

Revize:	Datum:	Popis:					Kontroloval:						
000	14. 5. 2022	Definitivní odevzdání dokumentace					Ing. Tomáš Chytil						
Název části:		Tunely					Označení části: D.2.1.7						
Název objektu/dílní části:		t.ú. Holubice - Rousínov, Rousínovský tunel					Označení objektu/komplexu: SO 25-40-01						
Název přílohy:		Zjednodušené statické výpočty					Číslo přílohy: 1.003						
Název dílní části přílohy:		-											
Odpovědný projektant:		Zpracovatel přílohy:		Měřítko: -		Stupeň dokumentace:							
Ing. Josef Rychtecký		Kolektiv		Formáty: -		DÚR							
Kraj:		Katastrální území:		TUDU:		Smluvní datum zpracování:							
Jihomoravský		Rousínov u Vyškova [741922]		2301 08		14.7.2022							
Označení investora: S 6 2 1 5 0 0 5 8 7		Stupeň dokumentace: -		Část: D Ú R X -		Objekt: D 2 1 0 7 -		Podobojekt: S O 2 5 4 0 0 1 -		Příloha: X X -		Revize: 1 - 0 0 3 - 0 0 0	
[Prostor pro další informace]													

Zhotovitel:
AFRY CZ s.r.o.

Datum:
07/2022

Zastoupený:
Ivo Šimek

Číslo zakázky:
21064-01-0722

Autorský kolektiv:
Michal Steiner
Filip Rozmánek

Kontrola:
Josef Rychtecký

Objednatel:
Správa železnic, s.o.
Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1

Zastoupený:
Stavební správa východ
Nerudova 773/1, 779 00 Olomouc

MODERNIZACE TRATI BRNO – PŘEROV, 2. STAVBA BLAŽOVICE - VYŠKOV

PŘÍLOHA 1.003: ZJEDNODUŠENÉ STATICKÉ VÝPOČTY

SO 25-40-01 T.Ú. BLAŽOVICE - HOLUBICE, ROUSÍNOVSKÝ TUNEL



OBSAH

1	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	4
2	ÚVOD	5
2.1	ÚČEL ZPRÁVY	5
2.2	ÚČEL VÝPOČTŮ	5
2.3	ZÁKLADNÍ POPIS TUNELU A ŘEŠENÍ STATIKY	5
2.4	POUŽITÝ SOFTWARE	5
3	SEZNAM ZKRATEK	6
4	PODKLADY A LITERATURA	7
4.1	ÚVOD	7
4.2	SEZNAM NOREM A PŘEDPISŮ POUŽITÝCH PŘI ZPRACOVÁNÍ PD	7
4.3	SEZNAM PODKLADŮ A DALŠÍCH REFERENČNÍCH DOKUMENTŮ	8
4.4	OSTATNÍ LITERATURA	8
4.5	ODCHYLKY OPROTI NORMÁM A PŘEDPISŮM	9
5	GEOTECHNICKÉ POMĚRY.....	10
5.1	ÚVOD	10
5.2	GEOTECHNICKÉ PARAMETRY	10
5.2.1	Spraše / sprašové hlíny	10
5.2.2	Brněnský neogenní jíl	10
5.2.3	Zásypový materiál	11
5.3	GEOTECHNICKÁ RIZIKA.....	11
6	DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ ROUSÍNOVSKÉHO TUNELU	12
6.1	ÚVOD	12
6.2	CHARAKTERISTICKÉ ŘEZY	12
6.3	PŘITÍŽENÍ POVRCHU	12
6.4	ROZMĚRY A PARAMETRY OSTĚNÍ	12
6.5	VÝPOČTOVÝ MODEL	12
6.6	ZATÍŽENÍ.....	14
6.6.1	Seznam uvažovaných zatížení	14
6.6.2	Vlastní tíha	14
6.6.3	Zemní tlak	14
6.6.4	Vodní tlak	15
6.6.5	Smrštění betonu	15
6.6.6	Změny teploty	16
6.6.7	Další zatížení.....	16
6.6.8	Kombinace zatěžovacích stavů	16
6.7	VNITŘNÍ SÍLY	17
6.8	POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI	17
7	STABILITA ZÁŘEZŮ HLOUBENÝCH ÚSEKŮ	22
7.1	GEOMETRIE	22
7.2	CHARAKTERISTICKÉ ŘEZY	22
7.3	PŘITÍŽENÍ POVRCHU	22
7.4	METODIKA VÝPOČTŮ	22

8	STABILITA ZÁSYPŮ HLOUBENÝCH ÚSEKŮ	23
8.1	GEOMETRIE	23
8.2	CHARAKTERISTICKÉ ŘEZY	23
8.3	PŘITÍŽENÍ POVRCHU	23
8.4	METODIKA VÝPOČTŮ	23

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Seznam uvažovaných zatížení	14
Tabulka 2 – Kombinace zatěžovacích stavů.....	16

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Vzorový příčný řez – definitivní ostění.....	12
Obrázek 2 – Výpočtový model ostění – zobrazení tloušťky	13
Obrázek 3 – Výpočtový model ostění – zobrazení podpor	13
Obrázek 4 – Typický obrazec průběhu zemního tlaku	15
Obrázek 5 – Typický obrazec průběhu vodního tlaku.....	15
Obrázek 6 – Obálka ohybových momentů.....	17
Obrázek 7 – Obálka posouvajících sil	17
Obrázek 8 – Obálka normálových sil	18
Obrázek 9 – M-N interakce (klenba) – MSÚ (vlevo) / MSP (vpravo)	18
Obrázek 10 – M-N interakce (opěry / boky) – MSÚ (vlevo) / MSP (vpravo)	19
Obrázek 11 – M-N interakce (dno) – MSÚ (vlevo) / MSP (vpravo).....	19
Obrázek 12 – V-N interakce (smyková únosnost) - klenba	20
Obrázek 13 – V-N interakce (smyková únosnost) – boky / opěry.....	20
Obrázek 14 – V-N interakce (smyková únosnost) - dno	21
Obrázek 15 – Typický řez zářezem hloubeného úseku	22



1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Stavba: **Modernizace trati Brno-Přerov, 2.stavba Blažovice-Vyškov**
Stupeň dokumentace: Dokumentace pro územní rozhodnutí (DUR)
Část: Železniční tunely
Číslo části: D.2.1.7
Objednatel: **Správa železnic, státní organizace**
Stavební správa východ
Nerudova 773/1, 779 00 Olomouc
Zástupce objednatele: Ing. Martin Morávek (MoravekMa@spravazeleznic.cz, tel. 720 965 395)
Zhotovitel (GP): **AFRY CZ s.r.o.**
Magistrů 1275/13, 140 00 Praha 4
IČO: 45306605
DIČ: CZ45306605
Zapsaný v OR vedeném u Městského soudu v Praze, spisová značka C 8073
Hl. inž. projektu (HIP): Ing. Radoslav Molák,
č. autorizace 1004749, obor IT00 (technologická zařízení staveb)
Stavební objekty: **SO 25-40-01 t.ú. Blažovice - Holubice, Rousínovský tunel**
Projektant SO: **AFRY CZ s.r.o.**

2 ÚVOD

2.1 ÚČEL ZPRÁVY

Tato zpráva shrnuje vstupní údaje, parametry, předpoklady, postupy/metodiku a principy posouzení použité pro statické výpočty železničního tunelu provedeného v rámci zpracování DÚR 2. stavby projektu Modernizace trati Brno – Přerov. Zpráva vychází z původní dokumentace z roku 2018 vypracované společností SUDOP Praha a.s. [34]. Cílem bylo zachovat koncept původní zprávy včetně metodiky a výsledků veškerých výpočtů a aktualizovat ji dle platných norem a předpisů. Rovněž bylo nutné zprávu upravit na základě navazujících SO a PS. Zpráva bude použita jako příloha technické zprávy Rousínovského tunelu (SO 25-40-01).

2.2 ÚČEL VÝPOČTŮ

Statické výpočty byly zpracovány za účelem ověření proveditelnosti rozhodujících dimenzí stavebních nebo geotechnických konstrukcí (průkaz dimenzí), zejména s ohledem na dimenze mající vliv parametry DÚR. V navazujícím stupni PD budou provedeny výpočty podrobnější.

2.3 ZÁKLADNÍ POPIS TUNELU A ŘEŠENÍ STATIKY

Rousínovský tunel je navržen jako dvoukolejný a hloubený po celé délce. Jeho základní rozměry jsou dány vzorovými příčnými řezy.

Vzhledem k účelu a sjednocení statických výpočtů této zprávy byly výpočty provedeny za použití nejnepříznivějších geotechnických parametrů celé stavby (Modernizace trati Brno-Přerov, 2.stavba Blažovice-Vyškov) a byly členěny následovně:

- Ostění Rousínovského tunelu;
- Stabilita zářezů hloubených úseků;
- Stabilita zásypu hloubených úseků;

2.4 POUŽITÝ SOFTWARE

Bentley – MicroStation V8i (SELECT serie 4), verze 08.11.09.833

Microsoft Excel 2010.

FINE – GEO5 v2018 CZ.

PLAXIS 2D v2017.01.

SCIA ENGINEER v14.0.1058.



3 SEZNAM ZKRATEK

- **DÚR** – Dokumentace pro územní rozhodnutí
- **GŘ** – Generální ředitel
- **HPV** – Hladina podzemní vody
- **IGP** – Inženýrsko-geologický průzkum
- **MKP** – Metoda konečných prvků
- **MSP** – Mezní stav použitelnosti
- **MSÚ** – Mezní stav únosnosti
- **PD** – Projektová dokumentace / Dokumentace
- **SO** – Stavební objekt
- **SŽ** – Správa železnic
- **TKP** – Technické kvalitativní podmínky
- **tl.** – tloušťka / tloušťky
- **ŽB** – Železobeton / Železobetonový

4 PODKLADY A LITERATURA

4.1 ÚVOD

Níže jsou uvedeny základní podklady, normy a další předpisy použité při zpracování předmětných statických výpočtů. Normy jsou uvažovány ve znění platném v době odevzdání PD.

4.2 SEZNAM NOREM A PŘEDPISŮ POUŽITÝCH PŘI ZPRACOVÁNÍ PD

- [1] **ČSN 73 6301** (736301): Projektování železničních drah, Český normalizační institut, 1998
- [2] **ČSN 73 7508** (737508): Železniční tunely, Český normalizační institut, 2002
- [3] **ČSN 73 0037** (730037): Zemní tlak na stavební konstrukce, Český normalizační institut, 1992
- [4] **ČSN EN 1990** (73 0002); Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí; Český normalizační institut; Praha; 2/2011
- [5] **ČSN EN 1991-1-1** (730035); Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb; Český normalizační institut; 3/2004
- [6] **ČSN EN 1991-2** (736203); Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou; Český normalizační institut; 7/2005
- [7] **ČSN EN 1992-1-1 ed.2** (731201); Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby; Český normalizační institut; 11/2019
- [8] **ČSN EN 1992-2** (736208); Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady; Český normalizační institut; 5/2007
- [9] **ČSN EN 1997-1** (731000); Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla; Český normalizační institut; 9/2006
- [10] **ČSN EN 206+A2** (732403): Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda; Český normalizační institut; Svaz výrobců betonu ČR/TNK 36 Betonové konstrukce; 10/2021
- [11] **ČSN P 73 2404** (732404): Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplnující informace; Svaz výrobců betonu ČR/TNK 36 Betonové konstrukce; 12/2021
- [12] **ČSN EN 14487-1** (732431): Stříkaný beton - Část 1: Definice, specifikace a shoda; Český normalizační institut; 8/2006
- [13] **ČSN EN 10080** (421039): Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně; Český normalizační institut; 12/2005
- [14] **ČSN 42 0139** (420139): Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel žebírková a hladká; Hutnictví železa, a.s./TNK 62 Ocel; 6/2011
- [15] **ČSN EN 13670** (732400): Provádění betonových konstrukcí; Svaz výrobců betonu ČR/TNK 36 Betonové konstrukce; 6/2010
- [16] **ČSN EN 1537** (731051): Provádění speciálních geotechnických prací - Horninové kotvy; ARCADIS Geotechnika, a.s./TNK 41 Geotechnika; 2/2014
- [17] **ČSN EN 14490** (731055): Provádění speciálních geotechnických prací – Hřebíkování zemin; ARCADIS Geotechnika, a.s./TNK 41 Geotechnika; 10/2010
- [18] **ČSN EN 14475** (731045): Provádění speciálních geotechnických prací – Vyztužené zemní konstrukce; Český normalizační institut; 5/2006
- [19] **ÖGG**: Richtlinie für die Kostenermittlung Projekte der Verkehrsinfrastruktur; Österreichische Gesellschaft für Geomechanik; Austria; 2005



- [20] **Směrnice GR SŽDC č. 11/2006:** Dokumentace pro přípravu staveb na železničních drahách celostátních a regionálních. SŽDC, s.o., Odbor provozuschopnosti ŽDC; Praha, s účinností od 6/2006
- [21] **Směrnice GR SŽDC č. 16/2005** Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky. SŽDC, s.o.
- [22] **TKP 3:** Technické kvalitativní podmínky staveb českých drah, Kapitola 3 – Zemní práce; třetí aktualizované vydání, změna č. 6; SŽDC, s.o., Technická ústředna dopravní cesty; Praha, schváleno 4/2008 (účinnost od 1.7.2008)
- [23] **TKP 17:** Technické kvalitativní podmínky staveb českých drah, Kapitola 17 - Beton pro konstrukce; ; třetí aktualizované vydání, změna č. 8; SŽDC, s.o., Technická ústředna dopravní cesty; Praha, schváleno 3/2013 (účinnost od 1.5.2013)
- [24] **TKP 18:** Technické kvalitativní podmínky staveb českých drah, Kapitola 18 – Betonové mosty a konstrukce; třetí aktualizované vydání, změna č. 8; SŽDC, s.o., Technická ústředna dopravní cesty; Praha, schváleno 3/2013 (účinnost od 1.5.2013)
- [25] **TKP 20:** Technické kvalitativní podmínky staveb českých drah, Kapitola 20 – Tunely; třetí aktualizované vydání, změna č.2; České dráhy, s.o., divize Dopravní cesty, o.z.; Praha; 2001 (účinnost od 01/2002)
- [26] **TKP 24:** Technické kvalitativní podmínky staveb českých drah, Kapitola 24 – Zvláštní zakládání; třetí aktualizované vydání, změna č.4; České dráhy, a.s., Technická ústředna dopravní cesty; Praha; 2003 (účinnost od 12/2003)
- [27] **Vzorový list – světlý tunelový průřez jednokolejného tunelu;** SŽ s.o.; Úč. od 03/2010
- [28] **Vzorový list – světlý tunelový průřez dvoukolejného tunelu;** SŽ s.o.; Úč. od 02/2012

4.3 SEZNAM PODKLADŮ A DALŠÍCH REFERENČNÍCH DOKUMENTŮ

- [29] **Studie proveditelnosti;** Modernizace trati Brno-Přerov, verze 06/2015; zpracovatel SUDOP BRNO, spol. s r.o.; 06/2015
- [30] **Přípravná dokumentace;** Modernizace trati Brno-Přerov, I. etapa Blažovice-Nezamyslice; SUDOP BRNO, spol. s r.o.; 11/2009
- [31] **Návrh na revizi konceptu technického řešení ražených tunelů;** Brno – Přerov, 2. a 3. stavba; SUDOP PRAHA a.s., Ing. Michal Uhrin, Ing. Tomáš Zítka, Praha 11/2017
- [32] **Porovnání variant železničních tunelů;** Modernizace trati Brno-Přerov, 2. stavba Blažovice – Vyškov, Modernizace trati Brno-Přerov, 3. stavba Vyškov-Nezamyslice; SUDOP BRNO, spol. s r.o. & SUDOP PRAHA a.s.; Ing. Radoslav Molák, Ing. Tomáš Zítka, Ing. Petr Rotschein; Praha 06/2018
- [33] **Předběžný geotechnický průzkum;** Modernizace trati Brno-Přerov, I. Etapa Blažovice -Nezamyslice, SO 12-20-01, Holubický tunel, Ostrava, 03/2009
- [34] **Zjednodušené statické výpočty;** příloha č.2 k TZ SO 02-29-01; ; SUDOP PRAHA a.s., Ing. Michal Uhrin, Ing. Tomáš Zítka, Praha 11/2018

4.4 OSTATNÍ LITERATURA

- [35] Manuál programu GEO5
- [36] Manuál programu PLAXIS
- [37] KLEIN, K., MIŠOVE, P. Únosnost koreňa injektovanej kotvy v hornině. *Inženýrské stavby*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury SNTL, 1986, (5), 251-255.
- [38] MASOPUST, J.: Speciální zakládání staveb, 1. a 2. díl. Brno, 2004-2006. Skriptum, VUT Brno – Fakulta stavební.

- [39] SCHMITT: Estimating the coefficient of subgrade reaction for diaphragm and sheet pile wall design, Géotechnique, 1995, 71.
- [40] HORÁK, V.: Brno – kolektor Gottwaldova II – šachta 15A, geotechnický sled, zpráva, Geotest Brno. Brno, 1987, arch. č. 86 0628.
- [41] BOHÁČ, J.: Pevnost a přetváření brněnského jílu, XI. Mezinárodní vědecká konference k výročí 100 let založení VUT v Brně, 5 – Geotechnika. Brno, 1999, 33-36.
- [42] UHRIN, M.: Aplikace Cam Clay modelu na brněnský jíl. Brno, 2004. Diplomová práce, VUT Brno – Fakulta stavební.

4.5 ODCHYLKY OPROTI NORMÁM A PŘEDPISŮM

Nejsou navrženy.



5 GEOTECHNICKÉ POMĚRY

5.1 ÚVOD

Ve statických výpočtech se vycházelo z údajů získaných aktuálním i archivním IGP akce porovnaných s odbornou literaturou (viz čl. 4.4 této zprávy).

Rozhodnou geologickou formací pro návrh raženého tunelu je brněnský neogenní jíł. V ostatních případech rozhoduje formace spraší a sprašových hlín (při povrchu) a brněnský neogenní jíł (hlouběji). Ostatní geologické vrstvy jsou pro účely předmětných statických výpočtů podružné. Ve výpočtech hloubených konstrukcí a zásypů se uplatní také dovezený zásypový materiál.

Pro sestavení statických a geotechnických modelů byla v souladu s ČSN EN 1997-1 zpracovatelem výpočtů provedena interpretace charakteristických hodnot geotechnických parametrů přímo z výsledků laboratorních a polních zkoušek provedených v rámci IGP na vzorcích a sondách příslušných k předmětným lokalitám. Shrnutí těchto parametrů viz čl. 5.2 níže.

Z dat dostupných v IGP bohužel nebylo možné určit následující parametry:

- Koeficient zemního tlaku v klidu K_0 (a jeho průběh s hloubkou);
- Piezometrický profil (průběh tlaku vody v pórech s hloubkou) v jemnozrnných zeminách;
- Efektivní poissonův součinitel ν' (součinitel příčné deformace za plně odvodněných podmínek);

Proto bylo v těchto oblastech postupováno následovně:

- Koeficient zemního tlaku v klidu K_0 byl v souladu s literaturou a zkušenostmi uvažován:
 - Pro brněnský neogenní jíł ... variantně v hodnotách $K_0 = 0,75 / 1,00 / 1,25$
 - Pro sprašové souvrství ... $K_0 = 0,50-0,65$
 - Pro hrubozrnné geomateriály ... $K_0 = 0,50$
- Ve výpočtech za odvodněných podmínek byl uvažován hydrostatický tlak od povrchu stávajícího terénu.
- Efektivní poissonův součinitel ν' byl v souladu s literaturou a zkušenostmi uvažován:
 - Pro brněnský neogenní jíł ... $\nu' = 0,10-0,20$
 - Pro sprašové souvrství ... $\nu' = 0,20$
 - Pro hrubozrnné geomateriály ... $\nu' = 0,30-0,35$

V navazujícím stupni PD se očekává výrazné upřesnění geotechnického modelu základové půdy na základě provedení podrobného IGP. Požadavky na základní parametry IGP pro navazující stupeň PD jsou shrnuty v technických zprávách projektu u jednotlivých SO.

5.2 GEOTECHNICKÉ PARAMETRY

Níže uvedené parametry platí v hloubkách, mocnostech a rozsazích relevantních pro posuzované konstrukce.

5.2.1 Spraše / sprašové hlíny

- Objemová tíha v přirozeném uložení ... $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Efektivní úhel vnitřního tření ... $\Phi' = 27^\circ$
- Efektivní průsečík koheze ... $c' = 7,5 \text{ kPa}$
- Efektivní modul pružnosti ... $E'r = 45 \text{ MPa}$
- Efektivní poissonův součinitel ... $\nu' = 0,2$
- Koeficient zemního tlaku v klidu ... $K_0 = 0,50-0,65$

5.2.2 Brněnský neogenní jíł

- Objemová tíha v přirozeném uložení ... $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Neodvodněná smyková pevnost ... $S_u \geq 150 \text{ kPa}$

- Efektivní úhel vnitřního tření ... $\Phi' = 25^\circ$
- Efektivní průsečík koheze ... $c' = 5 \text{ kPa}$
- Totální modul pružnosti ... $E_{u,a} = 50 \text{ MPa}$ (při přitížení) / $E_{u,r} = 80 \text{ MPa}$ (při odtížení)
- Efektivní modul pružnosti ... $E'r = 50 \text{ MPa}$ (pružné uložení pro návrh definitivního ostění)
- Efektivní poissonův součinitel ... $\nu' = 0,15$
- Koeficient zemního tlaku v klidu ... $K_0 = 0,75 / 1,00 / 1,25$

5.2.3 Zásypový materiál

- Objemová tíha v přirozeném uložení ... $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$
- Efektivní úhel vnitřního tření ... $\Phi' \geq 30^\circ$
- Efektivní průsečík koheze ... $c' = 1 \text{ kPa}$
- Efektivní modul pružnosti ... $E'r = 50 \text{ MPa}$ (pružné uložení pro návrh definitivního ostění)
- Efektivní poissonův součinitel ... $\nu' = 0,30-0,35$
- Koeficient zemního tlaku v klidu ... $K_0 = 0,50$

5.3 GEOTECHNICKÁ RIZIKA

Statické výpočty předpokládají homogenní prostředí v rámci jednotlivých vrstev. Součástí projektu před zahájením stavebních prací proto musí být k dispozici dostatečně podrobný IGP a musí být definovány nástroje na řešení případných geotechnických rizik, jako je například:

- Výskyt „potrhaných“ zón v neogenním jílu
- Výskyt hrubozrnných čoček, kanálů nebo širších vrstev
- Výskyt vrstev s výrazně vyšší pevností

6 DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ ROUSÍNOVSKÉHO TUNELU

6.1 ÚVOD

Statická analýza definitivního ostění Rousínovského tunelu navrženého ze železobetonu byla provedena ve 2D řezech za podmínek rovinné napjatosti pomocí statického MKP programu SCIA ENGINEER. Ve smyslu spolehlivosti stavební konstrukce bylo postupováno dle návrhového přístupu 2 normy ČSN EN 1997-1 s aplikací součinitelů spolehlivosti na působící zatížení. Únosnost ostění ze železobetonu byla posouzena dle ČSN EN 1992-1-1 s koeficientem $\alpha_{cc}=0,85$ dle ČSN EN 1992-2.

6.2 CHARAKTERISTICKÉ ŘEZY

Tunely byly analyzovány v rozhodujících řezech:

1. S nejvyšším nadložím (11,5 m po osu tunelu).
2. S nejnižším nadložím (7,5 m po osu tunelu).

Tunel bude betonován v otevřené stavební jámě a zakryt hutněným zásypem. Přípustné je i zalití lehčeným betonem nebo popílko-betonem, avšak ve výpočtu tato varianta nebyla uvažována.

6.3 PŘÍTÍŽENÍ POVRCHU

Ve všech případech bylo uvažováno přetížení povrchu terénu ve výši 55 kN/m², což pokryje:

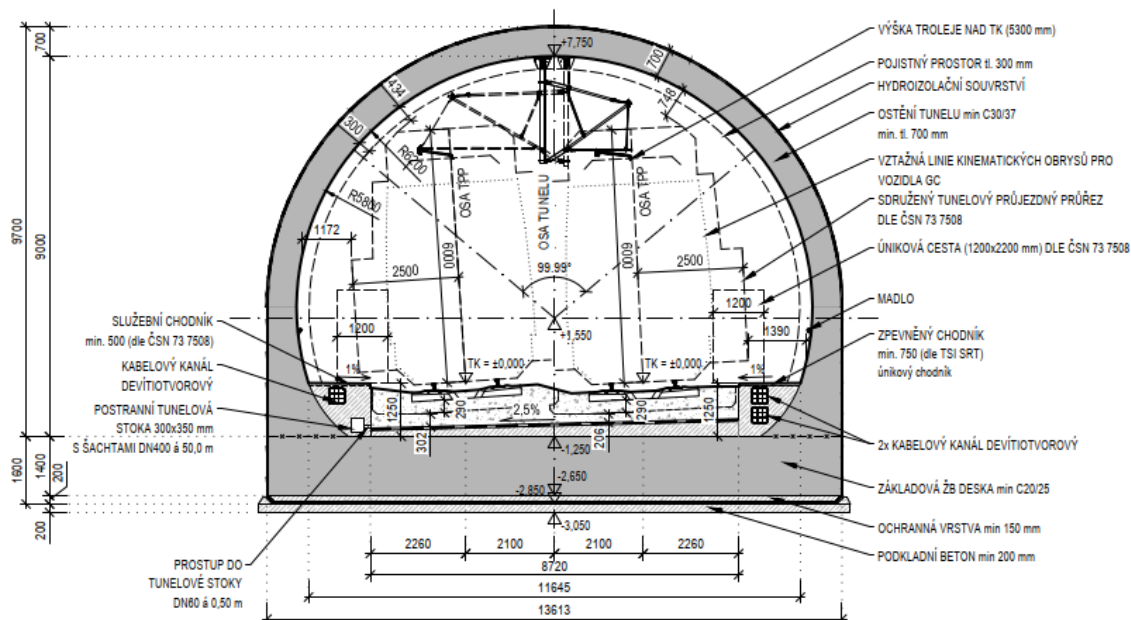
- Zvýšení povrchu terénu násypem výšky 3 m;
- Zatížení silniční nebo železniční dopravou dle ČSN EN 1991-2 (bez vlivu zvláštních vozidel);

6.4 ROZMĚRY A PARAMETRY OSTĚNÍ

Definitivní ostění je navrženo ze železobetonu pevnostní třídy minimálně C30/37 dle ČSN EN 206. Ostění bude vyztuženo konvenční výztuží ze sítě a prutů z betonářské oceli B 500B dle ČSN 42 0139.

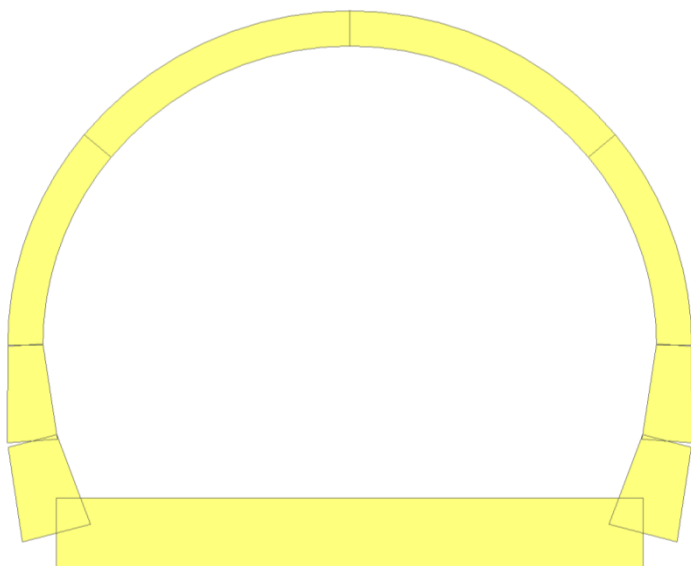
Rozměry definitivního ostění jsou zobrazeny níže – viz Obrázek 1. Tloušťka horní klenby je min. 700 mm a dna 1400 mm.

Obrázek 1 – Vzorový příčný řez – definitivní ostění



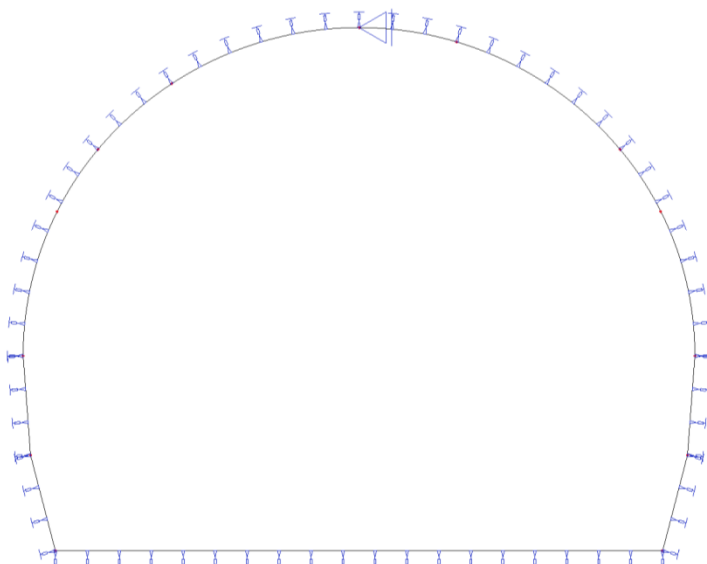
6.5 VÝPOČTOVÝ MODEL

Ostění bylo sestaveno z prutových prvků modelovaných na střednici. Náběhy při změně tloušťky byly modelovány plynulým nárůstem tloušťky rovnoměrně podle střednice (Obrázek 2). Ostění bylo modelováno lineárně pružné a uvažováno plně spojené bez kloubů.

Obrázek 2 – Výpočtový model ostění – zobrazení tloušťky

Ostění bylo podepřeno na pružných podporách působících pouze v tlaku (Obrázek 3) s tuhostí odvozenou z vnějšího poloměru křivosti (4,90 m) a modulu pružnosti okolního prostředí na větví odtížení a zpětného přitížení (cca 50 MPa). Pro zajištění stability matice tuhosti byla přidána „hluchá“ podpora v koruně modelu zabraňující rotaci, bez vlivu na výsledky výpočtu pod uvažovaným zatížením.

Výpočet modelu byl s ohledem na nelinearitu podepření (vyloučení tahu v podporách) proveden iterativně nelineárním řešičem.

Obrázek 3 – Výpočtový model ostění – zobrazení podpor



6.6 ZATÍŽENÍ

6.6.1 Seznam uvažovaných zatížení

Tabulka 1 – Seznam uvažovaných zatížení

Zatěžovací stav	Popis	Součinitel zatížení Ne- / příznivé	Součinitel kombinace
Stálá zatížení			
SZ-01	Vlastní tíha	1,35 / 1,00	- - -
SZ -02 a/b	Zemní tlak	1,35 / 1,00	- - -
SZ -03	Vodní tlak	1,15 / 1,00	- - -
SZ -04	Smrštění betonu	1,00	- - -
Nahodilá zatížení			
NZ-01	Zvýšení teploty	1.50 / 0.00	0,80 / 0,60 / 0,50
NZ-02	Snížení teploty	1.50 / 0.00	0,80 / 0,60 / 0,50

6.6.2 Vlastní tíha

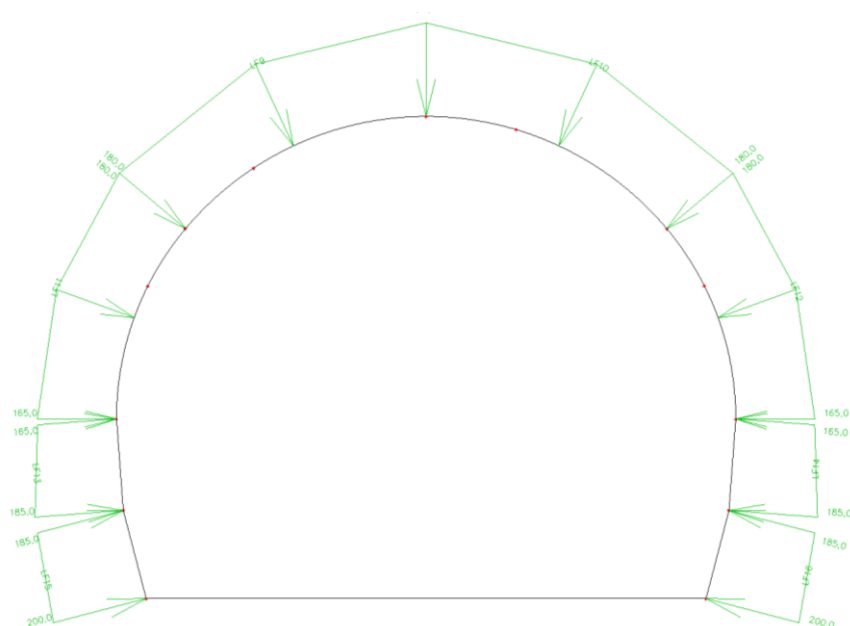
Vlastní tíha ostění byla stanovena na základě objemové hmotnosti uvažované ve výši 25 kN/m^3 dle ČSN EN 1991-1-1.

6.6.3 Zemní tlak

Do výpočtu zemního tlaku byl vždy připočítán vliv přitížení povrchu terénu, protože účinek přitížení se projevuje skrze zvýšení zemního tlaku. Zvýšení zemního tlaku od přitížení povrchu terénu by bylo možné uvažovat i jako samostatný zatěžovací stav (nahodilé zatížení), avšak pro předmětný stupeň PD je tento postup zbytečně podrobný.

Svislý zemní tlak byl stanoven z plné tíhy nadloží, vodorovný pomocí koeficientu zemního tlaku v klidu. Zemní tlak byl sestaven ve variantě s i bez současného působení podzemní vody.

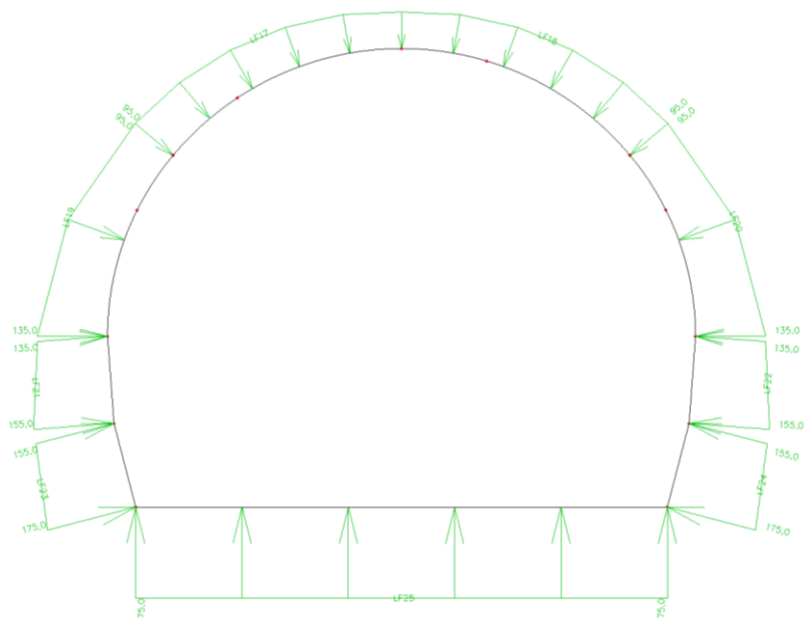
Obrázek 4 – Typický obrazec průběhu zemního tlaku



6.6.4 Vodní tlak

Zatížení vodním tlakem bylo stanoveno na základě předpokladu hydrostatického tlaku od povrchu terénu. Tento konzervativní postup byl však kompenzován použitím sníženého součinitele zatížení ($\gamma_w=1,15$) na základě postupu dle ČSN EN 1990, Tabulky A1.2(B), Poznámky 4.

Obrázek 5 – Typický obrazec průběhu vodního tlaku



6.6.5 Smrštění betonu

Hodnota smrštění betonu byla stanovena jako součet přetvoření od autogenního smrštění a smrštění vysycháním dle ČSN EN 1992-1-1 čl. 3.1.4 a redukována o vliv dotvarování podle empirického vzorce

$$f = \frac{1 - e^{-\varphi}}{\varphi}$$



kde ϕ je součinitel dotvarování, protože tuhost konstrukce byla do výpočtu zavedena modulem E_{cm} dle ČSN EN 1992-1-1 čl. 3.1.3. (Redukce by nebyla potřeba při výpočtu založeném na $E_{c,eff}$ dle ČSN EN 1992-1-1 rov. (7.20), avšak takový postup by byl z hlediska predikce vnitřních sil méně konzervativní.)

Při uvažování $RH=70\%$ a cementu typu N vychází po redukci smrštění ve výši cca 150 mikronů, což bylo do výpočtu zavedeno jako teplotní zatížení – snížení teploty o 15°C .

Bylo uvažováno pouze smrštění rovnoměrné po průřezu konstrukce. Součinitel zatížení pro smršťování je $\gamma_{SH}=1,15$ dle ČSN EN 1992-1-1 čl. 2.4.2.1.

6.6.6 Změny teploty

Zatížení změnami teploty bylo stanoveno s ohledem na TKP kap. 20 čl. 20.3.4.2 (Tabulka 10) pro případ „zakrytý tunel do 200 m od portálu“. Vzhledem k absenci dalších údajů potřebných pro výpočet v této části TKP kap. 20 bylo postupováno podle směrnice DB Richtlinie 853, ze které byly požadavky do TKP kap. 20 pravděpodobně převzaty. Základní („referenční“) teplota pro výpočet zatížení oteplením nebo ochlazením byla uvažována 10°C a kombinační součinitele $\psi_0 / \psi_1 / \psi_2$ ve výši 0,80 / 0,60 / 0,50.

Zatížení změnou teploty na líci / rubu konstrukce pak vychází $+15^{\circ}\text{C} / +5^{\circ}\text{C}$ při oteplení a $-25^{\circ}\text{C} / -15^{\circ}\text{C}$ při ochlazení. Pro výpočet tepelných účinků nebyl použit redukovaný modul pružnosti betonu.

6.6.7 Další zatížení

V navazujícím stupni PD je možné pro detailní dimenzování výztuže uvážit další podrobnosti zatížení jako například:

- Síly v trakčních závěsech.
- Tíha chodníků, svršku a zatížení dopravou.

Pro průkaz základních dimenzí nejsou tato zatížení rozhodující.

6.6.8 Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ a MSP použité ve výpočtu jsou shrnuty v tabulce níže vč. součinitelů, přičemž v případě MSP se jedná o kombinace kvazi-stálé dle ČSN EN 1990.

Tabulka 2 – Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace / Stav	SZ-01 Vl. tíha	SZ-01 Zemní tl.	SZ-03 Vodní tl.	SZ-04 Smrštění	SZ-05 Oteplení	SZ-06 ochlazení
MSÚ-01	1,35	-	-	1,00	-	1,50
MSÚ-02	1,35	-	-	1,00	1,50	-
MSÚ-03	1,35	1,35	-	1,00	-	1,50
MSÚ-04	1,35	1,35	-	1,00	1,50	-
MSÚ-05	1,35	1,35	1,35	1,00	-	1,50
MSÚ-06	1,35	1,35	1,35	1,00	1,50	-
MSP-01	1,00	-	-	1,00	-	0,50
MSP-02	1,00	-	-	1,00	0,50	-
MSP-03	1,00	1,00	-	1,00	-	0,50
MSP-04	1,00	1,00	-	1,00	0,50	-
MSP-05	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,50
MSP-06	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	-

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny obálky vnitřních sil pro kombinace na MSÚ.

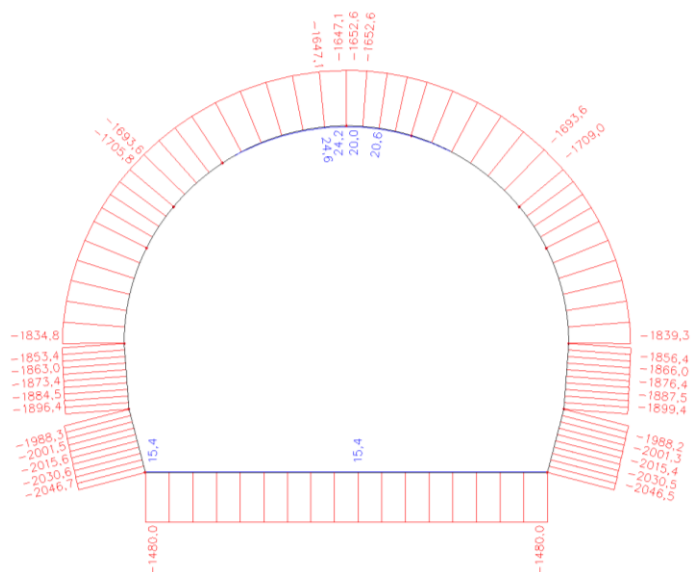
Únosnost definitivního ostění hloubených úseků raženého tunelu v ohybu s normálovou silou (MSÚ i MSP) a ve smyku s normálovou silou (MSÚ) byla posouzena v interakčních diagramech dle ČSN EN 1992-1-1 s následujícím „referenčním“ vyztužením:

- Klenba ... R16 á 150 (MSÚ i MSP) ... smyková výztuž není třeba (konstrukční spony)
- Opěry (boky) ... R20 á 150 (MSÚ i MSP) ... smyková výztuž není třeba (konstrukční spony)
- Dno a spodní část opěr ... R32 á 150 (MSÚ) resp. 2xR32 á 150 (MSP) ... R12 á 300x300 (v místě max smyku)

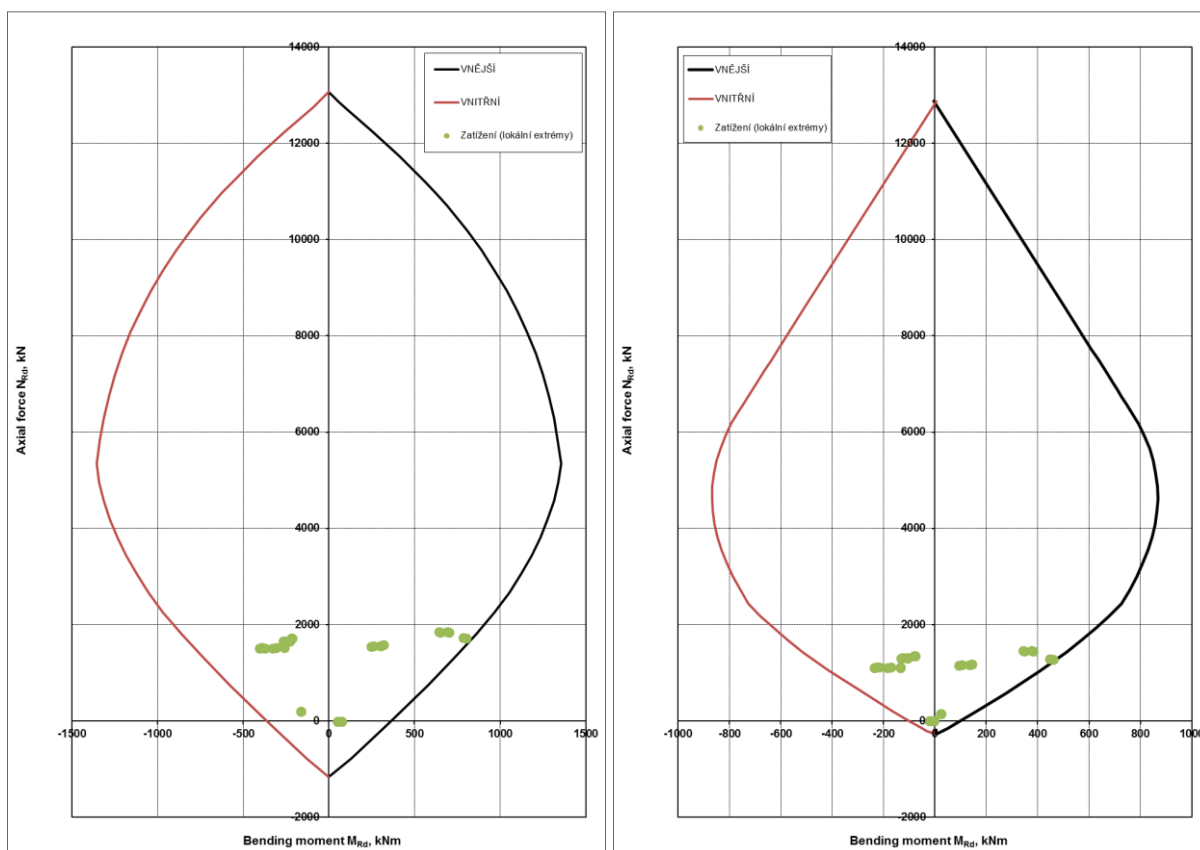
[illegible]



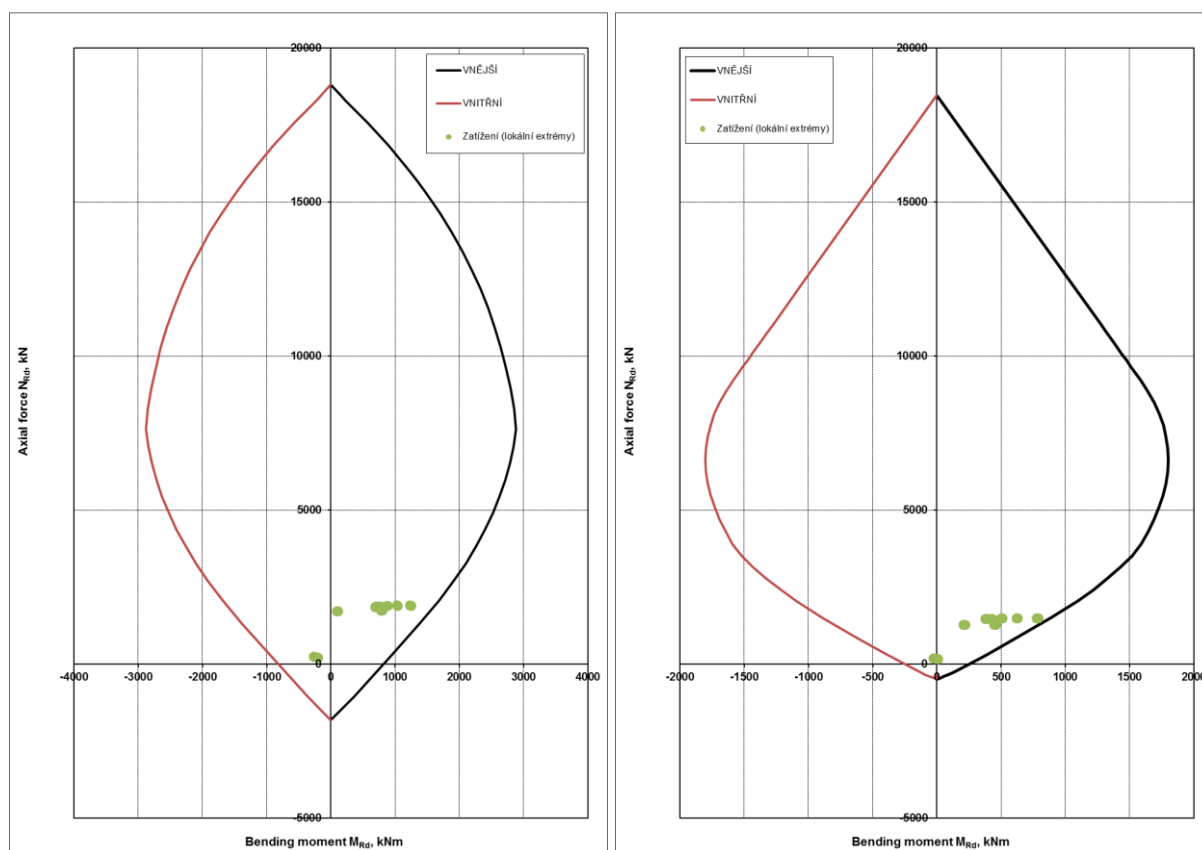
Obrázek 8 – Obálka normálových sil



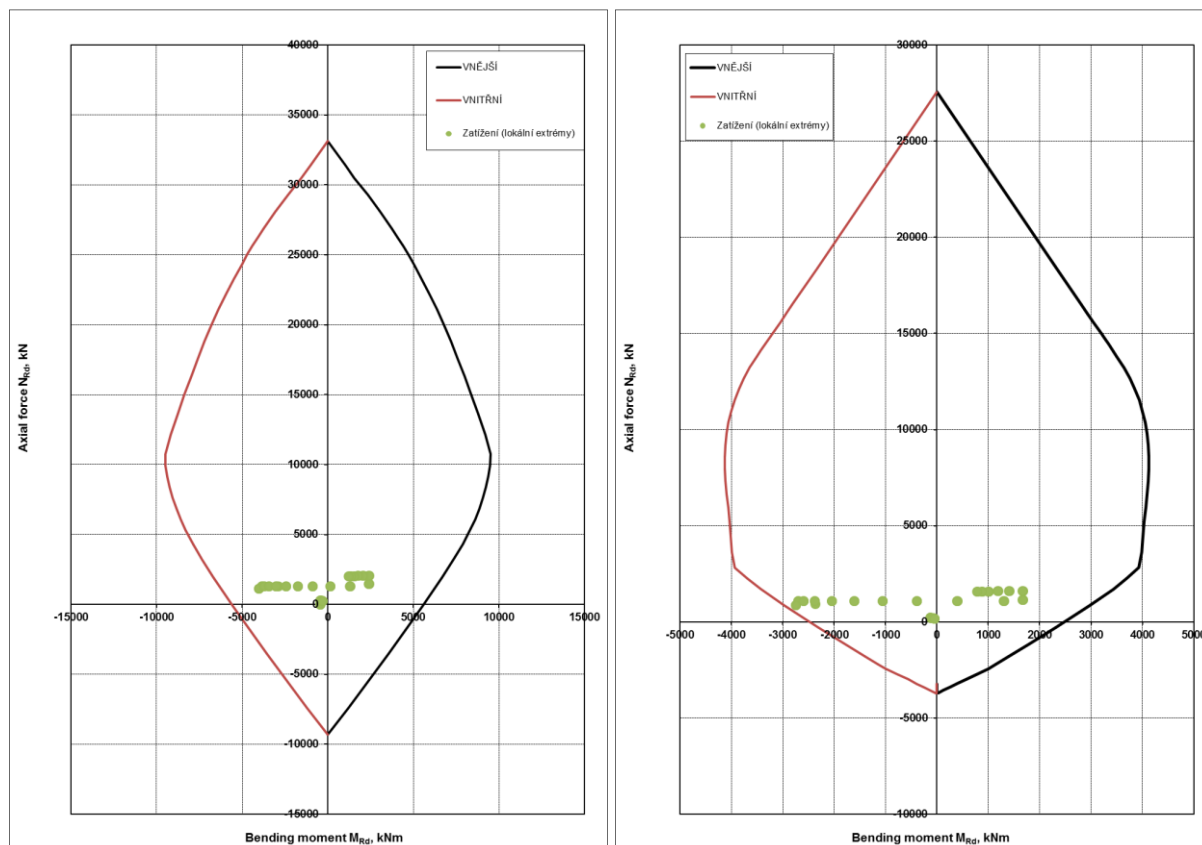
Obrázek 9 – M-N interakce (klenba) – MSÚ (vlevo) / MSP (vpravo)



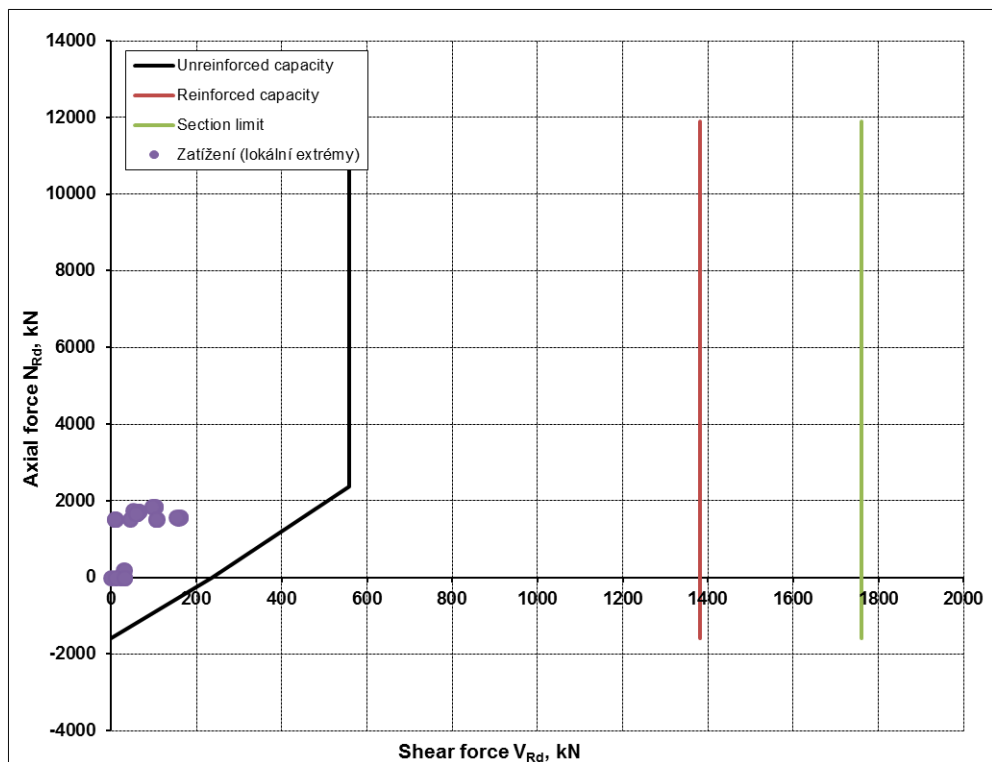
Obrázek 10 – M-N interakce (opěry / boky) – MSÚ (vlevo) / MSP (vpravo)



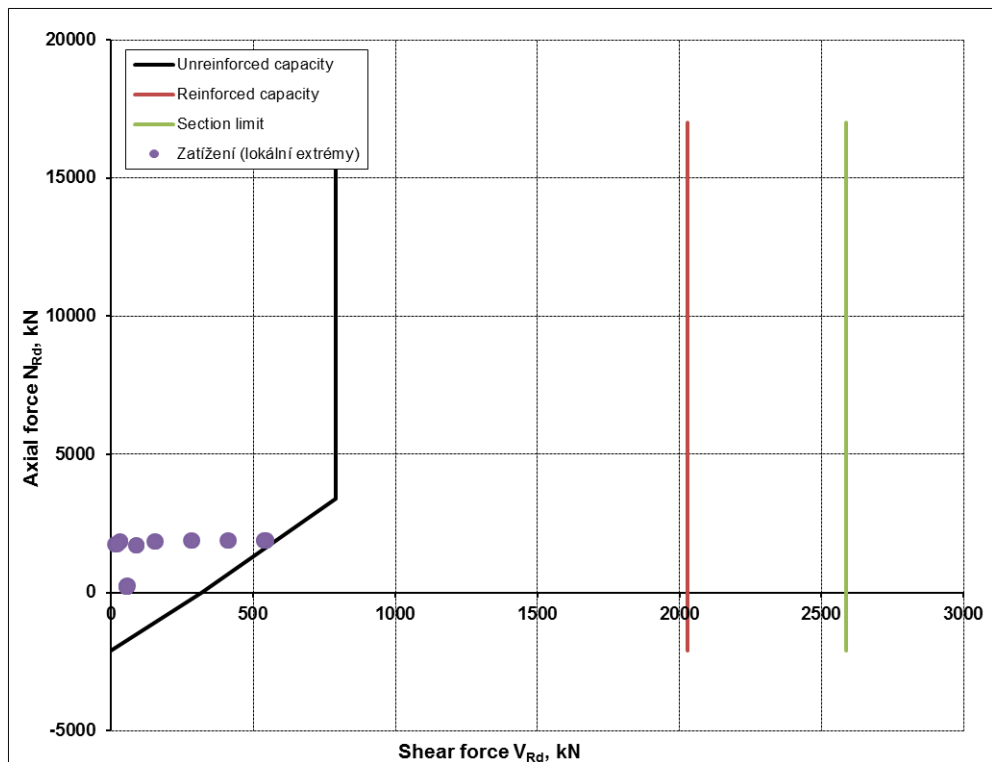
Obrázek 11 – M-N interakce (dno) – MSÚ (vlevo) / MSP (vpravo)



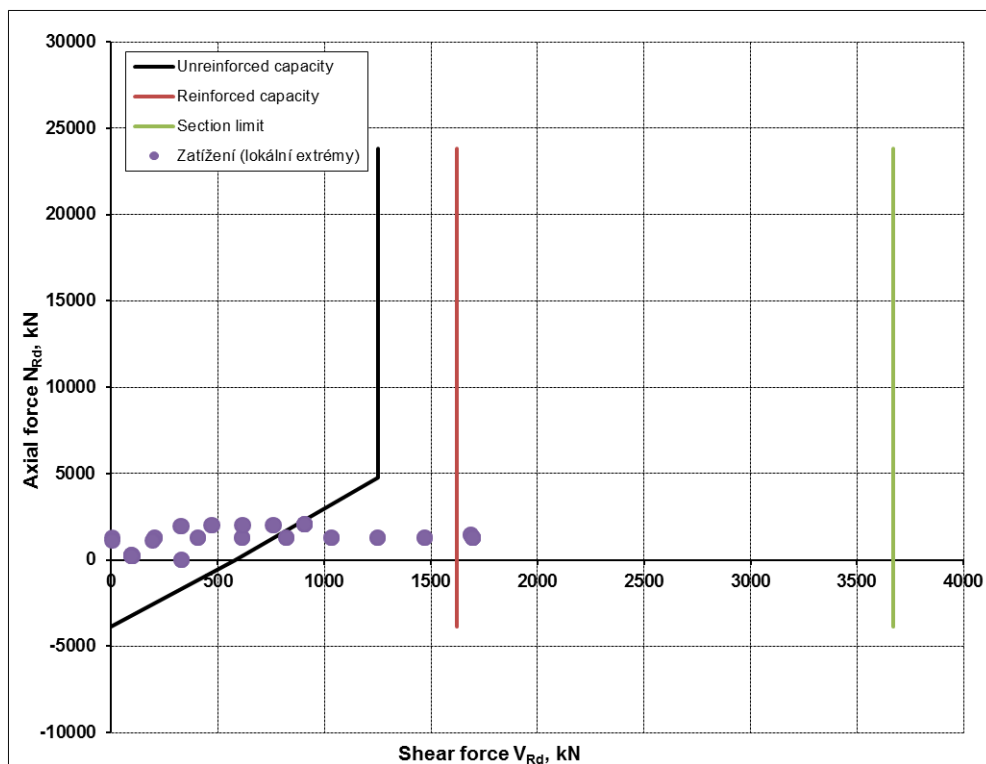
Obrázek 12 – V-N interakce (smyková únosnost) - klenba



Obrázek 13 – V-N interakce (smyková únosnost) – boky / opěry



Obrázek 14 – V-N interakce (smyková únosnost) - dno

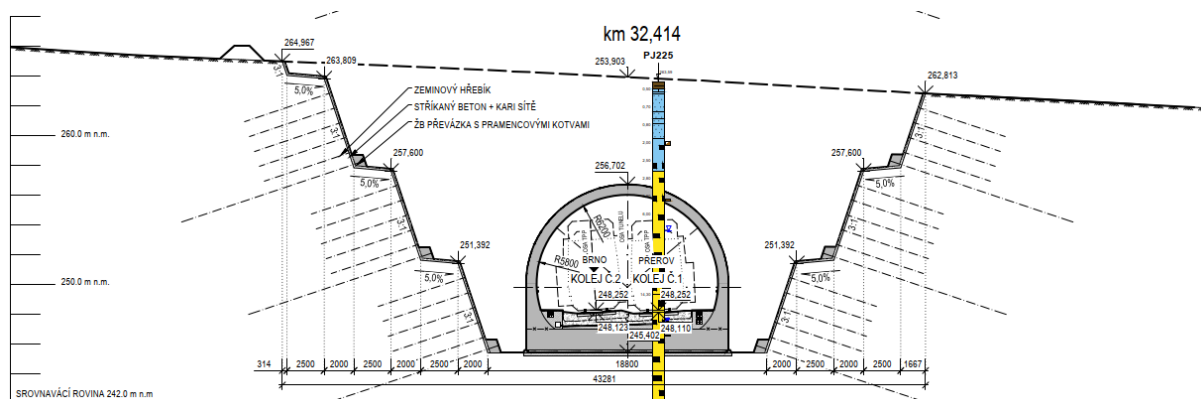


7 STABILITA ZÁŘEZŮ HLOUBENÝCH ÚSEKŮ

7.1 GEOMETRIE

Zářezy hloubených úseků tunelů budou formovány ve stupních výšky do 6,0 m s lícem ve sklonu 3:1, oddělených lavičkami šířky 2,5 m. Stupně budou zajištěny hřebíkováním v rastru 1,5 m x 1,5 m s lícem ze stříkaného betonu. Na každé lavičce bude provedena průběžná ŽB převázka, přes kterou bude zářez přikotven dočasnými pramencovými kotvami v rozteči 2,0 m.

Obrázek 15 – Typický řez zářezem hloubeného úseku



7.2 CHARAKTERISTICKÉ ŘEZY

Zářez byl modelován v nejvyšším řezu a zároveň v nejméně příznivé základové půdě. Po celé hloubce byl uvažován neogenní jíl, zatímco většina zářezů bude ve spraších, které jsou v tomto způsobu namáhání únosnější.

7.3 PŘITÍŽENÍ POVRCHU

Za korunou svahu bylo uvažováno přitížení povrchu terénu ve výši 15 kPa.

7.4 METODIKA VÝPOČTŮ

Výpočty a posouzení byly provedeny ve 2D řezech metodou mezní rovnováhy v modulech Stabilita svahu a Hřebíkování svah programu GEO5. Výpočty byly provedeny dle návrhového přístupu 3 normy ČSN EN 1997-1, který je pro tento typ působení výstižný.

Působení jemnozrnných zemin bylo nejprve uvažováno jako „undrained“ (výpočet v totálních parametrech), což v posudcích vedlo zhruba na 50% využití dostupné únosnosti. Poté bylo působení uvažováno jako „drained“ (výpočet v efektivních parametrech) s odhadnutým depresním kuželem HPV (opatrný přístup), což vedlo zhruba na 95% využití dostupné únosnosti.

Generované protokoly z výpočtů jsou přiloženy na konci této zprávy.

8 STABILITA ZÁSYPŮ HLOUBENÝCH ÚSEKŮ

8.1 GEOMETRIE

Zásyp definitivních portálů je proveden ve sklonu 1:1,5. Líc svahu je zpevněn kamenným záhozem tloušťky min. 500 mm z balvanů o minimální velikosti 200 mm. Zásyp je na čele vyztužen geomřížemi délky min. 8 m, zabudovanými do hutněné sypaniny z drceného kameniva ve výškové rozteči á 1,0 m. Dále následuje běžný zásypový materiál. Proti stékání povrchové vody je vybudován ochranný val.

8.2 CHARAKTERISTICKÉ ŘEZY

Portálový zásyp byl posouzen v nejvyšším místě, což odpovídá např. řezu mezi tunelovými troubami.

8.3 PŘITÍŽENÍ POVRCHU

Za korunou svahu bylo uvažováno užité přetížení povrchu terénu ve výši 5 kPa. V místě příčně vedoucí obslužné komunikace bylo uvažováno zatížení 55 kPa v souladu s ČSN EN 1991-2 (LM1 dle NA.2.39).

8.4 METODIKA VÝPOČTŮ

Výpočet byl proveden na 2D řezu metodou mezní rovnováhy v modulu Vyztužené násypy programu GEO5, dle návrhového přístupu 3 normy ČSN EN 1997-1, který je pro tento typ působení výstižný.

Byly uvažovány výztuhy, jejichž dlouhodobá návrhová pevnost je $R_t = 21,5 \text{ kN/m}$.

Generovaný protokol z výpočtů je přiložen na konci této zprávy.