .....	68
2.1.3. Příklad na referenční stavbě .....	70
<b>2.2. BOZP u NTM .....</b>	<b>71</b>
2.2.1. Popis rizik.....	71
2.2.2. Vyhodnocení rizik .....	73
2.2.3. Příklad na referenční stavbě .....	74
<b>2.3. BOZP u mechanizovaného tunelování .....</b>	<b>77</b>
2.3.1. Popis rizik.....	77
2.3.2. Vyhodnocení rizik .....	78
2.3.3. Příklad na referenční stavbě .....	80
<b>2.4. Porovnání .....</b>	<b>81</b>
2.4.1. Vzájemné porovnání vyhodnocených rizik.....	81
2.4.2. Legislativní specifika báňského díla .....	82
2.4.3. Diskuze výsledků .....	83
ZÁVĚR.....	85
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	86
SEZNAM TABULEK .....	87
LITERATURA.....	87

## **Použité symboly a zkratky**

BOZP – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

OOPP – Osobní ochranné pracovní pomůcky

NRTM – Nová rakouská tunelovací metoda

NTM – Norská tunelovací metoda

D&B – Drill & Blast

TM – Tunnelling Machines

TBM – Tunnel Boring Machines

SM – Shielded Machines

APB – Air Pressure Ballance

SPB – Slurry Pressure Ballance

HPB – Hydro Pressure Ballance

EPB – Earth Pressure Ballance

SB – Stříkaný beton

SMODCH – Směrodatná odchylka

OSH – Occupational safety and health

PPE – Personal protective equipment

# Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou bezpečnosti práce a ochrany zdraví při práci prováděné hornickým způsobem ve stavebnictví. První část práce je teoretická - rešeršní. Zpočátku se zabývá obecně problematikou podzemních staveb, jednotlivými typy podzemních děl a jejich dělení. Dále je práce zaměřena pouze na tunely a srovnává tři hojně využívané tunelovací metody v evropských geologických podmínkách. Teoretická část obsahuje popis jednotlivých tunelovacích metod (Nová Rakouská tunelovací metoda, Norská tunelovací metoda a metoda mechanizovaného tunelování), představuje postup prováděných činností a definuje vhodnost využití jednotlivých metod s ohledem na místní geologické podmínky. Součástí první části je nadále legislativa bezpečnosti práce a ochrany zdraví při práci u činností prováděné hornickým způsobem a problematika bezpečnosti práce a ochrany zdraví při práci z pohledu zákoníku práce.

Druhá část bakalářské práce je část praktická. V této části jsou aplikovány poznatky z teoretické části, zejména poznatky o rizicích spojených s jednotlivými tunelovacími metodami a jejich vyhodnocení. Problematika vyhodnocování rizik s ohledem na vliv lidského faktoru a zkušeností byla detailně zkoumána pomocí dotazníku, který byl pro účely této bakalářské práce vyhodnocen akademickými pracovníky a odborníky z praxe, kteří se vyhodnocováním rizik dlouhodobě zabývají. Praktická část práce rovněž obsahuje ukázky rizik vyhodnocovaných na reálných stavbách v Norsku, na Slovensku a v České republice.



# Cíle

Cíle této bakalářské práce lze rozdělit na cíle teoretické – rešeršní a praktické.

Teoretické cíle:

- A) Základní popis a specifika tunelovacích metod využívaných v Evropě
- B) Porovnání požadavků vybraných zákonů a vyhlášek na bezpečnost a ochranu zdraví při práci při činnosti prováděné standardním a hornickým způsobem

Praktické cíle:

- C) Představení problematiky identifikace a vyhodnocování rizik, vliv lidského faktoru a zkušenosti při této činnosti u jednotlivých tunelovacích metod
- D) Zhodnocení rizikovosti jednotlivých tunelovacích metod s ohledem na okrajové podmínky limitující jejich využití

# 1. Teoretická část

## 1.1. Podzemní stavby

### 1.1.1. Historie podzemních staveb

Přírodní podzemní prostory využívali lidé již od pravěku. Jeskyně sloužily jako úkryt, ochrana proti špatnému počasí a konaly se zde i magické obřady.

První podzemní stavby, které vznikly lidskou činností, pocházejí už ze starověku. Sloužily jako pohřebiště, kultovní místa a také často zajišťovaly přívod pitné vody do městské aglomerace. Pravděpodobně nejstarší podzemní komplex na světě, který vznikl lidskou činností, je Hypogeum v Hal Safieni u La Valette na ostrově Malta. Byl vyrubán do měkkých slinitých vápenců mezi lety 4000 až 1500 př.n.l. za pomoci nástrojů z obsidiánu. Jedná se o největší historický městský podzemní komplex. Nachází se zhruba v hloubce 12 m, má 4 úrovně o celkové ploše kolem 500 m<sup>2</sup>. Jeho centrem je chrám kruhového půdorysu. Komplex sloužil pravděpodobně jako monumentální kultovní pohřebiště.

Podzemními stavbami jsou i pohřební komplexy egyptských faraonů v Údolí králů a královen u Luxoru. Byly vysekány v letech 1500 až 1100 př.n.l. mosaznými nástroji do pevných hornin. K významným člověkem vytvořeným podzemním dílům patří i vodovodní štoly, které zásobovaly města pitnou vodou, nebo byly součástí zavlažovacího systému. Razily se za pomoci svislých šachet, jež rozčleňovaly štolu na krátké úseky, ze kterých se razilo oběma směry. Stavatelé také využívali poruchových zón hornin, podél kterých razili. Tímto způsobem se razila i do dnešní doby dochovaná tzv. Ezechiášova štola v Jeruzalémě z 8. stol. př. n.l. Nejdelší vodovodní štola starověku byla dlouhá 33 km a přiváděla vodu do římské provincie Kartágo v Africe. [1] [2] [3] [4]

Od starověku se datují i první dopravní tunely. Zbytky těchto tunelů se nacházejí v povodí řek Eufrat a Tigris, ale nejvýznamnějšími staviteli byli Římané. Z konce 1. stol. př. n.l. pochází 16 dopravních tunelů, ražených v měkkých tufech. Tunely byly raženy od obou portálů a z několika svislých šachet. [1] [2] [3]

Během středověku upadla výstavba podzemních staveb v zapomenutí a činnost v podzemí se omezila pouze na hornictví. Při kutání lidé využívali stejné technologie jako při ražbě ve starověku. V tvrdých horninách bylo využito tzv. ohňové techniky, skála se rozpálila ohněm a poté se prudce ochladila vodou, díky této rychlé změně teploty skála rozpukala. Následné rozpojování hornin se provádělo zásadně ručně za pomoci klínu, kladiva a sochoru. Kladivo zkřížené s klínem (v historické terminologii mlátek a želízko) je ostatně do dnes znakem tunelářských prací. [1] [2] [3]

Až v období renesance (16. století) přišel z Itálie nový impulz pro rozvoj podzemních staveb. Stavatelé sbírali zkušenosti z rekonstrukcí starověkých štol a následně je využívali při stavbě nových štol, a to nejen v Itálii, ale i v ostatních evropských zemích a zámoří. Štoly stejně jako v období starověku sloužily pro přívod vody do měst.

Velmi důležitou událostí této doby bylo i sepsání a vydání knižního díla De Re Metallica, Libri XII, neboli Dvanáct knih o hornictví a hutnictví od německého autora Georga Bauera, též

známého pod latinským jménem G. Agricola. Kniha byla sepsána v letech 1531 až 1550 v Jáchymově, vydána byla v r. 1556 v Basileji. Jednalo se o první vysoce odborné a souhrnné dílo o hornictví, tunelování a metalurgii s vysokým edukačním potenciálem i pro následující dvě století. [1][2][3]

V letech 1581–1593 vzniklo pod pražskou Letnou významné tunelářské dílo o délce 1,1 km, tzv. Rudolfova štola. Přiváděla vodu z Vltavy do rybníků v Královské oboře v místech dnešního parku Stromovka a sloužila i k jejímu zavlažování. Tuto funkci plní dodnes.

K prvnímu použití střelného prachu pro ražbu v podzemí došlo v 1. pol. 17. stol. při těžbě stříbra v Bánské Štiavnici, což přineslo do technologie tunelování zcela nový impuls. V následujícím období se za pomoci střelného prachu razily především průplavové tunely, jelikož lodní doprava byla ve srovnání se suchozemskými dopravními prostředky daleko výkonnější. První plavební tunely se budovaly už koncem 17. stol a průkopníky v této oblasti byla hlavně Velká Británie a Francie.

První průplavový tunel větších rozměrů (š. 7,1 m, v. 8,7 m) leží u města Malpas na Canal du Midi ve Francii, jednalo se o ražbu v měkkých tufech s členěným výrubem. Délka tunelu činila 165 m a stavba probíhala v letech 1671-1681. Kanál, dlouhý 250 km, propojil Středozevní moře s Atlantikem a byl největším nevojenským technickým projektem od římských časů. [1][2][3]

Z 18. století pochází 131 m dlouhý, doposud užívaný městský silniční tunel Neutor, který se nachází pod hradním vrchem Mönchbergem v Salzburku. Tunel se razil v jemnozrnných slepencích v letech 1765-1774.

Opravdový rozmach tunelářského stavitelství však přichází až ve století páry, tj. v 19. století. Průkopníkem se stal G. Stephenson, který v letech 1826-1830 zajistil výstavbu prvního železničního tunelu Edge Hill ve Velké Británii. Tunel dlouhý 1006 m ležel na trati mezi Manchestrem a Liverpoolem. Prvním dvoukolejným tunelem se stal tunel Blox dlouhý 2940 m na trati Great Western Railway. Při jeho výstavbě zahynulo velké množství dělníků, a to kvůli špatným geologickým podmínkám a samozřejmě v té době nedostatečným opatřením v ohledu bezpečnosti práce.

O tom, že největší rozkvět tunelového stavitelství přišel v druhé polovině 19. stol., svědčí i fakt, že v r. 1850 bylo v Německu 21 tunelů, zatímco v roce 1880 jich bylo už přes 300. Samozřejmě nelze zapomenout na alpské železniční tunely, které se v této době budovaly s velkým nasazením. Prvním otevřeným tunelem z oblasti Alp byl 12 234 m dlouhý dvojkolejný železniční tunel Mont Cenis budovaný v letech 1857-1871. Následovalo pět dalších, jejichž délka přesahovala 10 km. Po dlouhou dobu byl nejdelším železničním tunelem na světě cca dvacetikilometrový alpský tunel Simplon II. Až v r. 1988 byl skokem překonán, neboť byl do provozu uveden japonský podmořský tunel Seikan mezi ostrovy Honšu a Hokkaido s délkou 53,9km.

Rozvoj silničních tunelů přišel až s rozvojem automobilové dopravy v první pol. 20. století, některé silniční tunely však vznikly zároveň s těmi železničními. Z r. 1832 pochází nejstarší silniční tunel v Německu - tunel Altenativ. Důležitý je i o něco později vybudovaný Budapeštský tunel z let 1851-1853, o délce 350 m. Významný byl též silniční tunel Blackwall pod Temží spojující města Woolwich a Greenwich v Anglii. Ražba probíhala v bahnitých zeminách a vodou nasycených píscích v letech 1892-1897 za pomoci tunelovacího štítu s přetlakem vzduchu o průměru 8,46 m.

Prvním silničním tunelem města New Yorku se stal tunel Holland vedoucí zhruba 28 m pod hladinou řeky Hudson. Tento tunel o dvou troubách byl vystavěn v letech 1920-1927 a jeho délka činí v součtu 5160 m.

Mezi silniční tunely moderní éry patří jako jeden z prvních tunel Mont Blanc vedoucí pod stejnojmennou horou na pomezí Francie a Itálie. Jedná se o 11,6 km dlouhý tunel vystavěný v letech 1959-1965. Neméně významný je 16 918 m dlouhý Gotthardský tunel ve Švýcarsku vystavěný v letech 1969-1976. Nejdelší silniční tunel na světě, jehož délka činí 24,5 km, je tunel Lærdahl v Norsku vybudovaný v letech 1995-2000.

Po druhé světové válce se rozhodla Mezinárodní unie železniční dopravy (UCI), že je zapotřebí vystavět jednotnou evropskou síť tratí, na které budou vlaky jezdit rychlostí až 200 km/h, její výstavba a modernizace trvá dodnes. Za zmínku stojí i tunel pod kanálem La Manche dlouhý 50,5 km, jehož stavba byla v historii třikrát přerušena pro politické neshody i finanční potíže. Nakonec byla výstavba zajištěna mezinárodním bankovním konsorciem a tunel byl otevřen v roce 1994.

Dlouhé bázové tunely třetí generace jsou vedené hluboko pod úpatím hor. Nejdelším tunelem na světě je švýcarský Gotthardský bázový tunel o délce 57,1 km. Tímto tunelem jsou na speciálních vagónech převáženy kamiony, které by jinak výrazně ekologicky zatěžovaly přírodu. Tunel byl uveden do provozu v r. 2017 a o 3 km překonal do té doby nejdelší Seikanský tunel. [1][2][3][7]

Nejstarší podzemní městská dráha, tzv. metro, byla vybudována v Londýně v letech 1860-1863. Sklidila velký úspěch, a proto následovala výstavba další centrální okružní linky, která byla uvedena do provozu v r. 1884. Obě linky byly vybudovány v otevřeném výkopu, teprve linky následující byly ražené. Nejstarší metro v Evropě z r. 1869 mají údajně řecké Atény, jednalo se však o povrchovou jednokolejnou trať z přístavu Pireus na kraj Athén, která byla až v roce 1893 prodloužena jednokilometrovým podzemním úsekem, realizovaným v otevřeném výkopu, do centra města. V r. 1896 byla do provozu uvedena i první linka metra v Budapešti. Světlé rozměry dvoukolejného mělce uloženého tunelu jsou pouhých 6,0 x 2,75 m, a výstavba opět probíhala v otevřeném výkopu. V r. 1897 byla otevřena první mimoevropská linka metra v Bostonu a následovaly další, např. Chicago a Paříž v r. 1900, Berlín v r. 1902, New York v r. 1904 a Filadelfie v r. 1907. Nejdelší metro má k dnešnímu dni čínská Šanghaj s 637 km a v Evropě Londýn, který má přes 400 km podpovrchových (sub-surface) a hlubinných (tube) linek. [1][2][3]

### **Historický vývoj v České republice**

Stejně jako ve světě se tunelové stavitelství i u nás rozvíjelo hlavně díky rozmachu železnice. K roku 2010 bylo v ČR na 156 tunelů, z toho přes 100 tunelů bylo vystavěno v 19. století. Vzhledem k charakteru české krajiny jsou tunely u nás spíše kratší. K roku 2018 u nás bylo pouze 9 železničních tunelů delších než jeden kilometr.

Z historického hlediska bylo významné zahájení parostrojního provozu mezi Vídní a Brnem 7. července 1839. Nejstarším dvoukolejným tunelem z doby Rakouska-Uherska je 0,5 km dlouhý Třebovický tunel na trati Česká Třebová-Olomouc, který byl vystavěn v letech 1842-1845 v bobtnavých a silně tlačivých jílech. K dnešnímu dni však v provozu není a je částečně zasypaný. Prvním hloubeným tunelem u nás je 259 m dlouhý tunel Slavíč, realizovaný v letech 1845-1847 na trati Přerov-Hranice na Moravě. Ani tento tunel však již není v provozu. Za nejstarší doposud provozovaný tunel tak lze považovat Sychrovský tunel na trati Turnov – Liberec s délkou 640 metrů a datem zahájení provozu v roce 1859. Mezi nejdelší tunely

klasické éry patří tunel Špičák na trati Železná Ruda – Plzeň, který byl zprovozněn v r. 1878. Špičácký železniční tunel byl se svou provozní délkou 1747 metrů téměř 130 let nejdelším železničním tunelem v České republice, až byl v roce 2007 o pouhých 11 metrů překonán tunelem Březenským. Březenský tunel byl vystavěn v souvislosti s přeložením části tratě číslo 124 – Lužné u Rakovníka – Žatec. Přeložení bylo nezbytné vzhledem k prolomení těžebních limitů hnědého uhlí a zahájení těžby v místě původní železnice.

V r. 1871 byl v Praze poprvé otevřen první ze tří Vinohradských tunelů dlouhý 1,15 km. Tento tunel prošel rozsáhlou rekonstrukcí v letech 1945–1948, při které se vyměnilo původní pískovcové ostění za žulové. Druhý tunel byl vystavěn v letech 1940–1944, z třetího tunelu se tehdy vyrazilo pouhých 290 m a dostavěn byl až mezi lety 1983–1989.

Všechny naše dlouhé tunely byly výrazně délkově překonány zprovozněním Ejpovického tunelu na modernizovaném III. železničním koridoru. S provozní délkou 4150 metrů, dvěma elektrifikovanými dopravními tubusy a s v budoucnu plánovanou provozní rychlostí až 200 km/h se jedná o nejmodernější železniční stavbu v České republice. [1] [3] [8]

Výstavba tunelů pro silniční dopravu v první polovině 20. stol. také probíhala, oproti tunelům železničním však v zanedbatelné míře, a to z důvodu morfologie našeho území. Za zmínku rozhodně stojí trojice tunelů, jež ochránila cenné přírodní lokality a historické památky. Jedná se o Vyšehradský tunel dlouhý 30 m z r. 1904, Kokořínský tunel z r. 1935 dlouhý 23,7 m a Sečský tunel v Železných horách z r. 1937 dlouhý 36,5 m. Významnější je však Letenský tunel dlouhý 426 metrů, který byl budovaný v letech 1949–1953. Tento tunel byl ražen klasickým pilířovým systémem pomocí modifikované rakouské soustavy a byl až do r. 1997 nejdelším silničním tunelem. Dnes je nejdelším tunelem tunel Bubenečský, který je součástí tunelového komplexu Blanka na pražském městském okruhu. [3]

Část výstavby pražského metra probíhala v době socialismu v souladu s uzavřenou dohodou mezi vládou tehdejší ČSSR a SSSR. Nelze říct, že by převzaté technologie aplikované při výstavbě metra v té době byly neúspěšné, avšak následně již nenašly uplatnění. Jednalo se konkrétně o technologie nemechanizované štítování a „pražskou“ prstencovou (erektorovou) metodu. Nemechanizovaným štítem byl úspěšně vyražen jako první v roce 1969 tunel na lince metra C, konkrétně na Pankráci. Posledním tunelem, kde byly obě tyto technologie úspěšně nasazeny, byla výstavba Strahovského tunelu v r. 1997. Na linkách metra A a B byly vyraženy dílčí úseky technologií mechanizovaného štítování, konkrétně sovětskými štítem TŠČB-3, s ostěním z presbetonu, na trase B vyrazil v Karlíně dvoukilometrový úsek klasický štít doplněný výložníkovou frézou. [3][6]

### 1.1.2. Dělení

Existuje mnoho kritérií, dle kterých lze podzemní stavby dělit. V této práci jsou vyjmenovány jen ta hlavní a nejzajímavější.

Dělení dle způsobu provádění:

- **Ražená podzemní díla** jsou díla, jejichž celá výstavba probíhá v podzemní bez jakéhokoliv zásahu do nadloží.
- **Hlobená podzemní díla** neboli díla prováděná z povrchu, jsou díla, jejichž výstavba probíhá v otevřené jámě a po dokončení jsou zasypány. Zvláštním typem je tenkostěnná přesypávaná konstrukce.

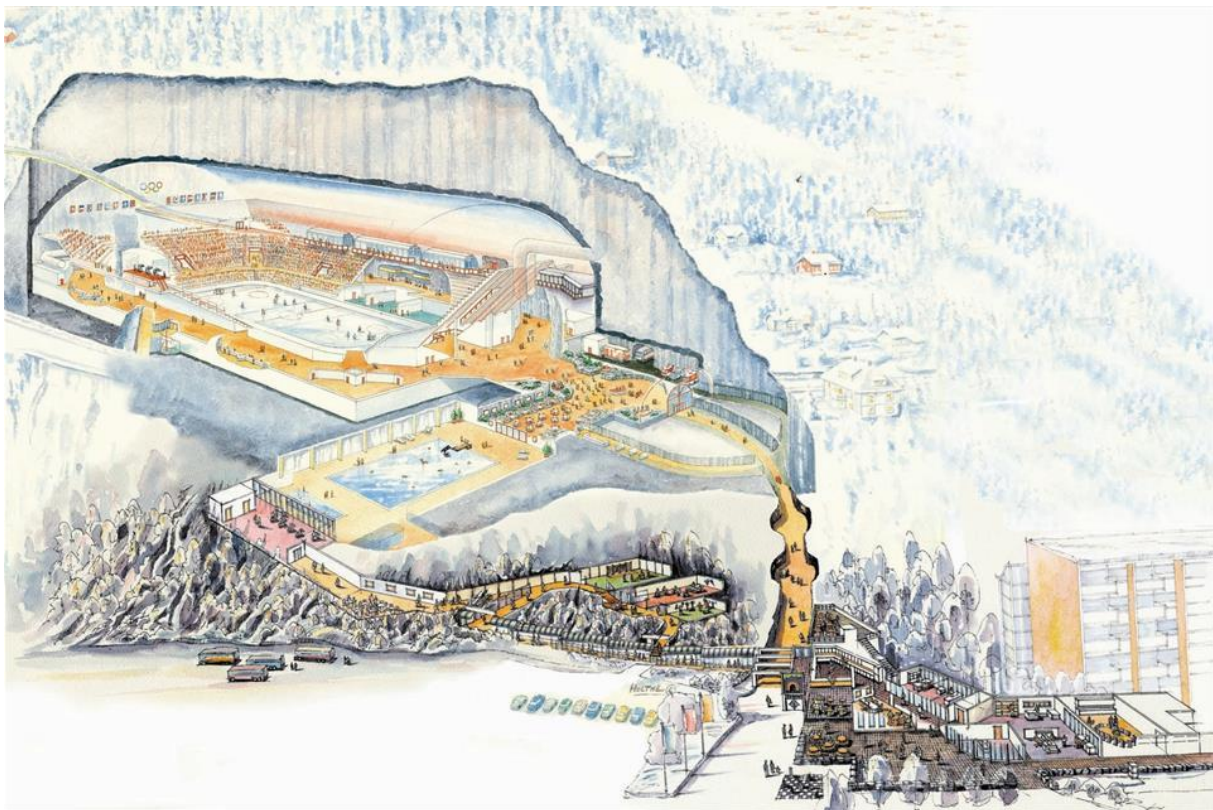
- **Kombinovaná podzemní díla** jsou takové díla, ve kterých je část ražená a část hloubená. [3]

Dělení dle způsobu ražení:

- **Cyklický postup**, kdy ražba probíhá ve stále se opakujících cyklech - tzv. konvenční tunelování
- **Plynulý postup**, kdy ražba díla probíhá pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje, a to buď razíci stroji (TBM) či štíty různého typu – mechanizované tunelování [6]

Dělení dle dispozičního uspořádání:

- **Stavby liniové**, u kterých převládá délka nad výškou a šířkou. Dále se rozdělují podle velikosti plochy příčného profilu a sklonu:
  - Štoly – do 16 m<sup>2</sup>, s podélným sklonem max. 10° od vodorovné roviny
  - Tunely – nad 16 m<sup>2</sup>, s podélným sklonem max. 10° od vodorovné roviny
  - Šachty – plocha příčného řezu je neomezená, dílo je svislé
  - Úklonové šachty – odklon do 30° od svislice
  - Úklonové štoly a tunely – podélný sklon 10°- 60° od vodorovné roviny
- **Stavby plošné** jsou např. garáže či sklady. Jsou tedy charakteristické tím, že nad výškou výrazně převládají dva zhruba stejné vodorovné rozměry.
- **Stavby halové (kaverny)** mají všechny rozměry přibližně stejné. Podzemní stavby tohoto typu slouží např. jako čističky odpadních vod, energetické zásobníky či hydrocentrály. Mimořádně zajímavou stavbou tohoto typu je Zimní olympijský stadion v Gjøviku v Norsku viz. Obrázek 1. [3]



Obrázek 1 Zimní olympijský stadion v Gjøviku v Norsku. [25]

Dělení dle účelu použití:

- **Dopravní podzemní stavby** jsou např. železniční a silniční tunely, podchody pro pěší či metro.
- **Podzemní stavby energetické či komunální** slouží pro vedení různých rozvodů jako např. parovody, horkovody či kolektory pro sdružené vedení inženýrských sítí ve větších městech.
- **Podzemní stavby vodohospodářské** jsou převážně vodovodní přivaděče nebo kanalizační stoky, případně obtokové tunely při výstavbě přehrad.
- **Halové a plošné podzemní stavby** se používají převážně jako hydrocentrály, energetické zásobníky, skladiště, garáže, čističky odpadních vod.
- **Záštitné stavby** sloužící jako úkryty pro civilní obyvatelstvo. [3]

Dělit podzemní stavby můžeme i podle metody provádění. Metod tunelování je však celá řada a v této práci se proto budu zabývat pouze některými z nich.

## 1.2. Metody tunelování

V této kapitole se budeme věnovat konkrétním tunelovacím metodám, a to klasické metodě tunelování, jež se v ČR používá nejčastěji, tedy Nové rakouské tunelovací metodě (NRTM), dále Norské tunelovací metodě, výrazně využívající trhavinové ražení (postup Drill & Blast) a také se zmíníme o mechanizovaném tunelování, které je dnes velmi populární jak ve světě, tak u nás.

Podíváme-li se na technologie tunelování od začátku nám známé historie, udělalo lidstvo velký pokrok. Ve starověku i ve středověku se uplatňovala převážně ohňová metoda u skalních hornin a ruční rubání u zemin. U skalních hornin byl problém horninu vůbec rozrušit, a proto se postupovalo podél ploch odlučností a po poruchových zónách, zatímco u zemin bylo nejdůležitější zajistit stabilitu výrubu. [1] [2]

### 1.2.1. Konvenční tunelování – Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM)

#### Historický vývoj klasických metod ražení a NRTM

Klasické tunelovací metody, resp. soustavy, vznikly na základě bohatých zkušeností horníků s ražbou štol. Tyto zkušenosti aplikovali při výstavbě tunelů velkých průřezů, kdy soustavou menších dílčích výrubů realizovali celou plochu výrubu. S jejich rostoucí zkušeností z vyražených tunelů se vyvinula první generace tunelářů, kteří postupně úspěšně zvládli a ověřili klasické metody včetně principů, jak zajistit výrubu liniových staveb velkých průřezů. Společným znakem je postupné otevírání průřezu výrubu po pasech (pilířích) dlouhých 6-8 metrů a jejich zajišťování výdřevou.

Klasických metod se během 1. pol. 19. stol. vyvinulo pět: rakouská, anglická (longarinová), belgická (podchycovací), německá (jádrová), a italská. Hlavní výhodou byla velká přizpůsobivost a tím použitelnost v téměř jakýchkoliv geologických podmínkách. Dokonce se tenkrát dosahovalo časově srovnatelných výkonů s dnešními, pouze však za předpokladu, že bylo nasazeno na řadě čel velké množství těžce fyzicky pracujících razičů, mechanizace

v malých dílčích výrubech nebyla možná. Ostění v tunelech z této doby je z lomového kamene a kamenných klenáků, případně z cihel, a to z důvodu, že byť beton již existoval, výdřeva jeho použití téměř znemožňovala. Zároveň lidská práce byla mnohonásobně levnější než beton a kovy. Do dnešní doby se pro dočasnou (provizorní) výztuž výrubu používají tzv. TH oblouky s poddajnou konstrukcí spojů, které se v r. 1932 staly výrazným impulzem pro používání obloukové výstroje.

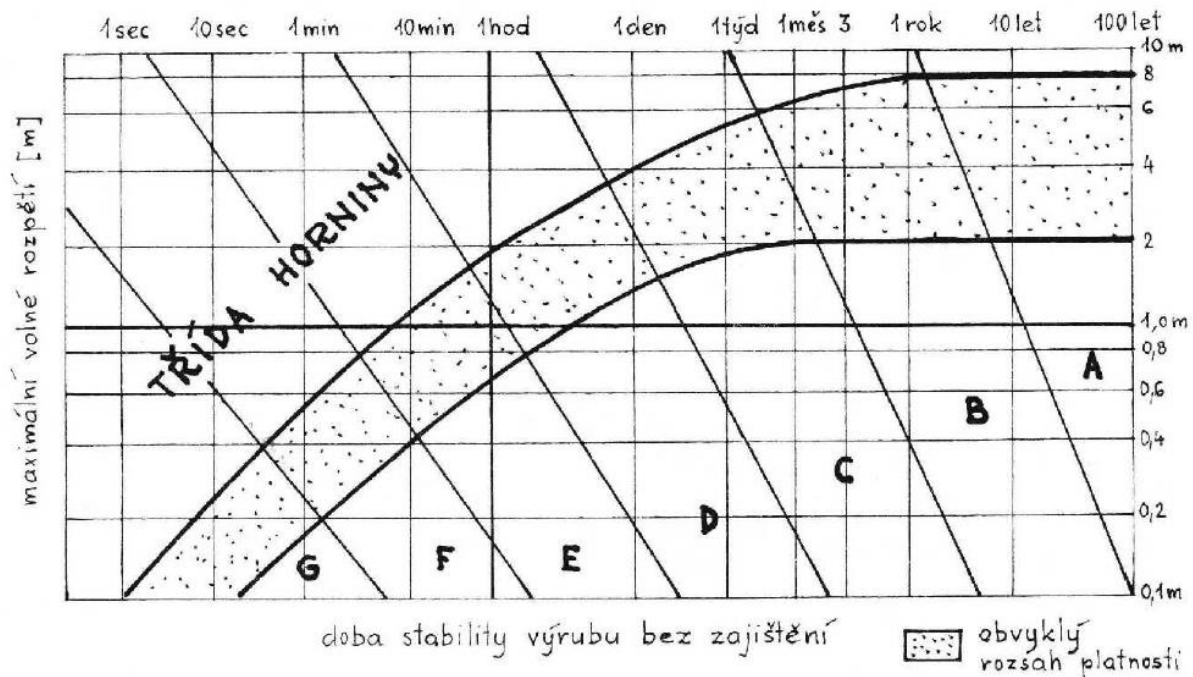
Rozmach stříkaného betonu nastal až po druhé světové válce, i když si mokrá stříkaný beton nechal v r. 1908 patentovat Němec Joseph van Vass a suchý stříkaný beton si patentoval Američan C. A. Akeley v r. 1911. Stříkaný vláknobeton byl poprvé použit v r. 1927 v Británii. První moderní stříkací stroj zkonstruoval Švýcar G. Denn v r. 1942 pro firmu Aliva. Postupně se stříkaný beton začal používat v mnoha zemích, např. v Norsku od r. 1950, v Itálii od r. 1957 a v SRN od r. 1964.

Z pohledu bezpečnosti práce a hygieny žádné větší pokroky oproti starověku a středověku v této době nenastaly. K úrazům a onemocněním, jako např. silikóze plic, docházelo velmi často. Například na stavbě Gotthardského tunelu v letech 1872 až 1882 zemřelo 310 pracovníků a do trvalé invalidity odešlo 877 pracovníků. [2]

Počátky metody NRTM nacházíme již v r. 1948, kdy si profesor L. von Rabcewicz nechal patentovat zajištění výrubu dvouvrstevným ostěním. Následně jeho žáci definovali, že primární poddajné ostění bude ze stříkaného betonu (patent Ing. A Brunnera z r. 1953), doplnili jej i o Lauferův diagram pro určení doby stability nevyztuženého výrubu.

Tento graf vychází z měření v řadě alpských tunelů (H. Laufer 1958) a křivkou závislosti působícího horninového tlaku na deformaci výrubu (Fenner-Pacher, r. 1960). L. von Rabcewicz v r. 1963 na Geomechanickém kolokviu v Salzburku zveřejnil základní zásady a principy Nové rakouské tunelovací metody. K dokonalosti NRTM dovedl L. Muller v r. 1978, kdy sepsal ucelený soubor 22 zásad využití obecné observační metody ve specifických podmínkách podzemního stavitelství. V Rakousku i Německu byla odborná veřejnost zpočátku nedůvěřivá a investoři nebyli ochotní nést riziko při jejím použití. Prvním tunelem raženým touto metodou byl rakouský tunel Massenberga vystavěný v letech 1964-1965. Prvním německým tunelem raženým NRTM se stal železniční tunel Schwaikheim z r. 1965. Nutno podotknout, že název se v několika zemích neuchytil, a to především kvůli přívlastku „rakouská“. Ve Švýcarsku se jí říká Spritzbetonbauweise, v Kanadě a USA pak Sequential Excavation Method, v Anglii Spray Concrete Lining, zásady a principy jsou však téměř identické. [6]





Obrázek 2 Lauerův diagram určující dobu stability nevyztuženého výrubu. [O2]

### Definice NRTM

Existuje mnoho variant popisu NRTM, avšak za nejužitečnější lze považovat popis uvedený v Dokumentech českého tunelářského komitétu ITA/AITES.

„NRTM je tunelovací metoda, která vědomě a cíleně využívá nosných vlastností horninového masivu s cílem optimalizovat proces ražení a zabezpečování výrubu a minimalizovat s tím spojené ekonomické náklady.

Při výstavbě tunelů pomocí NRTM je obvykle stabilita výrubu zajištěna primárním ostěním a definitivní konstrukce tunelové trouby (sekundární ostění) je budována teprve po ustálení napěťově-deformačního stavu v okolí výrubu.

Hlavními konstrukčními prvky primárního ostění jsou stříkaný beton a kotevní systém. Nedílnou součástí NRTM je geotechnický monitoring opírající se především o měření deformací tunelového výrubu. NRTM se tak z hlediska geotechnického řadí do skupiny observačních metod, u kterých je průběh výstavby průběžně sledován, a způsob ražby a zajištění výrubu primárním ostěním jsou upravovány podle skutečného chování výrubu a horninového masivu.“

[9]

### Observační metoda

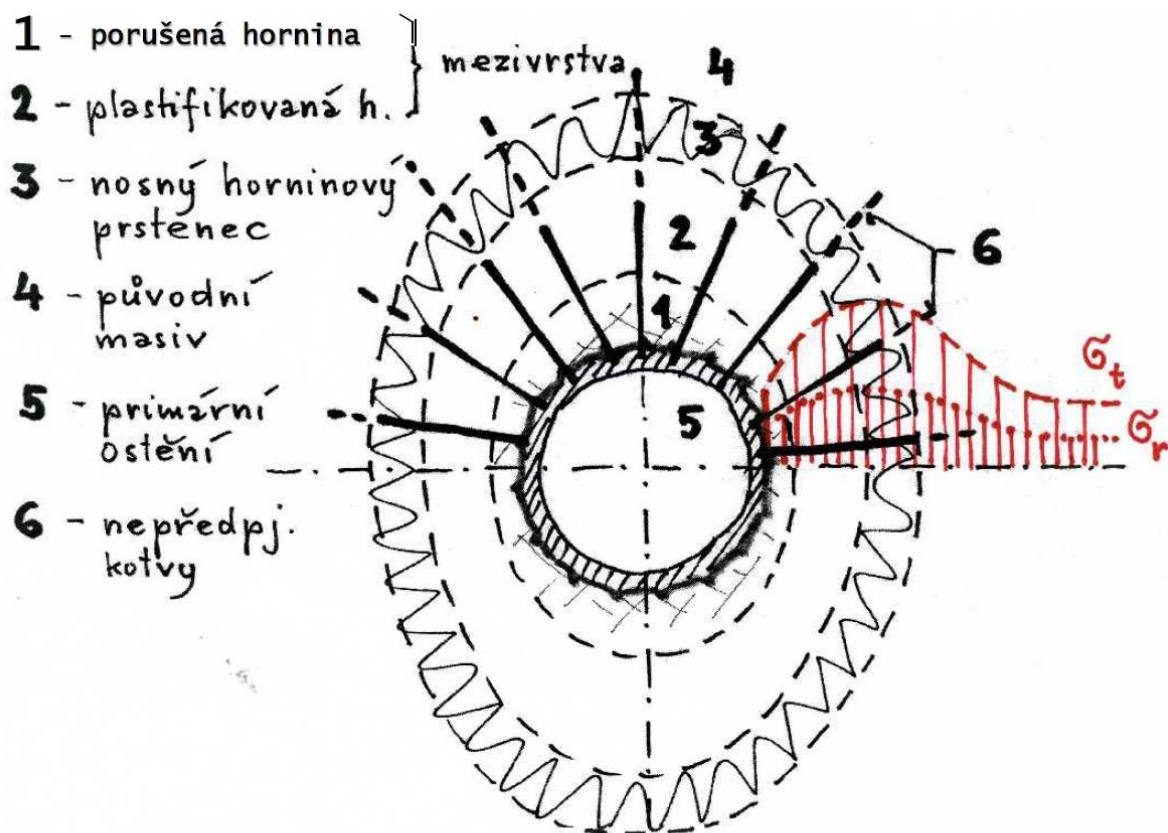
Obecný princip a požadavky observační metody formuloval prof. Terzaghi v 50. letech minulého století. Jak již bylo řečeno v definici, NRTM je velmi adaptabilní metoda a je tedy založená na observaci chování horninového masivu. Observační metoda spočívá v upravování původního návrhu konstrukce na základě analýzy monitorovaných veličin, čímž je zajištěna bezpečnost a hospodárnost ražby. Konkrétní postup u tunelů je tedy takový, že se nejdříve uskuteční základní návrh primárního ostění pomocí armovaného stříkaného betonu doplněného svorníkovou výztuží a zároveň se stanoví meze pravděpodobného chování (deformací) primárního ostění a nadloží. Při ražbě se provádí monitoring deformací primárního ostění, tzv. konvergenční měření, a deformace po výšce tunelového nadloží, tzv. extenzometrická měření. V případě, že se ukáže nepříznivý průběh deformací primárního ostění, je nutné tyto deformace zastavit dodatečnou úpravou zajištění výrubu či postupu

ražby. Navrhování geotechnických konstrukcí observační metodou je legalizováno v evropské technické normě ČSN EN 1997-1:2004 s názvem EUROKÓD 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla.

V dnešní době je organizace geotechnického monitoringu na velmi vysoké úrovni, a to hlavně díky tomu, že je možné údaje sledovat v on-line režimu a případně okamžitě reagovat. [3][6][10]

### Principy a technologie ražby

NRTM je charakteristická cyklickou organizací práce a zároveň využitím vlastní nosné schopnosti horninového masívu ve spolupůsobení s poddajným primárním ostěním, jehož rychlá a dokonalá aktivace neumožňuje porušení ani rozvolnění horniny, čímž uvede síly v okolí výrubu do rovnováhy. Sekundární ostění, jež zajišťuje stabilitu díla po celou dobu jeho životnosti, se realizuje s časovým odstupem až několik měsíců. [3]

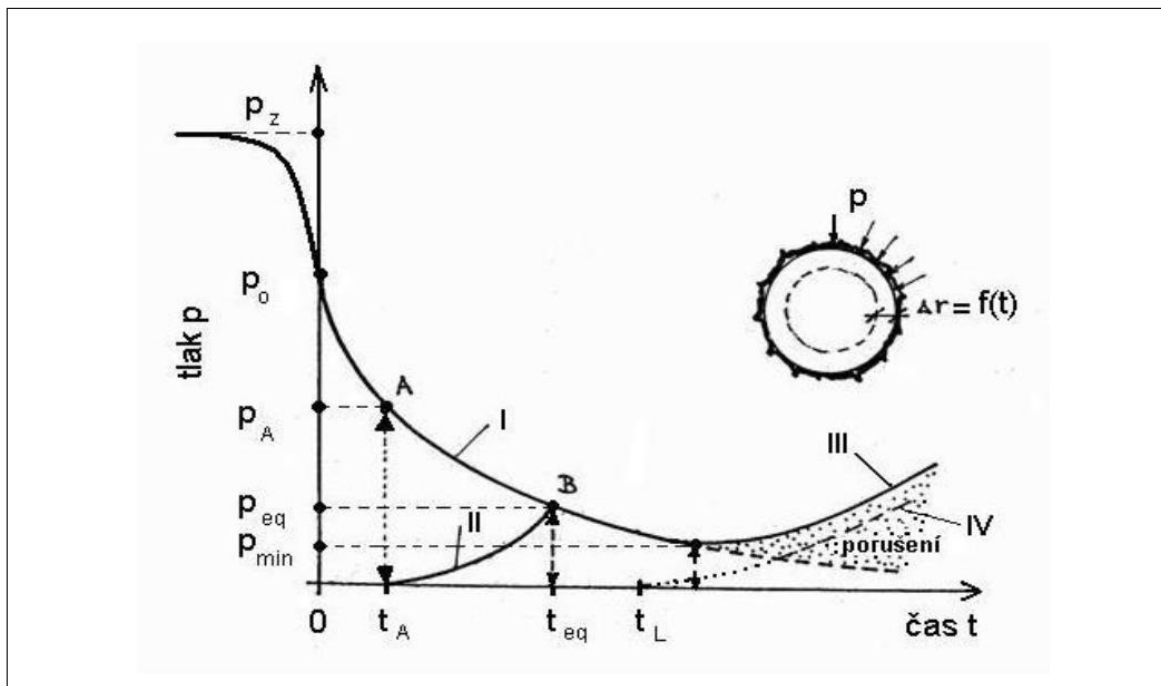


Obrázek 3 Průběh napětí v masivu po provedení výztuže [11]

Jak již bylo řečeno výše, NRTM má 22 zásad, jež je nutno dodržet pro bezpečné provedení podzemního díla. K nejdůležitějším zásadám NRTM patří:

- Základní nosnou konstrukcí tunelu je hornina. Ostění pouze napomáhá samonosnosti výrubu.
- Horninu je nutno rozpojovat šetrně, okolí výrubu musí být co nejméně porušené.
- Je nutný správný odhad doby stability nevystrojeného výrubu (viz Lauferův diagram).
- Deformace masívu vedou ke snížení horninového tlaku na výrub i na primární ostění. Deformace však nesmí překročit určitou mez (viz Fenner – Pacherova křivka).

- Zajištění stability výrubu musí být plošné a působit silově po celém jeho obvodu, nejlépe stříkaným betonem.
- Sekundární ostění se instaluje po ustálení deformací. [1] [6][11]



I – křivka reakce horninového masivu II – křivka odporu zabudované výztuže  
 III – tlak horniny po porušení IV – křivka odporu pozdě zabudované výztuže

Obrázek 4 Fenner - Pacherova křivka [26]

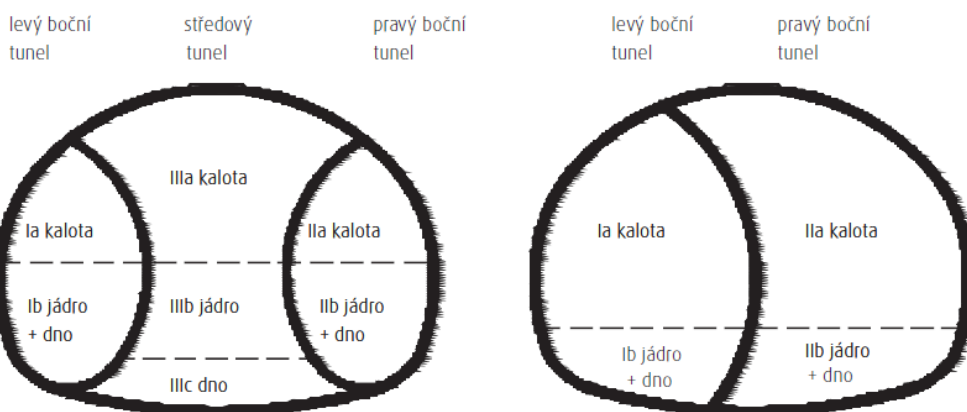
Rozpojování horniny probíhá různými způsoby, pomocí rypadel, výložníkových fréz, pneumatických kladiv nebo trhavinou ve skalních horninách. Zajištění výrubu primárním ostěním se provádí nejčastěji stříkaným betonem tloušťky zhruba 10-40 cm, vyztuženým sítěmi při obou površích, případně doplněným příhradovými nebo plnostěnnými obloukovými nosníky, a téměř vždy v kombinaci s radiální svorníkovou výztuží. Veškeré dimenzování, ať už se jedná o tloušťku primárního ostění, délku záběru či rozsah prokotvených zón, určí projektant na základě technologické třídy výrubu a mění se na základě sledování masivu při ražbě. V případě, že se monitoringem zjistí, že ražba probíhá v horší technologické třídě, je třeba učinit určitá stabilizační opatření, aby nedošlo například ke kolapsu primárního ostění z důvodu překročení jeho únosnosti. Je možné posílit četnost či délku svorníkové výztuže, zkrátit záběr, rozčlenit výrub, podepřít čelbu horninovým pilířem, uzavřít dílčí výlomy spodní klenbou, jehlovat nad čelbou výrubu, případně vytvořit v předpolí ochranný mikropilotový deštník, nebo vylepšit masív tlakovou injektáží. Ražba tunelů větších profilů se většinou neprovádí na celý profil tunelu, ale je členěná a probíhá po částech, což souvisí především s geologickými podmínkami ražby. Nejčastější členění výrubu je vodorovné nebo svislé (obr. 5). Vodorovné členění se nejčastěji používá u kvalitních horninových masívů z důvodu možného dosahu rozpojovacích mechanismů, zatímco svislé se použije u horninového masivu špatné kvality.

## Příklady vodorovného členění výrubu



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

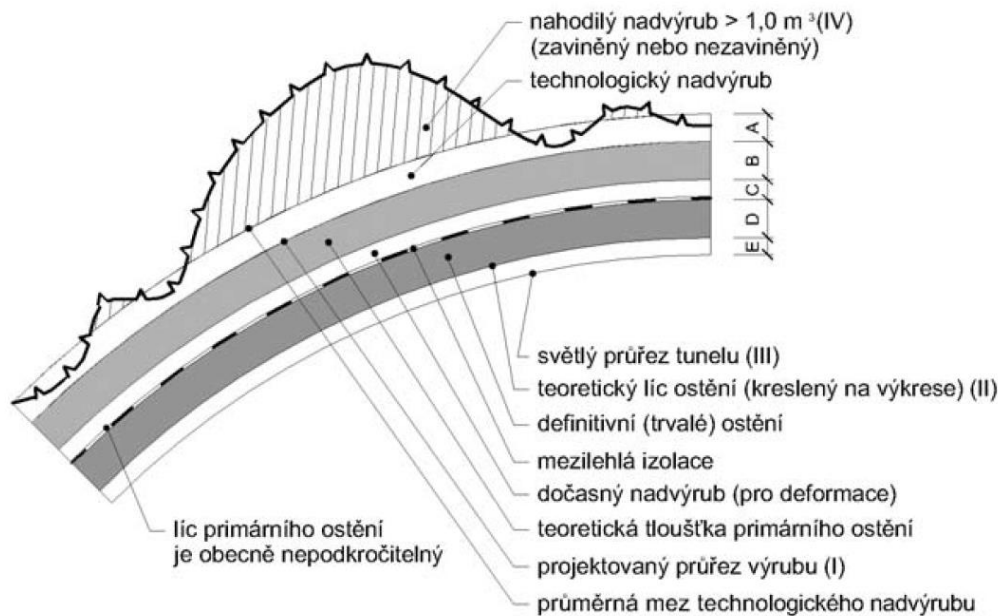
## Příklady svislého členění výrubu



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

Obrázek 5 Členění výrubu u NRTM [9]

V případě ražby v zeminách a málo pevných poloskalních horninách je nutné před čelbou provést v předstihu jistá opatření jako jsou např. jehlování, předklenba ze subhorizontálních sloupů tryskové injektáže či mikropilotový dešťník. Po ustálení deformací se může začít s budováním sekundárního ostění. Před tím je však potřeba na primární ostění připevnit hydroizolaci, nejčastěji ve formě fólie z PE či PVC-S, existuje ale i varianta stříkaných izolací na cementové či chemické bázi. Jsou dvě možnosti zaizolování tunelů. Jestliže je celý tunel pod hladinou podzemní vody, bývá často izolace uzavřená po celém obvodu tunelu, v opačném případě izolace chrání jen horní a boční části ostění, po němž voda stéká do podélných patních drenáží svedených do odvodňovacího systému tunelu. Teoreticky může projektant navrhnout sekundární ostění z vodonepropustného betonu a tím pádem vypustit mezilehlou izolaci. Sekundární ostění je nejčastěji z vyztuženého, někdy z prostého monolitického betonu. Provádí se za pomoci posuvného teleskopického bednění s plnicími otvory a příložitými vibrátory, případně lze použít samozhutnitelný beton, který nevyžaduje použití vibrátorů. Sekundární ostění musí za provozu odolávat smršťování betonu, hydrostatickému tlaku, zatížení, které vzniklo změnou teploty atd. Po kolapsu primárního ostění, což může trvat i desítky let, musí být schopno odolávat i horninovým tlakům. Z těchto důvodů je velmi důležité, aby se postupovalo přesně podle technologického předpisu, aby bylo ostění provedeno kvalitně. Řez skladbou vstrojení výrubu u NRTM je zobrazena na obr. 6.[3][6][9]



Obrázek 6 Řez skladbou vystrojení výrubu tunelu ražené NRTM. [9]

Lze tedy konstatovat, že NRTM se vzhledem ke své přizpůsobivosti dá využít skoro ve všech geologických podmínkách. Z hlediska dodržení bezpečnosti a hospodárnosti však bylo zjištěno, že je pro použití nevhodná při nízkém a zvodnělém nadloží.

### 1.2.2. Konvenční tunelování – Norská tunelovací metoda (NTM), Drill & Blast

#### Historie trhavinového ražení

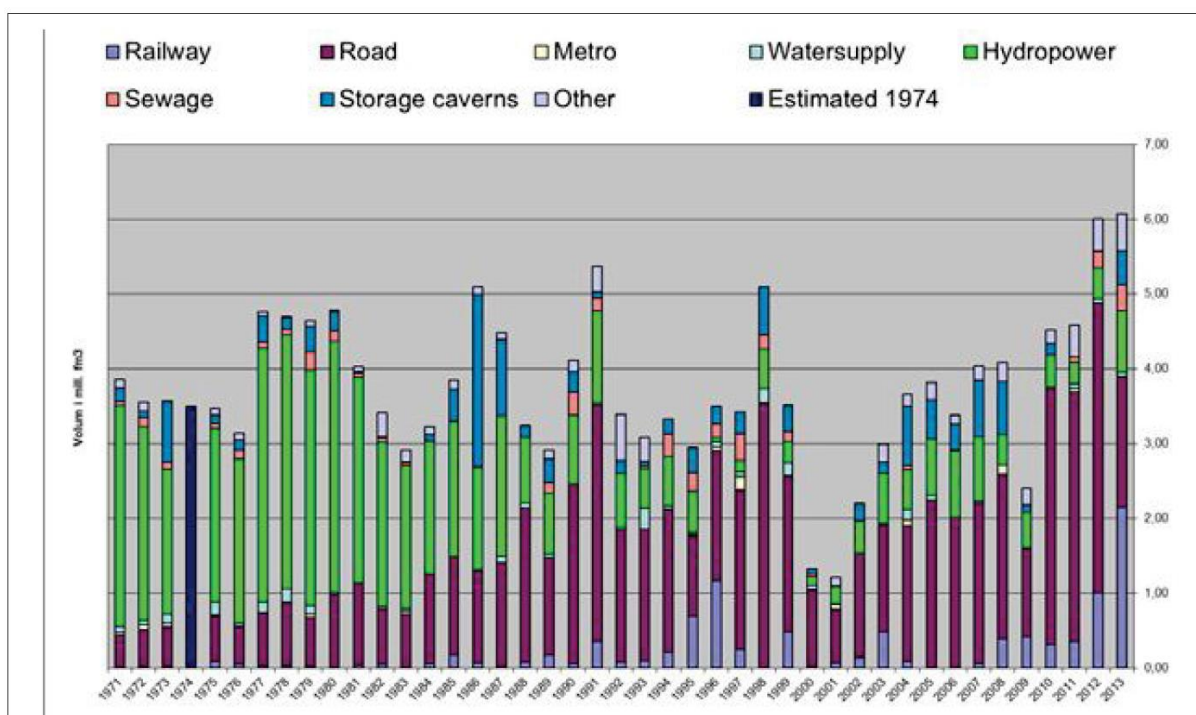
Černý střelný prach usnadnil horníkům a tunelářům práci. Je směsí 65% ledku, 15% síry a 20% dřevěného uhlí. Poprvé jej použil Kaspar Weindl v r. 1627 v dolech na stříbro v Biánské Štiavnici na Slovensku. První tunel ražený pomocí černého střelného prachu byl Malpas ve Francii v r. 1679. Černý střelný prach měl však relativně nízkou účinnost a bylo tedy nutné vrtat hustou sítí vrtů. S lepším nástrojem přišel o dvě století později Švéd Alfred Nobel, který v r. 1863 objevil nitroglycerin. O rok později vyrobil i rozbušku z třaskavé rtuti, která nitroglycerín přivedla k výbuchu. V r. 1867 se A. Nobelovi podařilo vyrobit tzv. dynamit, když infuzorií hlinu nasýtil nitroglycerinem. Po prvním úspěšném využití dynamitu při ražbě Gotthardského tunelu si v r. 1880 A. Nobel patentoval želatinový dynamit, jehož složení tvoří 83% nitroesterů, 5% střelné bavlny, 9% ledku a 3% celulózy, který se po drobných úpravách používá do dnes. Od počátku 50. let 20. století se hledá bezpečnější a zdravotně nezávadná trhavina. Od r. 1956 se v USA používají sypké trhaviny sycené naftou nebo topným olejem, tzv. ANFO (Amonium Nitrate and Fuel Oil). Tato trhavina je však nepoužitelná v zavodněných vrtech. Ve stejném roce se podařilo vyvinout i emulzní trhavinu plastifikovanou vodou, dříve označované jako slurry, resp. trhací kaly. Novější typy se ve světě používají od druhé poloviny 70. let a nesou označení LWC (Low Water Composition). Zásadní výhodou je absolutní pracovní bezpečnost, jelikož jednotlivé komponenty nejsou výbušné, směs se stává trhavinou až po přidání aktivátoru.

Zpomalujícím faktorem byly vrty pro nálož, které se zpočátku vrtaly ručně. Snahou tedy bylo vymyslet vrtačku. V r. 1854 se to podařilo T. Bartlettovi. Jeho přenosná vrtačka na parní pohon nebyla příliš úspěšná. Úspěšnější byl G. Sommeiller, který v r. 1858 u této vrtačky vyměnil parní pohon za pneumatický, pracující na nárazovém principu. On také sestavil vrtací vůz osazený 9 vrtačkami o hmotnosti 12 tun. První hydraulickou rotační vrtačku vyrobil A. Brandt v r. 1876, jednalo se o masivní vrtačku osazenou na kolejovém podvozku. Další pokrok přinesla až první moderní hydraulická rotační kladiva, která vyrobila francouzská firma Montebert, a. s. v r. 1969.

Vrtná dláta představovala další slabý článek ražeb. Dlouho se používala ocelová dláta s kaleným břitem, ta se však rychle otupovala a musela se opětovně vykovávat, brousit a zakalovat. Změna přišla po objevu karbidu wolframu o tvrdosti 9° Mohsovy stupnice. Karbid wolframu se začal od r. 1947 používat v podobě destiček na vrtných dlátech či vrtacích korunkách. [1] [2]

### Vývoj Norské tunelovací metody (NTM)

Metoda Drill&Blast (dále jen D&B) je využívána převážně při ražbě pomocí Norské tunelovací metody (Norwegian Method of Tunneling), která byla vyvinuta, jak je z názvu zřejmé, ve Skandinávii. Tato metoda zažila největší rozmach po druhé světové válce, kdy se ve velkém začaly budovat podzemní vodní elektrárny (hydrocentrály), zásobníky ropy a zemního plynu a v menší míře i dopravní stavby. Dnes už však výstavba dopravních tunelů, a to jak silničních, tak železničních, dominuje. Vývoj podzemních staveb v Norsku je patrný z grafu na obrázku 7.[12]



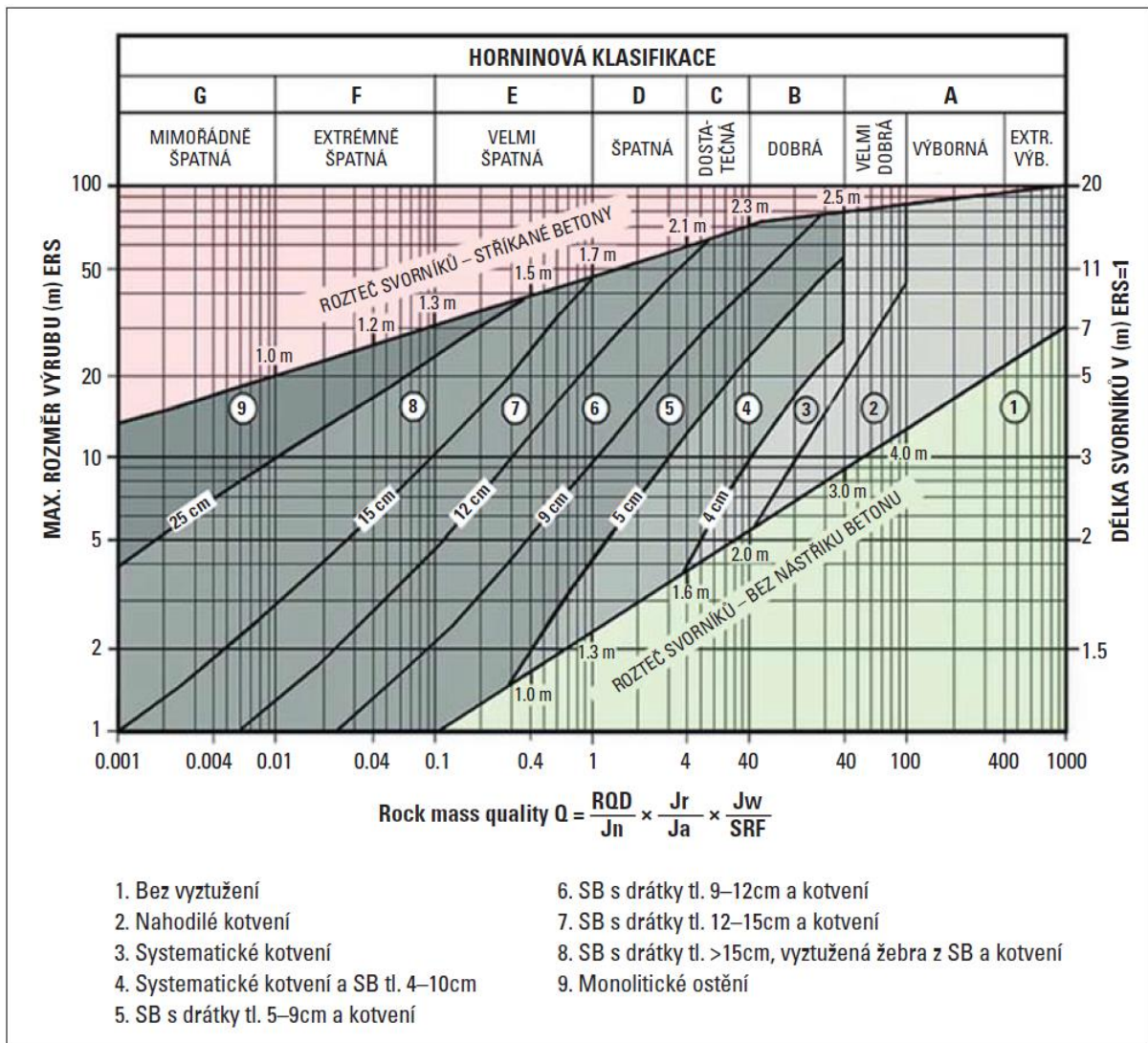
Obrázek 7 Graf vývoje podzemních staveb v Norsku [12]

Byť má Norsko jen 5,4 miliónu obyvatel, je velkým „tunelářským národem“. Podle hrubého odhadu by se dalo říct, že na každého Nora připadají asi 2 m tunelu. V Norsku se nachází kolem 750 železničních tunelů, přes 1000 silničních, z nichž 35 vede pod hladinou moře. Nejdelší silniční tunel Lærdal dlouhý 24,5 km se také nachází v Norsku. Zhruba 1/3 světových



podzemních elektráren se nachází v Norsku, Norsko má přes 4000 km hydroelektrárenských tunelů. [12]

NTM vychází ze zkušeností získaných tuneláři z ražeb mnoha tisíc kilometrů norských tunelů. Stejně tak jako způsob návrhu ostění. Statický návrh, zajištění, zatřídění výrubu i návrh konstrukce ostění, to vše vychází z nejprestižnější horninové klasifikace zvané Q index. Tato klasifikace byla v r. 1974 formulována v Norském geotechnickém institutu čtveřicí vědců Barton, Liem, Lunde, Loset, takže z počátku byla označována též jako klasifikace BLLL. Tento klasifikační systém oceňuje kvalitu horninového masívu zmíněným indexem Q, jež se určí na základě empirického systému s šesti parametry, z nichž jeden je známý index RQD (obr. 8). Jak již bylo řečeno, jeho základy jsou zakotveny v empirickém sběru dat z tisíců kilometrů ražeb tunelů po Skandinávii. [3] [6]



Obrázek 8 Vyztužovací kategorie při NTM - diagram Grimstad-Barton [6]

### Definice D&B

Metoda Drill & Blast, přeloženo jako „Navrtej & Odstřel“, je metoda, která pro ražbu používá, jak je z názvu zřejmé, trhacích prací. Je charakterizovaná dlouhými záběry v pevných skalních horninách. Je velice populární ve Skandinávii, a to hlavně díky své rychlosti, vysokému stupni

mechanizace, automatizace a nízkým nákladům. Dočasné zajištění výrubu, pokud se vůbec provádí, je téměř výhradně ze stříkaného drátkobetonu v kombinaci se svorníky a je součástí definitivního ostění. Po dočasném ostění s časovým odstupem následuje případně zaizolování výrubu a aplikace sekundárního ostění, které je nejčastěji opět ze stříkaného betonu. U silničních tunelů se pro sekundární ostění používá stříkaný beton doplněný prefabrikovanými betonovými elementy. Elementy mají funkci estetickou a psychologickou, ale zároveň funkci izolační a bezpečnostní. Tyto elementy jsou upevněny dlouhými kotvami do skály a chrání tunel před vnikající vodou a případnou uvolněnou horninou. V příznivých geologických podmínkách se tato metoda, co se týče rychlosti, vyrovná i mechanizovanému tunelování. [6]



Obrázek 9 Sekundární ostění hotového tunelu raženého NTM [27]

### Zásady cyklického způsobu ražení

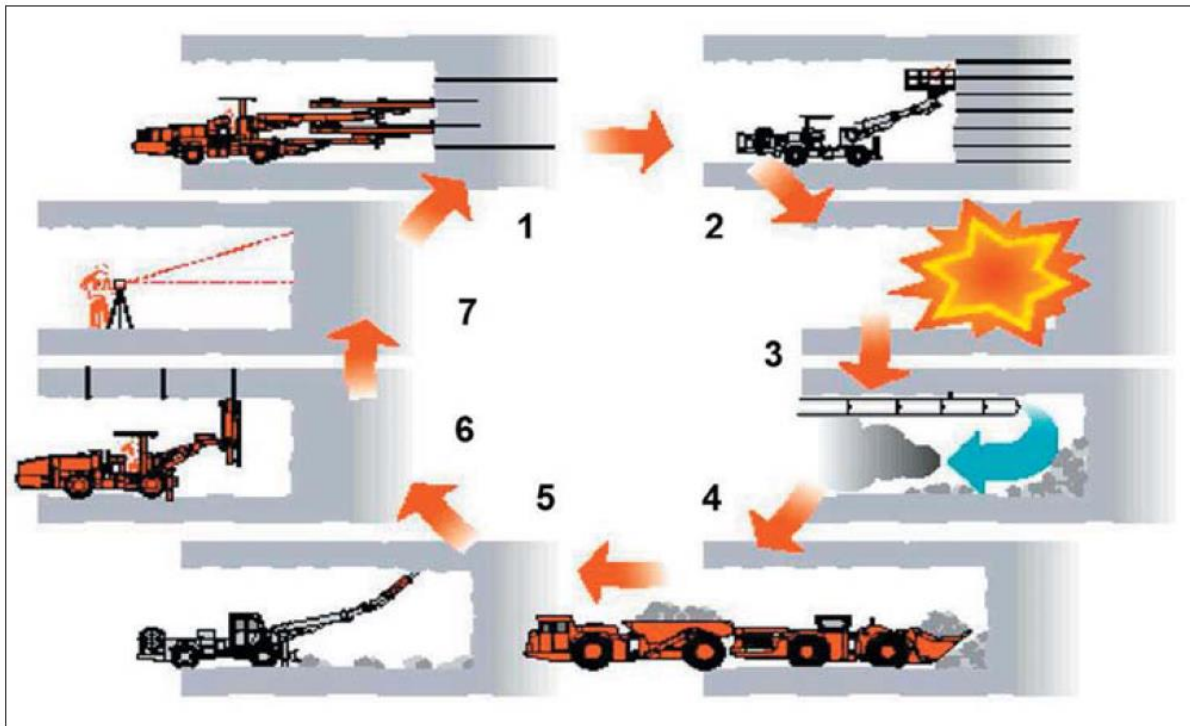
D&B je stejně jako NRTM metoda fungující na principu cyklického způsobu ražby. To znamená, že se jednotlivé operace pravidelně opakují. U metody využívající k rozpojování horniny trhací práce se jedná o činnosti:

- vrtání podle předem daného vrtného schématu
- nabíjení čelby
- odpal a větrání
- odtěžení a odvoz rubaniny
- mechanické a následně ruční začištění výrubu
- geodetické zaměření (skenování)
- zajištění výrubu stříkaným drátkobetonem a injektovanými svorníky.

Během cyklu se nesmí zapomenout na případné prodloužení instalací (větrací lutny a vodního potrubí). Obecný postup prací je znázorněn na obrázku 10. Od obvyklého pracovního cyklu se odchyluje pouze tehdy, když jsou geologické podmínky tak dobré, že není třeba zajištění



výrubu, či naopak, když jsou geologické podmínky velmi špatné a je třeba zajistit, aby nemohlo dojít ke kolapsu. [1] [3] [10]



Obrázek 10 Postup prací při ražbě metodou Drill & Blast [6]

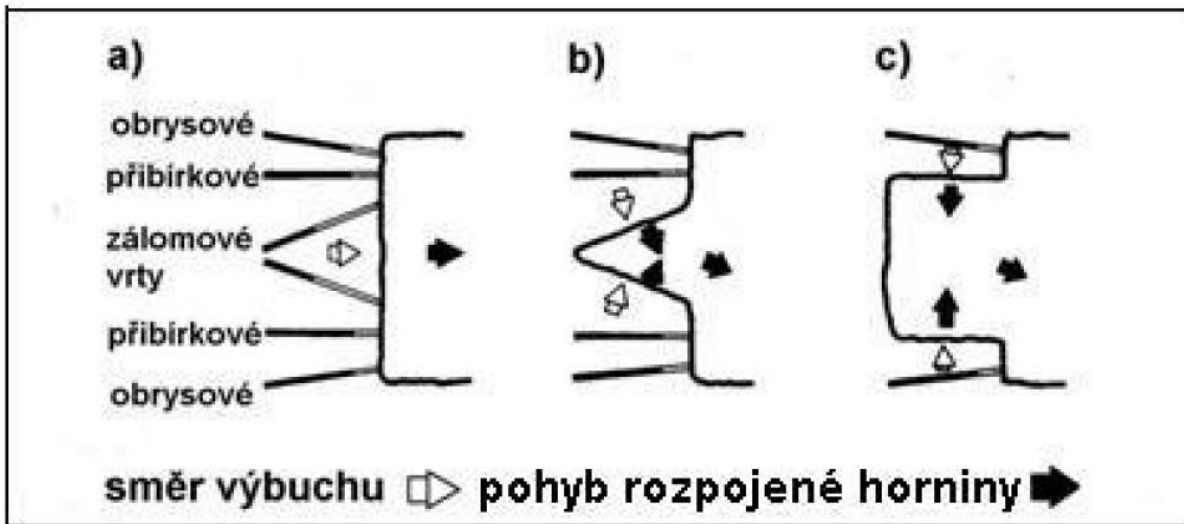
### Trhací práce

Díky trhacím pracím je rychlost postupů opravdu velká, a to zejména při záběrech dlouhých až 6 m (obvyklá délka je 3–6 m). Omezení 6 m je dáno především možnostmi vrtací techniky. Délka záběru se redukuje v případě lokálního zhoršení geologických podmínek nebo z důvodu snížení negativních vlivů seismických účinků, např. v blízkosti zástavby.

Vrtání je časově nejnáročnější a je rozhodující činností ovlivňující rychlost i hospodárnost ražby tunelu. Z tohoto důvodu byla této problematice věnována velká pozornost, což dokazuje i fakt, že za posledních 40 let se vývojářům podařilo zvýšit rychlost vrtání až třicetinasobně. Dnes není neobvyklé, že vrtací vozy s hydraulickými vrtacími kladivý dosahují vrtací rychlosti až 300 m/h. Postup vrtání je dnes již plně mechanizovaný a stroje ovládá počítač. Do počítače se nahraje vrtné schéma, což velice ulehčuje strojníkovi práci. Vrtné schéma je grafické vyobrazení rozmístění vrtů pro nálože trhavin na ploše čela výrubu. [1][3]

*„Vrtné schéma představuje takové rozmístění vrtů, které při správně navržených ostatních parametrech odpalu zajistí postup ražby o délku jednoho záběru v profilu blížícím se co nejvíce, tj. bez zbytečných nadvýlomů, teoretickému (projektovanému) výrobnímu profilu štoly či tunelu.“ [3]*

Vždy by měla být snaha o optimální spotřebu trhavin a redukci negativních seismických účinků na horninové prostředí. Vrtné schéma se skládá ze tří druhů vrtů, obrysových, přibírkových a zálomových (obr. 11).

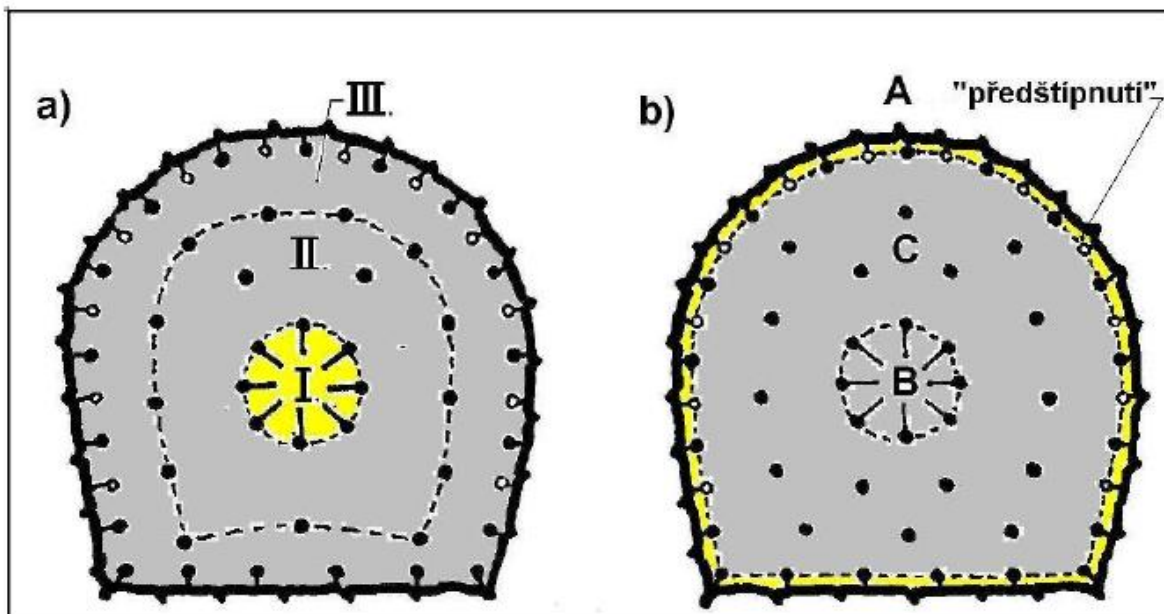


Obrázek 11 Druhy vrtů a působení trhaviny při odpalu. [3]

**Záломové vrty** se nacházejí v oblasti těžiště čelby a jejich nálože mají nejobtížnější úkol, prvotní vytržení horniny. Odpalují se tedy jako první a vytvoří zálom do čelby.

**Přibírkové vrty** mají zpožděné exploze náloží a jejich úkolem je rozšíření zálohu. Zpoždění jsou v desítkách až stovkách milisekund. Vrty jsou kolmé a neobsahují tak velké množství trhaviny, jelikož působení energie trhaviny je usměrněné do volného prostoru vzniklého zálohu.

**Obrysovové vrty** jsou hustě rozmístěny po obvodě výrubu ve vzdálenostech většinou 30 cm. Nálože obrysových vrtů mají za úkol po výbuchu zajistit vylomení co nejpřesnějšího obrysu podzemního díla, neměly by však poškodit horninový masív ve svém okolí. Existují dva speciální způsoby, jak se dá těchto požadavků účinně docílit, jedná se o tzv. řízený výlom – hladký odpal nebo presplitting, což se dá přeložit jako předštípnutí (obr. 12).



Obrázek 12 Druhy vrtů [3]

kde a) hladký odpal; I. záломové vrty, II. přibírkové vrty, III. obrysovové vrty; b) presplitting; A – obrysovové vrty, B – záломové vrty, C – přibírkové vrty. [3]

Hlavním rozdílem těchto dvou způsobů je okamžik odpalu obrysových vrtů. U hladkého odpalu se začíná zálomovými vrty, následují přibírkové a až jako poslední se odpálí obrysové nálož. Obrysové vrty tedy dočišťují obrys výrubu. U presplittingu se začíná odpalem obrysových nálož, díky čemuž dojde k vytvoření trhliny ve tvaru budoucího výlomu, následuje odpal zálomových a nakonec přibírkových nálož. Vzniklá štěrbina po prvotním odpalu obrysových nálož zajišťuje svou velkou impedancí proti seismickému namáhání ochranu horninového masívu před nepříznivými účinky výbuchů nálož následujících.

Úhel, který svírají vrty k teoretické rovině čelby, se vždy odvíjí od typu zálomu. **Sbíhavé zálomy** mají vrty pod takovým úhlem, aby vytvářely jakýsi klín, jehlan, kužel či vějíř, neboť to usnadňuje vytržení upnuté horniny. **Přímé zálomy** mají všechny vrty kolmé a dělí se dále na **tříštvivé a válcové zálomy**. U tříštvivých zálomu jsou všechny vrty stejného průměru, jen některé jsou nabité a jiné ne, a také se nacházejí blízko sebe ve vzdálenosti do 10 cm. Válcové zálomy mají jen jeden nenabitý vrt, ale za to o průměru 100-200 mm. Tyto zálomy jsou velmi účinné, dá se jimi dosáhnout maximální délky záběru (6 m). [3] [6] [10]

### Voda v tunelu

Voda je při stavbě podzemních děl velký nepřítel a Norsko je požehnaná země, pokud jde o vodu. Hladina podzemní vody je obvykle jen několik metrů pod povrchem terénu a každý tunel tím pádem funguje jako určitý drenážní prvek. Díky této zkušenosti je NTM charakteristická i aplikací systematické injektáže ve velkém rozsahu. Jedná se o injektáž na chemické či cementové bázi. Při výstavbě se dají aplikovat dva druhy injektáže, pregROUTING či postgrouting. PregROUTING je používán nejčastěji a jedná se o předstihovou injektáž vějířů do předpolí čelby. Opakem je postgrouting, to je dodatečná injektáž, která se provádí většinou až po ustálení lokálních přítoků přes definitivní ostění. [6] [12]

## 1.2.3. Mechanizované tunelování

### Historie štítového a strojního ražení

S jistou nadsázkou by se dalo říci, že historie mechanizovaného tunelování se datuje již rokem 1825, kdy v Londýně započala ražba tunelu pod Temží. Jedná se o 460 m dlouhý tunel, který byl ražen nemechanizovaným štítem klasického typu (horizontální obdoba základové studně), obdélníkového profilu velikosti 7,1x11,4 m. Stavbu započal sir Marc Isambard Brunel, ve stavbě pokračoval jeho syn Marc Kingdom Brunel, po jeho zranění a odchodu však byla dokončena až v r. 1842. Ražba byla velmi obtížná vzhledem ke geologickým podmínkám, fluviačním sedimentům, jílům a pískům nasycených vodou. Během výstavby došlo dvakrát k průvalu vody a stavba musela být kvůli finančním problémům dokonce na sedm let zastavena. Dnes je tento tunel součástí jedné z linek londýnského metra.

Nemechanizované štítování s přetlakem vzduchu byla technologie, pomocí které se dalo úspěšně razit ve zvodnělých zeminách pod vodními toky. Touto metodou byl vyražen tunel pod řekou St. Clair na hranici mezi Kanadou a USA v letech 1888 až 1890. Tato technologie se uplatnila při ražbě velkého množství tunelů a to hlavně při ražbě v zeminách a poloskalních horninách.

První mechanizovaný razicí stroj navrhl a patentoval Ch. Wilson. Jednalo se o ražbu na plný profil v pevných horninách. V r. 1853 se tento stroj testoval při ražbě tunelu Hoosack, po 3 metrech však ražba skončila pro neodstranitelné problémy s dláty na rezné hlavě.

Úspěšnější byly razicí stroje Beaumont/English, které razily průzkumné štoly pod kanálem La Manche. Stroje jezdily po kolejičkách a stabilitu při vrtání zajišťovaly rozpěrné desky do stěn

výrubu. Stroje měly dvouramennou vrtací hlavu s pevnými dláty, která se točila kolem podélné osy.

V r. 1931 firma Schmidt, Kranz & Co. představila stroj vykazující znaky moderních plnoprofilových strojů. Stroj se používal v hnědouhelných dolech pro ražbu větracích chodeb. Pohyboval se po kolejích a měl tříramennou razící hlavu. Pokrok ve vývoji mechanizovaných plnoprofilových razících strojů nastal díky americkému konstruktérovi J. R. Robbinsovi, který osadil razící hlavu volně otočnými diskovými dláty a stroj nazval Robbinsmod 131-106. Valivá dláta jevila výrazně vyšší odolnost a nižší opotřebení než dláta pevná.

V ČR se mechanizované tunelování používá od r. 1970, kdy se razil přivaděč pitné vody pro město Chomutov. V této době mechanizované razící stroje vyráběly i firmy v Německu či v tehdejší SSSR. Nemechanizované i mechanizované štíty se používaly i při stavbě tří linek pražského metra. [5]

### Definice a principy mechanizovaného tunelování

Mechanizovaným tunelováním se rozumí ražba pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů. „Plnoprofilovými tunelovacími stroji se nazývají výkonné mechanismy, kterými je možno provádět kontinuálně rozpojování horniny v celé čelbě tunelu bez použití trhacích prací a současně téměř plynule budovat tunelové ostění. Ve skutečnosti i tunelovací stroje rozpojují horninu po záběrech daných maximálně možným výsuvem přítláčných axiálních lisů a po vyčerpání výsuvu je třeba stroj, resp. pisty radiálních lisů, přemístit. V této fázi je rozpojování horniny v čelbě přerušeno.“ [5]

Na základě kvality horninového prostředí se určí, jaký typ stroje bude použit. Do pevných skalních hornin se hodí otevřené tunelovací stroje, tzv. razící stroje, jež mají po stranách gripy, což jsou radiální přítláčné desky, kterými se stroj v prostředí stabilizuje, a axiální lisy přinášejí oporu pro přítlak stroje do čelby. Výrub je možno zajistit stříkaným betonem v kombinaci se svorníky. Do zemin, polosklaných hornin či hornin s malou pevností se používají tunelovací stroje s ochranným štítem. Tento štít zajistí stabilitu výrubu po dobu ražby a následně umožní bezpečné provedení definitivního ostění. Pohyb stroje zajišťují v tomto případě axiální lisy, jež se opírají o poslední prsteneček segmentového ostění. [5]



Obrázek 13 Ejpovický tunel [28]

### Ostění

Ostění v tunelech ražených plnoprofilovými stroji je rovnou definitivní. Skládá se z prefabrikovaných železobetonových nebo drátkobetonových dílců (segmentů). V jednom prstenci bývá 7-10 segmentů (závisí na velikosti profilu) o šířce 1-2 m. Segmenty jsou velice přesné a mají hladký povrch, aby bylo možné použití erektoru s vakuovým uchytáváním. Segmenty se v ložných a styčných spárách spojují šrouby a navíc umělohmotnými roubíky ve styčných spárách. Díky jednoduchým či dvojitým plastovým nebo kaučukovým páskům ve spárách je zajištěna voděodolnost.

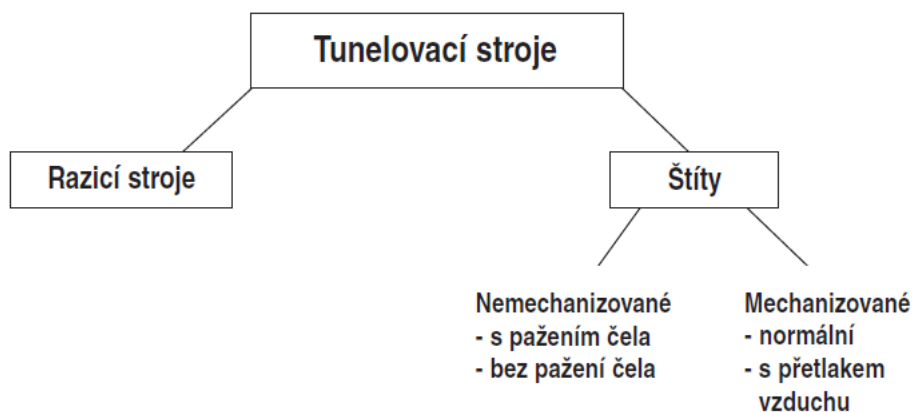
Výjimkou jsou tunely ražené otevřenými TBM v pevných skalních horninách, kde není segmentované ostění vyžadováno, je-li třeba ostění, je nejčastěji tvořeno stříkaným betonem a svorníky. [3]

### Rozdělení tunelovacích strojů

Základní české názvosloví vzniklo v souvislosti s nasazením prvních tunelovacích strojů v ČR (obr. 14). Razícím strojem se rozumí plnoprofilový stroj používaný v pevných skalních horninách, který není před horninovým masívem chráněn. Oproti tomu štíty jsou plnoprofilové stroje, u kterých je nutné ochrana před horninovým tlakem, jelikož jsou určeny do nestabilního prostředí zemin, poloskalních hornin či hornin s nízkou pevností. [5]

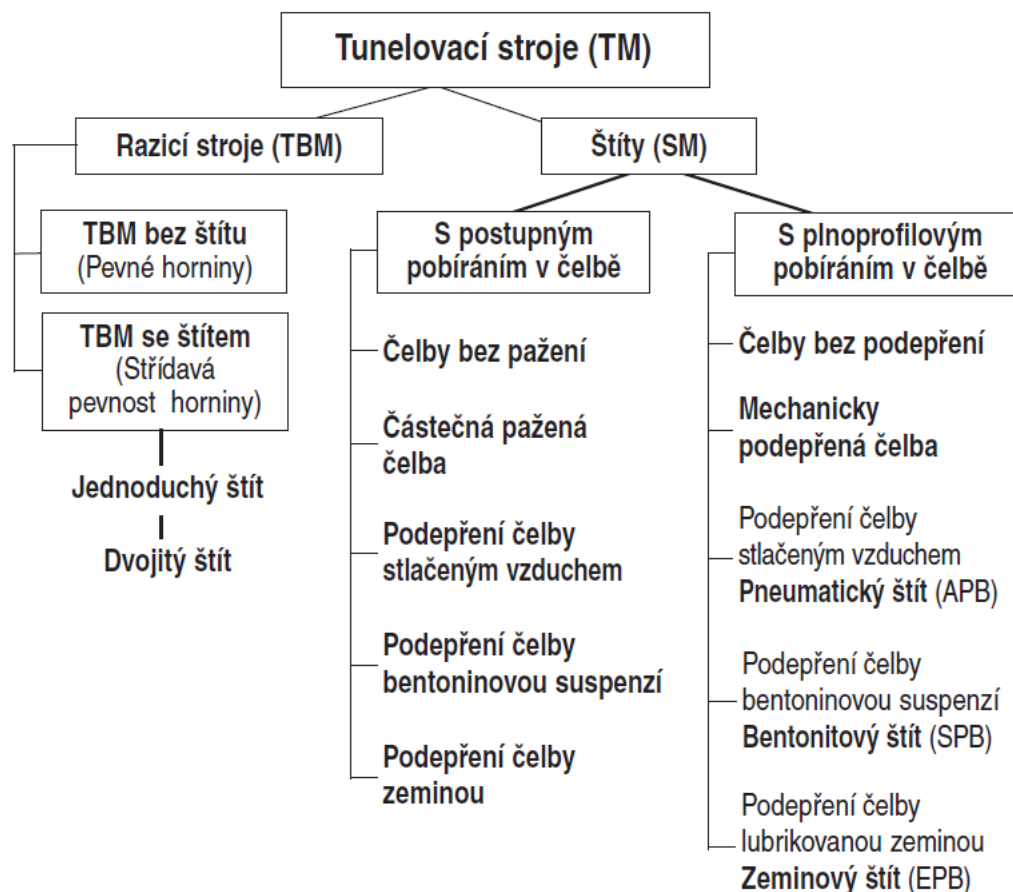
Nejlepší schéma rozdělení tunelovacích strojů přinesly společně v r. 1997 odborné střeoevropské společnosti DAUB (Německý spolek pro podzemní stavby), ÖGG (Rakouská společnost pro geotechniku), SIA (Švýcarský spolek inženýrů a architektů, odborná skupina pro podzemní stavby – obr. 15). Toto rozdělení bylo v německé formě publikováno už v r. 1998, v anglické verzi bylo oficiálně předneseno v roce 2007 na Světovém tunelářském kongresu v Praze. [3] [5]

Jednoznačnému pojmenování však brání fakt, že se jednotlivé typy strojů dají kombinovat a vývojově se jejich konstrukční prvky prolínají. Nejvíce rozdílných názorů však existuje v souvislosti s termínem TBM (Tunnel Boring Machines), např. v alternativním (americkém) dělení se zkratkou TBM označují veškeré plnoprofilové tunelovací stroje. Tuto nejednotnost je možné pozorovat v zahraničních, ale i domácích konferenčních příspěvcích, člancích či jiných odborných publikacích. [5]



Obrázek 14 Základní české názvosloví pro plnoprofilové tunelovací stroje [5]





Obrázek 15 Evropské rozdělení tunelovacích strojů TM [5]

### Razicí stroje:

**Otevřený TBM, (TBM bez štítu), „gripper TBM“** je plnoprofilový tunelovací stroj určený do pevných, neporušených a netlačivých hornin. Schéma je na obrázku 16. V čele stroje je razící hlava (1), která pokrývá celý příčný profil tunelu, otáčí se na teleskopické opláštěné hřídeli za pomoci výkonného elektromotoru. Na plášti hřídele jsou upevněny páry radiálních hydraulických lisů s přitlačnými deskami (9,10). Pomocné podpěrné lisy (11) zajišťují stabilitu v době, kdy se stroj posouvá a nejsou aktivní gripperly (10). Rozpojování horniny probíhá díky rozpojovacím orgánům na rotující hlavě. Rozpojovacími orgány jsou nejčastěji diskové nože, které za velkých soustředěných tlaků horninu štípou a drtí. Veškeré činnosti stroje jsou ovládány počítačem z ovládacího pultu. Samotný stroj má v závěsu ještě několik návěsů, kterými se provádí další potřebné činnosti, jako jsou injektáže, svorníková výztuž či stříkaný beton.

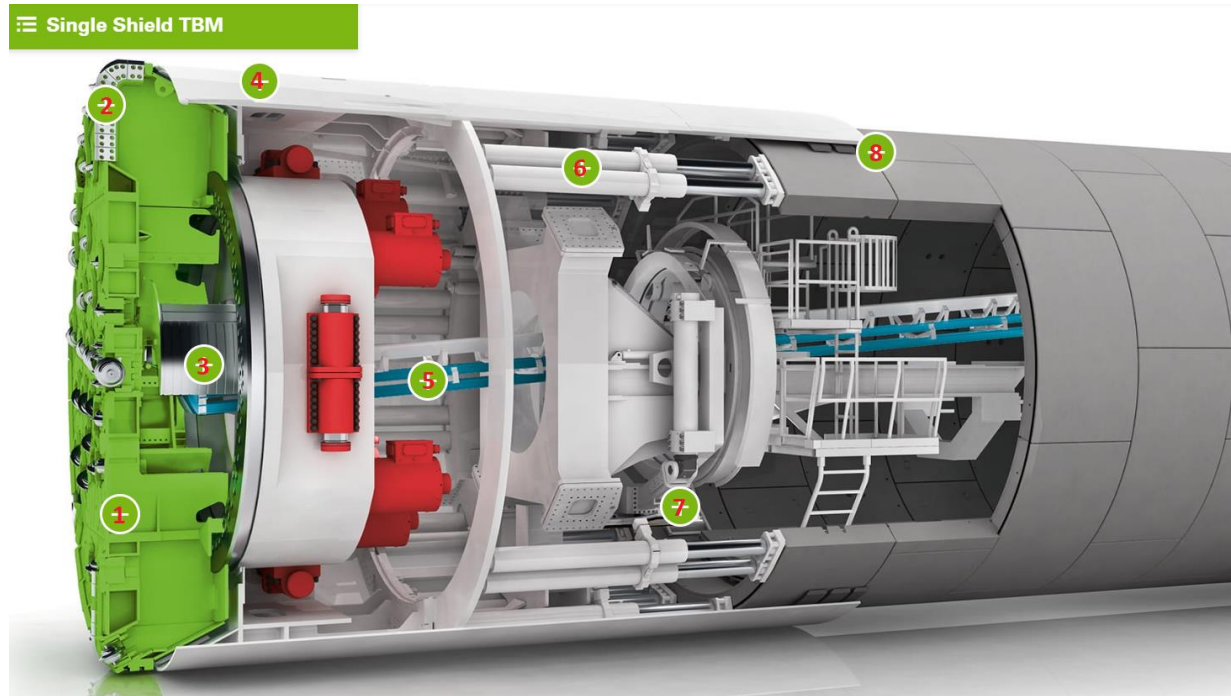
Pracovní cyklus se skládá z 2 hlavních částí:

1) Razící hlava je přitlačována k čelbě axiálními lisy (9) a zároveň se otáčí kolem své osy a rozpojuje horninu. Rozpojená hornina se otvory v razící hlavě dostává do sběrače a dále pásovým dopravníkem pryč z tunelu.

Po vyčerpání délky axiálních lisů se otáčení razící hlavy zastaví, uvolní se gripperly (10), které byly až do posud upnuté do líce výrubu, a stroj se podepře pomocnými lisy (11) do dna výrubu.

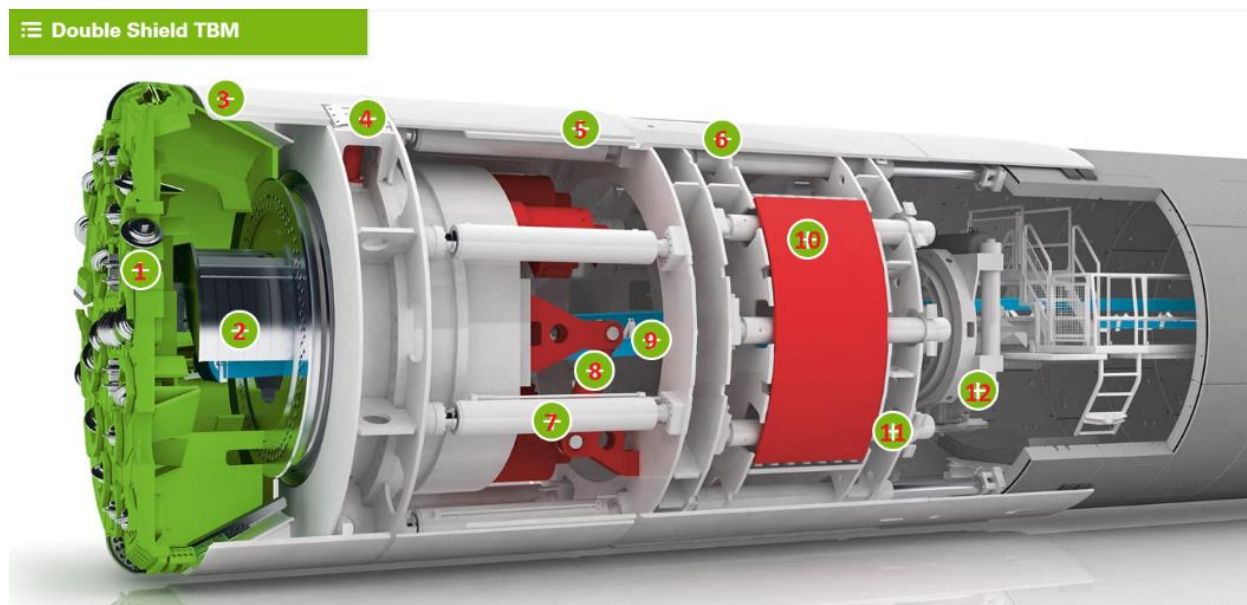
2) Stažením axiálních lisů (9) se celý stroj přitáhne směrem k řezné hlavě. Po úplném stažení axiálních lisů se opět vysunou a upnou radiální rozpěrné desky (10) a cyklus může začít od začátku. [3]





Obrázek 17 TBM s jednoduchým štítem [13]

kde: 1. řezná hlava, 2. otvor v řezné hlavě pro sběr rubaniny, 3. sběrač rubaniny, 4. ochranný plášť, 5. pásový dopravník, 6. štítové axiální lis, 7. erektor, 8. prostor za tunelovým ostěním [13]



Obrázek 18 TBM s dvojitým štítem [30]

kde: 1. řezná hlava, 2. sběrač rubaniny, 3. přední štít, 4. stabilizátor, 5. střední teleskopická část štítu, 6. část středního štítu s přítlačnými deskami (grippy), 7. přední štítové lis, 8. lis bránící točivému momentu od řezné hlavy, 9. pásový dopravník, 10. přítlačné radiální desky (grippy), 11. zadní štítové lis, 12. kruhový podtlakový erektor [30]

**Razicí stroj s dvojitým štítem (TBM s dvojitým pláštěm)** zajišťuje ještě vyšší plynulost ražby. Pod dvojitým pláštěm se schovávají dvě důležité části, pevná a teleskopická. Pevnou část až po stabilizátor tvoří přední štít (4). V části teleskopické jsou dvě sestavy lisů, zadními axiálními lis se posouvá celý stroj, přední slouží jen k posunu teleskopické přední části. Přítlačné

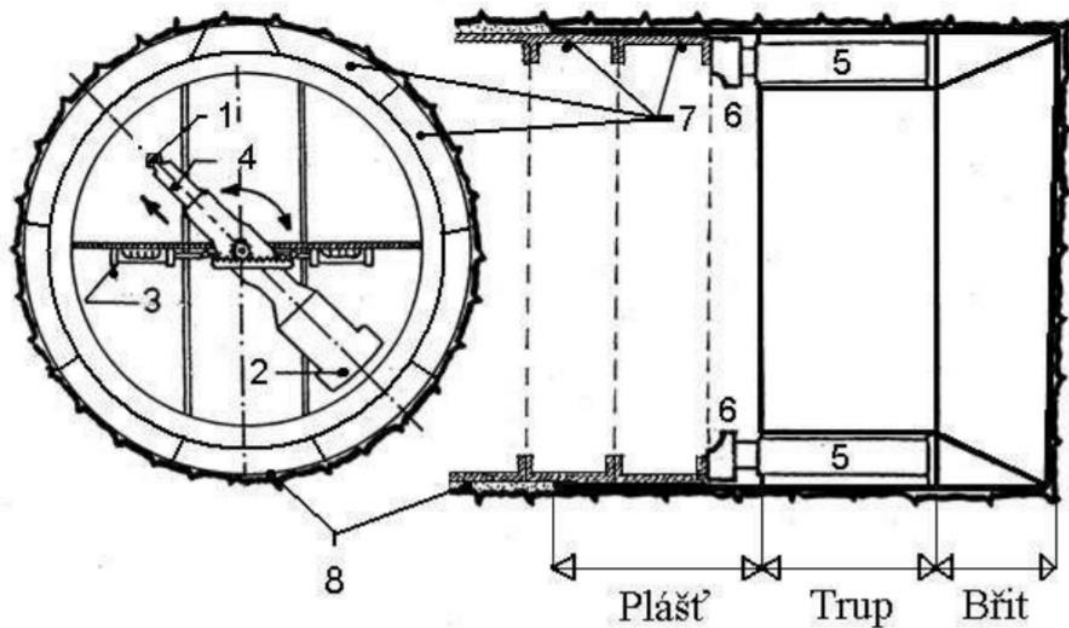


radiální desky, které jsou v části teleskopické, se upnou do masívu a díky tomu se tato část stabilizuje. Na konci této části se erektozem montuje poslední prstenec ostění. Tímto způsobem se eliminuje prodleva, která vzniká při montáži posledního prstence ostění. Po vyčerpání délky výsuvu předních lisů (7) a uzavření posledního prstence ostění se stahují přitlačné desky (10), tím dojde k uvolnění střední části, zadní lisy (11) se opřou o ostění a dotlačí stroj kupředu, přitlačné radiální desky (10) stroj opět stabilizují a cyklus pokračuje. Zadní lisy (11) se stáhnou a pokračuje ražba i montáž ostění. Ražba tedy stojí pouze ve chvíli, kdy se stahují radiální přitlačné desky (10). [3] [5]

### Klasické štíty

Klasický nemechanizovaný tunelovací štít je vlastně ocelový válec s břitem, pohyb vpřed zajišťují obvodové axiální hydraulické lisy, tzv. štítové lisy. První štíty v čelbě neměly žádný speciální rozpojovací orgán ani automatizované nakládání, kterým disponují moderní štíty dnešní doby. Byly konstruovány s otevřeným čelem, měly však svislé a vodorovné přepážky, díky kterým bylo možné případně realizovat klasické pažení nestabilní čelby.

Klasický nemechanizovaný štít (obrázek 19) má 3 základní části: břit (břitový prstenec), trup (trupový prstenec), plášť. V části břitového prstence se rozpojuje hornina a nakládá rubanina. V části trupu jsou štítové lisy. Tato část má značnou nosnou funkci, a proto je tvořena z ocelových svařovaných dílců. V poslední části, pod ochranou pláště ze silného ocelového plechu, se buduje ostění pomocí ukladače tubingů (erektoru). [3]



Obrázek 19 Schéma nemechanizovaného štítu [5]

kde: 1. čelisti erektoru, 2. protizávaží, 3. hydraulické lisy erektoru, 4. hydraulické výsuvné rameno erektoru, 5. štítové lisy, 6. opěrná patka, 7. tubingy<sup>1</sup>, 8. výplňová injektáž za ostěním [5]

Pracovní cyklus štítování je velmi jednoduchý a skládá se z 2 činností: pohybu kupředu (vysouvání lisů) a stažení lisů. Štít se pohybuje vpřed, dokud není vyčerpána maximální délka

<sup>1</sup> Též označované jako tybinky

axiálních lisů, zároveň probíhá rozpojování horniny a odvoz rubaniny. Ve chvíli, kdy je délka výsuvu pístů vyčerpána, se lisy stáhnou, osadí se další prstenec ostění. O tento prstenec se lisy opět opřou a cyklus se může opakovat.

Tento druh štítů se používá dodnes, pouze však pro ražbu menších profilů, např. kanalizačních stok. [3]

### Moderní štíty s postupným pobíráním v čelbě

Tento druh štítů existuje ve dvou variantách: s otevřenou či uzavřenou čelbou. Otevřená čelba je však častější. Rozpojování horniny probíhá deskovými škrabkami, výložníkovou frézou nebo lžícovým rypadlem (tunnelbagrem), které jsou upevněny na hydraulickém výsuvném a otočném výložníku. Volba rozpojovacího mechanismu závisí na charakteru zeminy. Velkou výhodou těchto štítů je snadná adaptace v případě, že se změní geologické podmínky. Varianta s uzavřenou čelbou umožňuje podepření horniny bentonitovou suspenzí či stlačeným vzduchem. [3]

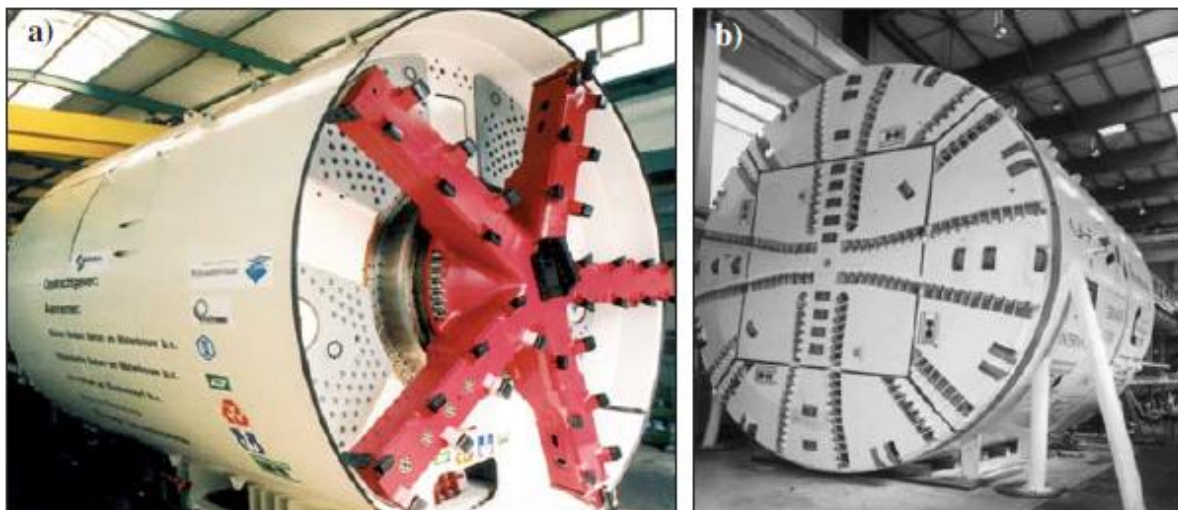


Obrázek 20 a) Štít s postupným pobíráním v čelbě opatřen výložníkovou frézou b) Štít s postupným pobíráním s tlakově podepřenou čelbou s „tunnelbagrem“ a částečným mechanickým pažením. [5]

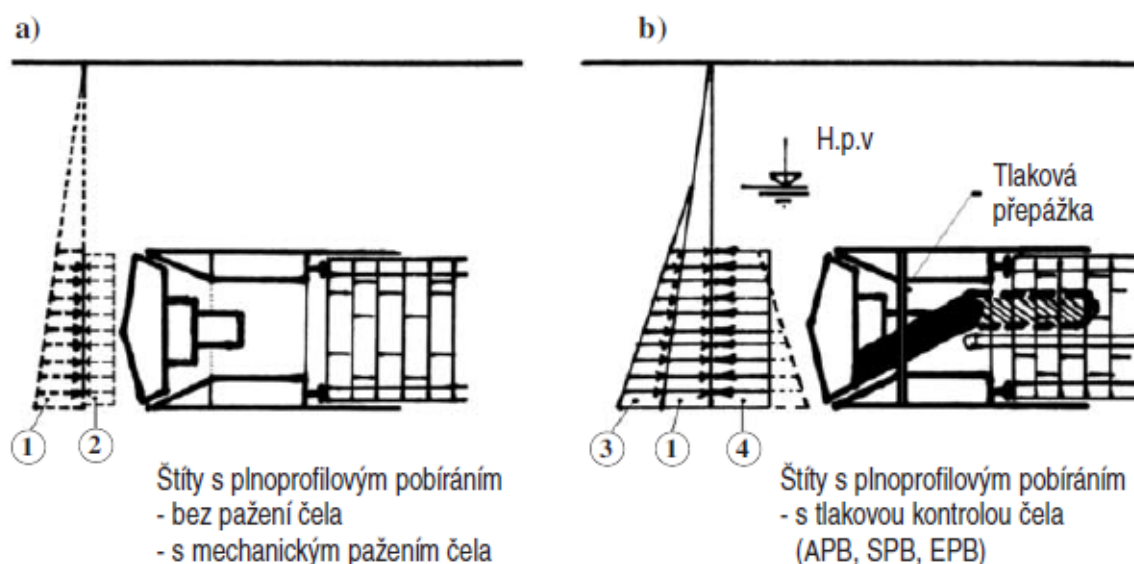
### Moderní štíty s plnoprofilovým pobíráním v čelbě

Štíty s plnoprofilovým pobíráním v čelbě fungují na stejném principu jako štíty klasického typu, jen jsou navíc opatřeny razící hlavou, která se otáčí díky elektromotorům stejně jako u razících strojů. Posun vpřed zajišťují axiální lisy opírající se o ostění.

Tyto stroje se nasazují ve zvodnělých a tlačivých až silně tlačivých zeminách, tedy v nejsložitějších geologiích. Je možné je rozdělit na štíty bez a s tlakovou kontrolou čelby, hlavní rozdíl mezi nimi spočívá v konstrukci stroje. **Štíty bez tlakové kontroly čelby** se používají v zeminách bez přítomnosti podzemní vody. A podle vlastností zemního prostředí se dále dělí na **bez podepření čelby** (razící hlava má tvar paprskového kola a na ramenou jsou řezné nástroje, které se používají v zeminách s tvrdou či pevnou konzistencí, kde nehrozí zavalení razící hlavy (obr. 21a), a **s celoplošně podepřenou čelbou**, které se uplatňují v měkkých plastických zeminách (obr. 21b). [3]



Obrázek 21 Štíty bez tlakové kontroly čelby a) štít bez podepření čelby, b) štít s mechanicky podepřenou čelbou [5]



Obrázek 22 Štíty s plnoprofilovým pobíráním čelby

kde: 1. zemní tlak, 2. tlak mechanického podepření čelby, 3. vodní tlak, 4. tlaková kontrola čelby zprostředkujícím médiem [5]

U **štítů s tlakovou kontrolou čelby** je v prostoru mezi razicí hlavou a trupem tlakotěsná přepážka. Tlak na čelbu je vyvozen médiem, které se nachází v prostoru mezi přepážkou a čelbou. Tlaková kontrola má velmi pozitivní vliv na stabilitu a deformaci čelby a pozitivně ovlivňuje horninový masív po celou dobu ražby. Podle typu zprostředkujícího média nazývají i jednotlivé typy štítů: stlačený vzduch – **pneumatický štít (APB)**, bentonitová suspenze – **bentonitový štít (SPB)**, lubrikovaná zemina – **zeminový štít (EPB)**.

**Pneumatické štíty** nachází uplatnění v hrubozrnných zvodnělých zeminách. Přetlak vzduchu se nachází jen za vzduchotěsnou přepážkou v břitové části štítu, pracovní prostor řízení stroje a montáže ostění je v prostředí normálního atmosférického tlaku. V současné době je použití těchto štítů spíše výjimečné.

**Bentonitový štít** je nejvhodnější pro ražbu pod hladinou podzemní vody, v hrubozrnných až kamenitých zeminách. Princip fungování tlakové kontroly je zobrazen na obrázku 22.

Bentonitová suspenze paží čelo výrubu tlakem vyšším, než je součet vodního a zemního tlaku na čelbu. Suspenze, která proniká do pórů zeminy, zeminu utěsní a zabrání tím průniku podzemní vody ke štítu. V bentonitové suspenzi se kontrola tlaku může provést dvěma způsoby. Buď přímo čerpadlem čerstvé suspenze, nebo častěji používaným tlakem vzduchu na volnou hladinu suspenze s hydrostatickými vlastnostmi za částečnou přepážkou v pracovním prostoru. Směs bentonitové suspenze a zeminy se odčerpává a separuje, aby bylo možné bentonitovou směs opakovaně používat.

**Zeminový štít** se používá do nestabilních tlačivých hornin s malým množstvím přítomné vody. Tlaková kontrola je v tomto případě zajištěna rozpojenou zeminou, která trvale vyplňuje celou komoru mezi razicí hlavou a tlakovou přepážkou. Rozpojená zemina svým tlakem vytváří reakci proti zemnímu a vodnímu tlaku z horninového prostředí před čelbou. Odběr rozpojené zeminy v kombinaci s plastifikační pěnou je zajišťován šnekovým dopravníkem v přesně řízeném množství, aby nedošlo k poklesu tlaku na čelbu. Zeminový štít má tu výhodu, že dokáže pracovat i v modu bez tlakové kontroly. I díky tomu je jedním z nejpoužívanějších štítů současnosti. Dvěma zeminovými štíty byla ražena i nová část metra linky „A“ mezi Dejvicemi a Petřinami. [3][5]

Existuje i celá řada **kombinovaných štítů (mixed-face shields)**. Tyto štíty s plnoprofilovým pobíráním mohou být s i bez tlakového podepření. Nejčastější kombinace jsou bentonitový + zeminový štít, bentonitový štít + štít s nepodepřenou čelbou nebo zeminový štít + štít s nepodepřenou čelbou. Kombinovaným štítem posledního uvedeného typu byl vyražen Ejpvický tunel - nejdelší železniční tunel v ČR.

## 1.3. BOZP a Legislativa

### 1.3.1. Pracovně právní vztahy

Veškeré pracovně právní záležitosti, vzájemné vztahy mezi zaměstnavatelem a zaměstnanci, práva a povinnost obou zainteresovaných stran jsou řízeny zákoníkem práce (zákon 262/2006 sb.). Bezpečnosti a ochraně zdraví při práci je věnována „**ČÁST PÁTÁ - BEZPEČNOST A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI**“ (§ 101 - § 108) [Z1].

Struktura zákona 262/2006 sb.

#### ČÁST PÁTÁ

##### Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

###### Hlava I.

Předcházení ohrožení života a zdraví při práci § 101 - § 102

###### Hlava II

Povinnosti zaměstnavatele, práva a povinnosti zaměstnance § 103 - § 106

###### Hlava III

Společná ustanovení § 107 - § 108

Výše zmíněné paragrafy obecně definují povinnosti zaměstnavatele a zaměstnance, zejména poté:

#### HLAVA I

- zajistit bezpečnost a ochranu zdraví zaměstnance při výkonu práce

- při souběžné práci zaměstnanců od více zaměstnavatelů na jednom pracovišti nastává povinnost organizovat a koordinovat práce svých zaměstnanců tak, aby nebyla ohrožena bezpečnost všech pracovníků na daném pracovišti. Zaměstnavatelé jsou povinni informovat se navzájem o rizicích a přijatých opatřeních pro jejich minimalizaci
- povinnost zaměstnavatele hradit náklady spojené se zajištěním bezpečnosti a ochrany zdraví při práci; tyto náklady je zakázáno přímo či nepřímo přenášet na zaměstnance
- povinnost zaměstnavatele soustavně vyhledávat nebezpečné činitele a procesy pracovního prostředí a pracovních podmínek a zjišťovat jejich příčiny a zdroje; povinnosti vyhodnocovat rizika a přijímat opatření k jejich odstranění; povinnost pravidelně kontrolovat úroveň a stav pracovních a ochranných pomůcek
- v případě neodstranitelného rizika minimalizovat jeho rizikovost
- povinnost zaměstnance upřednostňovat prostředky kolektivní ochrany před ochranou individuální; doporučuje zaměstnavateli inovovat pracovní postupy pro snížení fyzické zátěže zaměstnanců a při výkonu práce nahrazovat nebezpečné technologie nebo materiály bezpečnějšími
- povinnost zaměstnavatele zajistit součinnost s prvky IZS pro zdolávání mimořádných událostí

## HLAVA II

- povinnost zaměstnavatele nepřipustit zaměstnanci práci, jejíž náročnost neodpovídá jeho schopnostem nebo zdravotnímu stavu
- povinnost zaměstnavatele sdělit zaměstnanci poskytovatele pracovních a lékařských služeb
- povinnost zaměstnavatele umožnit zaměstnanci nahlížet do evidence o něm vedené v souvislosti se zjišťováním bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- povinnost zaměstnavatele poskytnout zaměstnancům první pomoc
- povinnost zaměstnavatele zajišťovat školení za účelem snížení rizikovosti a zvýšení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci svých zaměstnanců (školení z důvodu: nástupu do zaměstnání, změny pracovní pozice, změny druhu práce nebo změna technologie); četnost a obsah školení určí zaměstnavatel, rovněž i způsob ověřování znalostí zaměstnanců
- při pracích se zvýšeným opotřebením pracovního oděvu má zaměstnavatel povinnost zajistit pracovní oděv a obuv jakožto součást ochranných pomůcek zaměstnance
- povinnost zaměstnavatele zajistit bezplatně mycí, čistící a desinfekční prostředky a osobní ochranné pracovní prostředky
- při vzniku pracovního úrazu má zaměstnavatel povinnost objasnit příčiny a okolnosti vzniku úrazu; pro vyšetření pracovního úrazu má povinnost zajistit svědky, odborovou organizaci, zástupce pro oblast bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a pracovníka, u něhož došlo k pracovnímu úrazu, pokud to jeho zdravotní stav umožní
- povinnost zaměstnavatele vést evidenci úrazů
- zaměstnavatel je povinen ohlásit pracovní úraz dotčeným orgánům a přijímat opatření proti opakování pracovních úrazů
- zaměstnavatel je povinen vést evidenci zaměstnanců, u nichž byla prokázána nemoc z povolání, která vznikla na jeho pracovišti a uplatnit taková opatření, aby odstranil nebo minimalizoval rizikové faktory, které vyvolávají ohrožení nemoci z povolání

- zaměstnanec má právo odmítnout výkon práce, u které má podezření na bezprostřední ohrožení života nebo zdraví; toto odmítnutí není možné považovat za nesplnění pracovních povinností
- zaměstnanec je povinen dbát na svoji vlastní bezpečnost i o zdraví a bezpečnost ostatních pracovníků, kterých se jeho jednání bezprostředně dotýká
- zaměstnanec má povinnost účastnit se školení zajišťovaných zaměstnavatelem zaměřených na bezpečnost a ochranu zdraví při práci, podrobovat se lékařským prohlídkám nebo vyšetřením, dodržovat právní a ostatní předpisy a stanovené pracovní postupy, používat stanovené pracovní a ochranné prostředky a ochranná zařízení
- zaměstnanec má povinnost oznamovat svému nadřízenému pracovníkovi nedostatky a závady na pracovišti, které ohrožují nebo by mohly ohrozit bezpečnost a ochranu zdraví při práci ostatních zaměstnanců; dále má zaměstnanec povinnost upozorňovat na nedostatky organizačních opatření
- zaměstnanec má povinnost oznamovat bezodkladně svému nadřízenému pracovníkovi svůj pracovní úraz, pokud mu to zdravotní stav dovolí, nebo pracovní úraz jiného zaměstnance, jehož byl svědkem; dále má zaměstnanec povinnost spolupracovat při objasnění pracovního úrazu
- zaměstnanec nesmí požívat alkohol ani jiné návykové látky (na pracovišti i před vstupem na pracoviště) a v případě vyzvání vedoucím zaměstnancem se podrobit testu na jejich přítomnost

### HLAVA III

- zaměstnanec má právo být členem odborové organizace a má právo se účastnit řešení otázek týkajících se bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- zaměstnavatel je povinen odborové organizaci a zástupci pro oblast bezpečnosti a ochrany zdraví při práci umožnit účast na jednáních o BOZP a vyslechnout jejich názory a návrhy na přijetí opatření pro zvýšení BOZP
- zaměstnavatel je povinen nejméně jednou ročně organizovat prověrky bezpečnosti ochrany zdraví při práci na pracovišti a zjištěné nedostatky odstraňovat

Z výše uvedeného vyplývá, že zákoník práce definuje vzájemné povinnosti mezi zaměstnavatelem a zaměstnancem ve zcela obecné rovině, nezávisle na druhu prováděné činnosti a jejich rizicích. Více informací nepřináší ani stavební zákon („Zákon č. 183/2006 sb. *Stavební zákon*“ [Z13]), který z pohledu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v paragrafu § 153 odstavec (2) ustanovuje povinnost stavbyvedoucího spolupracovat s koordinátorem bezpečnosti práce, působí-li na staveništi.

### 1.3.2. Stavební dílo

Při řešení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci jsou stěžejní nařízení vlády 362/2005 Sb., zákon 309/2006 Sb. a nařízení vlády 591/2006 Sb.

*„Zákon č. 309/2006 Sb. Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci)“ [Z2] definuje povinnosti zaměstnavatele s ohledem na*

zajištění BOZP u svých zaměstnanců a ukládá zaměstnavateli/zhotoviteli chovat se v souladu s následujícími paragrafy

ČÁST PRVNÍ – Další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovně právních vztazích

HLAVA I - Požadavky na pracoviště a pracovní prostředí, výrobní a pracovní prostředky a zařízení, organizaci práce a pracovní postupy a bezpečnostní značky

§ 3 – Požadavky na pracoviště a pracovní prostředí na pracovišti

- Uspořádání staveniště dle příslušné dokumentace, udržování pořádku a čistoty na staveništi
- Předcházení zdravotním rizikům při práci s břemeny a zajištění požadavků na manipulaci s materiálem
- Pravidelné kontroly strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí
- Vedení evidence přítomnosti zaměstnanců a dalších fyzických osob na staveništi

§ 4 – Požadavky na výrobní a pracovní prostředky a zařízení

- Zaměstnavatel zajistí, aby používané technické pomůcky, stroje a zařízení byly vybaveny ochrannými prvky, které chrání život zaměstnanců, aby pomůcky odpovídaly ergonomickým požadavkům a zaměstnanci nebyli vystaveni rizikovým faktorům a aby byly pomůcky pravidelně kontrolovány, revidovány a řádně udržovány

§ 5 – Požadavky na organizaci a pracovní postupy

- Pracovníci nesmí být ohroženi padajícími nebo vymrštěnými předměty nebo materiály
- Pracovníci musí být chráněni proti pádu nebo zřícení
- Pracovníci nesmí být ohroženi dopravou na pracovišti
- Pracovníci vykonávající práci se zvýšeným rizikem nepracují samostatně bez dohledu dalšího zaměstnance

HLAVA II - Předcházení ohrožení života a zdraví

§ 7 – Rizikové faktory pracovních podmínek a kontrolování pásma

- Zaměstnavatel kontroluje hodnoty rizikových faktorů na pracovišti. Rizikové faktory jsou především hluk, vibrace, prach, plísně, viry, extrémní chlad, teplo nebo vlhkost. Nelze-li výskyt těchto činitelů omezit nebo vyloučit, je třeba upravit pracovní podmínky, například upravit dobu výkonu práce, používání účinnějších osobních ochranných prostředků atd.

HLAVA III – Odborná způsobilost a zvláštní odborná způsobilost

§9 – Odborná způsobilost

- Zaměstnavatel je povinen zajišťovat úkoly v hodnocení a prevenci rizik možného ohrožení života nebo zdraví zaměstnance
- Zaměstnavatel je povinen poskytnout odborně způsobilé osobě k zajišťování úkolů v prevenci rizik zejména potřebné prostředky a dobu potřebnou k výkonu její činnosti zvláště ve vztahu k zaměstnancům
- Zajistit součinnost v oblasti ochrany zdraví při práci a požární ochrany odborně způsobilé osobě k zajišťování úkolů v prevenci rizik
- Zaměstnavatel je povinen poskytnout odborně způsobilé osobě písemnosti týkající se pracovních úrazů a nemoci z povolání a potřebnou součinnost při předcházení ohrožení života a zdraví s ohledem na povahu rizika na jeho pracovišti a součinnost s přijetím ochranných opatření, jde-li o práce se zvýšeným ohrožením zdraví zaměstnanců

## §10

- Předpoklad odborné způsobilosti fyzické osoby (OZO – Odborně způsobilá osoba) k zajištění úkolů v prevenci rizik je
  - Střední vzdělání s maturitou
  - Odborná praxe alespoň 3 roky, nebo 1 rok pokud má osoba vysokoškolské vzdělání v oblasti BOZP
  - Osvědčení o odborné způsobilosti k výkonu hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem, bude-li zajišťovat úkoly v prevenci rizik prováděné hornickým způsobem
  - Osvědčení o úspěšně vykonané zkoušce z odborné způsobilosti
- Předpoklad odborné způsobilosti fyzické osoby k činnosti koordinátora bezpečnosti a ochrany zdraví při práci na staveništi
  - Alespoň střední škola s maturitou nebo vysoká škola technického zaměření
  - Odborná praxe 3 roky (SŠ) nebo 1 rok (VŠ)
  - Osvědčení o odborné způsobilosti k výkonu hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem, bude-li zajišťovat úkoly v prevenci rizik prováděné hornickým způsobem
  - Osvědčení o úspěšně vykonané zkoušce z odborné způsobilosti

## § 11 – Zvláštní odborná způsobilost

- Na technických zařízeních, která představují zvýšenou míru ohrožení života a zdraví zaměstnanců mohou pracovat jen odborně způsobilí zaměstnanci
- Předpoklad odborné způsobilosti je
  - Zdravotní způsobilost a dosažení požadovaného věku, stanoveného zvláštním právním předpisem
  - Odborné vzdělání a praxe v minimální délce stanovené prováděcím právním předpisem
  - Osvědčení o úspěšně vykonané zkoušce odborné způsobilosti (opakování zkoušky každých 5 let)

ČÁST TŘETÍ – Další úkoly zadavatele stavby, jejího zhotovitele, popřípadě fyzické osoby, která se podílí na zhotovení stavby a koordinátora bezpečnosti a ochrany zdraví při práci na staveništi

## §14

- V případě působení zaměstnanců od více zaměstnavatelů na jednom pracovišti, je zadavatel stavby povinen písemně určit jednoho nebo více koordinátorů s přihlédnutím k druhu stavby a její náročnosti
- Činnost koordinátora v době přípravy díla a realizace díla může být řízena toutéž osobou
- Koordinátor může být fyzická i právnická osoba. Výkon funkce právnickou osobou musí být skrze odborně způsobilou fyzickou osobu.
- Koordinátor nemůže být zhotovitel ani jeho zaměstnanec ani fyzická osoba podílející se na vedení realizace stavby
- V případě více koordinátorů, je třeba písemně určit pravidla jejich spolupráce

## §16

- Zhotovitel je povinen nejpozději 8 dní před zahájením prací na staveništi informovat určeného koordinátora o pracovních a technologických postupech



- Zhotovitel je povinen poskytovat koordinátorovi součinnost potřebnou pro plnění jeho úkolů po celou dobu svého zapojení do přípravy a realizace stavby

## §17

- Jiná osoba, která se podílí na realizaci stavby a nezaměstnává další zaměstnance, je povinna poskytnout koordinátorovi potřebnou součinnost a postupovat dle pokynů k zajištění bezpečné a zdraví neohrožující práce stanovených zhotovitelem

## §18

- Koordinátor je při přípravě stavby povinen v dostatečném předstihu před výběrem zhotovitelů předat zadavateli stavby plán obsahující přehled právních předpisů vztahujících se k stavbě a informace o rizicích, které se mohou během realizace stavby vyskytnout.
- Koordinátor je při realizaci stavby povinen bez zbytečného odkladu informovat všechny dotčené zhotovitele o bezpečnostních rizicích, která vznikla během postupu prací
- Koordinátor je povinen při realizaci stavby upozornit zhotovitele na nedostatky při dodržování zásad ochrany a bezpečnosti zdraví při práci
- Koordinátor je při realizaci stavby povinen informovat zadavatele stavby v případě, že nebyla zhotovitelem sjednána adekvátní náprava nedostatků při dodržení zásad BOZP, na které byl zhotovitel upozorněn

Bližší požadavky specifikuje nařízení vlády č. „591/2006 Sb. Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništi“ [Z3]. Tyto požadavky se však dle § 1 odstavec (2) nevztahují na práce na staveništi prováděné při hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí a na zemní práce prováděné za použití strojů a výbušnin, pokud se na jedné lokalitě přemísťuje více než 100 000 m<sup>3</sup> horniny s výjimkou zakládání staveb.

Problematicke práce ve výškách se věnuje nařízení vlády č. „362/2005 Sb. Nařízení vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovišti s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky“ [Z4], které se ale rovněž dle § 2 odstavec (1) nevztahuje na práce ve výškách a nad volnou hloubkou vykonávané při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem na pracovištích podléhajících vrchnímu dozoru podle zvláštního právního předpisu.

Rozsah a podmínky poskytování osobních ochranných pomůcek specifikuje nařízení vlády č. „495/2001 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čistících a dezinfekčních prostředků“ [Z5].

## § 2 - mezi osobní ochranné pomůcky nepatří

- Běžné pracovní oděvy a obuv, které nejsou určeny k ochraně zdraví zaměstnanců před riziky a které nepodléhají při práci mimořádnému opotřebení nebo znečištění
- Výstroj a vybavení záchranných sborů a služeb
- Speciální ochranné prostředky používané v armádě
- Výstroj a vybavení používané při provozu na pozemních komunikacích
- Sportovní výstroj a vybavení

## § 3 – ochranné prostředky musí

- Být po celou dobu používání účinné a nesmí způsobovat zaměstnancům další riziko
- Odpovídat podmínkám na pracovišti
- Být přizpůsobeny fyzickým předpokladům jednotlivých zaměstnanců
- Respektovat ergonomické požadavky a zdravotní stav zaměstnanců
- Při současné hrozbě více rizik a nutnosti použít více ochranných prostředků, je nutné použít kompatibilní ochranné prostředky
- Zaměstnanci musí být s používáním pomůcek seznámeni. Sdílení ochranných pomůcek více pracovníky je možné pouze za předpokladu účinných opatření k zabránění přenosu chorob
- Způsob, podmínky a dobu využívání ochranných pomůcek stanoví zaměstnavatel na základě četnosti a závažnosti vyskytujících se rizik

## § 5

- K předcházení vzniku případně omezení šíření infekčních chorob na pracovišti poskytne zaměstnavatel dezinfekční prostředky

### 1.3.3. Báňské dílo

Báňské dílo definuje zákon „61/1988 sb<sup>2</sup> - Zákon České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě“ [Z6]., který přináší detailní informace o činnosti prováděné hornickým způsobem v paragrafu 2 a 3 jako:

#### **„§ 2 Hornická činnost**

- a) vyhledávání a průzkum ložisek vyhrazených nerostů (dále jen "výhradní ložiska"), 1a)*
- b) otvírka, příprava a dobývání výhradních ložisek,*
- c) zřizování, zajišťování a likvidace důlních děl a lomů,*
- d) úprava a zušlechťování nerostů prováděné v souvislosti s jejich dobýváním,*
- e) zřizování a provozování odvalů, výsypek a odkališť při činnostech uvedených v písmenech a) až d),*
- f) zvláštní zásahy do zemské kůry*
- g) zajišťování a likvidace starých důlních děl*
- h) báňská záchranná služba,*
- i) důlně měřická činnost.*

#### **§ 3 Činnost prováděná hornickým způsobem**

- a) dobývání ložisek nevyhrazených nerostů, včetně úpravy a zušlechťování nerostů prováděných v souvislosti s jejich dobýváním, a vyhledávání a průzkum ložisek nevyhrazených nerostů prováděné k tomu účelu,*
- b) těžba písků v korytech vodních toků a štěrkopísků plovoucími stroji, včetně úpravy a zušlechťování těchto surovin prováděných v souvislosti s jejich těžbou, s výjimkou odstraňování nánosů při údržbě vodních toků,*
- c) práce k zajištění stability podzemních prostorů (podzemní sanační práce),*
- d) práce na zpřístupňování jeskyní a práce na jejich udržování v bezpečném stavu,*
- e) zemní práce prováděné za použití strojů a výbušnin, pokud se na jedné lokalitě přemísťuje více než 100 000 m krychlových horniny, s výjimkou zakládání staveb,*
- f) vrtání vrtů s délkou nad 30 m pro jiné účely než k činnostem uvedeným v § 2 a 3,*
- g) jímání přírodních léčivých a stolních minerálních vod v důlním díle v podzemí,*

<sup>2</sup> 40. novela v aktuálním znění s účinností k 15.06.2018

*h) práce na zpřístupnění starých důlních děl(a) nebo trvale opuštěných důlních děl a práce na jejich udržování v bezpečném stavu,*

***i) podzemní práce spočívající v hloubení důlních jam a studní, v ražení štol a tunelů, jakož i ve vytváření podzemních prostorů o objemu větším než 300 m krychlových horniny“ [Z6]***

Struktura zákona 61/1988 sb.

ČÁST PRVNÍ - Základní ustanovení

ČÁST DRUHÁ - Hornická činnost prováděná hornickým způsobem

ČÁST TŘETÍ - Výbušniny

ČÁST ČTVRTÁ - Podzemní objekty

ČÁST PÁTÁ - Státní báňská správa

ČÁST ŠESTÁ

ČÁST SEDMÁ - Společná, přechodná a závěrečná ustanovení

Detailněji, pro činnost prováděnou hornickým způsobem jsou důležité zejména následující paragrafy:

§ 3b odstavec (1), který definuje další práva a povinnosti zaměstnanců a zástupu zaměstnanců. Dle tohoto odstavce má zaměstnanec následující práva a povinnosti

- právo vzdát se z pracoviště, v případě vzniku okolností, které mohou představovat vážné nebezpečí pro jeho zdraví
- právo žádat, aby organizace nebo příslušný obvodní báňský úřad provedly revizi nebo šetření tam, kde existuje důvodné podezření na porušování předpisů k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- povinnost uposlechnout příkazy osob řídících zdolávání havárie
- povinnost splnit závazný příkaz báňského inspektora

Dále jsou prezentovány povinnosti organizací při hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem.

#### **§ 5 – Povinnosti organizací při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem**

- dodržovat zásady bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu, zásady báňské technologie, jakož i požadavky ochrany pracovního prostředí
- dodržovat požadavky na kvalifikaci a odbornou způsobilost pracovníků vykonávající činnost prováděnou hornickým způsobem, kterou stanoví Český báňský úřad
- organizace provádějící činnost prováděnou hornickým způsobem má povinnost ohlásit obvodnímu báňskému úřadu zahájení, přerušování nebo ukončení této činnosti a to ve stanovených lhůtách

#### **§ 6**

- povinnost organizace včas a bezodkladně odstraňovat nebezpečné stavy a učinit případná preventivní a zajišťovací opatření
- povinnost organizace evidovat jména, příjmení a evidenční čísla osob, které se aktuálně nacházejí v podzemních prostorech, a uvést místo předpokládaného výskytu
- povinnost organizace bezodkladně hlásit báňskému úřadu závažné události, nehody a závažné pracovní úrazy

- povinnost organizace zjišťovat příčiny pracovních úrazů nebo provozních nehod a výsledky tohoto šetření předložit báňskému úřadu spolu s uvedením opatření zjištěných nedostatků
- povinnost organizace informovat báňský úřad o žádosti zaměstnance o provedení prošetření bezpečnosti a ochrany zdraví při práci – viz paragraf 3b odstavec (1) 61/1988 sb.
- organizace je povinna ustanovit vlastního odborně způsobilého pracovníka za účelem plnění a dodržování pokynů BOZP ze stran zaměstnanců organizace; tento pracovník rovněž vypracuje plány zdolávání provozních havárií a řídí jejich likvidaci

### **§ 7 – Báňská záchranná služba a pomoc organizací při havárii**

- organizace je při činnosti prováděné hornickým způsobem povinna zajistit báňskou záchrannou službu, na jejíž provoz a vybavení jsou organizace povinny přispívat
- je-li organizace požádána jinou organizací o poskytnutí pomoci při likvidaci havárie, je povinnost požádané organizace žádosti vyhovět a poskytnout materiál, techniky a pracovníky, zejména pak báňské záchranáře; žádosti o pomoc může být odmítnuta pouze na základě ohrožení provozu vlastní organizace; za poskytnutou pomoc náleží organizaci adekvátní finanční náhrada vzniklých nákladů
- v případě zřízení vlastní báňské záchranné stanice, je organizace povinna pečovat o řádný výcvik, pravidelná školení a materiální vybavení

§ 8 se zabývá požadavky na technická zařízení využívaná při činnosti prováděné hornickým způsobem. Tyto požadavky je třeba splnit z důvodu zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu. Způsobilost technických pomůcek a zařízení se proěřuje pravidelnými prohlídkami a revizemi, které mohou provádět jen k tomu oprávnění odborní pracovníci. Povolení k užívání technického zařízení a plán jejich přezkušování stanoví zvláštním předpisem Český báňský úřad. Báňský úřad má rovněž pravomoc kontrolovat odbornou způsobilost pracovníků pracujících s vyhrazenými technickými zařízeními.

S ohledem na skutečnost, že ve dvou tunelovacích metodách rozebíraných v této práci je předpoklad využití výbušnin, je nezbytné se zabývat i paragrafy § 21 až § 36b. § 21 obecně definuje základní pojmy o výbušninách a manipulaci s nimi, nicméně obsah § 21 je detailněji rozvíjen v paragrafech následujících. Z hlediska BOZP je nejdůležitější zejména § 22.

### **§ 22 – Obecné povinnosti při nakládání s výbušninami**

- každý pracovník, který přijde do styku s výbušninami, je povinen postupovat s maximální opatrností a postupovat dle platných předpisů o manipulaci s nimi
- organizace je povinna zajistit bezpečné pracovní prostředí a pracovní podmínky pro manipulaci s výbušninami a jejich příslušenstvím; pracovníci organizace musí být prokazatelně seznámeni s obsahem návodů k užívání výbušnin a příslušenství a organizace tyto výbušniny a příslušenství dodávající jsou povinni zajistit český návod
- organizace je povinna zajistit výbušniny proti odcizení, zneužití, ztrátě nebo jejich výbuchu; Český báňský úřad stanoví vyhláškou požadavky na konstrukci a zajištění skladu výbušnin a způsob jejich skladování v závislosti na třídě nebezpečnosti výbušniny

- organizace je povinna bezodkladně ohlásit PČR ztrátu, odcizení nebo porušení přepravního obalu výbušniny
- při nakládání s výbušninami jsou nezúčastněné osoby povinny řídit se pokyny pracovníka, manipulujícího s výbušninou; zjednodušeně řečeno, pracovníci se řídí pokyny střelmistra
- organizace jsou povinny využívat pouze trhaviny obsahující detekční látky

### § 27 – Provádění prací spojených s výbušninami

- trhací práce lze provádět jen na základě povolení, která vydává obvodní báňský úřad
- bez povolení lze provádět trhací práce jen v případech nutných k záchraně života, kdy hrozí nebezpečí z prodlení
- pro trhací práce velkého rozsahu musí být vypracován plán odstřelu, v případě trhacích prací malého a středního rozsahu stačí technologický postup; o definici trhacích prací malého, středního nebo velkého rozsahu rozhodne Český báňský úřad

K žádosti o povolení trhacích prací je třeba dle § 28 doložit 3 přílohy, z nichž nejdůležitější dokument z pohledu BOZP je dokumentace trhacích prací s návrhem technických podmínek k bezpečnému provedení trhacích prací. Dále, dle § 34 je dovoleno nakládat s výbušninami jen osobám starším 18 let, způsobilým k právním úkonům, bezúhonným<sup>3</sup> a zdravotně a odborně způsobilým. Odbornou způsobilost osob k nakládání s výbušninami posuzuje příslušný báňský úřad. Dle § 35 je poté oprávněn přivádět výbušniny k výbuchu a řídit práce s tím spojené jen pracovník starší 21 let. Pro trhací práce malého rozsahu postačí oprávnění střelmistra<sup>4</sup> a v případě trhacích prací velkého rozsahu je nutné oprávnění technického vedoucího odstřelů<sup>5</sup>. Ostatní paragrafy spojené s výbušninami se zabývají obecnými požadavky na výrobu, tranzit, vývoz a dovoz, předání a nabývání výbušnin a definují oznamovací povinnosti. Tyto paragrafy nejsou z pohledu BOZP stěžejní. Při práci s výbušninami je rovněž nutné dodržet vyhlášku č. „327/1992 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu, kterou se stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při výrobě a zpracování výbušnin a o odborné způsobilosti pracovníků pro tuto činnost“ [Z7].

Ve znění zákona 61/1988 se často vyskytuje pojem báňský úřad. Tento zákon rovněž definuje činnosti a dělení orgánů státní báňské správy. Orgány báňské státní správy zahrnují Český báňský úřad jako ústřední orgán státní báňské správy České republiky a obvodní báňské úřady s místní působností. Detailně definují činnost orgánů státní báňské správy paragrafy § 39, § 40 a § 41. Obsah těchto paragrafů definuje práva a povinnosti báňské správy ve vztahu k organizacím. Hlavní body těchto paragrafů však byly zmíněny výše, v povinnostech organizací vůči báňskému úřadu. Za důležité lze z hlediska BOZP považovat osobu báňského inspektora, tedy inspektora, který může být na pracovišti organizace osobně přítomen a je oprávněn a vykonávat úkony dle § 42.

<sup>3</sup> Za bezúhonného se pro potřeby tohoto zákona nepovažuje ten, kdo byl pravomocně odsouzen pro trestný čin spáchaný úmyslně nebo pro nedbalostní trestní čin spáchaný v souvislosti s nakládáním s vojenským materiálem, střelnými zbraněmi, střelivem nebo výbušninami. Bezúhonnost se pro potřeby tohoto zákona dokazuje výpisem z evidence Rejstříku trestů.

<sup>4</sup> Odbornou způsobilost k výkonu funkce střelmistra vydává obvodní báňský úřad

<sup>5</sup> Odbornou způsobilost k výkonu funkce technického vedoucího odstřelů vydává Český báňský úřad

### § 42 – Báňští inspektoři

- provádí úkony potřebné ke zjištění závad
- provádí úkony ke zjištění příčin a následků závažným provozních havárií a pracovních úrazů
- provádět u technických pracovníků kontroly znalosti potřebných předpisů
- má právo vydávat závazné příkazy k odstranění zjištěných závad a nedostatků
- při zjištění nedostatků s ohledem na bezpečnost a ochranu zdraví při práci nebo při zjištění nevyhovujícího stavu technických zařízení má báňský inspektor právo vydávat závazné příkazy<sup>6</sup> vedoucí k zastavení činnosti organizace do doby, než bude sjednána náprava
- báňský inspektor má pravomoc zakázat práci přesčas, práci žen a mladistvých je-li tato práce v rozporu s právními předpisy – Zákon č. 65/1965 Sb. Ve znění pozdějších předpisů – zákoník práce
- zadržet pracovníkovi průkaz o odborné způsobilosti v případě hrubého nebo opakovaného porušení předpisů k zajištění BOZP a bezpečnosti provozu

Z výše uvedeného vyplývá, že zákon č. 61/1988 sb. je významný zákon z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, avšak definuje především obecná ustanovení. Je tedy nezbytné vzít v úvahu i vyhlášku „č. 55/1996 Vyhláška Českého báňského úřadu o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti při činnosti prováděné hornickým způsobem“<sup>7</sup> [Z8], kterou lze do jisté míry chápat jako prováděcí vyhlášku k zákonu 61/1988 sb. Stručně řečeno, zákon 61/1988 sb. definuje obecné požadavky, například na BOZP, které vyhláška 55/1996 rozvíjí a udává, jak mají být tyto požadavky naplněny.

Konkrétní požadavky udává již § 3, který je zaměřen na bezpečnost při vstupu na pracoviště.

### § 3 – Vstup do objektů a na pracoviště

- veškeré osoby vstupující do podzemí se evidují, v situaci, kdy se v podzemí nachází současně více než 10 pracovníků, je nutné vést dvojí nezávislou evidenci
- je zakázáno vstupovat a zdržovat se v podzemí bez nasazené ochranné přilby
- v případě, že není pracoviště osvětleno denním světlem, pracovník je vybaven osobním svítilkem
- za vstup na pracoviště lze považovat i § 9 – *Obsazení pracoviště*, který definuje, že vstup do podzemí pouze jednoho pracovníka je dovolen jen za podmínky zajištění způsobu a času dovolání nebo hlášení

Před samotným vstupem, takzvaným obsazením pracoviště, je nutné dle § 6 provést prohlídku pracoviště včetně přístupových cest technickým dozorem, nebo pracovníkem vyškoleným a ustanoveným pro výkon dozoru. Případné nedostatky je třeba odstranit. V opačném případě není možné pracoviště obsadit. Na pracovištích ražení tunelů, ať už s pomocí trhavy nebo bez ní, je povinen hlavní technický pracovník zajistit prohlídku pracoviště technickým dozorem a to nejméně jedenkrát ve směně. Hlavní technický pracovník provádí prohlídku pracoviště nejméně dvakrát týdně.

<sup>6</sup> Příkaz může být vydán písemnou i ústní formou, avšak při ústní formě je inspektor povinen vydaný příkaz po skončení kontroly nebo inspekce zaznamenat

<sup>7</sup> Vyhláška 55/1996 s účinností od 09/2012 a zahrnutými změnami Vyhlášky č. 265/2012 sb. kterou se mění vyhláška č. 55/1996 sb. o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí, ve znění pozdějších předpisů

Náplní těchto prohlídek je zejména dodržování příslušné provozní dokumentace, stav pracoviště a přístupových cest, stav bezpečnostních a technologických zařízení a strojů. Při zjištění závad, které mají potenciál bezprostředního ohrožení pracovníků, a není možné jejich odstranění, přerušit technický dozor práce na staveništi, zajistí odchod pracovníků na bezpečné místo a o tomto kroku neprodleně informuje hlavního technického pracovníka. Veškeré výsledky prohlídek se zaznamenávají v den kontroly do příslušné knihy.

Kontrolní funkci v bezpečnosti pracoviště vykonávají i samotní pracovníci organizace. Dle § 9a zaměstnanci ověřují bezpečný stav pracoviště před započítím práce a i v jejím průběhu. Při zjištění ohrožení života nebo zdraví zastaví svoji práci a tuto skutečnost ohlásí předákovi<sup>8</sup>. Tentýž paragraf přikazuje pracovníkům využívat přidělené osobní pomůcky, vykonávat jen práci jim určenou v souladu s provozní dokumentací a pro svoji práci používat výhradně stroje, zařízení, nářadí a pomůcky, které jim byli na práci určeny. Bez souhlasu předáka nebo technického dozoru neopouští pracovník své pracoviště, s výjimkou hrozícího nebezpečí, nevolnosti nebo úrazu. Nepovolený odchod je pracovník povinen nahlásit bez prodlení.

Případným pracovním úrazem nebo havárií se zabývají § 11 - 15, které definují postup po výskytu pracovního úrazu nebo havárie na pracovišti.

#### **§ 11 – Hlášení závažných pracovních úrazů, závažných událostí, závažných provozních nehod a nebezpečných stavů**

- organizace zajistí bezodkladné nahlášení závažných pracovních úrazů, závažných událostí, závažných provozních nehod a nebezpečných stavů příslušnému báňskému úřadu
- organizace má povinnost hlásit úrazy
  - smrtelné
  - životu nebezpečné (úraz se ztrátou orgánu), životu nebezpečné poškození zdraví včetně otravy a úraz, který pravděpodobně nastal v důsledku porušení předpisů a nasvědčuje o závažném porušení ochrany a bezpečnosti zdraví při práci
  - hromadný úraz<sup>9</sup>
- organizace má povinnost hlásit závažné provozní nehody a nebezpečné stavy a události, zejména
  - zapálení a výbuch hořlavých plynů, požár v podzemí nebo na povrchu, který osoby v podzemí ohrožuje
  - zával podzemních děl a průval vody
  - hledání pohřešované osoby nebo úmrtí osoby v podzemí
- organizace má povinnost hlásit závažné události a nehody, dojde-li k nim při manipulaci s výbušninami nebo vyhrazeným technickým zařízením

---

<sup>8</sup> Předák je pracovník určený technickým dozorem, který řídí pracovní skupinu o dvou a více osobách. Předák má odbornou způsobilost v souladu s § 10 vyhlášky 55/1996 a složil zkoušku odborných znalostí z příslušných předpisů. Předák dbá na bezpečnost jemu svěřené pracovní skupiny a zajišťuje bezpečný stav pracoviště. Při střídání směny si předáci mezi sebou vymění informace o závažných skutečnostech nebo závadách na pracovišti.

<sup>9</sup> Úrazový děj, při kterém bylo zraněno více než 10 osob, nebo úrazový děj, při kterém byly zraněny alespoň 3 osoby, z nichž jedna utrpěla úraz smrtelný

Při hlášení havárie je nutné uvést údaje definované vyhláškou č. „447/2002 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu o hlášení závažných událostí a nebezpečných stavů, závažných provozních nehod (havárií), závažných pracovních úrazů a poruch technických zařízení“ [Z9].

**§ 11a – Zachování stavů místa závažného pracovního úrazu, závažné události, nebezpečnému stavu a závažné provozní nehody (havárie)** udává, že místo výskytu nehody není možné měnit, dokud báňská úřad neprovede ohledání místa. Výjimku mají práce v místě nehody vedoucí k záchraně života pracovníků. Při výskytu této skutečnosti pořizuje organizace dokumentaci místa nehody, zejména fotografie, plánky a náčrty.

**§ 13 – Obsah havarijního plánu** se skládá ze tří částí, pohotovostní, operativní a mapové.

- **pohotovostní část** se skládá ze seznamu osob, organizací a orgánů, které je nutno povolát na místo havárie a které je nutno o havárii informovat. V první řadě je nutné zavolat vedoucího likvidace havárie; definuje rovněž povinnosti vybraných zaměstnanců při havárii
- **operativní část** havarijního plánu obsahuje řešení všech předvídatelných druhů havárie, jejichž výskyt v podzemní stavbě lze předpokládat; dále obsahuje plán řešení havárií na povrchu, které mohou svými důsledky ohrozit osoby v podzemí; součástí operativní části havarijního plánu je stanovení doby, po které se odvolávají osoby z podzemního díla
- **mapová část** obsahuje mapu zdolání havárie včetně vyznačených vodních zdrojů k hasebním účelům, skladišť výbušnin a hořlavých látek, rozvodu požární vody a požárních hydrantů a umístění prostředků k záchraně osob, jejich ošetření a dopravě

Každý pracovník musí být dle § 15 seznámen s havarijním plánem a to i při jeho změnách.

**§ 14 – Zdolávání havárie** řídí hlavní technický pracovník, neboli vedoucí likvidace havárie. Vedoucí likvidace je povinen ihned po obdržení informace o havárii provést rozbor a posouzení situace, alternativně upravit část havarijního plánu, určit způsob zdolávání havárie a vydávat příkazy. Zejména se jedná o příkaz k provedení evidence osob v podzemí v ohrožené části a vyzoomění a povolání osob a organizací uvedených v pohotovostní části havarijního plánu.

Vyhláška 55/1996 definuje rovněž podmínky pro dokumentaci k provedení stavebního díla. S ohledem na bezpečnost a ochranu zdraví při práci se jedná především o provozní dokumentaci, jejíž podobu definuje § 16.

- provozní dokumentace musí být vypracována před započítím prací a obsahuje zejména technologický postup, jehož části definují i oblast BOZP; obsah a forma technologického postupu je detailně uvedena v § 23 vyhlášky 55/1996
- provozní dokumentace určuje návaznost nebo souběžnost pracovních operací, podmínky pro bezpečný výkon práce, ohrožená místa a způsob jejich označení, prostředky a přístrojovou techniku sloužící k zajištění bezpečnosti práce
- provozní dokumentace musí být v souladu s požadavky předpisů k zajištění bezpečnosti práce a provozu
- pracovníci musí být s provozní dokumentací seznámeni, jsou povinni ji dodržovat a mají možnost do provozní dokumentace průběžně nahlížet



**§ 18 – Dokumenty a záznamy** je paragraf důležitý z hlediska kontrolovatelnosti kontrol. Správné skladování důležitých záznamů rovněž poslouží při případném vyšetřování nehodové události nebo pracovního úrazu. Organizace je povinna vést při činnostech prováděným hornickým způsobem v podzemí knihu směnového hlášení, knihu příkazů a knihu kontrol. Na rozdíl od těchto knih, záznamy dozorčích orgánů nebo například hlášení kontrolních čidel a snímačů nevyžadují vedení v papírové formě a lze tyto záznamy uchovávat v podobě digitální.

Jelikož se tato bakalářská práce zabývá i metodou mechanizovaného tunelování, je z pohledu BOZP důležitý i § 25 - Ražení razicími a tunelovacími stroji a štíty. Tento paragraf definuje podmínky uvedení razicího štítu do pohybu a jeho následný pohyb. Uvedení do pohybu je možné až po odchodu všech pracovníků z dosahu rozpojovacího orgánu stroje. Posun stroje je umožněn, pokud není tímto posunem nikdo ohrožen.

Další z důležitých paragrafů je **§ 50 – Složení ovzduší**. Tento paragraf definuje předepsaná složení vzduchu a omezuje maximální koncentrace plyných škodlivin. Vzduch v podzemí musí například obsahovat minimálně 20 objemových procent kyslíku a koncentrace CO<sub>2</sub> dosahuje maximálně 1%. Při nesplnění podmínek kvality vzduchu dle § 50 je nezbytné místo s nevyhovující kvalitou vzduchu znepřístupnit. Složení ovzduší je nutno kontrolovat v souladu s **§ 56 – Kontrola složení ovzduší v podzemí**. Kromě pravidelného měření koncentrace škodlivin je nutné alespoň jedenkrát za půl roku odebrat vzorky v podzemí tak, jak definuje **§ 57 – Měření a odběry vzorků v podzemí**. Dle tohoto paragrafu je nutné nejen odebrat vzorky vzduchu k rozboru stanovení obsahu kyslíku, oxidu uhelnatého a uhličitého, ale rovněž měřit objemový průtok a teplotu vzduchu sloužícího k větrání. V případě provádění prací trhacím způsobem je nutné kontrolovat množství oxidu uhelnatého v intervalu, který určí hlavní technický pracovník. Těmito odběry může být namátkově kontrolována kvalita vzduchu po odpalu a stanovena délka čekací doby.

Problematicke požární ochrany v podzemí se věnují paragrafy 58 až 68.

- § 58 definuje prostory se zvýšeným požárním nebezpečím, za které lze například považovat prostor v okolí strojů a strojních zařízení, které obsahují více než 40 l hořlavých kapalin. Veškerá místa se zvýšeným požárním zatížením je nutné opatřit tabulkou.
- § 59 se zabývá využitím otevřeného ohně, které je dovoleno jen v nezbytně nutných případech se souhlasem hlavního technického pracovníka. V místě zvýšeného požárního nebezpečí je nutný i jeho písemný souhlas.
- § 60 stanovuje povinnost pravidelné kontroly prostředků požární ochrany, a to minimálně jedenkrát ročně. Mezi kontrolovaná zařízení patří požární signalizace, hasicí přístroje a hasicí zařízení.
- § 61 definuje rozmístění hasicích prostředků.
- § 68 příkazuje, že ihned po zjištění požáru je nutné odvolat všechny osoby z podzemí a zamezit vstup do těchto prostor

Osvětlování podzemí řeší paragrafy 72 – 76. **§ 72 – Osvětlení v podzemí** definuje požadavky na světelné podmínky v podzemí. Všechna podzemní díla musí být dle tohoto paragrafu v době provozu osvětlena. Z § 3 víme, že pracovník je povinen být při vstupu do podzemí vybaven osobním svítidlem. § 73 – Osobní svítidla dále tyto požadavky rozvíjí.

Za rizikový faktor lze všeobecně považovat práci ve výškách a nad volnou hloubkou. Ve vyhlášce 55/1996 se této problematice věnují paragrafy 79-83. Tyto paragrafy například obecně definují požadavky na jištění pracovníka, pokud hrozí pád z výšky větší než 1,5 m, ať už se jedná o kolektivní nebo osobní zajištění. Prostředky osobního zajištění je možno využít, byl-li schválen státní zkušebnou. Kvalitu prostředků osobního zajištění je nutné kontrolovat pravidelně každé dva roky a rovněž po mimořádné události (např. zachycení pracovníka při pádu).

V podzemním stavitelství se hojně využívá strojní zařízení. Bezpečnosti těchto zařízení jsou věnovány paragrafy 104 – 114. **§ 104 – Razicí stroje** udává požadavek, že razicí stroj je možno spustit v časovém rozmezí 5 – 15 vteřin od zaznění výstražného znamení. Dále udává, že zařízení musí být vybaveno hlavním ovladačem a nouzovým ovladačem, kterým lze v mimořádných situacích vypnout celé zařízení. Dále, **§ 106 – Rypadla a nakladače** definuje několik obecných požadavků při práci s rypadly a nakladači. Mezi hlavní požadavek z pohledu BOZP patří obecně rozšířená skutečnost, že je-li rypadlo v provozu, žádný pracovník se nesmí zdržovat v dosahu pracovního orgánu stroje. Zakázána je rovněž manipulace s lopatou nebo lžící nad kabinou řidiče stroje. Řidič stroje je rovněž povinen v případě zjištění ohrožení zeminou odjet se strojem na bezpečné místo a upozornit ohrožené zaměstnance na hrozící nebezpečí.

Práci s elektrickými a strojními zařízeními řeší společně část vyhlášky 55/1996 sb. paragrafy § 84 - § 118 a vyhlášky „č. 202/1995 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při obsluze a práci na elektrických zařízeních při hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem“ [Z10] a č. „75/2002 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu o bezpečnosti provozu elektrických technických zařízení používaných při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem“ [Z11]. Práce se zařízeními pod napětím nejsou pro účely této bakalářské práce stěžejní a nadále je nerozvíjí, postačí si s obecnými požadavky na kontrolu technického stavu zařízení z § 8 zákona 61/1988 Sb.

Vyhláška č. „298/2005 Sb. Vyhláška o požadavcích na odbornou kvalifikaci a odbornou způsobilost při hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem a o změně některých právních předpisů“ [Z12] definuje požadavky na odbornou způsobilost pro jednotlivé kontrolní pracovníky při výstavbě. Z hlediska činnosti provádění hornickým způsobem je třeba definovat zejména bezpečnostního technika a technického dozoru. Vyhláška dále rozlišuje pojmy odborná způsobilost a odborně kvalifikovaná osoba.

## § 2 – Odborně kvalifikovaná osoba

- Bezpečnostní technik – fyzická osoba odpovědná k plnění úkolů v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci při činnosti prováděné hornickým způsobem, která musí mít absolvováním alespoň bakalářského studijního programu a odbornou praxí v příslušné kontrolní činnosti alespoň dva roky. Přípustná je i varianta středního odborného vzdělání s maturitní zkouškou a délce odborné praxe čtyři roky.
- Technický dozor – fyzická osoba ustanovená ke kontrolní činnosti v oblasti bezpečnosti, dodržování technologických předpisů, předpisů upravující bezpečnost a ochranu zdraví při práci, bezpečnosti provozu staveniště atd. Pro vedení důlních prací

je vyžadováno minimálně střední odborné vzdělání s maturitní zkouškou a šest měsíců praxe v příslušné činnosti.

### § 3 – Odborná způsobilost

- Znalost právních předpisů upravující danou oblast – např. pracovní podmínky při činnosti prováděné hornickým způsobem a používání výbušnin. Odborná způsobilost se pro spolehlivý a bezpečný výkon práce ověřuje zkouškou. Platnost osvědčení nutného pro výkon bezpečnostního technika a technického dozoru je 5 let (dle § 6).

### 1.3.4. Rizika

Pojmem riziko, označujeme účinek nejistoty ve snaze při dosažení cíle. Riziko je určitá hrozba, potenciální problém, nebezpečí vzniku škody, možnost selhání a neúspěchu, poškození, ztráty či zničení, vždy se jedná o určitou ztrátu. [23] [24]

Obecně existují různé skupiny rizik:

- **Geotechnická rizika** – tento typ rizika bývá často hlavním zdrojem ostatních rizik a má původ ve spolupůsobení horninového masívu a stavební konstrukce.
- Rizika přírodních katastrof
- Environmentální rizika
- Podnikatelská rizika a šance
- **Bezpečnostní rizika** - jsou rizika související s bezpečností práce, dopravou pracovníků a stavebního materiálu, rizika vzniku požárů či elektrických zkratů.
- Finanční rizika
- Právní, smluvní a legislativní rizika
- **Technická a technologická rizika** – vyplývají z možných poruch mechanismů, techniky a technologických zařízení.
- Rizika profesních pochybení
- Organizační rizika
- Souběh různých druhů rizik
- Hmotné a nehmotné riziko [24]

Při realizaci staveb je nutné zhodnotit veškerá rizika, která jsou spojena s každým identifikovatelným nebezpečím, a na základě stanovené míry rizika je potřeba určit opatření k omezení tohoto rizika. Slouží k tomu tzv. analýza rizik, což je „proces směřující k identifikaci rizik (zdrojů rizik) a k jejich kvantifikaci.“ [24] Riziková analýza je hlavním podkladem k úspěšnému řízení rizik.

Vždy je zapotřebí začít identifikací zdrojů rizik, neboli sestavením seznamu všech možných nežádoucích jevů a scénářů nebezpečí, které je možné předpokládat. Výstupem této činnosti je určitý registr zdrojů rizik, který se následně zpracovává pro každý projekt, stavbu či část stavby samostatně. [24]

K vyhodnocení těchto rizik slouží mnoho různých metod. V ČR se ve stavitelství používá velmi často jednoduchá bodově polokvantitativní metoda. Při této metodě se rizika vyhodnocují ve třech položkách, a to s ohledem na:

1. **Pravděpodobnost ohrožení (P)** (pravděpodobnost vzniku a existence nebezpečí)
2. **Pravděpodobnost následků (N) – závažnost**
3. **Názor hodnotitele (H)**

**Odhad pravděpodobnosti ohrožení (P)** se kterou uvažované nebezpečí může opravdu nastat, je stanoveno na stupnici odhadu čísla od 1 do 5.

- 1 – nahodilá
- 2 – nepravděpodobná
- 3 – pravděpodobná
- 4 – velmi pravděpodobná
- 5 – trvalá

**Odhad pravděpodobnosti následků (N)** neboli závažnost nebezpečí se taktéž stanovuje stupnicí odhadu čísla od 1 do 5.

- 1 – poškození zdraví bez pracovní neschopnosti
- 2 – absenční úraz
- 3 – vážnější úraz vyžadující hospitalizaci
- 4 – těžký úraz a úraz s trvalými následky
- 5 – smrtelný úraz

**V položce názoru hodnotitele (H)** se zohledňuje velké množství aspektů ke konkrétní stavbě tj.: počet ohrožených osob, čas působení ohrožení, pravděpodobnost odhalení vzniklého nebezpečí, stupeň pracovní kázně a návyků pracovníků, odůvodněnost předpokládat chyby pracovníků, odloučenost pracoviště, zkušeností a individuálních schopností zaměstnanců, úroveň řízení BOZP, možnost zajištění první pomoci. V této položce je rovněž užito klasifikace stupni od 1 do 5.

- 1 – zanedbatelný vliv na míru nebezpečí a ohrožení
- 2 – malý vliv na míru nebezpečí a ohrožení
- 3 – větší, zanedbatelný vliv na míru ohrožení a nebezpečí
- 4 – velký a významný vliv na míru ohrožení a nebezpečí
- 5 – více významných a nepříznivých vlivů na závažnost a následky ohrožení a nebezpečí

Pro posouzení a následné vyhodnocení zdrojů rizik se číselné vyjádření zaznamenává do sloupců „P“, „N“ a „H“. Celkové vyhodnocení rizika je **ukazatel míry rizika mR**.

$$mR = P \cdot N \cdot H$$

Rizika se podle této hodnoty pak rozdělují do 5 skupin:

- I. větší než 100 - velmi vysoké riziko, zastavit činnost
- II. 50 - 100 - vysoké riziko, bezprostřední bezpečnostní opatření
- III. 10 - 50 - riziko, potřeba nápravné činnosti
- IV. 3 - 10 - možné riziko, zvýšit pozornost
- V. pod 3 - riziko možno přijmout

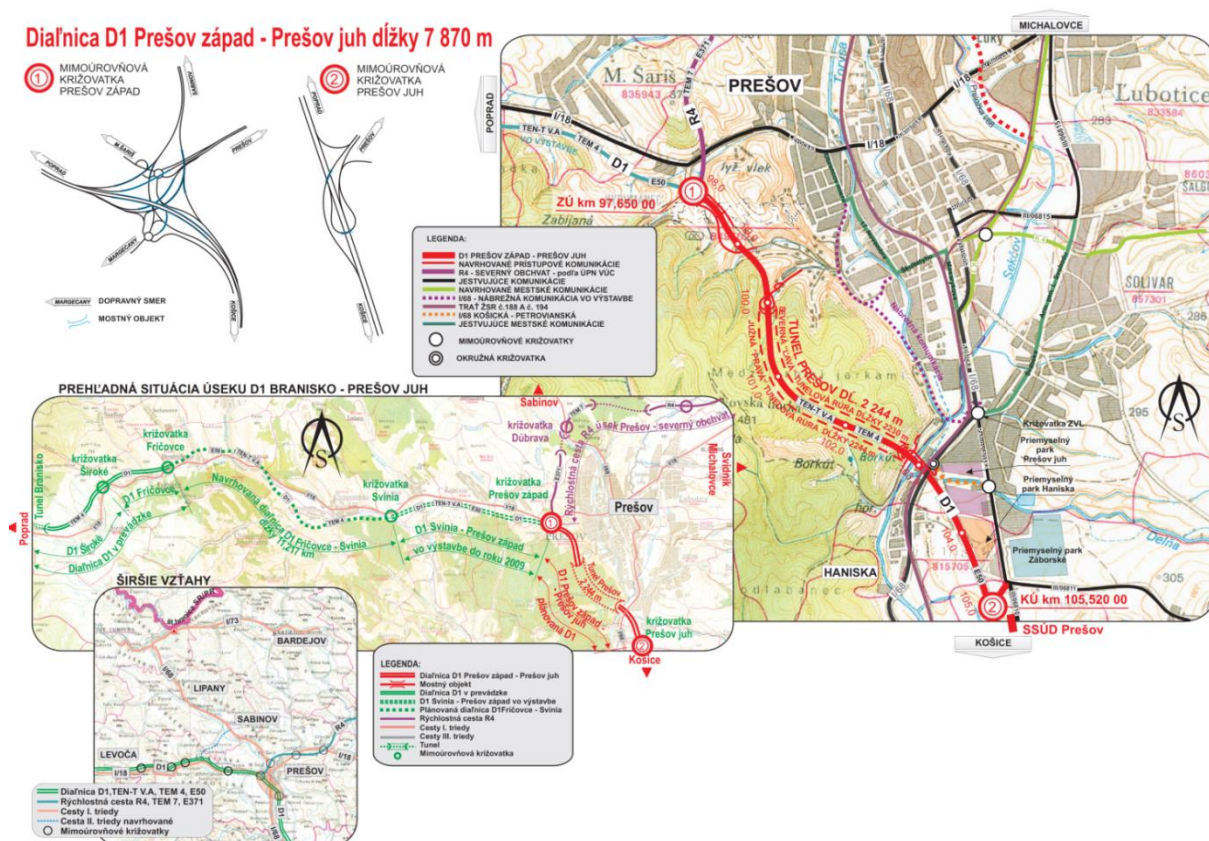
Jsou-li rizika vyhodnocena, následuje zavedení opatření a pomůcek k zajištění minimalizace těchto rizik. Problematikou konkrétních rizik se budu dále zabývat v kapitolách 2.1 – 2.4. této práce.

## 1.4. Referenční realizace

Veškeré referenční stavby této bakalářské práce jsou stavby prováděné společností Metrostav a.s..

### 1.4.1. Silniční tunel Prešov (Slovensko)

Jako referenční stavbu v technologii ražení metodou NRTM jsem si vybrala Slovenský dálniční tunel u města Prešov. Město Prešov leží na východě Slovenska asi 40 km severně od Košic. Tunel Prešov byl budován v rámci výstavby úseku dálnice D1 Prešov západ – Prešov Jih. Stavbu provádělo sdružení firem Eurovia SK a.s, Eurovia CS a.s., Doprastav a.s., Metrostav a.s. a Metrostav Slovakia a.s. pro slovenského investora Národnú diaľničnú spoločnosť, a.s.. K otevření celého úseku by mělo dojít v r. 2021.



Obrázek 23 přehledná situace úseku Prešov západ - Prešov jih [14]



Obrázek 24 přehledná zjednodušená situace tunelu [15]

Ražbu tunelu prováděla firma Metrostav a.s. v době od 8/2018 do 7/2019. Jedná se o dva jednosměrné ražené tunely s krátkými hloubenými úseky o celkové délce 2230,5 m (Severní tunelová trouba), a 2244 m (Jižní tunelová trouba). Osová vzdálenost tunelových trub je proměnlivá. Maximální vzdálenost dosahuje 40 m ve střední části, u portálů poté zhruba 30 m. Sklonové poměry jsou konstantní v celé délce tunelů. Od západního portálu tunel klesá ve sklonu 2,8 %. Směrové řešení tunelu je ve tvaru prodlouženého „S“ složené ze dvou oblouků (s poloměry od 1415 m do 1650 m) s přechodnicemi. Mezi přechodnicemi se nachází přímý úsek ve střední části tunelu. Vzhledem ke směrovému vedení trasy a poloměrům směrových oblouků bylo nutné změnit příčný sklon vozovky a tím pádem naklonit celý profil tunelu. Při ražbě byly vyraženy dva nouzové zálivy v každé tunelové troubě, několik nouzových SOS výklenků a také osm propojek. Ražba probíhala na čtyřech čelbách současně. Geologický profil v místě ražby se skládal zejména z pískovců a jílovců. Tyto horniny byly zastoupeny v trase ražby v proměnném poměru. Z důvodu této složité geologie byly tunely rozčleněny do 25 kvaziisotomogenních úseků. Každý celek byl charakterizován a dle geotechnické kvalifikace zařazen do určité třídy NRTM. V tunelu se nacházely vystrojovací třídy 3, 4, 5A, 5B, 6 a 7. U každé třídy byly jednotlivě zadány určité parametry viz obr. 25.

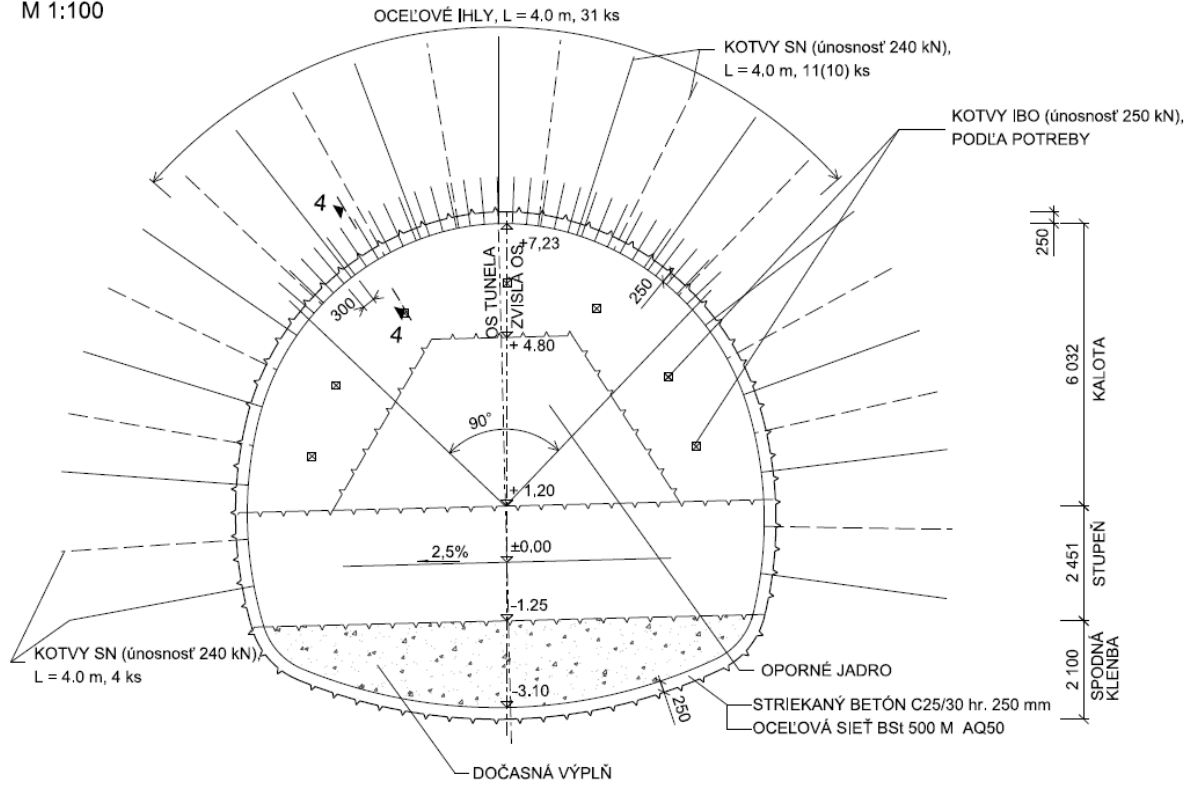
#### Vystrojovací trieda 5B

- Dĺžka záberu v kalote max. 1,7 m
- Dĺžka záberu v stupni max. 3,4 m
- Striekaný betón C25/30 hr. 250 m
- Ocelové výstužné siete AQ50e 2 vrstvy
- Ocelové priehradové skruže: 95/20/30
- Kotvy maltované (SN) l = 4 m.
- Predzaistenie výrubu: ocelové ihly 26 mm
- Zaistenie čela: striekaný betón, IBO kotvy podľa potreby
- Spodná klenba zo striekaného betónu

Obrázek 25 Vystrojovací třída 5B [20]

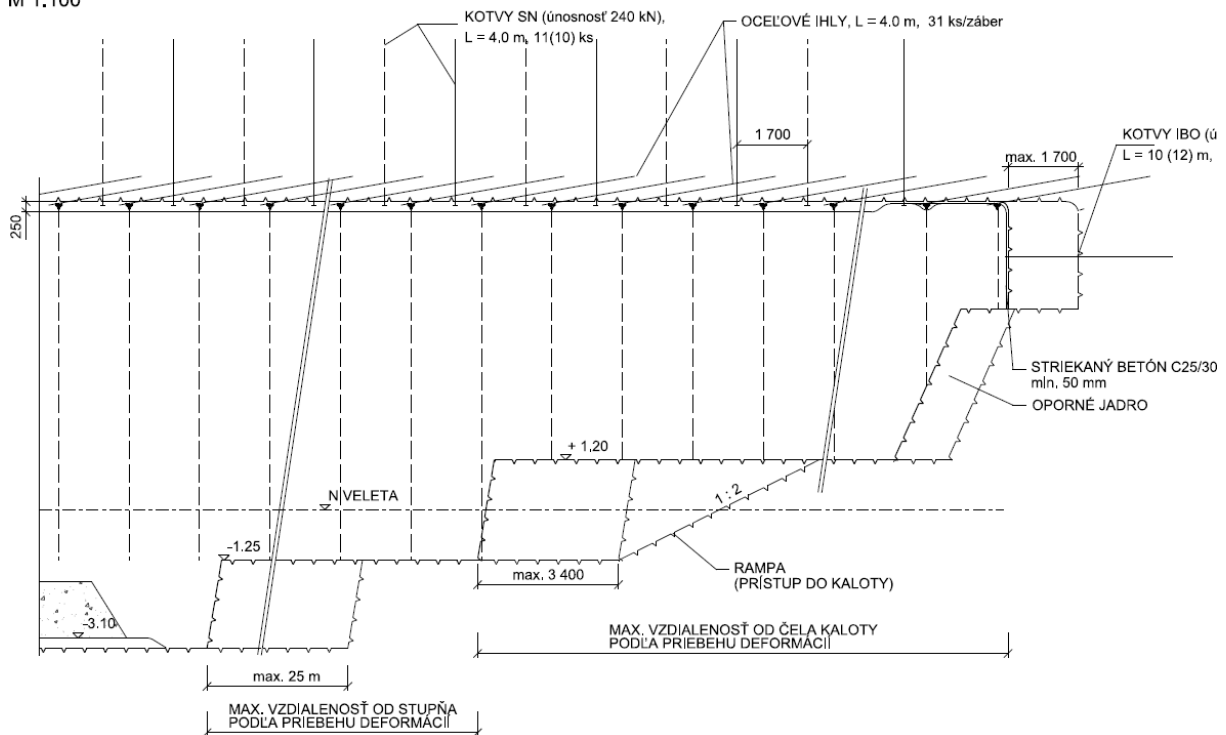
Vzhledem k tomu, že se jedná o stavbu prováděnou metodou NRTM, byla výstavba pod neustálým dohledem geotechnického monitoringu. Probíhalo měření deformací výrubu, extenzometrické a inklinometrické měření, měření deformací portálových svahů, měření radiálního zatížení primárního ostění deformujícím se horninovým masívem a měření stavu napjatosti v primárním a sekundárním ostění. [14]

PRIČNÝ REZ  
M 1:100



Obrázek 26 Priečný rez tunelu Prešov [14]

POZDĹŽNÝ REZ  
M 1:100



Obrázek 27 Podélný rez tunelu Prešov s postupem prací ve vstrojovací třídě 5B [14]



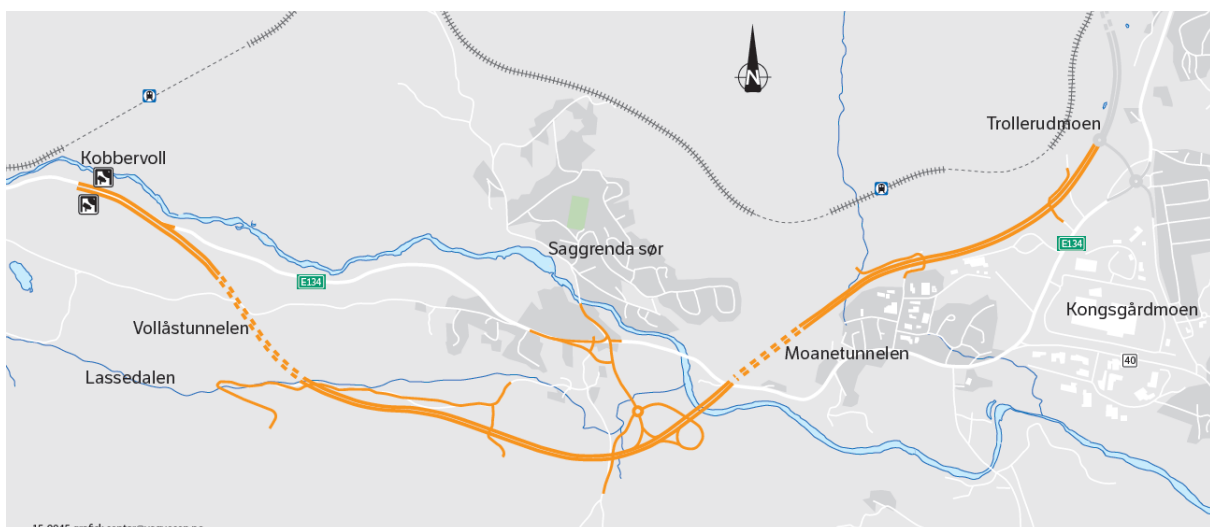
### 1.4.2. Silniční tunel Moane (Norsko)

Jako referenční stavbu v technologii ražení metodou Drill & Blast jsem si vybrala Norský silniční tunel na nově budované trase E134 Damåsen-Saggrenda u města Kongsberg. Město Kongsberg se nachází 85 km západně od hlavního města Osla. Na této stavbě jsem byla osobně přítomna v červenci a prosinci roku 2017.



Obrázek 28 Mapa s vyznačenou polohou stavby [16] Obrázek 29 -celá trasa E134 Damåsen-Saggrenda [19]

Zakázku na výstavbu jedné části trasy silničního obchvatu města Kongsberg získala společnost Metrostav a.s. ve sdružení s domácími firmami Bertelsen & Garpestad AS a HAG Anlegg AS. Délka celé trasy činila 13,2 km, stála 4,2 mld NOK (v přepočtu orientačně 12,6 mld Kč) a byla rozčleněna na 3 úseky (obr.29). Metrostav realizoval ve sdružení třetí úsek viz obr. 29 zelený úsek. Účelem projektu bylo vybudování nové silniční sítě pro tranzitní dopravu a pro dopravu do a z města Kongsberg, ale také vybudování diferencované silniční sítě s lepší bezpečností provozu. Dle plánů investora měla realizace započít na jaře 2015 a měla být dokončena a uvedena do provozu v květnu 2020. Stavbu dvou tunelů včetně portálů a několika propustků realizoval Metrostav od 4/2017 do 9/2019. [16]] [18] [19]



Obrázek 30 mapa E134 Damåsen-Saggrenda, třetí úsek E134 Trollerudmoen-Saggrenda [16]





Obrázek 31 vizualizace E134 Damåsen-Saggreda, třetí úsek E134 Trollerudmoen-Saggreda [21]

TUNNELPROFIL

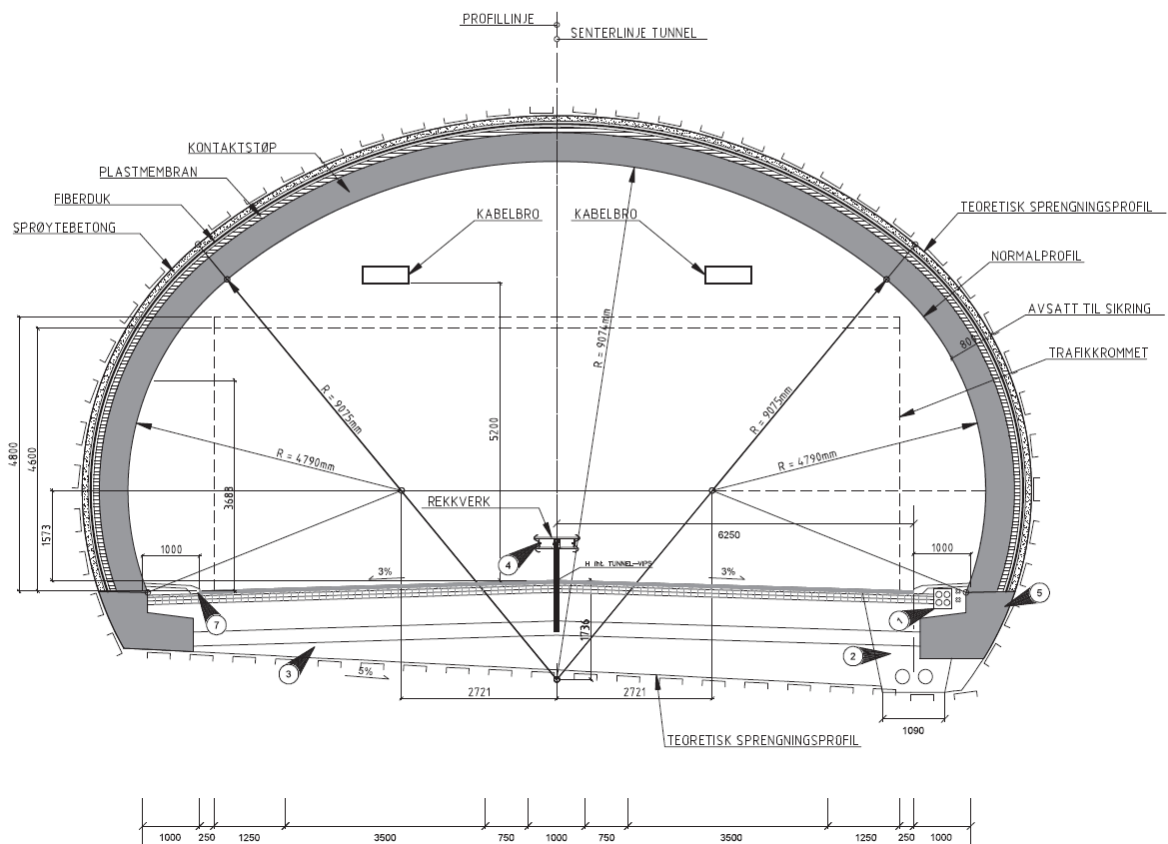
E134

Moanetunnelen, linje 10000, pr. 9855 - pr. 9858.

Utforming T14.5, 136 m<sup>2</sup>, tunnelklasse B, fartsgrense 90 km/t. ÅDT 8000 - 12000

Teoretisk påhugg - kontaktstøp

M = 1:50



Obrázek 32 Příčný řez tunelem Moane [20]

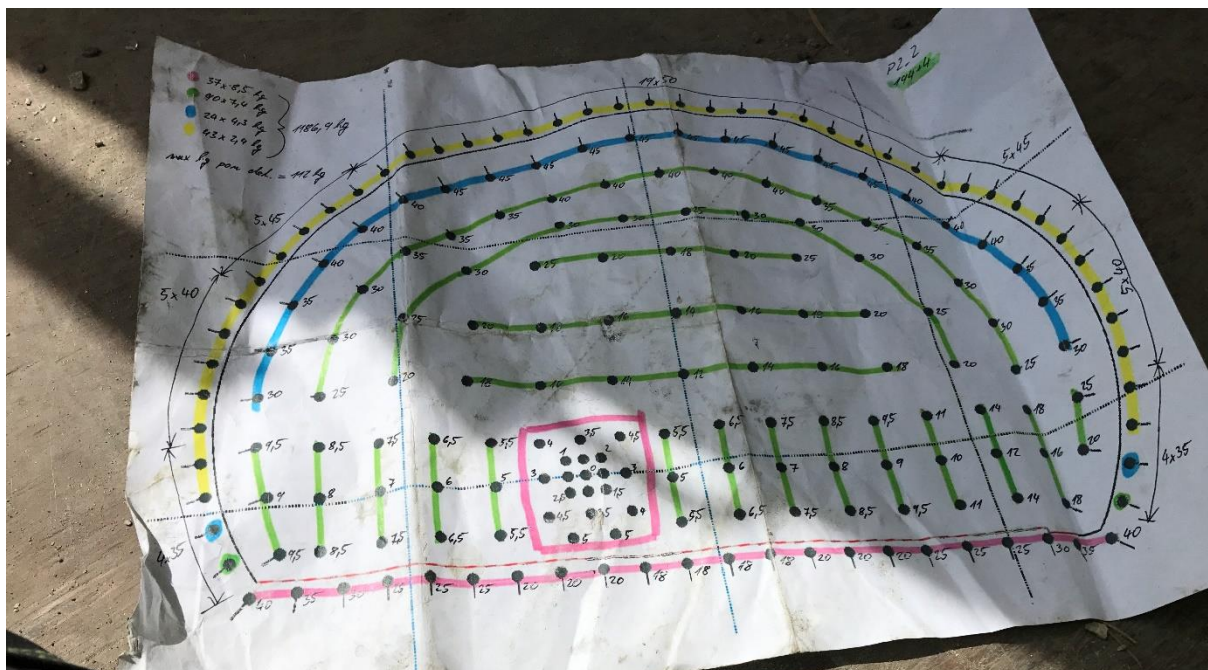
Teoretický profil výrubu tunelu Moane je T14,5 což znamená plochu příčného řezu zhruba 130,00 m<sup>2</sup>. Délka tunelu činí 283,0m. Tunel je veden v přímé linii s konstantním stoupáním 1,06 %. Maximální výška nadloží byla 40 m. Jedná se o obousměrný silniční tunel se středovým svodidlem a izolací proti vodě a mrazu. Ve dně tunelu je ukrytá drenáž a kabelovody. Ražba probíhala od západního portálu, dle podmínek ve smlouvě s investorem, kterým byl Statens Vegvesen (obdobu českého Ředitelství silnic a dálnic). V blízkosti západního portálu byla složitější geologie a bylo nutno zde část tunelu vystrojit výztužnými oblouky. Tunel se nacházel v blízkosti zástavby, což mělo za důsledek zvýšení technické náročnosti při provádění trhacích prací. [20]

Tunel Moane se razil zejména v rule. S ohledem na kvalitu horniny v místě ražby se upravovalo vystrojení tunelu. Vystrojení bylo upravováno na základě určení hodnoty parametru Q, tedy v závislosti na geologické třídě (dle diagramu Grimstad-Barton (obr. 8)). Posouzení kvality horniny na čelbě vždy činil zástupce objednatele. Délka jednoho záběru byla v rozmezí 5,0 - 5,5 m a ražba probíhala na plný profil. Trhací práce se prováděly tříložkovou emulzní trhavinou. [20]



Obrázek 33 Vrtná souprava AMV [28]





Obrázek 34 Vrtné schéma včetně vyznačeného množství trhaviny v jednotlivých vrtech [28]



Obrázek 35 Detail vrtu s připravenou neelektrickou rozbuškou a počínovou náložkou [28]

Geologickou třídou A/B procházelo zhruba 66 m tunelu, byla tedy použita I. Vystrojovací třída, která je charakterizována nahodilým kotvením v kombinaci se stříkaným drátkobetonem tl. 80 mm. Zhruba 100 m tunelu se nacházelo v geologické třídě C. Geologické třídě C odpovídá vystrojení třídy II., tedy systematické kotvení v rastru (c/c 2,0 m) mechanicky upínanými



kovkami, které byly následně injektovány, v kombinaci se stříkaným drátkobetonem tl. 80 mm. Na 64 m bylo využito vystrojění III. třídy, které je podobné třídě II, kotvy jsou však v rastru (c/c 1,5 m) a SB je v tl. 100 mm a obsahuje větší množství rozptýlené výztuže. Ve zbylých metrech bylo nutno z důvodu nepatrně horší kvality horniny použít jehlování<sup>10</sup>.

Během ražby nedošlo k žádným větším průvalům vody do tunelu. Očekávání byla naplněna a do díla proudila jen puklinová podzemní voda s volnou hladinou. [20]



Obrázek 36 Osazování svorníků [28] Obrázek 37 Začištění výrubu tlakovou vodou [28]

Postup prací se odvíjel od vystrojovací třídy. V případě příhodné geologie (třída I, II, III) se cyklus skládal z vrtání pro odpal, nabíjení čelby, následného odpalu, odvětrání čelby, nakládky a odtěžení rubaniny, strojního a ručního začištění výrubu, vyznačení svorníků, vrtání otvorů pro svorníky souběžně s vrtáním vrtů pro umístění náloží. Následovalo osazení a zainjektování svorníků, začištění výrubu tlakovou vodou a zastříkání výrubu stříkaným drátkobetonem.

V případě zhoršených podmínek (vystrojovací třídy IV, V) byl začátek cyklu stejný. Po strojním začištění výrubu však nenásledovalo ruční začištění. S ohledem na zhoršené geologické podmínky by ruční začišťování výrubu znamenalo vyšší riziko pro pracovníky. Po strojním začištění se aplikoval bezpečnostní nástřik SB tl. 50 mm s vyznačením svorníků a výztužných oblouků. Následovala aplikace výztužných oblouků, které se zastříkali SB. Konečná fáze cyklu spočívala ve vrtání otvorů pro svorníky souběžně s vrtáním otvorů pro umístění náloží na čelbě, osazením a zainjektováním svorníků a osazením jehel. [20]

<sup>10</sup> Jehlování je stabilizace horniny v místě zhoršených geologických podmínek pomocí samozávrtných kotev v rastru 200 – 300 mm.





Obrázek 38 Pohled z vrtné soupravy na čelbu [28]



Obrázek 39 Čelba chvíli před odpalem [28]

### 1.4.3. Železniční tunely Ejpovice (Česko)

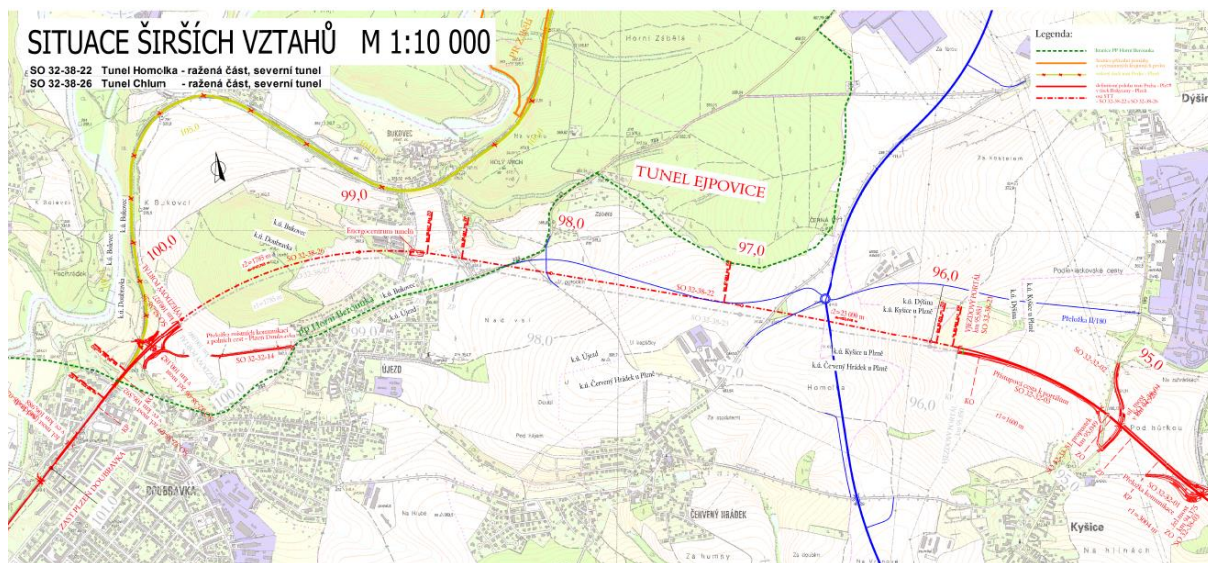
Jako referenční stavbu v technologii ražení metodou mechanizovaného tunelování jsem si vybrala Ejpovické železniční tunely, konkrétně severní tunelovou troubu. Stavbu ve sdružení realizoval Metrostav v letech 2013 až 2018. Investorem byla Správa železniční dopravní cesty (SŽDC<sup>11</sup>). Jedná se o nejdelší železniční tunely v České republice o celkové délce 4150 m. Tunely se nachází na dvoukolejné železniční trati mezi Rokycany a Plzní na III. železničním koridoru a

<sup>11</sup> SŽDC – Přejmenováno na Správa železnic



vlakové soupravy zde budou jezdit až 160 km/h. Tunely prochází pod masivy Homolka a Chlum. Jedná se o dva samostatné jednokolejné tunely, které jsou propojeny 8 propojkami. Maximální osová vzdálenost tunelů je 48,0 m.

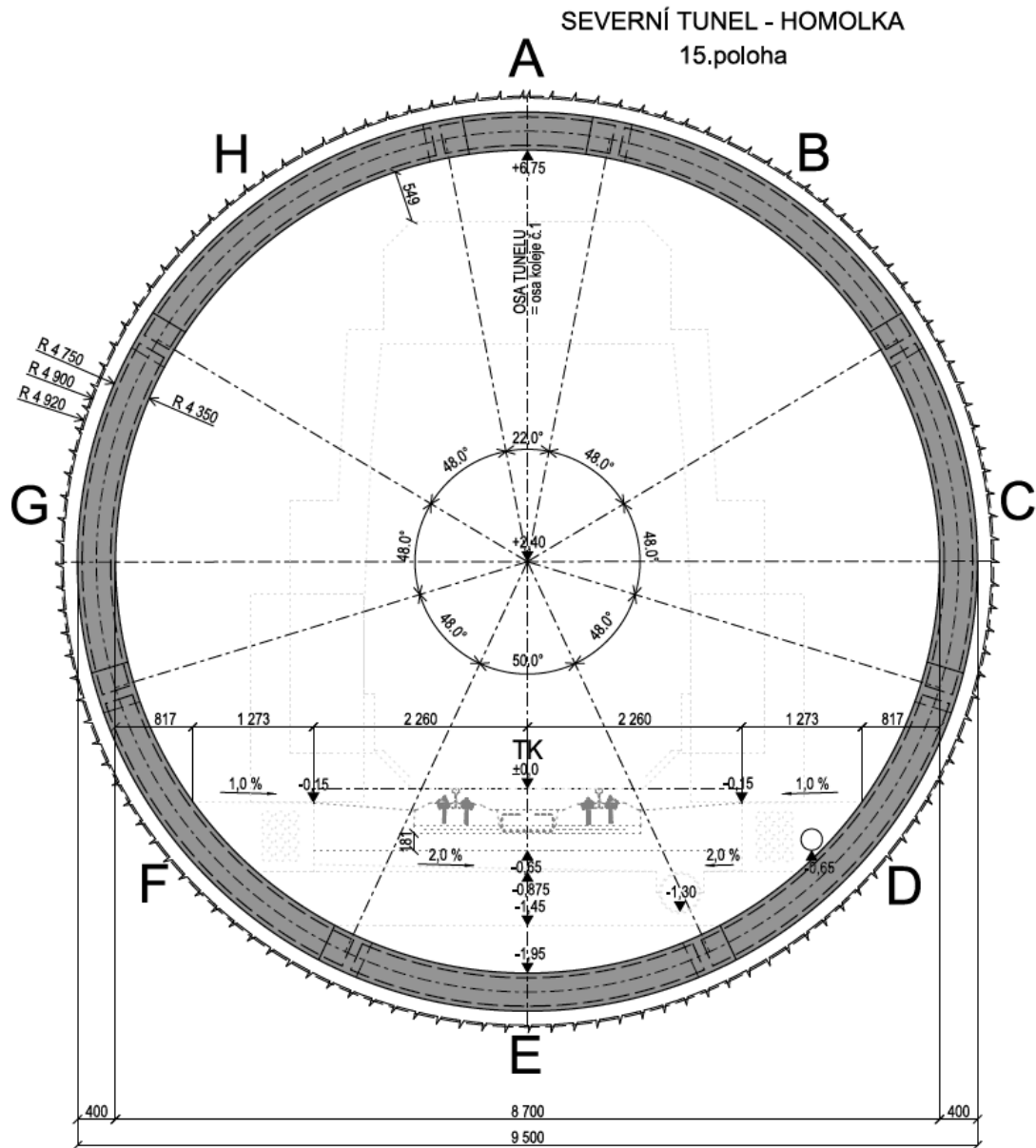
Sklonové poměry jsou po délce celého severního tunelu jednotné a to 8 ‰, klesání je ve směru staničení tzn. směrem od Rokycan do Plzně. Směrové poměry jsou pod masivem Homolka v přímé linii a pod masivem Chlum je oblouk o poloměru 1785 m. Maximální výška nadloží činí 56 m a minimální 7,7 m. Vzhledem k technologii ražby má tunelová trouba kruhový profil o ploše 75-76 m<sup>2</sup>. Při výstavbě bylo použito 33072 prefabrikovaný segmentů tl. 40 mm z betonu s rozptýlenou výztuží. Z těchto segmentů vzniklo 4134 prstenců. V místě propojek jednotlivých tunelových trub se osazovaly 4 prstence z železobetonu s klasickou vázanou betonářskou výztuží. [21] [22]



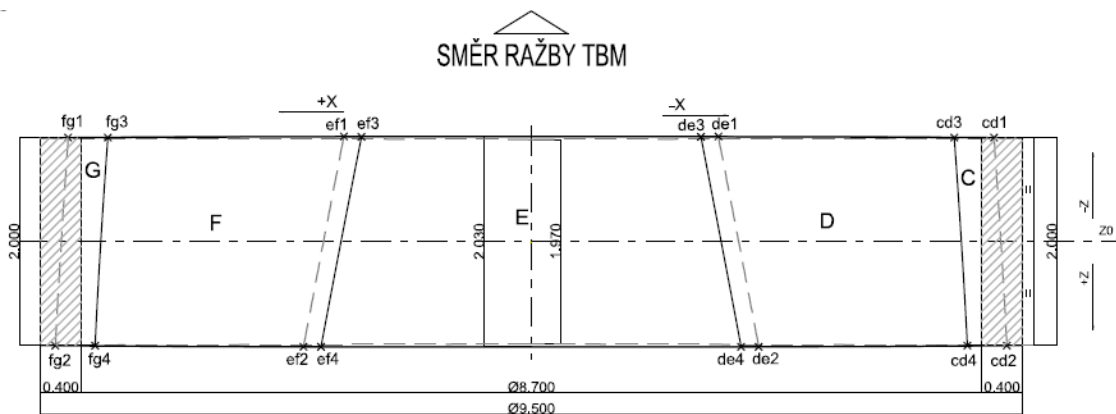
Obrázek 40 Situace širších vztahů tunelů Ejovice [21]

Ražba probíhala strojem Herrenknecht S\_799 o průměru řezné hlavy 9860 mm, celková délka stroje činila 115 m. Stroj vážil 1800 t a dosahoval maximální rychlosti 80 mm/min. Tento stroj byl pojmenován Viktorie. Jedná se o stroj kombinovaný nebo konvertabilní, tj. že se dá použít v několika módech. V tomto případě byla použita kombinace módů zeminového štítu (EPB) s tlakovou podporou čelby (pod masivem Homolka v břidlicích a zeminách), a Hard Rock módu (pod masivem Chlum ve tvrdých spilitech). Ražba pod masivem Homolka probíhala v břidlicích a pod masivem Chlum ve spilitech. Problematickou oblastí byla oblast s nízkým nadložím, tedy oblast mezi masivy Homolka a Chlum. Této oblasti byla věnována velká pozornost z pohledu inženýrskogeologického průzkumu a následně i geomonitoringu. Geologie této stavby nebyla příliš přívětivá. Inženýrsko-geologický průzkum provedený ve fázi přípravy stavby byl značně odlišný od skutečných geologických podmínek v trase ražby. Například v části kde bylo dle geologického průzkumu očekáváno skalní nadloží, se nacházely silně zvětralé břidlice. Situaci rovněž komplikovaly velké přítoky podzemní vody. Ve spilitech obsahující křemenné žíly byla místy několikanásobně vyšší abrazivita<sup>12</sup> a bylo nutné měnit za den čtyři až pět řezných kotoučů z celkových 55. Tato skutečnost rovněž velmi zdržovala ražbu. [21] [22]

<sup>12</sup> Abrazivita – obrusnost řezných kotoučů



Obrázek 41 Vzorový příčný řez tunelu Ejpvovice [21]



Obrázek 42 Kladečské schéma kladení tybinků – půdorys [21]





Obrázek 43 Viktorie, jež razila Ejpovické tunely [31]



Obrázek 44 Razicí stroj v modu Open Mode [31]



*Obrázek 45 Pohled na razicí stroj zezadu [31]*

## 2. Praktická část

V rámci praktické části jsem se rozhodla zkoumat problematiku určování rizik z pohledu vlivu lidského faktoru a zkušeností při vyhodnocování rizik odborníky v oboru. Z toho důvodu jsem požádala osm odborníků z praxe o vyplnění mnou vytvořeného dotazníku, kde ohodnotili 31 rizik dle závažnosti a pravděpodobnosti výskytu rizika hodnotami od 1 do 5. Osobně jsem dotazník na základě svých zkušeností s tunelovacími metodami vyplnila před rozesláním dotazníků odborníkům, aby nebyl ovlivněn výsledek.

Dle informací uvedených v kapitole 1.3.4 jsou rizika standardně vyhodnocována ze tří parametrů. Při provádění dotazníku jsem se však omezila pouze na parametry P (pravděpodobnost) a N (následky). Parametr H (názor hodnotitelů) jsem při tomto výzkumu neuvažovala, jelikož tento parametr zahrnuje například technický stav používaných zařízení nebo stupeň pracovní kázně a návyků pracovníků, odůvodněnost předpokládat chyby pracovníků, nezkušenost při vykonávání občasných pracovních činností, odloučenost pracoviště, možnost výkonu řádného dozoru, úroveň kvalifikace, zkušeností a individuálních schopností zaměstnanců, tedy parametry, které nelze určit bez přesných informací ze staveniště.

### 2.1. BOZP u NRTM

#### 2.1.1. Popis rizik

Pro vyhodnocení rizik v metodě NRTM byla vybrána následující rizika:

- R1 - Ohrožení zaměstnance uvolněnou horninou při těžbě
- R2 - Přejetí či zasažení zaměstnance při těžbě
- R3 - Poranění zaměstnance o ostré konce výztuže
- R4 - Pád výztuže či zborcení výztužných oblouků
- R5 - Poranění očí, obličejů při aplikaci SB
- R6 - Nekontrolovaný rozlet úlomků horniny při odpalu
- R7 - Zasažení očí injektážní směsí
- R8 - Poranění zaměstnance při manipulaci s formou
- R9 - Pád, zborcení či ujetí bednící formy
- R10 - Pád zaměstnance z výšky

Rizika je nutné nejen správně definovat, ale zejména provést vhodná opatření a zajistit odpovídající OOPP. K výše uvedeným rizikům je nutné přijmout následující opatření:

Riziko R1 – Přijatá opatření a OOPP

- Vymezení bezpečné vzdálenosti od čelby
- Zamezení vstupu nepovolaných pracovníků do prostoru čelby
- Vymezení bezpečné vzdálenosti od strojů podílejících se na rozpojování horniny na čelbě
- Dodržování technologického postupu pro rozpojování horniny
- OOPP – reflexní pracovní oděv, přilba, pracovní rukavice a obuv

## Riziko R2

- Vymezení bezpečnostní vzdálenosti od místa nakládky
- Vymezení nebezpečné vzdálenosti od strojního vybavení určeného k nakládce
- OOPP – reflexní pracovní oděv, přilba, pracovní obuv

## Riziko R3

- Důsledné využívání OOPP
- OOPP – pracovní rukavice, pracovní oděv a obuv

## R4

- Důsledné zajištění stabilit oblouku
- Obezřetná manipulace
- OOPP – pracovní oděv, přilba, pracovní rukavice

## R5

- Dodržování technologického postupu aplikace SB
- Dodržování bezpečného odstupu od místa aplikace SB
- OOPP – Pracovní oděv, přilba a zejména ochranné brýle nebo obličejový štít

## R6

- Zajištění bezpečného úkrytu nebo vzdálenosti od místa odpalu
- Zvukové signály upozorňující pracovníky i blízké okolí na blížící se odpal
- OOPP – Pracovní oděv, přilba, ochrana sluchu a ochranné brýle

## R7

- Omezení vstupu do prostoru, ve kterém jsou prováděny injektážní práce
- Dodržení technologického postupu pro provádění injektáže
- OOPP – Ochranné brýle nebo štít

## R8

- Znalost a využívání signálů při manipulaci s formou
- Nezdržovat se v prostoru mezi formou a výrubem
- Stanovení manipulační vzdálenosti při práci s formou
- OOPP – Reflexní pracovní oděv, přilba, pracovní obuv

## R9

- Omezení pohybu v okolí formy
- OOPP – Pracovní oděv, přilba, pracovní obuv

## R10

- Zajištění práce ve výškách prvky kolektivní nebo osobní ochrany
- Využívání plošin nebo lávek se zábradlím
- OOPP – Jistící úvazek



## 2.1.2. Vyhodnocení rizik

V následující tabulce jsou znázorněna veškerá hodnocení od oslovených hodnotitelů.

Tabulka 1 Souhrnné vyhodnocení rizik u NRTM

Riziko	H1			H2			H3			H4			H5			H6			H7			H8			H9		
	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR
R1	2	4	8	3	4	12	3	4	12	2	4	8	3	5	15	3	4	12	2	3	6	4	5	20	4	3	12
R2	2	4	8	4	4	16	2	3	6	2	5	10	3	5	15	2	5	10	1	5	5	2	5	10	2	2	4
R3	2	2	4	4	3	12	3	2	6	3	3	9	3	3	9	2	2	4	3	2	6	2	3	6	5	1	5
R4	2	3	6	2	4	8	2	2	4	2	4	8	2	5	10	2	4	8	1	4	4	2	4	8	2	4	8
R5	3	3	9	5	3	15	3	3	9	3	3	9	4	2	8	2	3	6	1	3	3	1	3	3	4	2	8
R6	4	2	8	5	5	25	3	4	12	1	5	5	3	5	15	1	5	5	1	3	3	2	3	6	5	1	5
R7	3	3	9	4	3	12	3	4	12	2	4	8	4	4	16	2	3	6	2	4	8	1	2	2	2	2	4
R8	1	2	2	4	4	16	2	3	6	2	4	8	3	4	12	2	4	8	2	3	6	2	2	4	3	1	3
R9	1	4	4	2	5	10	2	4	8	1	4	4	2	5	10	2	4	8	1	5	5	2	3	6	1	5	5
R10	3	3	9	4	4	16	2	5	10	2	5	10	4	4	16	3	4	12	2	4	8	2	3	6	2	2	4

Tabulka 2 Základní statistické vyhodnocení rizik u NRTM

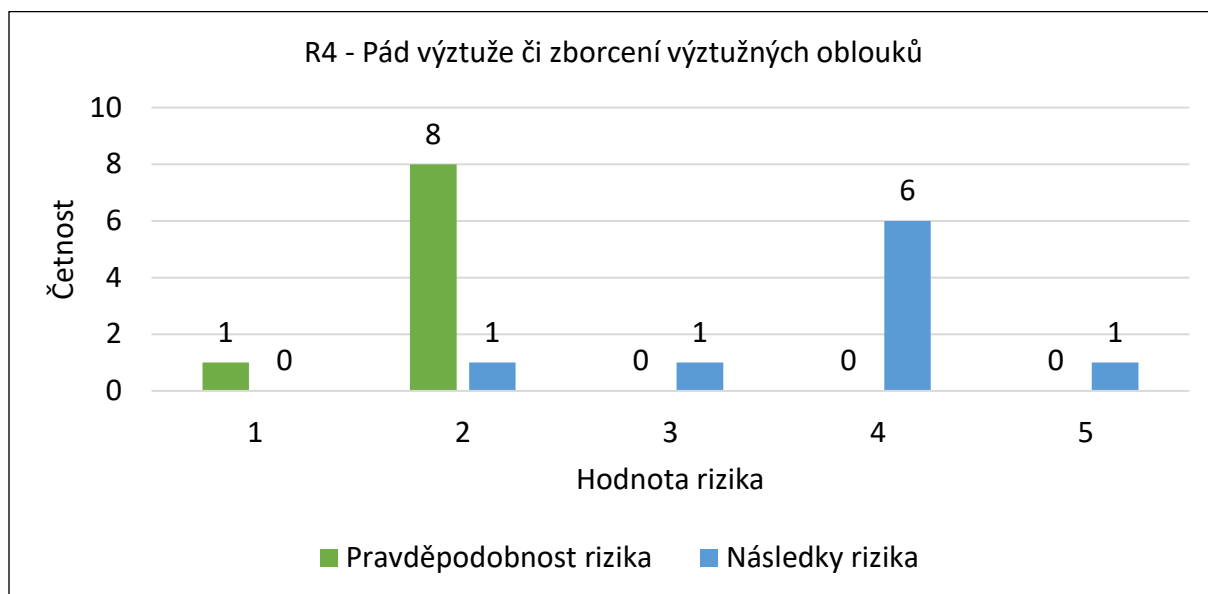
Riziko	P		N		mR	
	průměr	smodch	průměr	smodch	průměr	smodch
R1	2,9	0,7	4,0	0,7	11,7	3,9
R2	2,2	0,8	4,2	1,0	9,3	3,9
R3	3,0	0,9	2,3	0,7	6,8	2,5
R4	1,9	0,3	3,8	0,8	7,1	1,9
R5	2,9	1,3	2,8	0,4	7,8	3,4
R6	2,8	1,5	3,7	1,4	9,3	6,6
R7	2,6	1,0	3,2	0,8	8,6	4,1
R8	2,3	0,8	3,0	1,1	7,2	4,2
R9	1,6	0,5	4,3	0,7	6,7	2,3
R10	2,7	0,8	3,8	0,9	10,1	3,8

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že nejvíce rozporuplné riziko mezi hodnotiteli bylo riziko R6 – Nekonrovaný rozlet úlomků horniny při odpalu. Naopak riziko, ve kterém byla dosažena největší shoda hodnotitelů je riziko R4 – Pád výtuže či zborcení oblouků. Pro tato rizika jsou vytvořeny histogramy četností hodnot rizik od jednotlivých hodnotitelů.

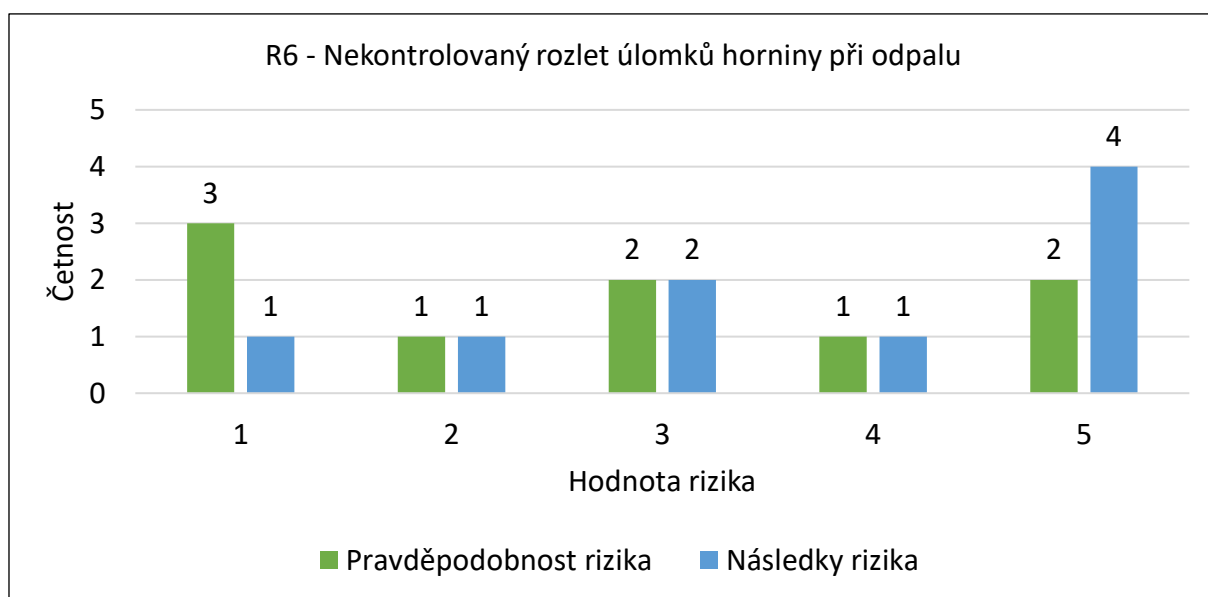
Při vyhodnocování rizik se samozřejmě nelze omezit jen na rizika nejvíce rozporupná, ale zejména na rizika s nejvyšší mírou závažnosti. Z tohoto pohledu jsou u metody NRTM dle průměrného názoru hodnotitelů nejvíce závažná následující rizika:

- R1 - Ohrožení zaměstnance uvolněnou horninou při těžbě
- R6 - Nekontrolovaný rozlet úlomků horniny při odpalu
- R10 - Pád zaměstnance z výšky

Jelikož u metody NRTM lze provádět rozpojovací práce rovněž trhacím způsobem, zařadila jsem riziko spojené s nekontrolovatelným rozletem úlomků horniny při odpalu již do metody NRTM, ačkoliv totožné riziko s podobnými hodnotami se vyskytuje i u metody Drill & Blast, kde ovšem s ohledem na opakování otázek v dotazníku není toto riziko znovu uvedeno.



Obrázek 46 Histogram výsledků s nejmenším rozptylem hodnot



Obrázek 47 Histogram výsledků s nejvyšším rozptylem hodnot

### 2.1.3. Příklad na referenční stavbě

Tabulka 3 prezentuje nejzávažnější rizika u stavby metodou NRTM stanovené dle projektové dokumentace.

Tabulka 3 Nejzávažnější rizika při stavbě tunelu Prešov [14]

Proces	Popis rizika	P	N	H	mR	Prevence rizika	OOPP
vrtání vývrtů pro TP	prasknutí hydraulické nebo pneumatické hadice	3	4	3	36	pravidelná kontrola hadic, svorek a objímek, objímku nenahrazovat drátem, poškozené hadice nepoužívat	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba
	poranění při ručním vrtání	3	4	3	36	při vrtání ručním vrtacím kladivem nutno použít mechanickou podporu - pachole, v dosahu vrtačky pouze vrtač - obsluha	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba
	navrtání vodonosné části masivu	3	4	3	36	dodržení TP při rozpojování, stanovení bezpečné vzdálenosti pro zaměstnance	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba
instalace armovýtzuže	poranění o ostré konce armovýtzuže	3	4	3	36	OOPP, obezřetná manipulace s prvky armovýtzuže	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba
strojní stříkání betonu	poranění očí, obličeje	4	4	4	64	dodržení TP, bezpečná vzdálenost, OOPP	ochranné brýle, popř. obličejový štít
	vdechnutí rozptýlených částic ve vznosu	3	4	3	36	bezpečná vzdálenost, OOPP, dodržení projektované kapacity větrání	respirátor
vyrovnání tvaru líce primárního ostění z pohyblivé pracovní plošiny	překročení nosnosti, přetížení	3	5	3	45	dodržení předepsané nosnosti stanovené výrobcem, nosnost je součástí označení plošiny	-
vyrovnání podkladů primárního ostění pod	zasažení těla a očí směsí a odraženými částicemi	3	5	3	45	při zasažení očí vyplachovat proudem čisté vody alespoň 15 min., borová voda, lékař, Při požití vypít cca 0,5 l vody, vyhledat lékařskou pomoc	respirátor, ochranný štít nebo brýle, ochrana sluchu, reflexní pracovní oděv, gumové rukavice, gumové boty (holínky).



	zasažení kmitající výstupní koncovkou (tryskou)	3	5	3	45	při provozu stříkacího zařízení se nikdo, kromě obsluhy nesmí zdržovat v dosahu pracovního orgánu stříkacího stroje a výstupní koncovky (trysky)	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba
	zasažení zaměstnanců uvolněnou, roztrženou hadicí	3	5	3	45	dopravní hadice kotvit proti rozkmitání, spojení spojkami, v místě spojení nesmí být zúžení. Zámkové spoje očistit a pevně zavřít.	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba
	zvýšená prašnost u sila a stříkacího stroje	3	5	3	45	stříkací stroj umístit tak, aby nedocházelo k vzájemnému ohrožování prašností obsluhy stroje a obsluhy trysky	ochrana dýchacích cest - respirátor
	ucpání hadic k trysce a profukování stlačeným vzduchem	3	5	3	45	hadice bez ostrých zlomů, přehýbání, Při čištění hadic stlačeným vzduchem volný prostor před výfukem pro profukovaný materiál	-
	dráždivé účinky na oči, dýchací orgány, kůži	3	5	3	45	nezakryté části těla musí být chráněny nanesenou vrstvou ochranného krému, při práci nejíst a nepít, při přestávkách a po práci důkladně umýt ruce a ošetřit pokožku reparačním krémem	respirátor, ochranný štít nebo brýle, ochrana sluchu, reflexní pracovní oděv, gumové rukavice, gumové boty (holínky).
položení (nastřelení) podkladové geotextilie na upravené primární ostění	vstup do ohroženého prostoru, zranění osob	3	5	3	45	vymezení a zajištění ohroženého prostoru, zahrazení, výstražné tabulky, střežení hlídkami	-
	hluk při vstřelování	5	3	3	45	dodržení technologického postupu	protihluková ochranná přilba s dvojitým ochranným štítem

## 2.2. BOZP u NTM

### 2.2.1. Popis rizik

- R1 - Úraz pracovníka způsobený vrtacím vozem
- R2 - Zasažení očí emulzní trhavinou
- R3 - Předčasný roznět při nesprávné manipulaci s trhavinou nebo rozbuškou
- R4 - Selhání rozbušek či náloží
- R5 - Přiotrávení zaměstnance zplodinami po odpalu
- R6 - Pád kusu rubaniny z korby nákladního vozidla
- R7 - Zasažení zaměstnance padajícím kusem horniny při ručním začištění výrubu.
- R8 - Pád zaměstnance z koše výsuvné plošiny
- R9 - Pád svorníku při jeho osazování
- R10 - Zasažení očí při upínání svorníků injektáží
- R 11 - Pád odpadlé vrstvy SB na zaměstnance

Přijatá opatření k definovaným rizikům a prvky OOPP:

R1

- Vymežit pracovní a nebezpečný prostor stroje a zakázat pobyt v tomto prostoru
- Pohybovat se dlouhodobě v blízkém okolí stroje bez chráničů sluchu
- Zakázáno zdržovat se v okolí stroje při manipulaci se strojem
- Při nutné práci v pracovním prostoru stroje je nutné přerušit provoz vrtacího stroje
- OOPP – ochrana sluchu, přilba, reflexní pracovní oděv

R2

- Dodržení technologického postupu při práci s trhavinou
- OOPP – Ochranné brýle nebo ochranný štít, pracovní rukavice

R3

- Je zakázáno využívat poškozené rozbušky nebo trhaviny a manipulovat s nimi neodborným způsobem
- Minimalizovat manipulaci s roznětným vedením, v nutném případě manipulace jen dovoleným způsobem
- Dodržení plánu trhacích prací

R4

- Kontrola nezávadnosti rozbušek a náložek
- Kontrola kvality bleskovice a ostatních částí vedení

R5

- Dodržení časové přestávky po odpalu
- Měření kvality vzduchu, zejména O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>
- Je zakázáno neodborně manipulovat s ventilačním systémem
- OOPP v případě nutnosti vstupu do nevyvětraného tunelu – dýchací přístroj, respirátor

R6

- Zákaz pohybu v místě nakládky rubaniny na vozidlo
- Pohyb vozidel a pracovníků jen po vyznačených cestách
- OOPP – přilba

R7

- Dodržení technologického postupu (zejména postup čištění od vrcholu klenby k patě)
- Zákaz pohybu v prostoru s rizikem dopadu uvolněné horniny
- OOPP – přilba, ochranné brýle, ochranný oděv

R8

- OOPP – postroj se systémem zachycení pádu

R9

- Je zakázáno zdržovat se v prostoru v blízkosti plošiny sloužící pro instalaci svorníků
- OOPP – Gumové rukavice pro jejich lepší přilnavost, přilba, ochranné brýle

R10

- Postup dle technologického postupu pro osazování svorníků
- OOPP – Ochranné brýle nebo ochranný štít

R11

- Zákaz vstupu do prostor s čerstvým SB do doby, než SB získá minimální potřebnou pevnost
- Zákaz pohybu pracovníků v prostoru stroje pro aplikaci SB
- OOPP – přilba, ochranný oděv, respirátor, ochranné brýle

## 2.2.2. Vyhodnocení rizik

Tabulka 4 Souhrnné vyhodnocení rizik u metody Drill & blast (NTM)

Riziko	H1			H2			H3			H4			H5			H6			H7			H8			H9		
	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR
R1	1	3	3	4	4	16	2	3	6	1	4	4	2	4	8	1	2	2	1	3	3	1	5	5	1	4	4
R2	2	4	8	4	2	8	3	4	12	2	4	8	3	3	9	2	3	6	2	4	8	1	4	4	1	3	3
R3	2	5	10	4	5	20	2	4	8	1	5	5	2	5	10	1	5	5	1	5	5	3	5	15	1	5	5
R4	1	4	4	2	2	4	2	3	6	2	5	10	3	5	15	2	5	10	1	3	3	3	4	12	2	3	6
R5	3	3	9	4	4	16	3	3	9	1	4	4	3	5	15	1	2	2	1	3	3	3	3	9	2	2	4
R6	4	2	8	4	4	16	3	3	9	2	5	10	4	4	16	1	4	4	2	4	8	3	3	9	4	3	12
R7	3	4	12	4	4	16	3	4	12	2	4	8	4	4	16	3	3	9	3	5	15	4	5	20	3	3	9
R8	2	3	6	2	3	6	2	5	10	1	5	5	3	4	12	1	4	4	1	4	4	1	3	3	2	3	6
R9	4	2	8	3	3	9	2	3	6	2	3	6	3	3	9	2	3	6	2	3	6	3	3	9	3	2	6
R10	3	3	9	3	2	6	2	4	8	2	4	8	4	3	12	3	3	9	2	4	8	2	3	6	2	3	6
R11	2	2	4	3	4	12	2	4	8	2	5	10	3	3	9	2	3	6	3	3	9	2	4	8	2	3	6

Tabulka 5 Základní statistické vyhodnocení rizik u metody Drill & blast (NTM)

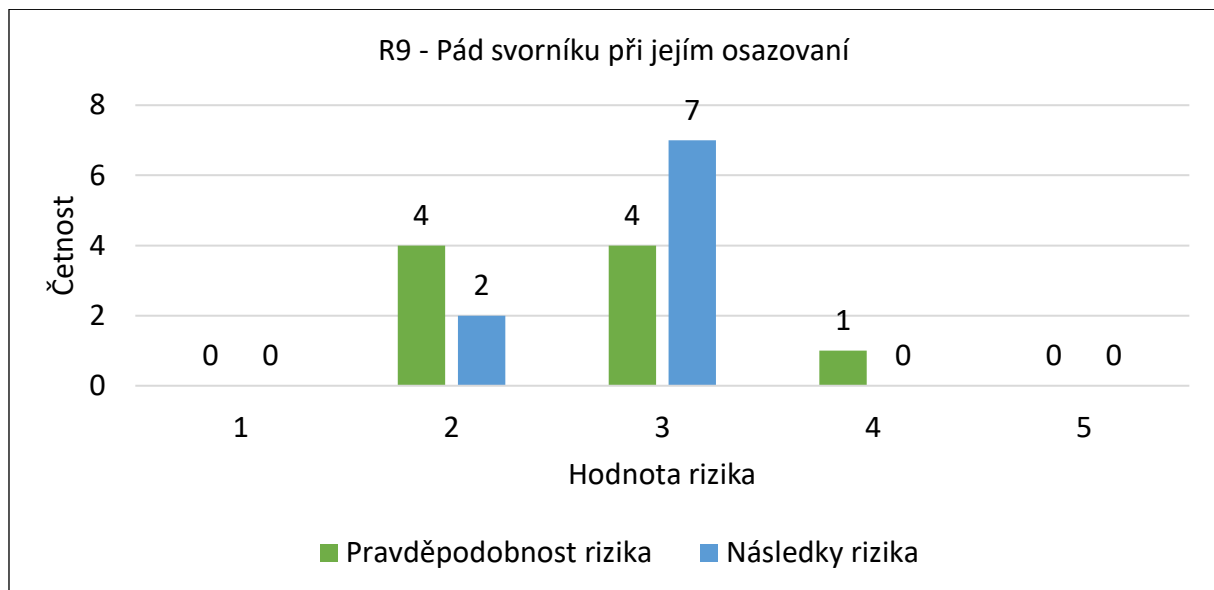
Riziko	P		N		mR	
	průměr	smodch	průměr	smodch	průměr	smodch
R1	1,6	1,0	3,6	0,8	5,7	4,0
R2	2,2	0,9	3,4	0,7	7,3	2,5
R3	1,9	1,0	4,9	0,3	9,2	5,0
R4	2,0	0,7	3,8	1,0	7,8	3,9
R5	2,3	1,1	3,2	0,9	7,9	4,8
R6	3,0	1,1	3,6	0,8	10,2	3,7
R7	3,2	0,6	4,0	0,7	13,0	3,8
R8	1,7	0,7	3,8	0,8	6,2	2,8
R9	2,7	0,7	2,8	0,4	7,2	1,4
R10	2,6	0,7	3,2	0,6	8,0	1,8
R11	2,3	0,5	3,4	0,8	8,0	2,3

U metody Drill & Blast bylo jako nejméně rozporupné riziko z pohledu hodnotitelů riziko R9 – Pád svorníku při jeho osazování. Nejvíce rozporupné bylo riziko R5 - Přiotrávení zaměstnance zplodinami po odpalu.

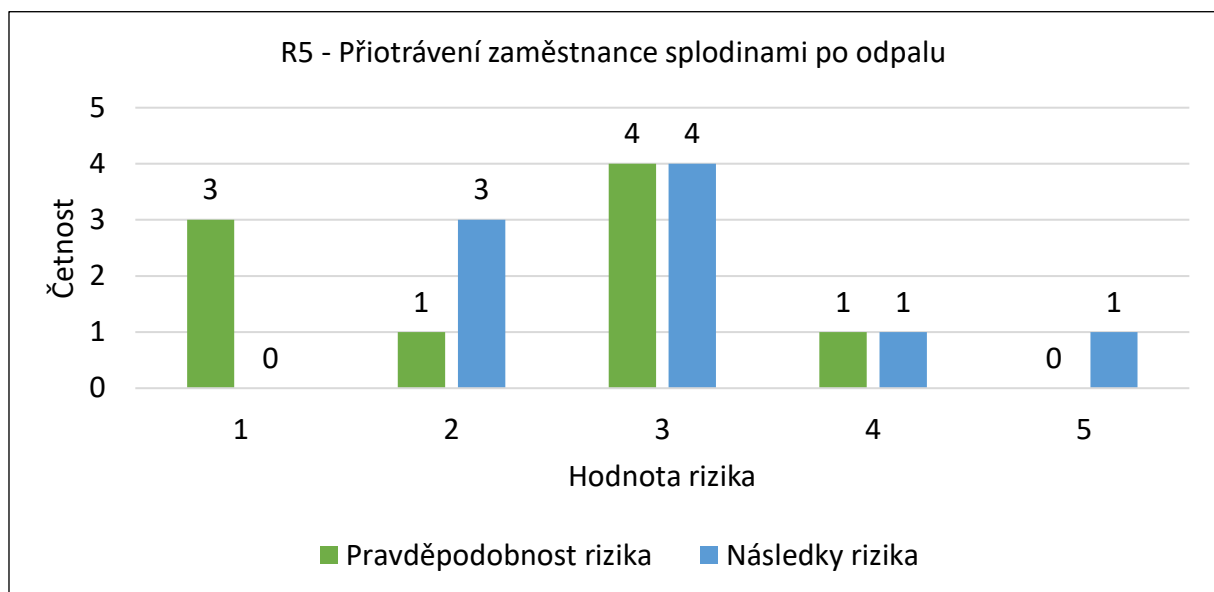
Z hlediska absolutní hodnoty míry rizika lze za nejzávažnější považovat následující:

- R3 - Předčasný roznět při nesprávné manipulaci
- R6 - Pád kusu rubaniny z korby nákladního vozidla
- R7 - Zasažení zaměstnance padajícím kusem horniny při ručním začištění výrubu.

Opomenout samozřejmě nelze ani riziko R6 - Nekontrolovaný rozlet úlomků horniny při odpalu (hodnota rizika 9,3), které bylo vyhodnoceno v předchozí metodě.



Obrázek 48 Histogram výsledků s nejmenším rozptylem hodnot u NTM



Obrázek 49 Histogram výsledků s nejvyšším rozptylem hodnot u NTM

### 2.2.3. Příklad na referenční stavbě

Tabulka 7 popisuje nejzávažnější vyhodnocená rizika při stavbě silničních tunelů v Moane v Norsku. S ohledem na realizaci stavebního díla ve Skandinávii byla rizika vyhodnocena dle Norských zvyklostí a standardů. Oproti metodice vyhodnocování rizik v podmínkách České republiky, prezentovaných v kapitole 1.3.4, jsou rizika určována na základě následující tabulky.

Tabulka 6 Určení hodnoty rizika dle standardů v Norsku [20]

Pravděpodobnost	Důsledek				
	K1 neškodná	K2 nebezpečná	K3 kritická	K4 velmi kritická	K5 - katastrofální
S5 častá	5	25	50	125	375
S4 velmi pravděpodobná	4	20	40	100	300
S3 pravděpodobná	3	15	30	75	225
S2 málo pravděpodobná	2	10	20	50	150
S1 nepravděpodobná	1	5	10	25	75

Kde pravděpodobnost (S) nabývá hodnot od 1 (S1) do 5 (S5) a důsledek (K) od 1 (K1) do 75 (K5). Na základě hodnot rizik je provedeno jejich zařazení do kategorií dle závažnosti.

„Vysoké riziko (červená):

- *Nepřípustné riziko*
- *Musí být zavedena zmírňující opatření ke snížení rizika*

Střední riziko (žlutá):

- *Riziko není překážkou pro provádění operace, ale implementace zmírňujících opatření by měla být posouzena jednotlivě*

Nízké riziko (zelená):

- *Akceptovatelné riziko, použití zmírňujících opatření by mělo být posouzeno s ohledem na nákladovou efektivnost.“ [20]*

Tabulka 7 Určení rizik při stavbě tunelu Moane v Norsku [20]

Operace	Nežádoucí událost	Popis	Posouzení rizika
Průzkumné předvrtví	Pád horniny na čelbě	Při vrtání může vlivem otřesů docházet k odpadávání rozvolněné horniny na čelbě	75
Vrtání pro odpal	Pád horniny na čelbě	Při vrtání může vlivem otřesů docházet k odpadávání rozvolněných bloků horniny na čelbě	75
Manipulace s vrtacím vozem	Úraz el. proudem	Při zapojování/odpojování přívodního kabelu může nesprávnou manipulací dojít ke zranění el. proudem	50
Nabíjení čelby	Předčasný roznět	Při nesprávné manipulaci může dojít k předčasnému roznětu jedné nebo více rozbušek/náloží.	50
Nabíjení čelby	Předčasný roznět	Při manipulaci s vrtacím vozem nebo vrtání v blízkosti nabitých vrtů může dojít k roznětu okolních rozbušek a náloží	50
Odpal	Úraz/smrtelný úraz	Při odpalu může dojít ke zranění/usmrcení pracovníků, kteří se nachází uvnitř nebezpečné zóny	50
Odtěžování	Úraz	Při pohybu těžké mechanizace v tunelu může dojít ke zranění pracovníků pohybujících se v pracovním prostoru strojů	50

Odtěžování	Pád kusů rubaniny	Při nakládání a odtěžování rubaniny může dojít k pádu kusů rubaniny ze lžice nakladače případně z korby nákladního vozidla a to i při cestě tunelem k portálu	50
Odtěžení	Pád kusů horniny	V průběhu těžby může dojít k pádu rozvolněné horniny v části tunelu nezajištěné stříkaným betonem	75
Strojní čištění výrubu	Pád bloků horniny	Při strojním čištění dochází ke shazování rozvolněných bloků horniny	75
Strojní čištění výrubu	Odletující úlomky horniny	Při strojním čištění výrubu zvláště za použití impaktoru může docházet k odletu úlomků horniny od pracovního nástroje. Úlomky mohou odletovat i při pádu bloků horniny na počvu tunelu	50
Strojní čištění výrubu	Úraz	Při manipulaci s mechanizací pro strojní čištění může dojít ke zranění pracovníků pohybujících se v pracovním prostoru stroje	50
Geodetické měření	Úraz	Při měření v průběhu mechanického začištění výrubu může dojít ke zranění stroji pracujícími v tunelu	50
Ruční čištění výrubu	Pád bloků horniny	Při ručním čištění dochází ke shazování rozvolněných bloků horniny	225
Ruční čištění výrubu	Úraz	Při pádu kusů horniny na počvu tunelu může dojít k odletu částí horniny ve všech směrech.	75
Kotvení	Pád horniny/kusů stříkaného betonu	Při vrtání může vlivem otřesů docházet k odpadávání rozvolněných bloků horniny/kusů nezralého stříkaného betonu v blízkosti vrtu	75
Jehly a skalní pásy	Pád horniny/kusů stříkaného betonu	Při vrtání může vlivem otřesů docházet k odpadávání rozvolněných bloků horniny/kusů nezralého stříkaného betonu v blízkosti vrtu	75
Stříkaný beton	Úraz	Při manipulaci se strojem a auto-domíchávačem a při samotném nástřiku může dojít k poranění pracovníků nacházejících se v nebezpečné blízkosti stroje	50
Stříkaný beton	Zasažení očí	Při stříkání betonu dochází k odrazu a odletování kameniva, a drátků či vláken, které mohou zasáhnout oči pracovníků stojících v blízkosti pracoviště	50
Výztužné oblouky ze stříkaného betonu	Pád stříkaného betonu	Při nesprávném nanesení stříkaného betonu na výztužné pruty může dojít k jeho pádu.	75
Výztužné oblouky ze stříkaného betonu	Pád z výšky	V průběhu prací na osazení kotev a instalaci výztuže může dojít k pádu pracovníka/ů z koše.	75

## 2.3. BOZP u mechanizovaného tunelování

### 2.3.1. Popis rizik

- R1 - Poranění zaměstnance při montáži stroje
- R2 - Ujetí stroje ze startovacího rámu
- R3 - Poranění zaměstnance v těžební komoře
- R4 - Průval vody či nebezpečných plynů z těžební komory
- R5 - Pád segmentu na zaměstnance
- R6 - Přitlačení končetiny zaměstnance hydraulickým lisem k segmentu ostění
- R7 - Přiražení končetiny zaměstnance mezi segmenty
- R8 - Pád zaměstnance z výšky
- R9 - Poškození potrubí rozvodů
- R10 - Úraz zaměstnance elektrickým proudem

Přijatá opatření k definovaným rizikům a prvky OOPP:

R1

- Dodržení TP při montáži stroje
- OOPP – pracovní obuv, rukavice, přilba a reflexní pracovní oděv

R2

- Instalace stroje dle TP a vyznačení nebezpečného prostoru v okolí stroje

R3

- Zabezpečení oblasti těžební komory a zákaz vstupu do tohoto prostoru

R4

- V případě pravděpodobného průvalu vody z těžební komory vydá strojník stroje pokyn k přechodu stroje do uzavřeného pracovního módu
- Při erupci plynů detekované přístroji nebo čichem je nutné nasadit záchranné přístroje a vydat pokyn k evakuaci čelby
- OOPP – záchranný (dýchací) přístroj

R5

- Minimalizace počtu pracovníků nutných k instalaci
- Instalace segmentů v souladu s TP

R6

- Zákaz vstupu do oblasti stažených hydraulických válců
- Minimalizace počtu pracovníků při instalaci betonových tybinků
- Instalace tybinků v souladu s TP
- Kontrola prostoru mezi válci a ostěním obsluhou stroje
- OOPP – reflexní oděv, ochranná obuv

R7

- Minimalizace počtu pracovníků při instalaci betonových tybinků a manipulaci s nimi
- Zákaz vstupu mezi segmenty při jejich ukládání
- Instalace tybinků v souladu s TP
- OOPP – ochranná obuv

R8

- Zajištění individuálního nebo kolektivního jištění

- OOPP – Jistící postroj

R9

- Řádné označení veškerých rozvodných potrubí a jejich ochrana
- Pravidelná kontrola slabých článků potrubních rozvodů, tj. zejména spojů

R10

- Revize elektrických zařízení, kontrola kabelů
- Zákaz využívat poškozené přístroje nebo kabely
- OOPP – Ochranné rukavice, pracovní obuv

### 2.3.2. Vyhodnocení rizik

Tabulka 8 Souhrnné vyhodnocení rizik u metody mechanizovaného tunelování

Riziko	H1			H2			H3			H4			H5			H6			H7			H8		
	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR	P	N	mR
R1	1	2	2	2	3	6	2	4	8	4	4	16	2	3	6	2	2	4	3	3	9	3	1	3
R2	1	3	3	2	3	6	1	5	5	2	5	10	1	4	4	1	4	4	1	5	5	1	3	3
R3	3	3	9	2	4	8	3	4	12	4	5	20	3	5	15	2	4	8	4	5	20	1	3	3
R4	2	2	4	2	4	8	2	4	8	3	5	15	2	4	8	3	3	9	4	5	20	3	3	9
R5	2	4	8	2	5	10	1	5	5	3	5	15	2	5	10	1	5	5	2	5	10	2	5	10
R6	1	3	3	3	4	12	1	4	4	3	5	15	3	5	15	1	5	5	3	4	12	1	5	5
R7	1	3	3	3	4	12	2	4	8	3	5	15	2	4	8	1	5	5	2	4	8	3	3	9
R8	2	3	6	2	5	10	2	5	10	3	4	12	2	4	8	2	4	8	2	3	6	2	2	4
R9	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	1	3	3	3	4	12	5	2	10	2	1	2
R10	1	4	4	2	4	8	1	4	4	3	5	15	1	4	4	1	5	5	4	4	16	1	4	4

Tabulka 9 Základní statistické vyhodnocení rizik u metody mechanizovaného tunelování

Riziko	P		N		mR	
	průměr	smodch	průměr	smodch	průměr	smodch
R1	2,4	0,9	2,8	1,0	6,8	4,1
R2	1,3	0,4	4,0	0,9	5,0	2,1
R3	2,8	1,0	4,1	0,8	11,9	5,7
R4	2,6	0,7	3,8	1,0	10,1	4,7
R5	1,9	0,6	4,9	0,3	9,1	3,0
R6	2,0	1,0	4,4	0,7	8,9	4,8
R7	2,1	0,8	4,0	0,7	8,5	3,5
R8	2,1	0,3	3,8	1,0	8,0	2,4
R9	2,4	1,1	2,8	0,8	6,4	3,1
R10	1,8	1,1	4,3	0,4	7,5	4,8

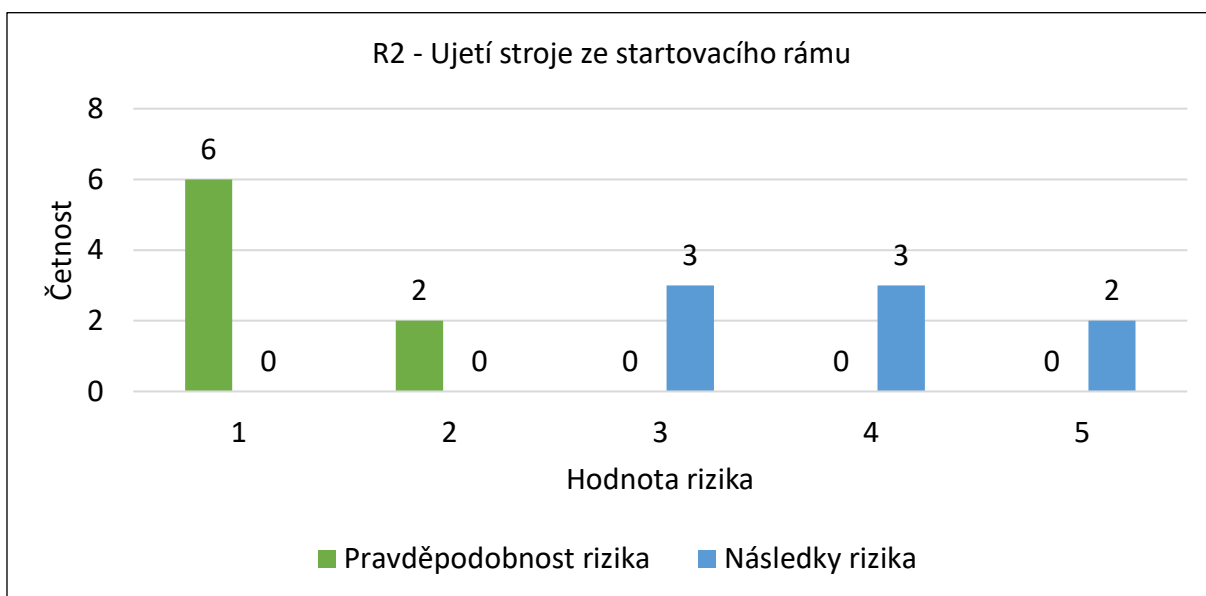


V případě metody mechanizovaného tunelování jsou výsledky relativně shodné. Největší shoda panovala mezi hodnotiteli na riziku R2 – Ujetí stroje ze startovacího rámu. Největší rozdíly v hodnocení byly u rizika R3 – Poranění zaměstnance v těžební komoře.

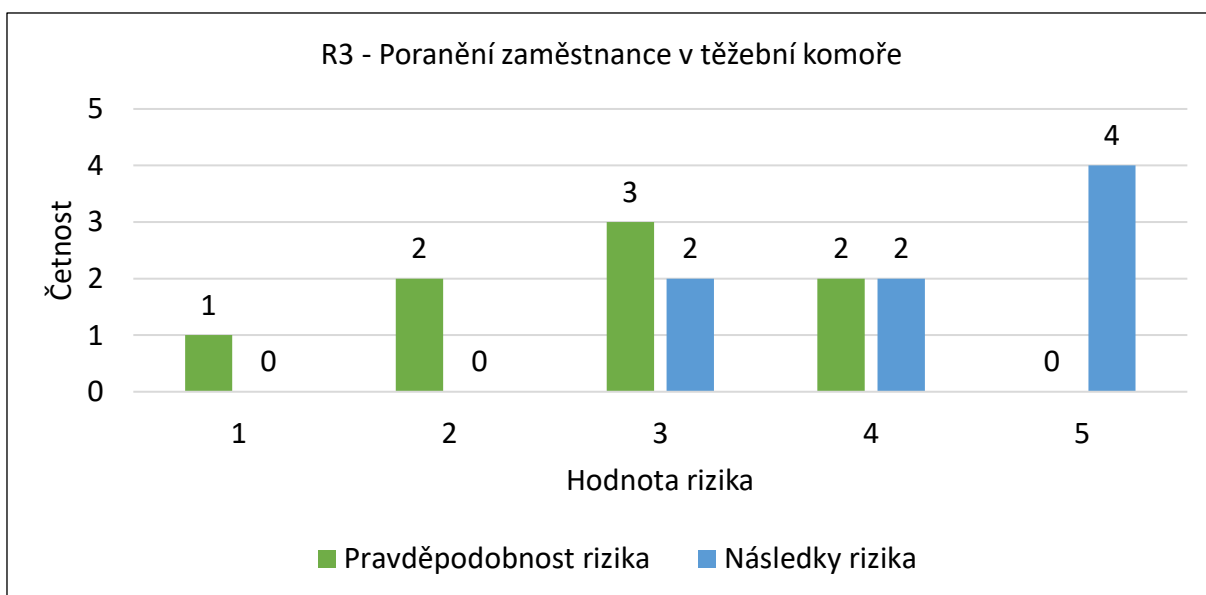
Z hlediska absolutní hodnoty rizika jsou nejzávažnější následující:

- R3 - Poranění zaměstnance v těžební komoře
- R4 - Průval vody či nebezpečných plynů z těžební komory
- R5 - Pád segmentu na zaměstnance

Je důležité zmínit skutečnost, že vyhodnocování metody mechanizovaného tunelování probíhalo jen z 8mi dotazníků, jelikož jeden z odborných hodnotitelů rizika u této metody z důvodu nízké zkušenosti s touto metodou neohodnotil.



Obrázek 50 Histogram výsledků s nejmenším rozptylem hodnot u Metody mechanizovaného tunelování



Obrázek 51 Histogram výsledků s nejvyšším rozptylem hodnot u Metody mechanizovaného tunelování

### 2.3.3. Příklad na referenční stavbě

Součástí poskytnuté dokumentace k referenční stavbě železničního tunelu Ejpovice byl registr rizik. Tabulka 10 prezentuje výběr nejzávažnějších rizik z tohoto registru s prevencí rizika a nutnými osobními ochrannými pomůckami.

Tabulka 10 Nejzávažnější rizika při stavbě Ejpovických tunelů [21]

Proces	Popis rizika	P	N	H	mR	Prevence rizika	OOPP
doprava a vykládka rozměrných dílů EPBM a tybinků na ZS	převržení vysokozdvizného vozíku	3	5	3	45	dodržení max. rychlosti, technických podm. použití (úklony a vozíku pevnosti cesty), nejezdit se zdviženým břemenem	-
	přiražení zaměstnance zavěšeným břemenem	3	5	3	45	odborně i zdravotně způsobilý vazač, zajištění komunikace s jeřábníkem, zajištění technického stavu zdvihacích zařízení	reflexní vesta
montáž EPBM	pád materiálu z vyšší pracovní úrovně na zaměstnance	3	4	3	36	zajištění materiálu a náradí proti pádu	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba, ochrana zraku
proces zaražení štítu do masivu	poranění odpadávajícími úlomky betonu při zaražení	3	5	3	45	zajištění ohroženého prostoru, dodržení TP	rukavice, reflexní pracovní oděv, pracovní obuv, přilba, ochrana zraku
	zvýšená prašnost při zaražení	3	5	3	45	kropení čelby před a při zaražení	ochrana dýchacích cest
proces rozpojování masivu	poranění v těžební komoře	5	5	5	125	zákaz vstupu do komory v době rozpojování	-
vyztužování betonovými tybinkami	přitlačení končetiny hydraulickým válcem k ostění	3	4	3	36	dodržení TP, při instalaci pouze nezbytný počet zaměstnanců, nevstupovat mezi stažené hydr. válce a ostění, obsluha před vysunutím válců musí zkontrolovat prostor mezi válci a ostěním	HIC reflexní oděv
doprava tybinků a ostatního materiálu pomocí MSV	kolize se zaměstnancem	3	5	3	45	dodržení max. povolené rychlosti, zpomalení a akustická signalizace při vizuálním kontaktu, je zakázán průjezd, není-li zaměstnanec na bezpečnostní lávce	HIC reflexní oděv
nakládka a vykládka MSV	přiražení zaměstnance zavěšeným břemenem	3	5	3	45	odborně i zdravotně způsobilý vazač, zajištění komunikace s jeřábníkem, zajištění technického stavu zdvihacích zařízení	reflexní vesta

## 2.4. Porovnání

### 2.4.1. Vzájemné porovnání vyhodnocených rizik

Porovnávání rizik vzájemně mezi jednotlivými metodami je záležitost ošemetná, jelikož se jedná o porovnání neporovnatelného. Tak, jak se vyvíjely technologické postupy jednotlivých metod s ohledem na místní geologické podmínky, vyvíjela se i bezpečnost práce. V dnešní době lze tedy konstatovat, že již volba vhodné tunelovací metody s ohledem na geologické podmínky zajistí dostatečnou bezpečnost při provádění díla, pokud je dodržena platná legislativa a stanovené technologické postupy.

Za porovnání však stojí vliv zkušeností s vyhodnocováním na celkovou určenou hodnotu rizika. Níže uvedená Tabulka 11 vyhodnocuje rozdíly mezi určenou mírou rizika odborníky a mnou. Z rozdílu hodnot rizik je zřejmé, že nejvyšší shoda panovala u Norské tunelovací metody. Tento fakt příkládám skutečnosti, že mám s Norskou tunelovací metodou největší osobní zkušenosti s ohledem na několika měsíční působení při výstavbě tunelů Norskou tunelovací metodou ve Skandinávii na pozici Student-technik a překladatel. Naopak nejvyšších rozdílů bylo dosaženo u Metody mechanizovaného tunelování. V této metodě jsem dosáhla tří absolutně nejvýznamnějších rozdílů. Velice podceněna byla následující rizika:

- R4 - Průval vody či nebezpečných plynů z těžební komory
- R6 - Přitlačení končetiny zaměstnance hydraulickým lisem k segmentu ostění
- R7 - Přiražení končetiny zaměstnance mezi segmenty

Relativně příznivé rozdíly  $\Delta mR$  byly dosaženy u Nové Rakouské tunelovací metody. Nová Rakouská tunelovací metoda má široké spektrum využití a lze ji využít v širokém spektru geologických podmínek. Rovněž rozpojování hornin může probíhat pomocí trhacích prací nebo těžké mechanizace. Z důvodu několika společných nebo velmi podobných pracovních procesů s NTM jsem byla schopna aplikovat a přenést zkušenosti s NTM pro přesnější určení a vyhodnocení rizik spojených s Novou Rakouskou tunelovací metodou.

Tabulka 11 Vyhodnocení rozdílů míry rizika stanovené osobně a odborníky

Metoda	Riziko	Průměrná odborníci			Annette Larsson			Rozdíl $\Delta mR$
		P	N	mR	P	N	mR	
Nová Rakouská tunelovací metoda	R1	3,0	4,0	12,1	2	4	8	4,1
	R2	2,2	4,2	9,5	2	4	8	1,5
	R3	3,0	2,3	7,1	2	2	4	3,1
	R4	1,9	3,8	7,3	2	3	6	1,3
	R5	2,9	2,8	7,6	3	3	9	1,4
	R6	2,8	3,7	9,5	4	2	8	1,5
	R7	2,6	3,2	8,5	3	3	9	0,5
	R8	2,3	3,0	7,9	1	2	2	5,9
	R9	1,6	4,3	7,0	1	4	4	3,0
	R10	2,7	3,8	10,3	3	3	9	1,3

Norská tunelovací metoda	R1	1,6	3,6	6,0	1	3	3	3,0
	R2	2,2	3,4	7,3	2	4	8	0,8
	R3	1,9	4,9	9,1	2	5	10	0,9
	R4	2,0	3,8	8,3	1	4	4	4,3
	R5	2,3	3,2	7,8	3	3	9	1,3
	R6	3,0	3,6	10,5	4	2	8	2,5
	R7	3,2	4,0	13,1	3	4	12	1,1
	R8	1,7	3,8	6,3	2	3	6	0,3
	R9	2,7	2,8	7,1	4	2	8	0,9
	R10	2,6	3,2	7,9	3	3	9	1,1
	R11	2,3	3,4	8,5	2	2	4	4,5
Metoda mechanizovaného tunelování	R1	2,4	2,8	7,4	1	2	2	5,4
	R2	1,3	4,0	5,3	1	3	3	2,3
	R3	2,8	4,1	12,3	3	3	9	3,3
	R4	2,6	3,8	11,0	2	2	4	7,0
	R5	1,9	4,9	9,3	2	4	8	1,3
	R6	2,0	4,4	9,7	1	3	3	6,7
	R7	2,1	4,0	9,3	1	3	3	6,3
	R8	2,1	3,8	8,3	2	3	6	2,3
	R9	2,4	2,8	6,4	2	3	6	0,4
	R10	1,8	4,3	8,0	1	4	4	4,0

### 2.4.2. Legislativní specifika báňského díla

Specifika báňského díla z hlediska legislativy spočívají zejména v požadavcích na odbornou způsobilost pracovníků podílejících se na přípravě a realizaci báňského díla. Zatímco „Zákon č. 262/2006 Sb.“ [Z1] a zákon „č. 183/2006 sb.“ [Z13] je společný, „Zákon č. 309/2006 Sb. Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci)“ [Z2] stanovuje rozdíly v potřebné odborné způsobilosti pro pozici koordinátora a odborně způsobilé osoby k zajišťování úkolů v prevenci rizik.

Další rozdílnost lze najít v požadavcích na bezpečnost práce a ochranu zdraví při práci. Nařízení vlády „591/2006 Sb. Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništi“ [Z3] a č. „362/2005 Sb. Nařízení vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovišti s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky“ [Z4] definují základní požadavky s ohledem na problematiku BOZP, avšak tyto nařízení se nevztahují na hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem. Tuto problematiku u činnosti prováděné hornickým způsobem řeší zákon „61/1988 sb. - Zákon České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě“ [Z6] a zejména vyhláška č. 55/1996 Vyhláška Českého báňského úřadu o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti při činnosti prováděné hornickým způsobem“ [Z8].

### 2.4.3. Diskuze výsledků

Tato bakalářská práce měla dva teoretické (A a B) a dva praktické cíle (C a D).

Cíl A, tedy základní popis a specifika tunelovacích metod využívaných v Evropě byl proveden v kapitolách 1.2.1, 1.2.2 a 1.2.3. Tyto kapitoly obsahují zevrubný popis v Evropě hojně využívaných tunelovacích metod. Jedná o Norskou tunelovací metodu využívanou zejména ve Skandinávii, Novou Rakouskou tunelovací metodu, kterou lze považovat za v současnosti nejpoužívanější konvenční způsob ražby tunelů s uplatněním napříč Evropou a metodu mechanizovaného tunelování. Pro všechny tunelovací metody popsané v rešeršní části byly představeny referenční stavby, které byly vyhodnoceny v praktické části BP.

Cíl B byl naplněn v kapitolách 1.3.2 a 1.3.3, kde byla představena problematika bezpečnosti a ochrany zdraví při práci u činnosti prováděné hornickým způsobem z pohledu stavebního a báňského díla. V těchto kapitolách byly představeny například základní požadavky na odborné způsobilosti osob podílejících se na zajišťování bezpečnosti při práci (odborně způsobilá osoba, koordinátor), požadavky na osobní ochranné pracovní prostředky pracovníků, školení pracovníků, požadavky na existenci a podobu havarijního plánu, hlášení a vypořádání se s pracovním úrazem nebo požadavky na pracovní prostředí v podzemí, tj. zejména osvětlení podzemních prostor a kvalita ovzduší. Z hlediska legislativy byly dále popsány práva báňských inspektorů v procesu realizace díla prováděného hornickým způsobem.

Praktická část bakalářské práce se zabývala představením problematiky identifikace a vyhodnocování rizik, vlivu lidského faktoru a zkušenosti při této činnosti u jednotlivých tunelovacích metod (cíl C) a zhodnocením rizikovosti jednotlivých tunelovacích metod s ohledem na okrajové podmínky limitující jejich využití (cíl D). Pro dosažení cíle C byl sestaven dotazník obsahující zhruba 10 rizik pro každou tunelovací metodu. Tento dotazník byl vyplněn autorkou práce a dále 8mi odborníky, zabývajícími se problematikou bezpečnosti práce a určování rizik při realizaci tunelů. Již při relativně malém statistickém souboru, který je určen odborností tématu, lze vysledovat následující:

- U některých rizik značené rozdíly v hodnotách P (pravděpodobnost), N (následek) a mR (míra rizika) i mezi odborníky
- Pozitivní vliv osobní zkušenosti autorky práce s Norskou Tunelovací metodou na stanovenou míru rizika (mR) ve srovnání s průměrnou hodnotou stanovenou odborníky

Celkové vyhodnocení dotazníku je provedeno v kapitolách 2.1.2, 2.2.2 a 2.3.2.

K naplnění cíle D posloužily ukázky stanovených hodnot rizik na skutečných projektech pro referenční stavby zmíněné v této práci. Z projektové dokumentace a technologických postupů byla vybrána nejzávažnější rizika a definovány činnosti, při kterých tato rizika hrozí. Dále byla představena bezpečnostní opatření a požadavky na osobní ochranné pracovní pomůcky, sloužící k minimalizaci vzniku rizikové situace nebo minimalizaci následků proběhnuvši rizikové situace. Na základě skutečně vyhodnocených rizik z realizovaných staveb lze alespoň definovat nejzávažnější rizika nebo činnosti s rizikem spojené:

- NRTM – u Nové Rakouské tunelovací metody lze za nejzávažnější rizikovou činnost považovat aplikaci stříkaného betonu, ať už se jedná o tvorbu primárního ostění nebo vyrovnání primárního ostění před pokládkou hydroizolace. Nebezpečí při aplikaci SB

spočívá například v zasažení částí těla nebo očí stříkaným betonem nebo zásahu pracovníka uvolněnou (prasklou) hadicí nebo její tryskou.

- NTM – nebezpečí spočívající u Norské tunelovací metody je spojeno zejména s pádem uvolněné horniny. Největší míra rizika se vyskytuje u ručního začištění výrubu nebo při vrtání průzkumných předvrtů a vrtů pro nabíjení čelby, kdy se mohou vlivem vibrací od vrtacího stroje uvolnit kousky horniny. Obdobně jako u NRTM, i u Norské tunelovací metody existuje riziko spojené s aplikací SB a poraněním zaměstnance provádějící tuto činnost.
- Metoda mechanizovaného tunelování vykazuje hlavní riziko v poranění zaměstnance v těžební komoře. Toto riziko je spojené zejména s výskytem zaměstnanců v oblasti těžební komory, kteří vyměňují řezné kotouče na řezné hlavě. Výskyt zaměstnanců v těžební komoře v době chodu razicího stroje je nepřipustný. Ostatní závažná rizika spojená s metodou mechanizovaného tunelování spočívají zejména s aplikací výztužných tybinků.

Vzájemné porovnání rizik u tunelovacích metod je záležitost velmi ošemetná, jelikož jednotlivé tunelovací metody mají velmi rozdílné okrajové podmínky. Při návrhu vhodné tunelovací metody je třeba brát v úvahu nejen geologickou situaci v trase budovaného tunelu, ale i časovou a finanční náročnost. Rovněž tvar průřezu tunelové trouby a budoucí plánované využití tunelu je nutné do návrhu ideální razicí metody zahrnout. Obecně lze říci, že za nejbezpečnější tunelovací metodu z hlediska ochrany zaměstnanců je možné považovat metodu mechanizovaného tunelování, která je zároveň rychlá a s ohledem na vysoké pořizovací náklady razicího stroje ekonomicky výhodná pro delší tunely.

## Závěr

V historii jsme byli svědky několika závažných havárií v průběhu realizace železničních nebo silničních tunelů, které vedly k mnoha zbytečným obětem na lidských životech nebo závažnému poškození životního prostředí. V mnoha průmyslových odvětvích jsou to právě katastrofy s různě závažnými následky, které zapříčiní změnu bezpečnostních protokolů, pravidel nebo postupů a případ budování podzemních staveb není výjimkou.

Tato bakalářská práce byla zaměřena na bezpečnost práce v tunelech. Práce se v rešeršní části zaměřila na základní tunelovací metody a legislativu při stavbě tunelu z pohledu stavebního díla a díla prováděného hornickým způsobem. V praktické části zaměřené na problematiku vyhodnocování rizik byla provedena studie vlivu zkušenosti při vyhodnocování a prevenci rizik.

V rámci bakalářské práce byly splněny veškeré zpočátku stanovené cíle, které jsou podrobněji prezentovány v přecházející kapitole. Závěrem lze konstatovat, že Česká republika disponuje kvalitní legislativou zajišťující prevenci rizik již od fáze přípravy projektové dokumentace až po dokončení díla a případné nehody jsou spíše „dílem náhody“ nebo selháním jednotlivce, než systémovou chybou v procesu budování podzemních staveb.



# Seznam obrázků

ZIMNÍ OLYMPIJSKÝ STADION V GJØVIKU V NORSKU. [25] .....	14
LAUFERŮV DIAGRAM URČUJÍCÍ DOBU STABILITY NEVYZTUŽENÉHO VÝRUBU. [02].....	17
PRŮBĚH NAPĚTÍ V MASIVU PO PROVEDENÍ VÝZTUŽE [11] .....	18
FENNER - PACHEROVA KŘIVKA [26] .....	19
ČLENĚNÍ VÝRUBU U NRTM [9] .....	20
ŘEZ SKLADBOU VYSTROJENÍ VÝRUBU TUNELU RAŽENÉ NRTM. [9] .....	21
GRAF VÝVOJE PODZEMNÍCH STAVEB V NORSKU [12].....	22
VYZTUŽOVACÍ KATEGORIE PŘI NTM - DIAGRAM GRIMSTAD-BARTON [6].....	23
SEKUNDÁRNÍ OSTĚNÍ HOTOVÉHO TUNELU RAŽENÉHO NTM [27] .....	24
POSTUP PRACÍ PŘI RAŽBĚ METODOU DRILL & BLAST [6].....	25
DRUHY VRTŮ A PŮSOBNÍ TRHAVINY PŘI ODPALU. [3].....	26
DRUHY VRTŮ [3].....	26
EJPOVICKÝ TUNEL [28] .....	28
ZÁKLADNÍ ČESKÉ NÁZVOSLOVÍ PRO PLNOPROFILOVÉ TUNELOVACÍ STROJE [5] .....	29
EVROPSKÉ ROZDĚLENÍ TUNELOVACÍCH STROJŮ TM [5] .....	30
TBM BEZ ŠTÍTU (S OCHRANNÝM ŠTÍTKEM)[29] .....	31
TBM S JEDNODUCHÝM ŠTÍTEM [13] .....	32
TBM S DVOJITÝM ŠTÍTEM [30] .....	32
SCHÉMA NEMECHANIZOVANÉHO ŠTÍTU [5] .....	33
A) ŠTÍT S POSTUPNÝM POBÍRÁNÍM V ČELBĚ OPATŘEN VÝLOŽNÍKOVOU FRÉZOU B) ŠTÍT S POSTUPNÝM POBÍRÁNÍM S TLAKOVĚ PODEPŘENOU ČELBOU S „TUNELBAGREM“ A ČÁSTEČNÝM MECHANICKÝM PAŽENÍM. [5] .....	34
ŠTÍTY BEZ TLAKOVÉ KONTROLY ČELBY A) ŠTÍT BEZ PODEPŘENÍ ČELBY, B) ŠTÍT S MECHANICKY PODEPŘENOU ČELBOU [5] .....	35
ŠTÍTY S PLNOPROFILOVÝM POBÍRÁNÍM ČELBY .....	35
PŘEHLEDNÁ SITUACE ÚSEKU PREŠOV ZÁPAD - PREŠOV JIH [14] .....	53
PŘEHLEDNÁ ZJEDNODUŠENÁ SITUACE TUNELU [15].....	54
VYSTROJOVACÍ TŘÍDA 5B [20] .....	54
PŘÍČNÝ ŘEZ TUNELU PREŠOV [14].....	55
PODÉLNÝ ŘEZ TUNELU PREŠOV S POSTUPEM PRACÍ [14].....	55
MAPA S VYZNAČENOU POLOHOU STAVBY [16] OBRÁZEK 29 -CELÁ TRASA E134 DAMÅSEN-SAGGREDA [19] 56	
MAPA E134 DAMÅSEN-SAGGREDA, TŘETÍ ÚSEK E134 TROLLERUDMOEN–SAGGREDA [16] .....	56
VIZUALIZACE E134 DAMÅSEN-SAGGREDA, TŘETÍ ÚSEK E134 TROLLERUDMOEN–SAGGREDA [21] .....	57
PŘÍČNÝ ŘEZ TUNELEM MOANE [20].....	57
VRTNÁ SOUPRAVA AMV [28] .....	58
VRTNÉ SCHÉMA VČETNĚ VYZNAČENÉHO MNOŽSTVÍ TRHAVINY V JEDNOTLIVÝCH VRTECH [28] .....	59
DETAIL VRTU S PŘIPRAVENOU NEELEKTRICKOU ROZBUŠKOU A POČINOVOU NÁLOŽKOU [28] .....	59
OSAZOVÁNÍ SVORNÍKŮ [28] OBRÁZEK 37 ZAČIŠTĚNÍ VÝRUBU TLAKOVOU VODOU [28].....	60
POHLED Z VRTNÉ SOUPRAVY NA ČELBU [28].....	61
ČELBA CHVÍLI PŘED ODPALEM [28].....	61
SITUACE ŠIRŠÍCH VZTAHŮ TUNELŮ EJPOVICE [21].....	62
VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ TUNELU EJPOVICE [21].....	63
KLADĚČSKÉ SCHÉMA KLADENÍ TYBINKŮ – PŮDORYS [21] .....	63
VIKTORIE, JEŽ RAZILA EJPOVICKÉ TUNELY [31] .....	64
RAZICÍ STROJ V MODU OPEN MODE [31].....	64
POHLED NA RAZICÍ STROJ ZE ZADU [31] .....	65
HISTOGRAM VÝSLEDKŮ S NEJMENŠÍM ROZPTYLEM HODNOT .....	69
HISTOGRAM VÝSLEDKŮ S NEJVYŠŠÍM ROZPTYLEM HODNOT .....	69
HISTOGRAM VÝSLEDKŮ S NEJMENŠÍM ROZPTYLEM HODNOT U NTM .....	74
HISTOGRAM VÝSLEDKŮ S NEJVYŠŠÍM ROZPTYLEM HODNOT U NTM.....	74
HISTOGRAM VÝSLEDKŮ S NEJMENŠÍM ROZPTYLEM HODNOT U METODY MECHANIZOVANÉHO TUNELOVÁNÍ. 79	
HISTOGRAM VÝSLEDKŮ S NEJVYŠŠÍM ROZPTYLEM HODNOT U METODY MECHANIZOVANÉHO TUNELOVÁNÍ... 79	

## Seznam tabulek

TABULKA 1	SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ RIZIK U NRTM .....	68
TABULKA 2	ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ RIZIK U NRTM .....	68
TABULKA 3	NEJZÁVAŽNĚJŠÍ RIZIKA PŘI STAVBĚ TUNELU PREŠOV [14] .....	70
TABULKA 4	SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ RIZIK U METODY DRILL & BLAST (NTM).....	73
TABULKA 5	ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ RIZIK U METODY DRILL & BLAST (NTM) .....	73
TABULKA 6	URČENÍ HODNOTY RIZIKA DLE STANDARDŮ V NORSKU [20] .....	75
TABULKA 7	URČENÍ RIZIK PŘI STAVBĚ TUNELU MOANE V NORSKU [20] .....	75
TABULKA 8	SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ RIZIK U METODY MECHANIZOVANÉHO TUNELOVÁNÍ.....	78
TABULKA 9	ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ RIZIK U METODY MECHANIZOVANÉHO TUNELOVÁNÍ .....	78
TABULKA 10	NEJZÁVAŽNĚJŠÍ RIZIKA PŘI STAVBĚ EJPOVICKÝCH TUNELŮ [21] .....	80
TABULKA 11	VYHODNOCENÍ ROZDÍLŮ MÍRY RIZIKA STANOVENÉ OSOBNĚ A ODBORNÍKY .....	81

## Literatura

[1] KLEPSATEL, F., L. MAŘÍK a P. KUSÝ. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-88905-43-5.

[2] KLEPSATEL, F., L. MAŘÍK a M. FRANKOVSKÝ. *Městské podzemní stavby*. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-8076-021-7.

[3] BARTÁK, Jiří a Jan PRUŠKA. *Podzemní stavby*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04789-7.

[4] Heritage Malta [online]. © 2019 Heritage Malta. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://heritagemalta.org/hal-saflieni-hypogeum/>

[5] BARTÁK, Jiří. *Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR*. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, Pracovní skupina pro mechanizované tunelování, 2014. Dokumenty České tunelářské asociace ITA-AITES. ISBN 978-80-260-5957-8.

[6] MOSLER, J., V. PAVLOVSKÝ a L. MAŘÍK, et al. *Uživatelská příručka pro konvenční tunelování*. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, Pracovní skupina pro konvenční tunelování, 2019. Dokumenty České tunelářské asociace ITA-AITES. ISBN 978-80-906452-4-0.

[7] KŘÍŽENECKÁ, Karolína. Gotthardský bázový tunel. ABS architektura stavitelství byznys [online]. Červenec 10, 2015, [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/tunely/gotthardsky-bazovy-tunel>

[8] WIKIPEDIE [online]. [cit. 2020-3-25]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Vinohradsk%C3%A9\\_%C5%BEElezni%C4%8Dn%C3%AD\\_tunely](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vinohradsk%C3%A9_%C5%BEElezni%C4%8Dn%C3%AD_tunely)

- [9] Kol. autorů. *Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR*. Český tunelářský komitét ITA/AITES [online]. 2006, [cit. 2020-4-02]. Dostupné z: [http://www.ita-aites.cz/files/edice\\_CTuK/ctuk\\_02.pdf](http://www.ita-aites.cz/files/edice_CTuK/ctuk_02.pdf)
- [10] ŠLAJS, Petr. *Numerické modelování ražby tunelu Joberg*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Stavební, Katedra geotechniky.
- [11] Přednáška, Prof. Ing. J. Barták DrSc. *Provádění podzemních staveb – II. Část (1/2009)* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: [http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2009/04/prov2\\_1.pdf](http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2009/04/prov2_1.pdf)
- [12] Kol. forfattere. *Norwegian tunnelling technology, Publication No. 23*. Norwegian tunnelling society. Oslo, Norway: Visuell Kommunikasjon, 2014. ISBN 978-82-92641-30-9
- [13] HERRENKNECHT. Products [online]. © Herrenknecht AG 2020 [cit. 2020-4-14]. Dostupné z: <https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/single-shield-tbm/>
- [14] Projektová dokumentace k Projektu tunelu Prešov (Ing. Maria Šamova, PhD., Technická správa)
- [15] Národná diaľničná spoločnosť. Stavby [online]. © 2005 - 2017 [cit. 2020-5-04]. Dostupné z: <https://www.ndsas.sk/stavby/vystavba/presov-zapad-presov-juh>
- [16] Statens vegvesen. Vegprosjekter [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.vegvesen.no/Europaveg/Damasen/Om+prosjektet/e134-trollerudmoensaggrenda>
- [17] Mapy.cz [online]. [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz/turisticka?moje-mapy&x=9.6410112&y=59.6454780&z=13&l=0&cat=mista-trasy>
- [18] Metrostav. Pro media [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.metrostav.cz/cs/pro-media/719-metrostav-postavi-silnicni-obchvat-norskeho-mesta-kongsberg>
- [19] Česká tunelářská asociace. Semináře 2018 [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2018/sach-kongsberg.pdf>
- [20] Projektová dokumentace k Projektu tunelu Moane (Technologický postup)
- [21] Projektová dokumentace k Projektu Ejpvovice (Ing. Jiří Velebil, Technická zpráva)
- [22] *Foto kniha vydaná k připomenutí průběhu výstavby Ejpvovických tunelů*, Červen 2019
- [23] ManagementMania [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/rizika>

[24] ROZSYPAL, Alexandr a Jan PRUŠKA. *Minimalizace rizik při výstavbě tunelů*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06655-3.

[25] Visit Oslo [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.visitoslo.com/no/produkt/?tlp=638723&name=Gjovik-svommehall&show=map-transport>

[26] Česká tunelářská asociace [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: [https://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2016/02\\_bartak\\_prehled-klasickych-metod-vystavby-tunelu.pdf](https://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2016/02_bartak_prehled-klasickych-metod-vystavby-tunelu.pdf)

[27] Solar light. Prosjekter [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.solarlight.no/prosjekter/referanser/gran-jaren>

[28] autorské foto

[29] HERRENKNECHT. Products [online]. © Herrenknecht AG 2020 [cit. 2020-4-14]. Dostupné z: <https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/gripper-tbm/>

[30] HERRENKNECHT. Products [online]. © Herrenknecht AG 2020 [cit. 2020-4-14]. Dostupné z: <https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/double-shield-tbm/>

[31] dosud nepublikované osobní fotografie, autor fotografií Václav Anděl

## **Zdroje zákonů:**

[Z1] Zákon č. 262/2006 Sb. Zákon zákoník práce, verze 45, znění platné k 1.1.2020

[Z2] Zákon č. 309/2006 Sb. Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci), verze 8, znění platné k 1.5.2016

[Z3] Nařízení vlády č. 591/2006 Sb. Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích, verze 2, znění platné k 1.5.2016

[Z4] Nařízení vlády č. 362/2005 Sb. Nařízení vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky, verze 1, znění platné k 4.10.2005

[Z5] Nařízení vlády č. 495/2001 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čisticích a dezinfekčních prostředků, verze 1, znění platné k 1.1.2002

[Z6] Zákon č. 61/1988 Sb. Zákon České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, verze 40, znění platné k 15.6.2018

[Z7] Vyhláška č. 327/1992 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu, kterou se stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při výrobě a zpracování výbušnin a o odborné způsobilosti pracovníků pro tuto činnost, verze 3, znění platné k 1.8.2017

[Z8] Vyhláška 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, verze 5, znění platné k 1.12.2012

[Z9] Vyhláška č. 447/2002 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu o hlášení závažných událostí a nebezpečných stavů, závažných provozních nehod (havárií), závažných pracovních úrazů a poruch technických zařízení, verze 1, znění platné k 1.1.2002

[Z10] Vyhláška č. 202/1995 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při obsluze a práci na elektrických zařízeních při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem, verze 1, znění platné k 25.9.1995

[Z11] Vyhláška č. 75/2002 Sb. Vyhláška Českého báňského úřadu o bezpečnosti provozu elektrických technických zařízení používaných při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem, verze 2, znění platné k 01. 03. 2002

[Z12] Vyhláška č. 298/2005 Sb. Vyhláška o požadavcích na odbornou kvalifikaci a odbornou způsobilost při hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem a o změně některých právních předpisů, verze 3, znění platné k 1.12.2012

[Z13] Zákon č. 183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), verze 26, znění platné k 11. 05. 2006

