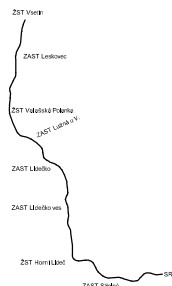




Jiná ověření:

Paré:

Orientační schéma:





Razítko oprávněné osoby:


Podpis:

Datum:

Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
001	29.1.2023	Definitivní odevzdání dokumnetace	Ing. Vlastimil Horák

Stavebník/Investor:	Správa železnic, státní organizace	
Adresa:	Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1	
Zástupce investora:	Stavební správa východ	
Adresa:	Nerudova 773/1, 779 00 Olomouc	

Zhotovitel díla:	SUDOP Brno, spol. s r.o.	
Adresa:	Kounicova 688/26, 611 36 Brno	
Kontakt:	T: +420 972 625 804 E: sudop@sudop-brno.cz	

Zhotovitel objektu:	AMBERG Engineering Brno, a.s.	
Adresa:	Ptašinského 313/10, 602 00 Brno	
Kontakt:	T: +420 541 432 611 U: amberg@amberg.cz	

Hlavní projektant (HIP):	Ing. Jiří Pelc	Specialista:	Ing. Vlastimil Horák
--------------------------	-----------------------	--------------	-----------------------------

Název stavby/akce:	Státní hranice Slovenská republika (Střelná) – Vsetín (mimo) - konverze		Označení investora: S621800296
			Označení zhotovitele: 21097-01-0922
Název části:	Tunely		Označení části: D.2.1.7
Název objektu/dílčí části:	Hor. Lideč - st. Hr. SR, úprava ostění Střelenského tunelu		Označení objektu/komplexu: SO 08-40-01
Název přílohy: Název dílčí části přílohy:	Posouzení zásahu do ostění tunelu		Číslo přílohy: 1. 002
Odpovědný projektant: Ing. Vlastimil Horák	Zpracovatel přílohy: Jiří Umlauf	Měřítko: Formáty: 19 A4	Stupeň dokumentace: DÚR
Kraj: Zlínský	Katastrální území: viz část A. dokumentace	TUDU: viz část A. dokumentace	Smluvní datum zpracování: 29.01.2023

Označení investora:										Stupeň dokumentace:										Část:										Objekt:										Podobjekt:										Příloha:										Revize:									
S	6	2	1	8	0	0	2	9	6	D	U	R	X	D	2	1	7	X	S	0	0	8	4	0	0	1	X	X	1	0	0	2	0	0	1																																		

Investor:

Správa železnic , s.o.

Objednatel

SUDOP Brno, spol. s r.o.

Státní hranice Slovenská republika Střelná – Vsetín (mimo) – konverze

SO 08-40-01 Hor. Lideč - st. Hr. SR, úprava ostění Střelenského tunelu

Posouzení zásahu do ostění tunelu

Příloha 1.002

Obsah:

1.	Vstupní údaje	2
2.	Předpokládané zásahy do ostění.....	5
2.1	Úsek č. 1 (vpravo i vlevo)	5
2.2	Úsek č. 2 (vlevo)	5
2.3	Úsek č.3 (vlevo)	6
2.4	Úsek č.4 (vlevo)	6
2.5	Úsek č. 5 (vlevo)	6
2.6	Úsek č. 6 (vpravo i vlevo)	7
2.7	Princip zásahu – geometrie frézování	7
3.	Statické posouzení.....	7
3.1	Metodika výpočtu	7
3.2	Vstupní parametry	8
3.2.1	Geologie.....	8
3.2.2	Ostění tunelu.....	8
3.3	Geometrie modelu a okrajové podmínky.....	9
3.4	Fáze výpočtu.....	10
3.5	Výsledky výpočtu	11
3.5.1	Diskuze výsledků MKP výpočtu	11
3.5.2	Vnitřní síly na klenbě tunelu	11
3.5.3	Posouzení únosnosti ostění	15
4.	Závěr	18

1. Vstupní údaje

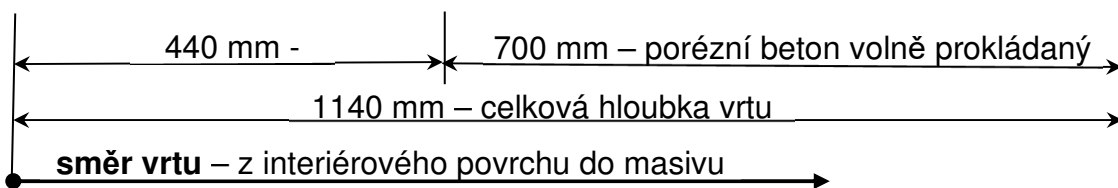
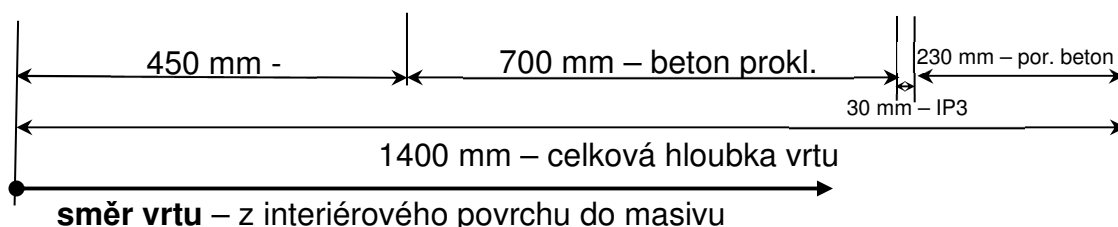
Základním podkladem pro návrh úpravy ostění Střelenského tunelu z důvodu nedostatečného světlého tunelového průřezu pro trakci AC 25 kV je záměr projektu z roku 2019, který obsahoval návrh technického řešení mechanického odstranění části ostění tunelu v místě kolize pojistného prostoru pantografu drážních vozidel s ostěním.

Základním vstupním předpokladem v záměru projektu pro tloušťky odbourávání / frézování byl následující axiom:

„Pro další úvahy o možném zásahu do ostění pro zvětšení světlého profilu pro průchodnost pantografu je nutné uvažovat s bezpečnou tloušťkou žulového ostění v klenbě max. 320 mm.“

Uvedený předpoklad vycházel z provedeného vrtného průzkumu v r. 2007, VUT Brno, FAST, který obsahoval vyhodnocení čtyř vrtů do ostění v pasech TP10 a TP24, kde byl proveden vždy jeden vrt do vrcholu klenby a jeden vrt v patě klenby (nad opěrou) – viz dokumentace vrtných jader:



Průzkumný vrt ostěním paty klenby,
tunelový pás **TP 10**, označení odběrového místa **TP10_P****Průzkumný vrt ostěním vrcholu klenby,**
tunelový pás **TP 10**, označení odběrového místa **TP10_V**

Axiom, uvedený v rámečku na předchozí straně, vycházel z nejhoršího vrtu TP 24-P, tedy z vrtu v patě klenby pasu č. TP24, předpokládal tedy tloušťku žulového zdiva klenby 320 mm. V tomtéž TP24 byla ale ve vrcholu ověřena tloušťka žulové klenby 600 mm.

Jádrové vrty v TP10 dokládají v patě klenby i ve vrcholu klenby tloušťku žulové klenby 440 – 450 mm. Tedy odlišné hodnoty, než v TP24.

V čem se oba tunelové pasy (oba přibližně ve třetinách délky tunelu) z hlediska skladby ostění prakticky shodují, je poloha rubové asfaltové izolace, a to v hloubce 1,00 m až 1,10 m za lícem ostění.

Skladba vrtných jader jednoznačně deklaruje, že tunel byl postaven v otevřené stavební jámě a následně zasypán. Lze nepřímou doložit i fotografií z výstavby:



Stavba tunelu ve Střelné, rok 1935

Zdroj : <http://www.zelam.cz/strelna/foto/index.htm>

Z historické odborné literatury i z vlastních zkušeností s jinými tunely lze odvodit tehdejší postup výstavby v r. 1936:

- Po vyhloubení stavební jámy byly vyzděny opěry tunelu s použitím žulových a částečně pískovcových kamenných kvádrů – řádkové zdivo, místy kyklopské zdivo.
- Následně byla na dřevěné skruži vyzděna klenba již výlučně ze žulového řádkového zdiva. Standardně se u kamenných kvádrů tunelových obezdívek, ale i gravitačních opěrných a zárubních zdí, nepracovávala zadní strana, tzn. že jednotlivé kameny řádkového zdiva mohou mít a mají různou „hloubku“.
- Na takto nerovný rub tunelové obezdívky nelze logicky položit žádnou plošnou izolaci. Proto byl rub klenby opatřen vyrovnávací „dozdívkou“ pro vytvoření rovinné zakřivené plochy pro pokládku izolace v prostoru nad kolejemi (v případě Střelenského tunelu to byly asfaltové pásy s měděnou plechovou vložkou nebo hadrovou lepenkou). Současně tato „dozdívka“ pod izolací slouží jako bezpečné vyklínování a jištění polohy všech zdících kamenů klenby před odskružením.
- Pokud se používala rubová izolace, tak vždy jen nad kolejí / kolejemi, paty klenby byly již odvodněny odvodňovači (průchodky ve zdivu, obvykle v posledním šáru zdiva opěr). Stejným způsobem bylo zajištěno odvodnění opěr – průchodky v opěří těsně nad šterkovým ložem.
- Rubovou izolaci chránili tehdejší barabové před poškozením při zasypávání další tentokrát ochrannou přízdívkou. Pro obě přízdívky prováděné zednický

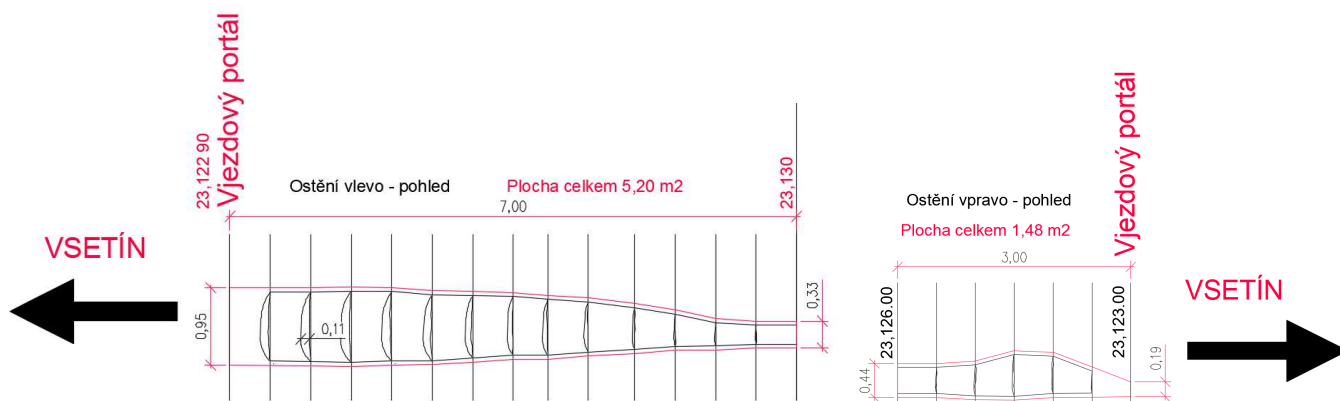
se používala na místě vyrobená cementová malta (beton) a drobné i větší kamenivo z výkopu stavení jámy, odpad při opracování kamenných kvádrů apod.

Výsledkem tohoto stavebního postupu je tedy v případě Střelenského tunelu minimálně jeden metr tlustá masivní klenba i opěří nepříliš homogenního charakteru - na lici v tl. 320 mm až 600 mm kvalitní a dobře vyspárovaná žula a na rubu 400 mm až 700 mm tlustá dozdivka s výrazně nižšími pevnostními parametry. V době průzkumných prací (2007) nebylo deklarováno žádné významnější statické porušení tohoto systému, žádné deformace, pouze lokálně degradované spárování, průsaky a lokální trhliny.

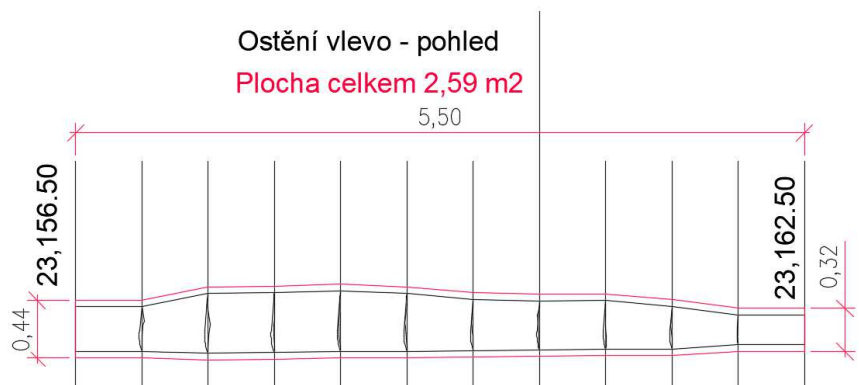
2. Předpokládané zásahy do ostění

Dle prostorového vyhodnocení je potřebné odfrézovat dílčí části ostění na šesti úsecích (černě tence je vyznačena plocha a dílčí záměry pro odfrézování dle vyhodnocení skenu, červeně pak požadavek na obrys frézování se zahrnutou bezpečnostní rezervou:

2.1 Úsek č. 1 (vpravo i vlevo)



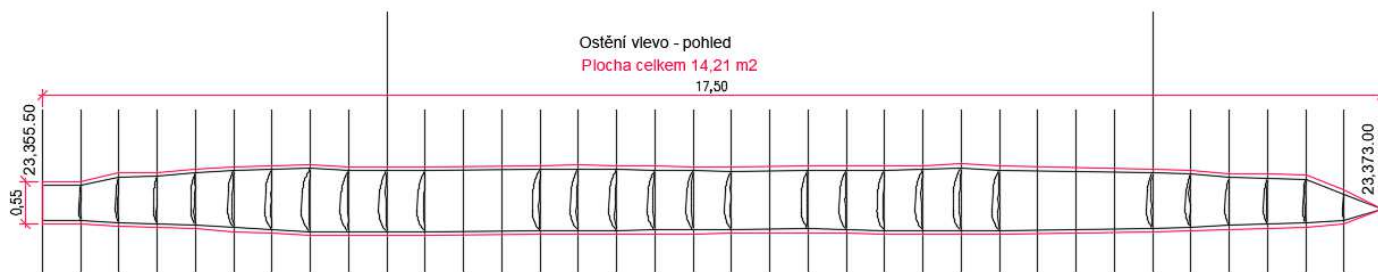
2.2 Úsek č. 2 (vlevo)



2.3 Úsek č.3 (vlevo)



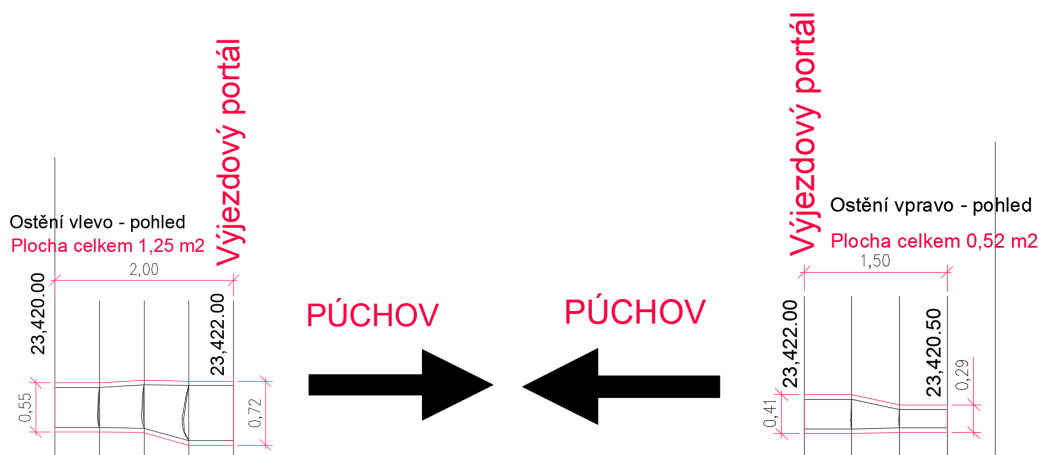
2.4 Úsek č.4 (vlevo)



2.5 Úsek č. 5 (vlevo)

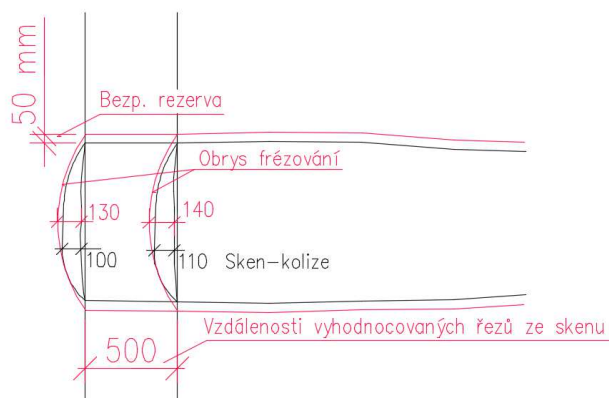


2.6 Úsek č. 6 (vpravo i vlevo)



2.7 Princip zásahu – geometrie frézování

Na ostění budou vyneseny vyhodnocené kolize ze skenu „zaokrouhlené“ na tvar kruhové úseče dle násl. obrázku (zobrazena nejhorší kolize = max. zásah do ostění u vjezdového portálu) po vzdálenostech 500 mm a takto bude ostění ručně frézováno. Podrobněji viz technická zpráva.



3. Statické posouzení

3.1 Metodika výpočtu

Pro posouzení navrženého oslabení klenby tunelu byl zvolen následující postup:

- Rešerše vstupních podkladů, stanovení materiálových a geometrických parametrů modelu na základně archivní dokumentace
- Vytvoření MKP modelu zohledňujícího výstavbu tunelu a z toho plynoucí redistribuci zemních tlaků působících na ostění
- Posouzení stávající (neoslabené) klenby tunelu na vnitřní síly vypočtené MKP výpočtem
- Posouzení oslabené klenby tunelu (nový stav) na vnitřní síly vypočtené MKP výpočtem

Numerický výpočet byly proveden v software RS2 (Rockscience). Úloha byla modelována jako 2D za podmínek rovinné deformace.

Únosnost stávající i oslabené klenby byla ověřena analytickým výpočtem založeným na ČSN EN 1996-1-1 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí.

3.2 Vstupní parametry

3.2.1 Geologie

Charakteristické hodnoty geotechnických parametrů hornin a zemin byly určeny obezřetným odhadem na základě archivní dokumentace a zkušeností projektanta. Výkop pro tunel byl uvažován v horninách třídy R5 a zpětný zásyp jílem F6. V numerickém modelu byl pro zeminy a horniny použit Mohr-Coulombův materiálový model. Vstupní parametry jsou uvedeny v Tabulka 1.

	γ [MN/m³]	ν [-]	E [MPa]	Φ [°]	C [MPa]
Hornina R5	0,021	0,4	120 / 600*	23	0.2
Jíl plastický – F6	0,019	0,4	5	18	0.015

* E / E_{ur}

Tabulka 1 MC parametry horninového masivu

Vzhledem k charakteru tunelu bylo ostění považováno za propustné zatížení hydrostatickým tlakem nebylo ve výpočtu uvažováno.

3.2.2 Ostění tunelu

Dle průzkumu, jehož závěry jsou shrnuty v části 1, je ostění tunelu tvořeno žulovým zdívkem tloušťky min. 320 mm a porézním betonem tloušťky min. 700 mm. Celková tloušťka ostění v žádném z průzkumných vrtů nebyla nižší než 1000 mm.

Vzhledem k charakteru výpočtu bylo ostění modelováno jako homogenní, kdy parametry byly stanoveny jako vážený průměr z parametru žulového zdíva a porézního betonu. Souhrn parametrů je uveden v Tabulka 2.

	Symbol	Jednotka	Charakteristická hodnota
Modul pružnosti	E	MPa	5000
Poissonovo číslo	ν	-	0.2
Tloušťka	t	mm	1000 / 850 (stávající / nový stav)
Objemová hmotnost	ρ _c	MN/m ³	0.023
Pevnost v tlaku	f _k	MPa	12

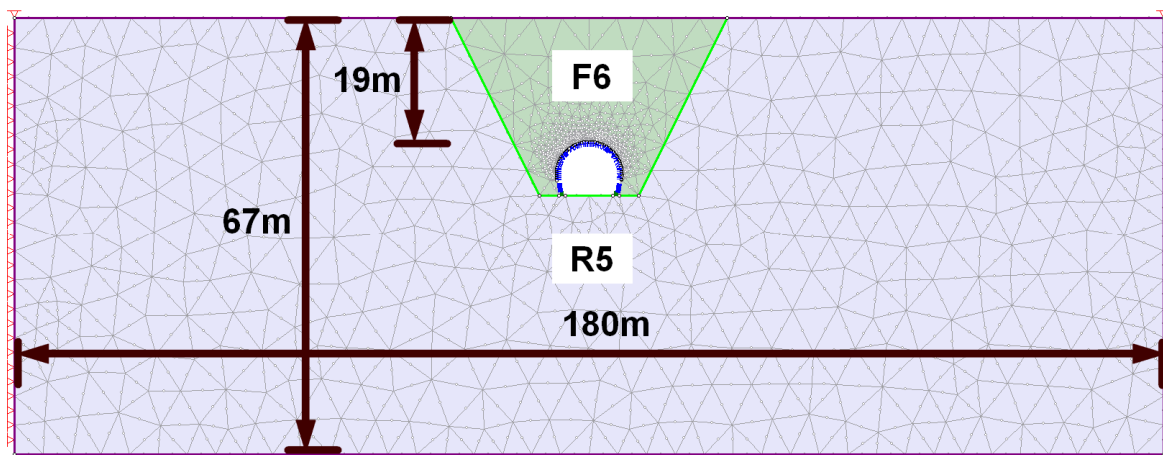
Tabulka 2 Parametry ostění

Ostění bylo modelováno prutovým prvkem typu "liner" s plně elastickým chováním. Tudiž nebyla umožněna plastická redistribuce vnitřních sil v ostění (např. vlivem vzniku trhlin) a vypočtené vnitřní síly představují horní hranici možného zatížení ostění.

3.3 Geometrie modelu a okrajové podmínky

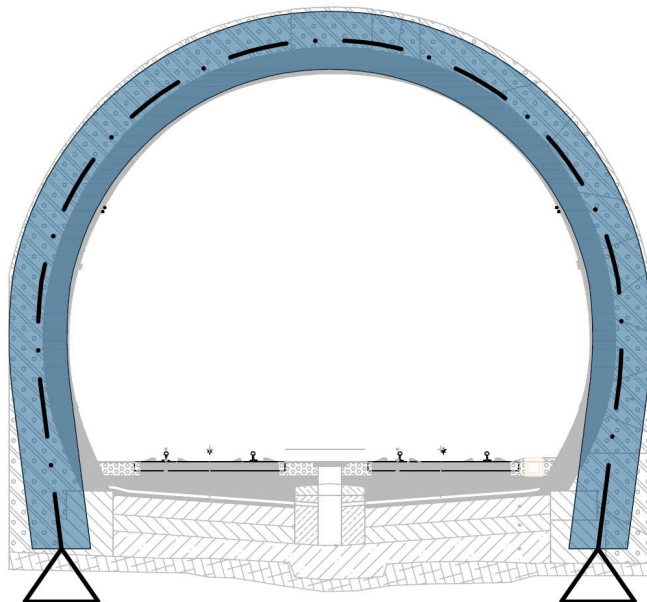
Model představuje blok horniny o šířce 180 m centrováný na osu tunelu. V modelu bylo konzervativně uvažováno maximální nadloží, tj. 19 m.

Okrajové podmínky byly pro boční okraje a spodní okraj modelu nastaveny jako pevné, tj. neumožňující vodorovný ani svislý posun.



Obrázek 1 Geometrie modelu

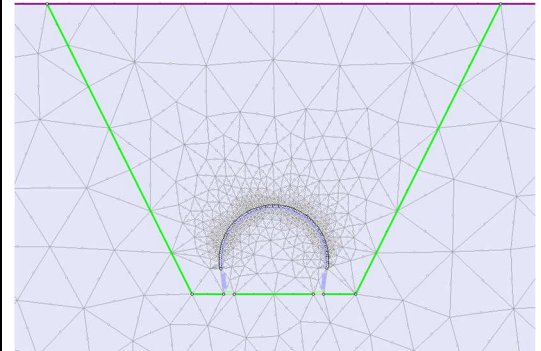
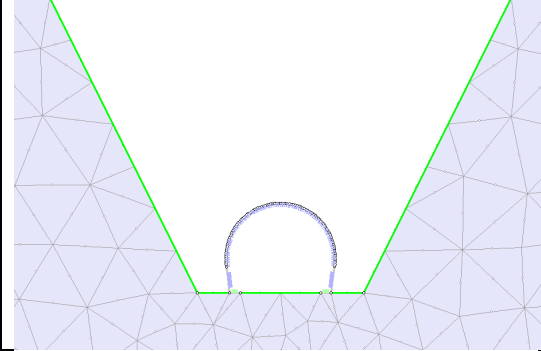
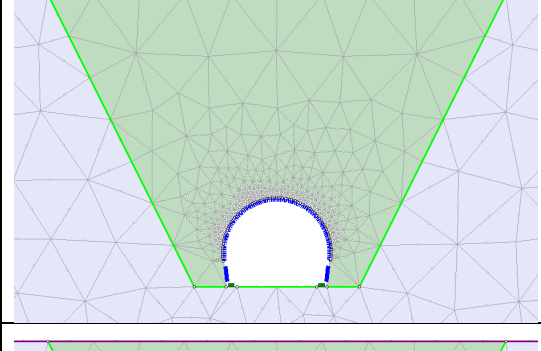
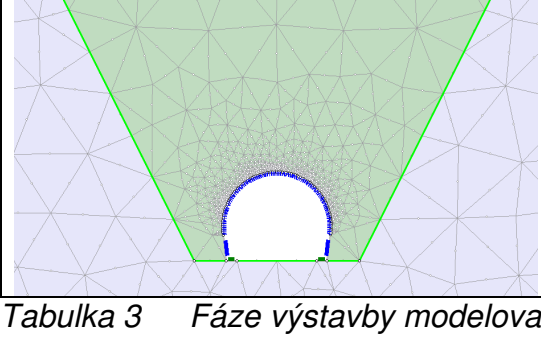
Statický model ostění tunelu představuje zakřivený nosník uložený na kloubových podporách. Střednice prutu se shodná se střednicí skutečného ostění. Tloušťka prutu je po celé délce konstantní. Porovnání statického modelu a vzorového příčného řezu je uvedeno na Obrázek 2.



Obrázek 2 Porovnání vzorového příčného řezu a statického modelu

3.4 Fáze výpočtu

Pro simulaci postupu výstavby a s tím souvisejících redistribucí napětí v horninovém prostředí byly modelovány následující fáze výstavby.

	<p>Fáze 1</p> <ul style="list-style-type: none"> Počáteční podmínky, geostatická primární napjatost (tzv. K0 podmínky)
	<p>Fáze 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Provedení výkopu
	<p>Fáze 3</p> <ul style="list-style-type: none"> Zásyp a aktivace ostění tloušťky 1000 mm
	<p>Fáze 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Redukce tloušťky ostění na 850 mm

Tabulka 3 Fáze výstavby modelované ve výpočtu

3.5 Výsledky výpočtu

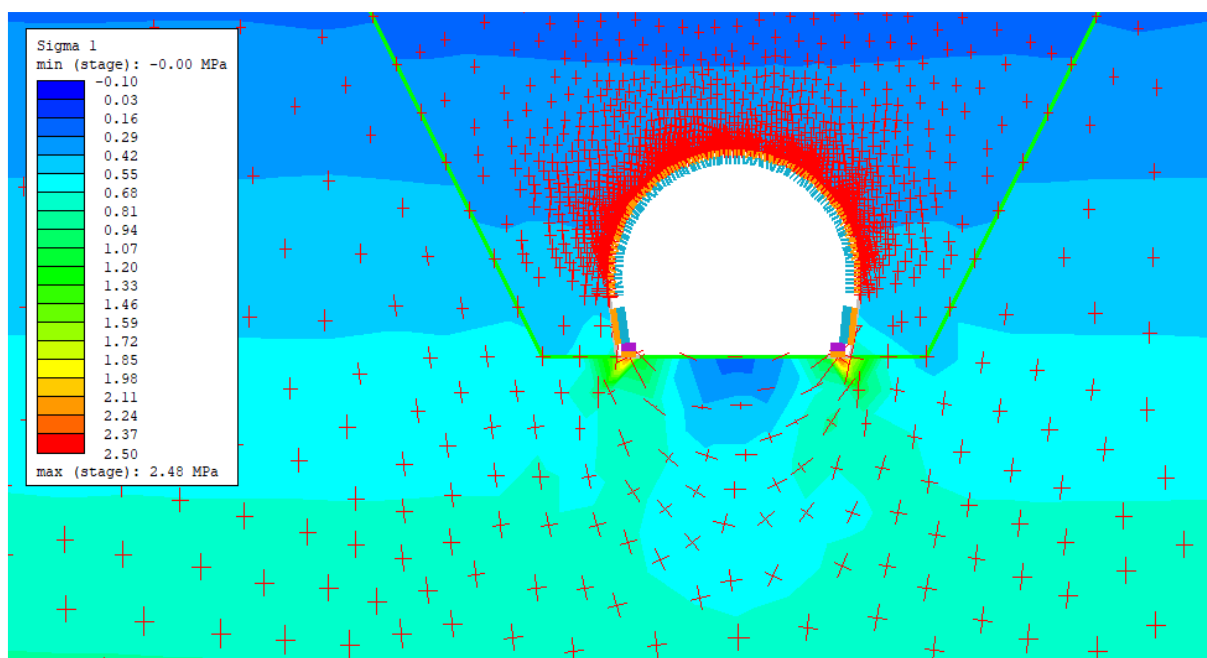
3.5.1 Diskuze výsledků MKP výpočtu

Hodnocení globální stability konstrukce řešené metodou konečných prvků je popsáno dvěma kritérii:

- Konvergencí výpočtu a relativně nízkými deformacemi (vzhledem k celkovým rozměrům modelu). Podmínky vedoucí k nerovnovážnému stavu a kolapsu tunelu se projeví divergencí výpočtu nebo ustáleným "plastickým tokem" materiálu a nereálně vysokými hodnotami deformací.
- Vznikem přirozeně vypadajících drah napětí a horninových kleneb v okolí tunelu.

První podmínka byla splněna. Maximální vypočtené deformace ve výpočetní fázi 3 (stávající stav) dosahují 40 mm, což odpovídá reálnému chování konstrukce a dokazuje že byly použity vhodné vstupní parametry.

Druhá podmínka byla splněna taktéž. *Obrázek 3* ukazuje typické dráhy hlavních napětí pro okolí hloubeného tunelu.

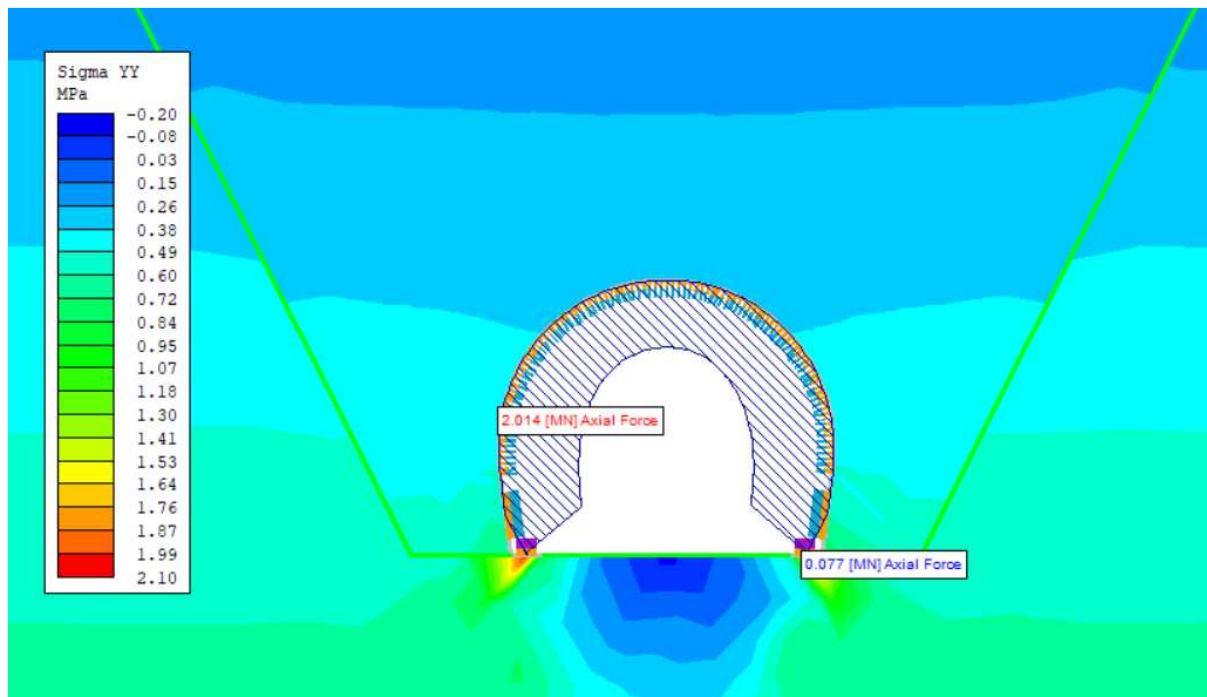


Obrázek 3 Hlavní napětí σ_1 a dráhy napětí – Fáze 4 – nový stav

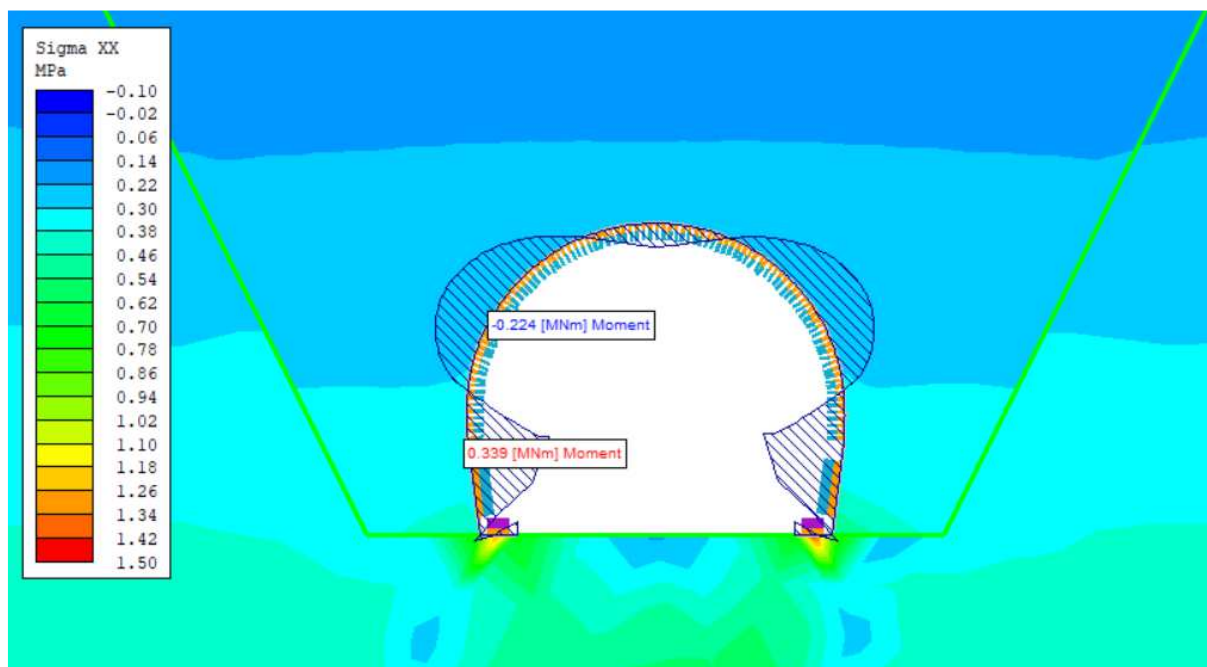
3.5.2 Vnitřní síly na klenbě tunelu

Na obrázcích níže jsou uvedeny výstupy z numerického výpočtu. Konkrétně průběhy vnitřních sil v kombinaci se svislým/vodorovným napětím nebo celkovou deformací.

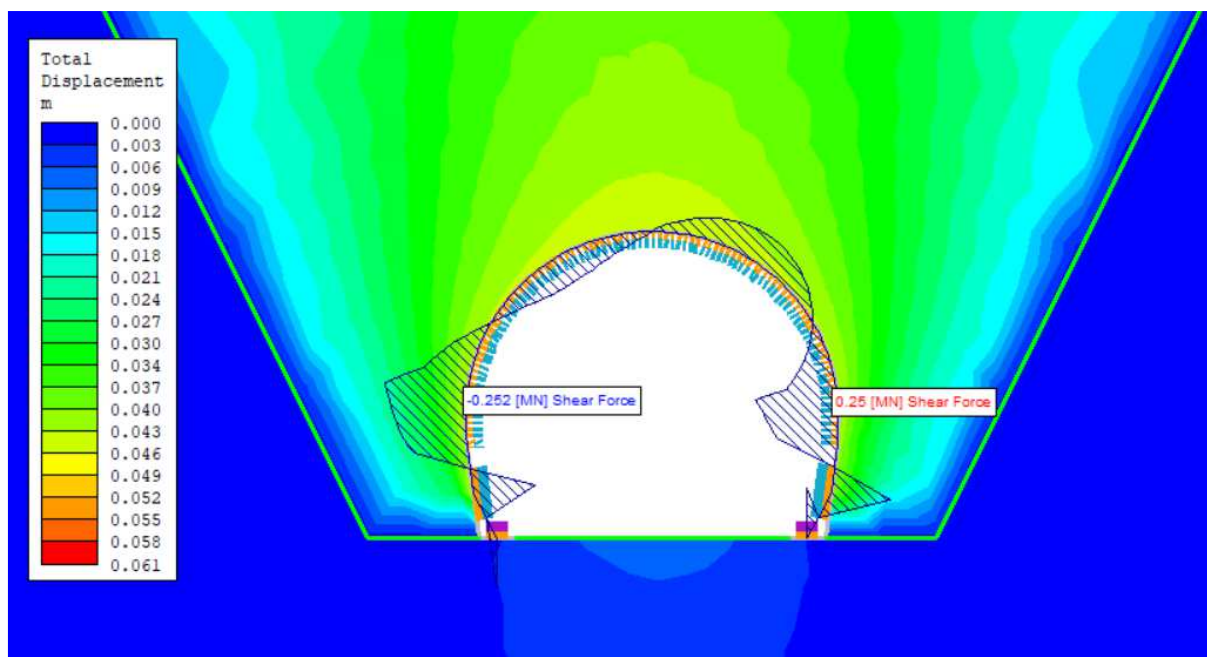
Stávající stav – tloušťka 1000 mm



Obrázek 4 Vertikální napětí σ_{yy} a průběh normálových sil – Fáze 3 – STÁVAJÍCÍ STAV

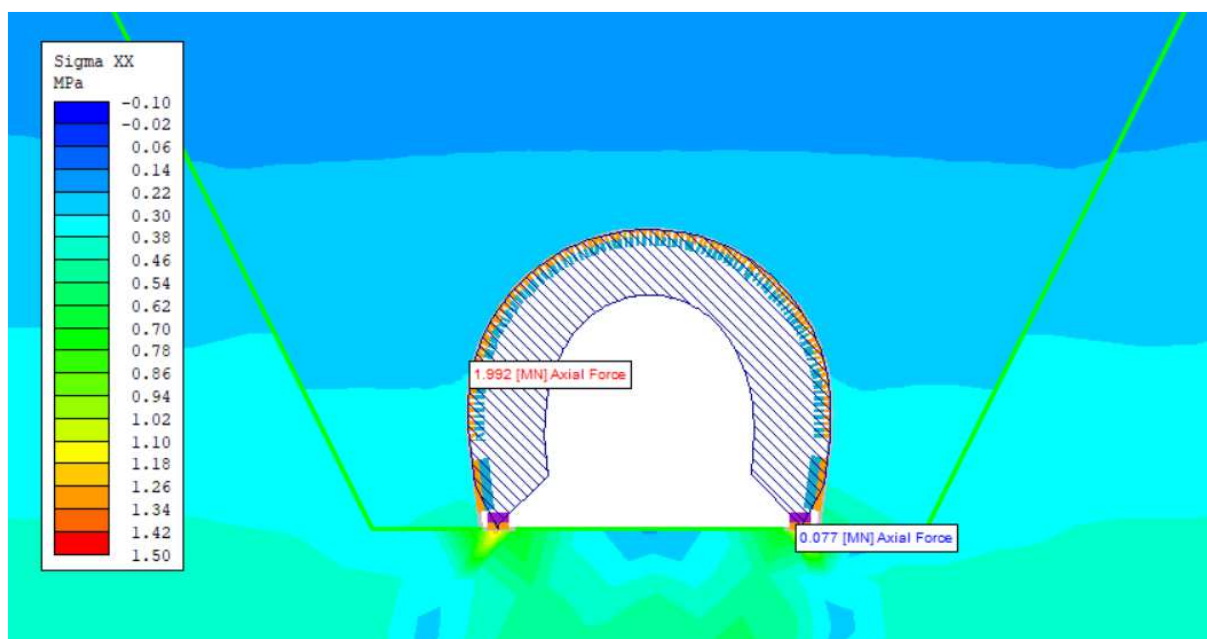


Obrázek 5 Horizontální napětí σ_{xx} a průběh ohybových momentů – Fáze 3 – STÁVAJÍCÍ STAV

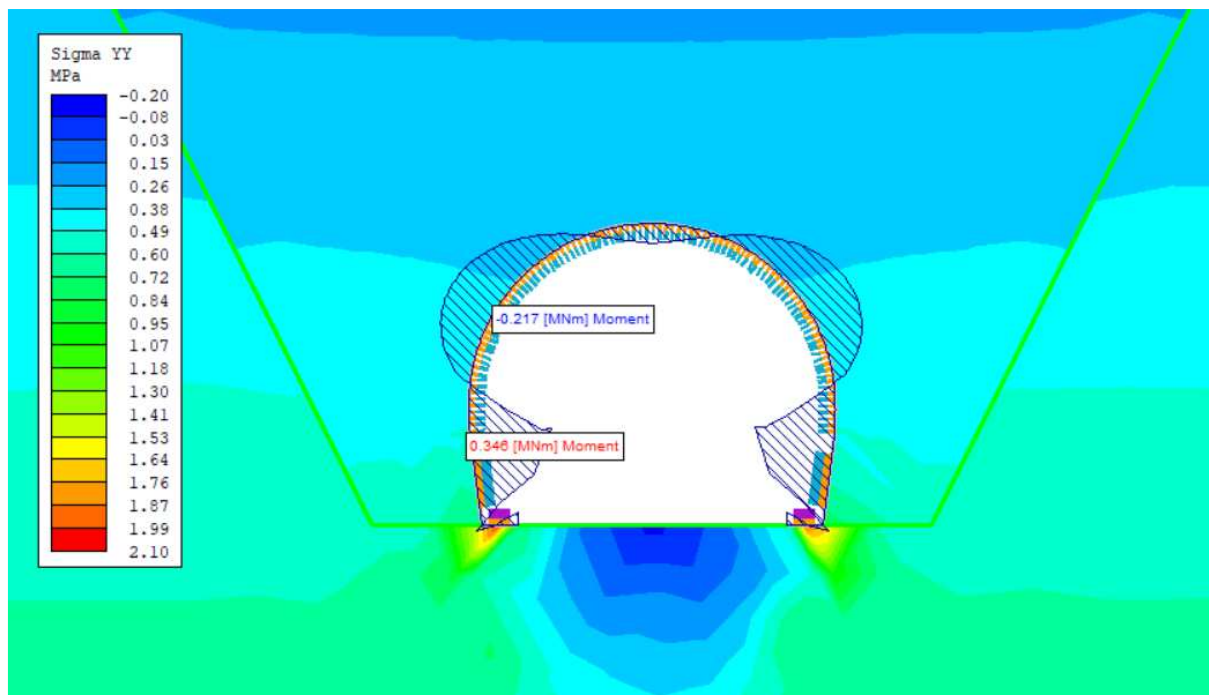


Obrázek 6 Celková deformace a průběh posouvajících sil – Fáze 3 – STÁVAJÍCÍ STAV

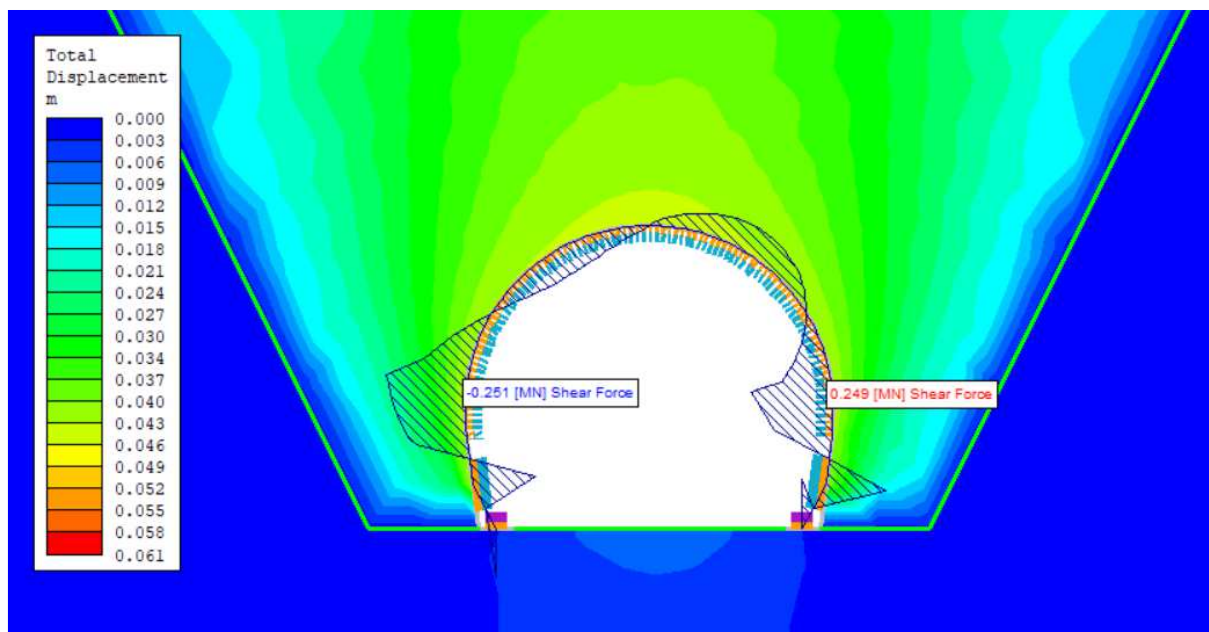
Nový stav – tloušťka 850 mm



Obrázek 7 Vertikální napětí σ_{yy} a průběh normálových sil – Fáze 4 – NOVÝ STAV



Obrázek 8 Horizontální napětí σ_{xx} a průběh ohybových momentů – Fáze 3 – NOVÝ STAV



Obrázek 9 Celková deformace a průběh posouvajících sil – Fáze 3 – STÁVAJÍCÍ STAV

3.5.3 Posouzení únosnosti ostění

Posouzení únosnosti ostění bylo vzhledem k charakteru konstrukce (beton + kusové stavivo a malta) provedeno ověřením podmínky mezní excentricity a tlakové únosnosti kompozitu zdivo – beton.

Mezní excentricita – výslednice vnitřních sil v jádru průřezu

U klenbové konstrukce je třeba, aby vnější zatížení bylo přenášeno pouze normálovým tlakovým napětím. Tato podmínka je splněna, pokud výslednice vnitřních sil má působíště v jádru průřezu, které se pro obdélníkový průřez nachází v jeho vnitřní 1/3. Podmínka má tedy tvar:

$$e \leq \frac{t}{6}$$

Kde: e ... excentricita, $e = M/N$
t ... tloušťka průřezu

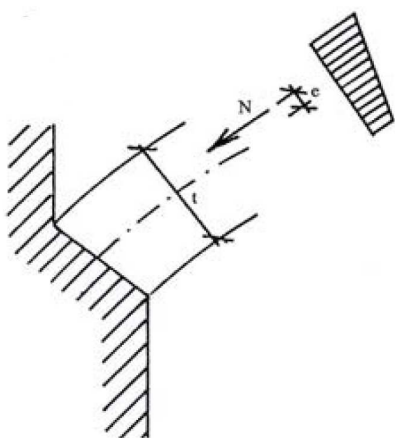
Únosnost v tlaku

V žádném řezu konstrukce nesmí být překročena pevnost materiálu v tlaku. To je ověřeno podmínkou:

$$\sigma_H = -\frac{N}{A} - \frac{N \cdot e}{W}$$

$$\sigma_D = -\frac{N}{A} + \frac{N \cdot e}{W}$$

Kde: A ... plocha průřezu
 σ ... normálové napětí v horních/dolních vláknech průřezu
N ... normálová síla v klenbě vypočtená MKP výpočtem
e ... excentricita, $e = M/N$
W .. průřezový modul

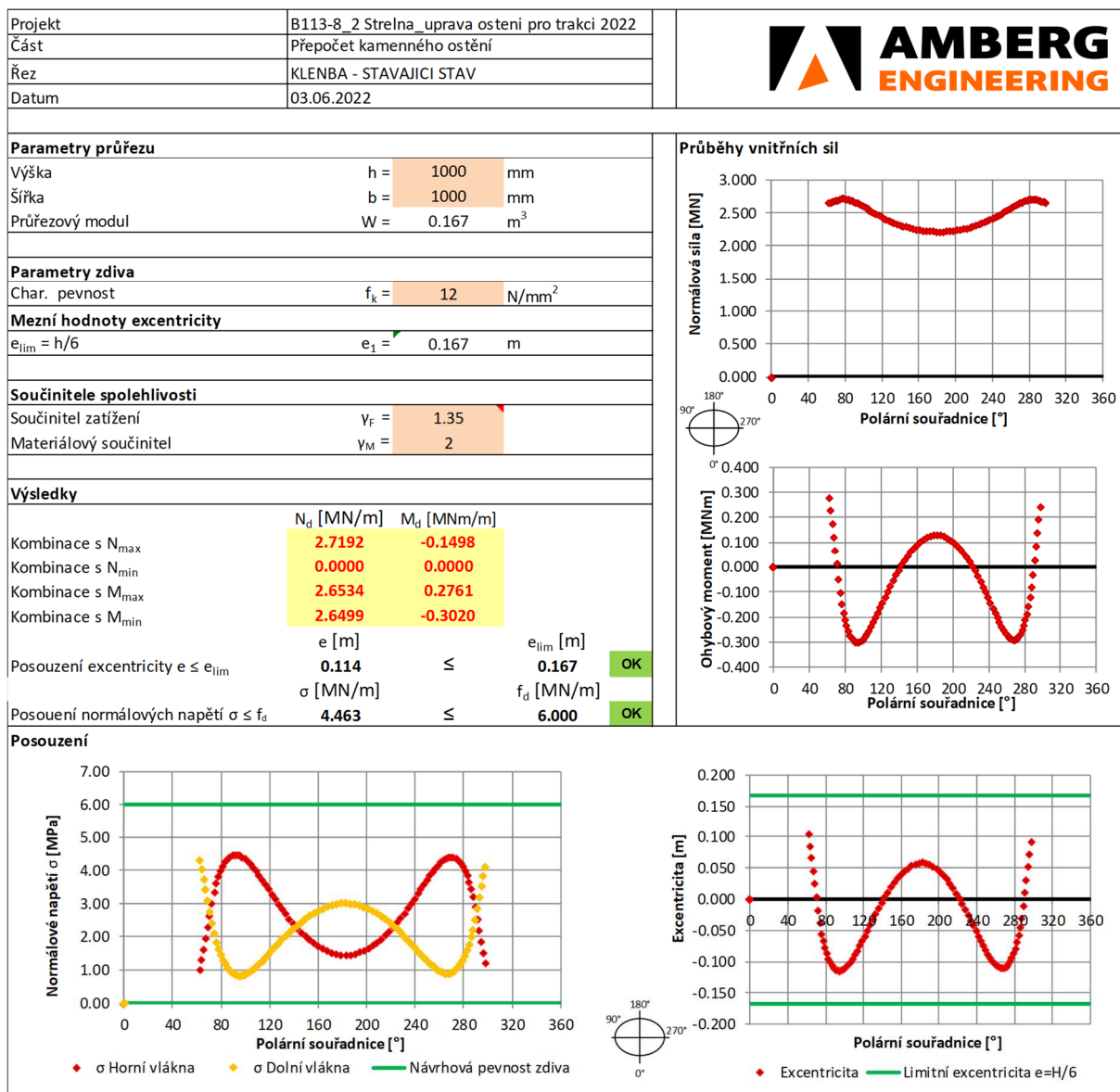


Obrázek 10 Průběh normálových napětí na průřezu klenby

Stávající stav – tloušťka 1000 mm

V Tabulka 4 je uvedeno posouzení stávajícího (neoslabeného) ostění na účinky zemních tlaků vypočtených MKP výpočtem.

Výpočet prokazuje, že stávající konstrukce VYHOVUJE na mezní stav únosnosti.

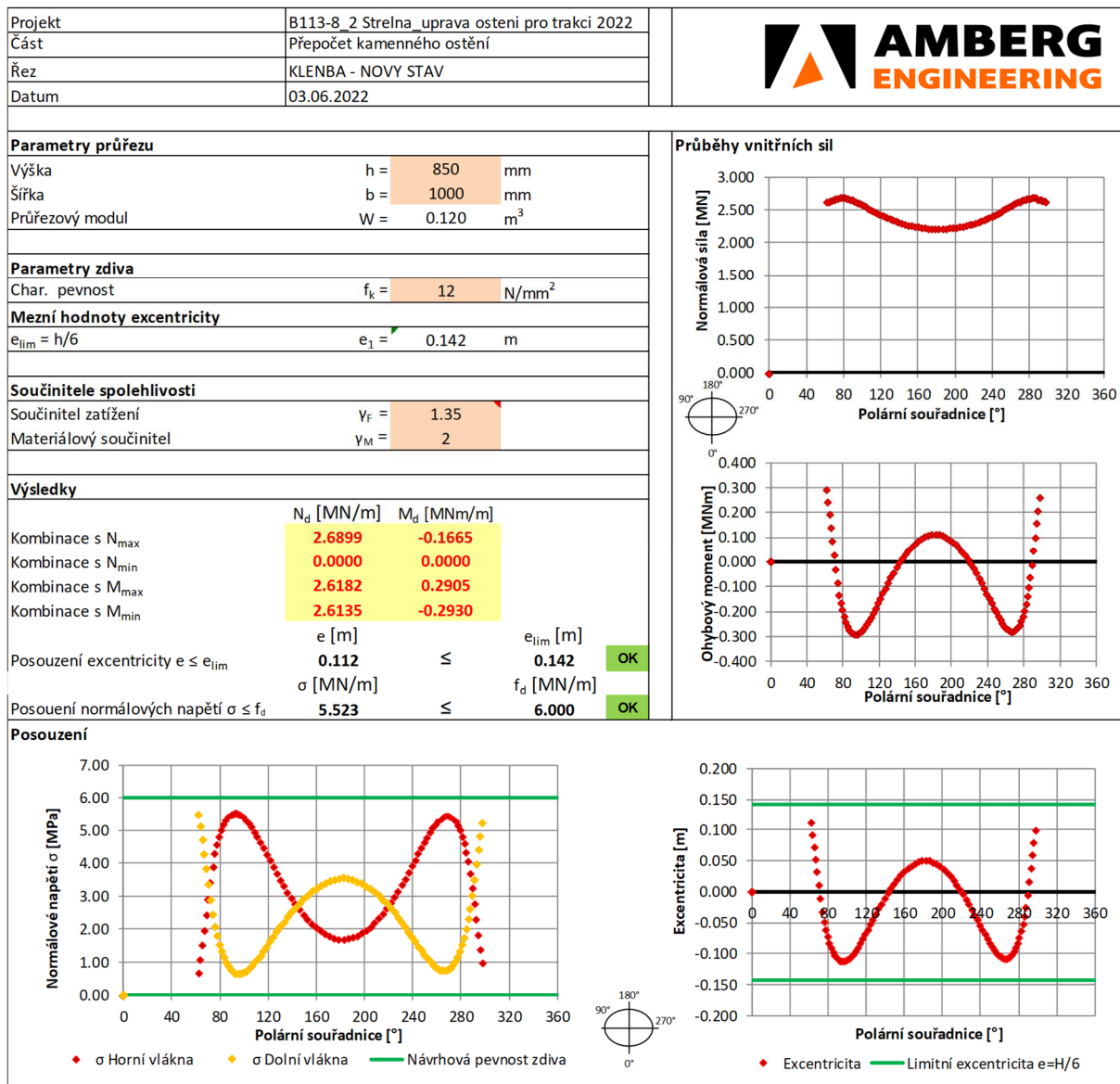


Tabulka 4 Posouzení únosnosti stávající (neoslabené) klenby

Nový stav – tloušťka 850 mm

V Tabulka 5 je uvedeno posouzení nového stavu, tj. ostění oslabeného o 150 mm, na účinky zemních tlaků vypočtených MKP výpočtem (viz část 3.5.2).

Výpočet prokazuje, že oslabené ostění VYHOVUJE na mezní stav únosnosti.



Tabulka 5 Posouzení únosnosti nového stavu (oslabené klenby)

4. Závěr

Statickým výpočtem, který je součástí této zprávy je prokázáno, že navržená úprava stávajícího ostění tunelu nebude mít za následek:

- a) zřícení stavby nebo její části
- b) větší stupeň nepřípustného přetvoření
- c) poškození jiných částí stavby nebo technických zařízení anebo instalovaného vybavení v důsledku většího přetvoření nosné konstrukce

Brno, 01.2023

Vypracoval: Ing. Jiří Umlauf

AMBERG Engineering Brno, a.s.