



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Tomáš Dostál
Název	Návrh ražby a primárního ostění tunelu na stavbě vysokorychlostního železničního spojení
Vedoucí práce	doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Budou předány vedoucím diplomové práce zvlášť.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Tunel je navržený v úseku druhé stavby Blažovice–Vyškov připravované modernizace trati Brno–Přerov. Jedná se o dva jednokolejné tubusy délky cca 640 m situované do prostředí neogenních jíílů s nadložíím přibližně 11 m. Předmětem diplomové práce je volba vhodné metody ražby tunelu se členěním výrubu a s návrhem primárního zajištění včetně jeho statického posouzení, geotechnického monitoringu příp. dalších doprovodných opatření (např. preventivního opatření pro případ zastižení pískových čoček).

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Součástí modernizace železniční trati Brno-Přerov je v úseku mezi vesnicí Blažovice a městem Vyškov navržen tunel, skládající se z dvou jednokolejných tubusů přibližné délky 640 m. Tubusy jsou situovány do neogenních jíílů s přibližnou výškou nadloží 11 m. Předmětem diplomové práce je návrh vhodné metody ražení, primárního ostění včetně statického výpočtu a geotechnického monitoringu.

Klíčová slova

Podzemní stavba, železniční tunel, tunelovací metody, nová rakouská tunelovací metoda (NATM), metoda konečných prvků (MKP), Plaxis 2D

Abstract

As part of modernization of the Brno-Přerov railway line, is in the section between village Blažovice and town Vyškov desined tunnel composed of two monorail tubes about 640 meters length. Tubes are situated in neogenic clay with an overburden height of 11 meters. This master thesis deals with design suitable tunnel exavation, primary lining with static calculation and geotechnical monitoring.

Keywords

Underground construction, railway tunnel, tunneling methods, new austrian tunnelling method (NATM) Finite Element Method (FEM), Plaxis 2D

Bibliografická citace VŠKP

DOSTÁL, Tomáš. *Návrh ražby a primárního ostění tunelu na stavbě vysokorychlostního železničního spojení*. Brno, 2020. 114 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 1. 2020

.....

Tomáš Dostál

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané typ práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 8. 1. 2020

.....

Tomáš Dostál

Poděkování:

Úvodem diplomové práce bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli cenné informace a dali rady k vypracování, zejména však vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladislavu Horákovi, CSc. za poskytnutí potřebných podkladů a neocenitelných zkušeností. Dále děkuji svým rodičům Zdence a Ladislavu Dostálovým za podporu při magisterském studiu.

V Brně dne 8. 1. 2020

.....

Tomáš Dostál

Obsah

1	ÚVOD.....	- 4 -
2	ŽELEZINIČNÍ TRATĚ BRNO – PŘEROV.....	- 5 -
2.1	Historie trati Brno – Přerov a její současný stav	- 5 -
2.2	Modernizace trati.....	- 6 -
3	HABROVANSKÝ TUNEL	- 8 -
3.1	Lokace Habrovanského tunelu.....	- 8 -
3.2	Směrové parametry	- 9 -
3.3	Výškové parametry	- 9 -
3.4	Uspořádání tunelu.....	- 9 -
4	VŠEOBECNÁ SITUACE.....	- 11 -
4.1	Geomorfologické poměry	- 11 -
4.2	Geologické poměry	- 11 -
4.3	Provedené průzkumné páce	- 12 -
4.4	Inženýrskogeologické poměry	- 13 -
4.5	Hydrogeologické poměry	- 14 -
4.6	Geotechnické poměry	- 15 -
5	METODY POUŽITELNÉ PRO VÝSTAVBU TUNELU.....	- 16 -
5.1	Tunely hloubené.....	- 16 -
5.1.1	Cut & Cover	- 17 -
5.1.2	Top – Down („Ražené pod zastropením“, „Milánská metoda“ příp. Metoda „želva“)	- 17 -
	Metoda „želva“	- 18 -
5.1.3	Přesypané tunely budované na povrchu.....	- 18 -
5.2	Tunely ražené.....	- 19 -
5.2.1	Konvenční metody	- 19 -
5.2.2	Kontinuální strojní tunelování.....	- 23 -
5.3	Optimální metoda ražby Habrovanského tunelu.....	- 25 -
6	STATICKÝ VÝPOČET	- 27 -
6.1	Vybrané příčné řezy	- 28 -
6.2	Geometrie řezu	- 28 -
6.2.1	Řez A – staničení km 35,080.....	- 28 -

6.2.2	Řez B – staničení km 35,360.....	- 28 -
6.3	Hardening-soil materiálový model.....	- 29 -
6.3.1	Stanovení parametrů	- 29 -
6.3.2	Shrnutí vstupních údajů do Hardening-soil modelu odpovídajícímu popisu geologického podloží Habrovanského tunelu.....	- 31 -
6.4	Parametry ostění.....	- 31 -
6.5	Síť konečných prvků	- 32 -
6.6	Fáze výstavby	- 33 -
6.7	Výsledky	- 34 -
6.7.1	Vnitřní síly.....	- 37 -
6.8	Posouzení primárního ostění	- 56 -
6.8.1	Zjednodušená metoda návrhu	- 56 -
6.8.2	Zjednodušená metoda návrhu – ověření podmínek.....	- 58 -
6.8.3	Výpočet krajních bodů interakčního diagramu	- 59 -
6.8.4	Posouzení primárního ostění na normálová napětí.....	- 64 -
6.8.5	Posouzení ostění na účinky posouvajících sil	- 74 -
7	VÝSTAVBA PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ	- 87 -
7.1	Základní údaje	- 87 -
7.2	Profil primárního ostění	- 87 -
7.3	Skladba primárního ostění	- 88 -
7.4	Mikropilotové deštníky	- 88 -
7.5	Rozpojování horniny a její odvoz	- 88 -
7.6	Provádění stříkaného betonu.....	- 89 -
7.7	Postup ražby a budování primárního ostění	- 90 -
7.8	Větrání.....	- 92 -
7.9	Odvodnění.....	- 92 -
7.10	Geotechnický monitoring.....	- 92 -
8	ZÁVĚR.....	- 96 -
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	- 97 -
9.1	Monografie a knihy	- 97 -
9.2	Normy a předpisy	- 98 -
9.3	Internetové zdroje.....	- 98 -
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	- 99 -

11	PŘÍLOHY.....	- 102 -
11.1	INTERPRETACE INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝCH PROFILŮ VRTŮ.....	- 102 -
11.2	POLNÍ ZKOUŠKY.....	- 110 -
11.3	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	- 112 -

1 ÚVOD

Podzemní stavby sloužily lidem od nejstarších dob. Od prostého využívání přírodních podzemních prostorů (jeskyní) a přes jejich úpravy a zabezpečení se přešlo na budování umělých podzemních objektů s různým účelovým zaměřením (náboženským, zavodňovacím, obranným, **komunikačním** apod.). Mimořádným impulzem pro návrhy a realizaci tunelů byla výstavba základní železniční sítě v 19. století, výstavba podzemních drah, rozvoj automobilizmu ve 20. století a nejaktuálněji ve světě výstavba vysokorychlostních železničních tratí. [1]

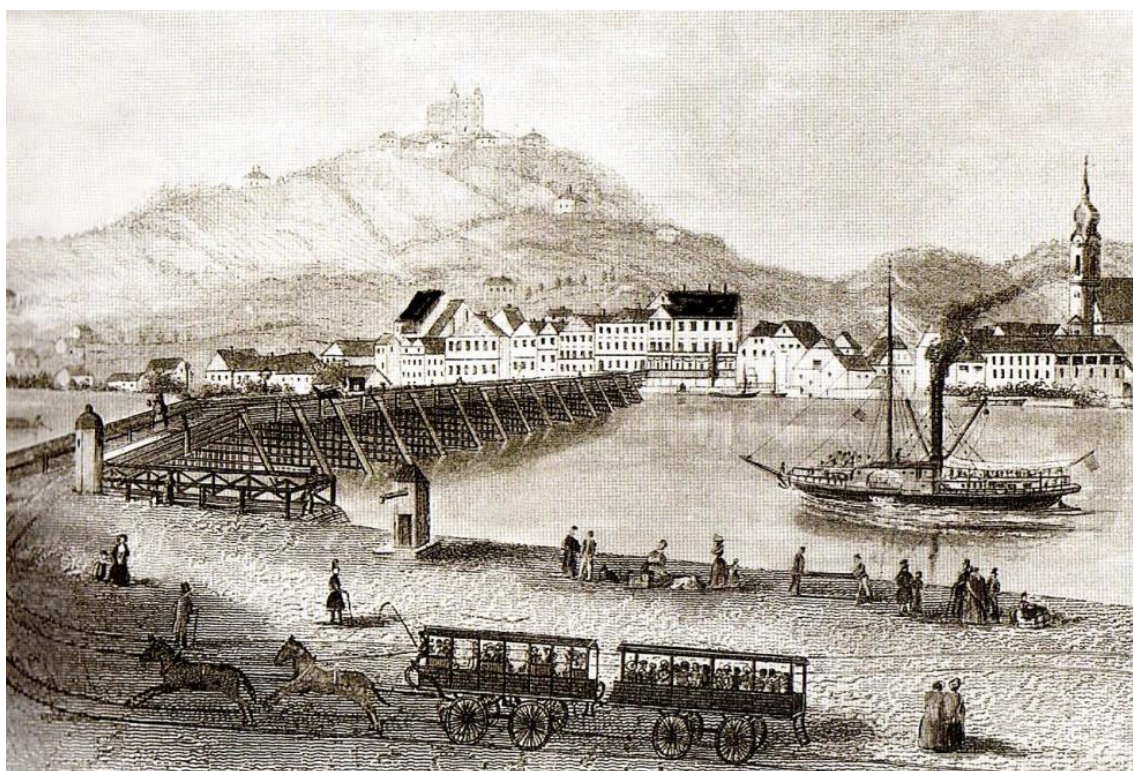
Cílem předkládané diplomové práce je návrh výrubního průřezu, provedení statického výpočtu primárního ostění a návrh vhodného způsobu ražby Habrovanského tunelu na modernizované trati Brno – Přerov. Podle zadání Diplomové práce bude tunel tvořen dvěma jednokolejnými tubusy, délky cca 640 m, které jsou situovány do prostředí neogénních jíílů s nadložím přibližně 11 m.

Diplomová práce je členěna na dvě části. První část se věnuje seznámení s modernizovanou železniční tratí Brno – Přerov. Jsou zde uvedeny směrové i výškové parametry řešeného Habrovanského tunelu a jeho příčný profil. Dále jsou zde shrnuty výsledky z průzkumných prací, jako jsou geomorfologické, geologické, hydrogeologické a geotechnické poměry. Tuto část uzavírá přehled nepoužívanějších metod tunelování a zvolení optimální metody pro řešený tunel.

Druhá část předkládané Diplomové práce je tvořena statickým výpočtem. Je zde uvedena geometrie a vstupní parametry numerického modelu. Následují výsledky numerického modelu, posudek primárního ostění a návrh postupu výstavby tunelu. Práci uzavírá návrh vhodného geomonitoringu.

2 ŽELEZNIČNÍ TRATĚ BRNO – PŘEROV

Historie železniční dopravy v České republice se začala psát od 20. let 19. století. Železnice byly budovány primárně pro nákladní dopravu, přičemž se střídala období, kdy byly budovány a provozovány komerčními subjekty, s obdobími zestátnování, státních investic či státní podpory. První železniční tratí v Česku byla koněspřežná železnice Linec – České Budějovice, jejíž první část byla zkušebně uvedena do provozu v září 1827. Česká část měřila 63 km. [21]



Obr. 2.1 Most koněspřežné dráhy v Českých Budějovic v Linci [21]

2.1 Historie trati Brno – Přerov a její současný stav

Provoz na železniční trati Brno – Přerov byl zahájen 30. srpna 1869. Trať vede z Brna přes Újezd u Brna, Vyškov a Kojetín do Přerova. Trať je v úseku mezi Brnem a Blažovicemi dvojkolejná, zbytek úseku do Přerova je jen jednokolejný. Celková délka trati je 90,1 km, s maximální povolenou rychlostí v rozmezí 80 až

100 km/h, avšak i tato, již nízká, rychlost je na mnoha místech omezena. V jízdním řádu pro cestující je trať označena číslem 300. [22]

V letech 1993 – 1996 prošla trať celoplošnou elektrifikací.

V současné době náleží úsek Blažovice – Holubice – Přerov do celoevropské sítě pro osobní železniční přepravu TEN-T (Trans-European Network). Je tedy zřejmé, že současné parametry železnice jsou nedostačující pro plynulý provoz jednak z důvodu počtu kolejí na trati a také z velmi nízké maximální povolené rychlosti na trati.

2.2 Modernizace trati

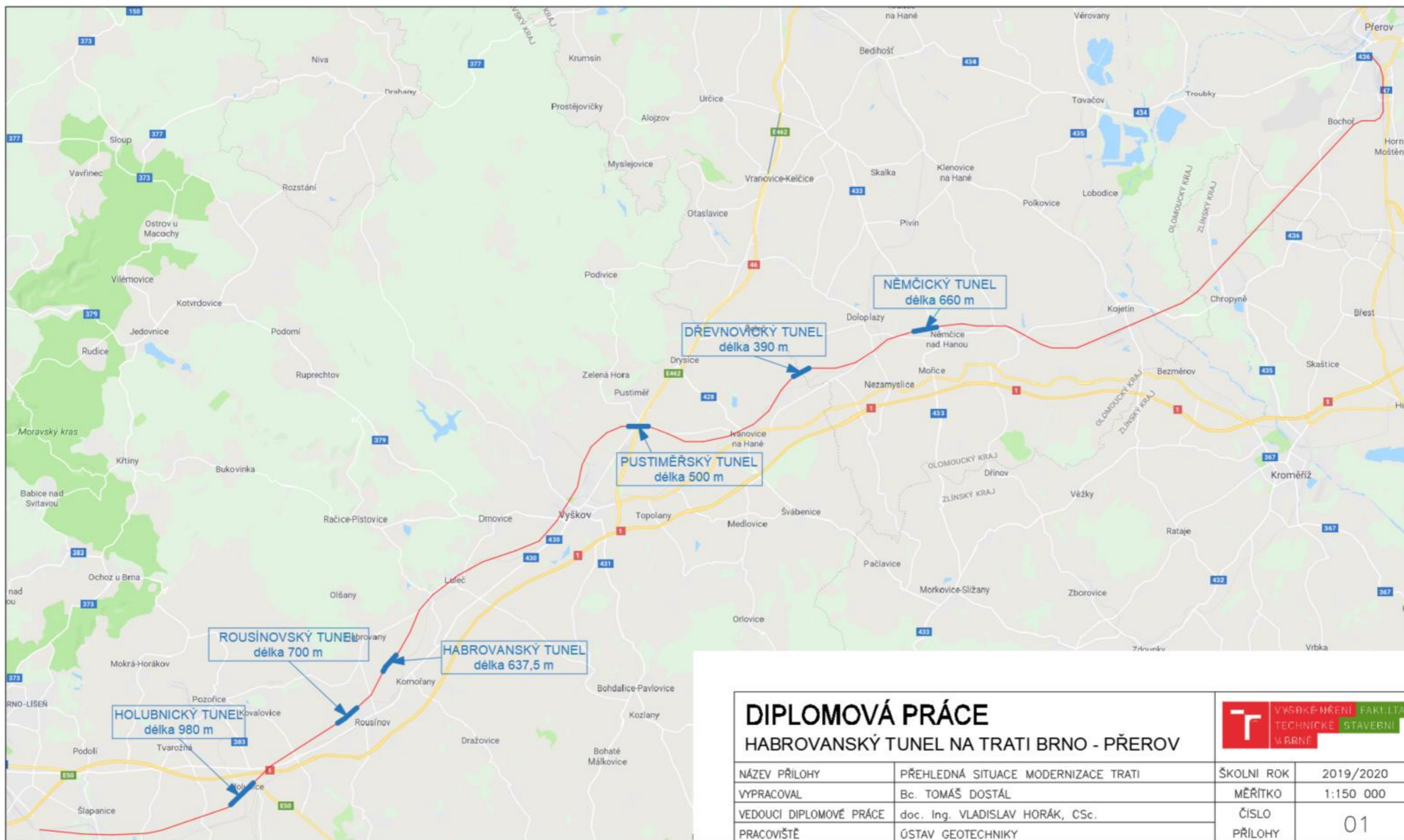
Podle Směrnice 2008/57/ES a Nařízení 1315/2013 Evropského parlamentu a Rady [16] [17] je Česká republika povinna modernizovat trať, která patří do sítě TEN-T (Obr. 2.1) tak, aby vyhovovala předepsaným parametrům. Podle těchto předpisů je nutné dokončit modernizaci do roku 2030. Následně se se stane součástí páteřního vysokorychlostního spojení RS1 Praha – Brno – Ostrava.



Obr. 2.1 Síť TEN-T [2]

V roce 2015 rozhodla Centrální komise ministerstva dopravy na základě výsledků studie proveditelnosti o modernizaci trati Brno – Přerov. Byly navrženy dvě varianty. První z nich uvažovala stavební úpravy na stávající trati, a souběžně s ní výstavbu nové vysokorychlostní trati s rychlostí 350 km/h. Tato varianta však byla z ekonomických důvodů zamítnuta.

Druhou variantou, vítěznou, je modernizace části stávající trati, při které dojde ke zdvoukolejnění a současnému zvýšení traťové rychlosti na 200 km/h. Modernizace má proběhnout od km 21. v Ponětovicích až po km 88. při vjezdu do Přerova. Z důvodu zvýšení traťové rychlosti musí být během modernizace vybudováno šest nových tunelů: Holubnický, Rousínovský, **Habrovanský**, Pustiměřský, Dřevnovický a Němčický. Výsledkem tak bude možnost dosažení maximální rychlosti na 95 % modernizovaného úseku.



DIPLOMOVÁ PRÁCE		T VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA TECHNICKÉ STAVEBNÍ V BRNĚ	
HABROVANSKÝ TUNEL NA TRATI BRNO - PŘEROV		ŠKOLNÍ ROK	2019/2020
NÁZEV PŘÍLOHY	PŘEHLEDNÁ SITUACE MODERNIZACE TRATI	MĚŘÍTKO	1:150 000
VYPRACOVAL	Bc. TOMÁŠ DOSTÁL	ČÍSLO PŘÍLOHY	01
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.		
PRACOVNÍŠTĚ	ÚSTAV GEOTECHNIKY		

3 HABROVANSKÝ TUNEL

3.1 Lokace Habrovanského tunelu

Navrhovaný tunel je situován v Jihomoravském kraji v okrese Vyškov. Lokace výstavby se nachází v katastrálním území Habrovany. Leží přibližně 2 km jižně od obce Habrovany mezi obcemi Rousínov a Komořany u Vyškova. Území nad plánovaným tunelem je v současné době využíváno jako zemědělská půda. Nachází se zde také polní cesta, která by neměla být po dokončení výstavby nijak omezena.



Obr. 3.1 Situace Habrovanského tunelu

3.2 Směrové parametry

Habrovanský tunel je navržen jako dva jednokolejné tubusy délky 637,5 m, s osovou vzdáleností (pilířem) v rozmezí od 27 do 37 m. Tunel se nachází v levotočivém oblouku s poloměrem $R = 21\,500$ m. (viz kapitola: 11 PŘÍLOHY)

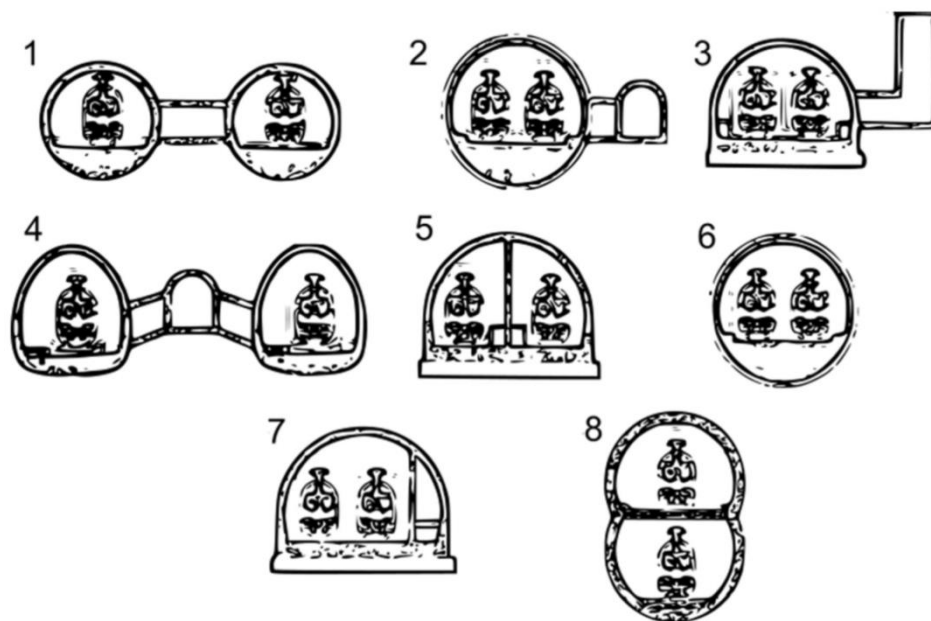
3.3 Výškové parametry

Trasa tunelu leží v nadmořské výšce od 272 do 286 m n. m. Tubusy ve své celé délce stoupají. Tubus s kolejí č. 1 do km 35,275 ve sklonu 9,91 ‰ a poté 7,37 ‰. Tubus s kolejí č. 2 do km 35,492 ve sklonu 9,90 ‰ a poté 6,54 ‰. (viz kapitola: 11 PŘÍLOHY)

3.4 Uspořádání tunelu

Při návrhu tunelu z hlediska uspořádání, připadají v úvahu dvě varianty. Je možné navrhnout dvojkolejnou železniční trať jako jeden dvojkolejný tunel nebo dva jednokolejné tunely. Na Obr. 3.2 je možné vidět možné koncepty při návrhu dvojkolejných tratí.

- 1 – Dva jednokolejné tunely s propojkami
- 2 – Jeden dvoukolejný tunel s paralelní únikovou štolou
- 3 – Jeden dvoukolejný tunel s únikovými šachtami
- 4 – Dva jednokolejné tunely s paralelním obslužným tunelem
- 5 – Jeden dvoukolejný tunel s přepážkou oddělující protisměrné tratě
- 6 – Jeden dvoukolejný tunel bez únikových východů
- 7 – Jeden dvoukolejný tunel s přepážkou oddělující nouzový únik
- 8 – Jeden dvoukolejný tunel s tratěmi ve dvou úrovních



Obr. 3.2 Koncepty tunelů pro dvojkolejnou trať [3]

Jelikož se v poslední době dbá především na bezpečnost navrhovaných konstrukcí, byla zvolena varianta železniční tratě s dvěma jednokolejnými tunely (ostatně tak zní i zadání DP). Výhodou je v tomto případě i jednosměrné proudění vzduchu a v případě havárie nedochází k ohrožení cestujících v opačném jízdním směru. Další předností je zachování provozu alespoň jedné koleje v případě revize tunelu. Tato varianta je také vhodnější při výstavbě, jelikož menší plocha výrubu zvyšuje větší bezpečnost při ražbě.

4 VŠEOBECNÁ SITUACE

4.1 Geomorfologické poměry

Lokalita se z geomorfologického hlediska nachází ve Vyškovské bráně. Jedná se o charakteristicky snížené území, které je za severu ohraničeno Drahanskou vrchovinou a z jihu Litenčickou pahorkatinou. Navrhovaná trať tedy využívá příhodně po celé své délce Vyškovskou bránu. Ta spojuje přirozenou cestou severní část Dyjsko-svrateckého úvalu s jihozápadním výběžkem úvalu Hornomoravského. Zájmová oblast je vyznačena na Obr. 4.1.

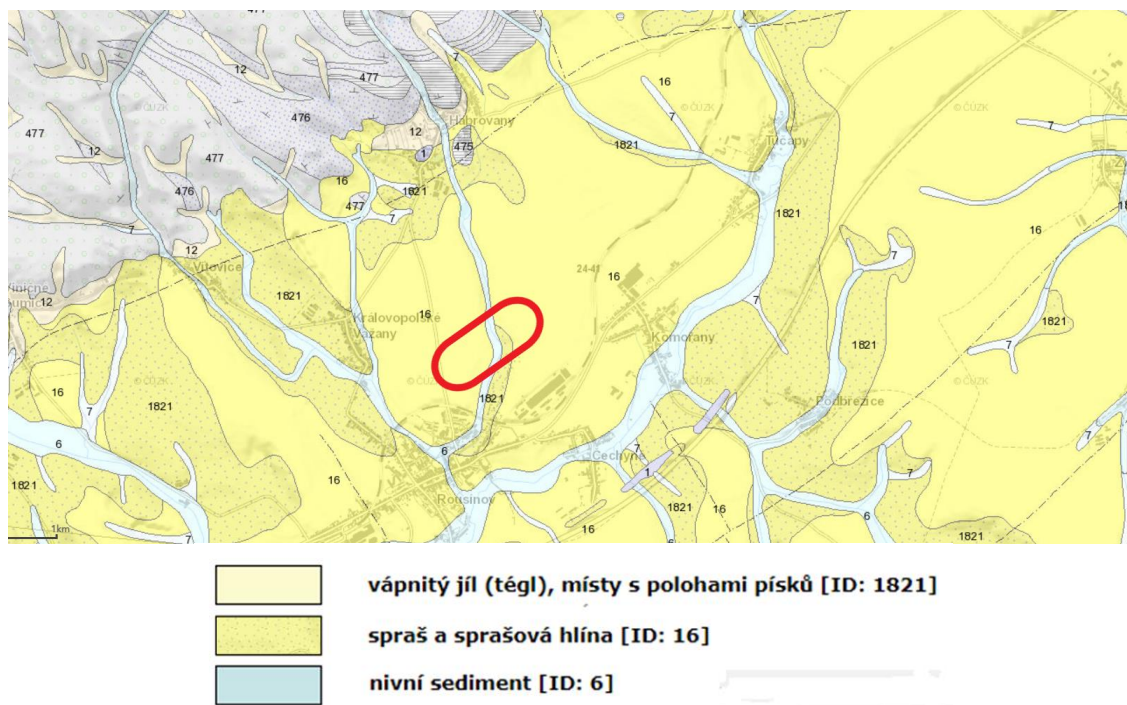


Obr. 4.1 Mapa geomorfologických jednotek zájmové lokality [4]

4.2 Geologické poměry

Z pohledu regionálně geologického náleží území do okraje Alpsko-karpatské předhlubně. Vlastní geologické podloží je zde budováno mohutnými polohami miocénních sedimentů, stratigraficky náležejících spodnímu badenu.

Jedná se o charakteristické jíly až jílovce s podřízenými polohami hrubších klastik (písky až drobné štěrk). (viz obr 4.2)



Obr. 4.2 Geologická mapa [26]

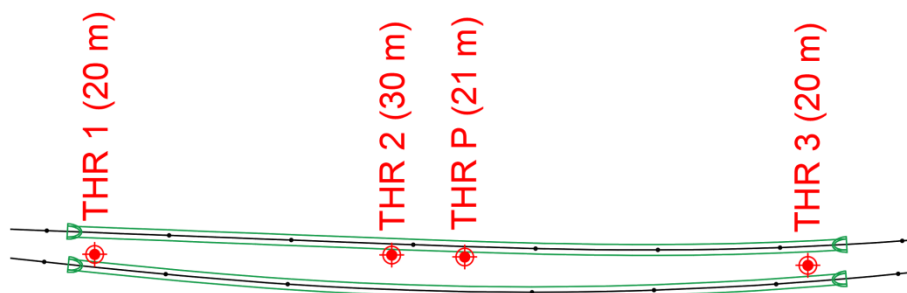
4.3 Provedené průzkumné páce

Jako součást dokumentace pro územní rozhodnutí stavby modernizace železniční trati Brno – Přerov byl vypracován předběžný geotechnický průzkum pro Habrovanský tunel v km 34,880 – 35,530. Jeho objednavatelem byla firma SUDOP Praha a. s., zhotovitelem pak Stavební geologie – Geotechnika a.s., pracoviště Ostrava. V rámci tohoto průzkumu byly provedeny vrtné práce, laboratorní zkoušky vzorků zemin a podzemní vody, presiometrická zkouška, měřické práce a byla realizována též interpretace zjištěných výsledků. Výsledky tohoto průzkumu byly dány k dispozici pro vypracování předkládané Diplomové práce [5]

Celkem byly provedeny 4 průzkumné vrty, z nichž bylo odebráno 7 porušených a 5 neporušených vzorků zemin. U porušených vzorků byly provedeny

zkoušky zrnitosti, Atterbegových mezí a následné zatřídění. U neporušených vzorků byla dále zjišťována smyková pevnost, propustnost a oedometrický modul přetvárnosti spolu se stanovením prosedavosti spraší.

Habrovanský tunel dl. 637,5 m

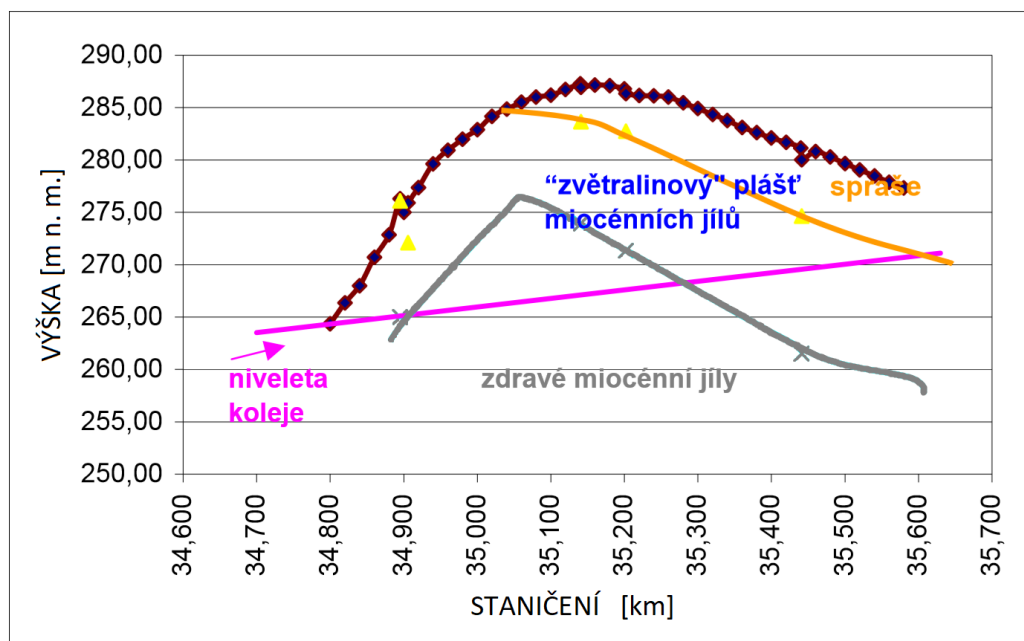


Obr. 4.3 Schématické vyznačení polohy vrtů při geotechnickém průzkumu pro Habrovanský tunel

4.4 Inženýrskogeologické poměry

Povrch území pokrývá souvislá humózní vrstva mocnosti od 0,2 m do 0,5 m. U vrtů THR 2, THR 3 a THR P byly ověřeny spraše zatříděné jako jíly se střední plasticitou, tuhé až pevné konzistence, typicky tmavě žluté až žlutohnědé barvy, s bílými povlaky uhličitanu vápenatého. Mocnost těchto spraší se pohybuje v rozmezí od 2,1 m do 5,0 m. Ve vrtu THR1 nebyla poloha spraší zastížena. Pod sprašemi se nachází vrstva zvětralinového pláště podložních miocénních jílu až do hloubky v rozmezí 15 m až 18 m pod terénem. (Obr. 4.4) Vlastní horninové prostředí je budováno miocénními jíly – tégly – konzistence pevné až velmi pevné. Podle výsledků průzkumu i podle zkušeností lze očekávat, že tato hornina je do jisté míry postižena rovněž tektonicky – určitým rozpukáním.

Inženýrskogeologické profily vrtů jsou uvedeny v příloze (viz kapitola: 11 PŘÍLOHY).



Obr. 4.4 Schematický dosah zvětralinového pláště na povrchu miocénních jílu v prostoru Habrovanského tunelu [5]

4.5 Hydrogeologické poměry

V průzkumných vrtech byla ověřena hladina podzemní vody v miocénních jílech, vázáná zde na vložky písku. V tabulce 1 je uvedena hladina naražené i ustálené hladiny podzemní vody v závislosti k niveletě tunelu. Z chemických rozborů vyplývá, že podzemní voda v prostoru Habrovanského tunelu je neutrální až slabě zásaditá ($\text{pH} = 7,2$ až $7,4$). Stupeň vlivu prostředí pro betonové a železobetonové konstrukce byl z hlediska výskytu podzemní vody klasifikována jako XA1 u vrtu THR 1. Podle výsledků rozborů vody z ostatních vrtů pak nebude působit podzemní voda agresivně.

Tabulka 1: Hloubky hladiny podzemní vody [5]

Vrt	Naražená hladina p.v. (m p.t.)	Naražená hladina p.v. (m n.m.)	Ustálená hladina p.v. (m p.t.)	Ustálená hladina p.v. (m n.m.)	Úroveň nivelety (m n.m.)	Vzdálenost nivelety od naražené hladiny p.v. (m)
THR1	3,3; 11,3	273,0; 265,0	-	-	265,1	-7,9
THR2	7,4	279,6	8,2	278,8	267,0	-12,6
THR3	8,0	272,3	-	-	268,3	-4,0
THR - P	-	-	7,3	279,0	277,4	-

4.6 Geotechnické poměry

Parametry zastižených zemin a hornin, které byly odvozeny z laboratorních zkoušek realizovaných při výše uvedeném průzkumu, jsou uvedeny v tabulce 2. Vzhledem ke složitým geotechnickým podmínkám byly tyto parametry voleny spíše konzervativně a reflektovaly požadavky na dlouhodobou stabilitu stavby.

Tabulka 2: Charakteristické parametry hornin a zemin [5] [18]

Geotechnický typ	Označení podle ČSN 736133	Objemová tíha γ [kN·m ⁻³]	Úhel vnitřního tření φ_{ef} [°]	Soudržnost c_{ef} [kPa]	Modul přetvárnosti E_{def} [MPa]	Poissonovo číslo ν [-]	Koeficient filtrace k_f [m·s ⁻¹]	Poznámky
Spraše a sprašové hlíny	F6 CL	21	28	6	5	0,4	1,00E-09	
Miocénní jíly štěrkovité	F2 CG	19,5	24	10	20	0,35	1,00E-06	zastižené pouze ve vrtu THR-2
Miocénní jíly								
Miocénní jíly a hlíny - do 5 m od rozhraní kvartér - miocén	F8 CH, CV	20,5	20	12	5	0,42	1,00E-11	
Miocénní jíly a hlíny - v úseku 5-15 m od rozhraní kvartér - miocén	F8 CH, CV	20,5	20	18	10	0,42	1,00E-09	
Miocénní jíly a hlíny - v úseku 15-30 m od rozhraní kvartér - miocén	F8 CH, CV	20,5	20	20	15	0,42	1,00E-09	
Miocénní jíly a hlíny - v úseku nad 30 m od rozhraní kvartér - miocén	F8 CH, CV	20,5	20	25	30	0,42	1,00E-09	

5 METODY POUŽITELNÉ PRO VÝSTAVBU TUNELU

Historicky první tunely pro inženýrské účely se pravděpodobně stavěly pro účely zavlažování a zásobování vodou. Boom tunelů nastal v souvislosti s rozvojem železniční dopravy, proto byly vyvíjeny také nové metody budování tunelů.

Při výběru metody tunelování záleží na geologických a hydrogeologických poměrech horniny, výšce nadloží, délce plánovaného tunelu, zastavěnosti území, návrhové rychlosti a trakci, místní tradici a schopnostech stavebních firem etc.

V současné době je jedním z kritérií např. rozlišení na tunely hloubené a tunely ražené. První zmíněná metoda je vhodná pro tunely s nízkým nadložím a v místech kde není povrchová zástavba. Tunely ražené jsou naopak vhodné pro vysoké nadloží a tam, kde není možné provádět otevřené práce na povrchu.

5.1 Tunely hloubené

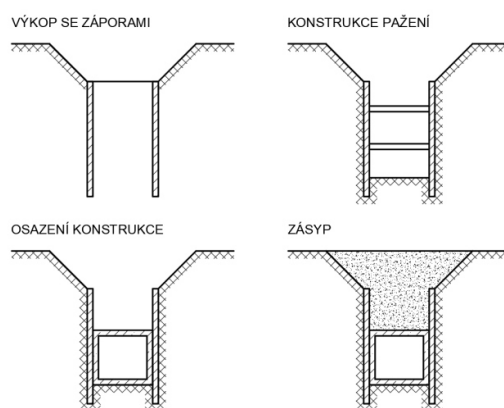
Jako hloubené tunely se označují podzemní díla v menších hloubkách – do 15 až 20 m (výjimečně do 30 m), jejichž ostění tvoří většinou uzavřený železobetonový rám. Jedná se především o liniové stavby zřizované v městech při převádění dopravy pod úroveň terénu. Standardně se touto metodou provádějí také vjezdové i výjezdové portálové úseky tunelů ražených.

Rozlišujeme tyto metody hloubení mělkých tunelů:

- **Cut & Cover**
- **Top – Down („Ražené pod zastropením“, „Milánská metoda“ příp. Metoda „želva“)**
- **Přesypané tunely budované na povrchu**

5.1.1 Cut & Cover

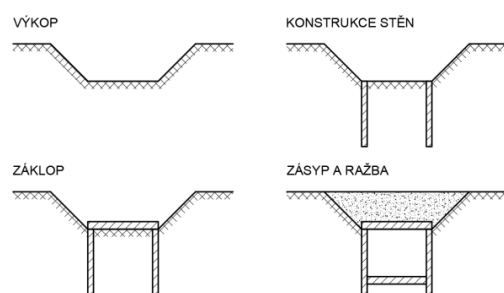
U této metody je nejdříve proveden výkop, do kterého je osazena tunelová konstrukce, která je následně zasypána. V závislosti na okolních podmínkách je výkop zajištěný svahováním nebo pažením. Pažení se obvykle musí provádět v intravilánu, kde není dostatečný prostor kolem výkopu, nebo pro zajištění okolních stávajících objektů.



Obr. 5.1 Postup výstavby Cut & Cover

5.1.2 Top – Down („Ražené pod zastropením“, „Milánská metoda“ příp. Metoda „želva“)

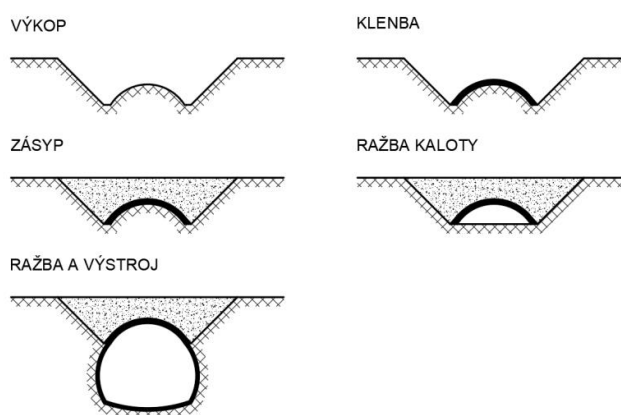
Nejprve se zřizují svislé podzemní konstrukce s pažící i nosnou funkcí, většinou do mělkého předkopu. Na zemní skruži je proveden strop, který je následně zasypán a obnoven provoz nad konstrukcí. Současně se provede odtěžení zeminy pod ochranou stropu a vybetonuje se dno tunelu. Výhodou je rychlost provádění.



Obr. 5.2 Postup výstavby Top – Down

Metoda „želva“

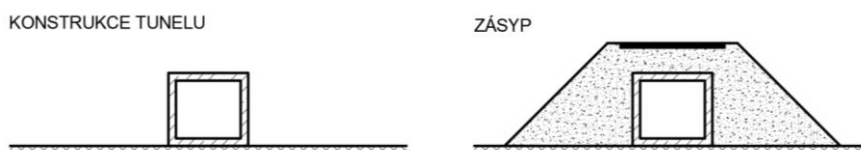
Tato varianta, se zaklenutým stropem, se používá tam, kde je nutné omezit hloubku výkopu tunelů. Takto lze snížit hloubku o 4 až 5 m a souběžně urychlit uvedení nadloží do původního stavu. Při výstavbě se nejdříve odkope zemina do úrovně patek klenby. Proveďte se zemní skruž a na ni se provede klenba primárního ostění. Výkop se zasype a současně probíhá jak úprava terénu, tak i ražba kaloty chráněná klenbou.



Obr. 5.3 Postup výstavby podle metody „želva“

5.1.3 Přesypané tunely budované na povrchu

Jak již napovídá název, jedná se o tunely, které jsou budovány na povrchu, a posléze jsou přesypany vrstvou zeminy. Tato metoda se používá tam, kde je nutné skrýt provoz pod terén, ale není možné provádět předchozí metody. S výhodou se dá takto budovaný tunel využít jako protihlukový val, nebo biokoridor. Často je také jeho povrch využit jako místní komunikace nebo cyklostezka.



Obr. 5.4 Postup výstavby přesypaných tunelů

5.2 Tunely ražené

V současné době se ražení tunelů standardně rozděluje na konvenční metody (NRTM – Nová Rakouská Tunelovací Metoda, SCL, ADECO–RS, Kernbauweise...) a na strojní tunelování (SM – Shield Machines, TBM – Tunnel Boring Machines).

5.2.1 Konvenční metody

NRTM – Nová Rakouská Tunelovací Metoda

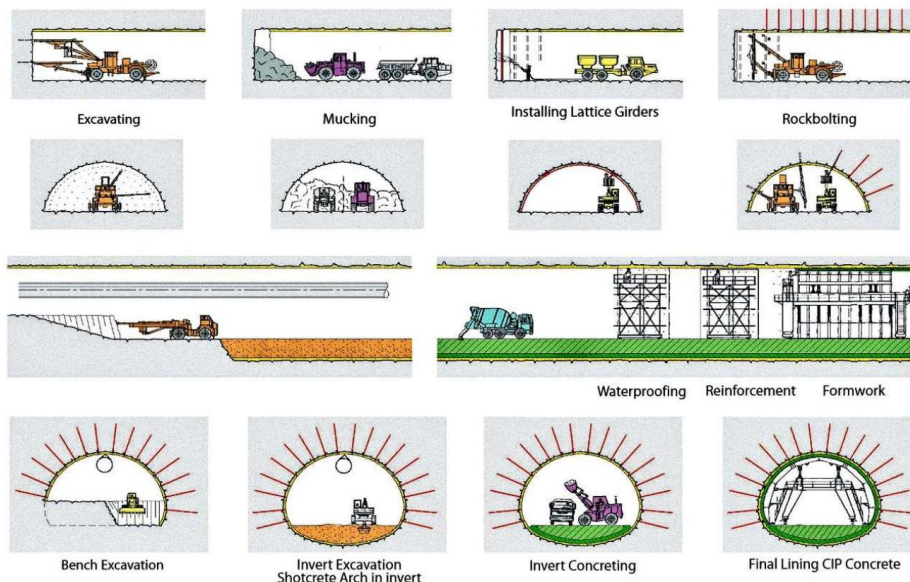
NRTM je univerzální metodou tunelování, která je použitelná prakticky pro veškeré typy podzemních staveb a pro jakékoliv geologické podmínky. Jedná se o observační metodu, jejíž postup lze shrnout do několika kroků:

- Předběžný návrh – výpočtem nebo podle zkušenosti
- Provedení široce instrumentovaného a monitorovaného zkušebního úseku, z něhož získáme informace pro optimalizaci postupu výstavby
- Z výsledků získaných z monitorovacího úseku jsou stanoveny provozní a varovné stavy
- Návrh observační procedury pro kontrolu provozních a varovných stavů

Významnou roli při užití této metody hraje čas, na kterém závisí napětí a deformace otevřeného výrubu. Je tedy nutné vždy použít jednoduchou a rychlou výztuž. Řešením je kotvení pomocí svorníků a hřebíků, stříkaný beton na ocelové síti nebo ocelové skruže/oblouky. Při špatné geologii je možné zlepšování horninového prostředí s předstihem. Zlepšení lze dosáhnout např. kotvením čela, mikropilotami, tryskovou injektáží, zmrazováním...

U této metody je většinou vytvořen nekruhový průřez. Typické je členění výrubu a to jak v příčném, tak i podélném směru. Členění závisí na geotechnických

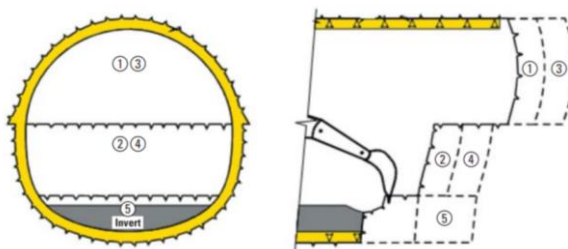
podmínkách, ale také na technologii – tzn. velikosti raženého profilu z důvodu dosahu použitých mechanismů. [6]



Obr. 5.5 Postup ražby a technologie výstavby tunelu raženého NRTM [23]

SCL – Sprayed Concrete Lining

Tato metoda začala být používána ve Velké Británii po roce 1994, pro tunelování v zeminách (zejména v tuhých londýnských jílech). Mezi hlavní specifika metody SCL patří, snaha o dostatečně klenutý tvar ostění, který vede k minimalizaci namáhání ostění ohybovými momenty a dostatečně tuhé ostění s co nejrychlejším uzavíráním spodní klenby pro minimalizaci deformací nadloží (minimální odstup čelby kaloty a dna na viz Obr. 5.6). Výhodou metody je její tvarová flexibilita a minimalizace deformací povrchu terénu v zastavěných oblastech.

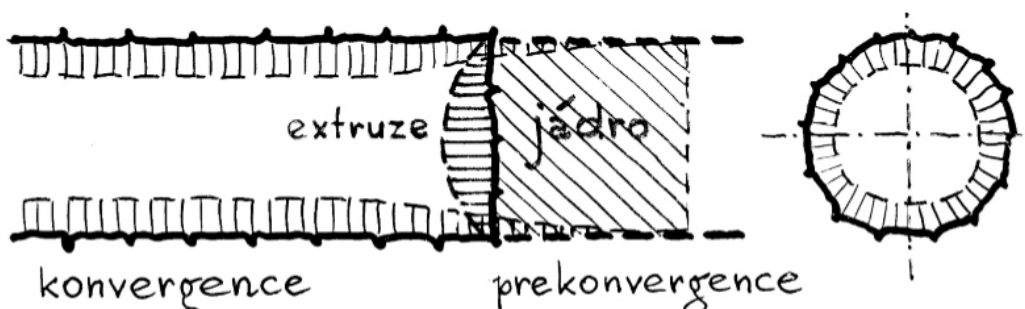


Obr. 5.6 Typické členění výrubu při metodě SCL [6]

ADECO-RS – „L'Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli“

V překladu analýza řízené deformace v horninách a zeminách. Tato metoda uvažuje přímou souvislost mezi deformací čelby (extruze), radiální deformací předčelbového jádra (prekonvergence) konvergenční výrubu a primárního ostění.

Principem metody je zvýšení tuhosti předčelbového jádra, čehož je dosaženo jeho vyztužením. S výhodou jsou používány sklolaminátové horizontální kotvy z důvodu vysoké pevnosti ale zároveň snadného vybourávání. Charakteristickými parametry vyztužení jsou délka, četnost a geometrické rozmístění kotev. [6]



Obr. 5.7 Deformace čelby [24]



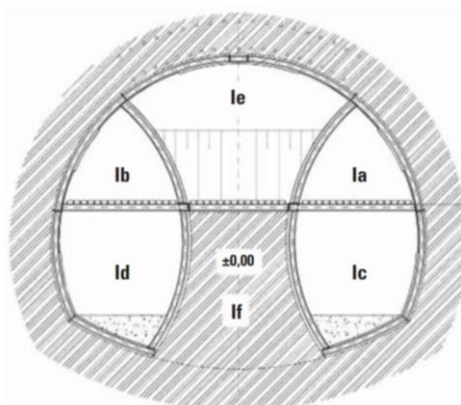
Obr. 5.8 Sklolaminátové horizontální kotvy [6]

Kernbauweise

Metoda konvenčního tunelování používána při realizaci velkoprofilových tunelů ve složitých geologických podmínkách, kde se dá předpokládat minimální spolupůsobení horninového masívu v kombinaci s nízkým nadložím a dále v urbanizovaných lokalitách, kde je nezbytné omezit vývoj a velikost poklesové kotliny.

Ražba tunelu probíhá observační metodou s horizontálně a vertikálně členěným výrubem. Nutnou podmínkou pro úspěšné zvládnutí této metody je přesný postup zhotovení výrub. Nejdříve se provedou horní okrajové štoly, následují spodní, dále výrub kaloty a jako poslední dobírka jádra. Vzhledem k tomu, že je omezována deformace masívu rychlostí instalace a tuhostí primárního ostění, nedochází k redukci primární napjatosti masívu v okolí výrubu a aktivaci nosného horninového prstence což vede k nutnosti použití velmi těžké primární výztuže, sestávající se ze stříkaného betonu a masivních válcovaných nebo svařovaných ocelových prvků.

Výhodou metody Kernbauweise je zajištění vysoké stability výrubu s minimalizací projevů ražby na povrch, čehož je dosaženo rychlým vyztužením krátkých záběrů dílčích výrubů velmi tuhým primárním ostěním. Jako doprovodné opatření pro omezení velikostí poklesových kotlin jsou často používány kompenzační injektáže. [6]

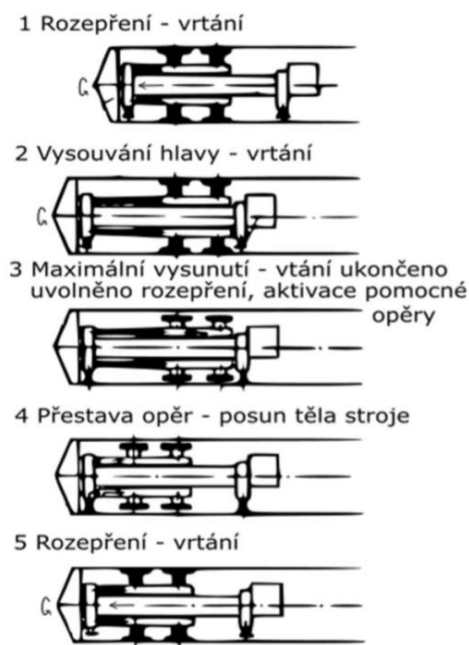


Obr. 5.9 Typické členění výrubu při metodě Kernbauweise [6]

5.2.2 Kontinuální strojní tunelování

SM, TBM (Shield Machines, Tunnel Boring Machines)

U kontinuálního tunelování jsou nezbytné ražící stroje, které mechanicky rozpojují horninu a otvírají výrub v plném profilu. Tyto stroje jsou desítky až stovky metrů dlouhé a váží až několik stovek tun. Současně dokáží provádět výrub, transportovat rubaninu od ražící hlavy a budovat tunelové ostění. Teoretická rychlost ražby je několik m/hod. Skutečná rychlost je omezena například odsouváním velké kubatury rubaniny, přemísťováním stroje a přestavování jeho „bačkor“ systémem „stůj a popojdi“ – Obr. 5.10, nebo nutné výměny opotřebených dlát na vrtací hlavě.



Obr. 5.10 Schéma pracovního cyklu TBM [7]



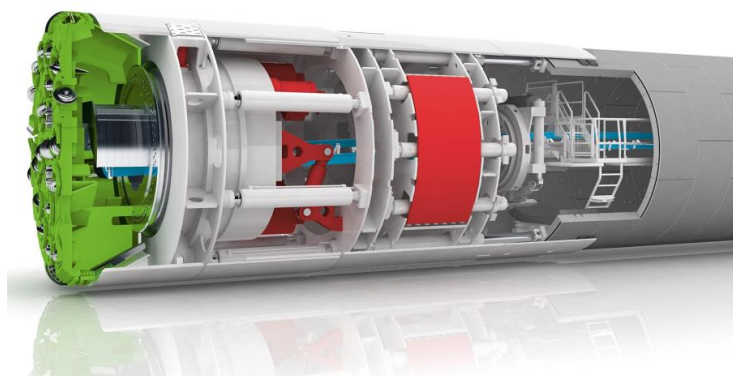
Obr. 5.11 Systémy štítů podle způsobu výlomu resp. zajištění profilu [8]

Pro málo pevné horniny nebo zeminy jsou vhodné tunelovací stroje s ochranným štítem, který zajišťuje jednak ochranu zařízení, tak zajišťuje stabilitu výrubu. Výrub je za štítem osazen z jednotlivých segmentů skládaných do prstenců ostění. V současné době se využívají především železobetonové dílce, avšak stále stoupá oblíbenost dílců z drátkobetonu. U pevných skalních hornin je možné používat otevřené tunelovací stroje, osazené radiálními přitlačnými deskami, které zajišťují stabilitu stroje, a pomocí axiálních lisů je přenášen přítlak na vrtací hlavu.



Obr. 5.12 Otevřený razicí stroj TBM [7]

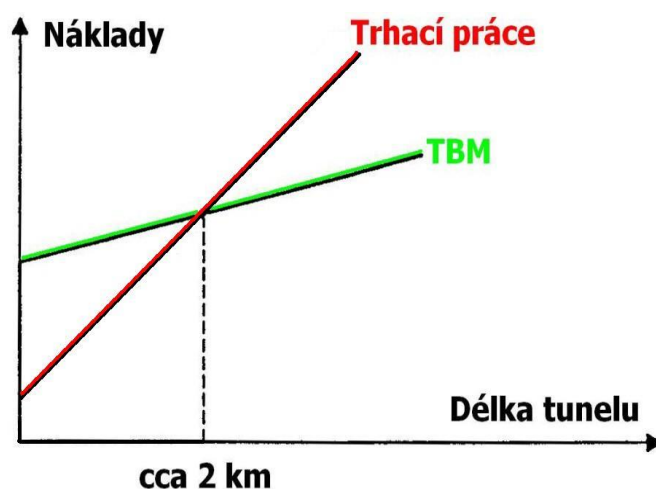
Výhoda této metody je především rychlost ražby a budování ostění tunelu. Nevýhodou je však omezené využití v rozmanité geologii, u výrubu v půdorysných obloucích a možnost pouze kruhových profilů. Razicí stroj je vyráběn vždy na konkrétní tunel a nedá se použít na jiné projekty. Náklady na pořízení jsou mnohdy astronomické, a proto se vyplatí tato metoda pouze od cca 2km výrubu a více.



Obr. 5.13 Razicí stroj TBM s dvojitým štítem [25]

5.3 Optimální metoda ražby Habrovanského tunelu

Po seznámení s možnými metodami pro ražbu Habrovanského tunelu bylo nezbytné vybrat tu nejvhodnější. Na první pohled se jako nejvhodnější zdála metoda pomocí razícího stroje TBM. Výhodou by bylo zajištění výrubu díky ochrannému štítu, ale jak je uvedeno na Obr. 5.14, ražba metodou TBM se vyplácí, pokud délka tunelu přesahuje 2 km. Stavba by se takto mimořádně prodražila, proto byla tato možnost vyloučena.

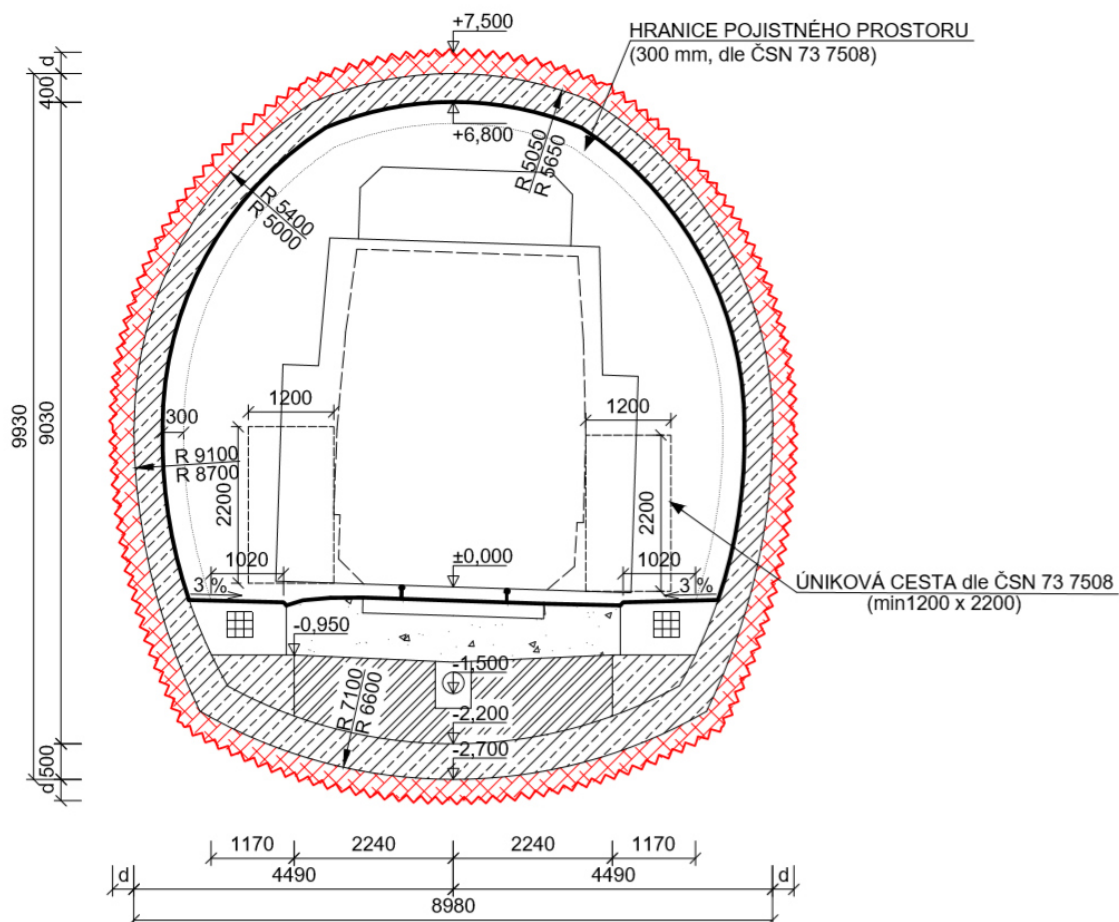


Obr. 5.14 Závislost mezi náklady a délkou tunelu [9]

Dalším vhodným řešením by byla metoda SCL, která se s výhodou používá v tuhém jílovitém prostředí, s nízkou vrstvou nadloží. Jelikož ale tato metoda byla zvolena a částečně rozpracována v dodaných podkladech, nebylo vhodné provádět stejný návrh, ale přijít s vlastním řešením.

Jako optimální metoda ražby proto byla v DP zvolena NRTM. Při návrhu tunelů v plastických jílech se doporučuje kruhový průřez, nebo příčný průřez blízký kruhu. Navržený příčný řez bude „podkovitého“ tvaru (viz následující strana). Z bezpečnostních důvodů bude ražený profil členěn jak vertikálně, tak i horizontálně, aby se předešlo možným kolapsům ostění. [19]

VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ
M 1:100



DIPLOMOVÁ PRÁCE		VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA	
HABROVANSKÝ TUNEL NA TRATI BRNO - PŘEROV		TECHNICKÉ STAVEBNÍ	
		V BRNĚ	
NÁZEV PŘÍLOHY	VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ	ŠKOLNÍ ROK	2019/2020
VYPRACOVAL	Bc. TOMÁŠ DOSTÁL	MĚŘITKO	1:100
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc	ČÍSLO	02
PRACOVNÍŠTĚ	ÚSTAV GEOTECHNIKY	VÝKRESU	

6 STATICKÝ VÝPOČET

Pro statický výpočet byl zvolen software PLAXIS 2D, který řeší výpočty na základě metody konečných prvků. V tomto programu byl vytvořen matematický model, z něhož byla získána velikost deformací a napětí v horninovém masívu. Součástí výsledku výpočtu jsou také vnitřní síly na primárním ostění, které je následovně posouzeno pomocí tzv. „ručních“ výpočtů a výpočtů uspořádaných v software Excel.

Předpokladem úspěšné aplikace numerických metod v geotechnice je volba vhodného materiálového modelu a jeho vstupních parametrů. Pro popis chování horninového prostředí bylo vytvořeno několik konstitutivních (materiálových) modelů, které jsou podstatnou součástí výpočetních softwarů založených na metodě konečných prvků pro řešení geotechnických úloh. [10] Užití pokročilejších materiálových modelů se přibližuje k reálnému chování zemin a hornin, avšak toto zkvalitnění vyžaduje určení více vstupních parametrů, které jsou někdy obtížně stanovitelné.

Zřejmě nejpoužívanější model v praxi numerického modelování je Mohr – Coulombův model. Důvodem je zcela jistě poměrně snadné stanovení vstupních parametrů pro výpočet. Tento lineárně pružný – perfektně plastický model však není pro predikci chování zemin vhodný. Jeho základní parametry jako Youngův modul E a úhel vnitřního tření φ , jsou často uvažovány jako fyzikálně podložené konstanty charakterizující zeminu. Laboratorní experimenty nicméně ukazují, že jejich hodnoty nejsou konstantní, ale závisí i na dalších stavových proměnných, jako je napětí, pórovitost a další. Takovéto závislosti mohou být vystiženy pouze pomocí pokročilejších konstitučních modelů. [11] V případě Habrovanského tunelu byl z důvodu přesnějšího popisu geologického podloží zvolen **Hardening – soil materiálový model** s dvojitým objemovým a smykovým zpevněním.

6.1 Vybrané příčné řezy

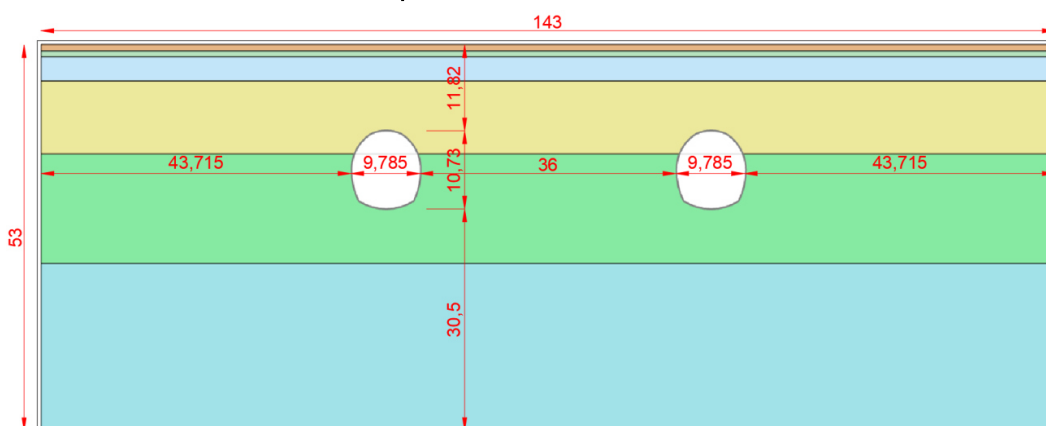
Pro posouzení raženého úseku Habrovanského tunelu byly vybrány dva příčné řezy. Niveleta koleje se v těchto řezech nachází v jiných horninových vrstvách a nadloží je zde však podobné.

První příčný řez **A** ve staničení km 35,080, u kterého niveleta prochází ve zdravých miocenních jílech.

Druhý příčný řez **B** ve staničení km 35,360, u kterého niveleta prochází ve zvětralinovém plášti miocenních jíků.

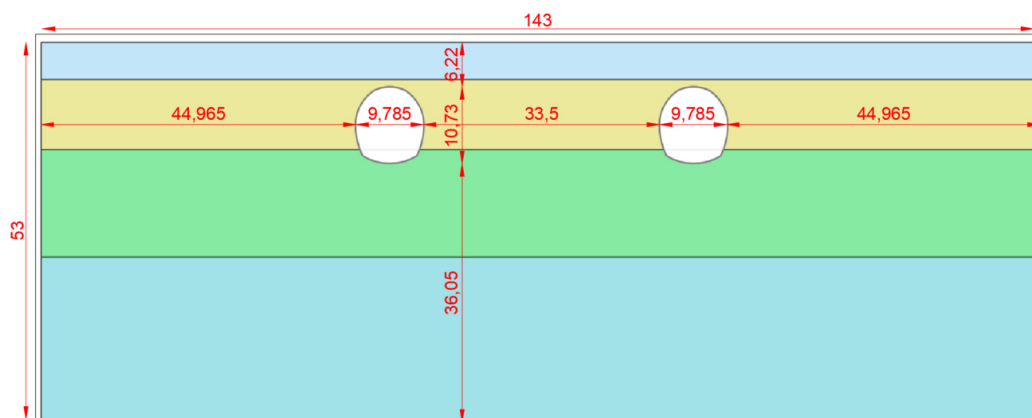
6.2 Geometrie řezu

6.2.1 Řez A – staničení km 35,080



Obr. 6.1 Posuzovaný řez A

6.2.2 Řez B – staničení km 35,360



Obr. 6.2 Posuzovaný řez B

6.3 Hardening-soil materiálový model

Jak již bylo zmíněno dříve, pro řešení modelu horninového prostředí Habrovanského tunelu, byl zvolen Hardening-soil materiálový model. Jelikož se jedná již o pokročilejší materiálový model, který vystihuje přesnější chování, vyžaduje proto více vstupních dat:

γ	...	objemová tíha
φ	...	úhel vnitřního tření
c	...	koheze
E_{50}^{ref}	...	referenční sečnový modul
E_{oed}^{ref}	...	referenční edometrický modul
E_{ur}^{ref}	...	referenční modul pružnosti při zatížení a opětovném odtížení
ν_{ur}	...	Poissonovo číslo pro odtížení a opětovné přitížení
m	...	exponent m řídící závislost deformačních parametrů na napětí σ_1 a σ_3
p_{ref}	...	referenční tlak zahrnující referenční hodnoty tuhosti
K_0^{nc}	...	koeficient zemního tlaku v klidu pro normální konsolidaci
Rf	...	poměr deviátoru napětí na mezi porušení a asymptotického deviátoru napětí

6.3.1 Stanovení parametrů

γ, φ, c

Hodnoty objemové tíhy, úhlu vnitřního tření a koheze byly stanoveny na základě předběžného inženýrskogeologického průzkumu. Tabulka s těmito hodnotami viz kapitola 4.6.

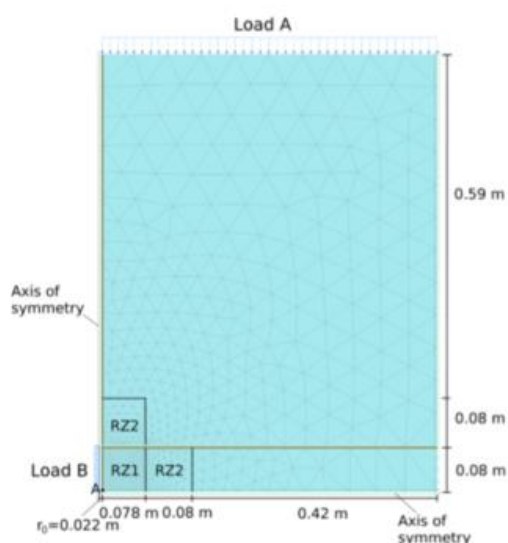
$E_{50}^{ref}, E_{oed}^{ref}, E_{ur}^{ref}, m$

Součástí předběžného inženýrsko-geologického průzkumu nebyly výsledky z triaxiálních zkoušek, proto z nich také nebylo možné tyto parametry získat.

Jelikož byla provedena presiometrická zkouška, je možné tyto parametry získat pomocí jejich výsledků.

Podle návodu, který je uveden v Plaxis Manuálu [27], byla presiometrická zkouška vymodelována jako rotačně symetrická. Šířka modelu byla stanovena tak, aby okrajové podmínky nijak neovlivňovaly výsledky. Výška modelu je dána podle hloubky, ve které byla presiometrická zkouška ve skutečnosti prováděna. V tomto případě se jednalo o hloubku 20,0 m. Předpokladem je, že napětí kolem vertikální i horizontální osy jsou po výšce presiometrické buňky symetrická, proto byla modelována jen polovina modelu.

Simulace presiometrické zkoušky byla prováděna podle naměřených dat z reálné presiometrické zkoušky. (viz kapitola: 11 PŘÍLOHY) Pro jednotlivé fáze zkoušky byly nanášeny příslušná zatížení. Zatížení se nanášelo od doby, dokud nedošlo ke kontaktu presiometrické buňky a stěny vrtu. [12]



Obr. 6.3 Schéma modelu presiometrické zkoušky [27]

P_{ref}

Referenční tlak udává referenční hodnotu pro určení referenčních hodnot závislostí E_{50}^{ref} , E_{oed}^{ref} , E_{ur}^{ref} na napětí. Zvolen byl standardně 100 kPa.

K_0^{nc}

Koeficient zemního tlaku v klidu za normálně konsolidovaných podmínek je určen podle Jáky-ho vztahu: $K_0 = 1 - \sin \varphi'$

$$K_0 = 1 - \sin 20^\circ = 0,658$$

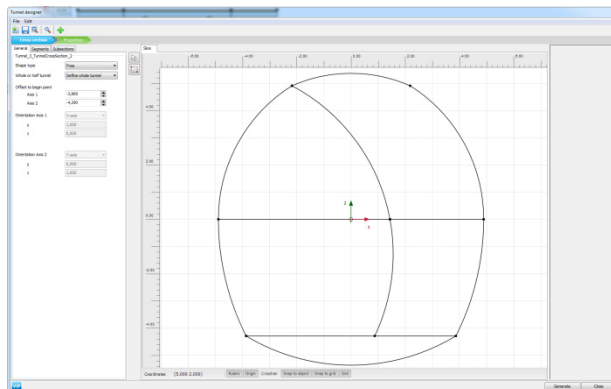
6.3.2 Shrnutí vstupních údajů do Hardening-soil modelu odpovídajícímu popisu geologického podloží Habrovanského tunelu

Tabulka 3: Vstupní parametry pro HS model

parametr	spraš	štěrk. jíł	jíl 0 - 5 m	jíl 5 - 15 m	jíl 15 - 30 m	jíl nad 30 m
γ [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	21	19,5	20,5			
φ [°]	28	24	20			
c [kPa]	6	10	12	18	20	25
E_{50}^{ref} [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]	14,3					
E_{oed}^{ref} [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]	14,3					
E_{ur}^{ref} [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]	43,5					
m [-]	0,6					
ν_{ur} [-]	0,2					
R_f [-]	0,9					
p_{ref} [-]	100					

6.4 Parametry ostění

Návrh profilu tubusů byl popsán v kapitole 5.3. Podle něj byla vymodelována konstrukce primárního ostění v software AutoCAD 2019. Z něj pak byla exportována do software Plaxis 2D pomocí doplňku „Tunnel designer“. Tímto doplňkem byl vytvořen elastický prvek; ostění je uvažováno jako liniový prvek typu deska – Plate.



Obr. 6.3 Profil tunelu v „Tunnel designer“

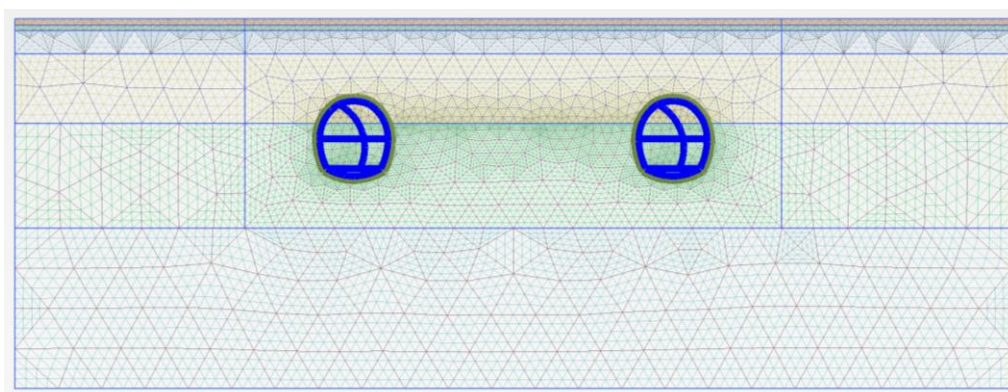
Jako primární ostění byl zvolen stříkaný beton. Pro návrh uvažujeme tloušťku primárního ostění 350 mm ze stříkaného betonu **SB 25/ typ II/ obor J2**. Ostění je vyztuženo betonářskou výztuží a ocelovými profily HEB 240 v osové vzdálenosti 800 mm. V následující tabulce jsou příslušné průřezové charakteristiky uvedeny pro 1 000 mm, jelikož je nutné parametry do software zadávat na délku 1 m.

Software umožňuje uvažovat dvě hodnoty modulu pružnosti betonu v závislosti na jeho stáří. Tento vliv není nijak zásadní, proto v tomto výpočtu nebyl uvažován a počítalo se pouze s hodnotami pro mladý beton – hodnota modulu pružnosti dosažena po 3 dnech.

6.5 Síť konečných prvků

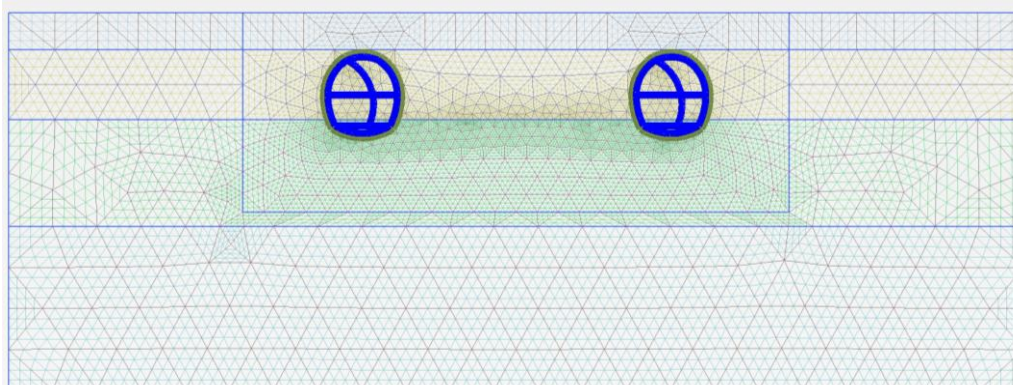
Po vytvoření geometrie modelu byla pomocí generátoru vytvořena síť konečných prvků. Síť je tvořena trojúhelníky o 15-ti uzlových prvcích. V oblastech kolem výrubu byla vygenerovaná síť zahuštěna, z důvodu přesnějších výsledků.

V řezu A vzniklo vygenerováním sítě konečných prvků 2150 15-ti uzlových konečných prvků a 17781 uzlů.



Obr. 6.4 Síť konečných prvků – Řez A

V řezu B vzniklo vygenerováním sítě konečných prvků 2199 15-ti uzlových konečných prvků a 18175 uzlů.

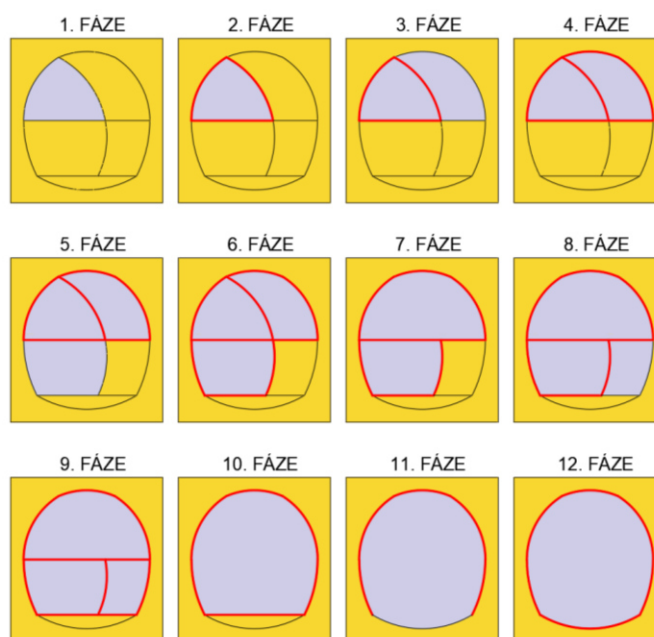


Obr. 6.5 Síť konečných prvků – Řez B

6.6 Fáze výstavby

Výstavba obou tubusů byla v modelu rozdělena na jednotlivé fáze. Pro lepší roznesení sil a co nejmenší vzájemné ovlivňování bylo uvažováno s postupnou výstavbou. To znamená, že byl nejdříve proveden výrub prvního tubusu, poté co bylo dokončeno i jeho primární ostění, začalo se s výrubem druhého tubusu. Celkem je výstavba obou tubusů rozdělena do 24 fází. Na Obr. 6.5 jsou zobrazeny fáze pro jeden tunel, pro druhý tunel jsou to fáze identické.

1. fáze Výrub levé horní štoly
2. fáze Zhotovení ostění levé horní štoly
3. fáze Výrub pravé horní štoly
4. fáze Zhotovení ostění pravé horní štoly
5. fáze Výrub levé dolní štoly
6. fáze Zhotovení ostění levé dolní štoly
7. fáze Odstranění vnitřního ostění dílčích horních výrubů
8. fáze Výrub pravé dolní štoly
9. fáze Zhotovení ostění pravé dolní štoly
10. fáze Odstranění vnitřního ostění dílčích dolních výrubů
11. fáze Výrub dobírky tunelu
12. fáze Zhotovení ostění dna tunelu



Obr. 6.6 Schéma fází výstavby Habrovanského tunelu

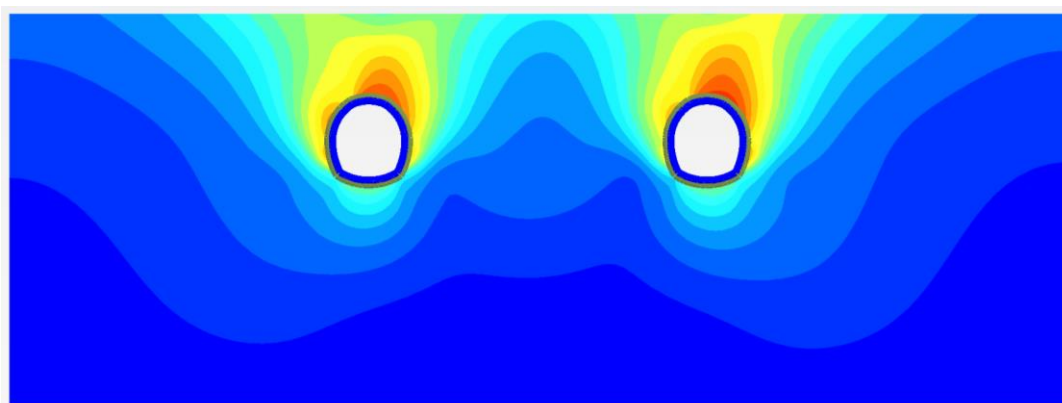
6.7 Výsledky

Po provedení výpočtu jsou zde uvedeny výsledky pro jednotlivé řezy. Pro lepší přehlednost jsou doloženy grafické výstupy numerického modelování. Vyobrazeny jsou zde deformace tunelového ostění a to jak ve směru vertikálním, tak i ve směru horizontálním.

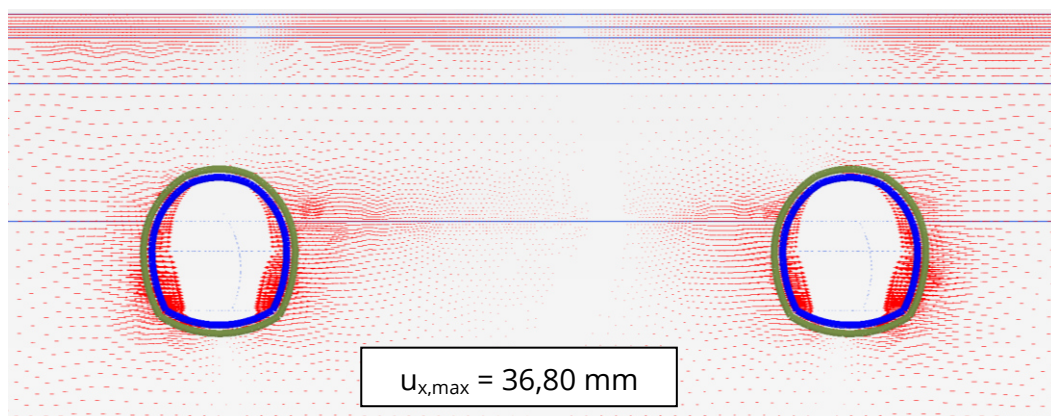
Pro posouzení únosnosti primárního ostění, je nutné znát velikosti normálových sil, posouvajících sil a ohybových momentů. V každé fázi výstavby byly proto vybrány vždy extrémní hodnoty každé z výše uvedených vnitřních sil, a ty byly následně posouzeny pomocí tzv. „ručního“ výpočtu.

Deformace

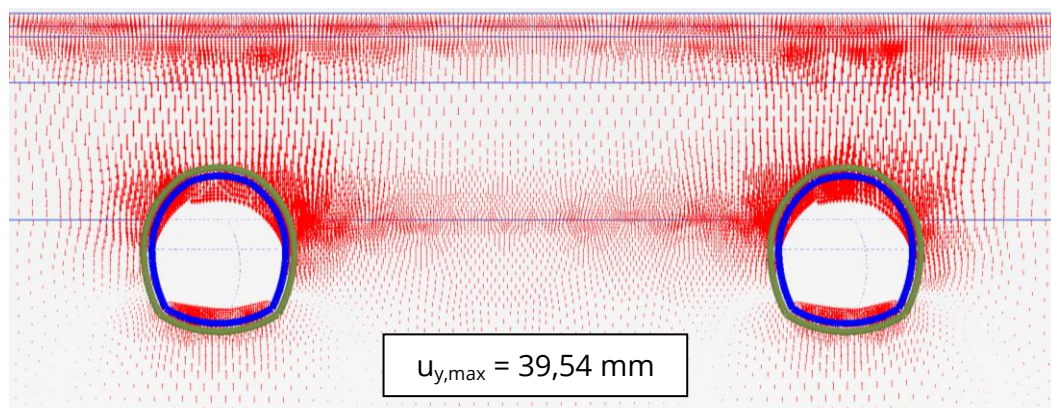
Řez A



Obr. 6.7 Průběh deformací (24. fáze)

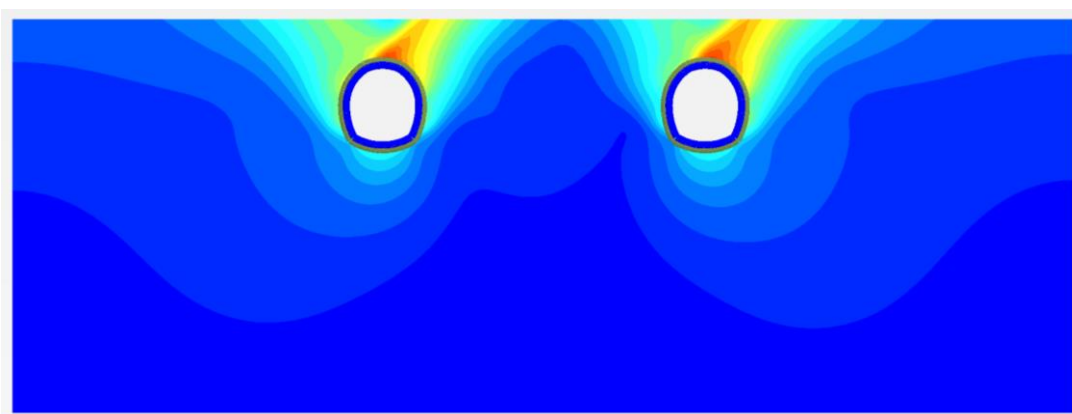


Obr. 6.8 Tvar a velikost vodorovných deformací ostění (24. fáze)

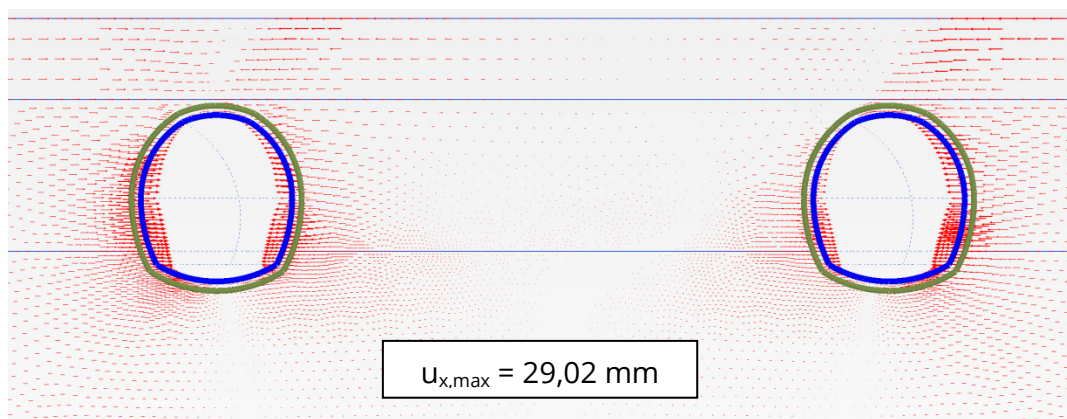


Obr. 6.9 Tvar a velikost svislých deformací ostění (24. fáze)

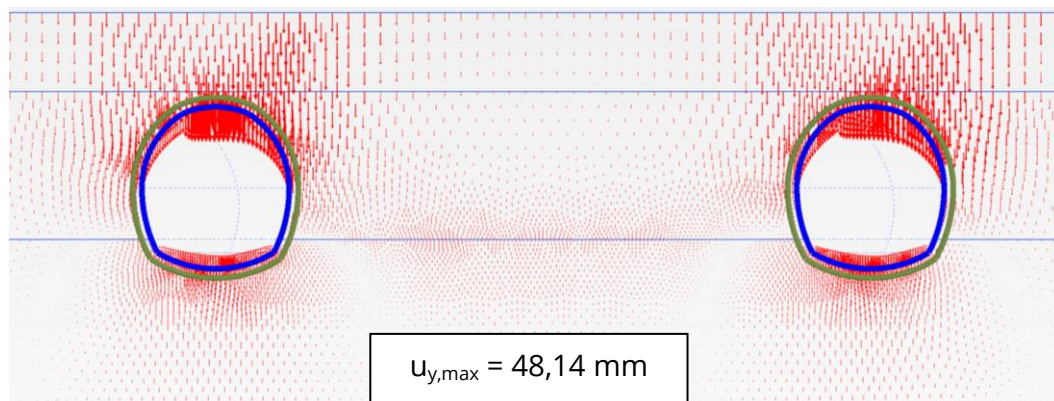
Řez B



Obr. 6.10 Průběh deformací (24. Fáze)



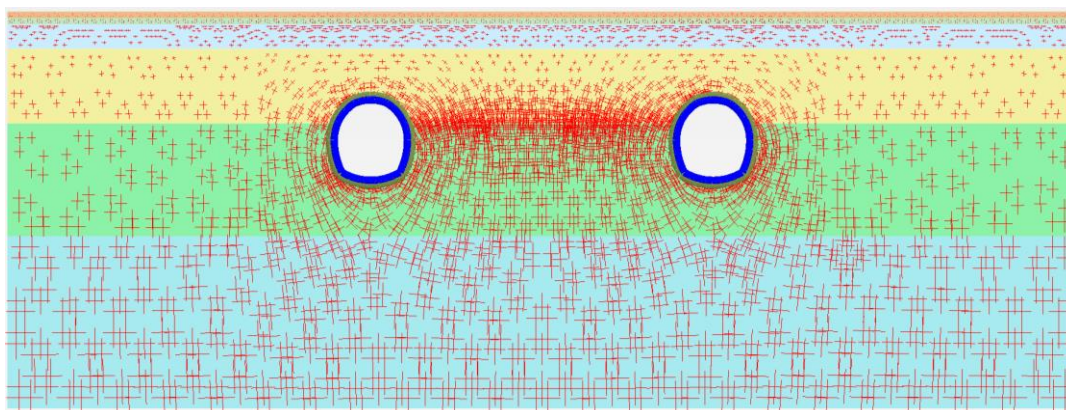
Obr. 6.11 Tvar a velikost vodorovných deformací ostění (24. fáze)



Obr. 6.12 Tvar a velikost svislých deformací ostění (24. fáze)

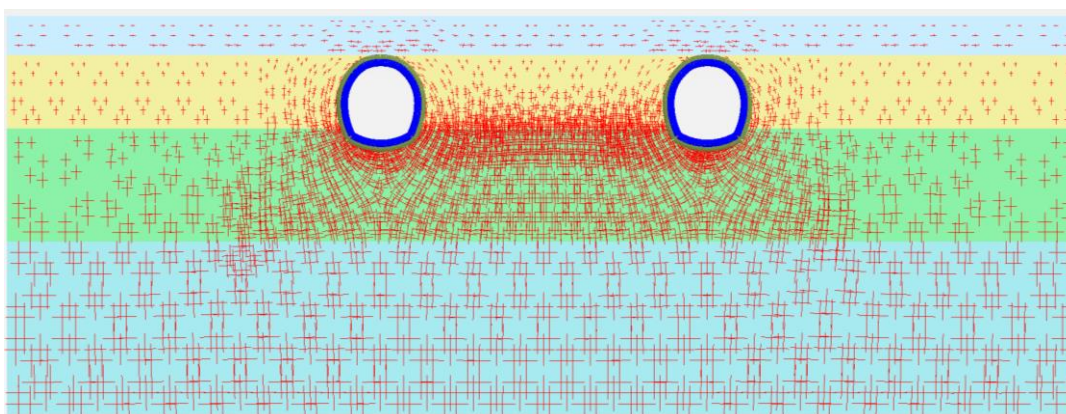
Napětí

Řez A



Obr. 6.13 Průběh napětí řez A

Řez B

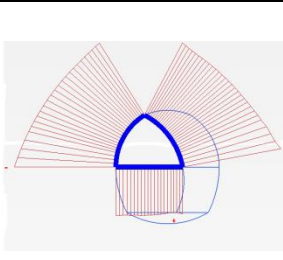
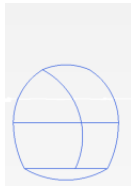
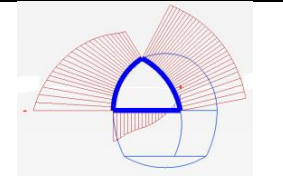
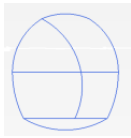
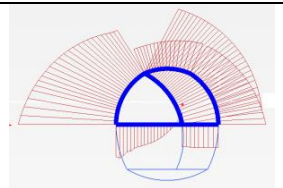
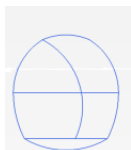
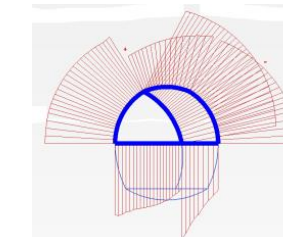
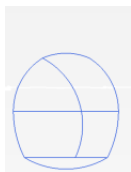
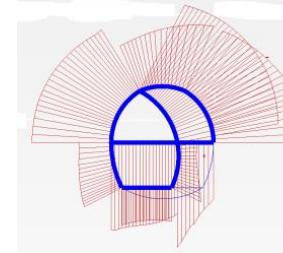
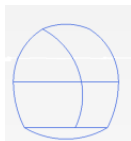


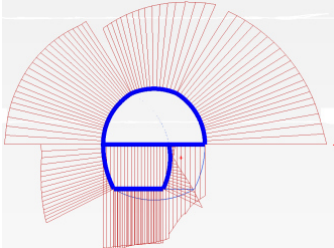

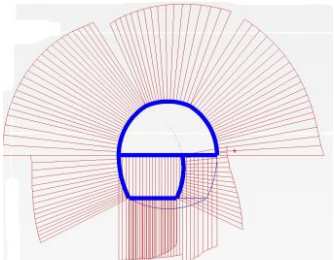

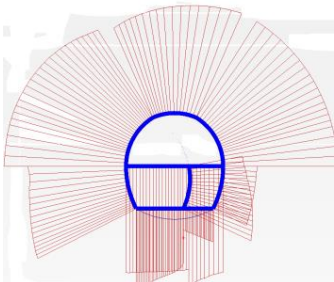
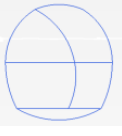
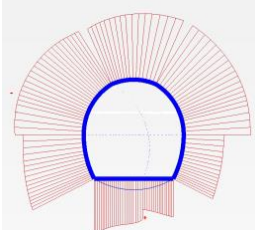

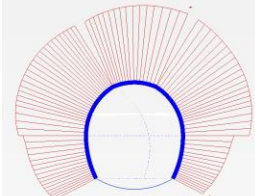

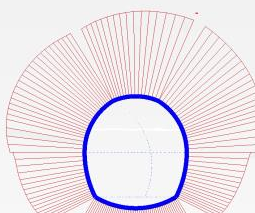

Obr. 6.14 Průběh napětí řez B

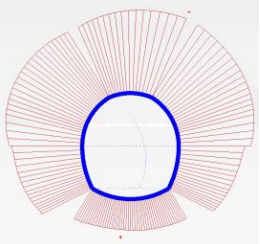
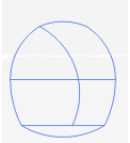
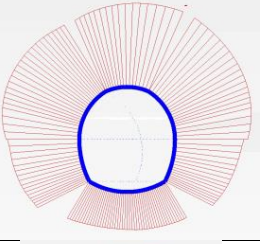
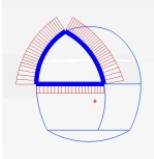
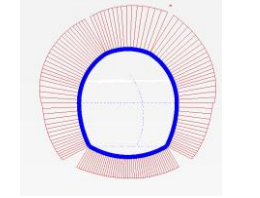
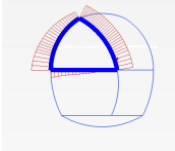
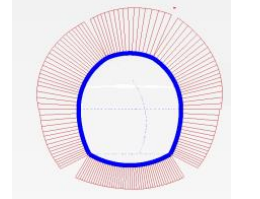
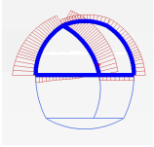
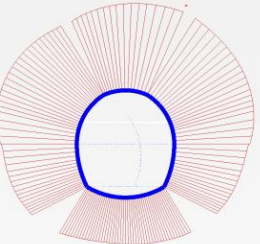
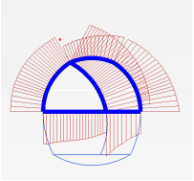
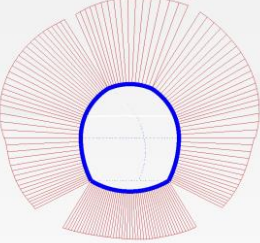
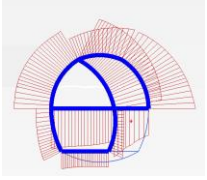
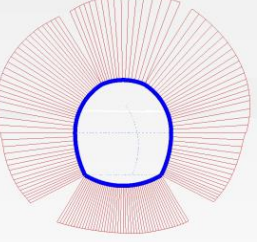
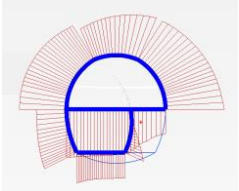
6.7.1 Vnitřní síly

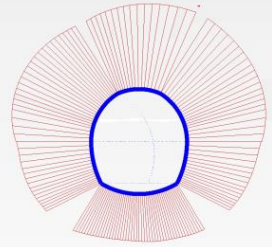
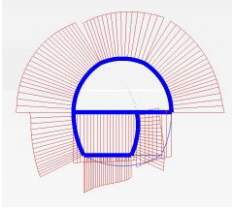
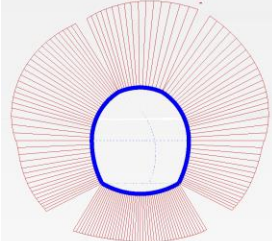
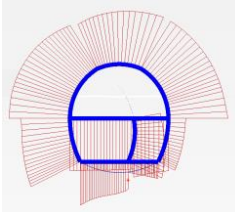
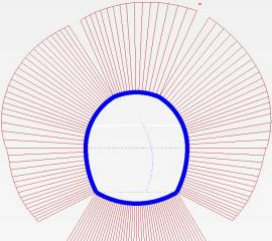
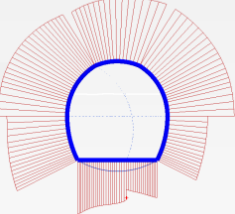
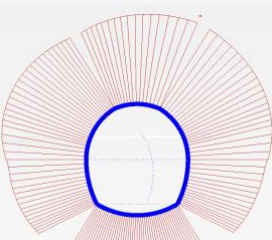
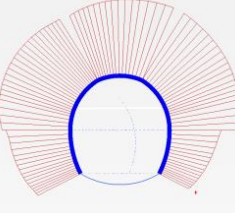
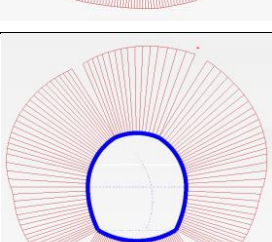
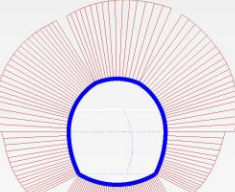
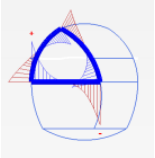
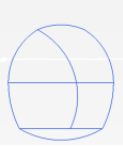
V následujících tabulkách je uveden výčet vnitřních sil v ostění. V prostředním sloupci je vždy uvedena aktuální fáze a maximální a minimální hodnota pro příslušnou sílu. V krajních polích tabulky jsou vykresleny oba tubusy tunelu a v nich je graficky zobrazeno působení vnitřních sil.

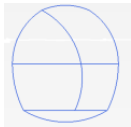
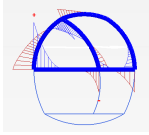
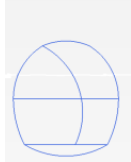
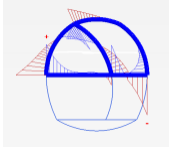
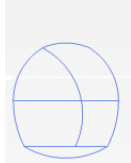
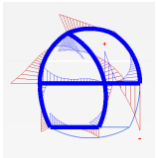
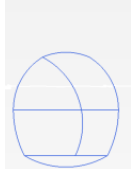
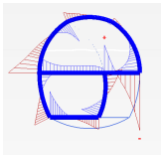
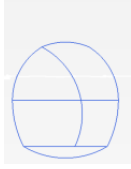
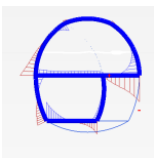
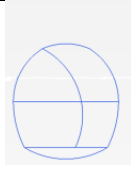
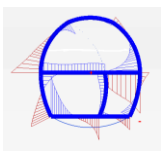
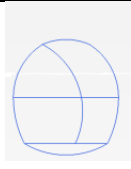
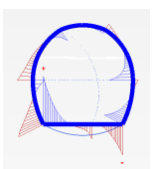
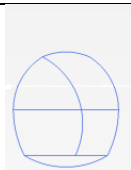
VÝČET VNITŘNÍCH SIL - ŘEZ A

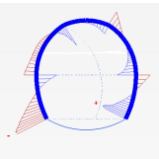
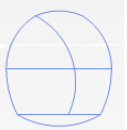
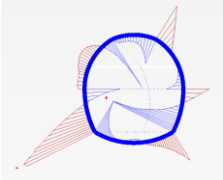
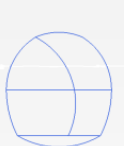
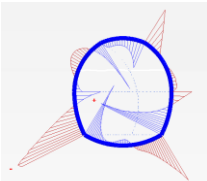
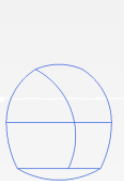
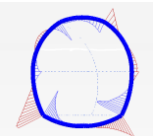
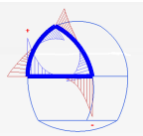
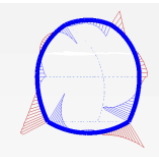
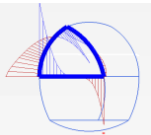
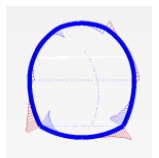
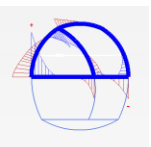
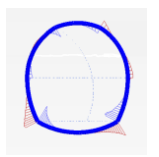
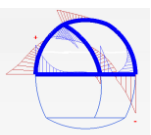
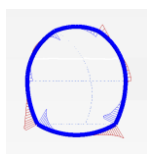
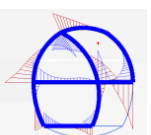
	<p>FÁZE 2</p> <p>$N_{MIN} = -192,35 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -85,83 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 3</p> <p>$N_{MIN} = -314,15 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -376,72 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 4</p> <p>$N_{MIN} = -476,93 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = 57,47 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 5</p> <p>$N_{MIN} = -480,83 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -183,16 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 6</p> <p>$N_{MIN} = -520,70 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -183,16 \text{ kN/m}$</p>	

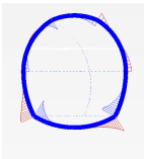
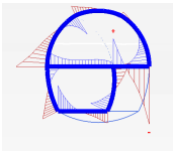
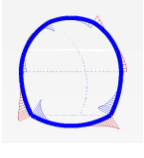
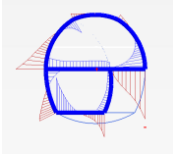
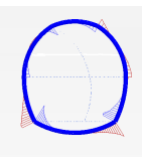
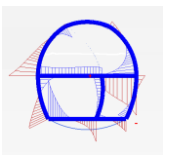
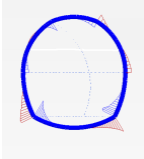
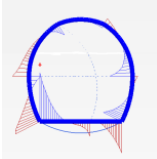
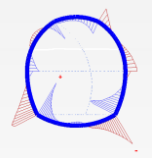
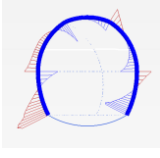
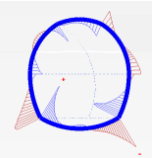
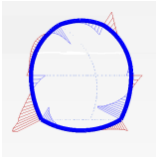
	<p>FÁZE 7</p> <p>$N_{MIN} = -584,81 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -12,86 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 8</p> <p>$N_{MIN} = -582,12 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -221,04 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 9</p> <p>$N_{MIN} = -615,17 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -107,97 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 10</p> <p>$N_{MIN} = -691,59 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -299,91 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 11</p> <p>$N_{MIN} = -800,98 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -338,05 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 12</p> <p>$N_{MIN} = -846,60 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -195,64 \text{ kN/m}$</p>	

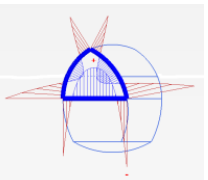

	<p>FÁZE 13</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -872,63 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -312,08 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 14</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -888,60 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -81,75 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 15</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -896,86 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = 69,23 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 16</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -902,46 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = 55,21 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 17</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -904,95 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -176,83 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 18</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -906,54 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -80,99 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 19</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -907,83 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = 11,07 \text{ kN/m}$</p>	

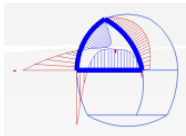
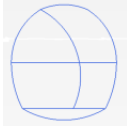
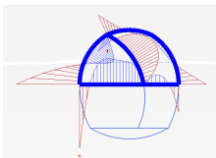
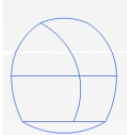
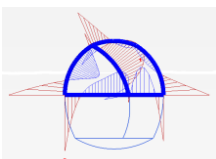
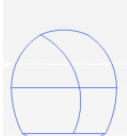
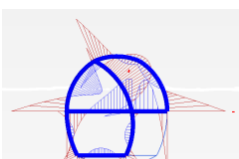
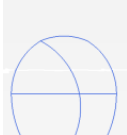
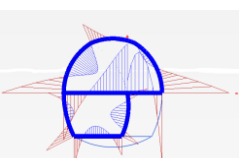
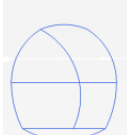
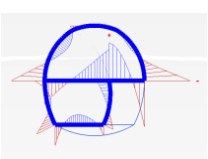
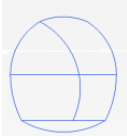
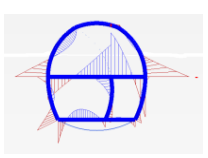
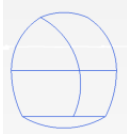
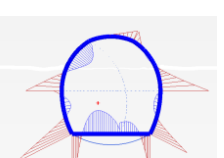
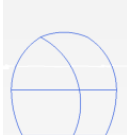
	<p>FÁZE 20</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -907,79 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -215,69 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 21</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -907,90 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -104,94 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 22</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -906,63 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -289,93 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 23</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -904,76 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -326,48 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 24</p> <p>$N_{\text{MIN}} = -904,28 \text{ kN/m}$ $N_{\text{MAX}} = -191,27 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 2</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -198,68 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 187,19 \text{ kN/m}$</p>	

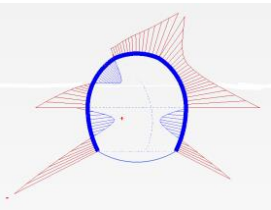
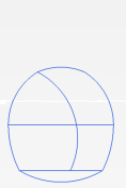
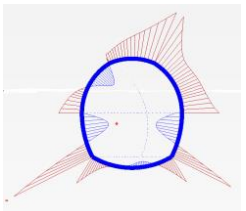

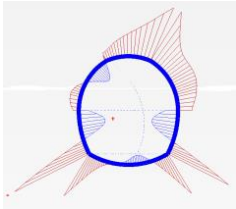
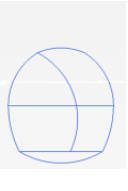
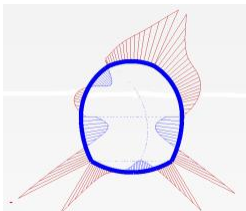
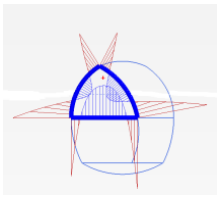
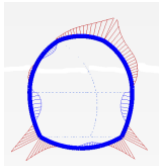
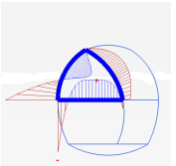
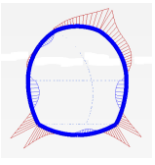
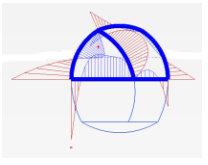
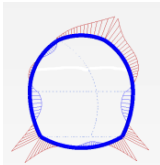
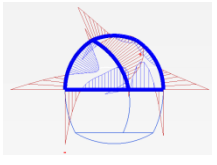
	<p>FÁZE 3</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -244,59 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 371,35 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 4</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -221,40 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 155,09 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 5</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -384,24 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 294,69 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 6</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -461,77 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 312,75 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 7</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -553,98 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 267,21 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 8</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -496,12 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 422,79 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 9</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -395,87 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 408,50 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 10</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -295,13 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 469,90 \text{ kN/m}$</p>	

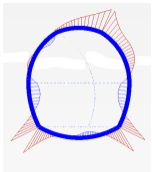
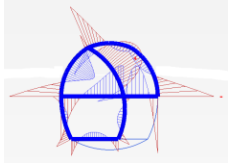
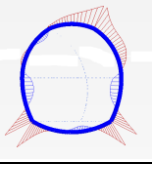
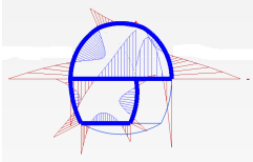
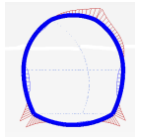
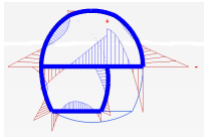
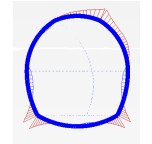
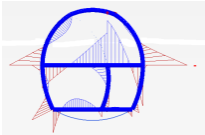
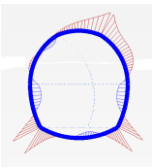
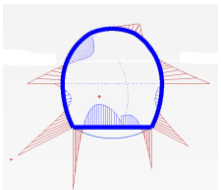
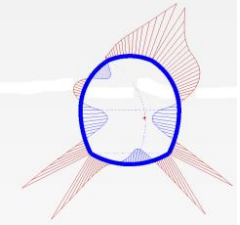
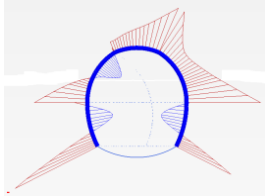
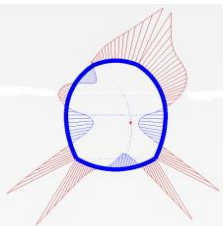
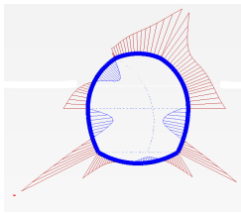
	<p>FÁZE 11</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -165,59 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 127,81 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 12</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -154,27 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 133,81 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 13</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -147,05 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 136,70 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 14</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -197,12 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 186,03 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 15</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -236,82 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 366,38 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 16</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -218,12 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 448,81 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 17</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -382,71 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 290,63 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 18</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -459,99 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 311,35 \text{ kN/m}$</p>	

	<p>FÁZE 19</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -551,57 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 267,27 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 20</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -491,57 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 401,67 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 21</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -391,75 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 386,43 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 22</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -293,01 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 461,95 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 23</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -166,90 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 182,13 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 24</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -167,42 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 182,47 \text{ kN/m}$</p>	

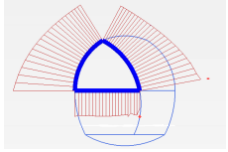
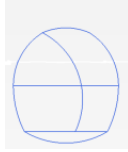
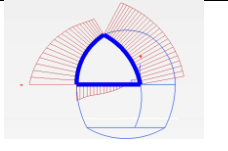
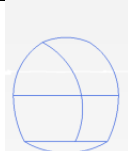
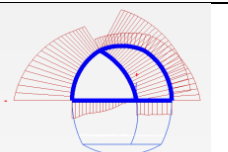
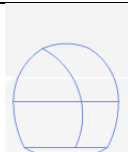
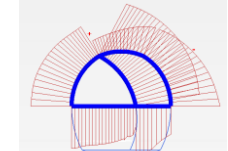
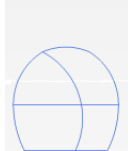
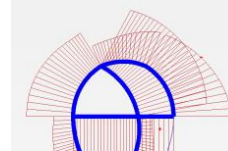
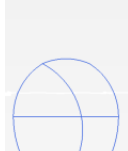
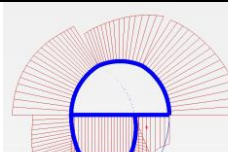
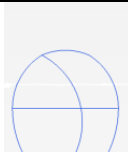
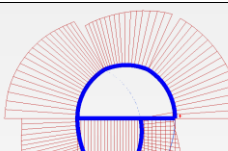

	<p>FÁZE 2</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -135,84 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 61,15 \text{ kNm/m}$</p>	
---	--	---

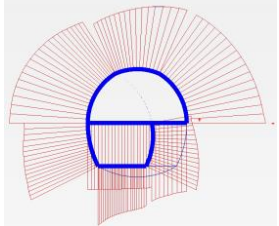
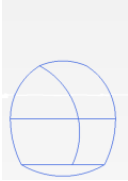
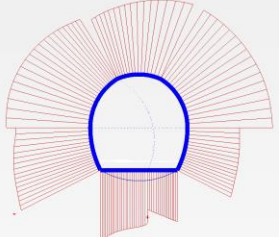
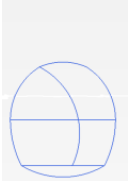
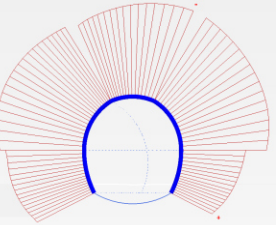

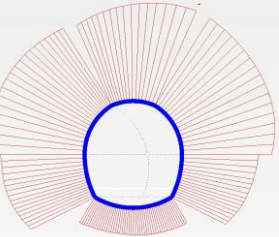

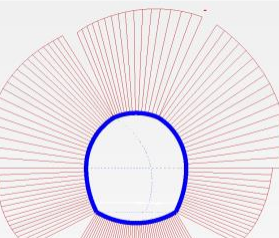

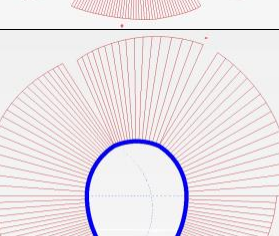
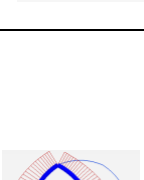
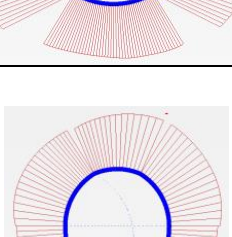
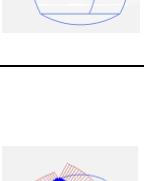
	<p>FÁZE 3</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -261,67 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 114,01 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 4</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -312,22 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 127,31 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 5</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -278,07 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 137,95 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 6</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -284,28 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 158,83 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 7</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -332,93 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 239,69 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 8</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -446,66 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 366,55 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 9</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -439,65 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 439,96 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 10</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -311,11 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 116,15 \text{ kNm/m}$</p>	

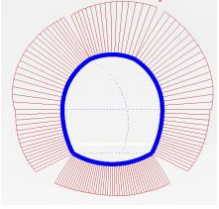
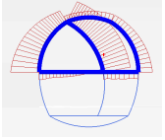
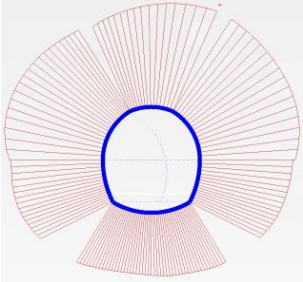
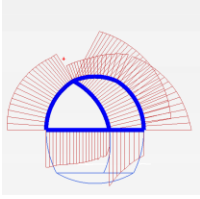
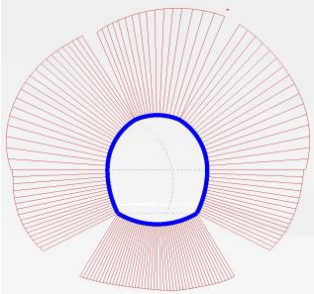
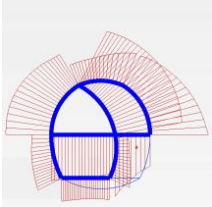
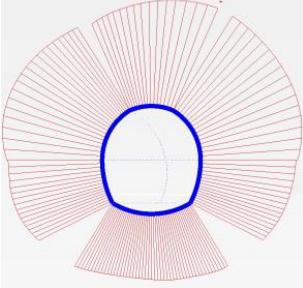
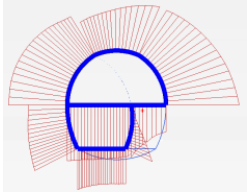
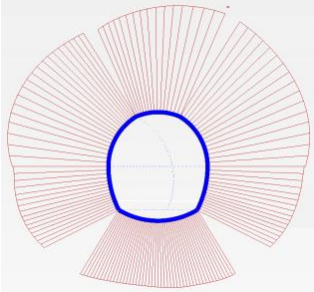
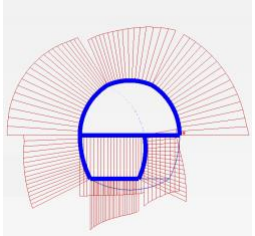
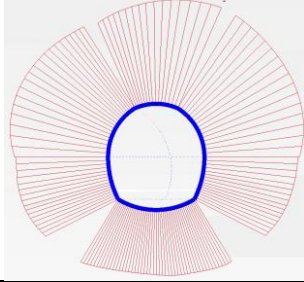
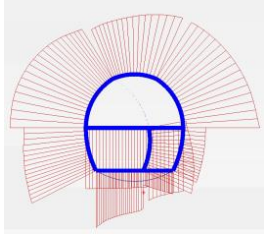
	<p>FÁZE 11</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -186,66 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 51,16 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 12</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -172,41 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 50,47 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 13</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -164,31 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 50,99 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 14</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -158,79 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 61,10 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 15</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -253,70 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 111,53 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 16</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -302,86 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 124,67 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 17</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -271,38 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 138,32 \text{ kNm/m}$</p>	

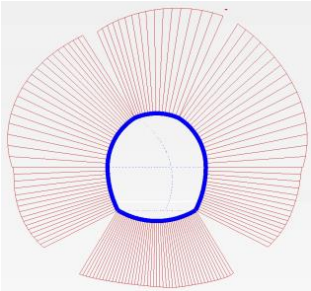
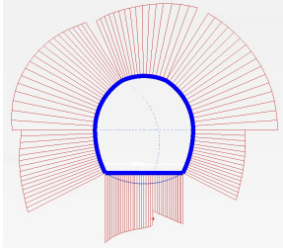
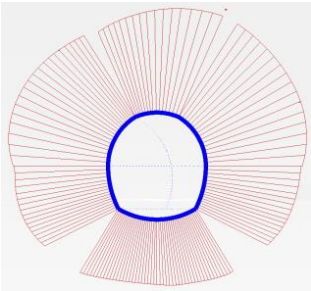
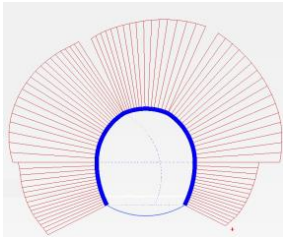
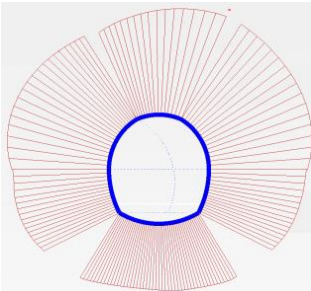
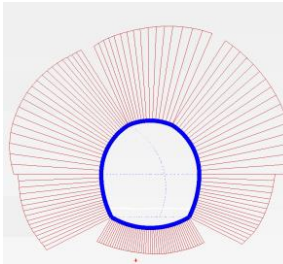
	<p>FÁZE 18</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -283,42 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 155,59 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 19</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -331,60 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 234,89 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 20</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -439,70 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 361,96 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 21</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -431,97 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 434,93 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 22</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -303,46 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 112,98 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 23</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -182,08 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 52,60 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 24</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -168,23 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 52,54 \text{ kNm/m}$</p>	

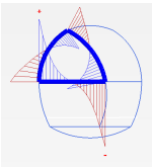
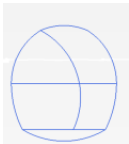
VÝČET VNITŘNÍCH SIL - ŘEZ B

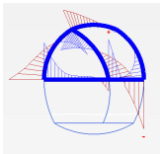
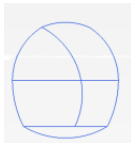
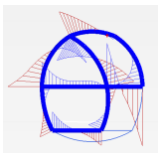

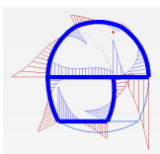
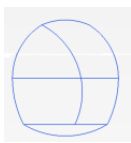
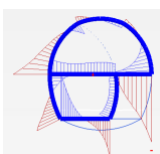
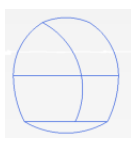
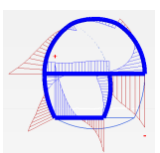
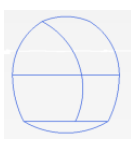
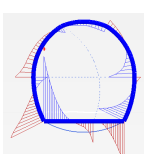
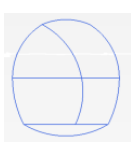
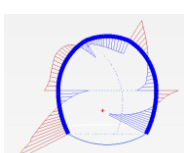
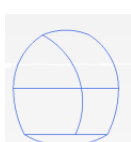
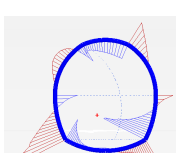
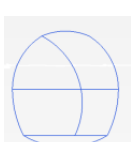
	<p>FÁZE 2</p> <p>$N_{MIN} = -121,20 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -34,90 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 3</p> <p>$N_{MIN} = -234,00 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = 100,44 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 4</p> <p>$N_{MIN} = -286,12 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = 89,37 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 5</p> <p>$N_{MIN} = -330,20 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -81,33 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 6</p> <p>$N_{MIN} = -355,43 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -62,34 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 7</p> <p>$N_{MIN} = -366,41 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -15,12 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 8</p> <p>$N_{MIN} = -371,42 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -158,76 \text{ kN/m}$</p>	

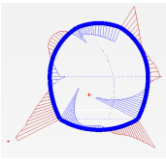
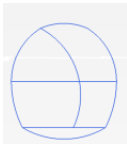
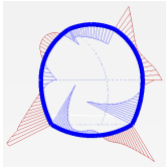
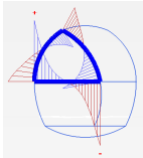
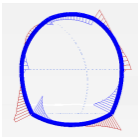
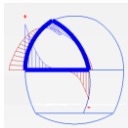
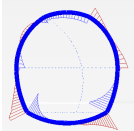
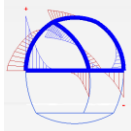
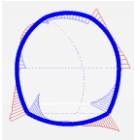
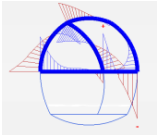
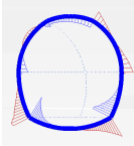
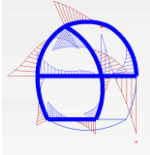
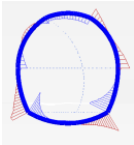
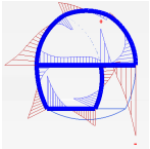
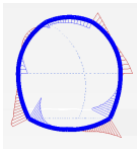
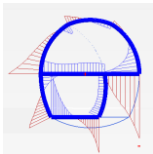
	<p>FÁZE 9</p> <p>$N_{MIN} = -389,87 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -74,00 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 10</p> <p>$N_{MIN} = -446,77 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -197,50 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 11</p> <p>$N_{MIN} = -492,65 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -230,64 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 12</p> <p>$N_{MIN} = -520,14 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -134,19 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 13</p> <p>$N_{MIN} = -535,59 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -213,56 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 14</p> <p>$N_{MIN} = -545,24 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -31,74 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 15</p> <p>$N_{MIN} = -549,30 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = 104,59 \text{ kN/m}$</p>	

	<p>FÁZE 16</p> <p>$N_{MIN} = -552,78 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = 95,30 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 17</p> <p>$N_{MIN} = -554,00 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -83,27 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 18</p> <p>$N_{MIN} = -554,96 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -61,17 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 19</p> <p>$N_{MIN} = -555,50 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -13,50 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 20</p> <p>$N_{MIN} = -555,27 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -153,28 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 21</p> <p>$N_{MIN} = -555,27 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -71,61 \text{ kN/m}$</p>	

	<p>FÁZE 22</p> <p>$N_{MIN} = -554,58 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -188,76 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 23</p> <p>$N_{MIN} = -552,80 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -228,46 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 24</p> <p>$N_{MIN} = -552,50 \text{ kN/m}$ $N_{MAX} = -127,12 \text{ kN/m}$</p>	

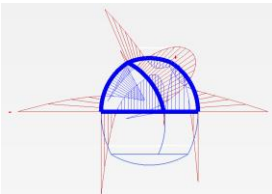
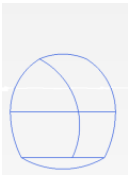
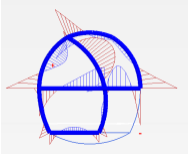
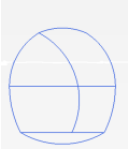
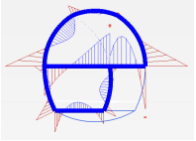
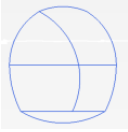
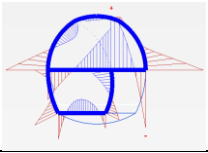
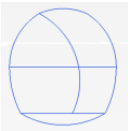
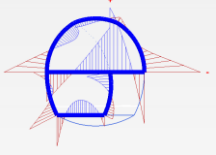
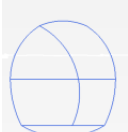
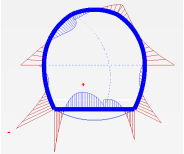
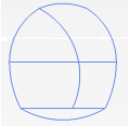
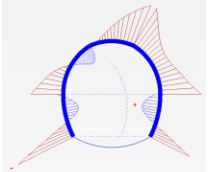
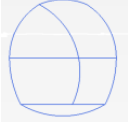
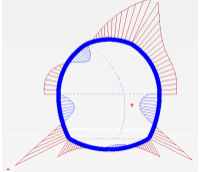
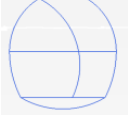
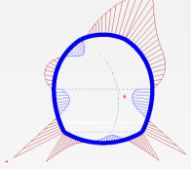
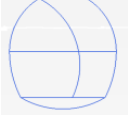
	<p>FÁZE 2</p> <p>$Q_{MIN} = -124,19 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 119,76 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 3</p> <p>$Q_{MIN} = -146,00 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 233,09 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 4</p> <p>$Q_{MIN} = -137,87 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 281,79 \text{ kN/m}$</p>	

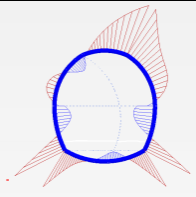
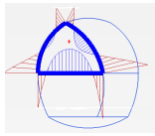
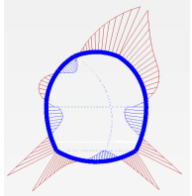
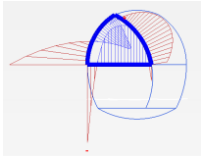
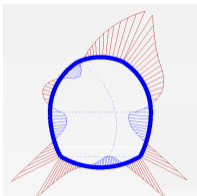
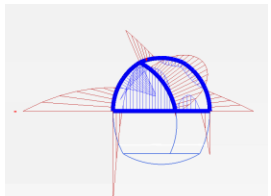
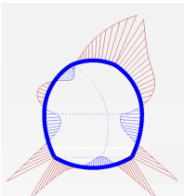
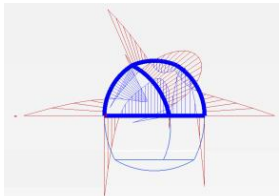
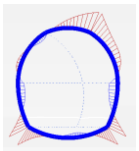
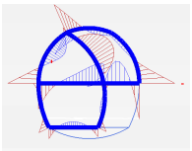
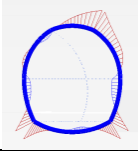
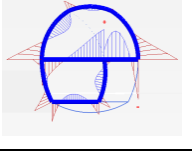
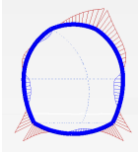
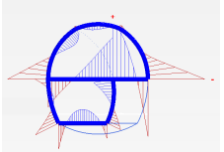
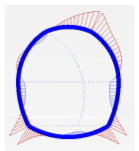
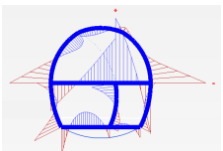
	<p>FÁZE 5</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -240,83 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 195,46 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 6</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -289,88 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 211,26 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 7</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -352,14 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 181,33 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 8</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -325,78 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 244,23 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 9</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -261,61 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 262,10 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 10</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -205,69 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 312,82 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 11</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -106,38 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 82,89 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 12</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -99,44 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 90,19 \text{ kN/m}$</p>	

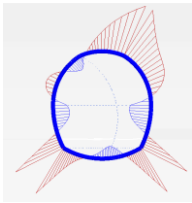
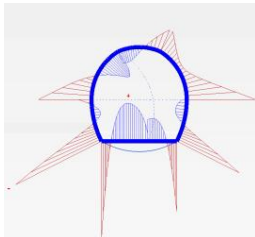
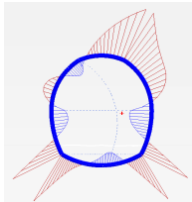
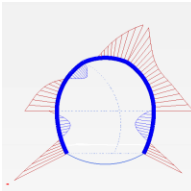
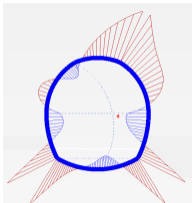
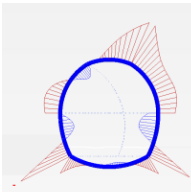
	<p>FÁZE 13</p> <p>$Q_{MIN} = -95,60 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 93,94 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 14</p> <p>$Q_{MIN} = -122,91 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 117,26 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 15</p> <p>$Q_{MIN} = -145,35 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 227,51 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 16</p> <p>$Q_{MIN} = -135,41 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 275,27 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 17</p> <p>$Q_{MIN} = -236,03 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 191,42 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 18</p> <p>$Q_{MIN} = -284,54 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 207,18 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 19</p> <p>$Q_{MIN} = -346,71 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 178,70 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 20</p> <p>$Q_{MIN} = -319,29 \text{ kN/m}$ $Q_{MAX} = 231,46 \text{ kN/m}$</p>	

	<p>FÁZE 21</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -256,18 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 254,17 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 22</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -204,19 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 301,45 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 23</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -107,91 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 116,30 \text{ kN/m}$</p>	
	<p>FÁZE 24</p> <p>$Q_{\text{MIN}} = -108,24 \text{ kN/m}$ $Q_{\text{MAX}} = 116,54 \text{ kN/m}$</p>	

	<p>FÁZE 2</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -89,11 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 46,95 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 3</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -161,56 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 77,82 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 4</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -191,41 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 90,70 \text{ kNm/m}$</p>	

	<p>FÁZE 5</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -168,03 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 94,31 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 6</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -177,82 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 112,96 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 7</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -205,19 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 158,25 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 8</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -287,86 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 271,66 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 9</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -279,92 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 321,27 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 10</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -207,26 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 82,31 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 11</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -124,36 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 34,65 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 12</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -116,31 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 36,69 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 13</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -112,31 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 39,13 \text{ kNm/m}$</p>	

	<p>FÁZE 14</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -109,18 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 46,92 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 15</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -153,57 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 77,52 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 16</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -181,44 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 89,90 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 17</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -158,07 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 93,93 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 18</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -172,95 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 118,75 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 19</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -200,20 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 152,08 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 20</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -278,96 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 267,44 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 21</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -270,62 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 316,18 \text{ kNm/m}$</p>	

	<p>FÁZE 22</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -197,76 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 78,04 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 23</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -118,66 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 43,22 \text{ kNm/m}$</p>	
	<p>FÁZE 24</p> <p>$M_{\text{MIN}} = -110,73 \text{ kNm/m}$ $M_{\text{MAX}} = 43,06 \text{ kNm/m}$</p>	

6.8 Posouzení primárního ostění

Při posudku se vycházelo podle navrženého ostění, které je tvořeno stříkaným betonem SB25 / typ II / obor J2. Vyztužen je ocelovými profily typu HEB, jež jsou kladeny po vzdálenosti 0,8 m. Jako betonářská výztuž byly navrženy KARI sítě s průměrem drátu 8 mm a velikostí ok 100/100 mm. Tyto sítě budou provedeny při obou površích ostění.

Posudek primárního ostění byl proveden podle normy ČSN EN 1994-1-1 též Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. [20] Podle této normy, je možné tuto ocelobetonovou spřaženou konstrukci, která je namáhána ohybem a osovou silou, posuzovat podle zjednodušené metody.

6.8.1 Zjednodušená metoda návrhu

Za předpokladu obdélníkových napětí, lze vypočítat únosnost spřaženého průřezu, působí-li současně tlak a ohyb. Potom všechna vlákna ocelových prvků dosahují hodnot f_{yd} případně f_{sd} betonu, který je tlačěn $0,85 f_{cd}$.

Aby mohla být použita tato zjednodušená metoda v tomto případě, musí být splněno několik podmínek.

- Použité ocelové prvky musí spadat do třídy S235 až S460 a současně beton musí vyhovovat pevnostní třídě C20/25 až C50/60
- Poměr vyjadřující příspěvek oceli $0,2 \leq \delta \leq 0,9$ spočítáme tak že:

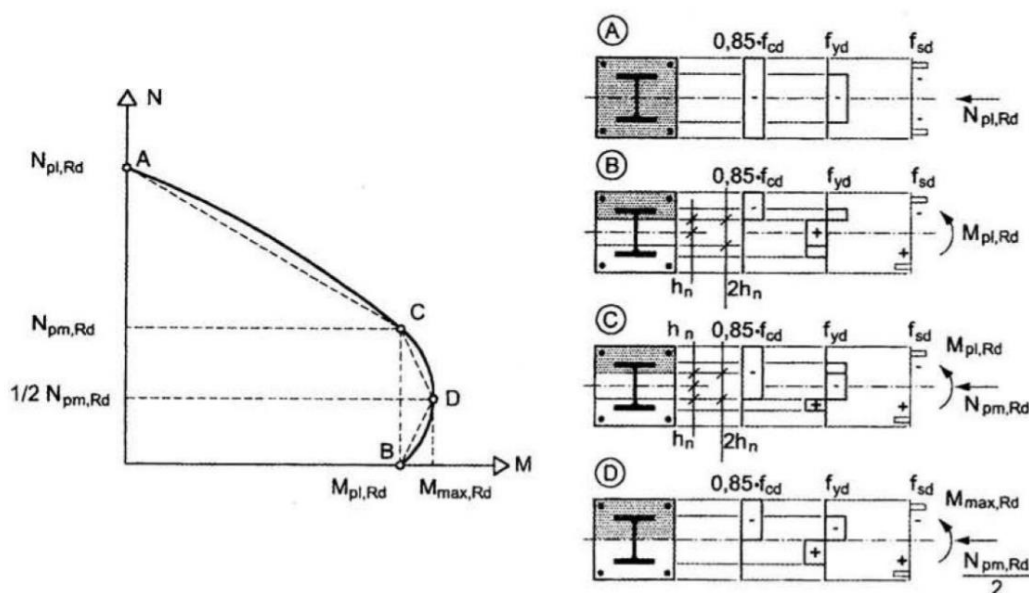
$$\delta = \frac{A_a \times f_{yd}}{N_{pl,Rd}}$$

A_a plocha ocelového průřezu

f_{yd} návrhová pevnost oceli

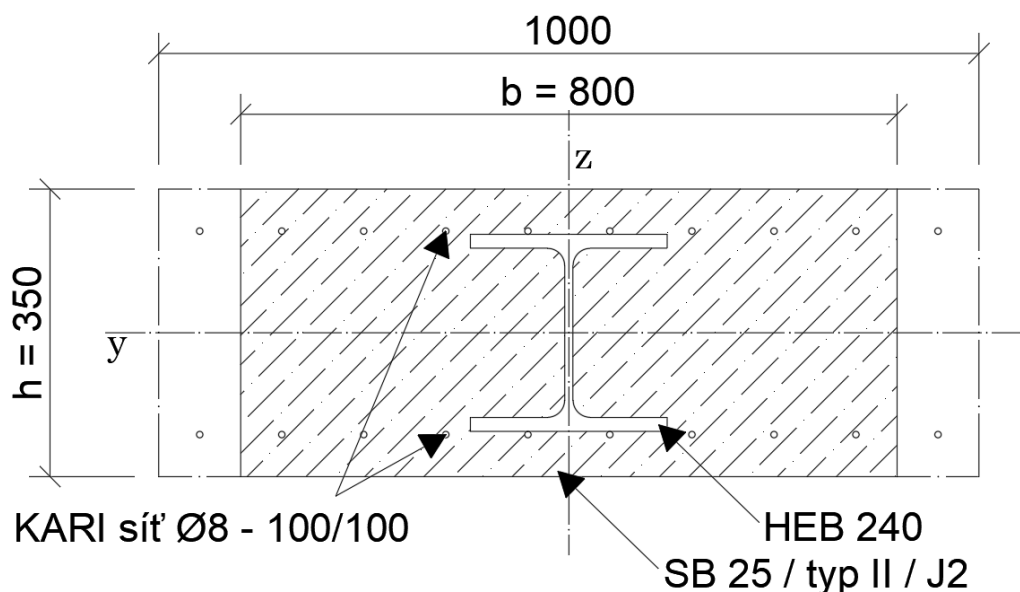
$N_{pl,Rd}$ plastická únosnost v tlaku

- Poměr výšky průřezu h ku šířce b v intervalu $0,2 \leq h/b \leq 5,0$
- Tloušťka krycí vrstvy $40 \text{ mm} \leq c_z \leq 0,3 \cdot h$
 $40 \text{ mm} \leq c_y \leq 0,4 \cdot b$
- Při výpočtu musíme zohlednit plochu podélné betonářské výztuže. Neměla by přesahovat 6 % plochy betonu. Pokud je větší, z bezpečnostního hlediska započítáváme jen 6 %. Po splnění této podmínky je možné poté sestavit interakční křivku spřaženého ocelobetonového průřezu pomocí polygonu, který je vyobrazen na Obr. 6.15.



Obr. 6.15 Zjednodušená interakční křivka a rozdělení napětí v průřezu [13]

6.8.2 Zjednodušená metoda návrhu – ověření podmínek



Obr. 6.16 Schéma průřezu primárního ostění

Poměr vyjadřující příspěvek oceli

$$\delta = \frac{A_a \times f_{yd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{10600 \times 355}{7247,72} = 0,52$$

$$0,2 \leq 0,52 \leq 0,9 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Poměr výšky průřezu h ku šířce b

$$h/b = 350/800 = 0,44$$

$$0,2 \leq 0,44 \leq 5,0 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Tloušťka krycí vrstvy

$$40 \text{ mm} \leq c_z \leq 0,3 \cdot h$$

$$40 \text{ mm} \leq 55 \leq 105 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$40 \text{ mm} \leq c_y \leq 0,4 \cdot b$$

$$40 \text{ mm} \leq 280 \leq 320 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Plocha podélné betonářské výztuže

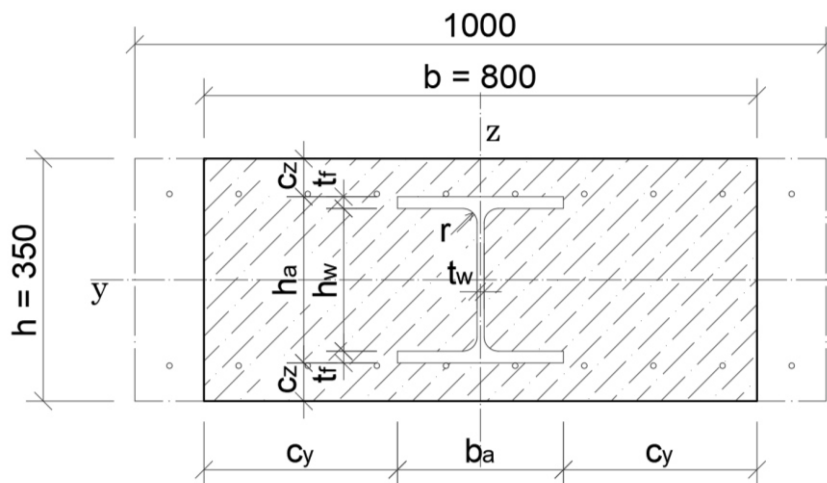
$$A_s = 804 \text{ mm}^2$$

$$0,06 \cdot A_c = 0,06 \cdot 2,69 \cdot 10^5 = 16140 \text{ mm}^2$$

$$804 \text{ mm}^2 \leq 16140 \text{ mm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

6.8.3 Výpočet krajních bodů interakčního diagramu

Pro výpočet krajních bodů interakčního diagramu je nutné znát průřezové a materiálové charakteristiky. Pro lepší přehlednost jsou uvedeny v následujících tabulkách.



Obr. 6.17 Schéma průřezu primárního ostění

Tabulka 4: Průřez ostění – charakteristické vlastnosti

Průřez ostění			
Výška	h	350	mm
Šířka	b	800	mm
Tlaková tuhost	EA	8,03E+06	kN/m
Ohybová tuhost	EI	84 916	kN*m ² /m

Tabulka 5: Beton – charakteristické vlastnosti

Beton SB 25 / typ II / obor J2			
Průřezová plocha	A _c	2,69E+05	mm ²
Moment setrvačnosti	I _{yc}	2,73E+09	mm ⁴
Modul pružnosti	E _c	15	GPa
Charakteristická pevnost	f _{ck}	20	MPa

Tabulka 6: HEB 240 – charakteristické vlastnosti

Ocelový profil HEB240 - S355			
Výška	h_a	240	mm
Šířka	b_a	240	mm
Tloušťka pásnice	t_f	17	mm
Tloušťka stojiny	t_w	10	mm
Výška stojiny	h_w	206	mm
Zaoblení	r	21	mm
Krytí pásnice ve směru z	c_z	55	mm
Krytí pásnice ve směru y	c_y	280	mm
Průřezová plocha	A_a	1,06E+04	mm ²
Moment setrvačnosti	I_{ya}	1,13E+08	mm ²
Modul pružnosti oceli	E_y	210	GPa
Charakteristická pevnost	f_{yk}	355	MPa

Tabulka 7: Kari síť – charakteristické vlastnosti

Kari síť Ø8 - 100/100			
Průřezová plocha	A_s	804	mm ²
Moment setrvačnosti	I_{ys}	1,55E+07	mm ⁴
Modul pružnosti	E_y	210	GPa
Charakteristická pevnost	f_{sk}	500	MPa

Návrhové pevnosti

Návrhová pevnost betonu:

$$f_{cd} = \frac{0,85 \times f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \times 20}{1,5} = 11,33 \text{ MPa}$$

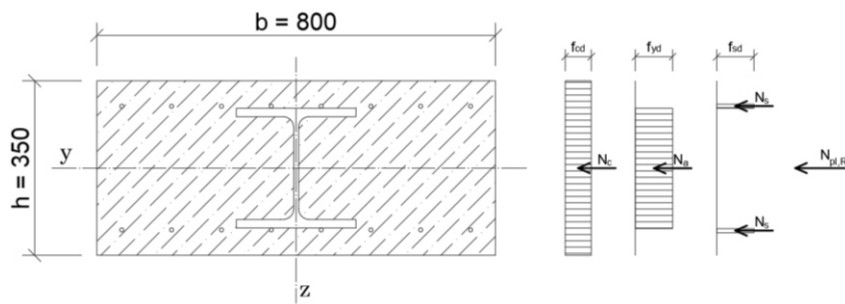
Návrhová pevnost ocelového průřezu:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{Mo}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost betonářské výztuže

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_a} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

Bod A – $N_{pl,Rd}$



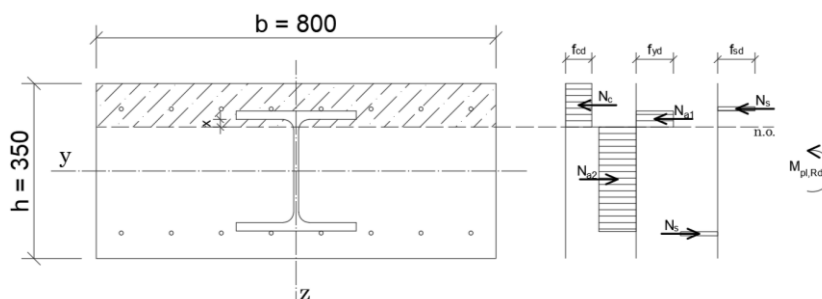
Obr. 6.18 Schéma pro výpočet interakčního bodu A

$$N_{pl,Rd} = \sum N_c \cdot f_{cd} + \sum N_a \cdot f_{yd} + \sum N_s \cdot f_{sd}$$

$$N_{pl,Rd} = 10600 \cdot 355 + 26900 \cdot 11,33 + 1005 \cdot 434,78$$

$$\underline{N_{pl,Rd} = 7247,72 \text{ kN}}$$

Bod B – $M_{pl,Rd}$



Obr. 6.19 Schéma pro výpočet interakčního bodu B

- podmínka pro určení neutrálné osy $N_c + N_{a1} + N_s = N_{a2} + N_{s2}$; z této podmínky určíme polohy osy

$$(800 \cdot 55 + 560 \cdot 17 + 790 \cdot x) \cdot 11,33 + (240 \cdot 17 + 10 \cdot x) \cdot 355 = [240 \cdot 17 + 10 \cdot (206 - x)] \cdot 355$$

$$\underline{x = 7,8 \text{ mm}}$$

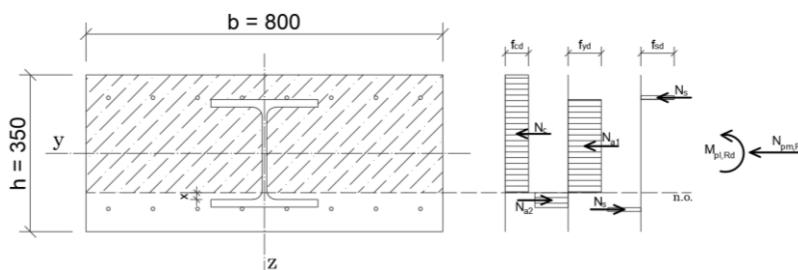
$$M_{pl,Rd} = \sum N_c \cdot z_c \cdot f_{cd} + \sum N_a \cdot z_a \cdot f_{yd} + \sum N_s \cdot z_s \cdot f_{sd}$$

$$M_{pl,Rd} = [b \cdot c_z \cdot z_{c1} + 2 \cdot c_y \cdot t_f \cdot z_{c2} + (b - t_w) \cdot x \cdot z_{c3}] \cdot f_{cd} + [b_a \cdot t_f \cdot z_{a1} + t_w \cdot x \cdot z_{a2} + t_w \cdot (h_w - x) \cdot z_{a3} + b_a \cdot t_f \cdot z_{a4}] \cdot f_{yd} + [A_{s1} \cdot z_{s1} + A_{s2} \cdot z_{s2}] \cdot f_{sd}$$

$$M_{pl,Rd} = [800 \cdot 55 \cdot 52,3 + 560 \cdot 17 \cdot 16,3 + 790 \cdot 7,8 \cdot 3,9] \cdot 11,33 + [240 \cdot 17 \cdot 16,3 + 10 \cdot 7,8 \cdot 3,9 + 10 \cdot 198,2 \cdot 99,1 + 240 \cdot 17 \cdot 206,7] \cdot 355 + [502,5 \cdot 28,8 + 502,5 \cdot 219,2] \cdot 434,78$$

$$\underline{M_{pl,Rd} = 464,29 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Bod C – $M_{pm,Rd}$



Obr. 6.20 Schéma pro výpočet interakčního bodu C

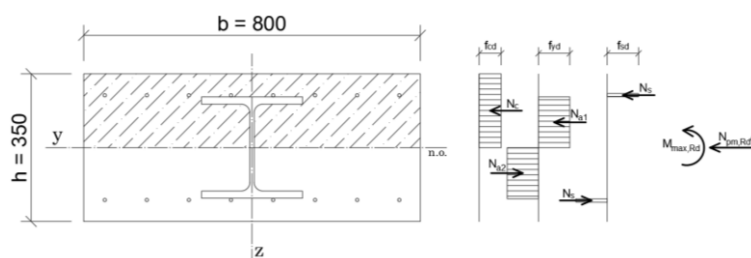
$$N_{pm,Rd} = \sum N_c \cdot f_{cd} + \sum N_a \cdot f_{yd} + \sum N_s \cdot f_{sd}$$

$$N_{pm,Rd} = [b \cdot c_z + 2 \cdot c_y \cdot t_f + (b - t_w) \cdot (h_w - x)] \cdot f_{cd} + [t_w \cdot (h_w - x) - t_w \cdot x] \cdot f_{yd}$$

$$N_{pm,Rd} = [800 \cdot 55 + 560 \cdot 17 + 790 \cdot 198,2] \cdot 11,33 + [10 \cdot 198,2 - 10 \cdot 7,8] \cdot 355$$

$$\underline{N_{pm,Rd} = 3057,51 \text{ kN}}$$

Bod D – $M_{max,Rd}$



Obr. 6.21 Schéma pro výpočet interakčního bodu D

$$N_{pm,Rd/2} = \sum N_c \cdot f_{cd} + \sum N_a \cdot f_{yd} + \sum N_s \cdot f_{sd}$$

$$N_{pm,Rd/2} = [b \cdot c_z + 2 \cdot c_y \cdot t_f + (b - t_w) \cdot h_w / 2] \cdot 11,33$$

$$N_{pm,Rd/2} = [800 \cdot 55 + 560 \cdot 17 + 790 \cdot 103] \cdot 11,33$$

$$\underline{N_{pm,Rd/2} = 1528,75 \text{ kN}}$$

$$M_{max,Rd} = \sum N_c \cdot z_c \cdot f_{cd} + \sum N_a \cdot z_a \cdot f_{yd} + \sum N_s \cdot z_s \cdot f_{sd}$$

$$M_{max,Rd} = [b \cdot c_z \cdot z_{c1} + 2 \cdot c_y \cdot t_f \cdot z_{c2} + (b - t_w) \cdot h_w / 2 \cdot z_{c3}] \cdot f_{cd} + [2 \cdot (b_a \cdot t_f \cdot z_{a1}) + 2 \cdot (t_w \cdot h_w / 2 \cdot z_{a2})] \cdot f_{yd} + [2 \cdot (A_{s1} \cdot z_{s1})] \cdot f_{sd}$$

$$M_{max,Rd} = [800 \cdot 55 \cdot 147,5 + 560 \cdot 17 \cdot 111,5 + 790 \cdot 103 \cdot 51,5] \cdot 11,33 + [2 \cdot (240 \cdot 17 \cdot 111,5) + 2 \cdot (10 \cdot 103 \cdot 51,5)] \cdot 355 + [2 \cdot (502,5124)] \cdot 434,78$$

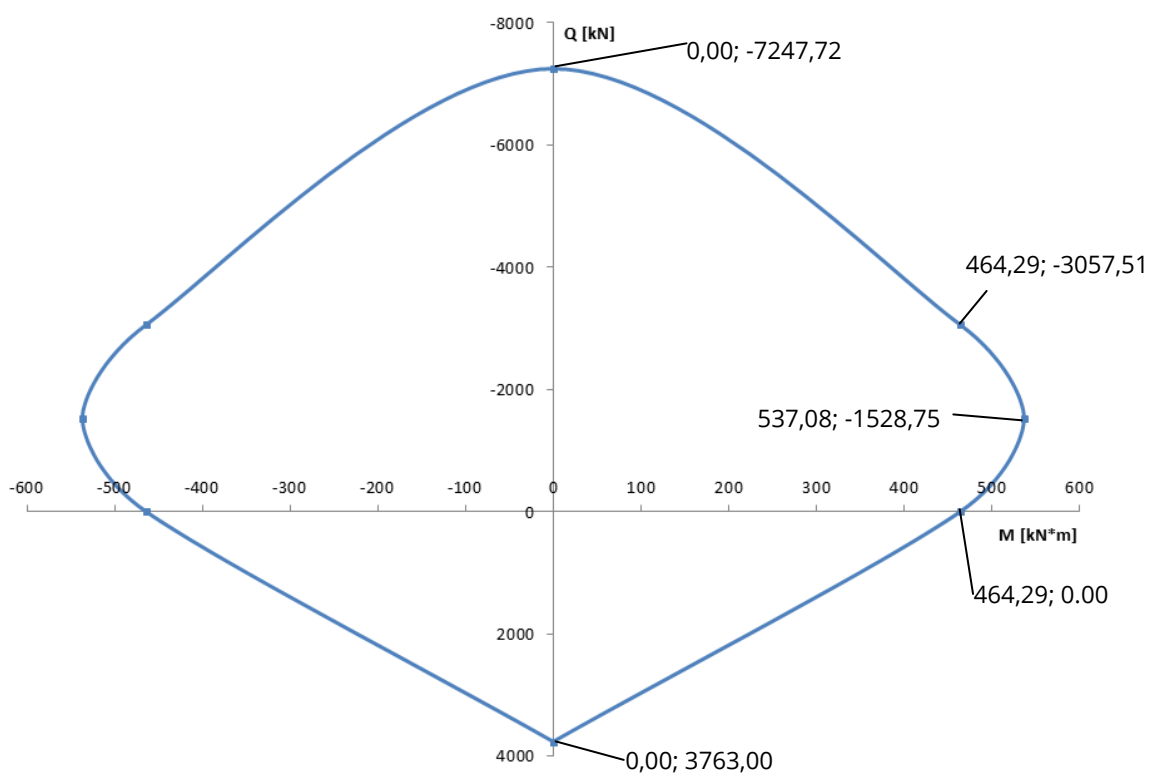
$$\underline{M_{max,Rd} = 537,08 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Bod E – $N_{t,Rd}$

$$N_{t,Rd} = A_a \cdot f_{yd} / \gamma_{M0}$$

$$N_{t,Rd} = 10600 \cdot 355 / 1,0$$

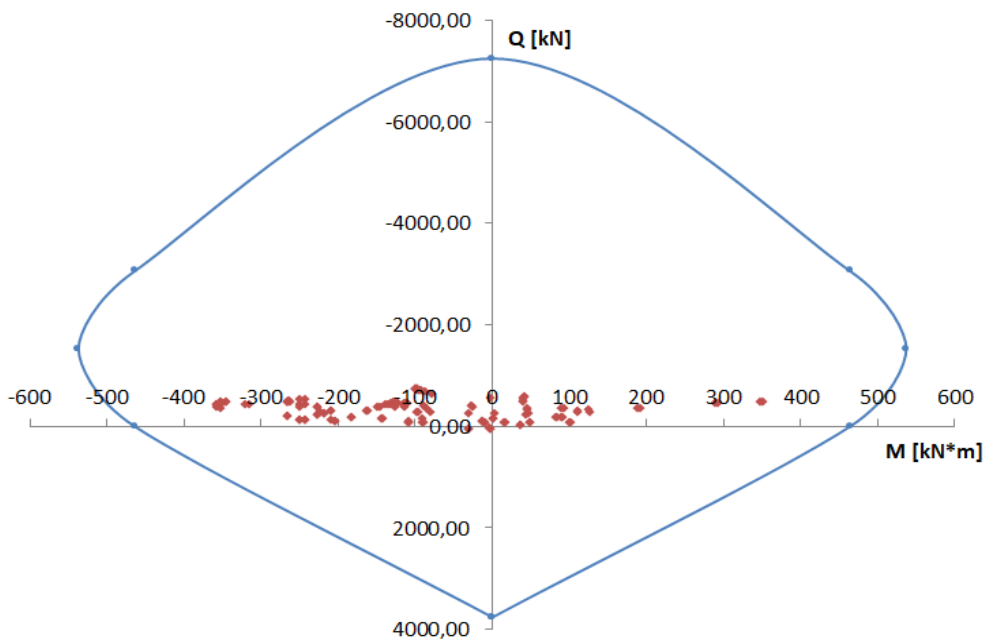
$$\underline{N_{t,Rd} = 3763,00 \text{ Kn}}$$



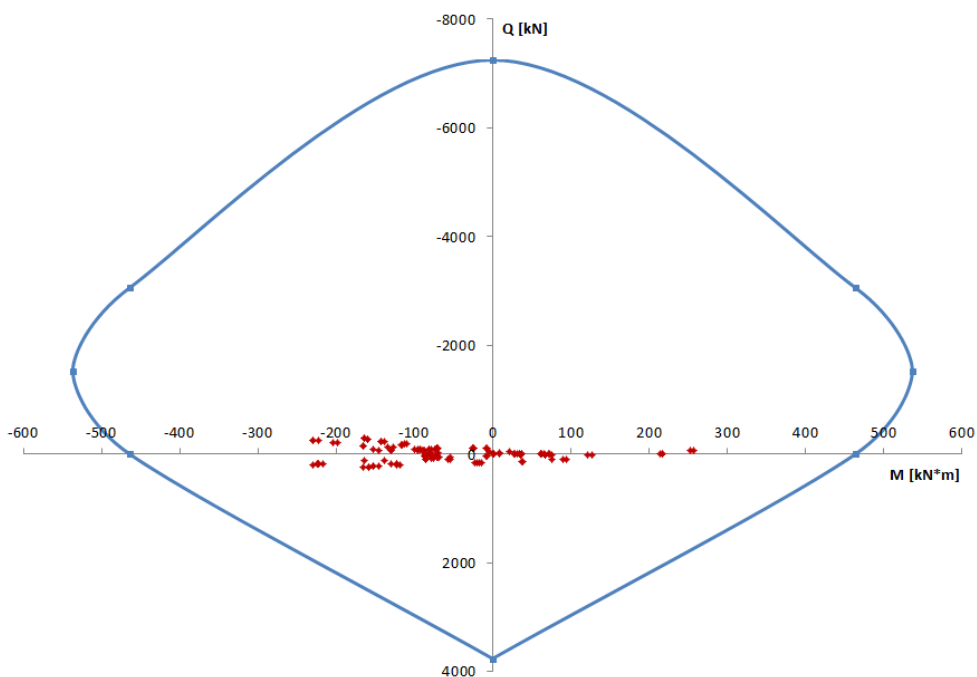
Obr. 6.22 Interakční diagram – hlavní body

6.8.4 Posouzení primárního ostění na normálová napětí

Pro posouzení byly vybrány vždy nejnepříznivější kombinace vnitřních sil. V následujících tabulkách jsou přepočítány síly na délku 0,8 m. Ty jsou vyneseny do níže uvedených interakčních diagramů.



Obr. 6.23 Interakční diagram – ŘEZ A



Obr. 6.24 Interakční diagram – ŘEZ B

ŘEZ A							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	M [kNm]
FÁZE 2	N _{MIN}	-192,35	-105,32	-114,20	-153,88	-84,25	-91,36
	N _{MAX}	-85,83	-94,79	-13,12	-68,66	-75,83	-10,50
	Q _{MIN}	-88,55	-198,68	-135,84	-70,84	-158,95	-108,68
	Q _{MAX}	-91,68	187,19	-114,20	-73,34	149,75	-91,36
	M _{MIN}	-88,55	-198,68	-135,84	-70,84	-158,95	-108,68
	M _{MAX}	-91,26	1,04	61,15	-73,01	0,83	48,92
FÁZE 3	N _{MIN}	-314,15	-13,97	-37,34	-251,32	-11,18	-29,87
	N _{MAX}	-376,72	-175,16	-261,67	-301,37	-140,13	-209,34
	Q _{MIN}	73,22	-244,59	-37,34	58,57	-195,67	-29,87
	Q _{MAX}	-143,15	371,35	-261,67	-114,52	297,08	-209,34
	M _{MIN}	-376,72	-175,16	-261,67	-301,37	-140,13	-209,34
	M _{MAX}	-218,61	-6,15	114,01	-174,89	-4,92	91,21
FÁZE 4	N _{MIN}	-467,93	-203,77	-312,22	-374,34	-163,02	-249,78
	N _{MAX}	57,47	-221,40	-2,55	45,98	-177,12	-2,04
	Q _{MIN}	57,47	-221,40	-2,55	45,98	-177,12	-2,04
	Q _{MAX}	-155,39	455,09	-312,22	-124,31	364,07	-249,78
	M _{MIN}	-155,39	455,09	-312,22	-124,31	364,07	-249,78
	M _{MAX}	-98,22	4,12	127,31	-78,58	3,30	101,85
FÁZE 5	N _{MIN}	-480,83	-36,57	-141,96	-384,67	-29,26	-113,57
	N _{MAX}	-183,16	-156,89	-177,32	-146,52	-125,51	-141,86
	Q _{MIN}	-221,18	-384,24	-227,63	-176,94	-307,39	-182,11
	Q _{MAX}	-339,10	294,69	-278,07	-271,28	235,75	-222,46
	M _{MIN}	-339,10	294,69	-278,07	-271,28	235,75	-222,46
	M _{MAX}	-357,43	23,54	137,95	-285,94	18,83	110,36
FÁZE 6	N _{MIN}	-520,70	-36,74	-164,29	-416,56	-29,39	-131,43
	N _{MAX}	-82,64	-31,75	20,56	-66,11	-25,40	16,45
	Q _{MIN}	-269,97	-461,77	-284,28	-215,98	-369,41	-227,42
	Q _{MAX}	-498,56	312,75	-32,55	-398,85	250,20	-26,04
	M _{MIN}	-475,72	264,31	-284,28	-380,57	211,45	-227,42
	M _{MAX}	-349,45	6,01	158,83	-279,56	4,80	127,07

ŘEZ A							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	M [kNm]
FÁZE 7	N _{MIN}	-584,81	263,75	-332,93	-467,85	211,00	-266,34
	N _{MAX}	-12,86	-70,18	46,58	-10,29	-56,14	37,27
	Q _{MIN}	-247,69	-553,98	-332,93	-198,15	-443,18	-266,34
	Q _{MAX}	-433,11	267,21	58,07	-346,49	213,77	46,46
	M _{MIN}	-584,81	263,75	-332,93	-467,85	211,00	-266,34
	M _{MAX}	-451,92	29,34	239,69	-361,53	23,47	191,75
FÁZE 8	N _{MIN}	-582,12	-295,00	-327,52	-465,69	-236,00	-262,02
	N _{MAX}	-221,04	27,19	105,11	-176,83	21,75	84,09
	Q _{MIN}	-453,30	-496,12	-446,66	-362,64	-396,90	-357,33
	Q _{MAX}	-532,60	422,79	-446,66	-426,08	338,23	-357,33
	M _{MIN}	-532,60	422,79	-446,66	-426,08	338,23	-357,33
	M _{MAX}	-564,55	-10,75	366,55	-451,64	-8,60	293,24
FÁZE 9	N _{MIN}	-615,17	-292,33	-330,01	-492,14	-233,86	-264,00
	N _{MAX}	-107,97	56,37	-16,50	-86,38	45,09	-13,20
	Q _{MIN}	-535,08	-395,87	-400,04	-428,07	-316,69	-320,03
	Q _{MAX}	-597,02	408,50	-439,65	-477,62	326,80	-351,72
	M _{MIN}	-597,02	408,50	-439,65	-477,62	326,80	-351,72
	M _{MAX}	-601,83	-111,98	439,96	-481,47	-89,59	351,97
FÁZE 10	N _{MIN}	-691,59	-63,06	-2,25	-553,27	-50,44	-1,80
	N _{MAX}	-299,91	12,73	58,45	-239,92	10,19	46,76
	Q _{MIN}	-370,51	-295,13	-203,81	-296,41	-236,10	-163,05
	Q _{MAX}	-542,37	469,90	-311,11	-433,90	375,92	-248,89
	M _{MIN}	-673,14	-269,57	-311,11	-538,51	-215,66	-248,89
	M _{MAX}	-450,54	1,99	116,15	-360,44	1,59	92,92
FÁZE 11	N _{MIN}	-800,98	46,57	-97,18	-640,78	37,25	-77,74
	N _{MAX}	-338,05	110,53	-122,29	-270,44	88,43	-97,83
	Q _{MIN}	-483,36	-165,59	-156,96	-386,69	-132,47	-125,56
	Q _{MAX}	-345,07	127,81	-100,33	-276,06	102,25	-80,26
	M _{MIN}	-479,97	-160,18	-186,66	-383,98	-128,14	-149,33
	M _{MAX}	-584,51	0,66	51,16	-467,61	0,53	40,93

ŘEZ A							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	M [kNm]
FÁZE 12	N _{MIN}	-846,60	51,37	-108,03	-677,28	41,09	-86,42
	N _{MAX}	-195,64	5,06	1,69	-156,51	4,05	1,35
	Q _{MIN}	-542,33	-154,27	-144,70	-433,86	-123,42	-115,76
	Q _{MAX}	-450,63	133,81	-106,83	-360,50	107,05	-85,46
	M _{MIN}	-538,55	-149,44	-172,41	-430,84	-119,55	-137,93
	M _{MAX}	-640,71	-5,21	50,47	-512,57	-4,17	40,38
FÁZE 13	N _{MIN}	-872,63	55,14	-114,51	-698,11	44,12	-91,61
	N _{MAX}	-312,08	7,86	2,95	-249,66	6,29	2,36
	Q _{MIN}	-578,49	-147,05	-137,95	-462,79	-117,64	-110,36
	Q _{MAX}	-515,04	136,70	-110,96	-412,03	109,36	-88,77
	M _{MIN}	-574,25	-141,71	-164,31	-459,40	-113,37	-131,45
	M _{MAX}	-683,92	4,81	50,99	-547,14	3,85	40,79
FÁZE 14	N _{MIN}	-888,60	56,75	-118,13	-710,88	45,40	-94,50
	N _{MAX}	-81,75	-94,20	-12,33	-65,40	-75,36	-9,86
	Q _{MIN}	-85,22	-197,12	-134,55	-68,18	-157,70	-107,64
	Q _{MAX}	-87,46	186,03	-110,96	-69,97	148,82	-88,76
	M _{MIN}	-594,60	-137,05	-158,79	-475,68	-109,64	-127,03
	M _{MAX}	-86,50	1,11	61,10	-69,20	0,88	48,88
FÁZE 15	N _{MIN}	-896,86	58,27	-119,82	-717,49	46,62	-95,86
	N _{MAX}	69,23	-236,82	-38,02	55,38	-189,46	-30,42
	Q _{MIN}	69,23	-236,82	-38,02	55,38	-189,46	-30,42
	Q _{MAX}	-131,38	366,38	-253,70	-105,10	293,11	-202,96
	M _{MIN}	-131,38	366,38	-253,70	-105,10	293,11	-202,96
	M _{MAX}	-205,58	5,32	111,53	-164,47	4,25	89,23
FÁZE 16	N _{MIN}	-902,46	58,75	-120,87	-721,97	47,00	-96,70
	N _{MAX}	55,21	-214,07	-3,88	44,17	-171,25	-3,10
	Q _{MIN}	-108,58	-218,12	-136,06	-86,87	-174,49	-108,85
	Q _{MAX}	-140,39	448,81	-302,86	-112,31	359,05	-242,29
	M _{MIN}	-140,39	448,81	-302,86	-112,31	359,05	-242,29
	M _{MAX}	-89,24	1,58	124,67	-71,40	1,27	99,74

ŘEZ A							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	M [kNm]
FÁZE 17	N _{MIN}	-904,95	59,77	-122,10	-723,96	47,82	-97,68
	N _{MAX}	-176,83	-158,46	-178,63	-141,46	-126,76	-142,91
	Q _{MIN}	-217,41	-382,71	-227,45	-173,92	-306,17	-181,96
	Q _{MAX}	-320,76	290,63	-271,38	-256,61	232,50	-217,10
	M _{MIN}	-320,76	290,63	-271,38	-256,61	232,50	-217,10
	M _{MAX}	-345,54	23,26	138,32	-276,43	18,61	110,65
FÁZE 18	N _{MIN}	-906,54	59,92	-122,20	-725,23	47,93	-97,76
	N _{MAX}	-80,99	-30,44	19,67	-64,79	-24,35	15,74
	Q _{MIN}	-264,34	-459,99	-283,42	-211,47	-367,99	-226,73
	Q _{MAX}	-483,88	311,35	-31,20	-387,10	249,08	-24,96
	M _{MIN}	-473,11	257,91	-283,42	-378,49	206,33	-226,73
	M _{MAX}	-391,79	22,88	155,59	-313,43	18,30	124,47
FÁZE 19	N _{MIN}	-907,83	60,32	-122,96	-726,27	48,26	-98,37
	N _{MAX}	-11,07	-67,91	45,19	-8,86	-54,33	36,15
	Q _{MIN}	-242,24	-551,57	-331,60	-193,79	-441,25	-265,28
	Q _{MAX}	-418,01	267,27	58,03	-334,41	213,82	46,43
	M _{MIN}	-580,63	256,88	-331,60	-464,50	205,50	-265,28
	M _{MAX}	-432,22	29,66	234,89	-345,78	23,73	187,92
FÁZE 20	N _{MIN}	-907,79	60,87	-123,38	-726,23	48,70	-98,70
	N _{MAX}	-215,69	28,01	103,84	-172,56	22,41	83,07
	Q _{MIN}	-442,51	-491,57	-439,70	-354,01	-393,26	-351,76
	Q _{MAX}	-528,38	401,67	-439,70	-422,70	321,33	-351,76
	M _{MIN}	-528,38	401,67	-439,70	-422,70	321,33	-351,76
	M _{MAX}	-547,97	-7,61	361,96	-438,38	-6,08	289,57
FÁZE 21	N _{MIN}	-907,90	60,99	-123,42	-726,32	48,79	-98,74
	N _{MAX}	-104,94	56,05	-16,08	-83,95	44,84	-12,87
	Q _{MIN}	-519,57	-391,75	-393,36	-415,66	-313,40	-314,69
	Q _{MAX}	-593,29	386,43	-431,97	-474,63	309,14	-345,57
	M _{MIN}	-593,29	386,43	-431,97	-474,63	309,14	-345,57
	M _{MAX}	-582,85	-108,72	434,93	-466,28	-86,97	347,95

ŘEZ A							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]	N [kN]	Q [kN]	M [kNm]
FÁZE 22	N _{MIN}	-906,63	61,48	-122,88	-725,31	49,18	-98,30
	N _{MAX}	-289,93	15,18	55,13	-231,94	12,15	44,10
	Q _{MIN}	-365,20	-293,01	-201,02	-292,16	-234,41	-160,82
	Q _{MAX}	-527,46	461,95	-303,46	-421,97	369,56	-242,77
	M _{MIN}	-660,96	-259,20	-303,46	-528,77	-207,36	-242,77
	M _{MAX}	-437,63	0,73	112,98	-350,10	0,58	90,38
FÁZE 23	N _{MIN}	-904,76	63,09	-123,56	-723,81	50,47	-98,85
	N _{MAX}	-326,48	114,73	-120,61	-261,18	91,78	-96,49
	Q _{MIN}	-547,83	-166,90	-140,64	-438,27	-133,52	-112,51
	Q _{MAX}	-565,05	182,13	-153,18	-452,04	145,70	-122,54
	M _{MIN}	-473,09	-145,06	-182,08	-378,47	-116,05	-145,66
	M _{MAX}	-720,25	2,14	52,60	-576,20	1,71	42,08
FÁZE 24	N _{MIN}	-904,28	63,24	-123,27	-723,42	50,59	-98,62
	N _{MAX}	-191,27	4,99	1,70	-153,02	3,99	1,36
	Q _{MIN}	-548,25	-167,42	-140,81	-438,60	-133,93	-112,65
	Q _{MAX}	-565,58	182,47	-153,34	-452,46	145,97	-122,67
	M _{MIN}	-528,94	-132,22	-168,23	-423,15	-105,77	-134,58
	M _{MAX}	-720,91	2,09	52,54	-576,73	1,67	42,03

ŘEZ B							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kN m]	N [kN]	Q [kN]	M [kN m]
FÁZE 2	N _{MIN}	-121,20	73,99	-89,11	-96,96	59,19	-71,29
	N _{MAX}	-34,90	-124,19	-89,11	-27,92	-99,36	-71,29
	Q _{MIN}	-34,90	-124,19	-89,11	-27,92	-99,36	-71,29
	Q _{MAX}	-50,32	119,76	-71,44	-40,25	95,81	-57,16
	M _{MIN}	-34,90	-124,19	-89,11	-27,92	-99,36	-71,29
	M _{MAX}	-49,75	0,62	46,95	-39,80	0,49	37,56
FÁZE 3	N _{MIN}	-234,00	-90,81	-161,56	-187,20	-72,65	-129,24
	N _{MAX}	100,44	-146,00	-30,51	80,35	-116,80	-24,41
	Q _{MIN}	100,44	-146,00	-30,51	80,35	-116,80	-24,41
	Q _{MAX}	-79,27	233,09	-161,56	-63,42	186,47	-129,24
	M _{MIN}	-234,00	-90,81	-161,56	-187,20	-72,65	-129,24
	M _{MAX}	-30,95	-0,34	77,82	-24,76	-0,27	62,26
FÁZE 4	N _{MIN}	-286,12	-106,70	-191,41	-228,90	-85,36	-153,13
	N _{MAX}	89,37	-133,15	-8,38	71,50	-106,52	-6,70
	Q _{MIN}	-69,32	-137,87	-89,81	-55,45	-110,30	-71,85
	Q _{MAX}	-87,68	281,79	-191,41	-70,15	225,43	-153,13
	M _{MIN}	-87,68	281,79	-191,41	-70,15	225,43	-153,13
	M _{MAX}	-53,13	1,22	90,70	-42,50	0,98	72,56
FÁZE 5	N _{MIN}	-330,20	-33,84	-87,57	-264,16	-27,07	-70,05
	N _{MAX}	-81,33	-103,10	-116,71	-65,06	-82,48	-93,37
	Q _{MIN}	-138,50	-240,83	-141,16	-110,80	-192,67	-112,93
	Q _{MAX}	-299,57	195,46	-27,56	-239,66	156,37	-22,05
	M _{MIN}	-200,86	-172,10	-168,03	-160,69	-137,68	-134,42
	M _{MAX}	-227,53	19,25	94,31	-182,02	15,40	75,45
FÁZE 6	N _{MIN}	-355,43	-36,41	-99,75	-284,34	-29,13	-79,80
	N _{MAX}	-62,34	-19,22	10,75	-49,87	-15,37	8,60
	Q _{MIN}	-168,32	-289,88	-177,82	-134,66	-231,90	-142,26
	Q _{MAX}	-326,75	211,26	-20,85	-261,40	169,00	-16,68
	M _{MIN}	-168,32	-289,88	-177,82	-134,66	-231,90	-142,26
	M _{MAX}	-308,42	133,65	112,96	-246,73	106,92	90,36

ŘEZ B							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kN m]	N [kN]	Q [kN]	M [kN m]
FÁZE 7	N _{MIN}	-366,41	149,97	-205,19	-293,13	119,98	-164,15
	N _{MAX}	-15,12	-44,74	27,26	-12,09	-35,79	21,81
	Q _{MIN}	-144,51	-352,14	-205,19	-115,61	-281,71	-164,15
	Q _{MAX}	-278,83	181,33	46,62	-223,07	145,06	37,30
	M _{MIN}	-144,51	-352,14	-205,19	-115,61	-281,71	-164,15
	M _{MAX}	-262,19	25,60	158,25	-209,75	20,48	126,60
FÁZE 8	N _{MIN}	-371,42	-13,04	271,66	-297,14	-10,43	217,33
	N _{MAX}	-158,76	32,27	84,96	-127,01	25,82	67,97
	Q _{MIN}	-290,83	-325,78	-287,86	-232,66	-260,63	-230,29
	Q _{MAX}	-345,98	244,23	-287,86	-276,78	195,39	-230,29
	M _{MIN}	-290,83	-325,78	-287,86	-232,66	-260,63	-230,29
	M _{MAX}	-371,42	-13,04	271,66	-297,14	-10,43	217,33
FÁZE 9	N _{MIN}	-389,87	232,15	-279,92	-311,89	185,72	-223,94
	N _{MAX}	-74,00	40,33	-10,06	-59,20	32,26	-8,05
	Q _{MIN}	-340,12	-261,61	-255,72	-272,10	-209,29	-204,58
	Q _{MAX}	-294,24	262,10	-153,39	-235,39	209,68	-122,71
	M _{MIN}	-389,87	232,15	-279,92	-311,89	185,72	-223,94
	M _{MAX}	-388,48	-81,30	321,27	-310,78	-65,04	257,02
FÁZE 10	N _{MIN}	-446,77	-179,65	-207,26	-357,41	-143,72	-165,81
	N _{MAX}	-197,50	7,68	44,68	-158,00	6,15	35,75
	Q _{MIN}	-258,29	-205,69	-146,83	-206,63	-164,56	-117,47
	Q _{MAX}	-358,76	312,82	-207,26	-287,01	250,26	-165,81
	M _{MIN}	-446,77	-179,65	-207,26	-357,41	-143,72	-165,81
	M _{MAX}	-295,57	-2,02	82,31	-236,46	-1,62	65,85
FÁZE 11	N _{MIN}	-492,65	27,59	-88,33	-394,12	22,07	-70,66
	N _{MAX}	-230,64	82,31	-88,10	-184,52	65,85	-70,48
	Q _{MIN}	-328,32	-106,38	-98,38	-262,66	-85,11	-78,70
	Q _{MAX}	-238,01	82,89	-67,89	-190,41	66,31	-54,31
	M _{MIN}	-321,93	-105,79	-124,36	-257,54	-84,63	-99,49
	M _{MAX}	-303,00	-0,50	34,65	-242,40	-0,40	27,72

ŘEZ B							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kN m]	N [kN]	Q [kN]	M [kN m]
FÁZE 12	N _{MIN}	-520,14	29,01	-96,85	-416,11	23,21	-77,48
	N _{MAX}	-134,19	3,84	0,95	-107,35	3,08	0,76
	Q _{MIN}	-364,57	-99,44	-92,02	-291,66	-79,56	-73,61
	Q _{MAX}	-302,38	90,19	-94,67	-241,90	72,15	-75,73
	M _{MIN}	-357,88	-98,77	-116,31	-286,30	-79,01	-93,05
	M _{MAX}	-368,18	3,83	36,69	-294,55	3,07	29,36
FÁZE 13	N _{MIN}	-535,59	30,74	-102,28	-428,47	24,59	-81,82
	N _{MAX}	-213,56	6,74	2,61	-170,85	5,39	2,09
	Q _{MIN}	-387,41	-95,60	-89,00	-309,93	-76,48	-71,20
	Q _{MAX}	-343,85	93,94	-97,65	-275,08	75,15	-78,12
	M _{MIN}	-380,43	-94,45	-112,31	-304,34	-75,56	-89,85
	M _{MAX}	-411,46	0,69	39,13	-329,17	0,56	31,31
FÁZE 14	N _{MIN}	-545,24	31,20	-105,10	-436,19	24,96	-84,08
	N _{MAX}	-31,74	-122,91	-88,92	-25,40	-98,33	-71,14
	Q _{MIN}	-31,74	-122,91	-88,92	-25,40	-98,33	-71,14
	Q _{MAX}	-45,61	117,26	-68,02	-36,49	93,80	-54,42
	M _{MIN}	-393,02	-91,65	-109,18	-314,41	-73,32	-87,34
	M _{MAX}	-46,00	0,60	46,92	-36,80	0,48	37,54
FÁZE 15	N _{MIN}	-549,30	32,63	-106,67	-439,44	26,10	-85,34
	N _{MAX}	104,59	-145,35	-31,56	83,67	-116,28	-25,25
	Q _{MIN}	104,59	-145,35	-31,56	83,67	-116,28	-25,25
	Q _{MAX}	-68,71	227,51	-153,57	-54,97	182,01	-122,86
	M _{MIN}	-68,71	227,51	-153,57	-54,97	182,01	-122,86
	M _{MAX}	-23,12	-0,18	77,52	-18,49	-0,14	62,02
FÁZE 16	N _{MIN}	-552,78	32,70	-107,48	-442,22	26,16	-85,99
	N _{MAX}	95,30	-132,65	-10,04	76,24	-106,12	-8,03
	Q _{MIN}	-65,75	-135,41	-87,93	-52,60	-108,33	-70,34
	Q _{MAX}	-75,08	275,27	-181,44	-60,06	220,21	-145,15
	M _{MIN}	-280,58	-94,22	-181,44	-224,47	-75,37	-145,15
	M _{MAX}	-39,12	-1,20	89,90	-31,30	-0,96	71,92

ŘEZ B							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kN m]	N [kN]	Q [kN]	M [kN m]
FÁZE 17	N _{MIN}	-554,00	33,08	-108,02	-443,20	26,46	-86,42
	N _{MAX}	-83,27	-108,15	-119,02	-66,62	-86,52	-95,21
	Q _{MIN}	-128,04	-236,03	-137,42	-102,43	-188,82	-109,94
	Q _{MAX}	-281,67	191,42	-24,26	-225,34	153,14	-19,41
	M _{MIN}	-195,75	-156,64	-158,07	-156,60	-125,31	-126,45
	M _{MAX}	-281,25	112,93	93,93	-225,00	90,34	75,14
FÁZE 18	N _{MIN}	-554,96	33,03	-108,03	-443,97	26,43	-86,43
	N _{MAX}	-61,17	-17,83	10,21	-48,94	-14,26	8,17
	Q _{MIN}	-155,32	-284,54	-172,95	-124,26	-227,63	-138,36
	Q _{MAX}	-305,08	207,18	-17,30	-244,06	165,74	-13,84
	M _{MIN}	-288,45	148,68	-172,95	-230,76	118,94	-138,36
	M _{MAX}	-301,69	133,01	118,75	-241,35	106,41	95,00
FÁZE 19	N _{MIN}	-555,50	33,25	-108,39	-444,40	26,60	-86,71
	N _{MAX}	-13,50	-64,60	-5,94	-10,80	-51,68	-4,75
	Q _{MIN}	-131,23	-346,71	-200,20	-104,98	-277,37	-160,16
	Q _{MAX}	-256,47	178,70	48,37	-205,17	142,96	38,69
	M _{MIN}	-131,23	-346,71	-200,20	-104,98	-277,37	-160,16
	M _{MAX}	-236,64	23,50	152,08	-189,31	18,80	121,67
FÁZE 20	N _{MIN}	-555,27	33,53	-108,41	-444,22	26,83	-86,73
	N _{MAX}	-153,28	32,77	84,88	-122,62	26,21	67,90
	Q _{MIN}	-272,56	-319,29	-278,96	-218,05	-255,43	-223,17
	Q _{MAX}	-340,30	231,46	-278,96	-272,24	185,16	-223,17
	M _{MIN}	-340,30	231,46	-278,96	-272,24	185,16	-223,17
	M _{MAX}	-347,70	-11,38	267,44	-278,16	-9,11	213,95
FÁZE 21	N _{MIN}	-555,27	33,59	-108,37	-444,22	26,87	-86,70
	N _{MAX}	-71,61	39,56	-9,11	-57,29	31,65	-7,29
	Q _{MIN}	-318,29	-256,18	-247,63	-254,63	-204,94	-198,10
	Q _{MAX}	-286,44	254,17	-147,63	-229,16	203,34	-118,10
	M _{MIN}	-384,59	218,49	-270,62	-307,67	174,80	-216,50
	M _{MAX}	-363,37	-78,77	316,18	-290,70	-63,02	252,95

ŘEZ B							
	SÍLY	síly působící na 1 m			síly působící na 0,8 m		
		N [kN]	Q [kN]	M [kN m]	N [kN]	Q [kN]	M [kN m]
FÁZE 22	N _{MIN}	-554,58	33,94	-108,12	-443,66	27,15	-86,49
	N _{MAX}	-188,76	7,97	44,46	-151,01	6,38	35,56
	Q _{MIN}	-252,77	-204,19	-143,90	-202,22	-163,35	-115,12
	Q _{MAX}	-347,17	301,45	-197,76	-277,74	241,16	-158,21
	M _{MIN}	-347,17	301,45	-197,76	-277,74	241,16	-158,21
	M _{MAX}	-283,90	-1,28	78,04	-227,12	-1,02	62,44
FÁZE 23	N _{MIN}	-552,80	35,11	-108,48	-442,24	28,09	-86,78
	N _{MAX}	-228,46	76,73	-86,34	-182,77	61,38	-69,07
	Q _{MIN}	-364,54	-107,91	-101,25	-291,64	-86,33	-81,00
	Q _{MAX}	-372,64	116,30	-106,70	-298,11	93,04	-85,36
	M _{MIN}	-328,37	-91,44	-118,66	-262,70	-73,15	-94,93
	M _{MAX}	-473,16	-2,45	43,22	-378,53	-1,96	34,57
FÁZE 24	N _{MIN}	-552,50	35,19	-108,30	-442,00	28,15	-86,64
	N _{MAX}	-127,12	3,90	1,10	-101,70	3,12	0,88
	Q _{MIN}	-364,63	-108,24	-101,33	-291,70	-86,59	-81,06
	Q _{MAX}	-372,95	116,54	-106,83	-298,36	93,23	-85,47
	M _{MIN}	-363,00	-85,50	-110,73	-290,40	-68,40	-88,58
	M _{MAX}	-473,46	-2,49	43,06	-378,77	-1,99	34,45

6.8.5 Posouzení ostění na účinky posouvajících sil

Posudek byl proveden podle ČSN EN 1994-1-1 též Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí.

Únosnost spřaženého průřezu v smyku

- závisí na únosnosti ocelového profilu, výpočet podle:

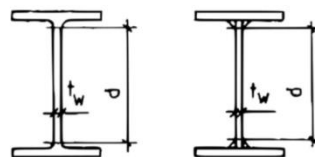
$$V_{pl,Rd} = A_w \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

f_{yd} návrhová pevnost oceli

A_w smyková plocha

Pokud je splněna podmínka $d/t_w \leq 124 \cdot \varepsilon$, nemusí se uvažovat boulení stěny.

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yd}}$$



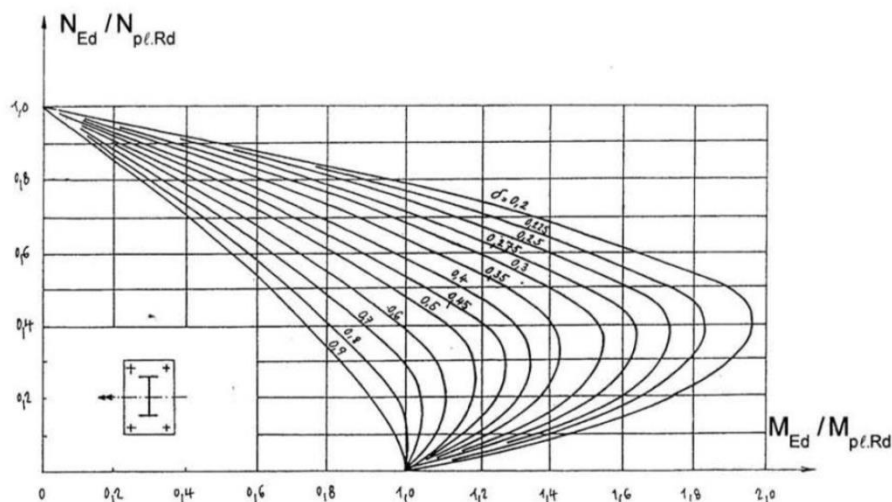
Obr. 6.25 Výška stěny [13]

Nastane-li situace, kdy je průřez namáhám smykem, je nutné provést redukci momentové únosnosti. Redukce se provede v případě, když: $V_{Ed} \geq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$. Únosnost poté musí vyhovět vztahu

$$\frac{M_{Ed}}{\mu_d \times M_{pl,Rd}} \leq \alpha_M$$

α_M pro ocel třídy S355 – 0,9

μ_d hodnota odečtená z grafu příslušné interakční čáry z Obr. 6.26



Obr. 6.26 Interakční závislost pro ohyb ve směru stojiny [13]

Smyková únosnost

- závisí na smykové ploše

$$A_w = A_a - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_w = 10600 - 2 \cdot 240 \cdot 17 + (10 + 2 \cdot 21) \cdot 10$$

$$A_w = 3324 \text{ mm}^2$$

Plastická smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \times (f_{yd}/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3324 (355/\sqrt{3})}{1,0}$$

$$\underline{V_{pl,Rd} = 681,28 \text{ kN}}$$

Boulení stěny

$$d/t_w = 164/10$$

$$d/t_w = 16,4$$

$$124 \cdot \varepsilon = 124 \cdot \sqrt{235/f_{yd}} = 124 \cdot \sqrt{235/355}$$

$$124 \cdot \varepsilon = 100,9$$

$$16,4 < 100,9 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení primárního ostění na účinky posouvajících sil je uvedeno v následujících tabulkách.

ŘEZ 1									
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]		
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]					
FÁZE 2	N_{MIN}	-153,88	-84,25	-91,36	0,12	-	-		
	N_{MAX}	-68,66	-75,83	-10,50	0,11				
	Q_{MIN}	-70,84	-158,95	-108,68	0,23				
	Q_{MAX}	-73,34	149,75	-91,36	0,22				
	M_{MIN}	-70,84	-158,95	-108,68	0,23				
	M_{MAX}	-73,01	0,83	48,92	0,00				
FÁZE 3	N_{MIN}	-251,32	-11,18	-29,87	0,02	-	-		
	N_{MAX}	-301,37	-140,13	-209,34	0,21				
	Q_{MIN}	58,57	-195,67	-29,87	0,29				
	Q_{MAX}	-114,52	297,08	-209,34	0,44				
	M_{MIN}	-301,37	-140,13	-209,34	0,21				
	M_{MAX}	-174,89	-4,92	91,21	0,01				
FÁZE 4	N_{MIN}	-374,34	-163,02	-249,78	0,24	-	-		
	N_{MAX}	45,98	-177,12	-2,04	0,26				
	Q_{MIN}	45,98	-177,12	-2,04	0,26				
	Q_{MAX}	-124,31	364,07	-249,78	0,53			1,00	0,54
	M_{MIN}	-124,31	364,07	-249,78	0,53			1,00	0,54
	M_{MAX}	-78,58	3,30	101,85	0,00				
FÁZE 5	N_{MIN}	-384,67	-29,26	-113,57	0,04	-	-		
	N_{MAX}	-146,52	-125,51	-141,86	0,18				
	Q_{MIN}	-176,94	-307,39	-182,11	0,45				
	Q_{MAX}	-271,28	235,75	-222,46	0,35				
	M_{MIN}	-271,28	235,75	-222,46	0,35				
	M_{MAX}	-285,94	18,83	110,36	0,03				
FÁZE 6	N_{MIN}	-416,56	-29,39	-131,43	0,04	-	-		
	N_{MAX}	-66,11	-25,40	16,45	0,04				
	Q_{MIN}	-215,98	-369,41	-227,42	0,54			1,00	0,49
	Q_{MAX}	-398,85	250,20	-26,04	0,37				
	M_{MIN}	-380,57	211,45	-227,42	0,31			-	-
	M_{MAX}	-279,56	4,80	127,07	0,01				

ŘEZ 1							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]			
FÁZE 7	N_{MIN}	-467,85	211,00	-266,34	0,31	-	-
	N_{MAX}	-10,29	-56,14	37,27	0,08		
	Q_{MIN}	-198,15	-443,18	-266,34	0,65	1,00	0,57
	Q_{MAX}	-346,49	213,77	46,46	0,31	-	-
	M_{MIN}	-467,85	211,00	-266,34	0,31		
	M_{MAX}	-361,53	23,47	191,75	0,03		
FÁZE 8	N_{MIN}	-465,69	-236,00	-262,02	0,35	-	-
	N_{MAX}	-176,83	21,75	84,09	0,03		
	Q_{MIN}	-362,64	-396,90	-357,33	0,58	1,00	0,77
	Q_{MAX}	-426,08	338,23	-357,33	0,50	1,00	0,77
	M_{MIN}	-426,08	338,23	-357,33	0,50	1,00	0,77
	M_{MAX}	-451,64	-8,60	293,24	0,01	-	-
FÁZE 9	N_{MIN}	-492,14	-233,86	-264,00	0,34	-	-
	N_{MAX}	-86,38	45,09	-13,20	0,07		
	Q_{MIN}	-428,07	-316,69	-320,03	0,46		
	Q_{MAX}	-477,62	326,80	-351,72	0,48		
	M_{MIN}	-477,62	326,80	-351,72	0,48		
	M_{MAX}	-481,47	-89,59	351,97	0,13		
FÁZE 10	N_{MIN}	-553,27	-50,44	-1,80	0,07	-	-
	N_{MAX}	-239,92	10,19	46,76	0,01		
	Q_{MIN}	-296,41	-236,10	-163,05	0,35	1,00	0,54
	Q_{MAX}	-433,90	375,92	-248,89	0,55		
	M_{MIN}	-538,51	-215,66	-248,89	0,32	-	-
	M_{MAX}	-360,44	1,59	92,92	0,00		
FÁZE 11	N_{MIN}	-640,78	37,25	-77,74	0,05	-	-
	N_{MAX}	-270,44	88,43	-97,83	0,13		
	Q_{MIN}	-386,69	-132,47	-125,56	0,19		
	Q_{MAX}	-276,06	102,25	-80,26	0,15		
	M_{MIN}	-383,98	-128,14	-149,33	0,19		
	M_{MAX}	-467,61	0,53	40,93	0,00		

ŘEZ 1							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]			
FÁZE 12	N_{MIN}	-677,28	41,09	-86,42	0,06	-	-
	N_{MAX}	-156,51	4,05	1,35	0,01		
	Q_{MIN}	-433,86	-123,42	-115,76	0,18		
	Q_{MAX}	-360,50	107,05	-85,46	0,16		
	M_{MIN}	-430,84	-119,55	-137,93	0,18		
	M_{MAX}	-512,57	-4,17	40,38	0,01		
FÁZE 13	N_{MIN}	-698,11	44,12	-91,61	0,06	-	-
	N_{MAX}	-249,66	6,29	2,36	0,01		
	Q_{MIN}	-462,79	-117,64	-110,36	0,17		
	Q_{MAX}	-412,03	109,36	-88,77	0,16		
	M_{MIN}	-459,40	-113,37	-131,45	0,17		
	M_{MAX}	-547,14	3,85	40,79	0,01		
FÁZE 14	N_{MIN}	-710,88	45,40	-94,50	0,07	-	-
	N_{MAX}	-65,40	-75,36	-9,86	0,11		
	Q_{MIN}	-68,18	-157,70	-107,64	0,23		
	Q_{MAX}	-69,97	148,82	-88,76	0,22		
	M_{MIN}	-475,68	-109,64	-127,03	0,16		
	M_{MAX}	-69,20	0,88	48,88	0,00		
FÁZE 15	N_{MIN}	-717,49	46,62	-95,86	0,07	-	-
	N_{MAX}	55,38	-189,46	-30,42	0,28		
	Q_{MIN}	55,38	-189,46	-30,42	0,28		
	Q_{MAX}	-105,10	293,11	-202,96	0,43		
	M_{MIN}	-105,10	293,11	-202,96	0,43		
	M_{MAX}	-164,47	4,25	89,23	0,01		
FÁZE 16	N_{MIN}	-721,97	47,00	-96,70	0,07	-	-
	N_{MAX}	44,17	-171,25	-3,10	0,25		
	Q_{MIN}	-86,87	-174,49	-108,85	0,26		
	Q_{MAX}	-112,31	359,05	-242,29	0,53		
	M_{MIN}	-112,31	359,05	-242,29	0,53		
	M_{MAX}	-71,40	1,27	99,74	0,00		

ŘEZ 1									
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]		
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]					
FÁZE 17	N_{MIN}	-723,96	47,82	-97,68	0,07	-	-		
	N_{MAX}	-141,46	-126,76	-142,91	0,19				
	Q_{MIN}	-173,92	-306,17	-181,96	0,45				
	Q_{MAX}	-256,61	232,50	-217,10	0,34				
	M_{MIN}	-256,61	232,50	-217,10	0,34				
	M_{MAX}	-276,43	18,61	110,65	0,03				
FÁZE 18	N_{MIN}	-725,23	47,93	-97,76	0,07	-	-		
	N_{MAX}	-64,79	-24,35	15,74	0,04				
	Q_{MIN}	-211,47	-367,99	-226,73	0,54			1,00	0,49
	Q_{MAX}	-387,10	249,08	-24,96	0,37			-	-
	M_{MIN}	-378,49	206,33	-226,73	0,30				
	M_{MAX}	-313,43	18,30	124,47	0,03				
FÁZE 19	N_{MIN}	-726,27	48,26	-98,37	0,07	-	-		
	N_{MAX}	-8,86	-54,33	36,15	0,08				
	Q_{MIN}	-193,79	-441,25	-265,28	0,65			1,00	0,57
	Q_{MAX}	-334,41	213,82	46,43	0,31			-	-
	M_{MIN}	-464,50	205,50	-265,28	0,30				
	M_{MAX}	-345,78	23,73	187,92	0,03				
FÁZE 20	N_{MIN}	-726,23	48,70	-98,70	0,07	-	-		
	N_{MAX}	-172,56	22,41	83,07	0,03				
	Q_{MIN}	-354,01	-393,26	-351,76	0,58			1,00	0,76
	Q_{MAX}	-422,70	321,33	-351,76	0,47			-	-
	M_{MIN}	-422,70	321,33	-351,76	0,47				
	M_{MAX}	-438,38	-6,08	289,57	0,01				
FÁZE 21	N_{MIN}	-726,32	48,79	-98,74	0,07	-	-		
	N_{MAX}	-83,95	44,84	-12,87	0,07				
	Q_{MIN}	-415,66	-313,40	-314,69	0,46				
	Q_{MAX}	-474,63	309,14	-345,57	0,45				
	M_{MIN}	-474,63	309,14	-345,57	0,45				
	M_{MAX}	-466,28	-86,97	347,95	0,13				

ŘEZ 1							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]			
FÁZE 22	N_{MIN}	-725,31	49,18	-98,30	0,07	-	-
	N_{MAX}	-231,94	12,15	44,10	0,02		
	Q_{MIN}	-292,16	-234,41	-160,82	0,34		
	Q_{MAX}	-421,97	369,56	-242,77	0,54	1,00	0,52
	M_{MIN}	-528,77	-207,36	-242,77	0,30	-	-
	M_{MAX}	-350,10	0,58	90,38	0,00		
FÁZE 23	N_{MIN}	-723,81	50,47	-98,85	0,07	-	-
	N_{MAX}	-261,18	91,78	-96,49	0,13		
	Q_{MIN}	-438,27	-133,52	-112,51	0,20		
	Q_{MAX}	-452,04	145,70	-122,54	0,21		
	M_{MIN}	-378,47	-116,05	-145,66	0,17		
	M_{MAX}	-576,20	1,71	42,08	0,00		
FÁZE 24	N_{MIN}	-723,42	50,59	-98,62	0,07	-	-
	N_{MAX}	-153,02	3,99	1,36	0,01		
	Q_{MIN}	-438,60	-133,93	-112,65	0,20		
	Q_{MAX}	-452,46	145,97	-122,67	0,21		
	M_{MIN}	-423,15	-105,77	-134,58	0,16		
	M_{MAX}	-576,73	1,67	42,03	0,00		

ŘEZ 2							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d * M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M[kNm]			
FÁZE 2	N_{MIN}	-96,96	59,19	-71,29	0,09	-	-
	N_{MAX}	-27,92	-99,36	-71,29	0,15		
	Q_{MIN}	-27,92	-99,36	-71,29	0,15		
	Q_{MAX}	-40,25	95,81	-57,16	0,14		
	M_{MIN}	-27,92	-99,36	-71,29	0,15		
	M_{MAX}	-39,80	0,49	37,56	0,00		
FÁZE 3	N_{MIN}	-187,20	-72,65	-129,24	0,11	-	-
	N_{MAX}	80,35	-116,80	-24,41	0,17		
	Q_{MIN}	80,35	-116,80	-24,41	0,17		
	Q_{MAX}	-63,42	186,47	-129,24	0,27		
	M_{MIN}	-187,20	-72,65	-129,24	0,11		
	M_{MAX}	-24,76	-0,27	62,26	0,00		
FÁZE 4	N_{MIN}	-228,90	-85,36	-153,13	0,13	-	-
	N_{MAX}	71,50	-106,52	-6,70	0,16		
	Q_{MIN}	-55,45	-110,30	-71,85	0,16		
	Q_{MAX}	-70,15	225,43	-153,13	0,33		
	M_{MIN}	-70,15	225,43	-153,13	0,33		
	M_{MAX}	-42,50	0,98	72,56	0,00		
FÁZE 5	N_{MIN}	-264,16	-27,07	-70,05	0,04	-	-
	N_{MAX}	-65,06	-82,48	-93,37	0,12		
	Q_{MIN}	-110,80	-192,67	-112,93	0,28		
	Q_{MAX}	-239,66	156,37	-22,05	0,23		
	M_{MIN}	-160,69	-137,68	-134,42	0,20		
	M_{MAX}	-182,02	15,40	75,45	0,02		
FÁZE 6	N_{MIN}	-284,34	-29,13	-79,80	0,04	-	-
	N_{MAX}	-49,87	-15,37	8,60	0,02		
	Q_{MIN}	-134,66	-231,90	-142,26	0,34		
	Q_{MAX}	-261,40	169,00	-16,68	0,25		
	M_{MIN}	-134,66	-231,90	-142,26	0,34		
	M_{MAX}	-246,73	106,92	90,36	0,16		

ŘEZ 2							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M [kN m]			
FÁZE 7	N_{MIN}	-293,13	119,98	-164,15	0,18	-	-
	N_{MAX}	-12,09	-35,79	21,81	0,05		
	Q_{MIN}	-115,61	-281,71	-164,15	0,41		
	Q_{MAX}	-223,07	145,06	37,30	0,21		
	M_{MIN}	-115,61	-281,71	-164,15	0,41		
	M_{MAX}	-209,75	20,48	126,60	0,03		
FÁZE 8	N_{MIN}	-297,14	-10,43	217,33	0,02	-	-
	N_{MAX}	-127,01	25,82	67,97	0,04		
	Q_{MIN}	-232,66	-260,63	-230,29	0,38		
	Q_{MAX}	-276,78	195,39	-230,29	0,29		
	M_{MIN}	-232,66	-260,63	-230,29	0,38		
	M_{MAX}	-297,14	-10,43	217,33	0,02		
FÁZE 9	N_{MIN}	-311,89	185,72	-223,94	0,27	-	-
	N_{MAX}	-59,20	32,26	-8,05	0,05		
	Q_{MIN}	-272,10	-209,29	-204,58	0,31		
	Q_{MAX}	-235,39	209,68	-122,71	0,31		
	M_{MIN}	-311,89	185,72	-223,94	0,27		
	M_{MAX}	-310,78	-65,04	257,02	0,10		
FÁZE 10	N_{MIN}	-357,41	-143,72	-165,81	0,21	-	-
	N_{MAX}	-158,00	6,15	35,75	0,01		
	Q_{MIN}	-206,63	-164,56	-117,47	0,24		
	Q_{MAX}	-287,01	250,26	-165,81	0,37		
	M_{MIN}	-357,41	-143,72	-165,81	0,21		
	M_{MAX}	-236,46	-1,62	65,85	0,00		
FÁZE 11	N_{MIN}	-394,12	22,07	-70,66	0,03	-	-
	N_{MAX}	-184,52	65,85	-70,48	0,10		
	Q_{MIN}	-262,66	-85,11	-78,70	0,12		
	Q_{MAX}	-190,41	66,31	-54,31	0,10		
	M_{MIN}	-257,54	-84,63	-99,49	0,12		
	M_{MAX}	-242,40	-0,40	27,72	0,00		

ŘEZ 2							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]			
FÁZE 12	N_{MIN}	-416,11	23,21	-77,48	0,03	-	-
	N_{MAX}	-107,35	3,08	0,76	0,00		
	Q_{MIN}	-291,66	-79,56	-73,61	0,12		
	Q_{MAX}	-241,90	72,15	-75,73	0,11		
	M_{MIN}	-286,30	-79,01	-93,05	0,12		
	M_{MAX}	-294,55	3,07	29,36	0,00		
FÁZE 13	N_{MIN}	-428,47	24,59	-81,82	0,04	-	-
	N_{MAX}	-170,85	5,39	2,09	0,01		
	Q_{MIN}	-309,93	-76,48	-71,20	0,11		
	Q_{MAX}	-275,08	75,15	-78,12	0,11		
	M_{MIN}	-304,34	-75,56	-89,85	0,11		
	M_{MAX}	-329,17	0,56	31,31	0,00		
FÁZE 14	N_{MIN}	-436,19	24,96	-84,08	0,04	-	-
	N_{MAX}	-25,40	-98,33	-71,14	0,14		
	Q_{MIN}	-25,40	-98,33	-71,14	0,14		
	Q_{MAX}	-36,49	93,80	-54,42	0,14		
	M_{MIN}	-314,41	-73,32	-87,34	0,11		
	M_{MAX}	-36,80	0,48	37,54	0,00		
FÁZE 15	N_{MIN}	-439,44	26,10	-85,34	0,04	-	-
	N_{MAX}	83,67	-116,28	-25,25	0,17		
	Q_{MIN}	83,67	-116,28	-25,25	0,17		
	Q_{MAX}	-54,97	182,01	-122,86	0,27		
	M_{MIN}	-54,97	182,01	-122,86	0,27		
	M_{MAX}	-18,49	-0,14	62,02	0,00		
FÁZE 16	N_{MIN}	-442,22	26,16	-85,99	0,04	-	-
	N_{MAX}	76,24	-106,12	-8,03	0,16		
	Q_{MIN}	-52,60	-108,33	-70,34	0,16		
	Q_{MAX}	-60,06	220,21	-145,15	0,32		
	M_{MIN}	-224,47	-75,37	-145,15	0,11		
	M_{MAX}	-31,30	-0,96	71,92	0,00		

ŘEZ 2							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d \cdot M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]			
FÁZE 17	N_{MIN}	-443,20	26,46	-86,42	0,04	-	-
	N_{MAX}	-66,62	-86,52	-95,21	0,13		
	Q_{MIN}	-102,43	-188,82	-109,94	0,28		
	Q_{MAX}	-225,34	153,14	-19,41	0,22		
	M_{MIN}	-156,60	-125,31	-126,45	0,18		
	M_{MAX}	-225,00	90,34	75,14	0,13		
FÁZE 18	N_{MIN}	-443,97	26,43	-86,43	0,04	-	-
	N_{MAX}	-48,94	-14,26	8,17	0,02		
	Q_{MIN}	-124,26	-227,63	-138,36	0,33		
	Q_{MAX}	-244,06	165,74	-13,84	0,24		
	M_{MIN}	-230,76	118,94	-138,36	0,17		
	M_{MAX}	-241,35	106,41	95,00	0,16		
FÁZE 19	N_{MIN}	-444,40	26,60	-86,71	0,04	-	-
	N_{MAX}	-10,80	-51,68	-4,75	0,08		
	Q_{MIN}	-104,98	-277,37	-160,16	0,41		
	Q_{MAX}	-205,17	142,96	38,69	0,21		
	M_{MIN}	-104,98	-277,37	-160,16	0,41		
	M_{MAX}	-189,31	18,80	121,67	0,03		
FÁZE 20	N_{MIN}	-444,22	26,83	-86,73	0,04	-	-
	N_{MAX}	-122,62	26,21	67,90	0,04		
	Q_{MIN}	-218,05	-255,43	-223,17	0,37		
	Q_{MAX}	-272,24	185,16	-223,17	0,27		
	M_{MIN}	-272,24	185,16	-223,17	0,27		
	M_{MAX}	-278,16	-9,11	213,95	0,01		
FÁZE 21	N_{MIN}	-444,22	26,87	-86,70	0,04	-	-
	N_{MAX}	-57,29	31,65	-7,29	0,05		
	Q_{MIN}	-254,63	-204,94	-198,10	0,30		
	Q_{MAX}	-229,16	203,34	-118,10	0,30		
	M_{MIN}	-307,67	174,80	-216,50	0,26		
	M_{MAX}	-290,70	-63,02	252,95	0,09		

ŘEZ 2							
	SÍLY	síly působící na 0,8 m			$Q_{ed}/Q_{pl,Rd}$ [-]	μ_d [-]	$M_{ed}/(\mu_d * M_{pl,Rd})$ [-]
		N [kN]	Q [kN]	M [kNm]			
FÁZE 22	N_{MIN}	-443,66	27,15	-86,49	0,04	-	-
	N_{MAX}	-151,01	6,38	35,56	0,01		
	Q_{MIN}	-202,22	-163,35	-115,12	0,24		
	Q_{MAX}	-277,74	241,16	-158,21	0,35		
	M_{MIN}	-277,74	241,16	-158,21	0,35		
	M_{MAX}	-227,12	-1,02	62,44	0,00		
FÁZE 23	N_{MIN}	-442,24	28,09	-86,78	0,04	-	-
	N_{MAX}	-182,77	61,38	-69,07	0,09		
	Q_{MIN}	-291,64	-86,33	-81,00	0,13		
	Q_{MAX}	-298,11	93,04	-85,36	0,14		
	M_{MIN}	-262,70	-73,15	-94,93	0,11		
	M_{MAX}	-378,53	-1,96	34,57	0,00		
FÁZE 24	N_{MIN}	-442,00	28,15	-86,64	0,04	-	-
	N_{MAX}	-101,70	3,12	0,88	0,00		
	Q_{MIN}	-291,70	-86,59	-81,06	0,13		
	Q_{MAX}	-298,36	93,23	-85,47	0,14		
	M_{MIN}	-290,40	-68,40	-88,58	0,10		
	M_{MAX}	-378,77	-1,99	34,45	0,00		

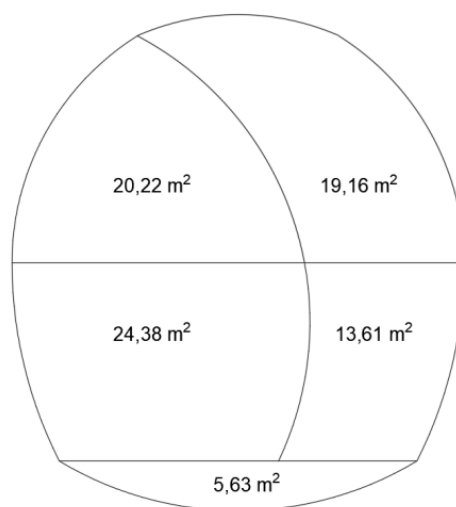
7 VÝSTAVBA PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ

7.1 Základní údaje

Jak již byl zmíněno dříve, Habrovanský tunel je navržen jako dva jednokolejné tubusy délky 637,5 metrů. Začátek tunelu bude tvořen hloubeným vjezdovým portálem o délce 62,5 metrů a zakončen bude hloubeným výjezdovým portálem délky 187,5 metrů. Ražená část tohoto tunelu bude 387,5 metrů, metodou NRTM. Celý tunel je navržen v levotočivém směrovém oblouku o poloměru 21 500 m, se vzájemnou osovou vzdáleností v rozmezí od 27 do 37 m. Oba tubusy jsou navrženy v konstantním podélném stoupání v rozmezí od 7,37‰ do 9,91 ‰.

7.2 Profil primárního ostění

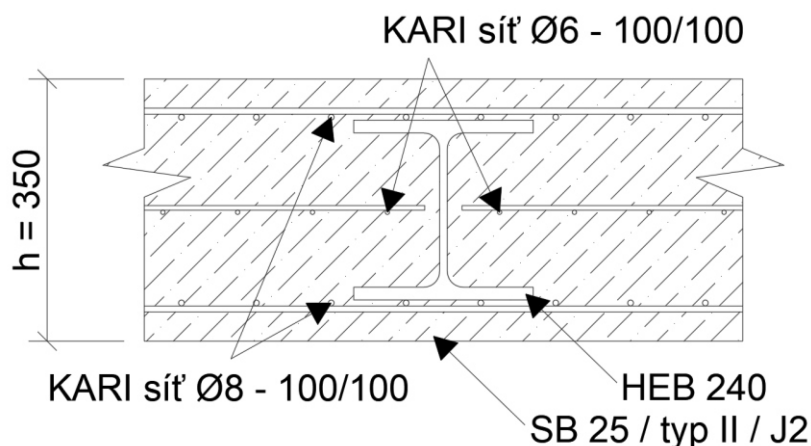
S ohledem na nízkou výšku horninového nadloží a také špatné geologie, která je tvořena z plastických jíílů, je doporučeno použití kruhového příčného řezu nebo jemu podobného. Navržen byl „podkovitý“ tvar, jehož výška je 10,73m a šířka 9,785m. Celková plocha profilu i s protiklenbou je 83,00 m². Profil je dělen na 5 dílčích čeleb. Z důvodu bezpečnosti bude délka jednoho záběru 0,8 m. Směr výrubu bude probíhat ve směru staničení, což je dohorně, proto odvodnění bude gravitační. Primární ostění bude provedeno pomocí stříkaného betonu, s výztuží zhotovenou z válcovaných profilů a betonářských ocelových sítí.



Obr. 7.1 Členění výrobního profilu

7.3 Skladba primárního ostění

Primární ostění je navrženo tloušťky 350 mm s výztuhou z válcovaného profilu s osovou vzdáleností 800 mm. Detailní schéma ostění viz Obr 7.2.



Obr. 7.2 Schéma konstrukce ostění

7.4 Mikropilotové deštníky

Pro zajištění výrubu proti zavalení, bude při portálu ze stavební jámy pro každý tunelový tubus proveden ochranný startovací mikropilotový (MP) deštník. Deštníky budou provedeny jako jednovrstvé. Délka mikropilotového deštníku bude 20 m, osová vzdálenost MP 0,5 m. Identický MKP deštníky budou provedeny před prorážkou i z druhého portálu.

7.5 Rozpojování horniny a její odvoz

Pro rozpojování horniny bude použita vhodná mechanizace – tunelbagr, optimální pro velikost a tvar profilu a také pro typ horniny. S ohledem na typ tunelbagru, který může být osazen vynášecím dopravníkem, bude rubanina nakládána přímo z dopravníku, nebo vhodným nakladačem. Rubanina bude nakládána na nízkoprofilové důlní vozy, jež budou vyvážet horninu z prostoru tunelu na dočasnou meziskládku.

7.6 Provádění stříkaného betonu

Ostění tunelu bude prováděno stříkaným betonem, který bude aplikován mokrou cestou. Oproti provádění suchou cestou, je výhoda především ve vysoké konstantní kvalitě betonu, snížení pracnosti, prašnosti a záboru místa na staveništi.

Jak již bylo zmíněno dříve, na ostění bude nanášen beton, který se značí SB 25 / typ II / obor J2. V překladu jde o beton nesoucí označení C20/25, vhodný jako konstrukční beton s nosnou funkcí, vhodný, pokud má být beton nanesen co nejrychleji v silných vrstvách (i „nad hlavou“), při přítocích podzemní vody a při následném působení bezprostředně navazujících pracovních kroků. Tento obor je vyžadován také při rychlém nárůstu zatížení horninovým tlakem nebo při působení přitížení. [14]

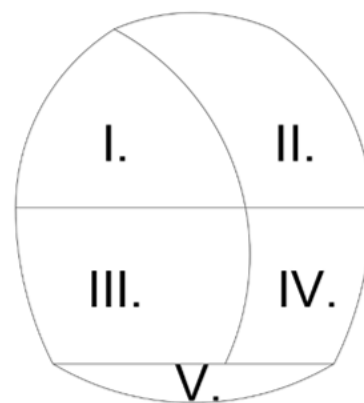
Před započítím nástřiku se musí provést přípravné práce. Na nevyztuženém výrubu je třeba odstranit uvolněné a nekvalitní části horniny. Dále je třeba odvést větší průsaky vody pomocí drenážních kanálků, hadic nebo nopových fólií. Před nástřikem je v případě suchých a nasákavých hornin vhodné provést předvlhčení podkladu. [14]

Nanášení je třeba provádět po vrstvách rovnoměrnými (rotačními) pohyby trysky, aniž by se přerušovala spojitost nanášení stříkaného betonu. Struktura betonu má být co nejhutnější s uzavřeným povrchem a má vykazovat pokud možno rovnoměrnou a plošně rovinnou skladbu. Při velkých tloušťkách stříkaného betonu (cca nad 150 mm) je nutno nanášet dvě nebo více vrstev, aby se zabránilo odpadávání čerstvého betonu vlastní hmotností. Nástřik je nutné provádět odspodu nahoru, aby se vyloučilo zastříkávání napadaného spadu. [14]

7.7 Postup ražby a budování primárního ostění

Ražba bude prováděna metodou NRTM, což znamená, že bude docházet k cyklickým opakováním jednotlivých pracovních operací. Jelikož se nepředpokládá vysoká stabilita horniny, profil je členěn na 5 dílčích výrubů. Čelba bude prováděna po krocích 0,8 m.

Nejdříve dojde k výrubu I. (levé horní štoly), která se okamžitě po odstranění rozpojené zeminy uzavře stříkaným betonem. Tloušťka jeho vrstvy bude závislá na přítomné geologii. Je uvažováno přibližně 40 mm. Do tohoto nástřiku budou usazeny KARI sítě $\varnothing 8 - 100/100$ mm, které se musí vždy překrývat se sítěmi z předchozího kroku. Do takto připraveného výrubu se začnou osazovat ocelové



Obr. 7.3 Značení částí výrubu

profily HEB 240, tvořící výztužný rám složený ze tří prvků. Ocelové rámy budou osazeny vždy po 0,8 m kolmo k ose tunelu. Po správném usazení rámu se nanese vrstva stříkaného betonu přibližně do poloviny výšky stojiny, a do ní se usadí konstrukční výztuž tvořená KARI sítěmi $\varnothing 6 - 100/100$ mm. Následně je vrstva doplněna stříkaným betonem po hranu vnitřní pásnice rámu a na ni jsou opět usazeny KARI sítě $\varnothing 8 - 100/100$ mm. Chybějící vrstva do navrhované tloušťky bude doplněna s dalším záběrem, současně při provádění základního nástřiku čerstvě obnaženého výrubu.

Při provádění výrubu II. (pravého horního výrubu) postupujeme obdobně jako u předchozího. Průřez je okamžitě po odstranění rozpojené zeminy uzavřen stříkaným betonem. Tloušťka této vrstvy bude závislá na přítomné geologii. Uvažujeme přibližně 40 mm. Do tohoto nástřiku budou usazeny KARI sítě $\varnothing 8 - 100/100$ mm, které se musí vždy překrývat se sítěmi z předchozího kroku. Do takto připraveného výrubu se začnou osazovat ocelové profily HEB 240 tvořící výztužný rám. Jelikož v tomto kroku dojde k obnažení spojovacích částí výztužných, nově

přidané se napojí k již stávajícím. Po správném usazení rámu se nanese vrstva stříkaného betonu přibližně do poloviny výšky stojiny, a do ní se usadí konstrukční výztuž tvořená KARI sítěmi $\text{Ø}6 - 100/100$ mm. Následně je vrstva doplněna stříkaným betonem po hranu vnitřní pásnice rámu a na ni jsou opět usazeny KARI sítě $\text{Ø}8 - 100/100$ mm. Chybějící vrstva do navrhované tloušťky bude doplněna s dalším záběrem, současně při provádění základního nástřiku čerstvě obnaženého výrubu.

Významnou roli nyní hrají dna provedených výrubů, jelikož plní rozpěrnou funkci pro celý profil.

Dalším krokem je provedení výrubu III. (levého dolního výrubu). Postup je obdobný jako u předešlých výrubů. Tím, že výrub probíhá pod dnem levé horní štolky, je již „zastřešený“ a proto se vyztužují pouze stěny a dno.

Jelikož už není nezbytně nutné podepření procházející mezi horními výrubu, dojde k jeho odstranění. Tím vzniká větší prostor pro lepší manipulaci při provádění dalších kroků horních výrubů.

Výrub IV. (pravý dolní výrub) je opět prováděn pod „zastřešením“ a z jedné strany je již vyztužen ocelovým rámem. Dojde tedy proto jen ke kompletaci jedné strany a dna podle postupu popsaného výše.

Předposledním krokem je odstranění horizontální rozpěry a zbylé pažnice mezi dolními výrubu. Následuje už jen výrub V. (dobírka dna) a její vyztužení, s návazností na již provedený ocelový rám. Tím dojde k uzavření celého výrobního profilu a primární ostění je tak dokončeno.

Vzhledem k tomu, že současné provádění více výrubů najednou je velmi náročné na organizaci a pracovní postupy musejí být pevně dodržovány, není možné je takto provádět. Řešením je tak ražba s různými postupy v čelbách. Vzdálenost těchto postupů bude upřesněna podle chování horninového prostředí.

Druhý tubus bude prováděn podle stejného principu jako výše zmíněný.

7.8 Větrání

Větrání je nedílnou součástí výstavby tunelu. Je nutno zajistit předepsané hygienické podmínky ovzduší v podzemí, především přívod čerstvého vzduchu na pracoviště, odvětrání po-výbuchových zplodin a zplodin z provozu mechanismů používaných při výstavbě tunelu.

Nejčastěji se můžeme dnes setkat s foukacím větráním, kdy je ventilátor umístěn před portálem a čerstvý vzduch je přiváděn lutnovým tahem na čelbu. Jeho nevýhodou však je, že zplodiny proudí přes celou délku tunelu až k portálu. Méně běžné je větrání sací, které odsává zplodiny z čelby a čistý vzduch je nasáván plným profilem tunelu směrem k čelbě. Vhodné řešení představuje větrání kombinované, jehož výhodou je rychlé odstranění zplodin z čelby bez znečištění ovzduší v celé délce tunelu. [6]

7.9 Odvodnění

Pro odvodnění budou v tunelu vybudovány dočasné drenáže, které budou odvádět veškerou vodu do nejnižšího místa. Jelikož se jedná o dohorní ražbu, veškerá voda bude tedy odtékat od čelby ražby směrem ven z tunelu. Následně bude zachytávána do jímek, z nich bude po přečištění vypouštěna do veřejné kanalizace nebo do přílehlého Habrovanského potoka.

7.10 Geotechnický monitoring

Snaha optimálně využít vlastností horninového masivu jako konstrukčního prostředí byla myšlenkovým zlomem ve vývoji konvenčních tunelovacích metod označovaných také jako observační metody nebo metody řízené deformace. Tato změna myšlení s sebou přinesla nutnost podrobného zkoumání chování horninového masivu v souvislosti se zajištěním stability výrubu, bezpečnosti práce a projevů ražby na objekty v nadloží. Moderní konvenční tunelovací metody jsou již

neodmyslitelně spjatý se souborem geotechnických měření a sledování, které představují nástroj zkoumání kvality horninového masivu a jeho odezvy na probíhající ražbu. Souhrnně jsou tato měření a sledování označována názvem geotechnický monitoring.

Správně navržený, prováděný a zejména pak komplexně vyhodnocený geotechnický monitoring má zásadní význam pro bezpečnost provádění, optimalizaci technického řešení a s ní související konečnou výši investičních nákladů. [6]

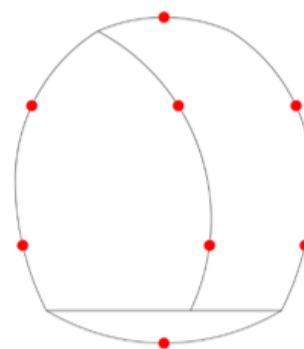
Pro měření a sledování prováděná v rámci geotechnického monitoringu lze využít celou řadu měřících metod. K základním geotechnickým měřením a sledováním patří tyto metody:

Geotechnická dokumentace líce výrubu

Provádí se do předem připravených formulářů, kam je zakresleno rozhraní geologických vrstev, tektonických poruch, přítoků podzemní vody apod. Dále jsou zaznamenány údaje o vrstevnatosti a puklinatosti horninového masivu, vzdálenosti diskontinuit, úklonu a směru vrstev vzhledem k líci výrubu a rovině čelby. Sledují se vlastnosti materiálu výplně puklin a jeho chování při styku se vzduchem nebo podzemní vodou. Při dokumentaci čelby jsou rovněž zakreslovány případné nadvýrubu a posuzována příčina jejich vzniku. [6]

Sledování deformací výrubu

Měření se provádí pomocí geodetických bodů, které jsou zabudovány do primárního ostění tunelu. Pomocí optické totální stanice jsou v čase zaznamenávány absolutní posuny bodů. Ty jsou následně vztaženy k souřadnicovému systému a počítají se z nich tři složky vektoru. Složku ve směru podélné osy tunelu a na složku horizontální a vertikální



Obr. 7.4 Schéma rozmístění geodetických bodů

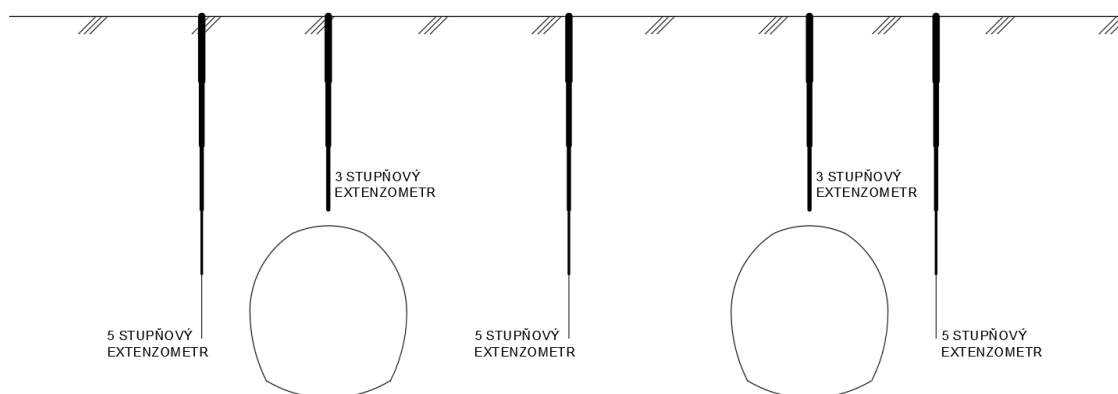
působící v rovině kolmé na osu tunelu. Minimální počet sledovaných bodů v jednom měřičském profilu je pět.

Pro zjištění vektorů deformací u Habrovanského tunelu, bude v profilu umístěno osm geodetických bodů. Rozmístění těchto bodů lze vidět na Obr. 7.4, pro oba tubusy je totožné.

Extenzometrická měření

Upřesňují informaci o přetváření horninového masivu v okolí podzemního díla. Pokud lze extenzometry instalovat s povrchu a nulté měření provést v dostatečném předstihu před vlastní ražbou tunelu, poskytují provedená měření velmi důležitou informaci o velikosti deformace probíhající před čelbou tunelu. Pro měření s povrchu i v podzemí jsou zpravidla používány vícešupňové extenzometry, přičemž se počet stupňů pohybuje v rozmezí tři až pět v závislosti na parametrech horninového masivu a očekávané deformační reakci masivu na ražbu podzemního díla. Výsledkem extenzometrických měření je časová závislost průběhu relativní deformace kotvy extenzometru vůči kotevní desce na zhlaví vrtu. [6]

Jelikož se nachází Habrovanský tunel v nezastavěném území a nad ním se nachází volný terén, lze tyto extenzometry bez komplikací v dostatečném předstihu instalovat. Provedeny budou podle schéma na Obr. 7.5, přibližně v 1/2 délky tunelu.



Obr. 7.5 Schéma extenzometrického měření

Inklinometrická měření

Registrují složky deformací kolmé na osu vrtu. Po odvrtání je do inklinometrického vrtu osazena plastová inklinometrická pažnice a prostor mezi pažnicí a stěnou vrtu vyplněn vhodným materiálem tak, aby deformace trubice inklinometru odpovídala deformaci horninového masivu. [6] Inklinometrický vrt se umísťuje do oblasti před čelbou tunelu pro její sledování, pro sledování ovlivnění základů budov ve velkých hloubkách v blízkosti tunelu, svahů a příportálových oblastí. Měření je prováděno inklinometrickou sondou, která automaticky určuje náklon vrtu. Měření se provádí v pravidelných hloubkových intervalech (zpravidla po 0,5 m) ve dvou na sebe kolmých osách. [15]

Součástí Habrovanského tunelu budou umístěny dvojice inklinometrických vrtů, na sebe kolmých, ve stěně provizorních portálů.

Hydrogeologický monitoring

Změna úrovně hladiny vod by mohla negativně ovlivnit jak vývoj stavby, tak i přírodní vodní zdroje, které by mohli narušit stabilitu ekosystému. Je tedy nutné dbát na to, aby byla zajištěna minimální požadovaná hladina podzemích vod.

Součástí stavby tedy budou hydrogeologické vrty, ze kterých bude možné změny hladiny sledovat. Z nich budou také odebírány vzorky, pro chemickou analýzu.

8 ZÁVĚR

Cílem předkládané diplomové práce byl návrh primárního ostění Habrovanského tunelu, který je součástí modernizované vysokorychlostní železniční tratě Brno – Přerov. Již na základě zadání bylo dané, že se bude jednat o dva jednokolejné tubusy. Z poskytnutých podkladů, jež zahrnovaly geodetické zaměření, či předběžný geologický průzkum byl vytvořen obraz prostředí, ve kterém se bude tunel nacházet. Do tohoto prostředí byl navržený vhodný příčný profil s primárním ostěním, tvořeného ze stříkaného betonu s výztuží ocelových profilů HEB a betonářské oceli.

Pomocí software Plaxis 2D byl vytvořen ve dvou řezech numerický model. Pro přesnější popis chování horninového prostředí a ostění tunelu byl pro výpočet zvolen Hardening-soil materiálový model. Použití tohoto modelu vyžadovalo větší množství vstupních údajů. Parametry pro jednotlivé vrstvy zemin byly převzaty předběžného geologického průzkumu. Kvůli absenci triaxiálních zkoušek nebyly dostupné všechny potřebné parametry, proto některé z nich byly odvozeny z vymodelované presiometrické zkoušky, též v software Plaxis 2D.

Výsledkem numerických modelů byly extrémní síly a momenty v primárním ostění pro jednotlivé fáze výstavby. Ty byly následně posouzeny podle zjednodušeného interakčního digramu vypočteného dle ČSN EN 1994-1-1: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí.

Z výsledků je vidět, že všechna posouzení na únosnost vyhověla a byly splněny veškeré podmínky. Navržené primární ostění je tedy vhodné.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

9.1 Monografie a knihy

- [1] BARTÁK, J. A PRUŠKA, J. *Podzemní stavby* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2011. ISBN 978-20-01-04789-7
- [2] MOLÁK, Radoslav et al. *Studie proveditelnosti: Modernizace trati Brno - Přerov*. Brno, 2015.
- [3] HILAR, Matouš. Příprava a výstavba dlouhých železničních tunelů. Praha, 2008. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [4] ČÚZK, Vyšší geomorfologické jednotky České republiky. Praha, 1996. ISBN 80-901212-7-6
- [5] Stavební geologie – Geotechnika a.s. MODERNIZACE TRATI BRNO – PŘEROV, I. ETAPA BLAŽOVICE – NEZAMYSLICE, Habrovanský tunel: Předběžný geotechnický průzkum – závěrečná zpráva, 08 0399-095 Ostrava
- [6] MOSLER a kol., Uživatelská příručka pro konvenční tunelování. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, 2019. Dokumenty českého tunelářské asociace ITA-AITES. ISBN 978-80-906452-4-0
- [7] HORÁK, Vladislav. Podzemní stavby: modul BF06-M01. Brno, 2007. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] MAIDL, Bernhard. Handbook of Tunnel Engineering Volume I: Structures and Methods. Berlin, 2013. ISBN 978-3-433-03048-6
- [9] KOLYMBAS, Dimitrios. Tunnelling and Tunnel Mechanics, Springer-Verlag, Berlin, 2008. ISBN 978-3-540-25196-5
- [10] KOUDELA, Pavel. Stanovení hodnot vstupních parametrů pokročilých materiálových modelů s využitím optimalizačních metod. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D.

- [11] MAŠÍN, D. a HERLE, I. Vliv konstitučního modelu na predikce deformací okolo tunelu v jemnozrnných zeminách. In Proc. 33rd Conf. Zakládání Staveb, Brno, 2005, s. 207-212.
- [12] BASTL, Návrh ražby a primárního ostění Dřevnovického tunelu na stavbě vysokorychlostního železničního spojení Brno – Přerov, Brno 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladislav Horák, Csc.
- [13] STUDNIČKA, Jiří. Ocelobetonové konstrukce 20. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 978-800-1025-987
- [14] HILAR, Matouš. Stříkaný beton v podzemním stavitelství. Praha: Český tunelářský komitét ITA-AITES, 2008. ISBN 978-80-254-1262-6.
- [15] TP 237. Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2011.

9.2 Normy a předpisy

- [16] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1315/2013
- [17] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/57/ES
- [18] ČSN 73 6133. Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Březen 2010. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [19] ČSN 73 7508. Železniční tunely. Září 2002. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [20] ČSN EN 1994-1-. Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 11: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

9.3 Internetové zdroje

- [21] Historie Železniční dopravy v Česku. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-11-09].

Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Historie_Železniční_dopravy_v_Česku

- [22] Železniční trať Brno–Přerov. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční_trať_Brno–Přerov
- [23] Yulhyeon Tunnel Opening. Oil-electric [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.oil-electric.com/2015/07/yulhyeon-tunnel-opening.html>
- [24] Prof. Ing. Barták; Přehled klasických metod výstavby tunelů; Prezentace na Tunelářské odpoledne 2/2016, ČVUT Praha. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2016/02_bartak_prehled-klasicky-ch-metod-vystavby-tunelu.pdf
- [25] Fotografie dostupná z: https://www.herrenknecht.com/fileadmin/user_upload/Main_Website/03_Produkte/01_Tunnelling/10_Doppelschild-TBM/03_ImageMap/01_imagemap_doppelschild_1.jpg
- [26] Mapa dostupná z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>
- [27] BRINKGREVE, R., S. KUMARSWAMY a W. SWOLFS. Plaxis: Material models manual. 2018.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

TEN-T	trans-european network
IG	inženýrskogeologický
NRTM	nová rakouská tunelovací metoda
NATM	new austrian tunnelling method
TBM	tunnel boring machine
SM	shield machine
SB	stříkaný beton
MKP	mikropilotové
GTM	geotechnický monitoring
R	poloměr oblouku
γ	objemová tíha
φ_{ef}	efektivní úhel vnitřního tření

C_{ef}	efektivní soudržnost
E_{def}	modul přetvárnosti
ν	Poissonovo číslo
k_f	koeficient filtrace
E	Yongův modul pružnosti
\check{s}	šířka tunelu
φ	úhel vnitřního tření
c	koheze
E_{50}^{ref}	referenční sečnový modul
E_{oed}^{ref}	referenční edometrický modul
E_{ur}^{ref}	referenční modul pružnosti při zatížení a opětovném odtížení
ν_{ur}	poissonovo číslo pro odtížení a opětovné přitížení
m	exponent řídicí závislost deformačních parametrů
σ_1	svislé napětí
σ_3	boční napětí
p_{ref}	referenční napětí
K_0^{nc}	koeficient zemního tlaku v klidu pro podmínky normální konsolidace
R_f	poměr deviátoru napětí na mezi porušení asymptotického deviátoru napětí
V	objem
w	tíha prvku
γ_b	objemová tíha betonu
d	tloušťka ostění
β	součinitel stanovující přerozdělení zatížení horninového masívu na nevyztužený a vyztužený výrub
f_{ck}	návrhová pevnost betonu
f_{yk}	návrhová pevnost oceli
f_{sk}	charakteristická pevnost betonářské výztuže
γ_c	součinitel spolehlivosti materiálu pro beton
γ_{M0}	součinitel spolehlivosti materiálu
γ_a	součinitel spolehlivosti materiálu pro betonářskou výztuž
f_{cd}	návrhová pevnost betonu
f_{yd}	návrhová pevnost oceli
f_{sd}	návrhová pevnost betonářské výztuže
A_a	plocha ocelového průřezu
A_c	plocha betonu
A_s	plocha betonářské výztuže
I_{yc}	moment setrvačnosti betonu

I_{ya}	moment setrvačnosti ocelového průřezu
I_{ys}	moment setrvačnosti betonářské výztuže
E_c	modul pružnosti betonu
E_y	modul pružnosti oceli
E_{cm}	modul pružnosti pro mladý beton
EA	tlaková tuhost
EI	ohybová tuhost
h	výška průřezu
b	šířka průřezu
h_a	výška ocelového průřezu
b_a	šířka ocelového průřezu
t_f	tloušťka pásnice
t_w	tloušťka stojiny
h_w	výška stojiny
r	zaoblení
c_z	krytí ocelového průřezu ve směru z
c_y	krytí ocelového průřezu ve směru y
δ	poměr vyjadřující příspěvek oceli v únosnosti průřezu v tlaku
ε	přetvoření
A_w	smyková plocha
d	výška stěny ocelového I profilu
x	vzdálenost neutrální osy od hrany pásnice
z	rameno vnitřních sil
$u_{x,max}$	maximální vodorovná deformace tunelového ostění
$u_{y,max}$	maximální svislá deformace tunelového ostění
N	normálová síla
V	posouvající síla
M	ohybový moment
$N_{pl,Rd}$	plastická únosnost v tlaku
$N_{t,Rd}$	únosnost průřezu v tahu
$V_{pl,Rd}$	únosnost průřezu ve smyku
$M_{pl,Rd}$	plastická ohybová únosnost průřezu
$M_{max,Rd}$	maximální ohybová únosnost průřezu
N_{Ed}	návrhová hodnota účinků normálové síly
V_{Ed}	návrhová hodnota účinků posouvající síly
M_{Ed}	návrhová hodnota účinků ohybového momentu
α_M	součinitel spolehlivosti
μ_d	součinitel redukce ohybové únosnosti průřezu

SG-Geotechnika a.s. pracoviště Ostrava		GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VRTU			THR1		
18		18.20	F8 CH	3	P	do	GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN
19		20.00				20.00	15: Jíl s vysokou plasticitou až jí s extrémně vysokou plasticitou, šedožluté barvy, vápnitý, od hloubky 11,3 m tmavě šedý, v hloubce 3,3 m vložka písku, pevný, neogén
20							
Název akce: BLAŽOVICE-NEZAMYSLICE, GT průzkum		Měřítko: 1: 100		Zak. číslo: 080399			
Dokumentoval: Ing.T.Klímša		Vyhodnotil: Ing.T.Klímša		Zpracoval: Ing.Trávníčková		Příloha č.: 3/1.2	

SG-Geotechnika a.s. 182 00 Praha 8 – Kobylisy, Štěrbová 1229		GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VRTU		THR 2	
Vrtičistr:	Krkoš	Hloubka sondy [m]:	30,00	Y=	577 365,18
Typ soupravy:	H50	Hladňa podz. vody:		X=	1 160 382,71
pracoviště Ostrava	2.9.2008	naražená [m]:	Hl.= 7,40, Z = 279,55	Z=	286,95
- do:	2,9.2008	ustálená [m]:	Hl.= 8,20, Z = 278,75	Souř.systémy:	JTSK / BaII
od: [m]	do: [m]	vrtáno DN [mm]		od: [m]	do: [m]
				paženo DN [mm]	
				Okres:	Vyškov
				Katastr.územl:	
				Mapa 1:25000:	24-414
<p>THR 2</p>			do	GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN	
			0,40	2: Humózní vrstva	
2,50	14: Jíl se střední plastičtostí, žlutohnědý, s bílými smouhami, vápnitý, pevný				
3,30	51: Písek jílovitý se štěrskem, šedohnědý, s valouny velikosti do 5 cm, ojedlně až 15 cm (20%), mírně vlhký				
18,00	15: Jíl s vysokou plastičtostí, až velmi vysokou plastičtostí, shora žlutošedý, s rezavými smouhami, níže tmavě šedý, vápnitý, mlstý vložky písku (6,2 m, 6,6 m, 7,4 m, 9,2 m, 10,2 m, 25,1-25,3 m), pevný, mločen				
<p>Legenda: Vzorky s číslem laboratorního rozboru. Podzemní voda s číslem zvodně. </p>					
Poznámka:					
.					
.					
Název akce: BLAŽOVICE-NEZAMYSLICE, GT průzkum			Měřítko: 1: 100	Zak. číslo: 080399	
Dokumentoval:	Ing.T.Kilmša	Vyhodnotil:	Ing.T.Kilmša	Zpracoval:	Ing.Trávníčková
				Příloha č.:	3/2.1

SG-Geotechnika a.s., pracoviště Ostrava		GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VRTU		THR 3	
Vrtičistr:	Krkoš	Hloubka sondy [m]:	20,00	Y=	577 096,21
Typ soupravy:	H50	Hladna podz. vody:		X=	1 160 174,00
Datum provedení - od:	1,9,2008	naražená [m]:	HL= 8,00, Z = 272,03	Z=	280,03
- do:	1,9,2008	ustálená [m]:		Souř.systémy:	JTSK / BaII
od: [m]	do: [m]	vrtáno DN [mm]	od: [m]	do: [m]	paženo DN [mm]
				Okres:	Vyškov
				Katastr.území:	
				Mapa 1:25000:	24-414
			GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN		
			do 0,40 2: Humózní vrstva 5,40 14: Jíl se střední plasticitou, tmavě žlutý s bílými smouhami, vápnitý, do hloubky 2 m pevný, níže tuhý 18,00 16: Jíl s velmi vysokou plasticitou, žlutošedý až šedý, místy rezavě smouhy, vápnitý, místy zvodnělé vločky písku (5,9 m, 6,3 m, 6,5 m, 8,0 m, 11,4 m, 13,5 m, 14,8 m, 15,4 m, 16,3 m), pevný		
Legenda: Vzorky s číslem laboratorního rozboru. Podzemní voda s číslem zvodněné. ■ neporušený ■ porušený ■ jádro ■ technolog. ■ skalní □ jiný ● voda ▼ naražená hladina ▲ ustálená hladina					
Poznámka: . . .					
Název akce: BLAŽOVICE-NEZAMYSLICE, GT průzkum				Měřítko: 1: 100	Zak. číslo: 080399
Dokumentoval: Ing.T.Kilmša	Vyhodnotil: Ing.T.Kilmša	Zpracoval: Ing.Trávníčková	Příloha č.: 3/3.1		

SG-Geotechnika a.s. pracoviště Ostrava		GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VRTU			THR 3	
	18,50	F8 CV	3	P	do	GEOLOGICKÝ POPIS ZEMÍN A HORNIN
	19	F8 CH			18,50	16: Jíl s velmi vysokou plasticitou, žlutošedý až šedý, místy rezavě smouhy, vápnitý, místy zvodnělé vločky písku (5,9 m, 6,3 m, 6,5 m, 8,0 m, 11,4 m, 13,5 m, 14,8 m, 15,4 m, 16,3 m), pevný
	20		20,00	20,00	15: Jíl s vysokou plasticitou, tmavě šedý, vápnitý, pevný	
<p>Název akce: BLAŽOVICE-NEZAMYSLICE, GT průzkum</p> <p>Dokumentoval: Ing.T.Kilmša Vyhodnotil: Ing.T.Kilmša Zpracoval: Ing.Trávníčková</p>					Měřítka: 1: 100	Zak. číslo: 080399
						Příloha č.: 3/3.2

SG-Geotechnika a.s. pracoviště Ostrava		GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VRTU		THR-P	
Vrtmistr:	Krkoš	Hloubka sondy [m]:	21,00	Y=	577 318,07
Typ soupravy:	H50	Hladna podz. vody:		X=	1 160 346,15
Datum provedení - od:	2.9.2008	naražená [m]:		Z=	286,34
- do:	2.9.2008	ustálená [m]:	H ₁ = 7,30, Z = 279,04	Souř.systémy:	JTSK / Bařt
od: [m] do: [m] vrtáno DN [mm]		od: [m] do: [m] paženo DN [mm]		Okres:	Vyškov
				Katastr.území:	
				Mapa 1:25000:	24-414
			do		
			GEOLOGICKÝ POPIS ZEMIN A HORNIN		
			0.50	2: Humózní vrstva	
			2.80	14: Jíl se střední plastičtostí, tmavě žlutý, vápnitý, pevný	
			3.60	11: Jíl štěrkvitý, s podílem písku, šedohnědý, s valouny velikosti do 7 cm, suchý	
			15.00	15: Jíl s vysokou plastičtostí, žlutošedý, místy vložky písku (10,0 m-10,4 m - písek jílovitý) vápnitý, pevný	
			18.00	16: Jíl s velmi vysokou plastičtostí, tmavě šedý, vápnitý, místy vložky písku, pevný	
			Legenda: Vzorky s číslem laboratorního rozboru, Podzemní voda s číslem zvodně. 		
			Poznámka: . . .		
Název akce: BLAŽOVICE-NEZAMYSLICE, GT průzkum				Měřítko: 1: 100	Zak. číslo: 080399
Dokumentoval: Ing.T.Klímša		Vyhodnotil: Ing.T.Klímša		Zpracoval: Ing.Trávníčková	Příloha č.: 3/4.1

11.2 POLNÍ ZKOUŠKY

Stavební geologie-Geotechnika, a.s.
prac. geotechnického zkušebnictví a monitoringu
Geologická 4 čp. 988
Praha 5 - Barrandov, 152 00

Certifikát systému managementu jakosti
dle ČSN EN ISO 9001:2001 č. SMJ – 1852/2007

PROTOKOL O ZKOUŠCE PRESIOMETREM MÉNARD (typ APAGEO)

Typ sondy: guma Ø 74 mm

Hormina: jíl, $\nu = 0,4$

Hladina podzemní vody = - 8,0 m

Vrt THR-P
hloubka: 8,0 m

Výsledky:

Presiometrický modul
 E_p [MPa] = 6,2
(interval 0,52 - 1,51 MPa)

Poč. pružněplastické fáze
 p_o [MPa] = 0,19

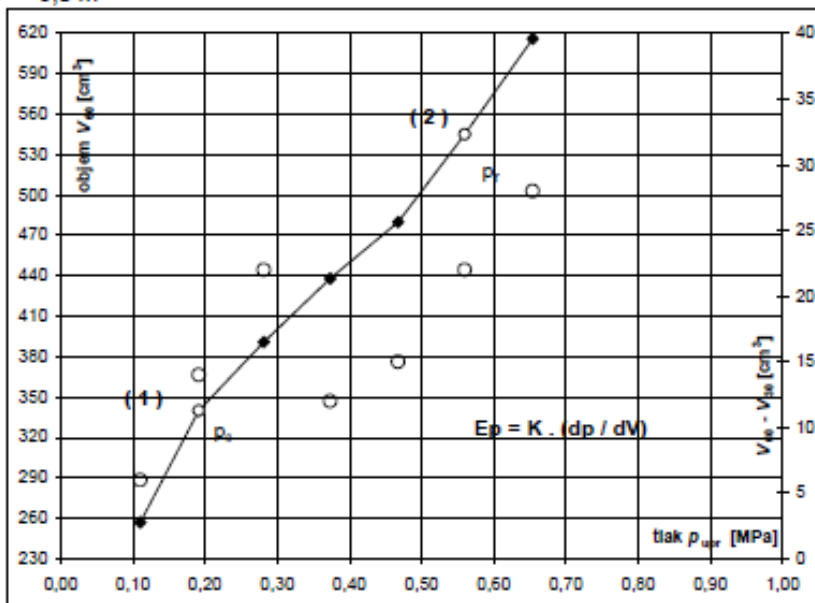
Mez dotvarování
 p_f [MPa] = 0,56

Koeficient sondy
 K [cm³] = 3451

Limitní tlak
 p_{lim} [MPa] = 1,40

$E_p / p_{lim} = 4,43$

$p_{lim} / p_f = 2,50$



Tlak [MPa]	Tlak [MPa]	Objem [cm ³]				
p	p_{upr}	V_{15}	V_{30}	V_{60}	ΔV_{60}	$V_{60} - V_{30}$
0,10	0,11	248	251	257		6
0,20	<u>0,19</u>	319	326	<u>340</u>	83	14
0,30	0,28	359	369	391	51	22
0,40	0,37	420	426	438	47	12
0,50	0,47	458	465	480	42	15
0,60	<u>0,56</u>	513	523	<u>545</u>	65	22
0,70	0,65	574	588	616	71	28

	SG - Geotechnika, a.s.			
	Geologická 4 čp. 988, 152 00 Praha 5 tel. 234 654 111 fax: 234 654 112 e-mail: terenni@geotechnika.cz			
Objednatel:	SUDOP Brno s.r.o.			
Název zakázky:	Modernizace trati Brno - Přerov, 1.etapa Blažovice - Nezamyslice			
Číslo zakázky:	Měřil:	Zpracoval:	Schválil:	Datum:
08 0399-095	Černý, Nepraš	Hudák	Ing. Líbal	2.9.2008
Grafický průběh a data zkoušky			Číslo protokolu: P066/2008	

Stavební geologie-Geotechnika, a.s.
prac. geotechnického zkušebnictví a monitoringu
Geologická 4 čp. 988
Praha 5 - Barrandov, 152 00

Certifikát systému managementu jakosti
dle ČSN EN ISO 9001:2001 č. SMJ – 1852/2007

PROTOKOL O ZKOUŠCE PRESIOMETREM MÉNARD (typ APAGEO)

Typ sondy: guma Ø 74 mm
Hladina podzemní vody = - 9,0 m

Hormina: jíl, $v = 0,4$

Vrt THR-P
hloubka: 20,0 m

Výsledky:

Presiometrický modul
 E_p [MPa] = 15,5
(interval 0,52 - 1,51 MPa)

Poč. pružněplastické fáze
 p_o [MPa] = 0,33

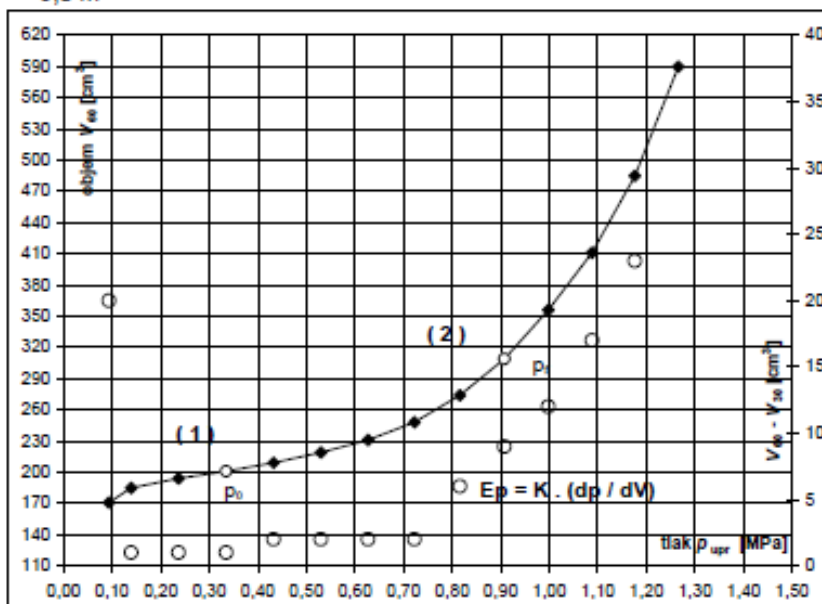
Mez dotvarování
 p_t [MPa] = 0,91

Koeficient sondy
 K [cm³] = 2926

Limitní tlak
 p_{lim} [MPa] = 1,60

$E_p / p_{lim} = 9,70$

$p_{lim} / p_t = 1,76$



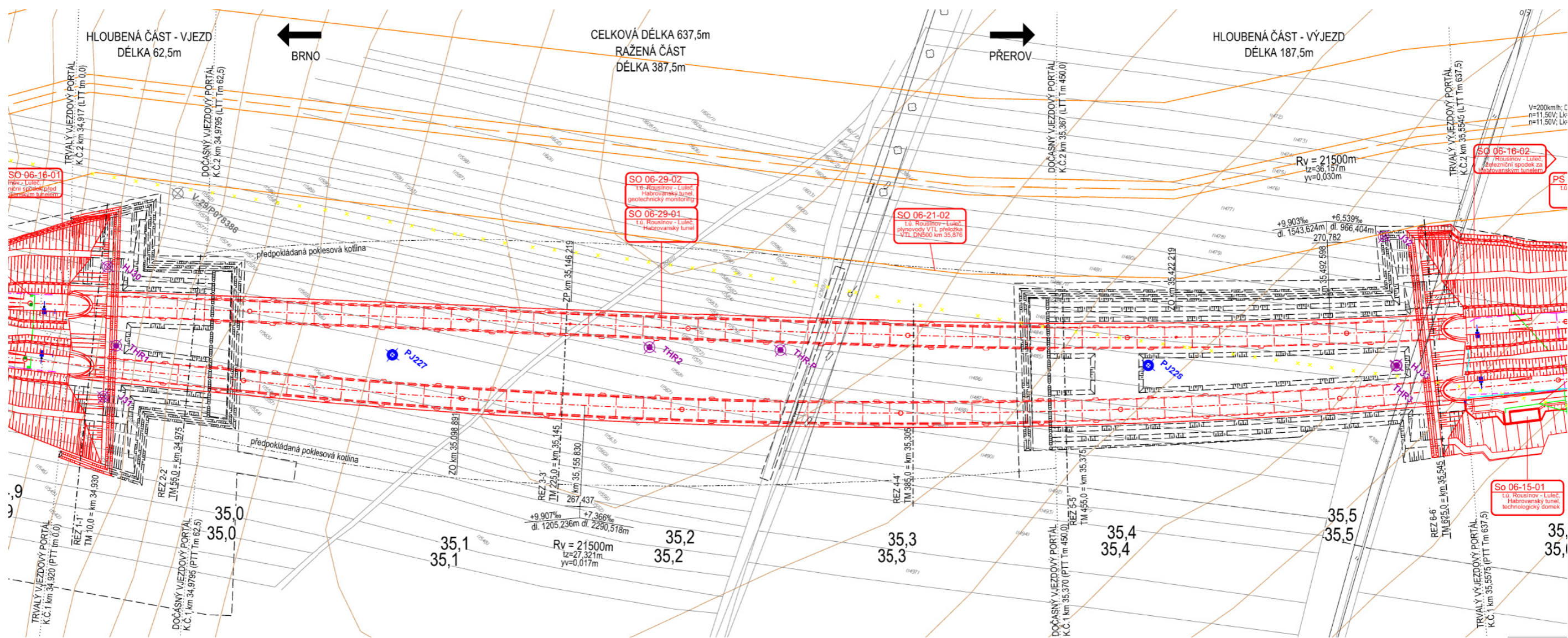
Tlak [MPa]	Tlak [MPa]	Objem [cm ³]						
		p	$p_{úpr}$	V_{15}	V_{30}	V_{80}	ΔV_{80}	$V_{80} - V_{30}$
0,05	0,09			140	151	171		20
0,10	0,14			183	184	185	14	1
0,20	0,24			192	193	194	9	1
0,30	<u>0,33</u>			199	200	<u>201</u>	7	1
0,40	0,43			206	207	209	8	2
0,50	0,53			216	217	219	10	2
0,60	0,63			228	229	231	12	2
0,70	0,72			245	246	248	17	2
0,80	0,82			265	268	274	26	6
0,90	<u>0,91</u>			296	300	<u>309</u>	35	9
1,00	1,00			338	344	356	47	12
1,10	1,09			387	394	411	55	17
1,20	1,18			450	462	485	74	23
1,30	1,27			530	555	590	105	35

	SG - Geotechnika, a.s.			
	Geologická 4 čp. 988, 152 00 Praha 5 tel. 234 654 111 fax: 234 654 112 e-mail: terenni@geotechnika.cz			
Objednatel:	SUDOP Brno s.r.o.			
Název zakázky:	Modernizace trati Brno - Přeřov, 1. etapa Blažovice - Nezamyslice			
Číslo zakázky:	Měřil:	Zpracoval:	Schválil:	Datum:
08 0399-095	Černý, Nepraš	Hudák	Ing. Líbal	2.9.2008
Grafický průběh a data zkoušky			Číslo protokolu: P067/2008	

11.3 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

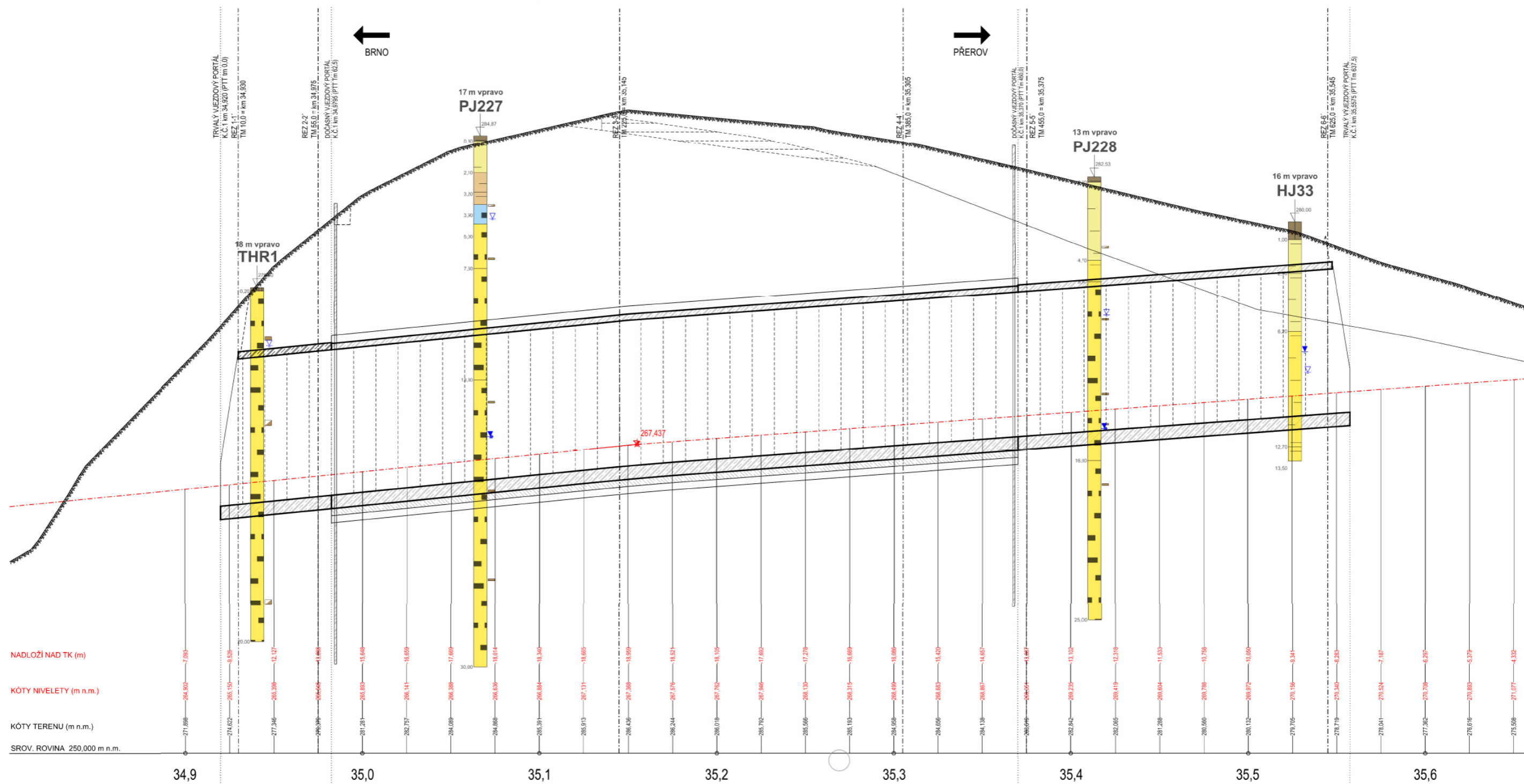
HABROVANSKÝ TUNEL

SITUACE



HABROVANSKÝ TUNEL

ŘEZ - KOLEJ č.1



HABROVANSKÝ TUNEL

ŘEZ - KOLEJ č.2

