

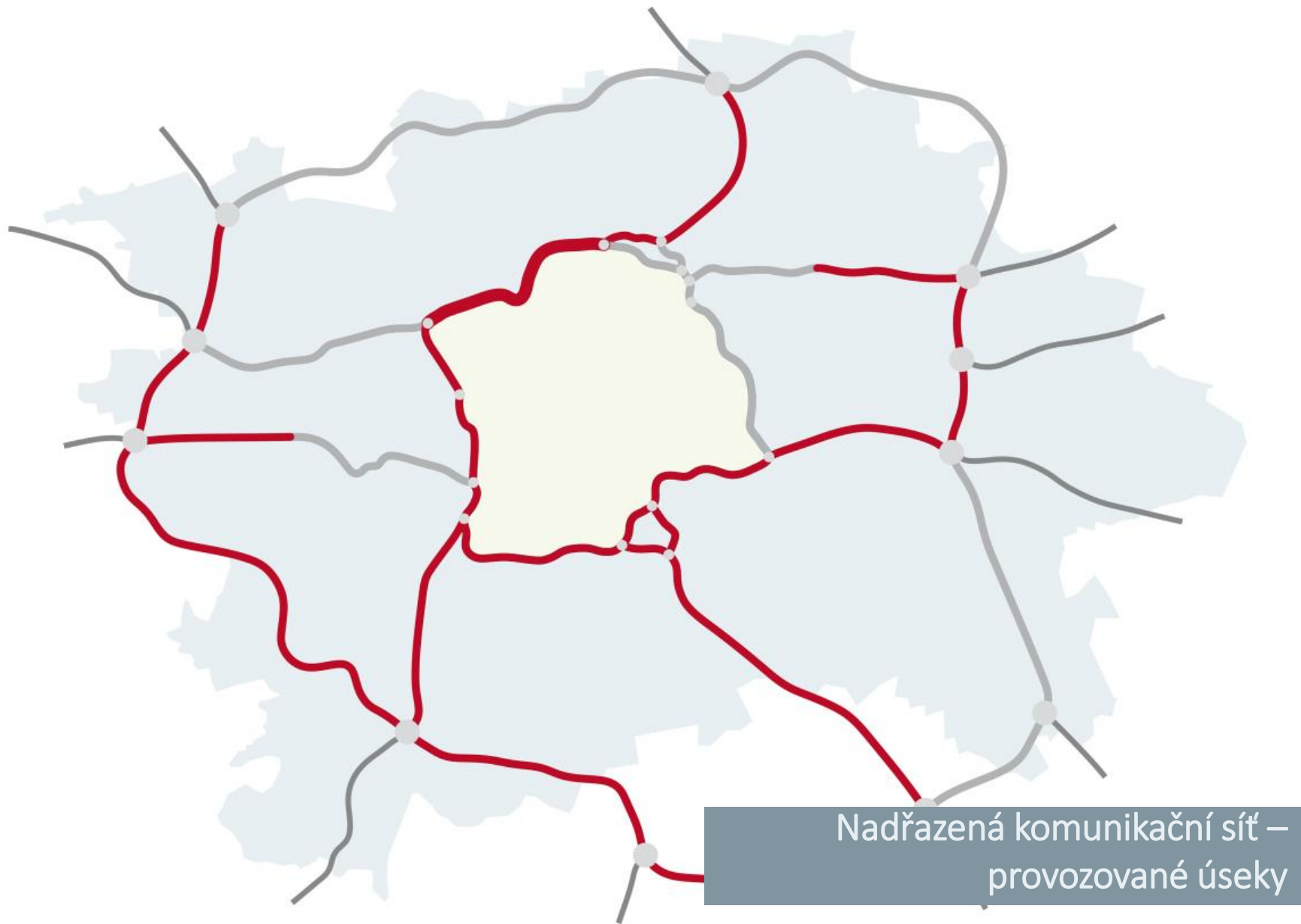
**Tunelářské odpoledne 1/2024**

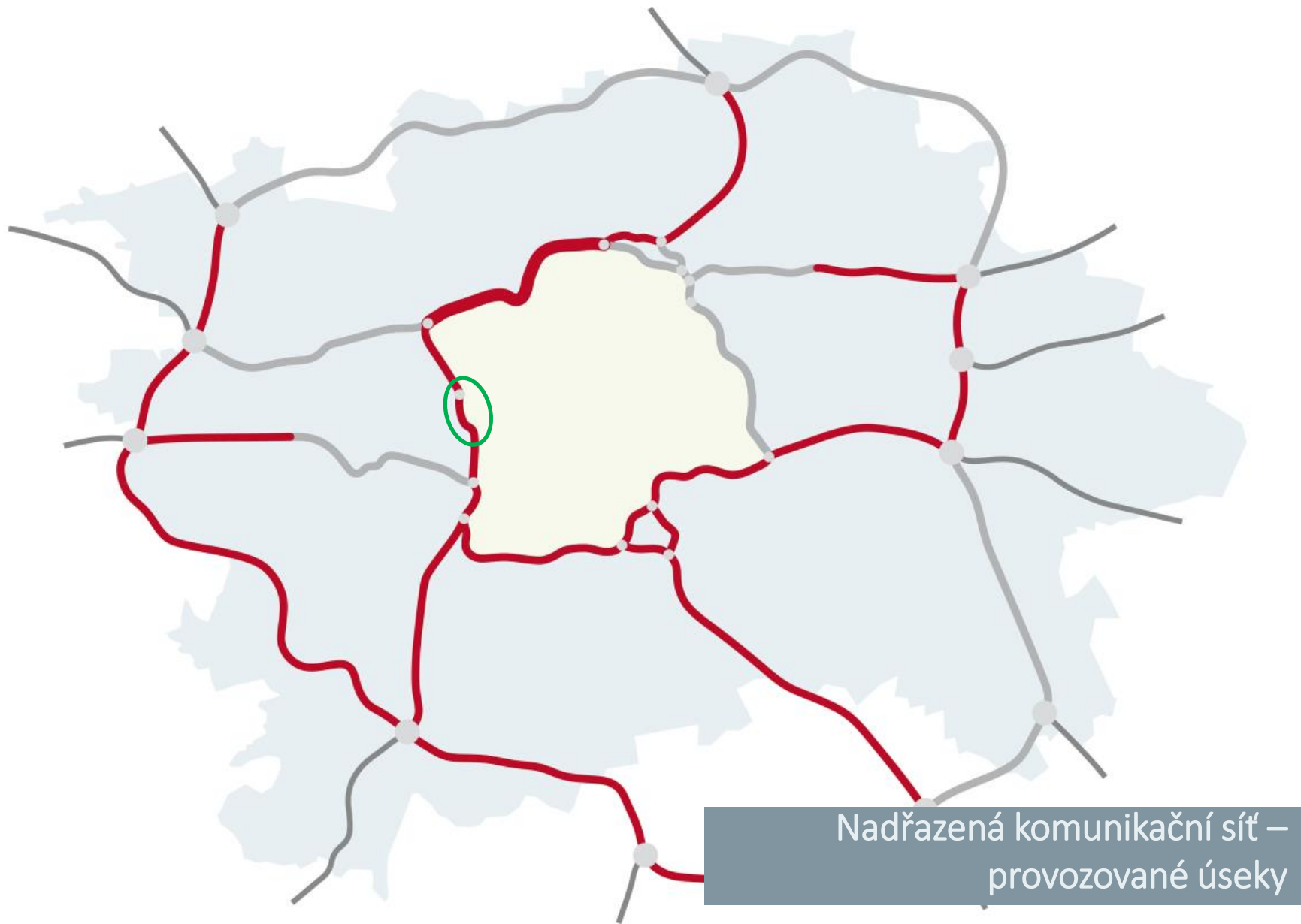
# **Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu**

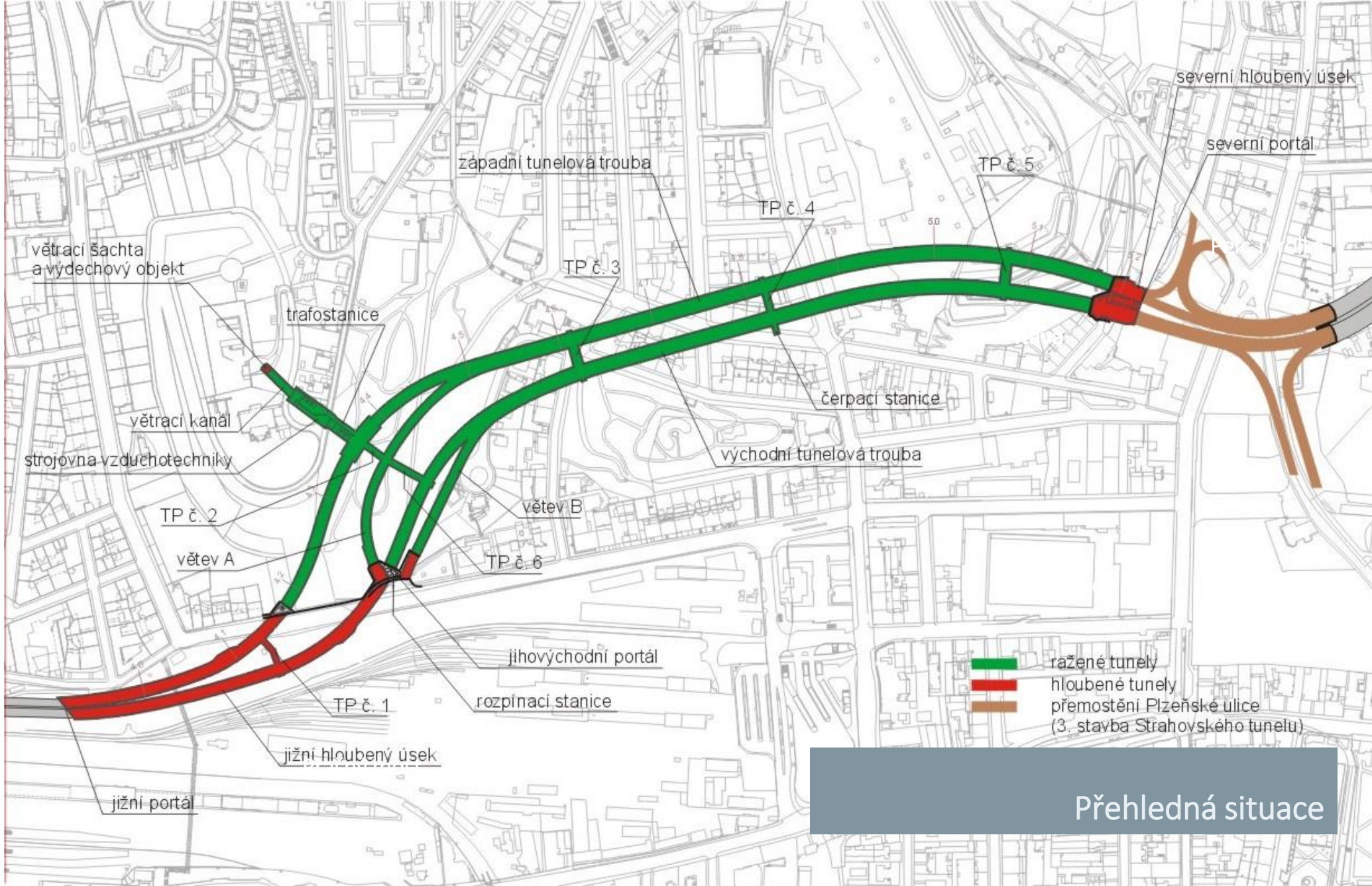
**doc. Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.  
Ing. Jaroslav Němeček  
SATRA, spol. s r.o.  
Ing. Jiří Mosler  
OHLA ŽS, a.s.**

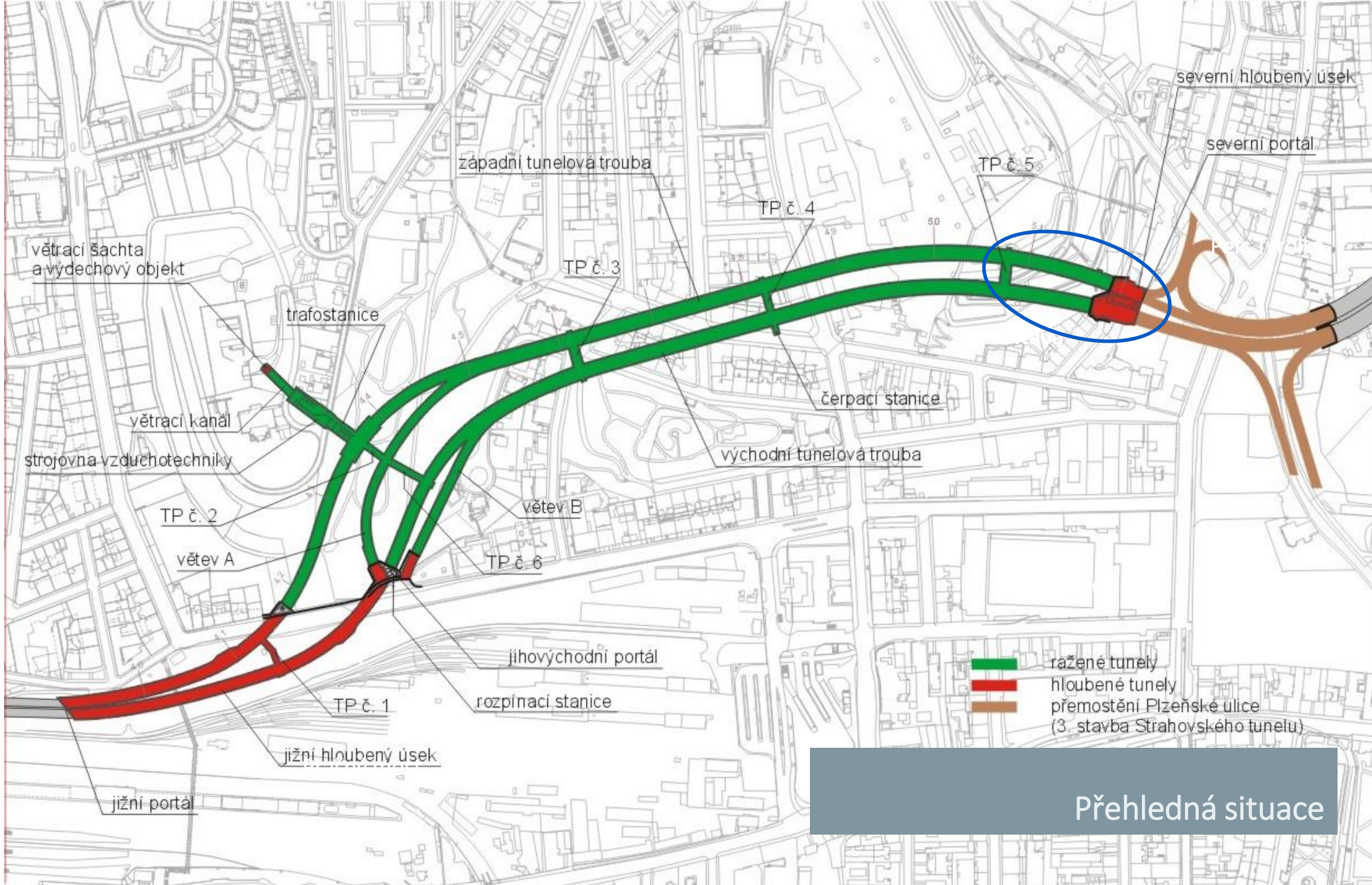
Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu

# ÚVOD



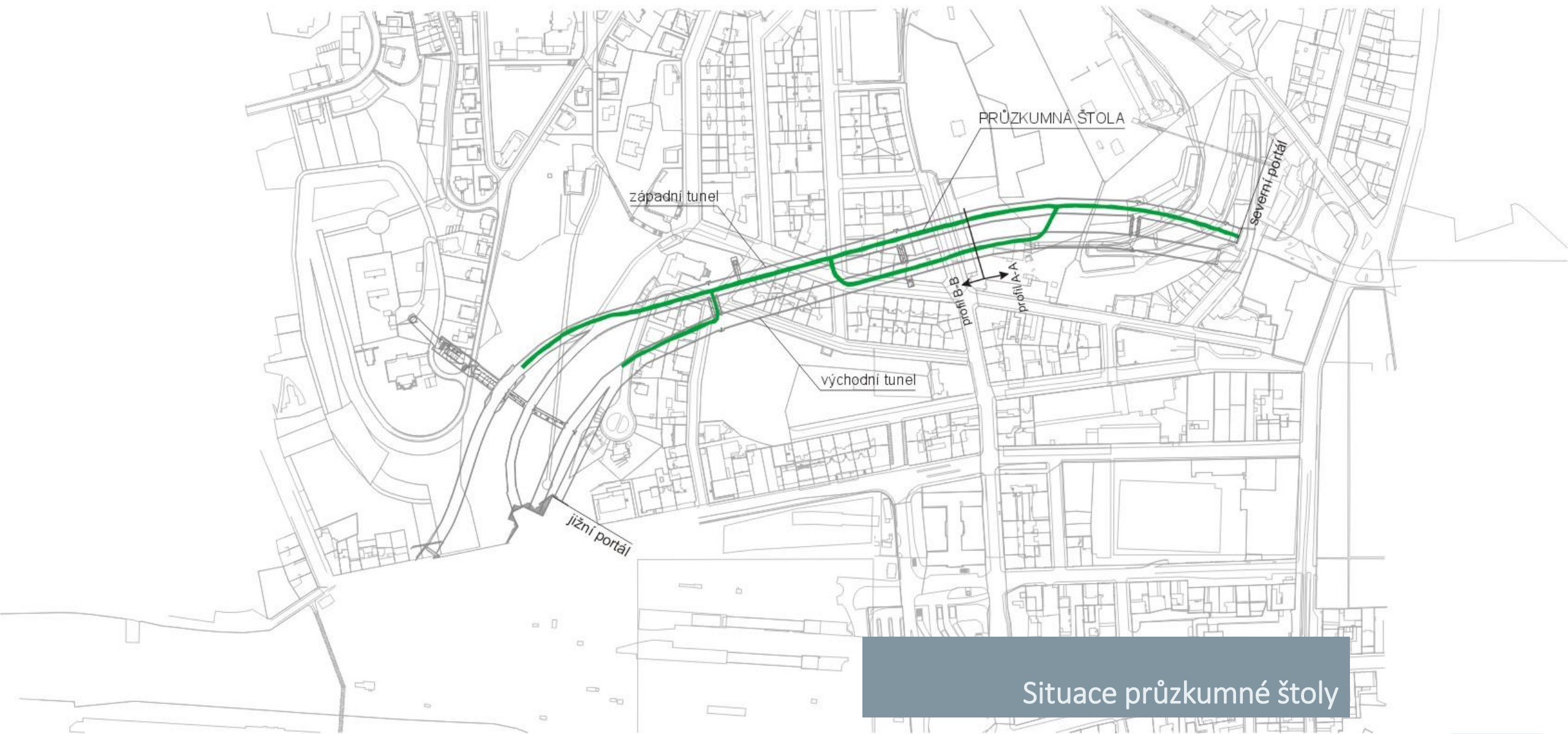






Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu

**IGP**



Situace průzkumné štol

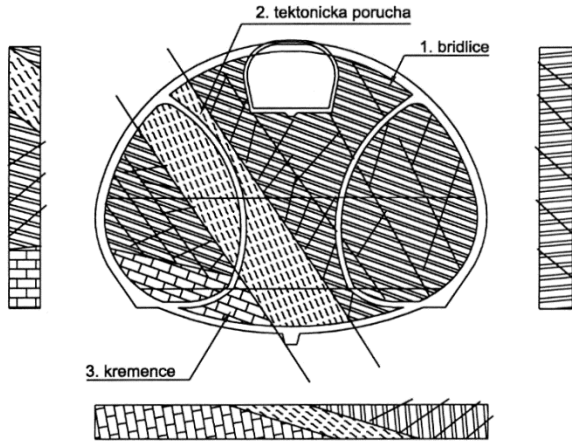




### Geologické a geotechnické sledování výrubů – Tunely Mrázovka

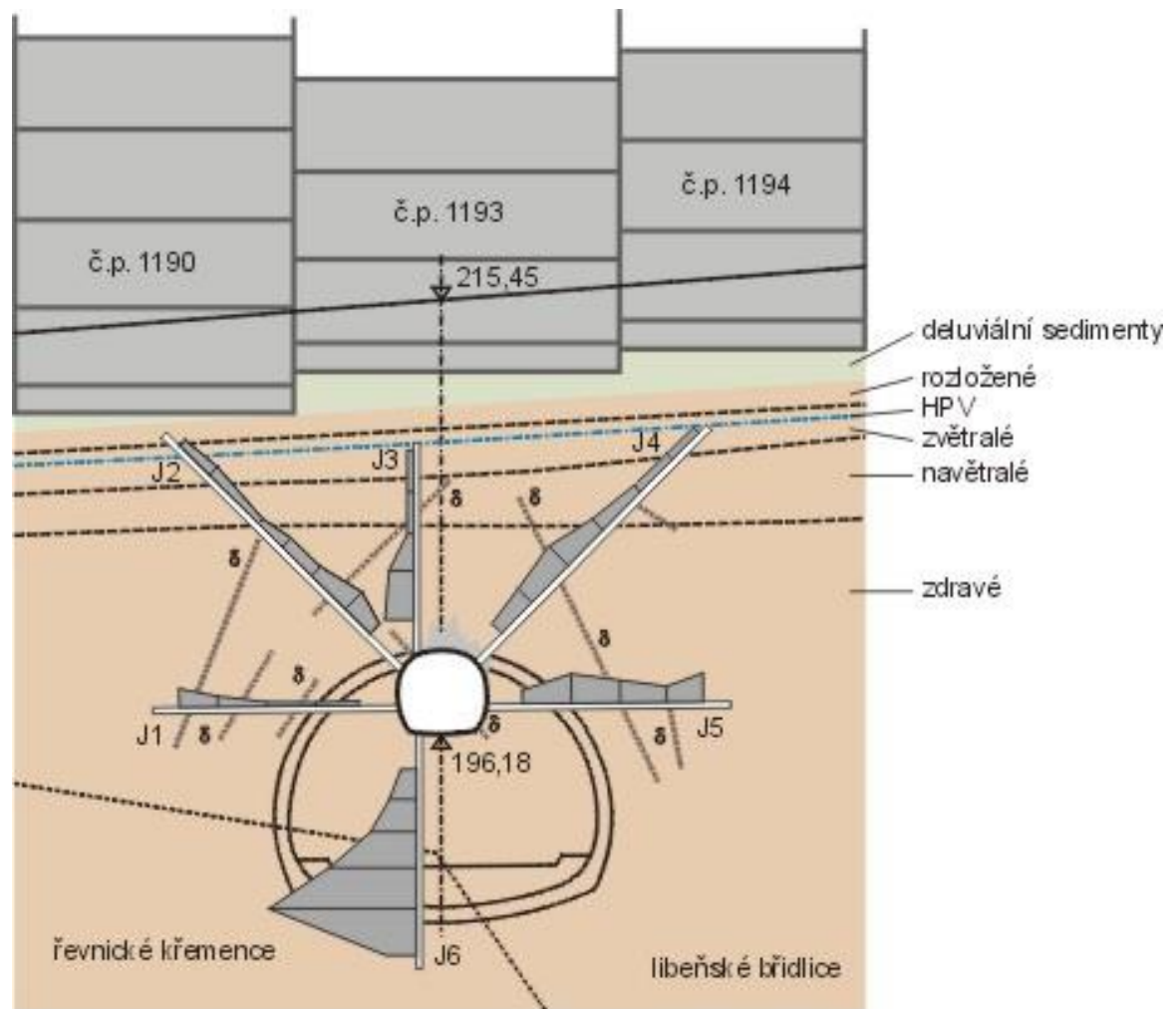
Druh měření	Protokol č.	Datum	Hloubka (strop) [m]	Měřítko	Dokumentoval	Staničení [km]
19	250	2000	11,40	1:200	Mgr.Chmelar	4,850

Úsek ražby Západní tunelová trouba – třípruhový tunel – ražba ze severu



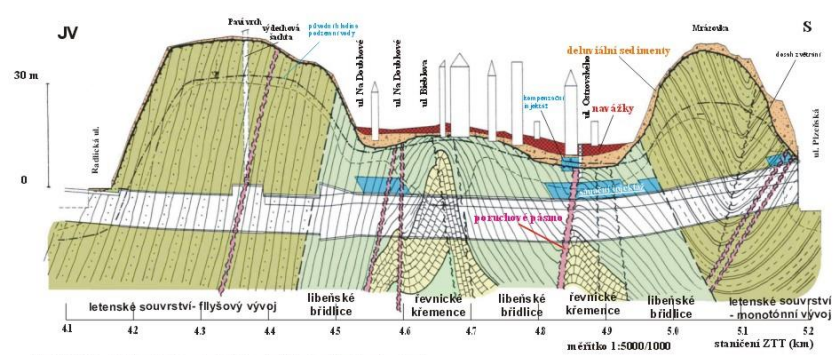
Popis hornin (ČSN 72 1001)  
 1. Břidlice jílovitoprachovitá, zdravá, R3 – R 4, hustota diskontinuit střední  
 2. Tektonicky porušená břidlice, R6, střípkovitě rozpadavá  
 3. Jemnozrnné křemence, zdravé, R2, hustota diskontinuit střední  
**LIBEŇSKÉ BŘIDLICE A ŘEVNICKÉ KŘEMENCE**

	Plochy mechanické nespojitosti			
	Plochy vrstevnatosti	Pukliny	Tektonické ohlasy	Tektonické poruchy
Orientace spádnic ve °	250/30	40/80	330/75	210/75
Průměr. rozteč (mm)	150	300	300	-----
Průběžnost	částečně průběžné	průběžné	průběžné	průběžné
Tvar, drsnost	zviněné, hladké	rovné, hladké	rovné, vyhlazené	rovné
Rozvětvení/šířka (mm)	sevřené	1mm	1mm	šířka 2,5 až 3 m
Výplň	bez výplně	kalciit	kalciit	tektonická brekcie
Zvodnění		přítoky z tekt. poruchy		
Počet systémů diskontinuit	3	Blokovitost	1. + 3. deskovitá	2. dezintegrovaná
Počet bodů QTS	32–48	Stabilita výrubu	dočasně stabilní	
Technologická třída NRTM	5a	Délka záběru	1 m	
Prognóza	2 m obdob.geolog.	Nadvýškom	-----	
Opatření – doporučení:	Poznámky:			
	Doporučení : stabilizační nástřik čelby jehlování v opěr. tunelech mikropilot. deštník ve střední kalotě			
	Čelbu převzal:			

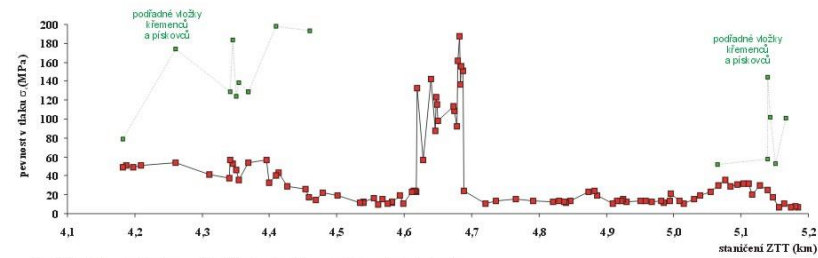


0 1000 2000 3000  
 MĚŘÍTKO MODULŮ PŘETVÁRNOSTI  $E_{mod,p}$  [MPa]

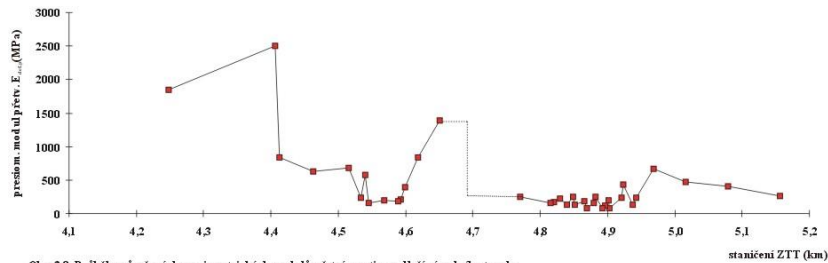
Výsledky IGP



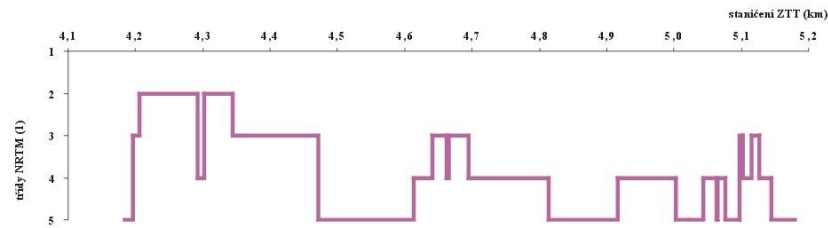
Ob. r. 3.6 Schématický podélný geologický řez západním tunelem (5x přes výšeno)



Ob. r. 3.7 Průběh průměrné pevnosti tlaku horninového materiálu v západním tunele



Ob. r. 3.8 Průběh průměrných přesnometrických modulů převážitosti v nadloži západního tunelu



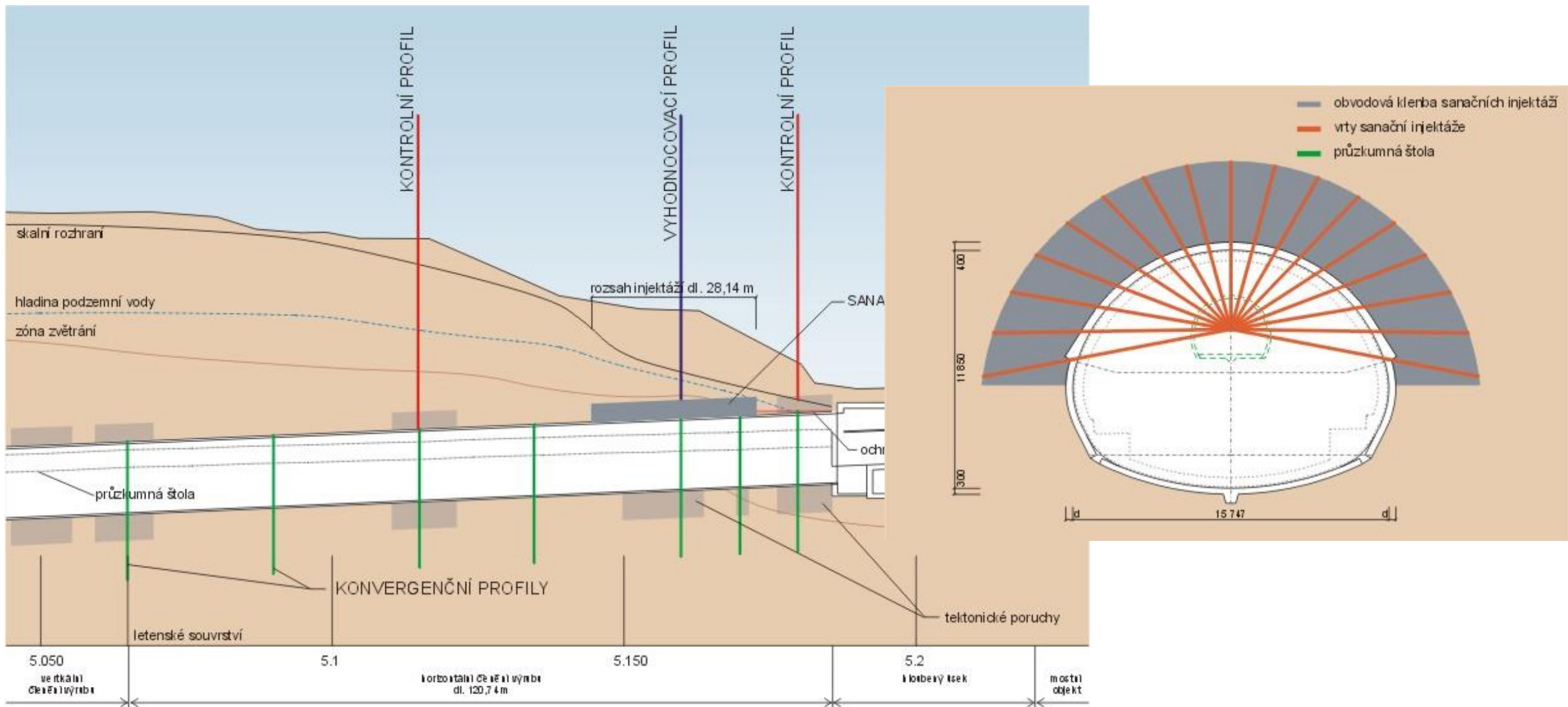
Ob. r. 3.9 Průběh technologických tříd NRTM v západním tunele (dle J.H. udka a R.Chmeláře)



Výsledky IGP

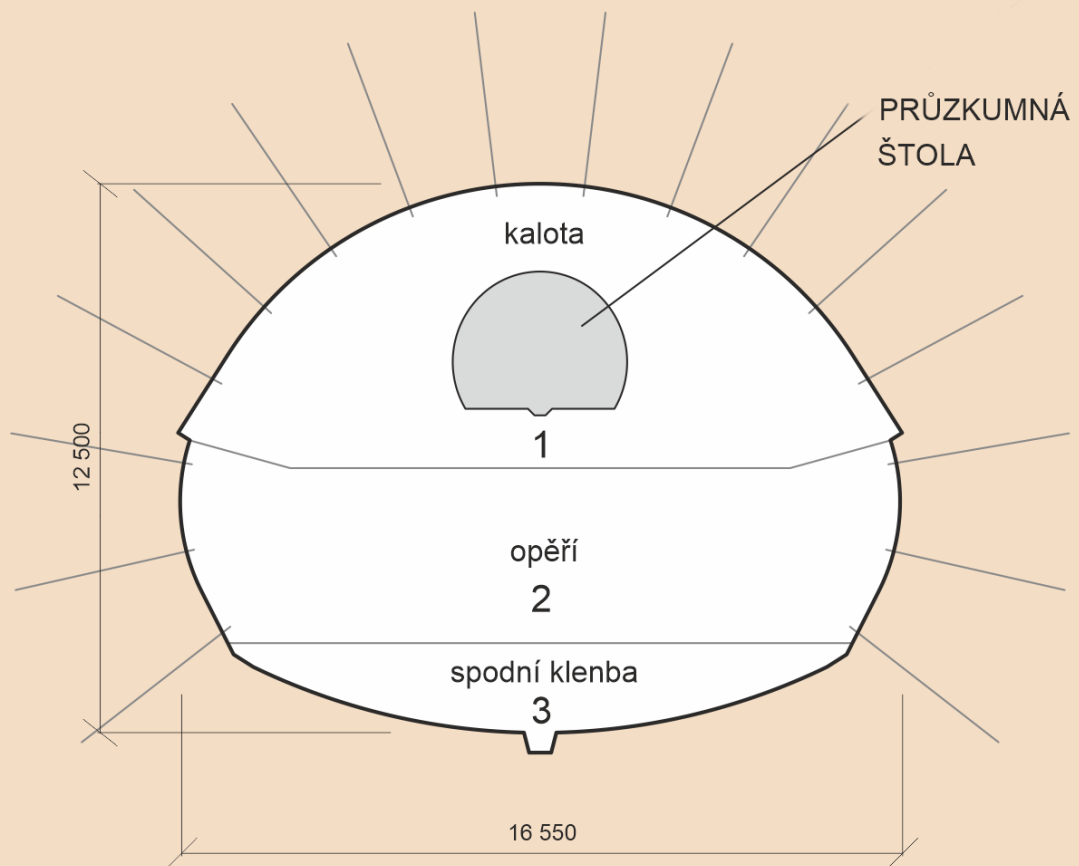
Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu

# ZAHÁJENÍ RAŽEB (ZTT)



## Sanační injektáže

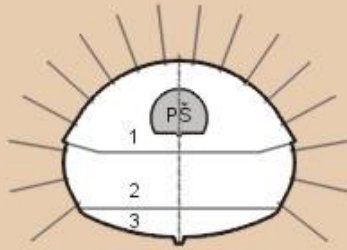
## horizontální členění výrubu



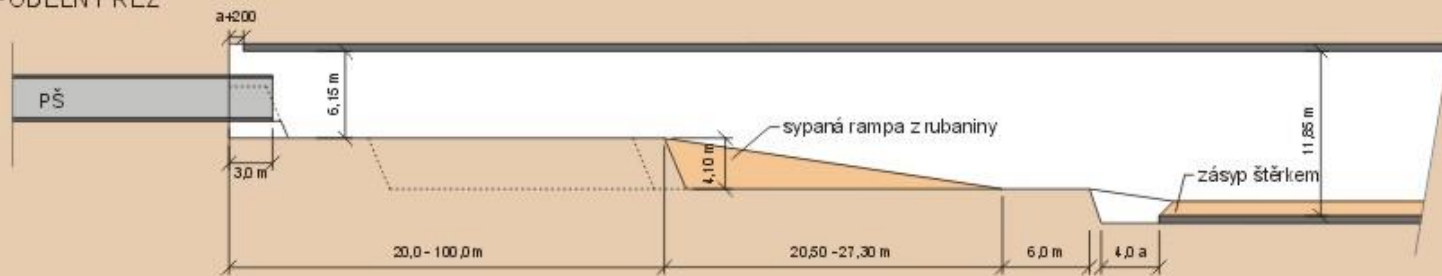
Horizontální členění výrubu

## PŘÍČNÝ ŘEZ

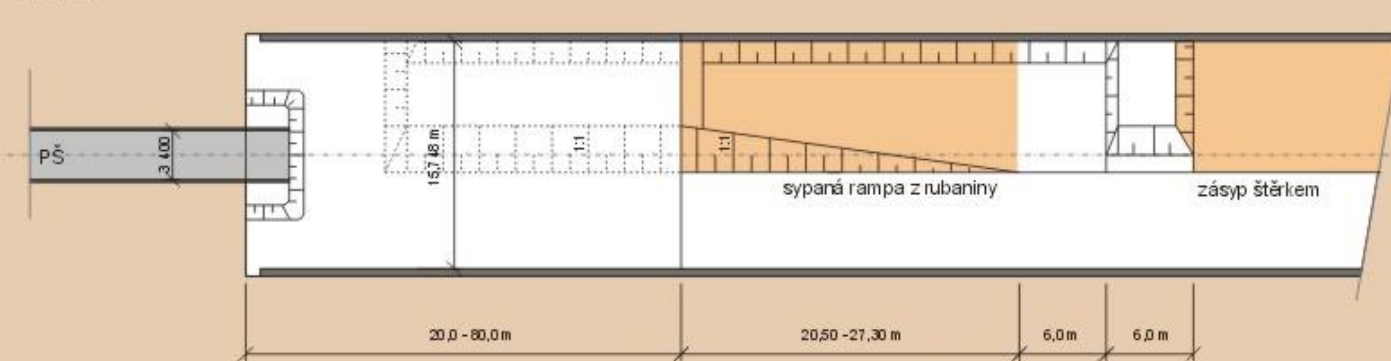
- PŠ průřezná štola
- 1 kalota
- 2 opěří
- 3 spodní klenba



## PODÉLNÝ ŘEZ



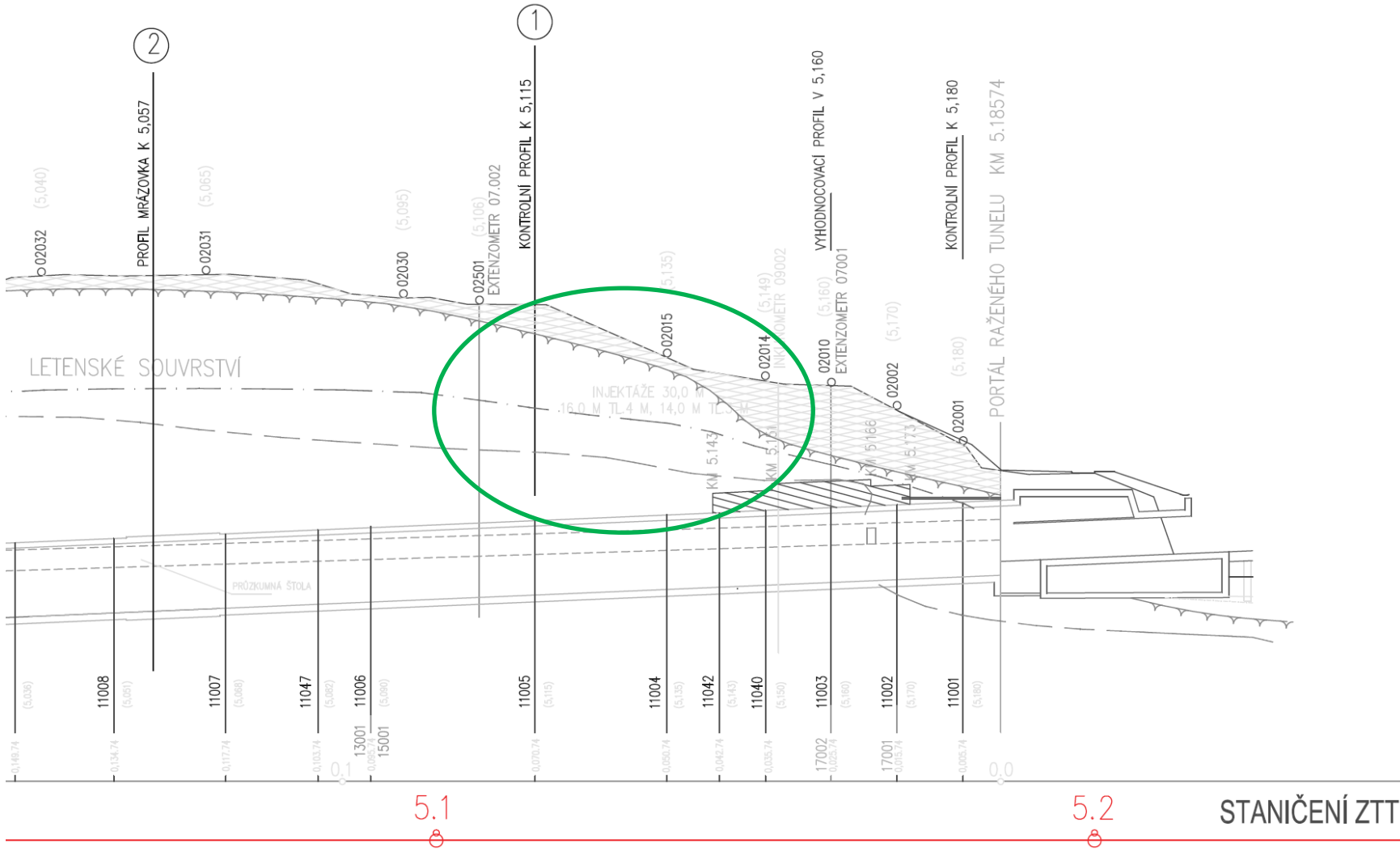
## PŮDORYS



Horizontální členění výrubu



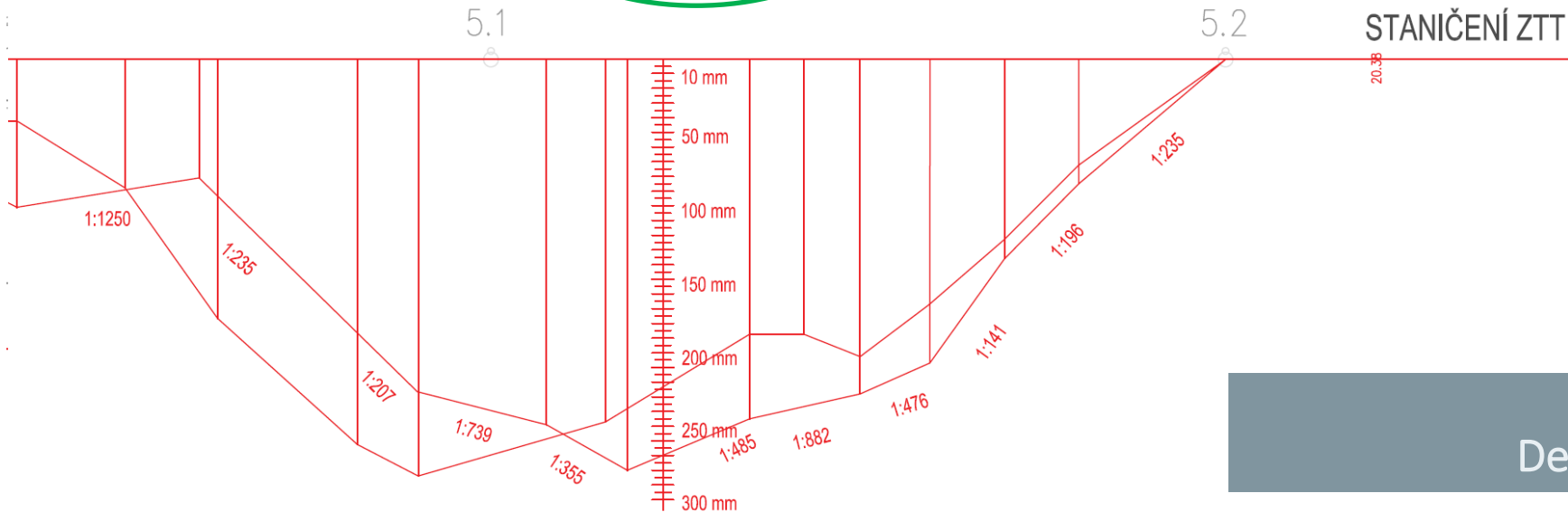
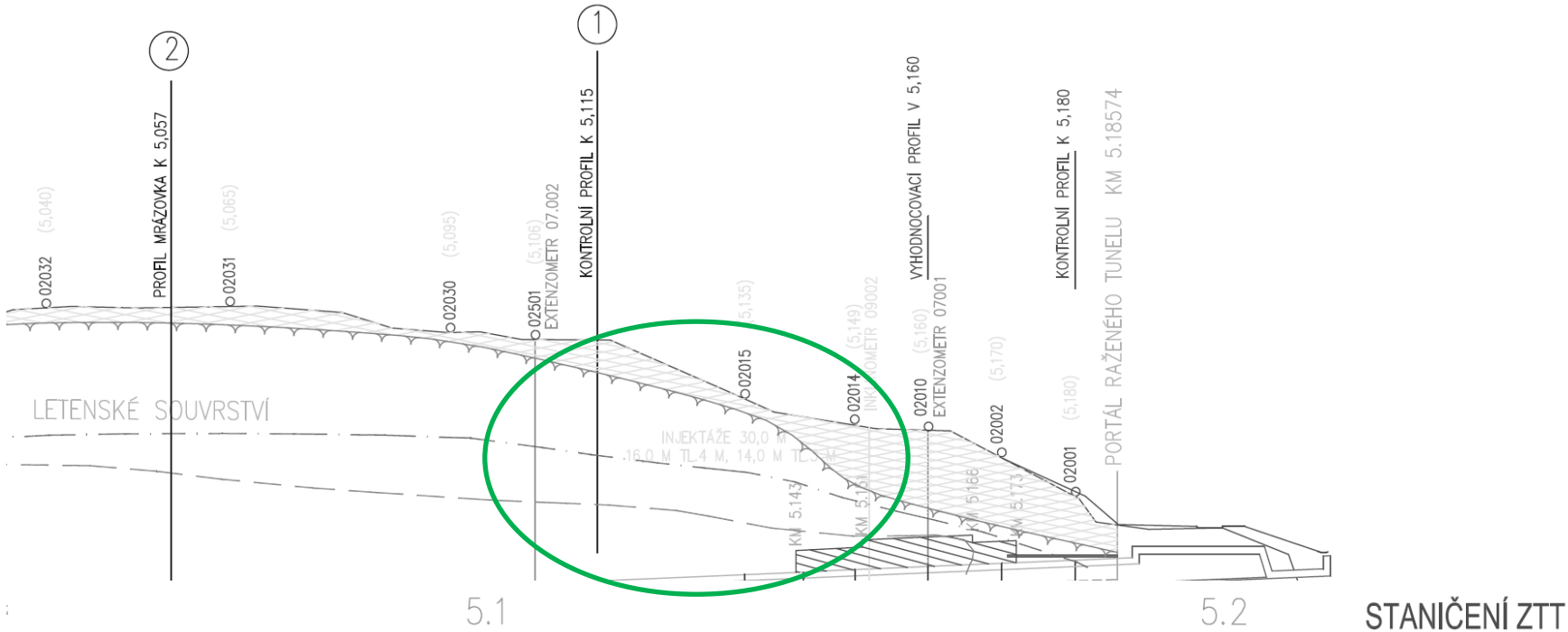
## Horizontální členění výrubu



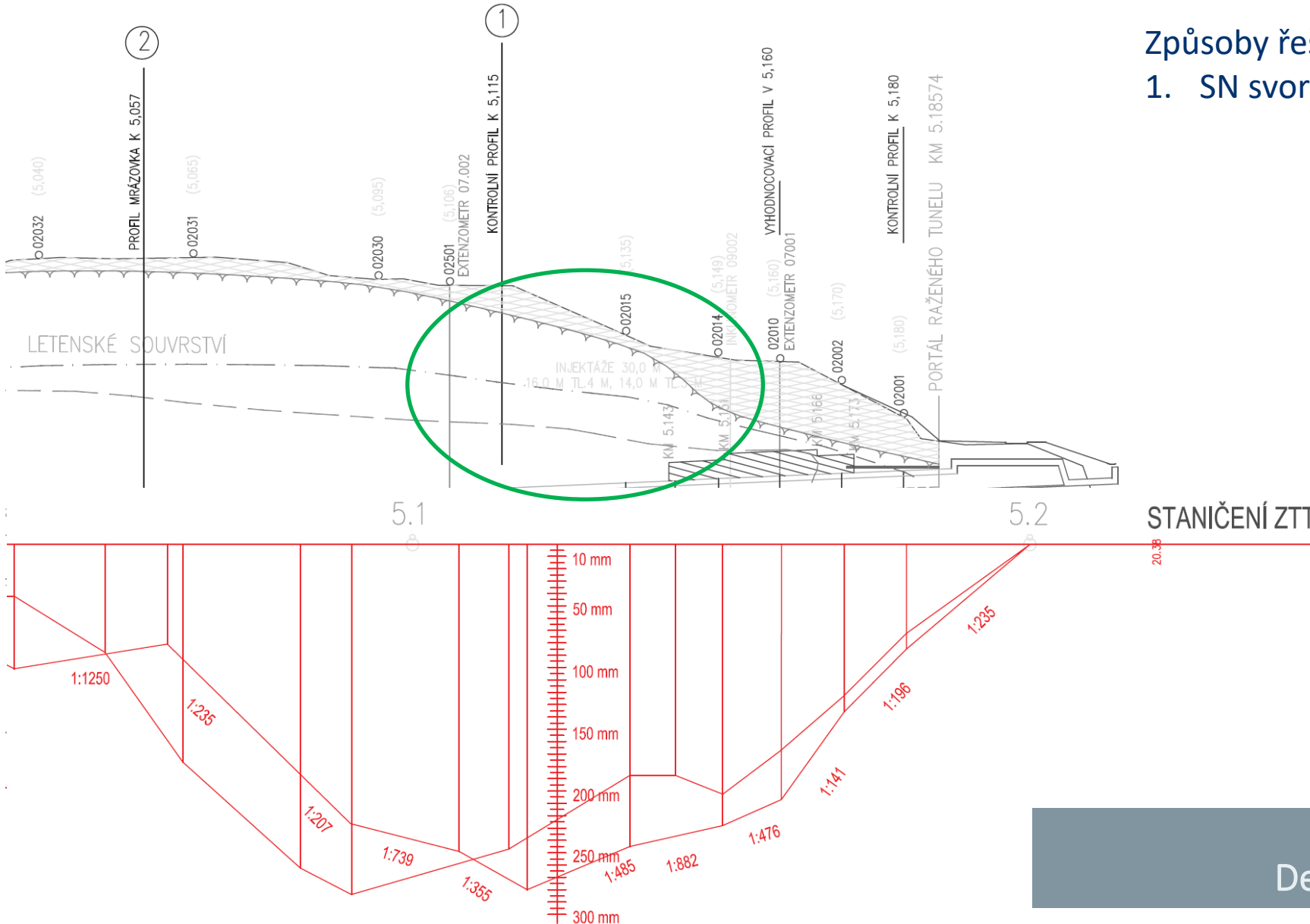
Deformační problémy



# MRÁZOVKA



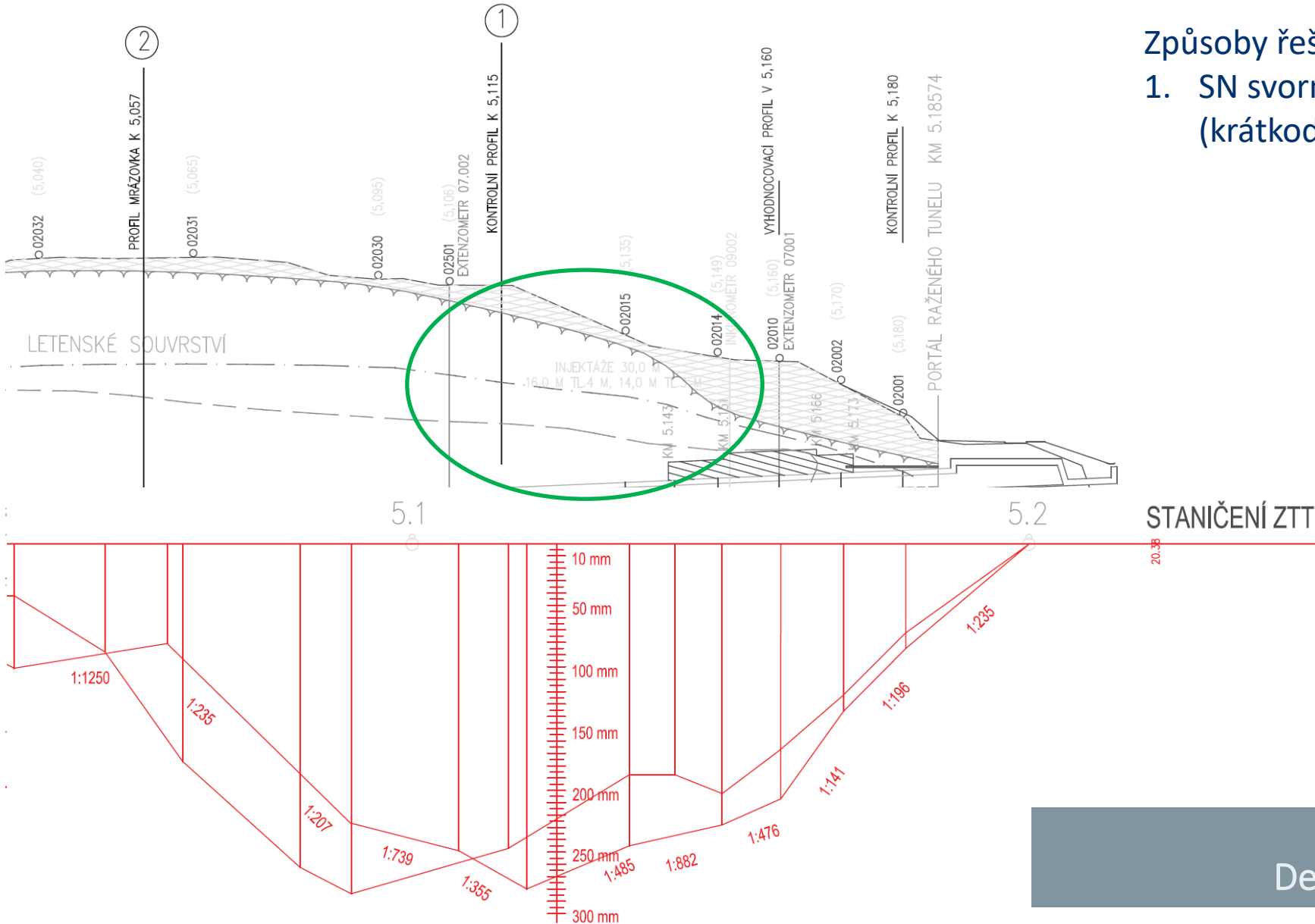
Deformační problémy



Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m

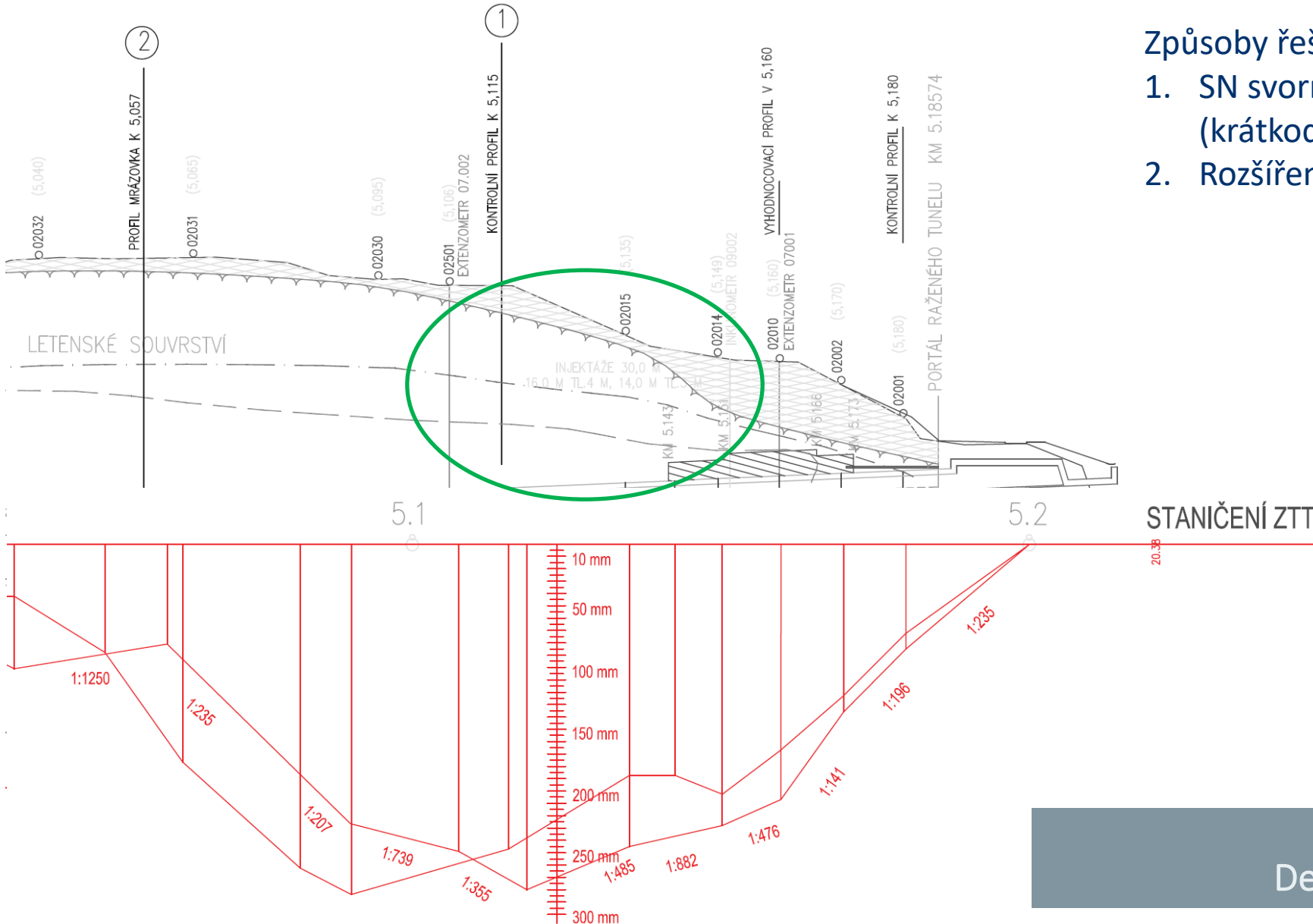
Deformační problémy



Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)

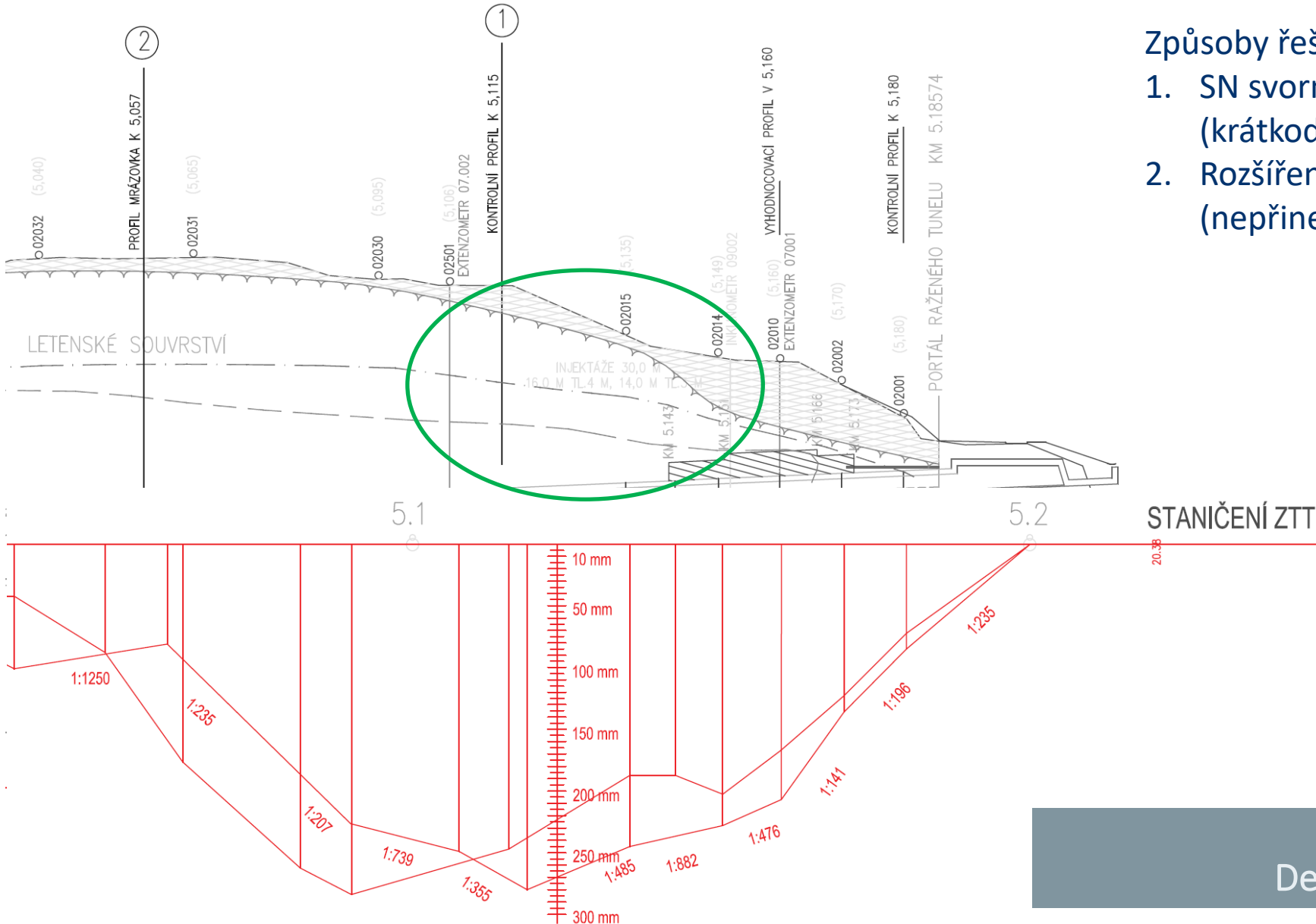
Deformační problémy



Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm

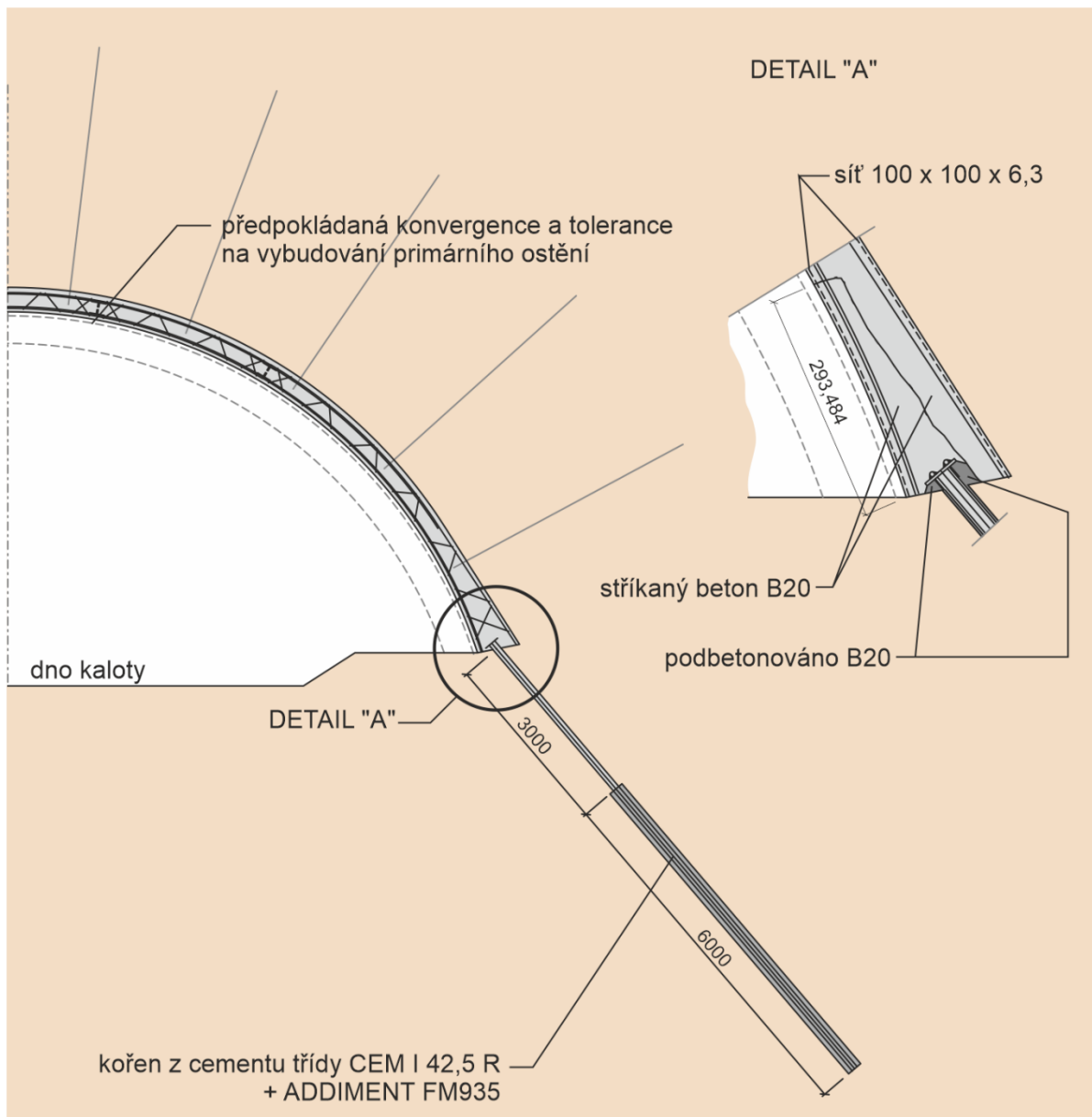
Deformační problémy



Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm (nepřineslo v podstatě žádný efekt)

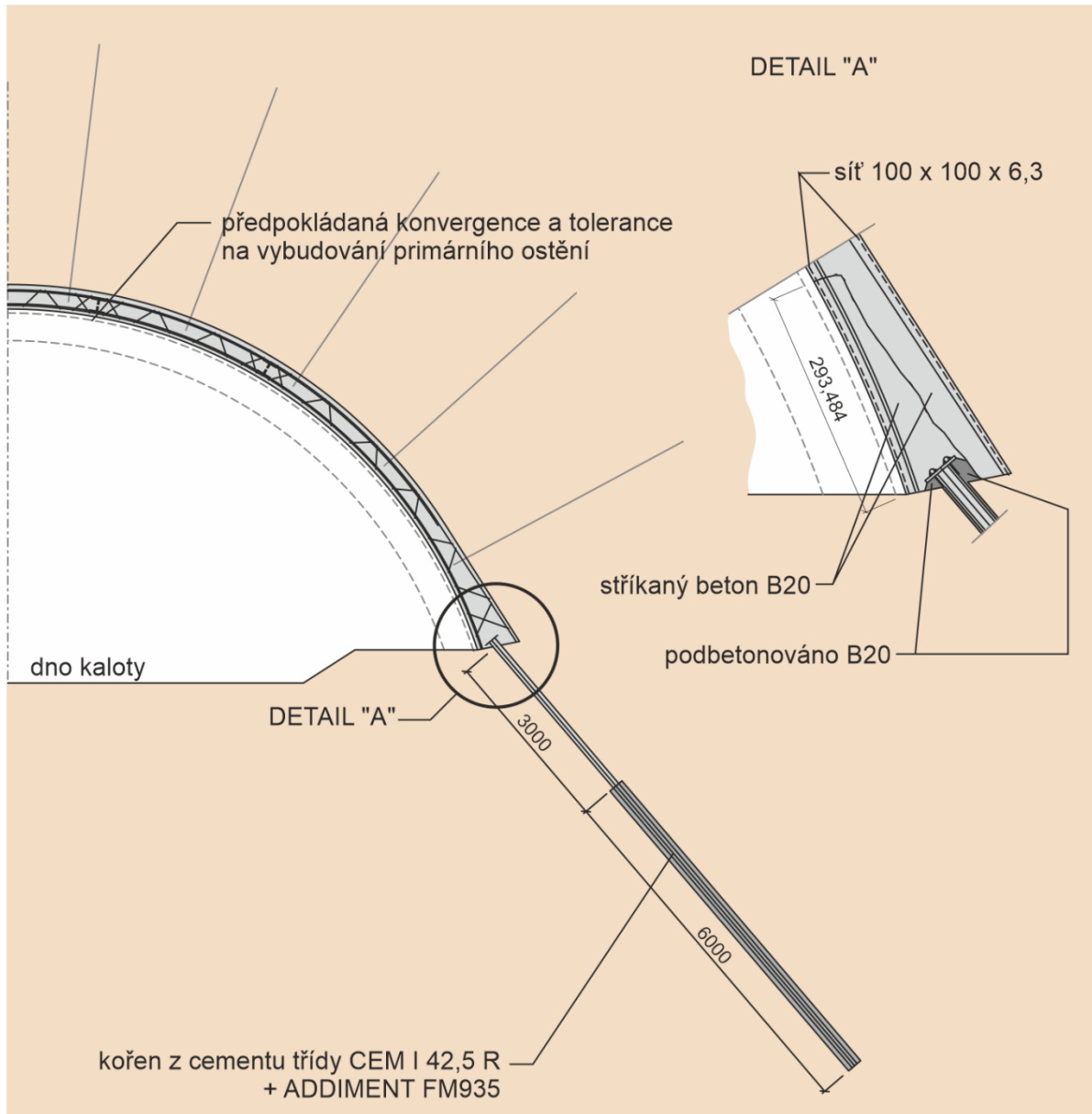
Deformační problémy



## Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm (nepřineslo v podstatě žádný efekt)
3. Provádění mikropilot v patě ostění

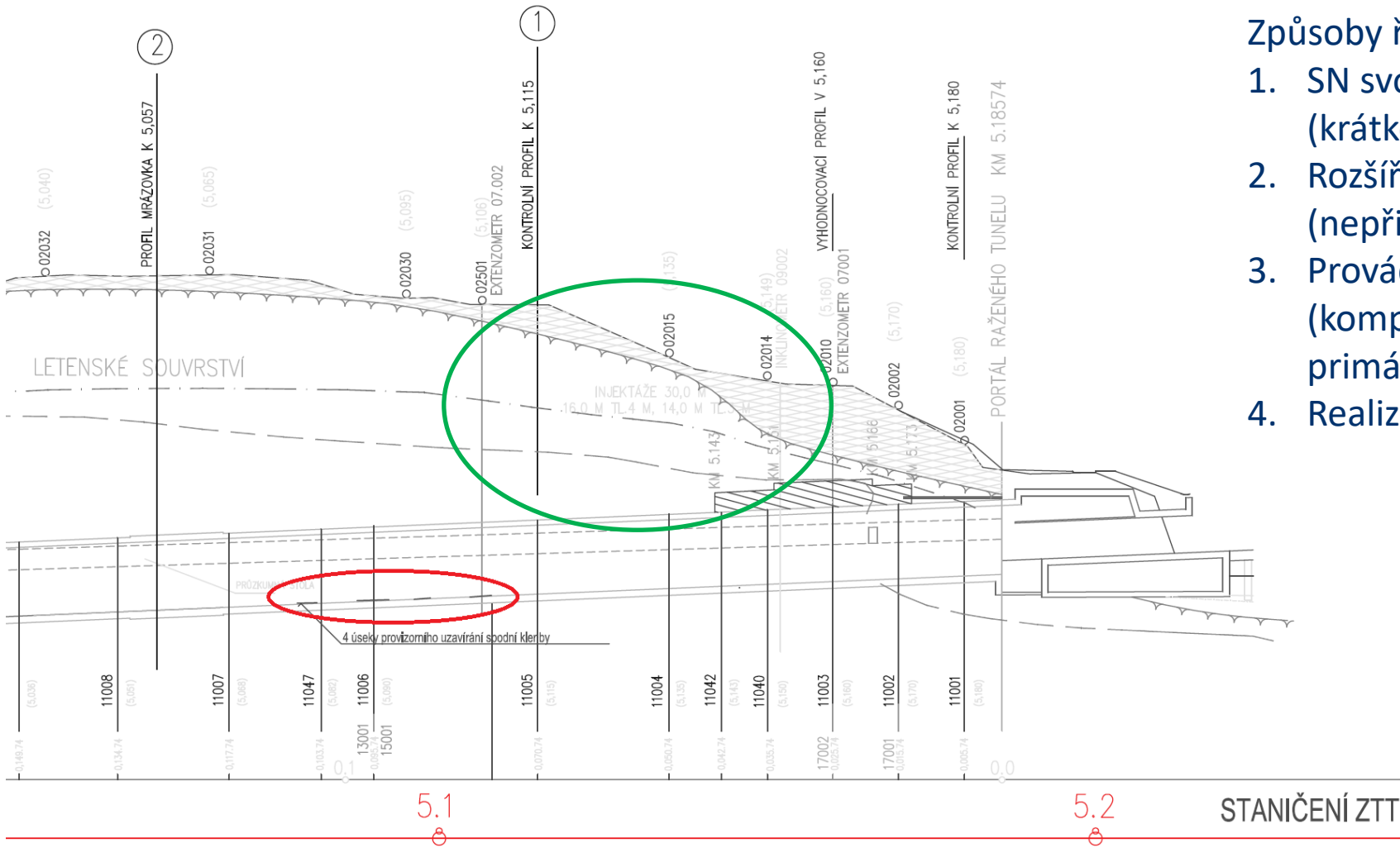
Deformační problémy



### Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm (nepřineslo v podstatě žádný efekt)
3. Provádění mikropilot v patě ostění (komplikace se spojením s již hotovým primárním ostěním)

Deformační problémy

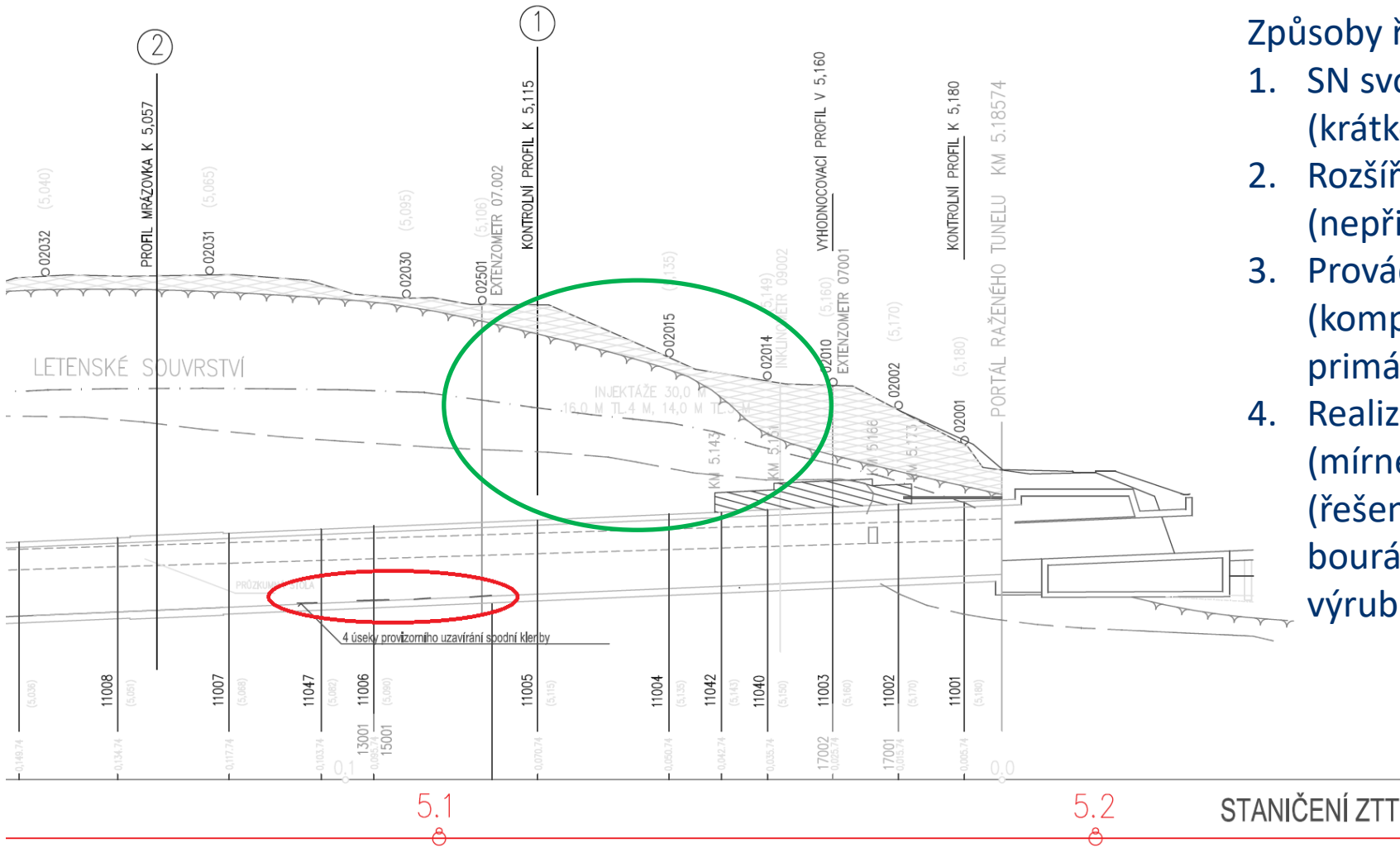


Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm (nepřineslo v podstatě žádný efekt)
3. Provádění mikropilot v patě ostění (komplikace se spojením s již hotovým primárním ostěním)
4. Realizace dočasné protiklenby (žebra)

Deformační problémy

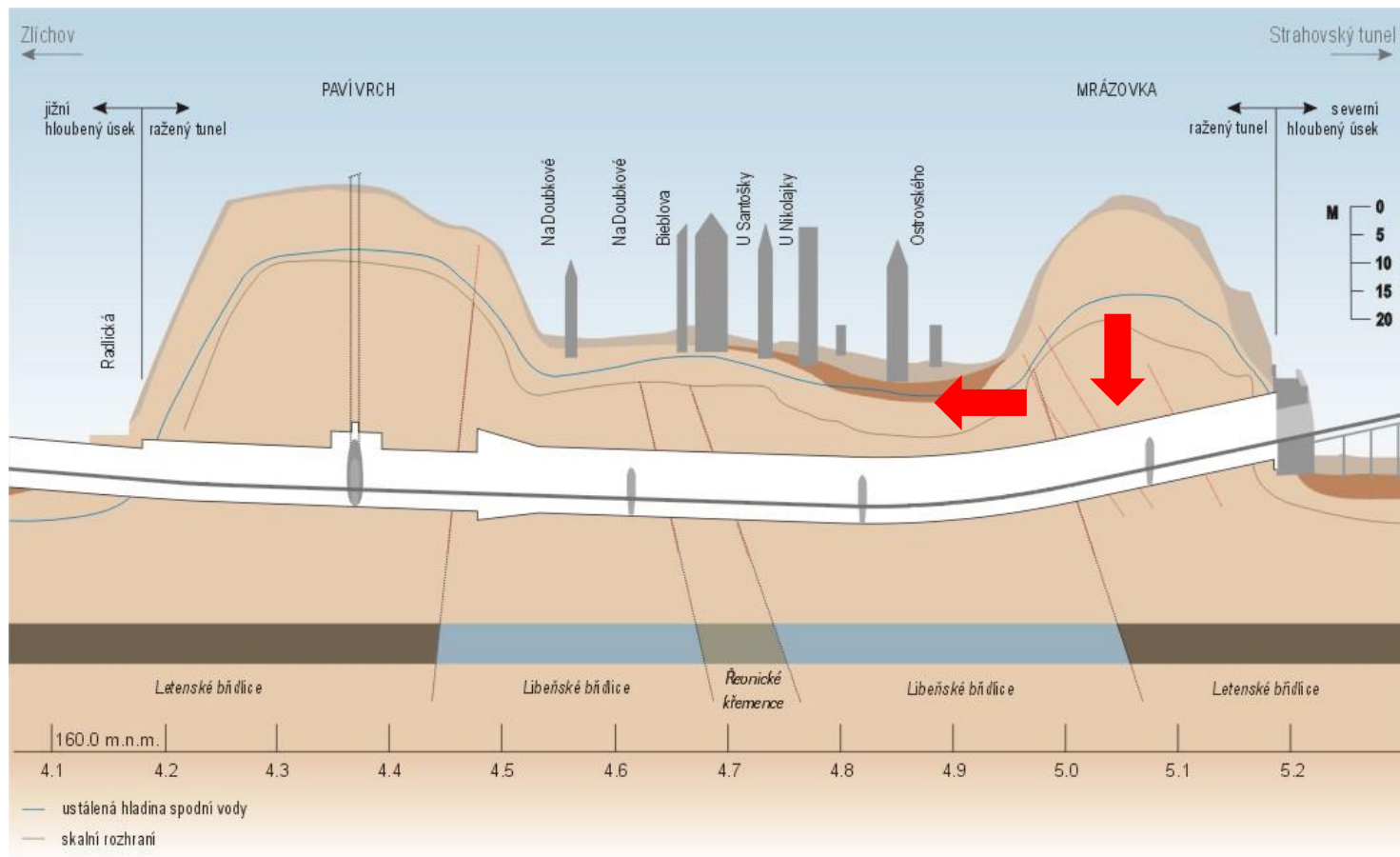




Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm (nepřineslo v podstatě žádný efekt)
3. Provádění mikropilot v patě ostění (komplikace se spojením s již hotovým primárním ostěním)
4. Realizace dočasné protiklenby (žebra) (mírné snížení deformací, ale krátký úsek) (řešení dalších deformačních problémů při bourání protiklenby a realizaci dalšího dílčího výrubu)

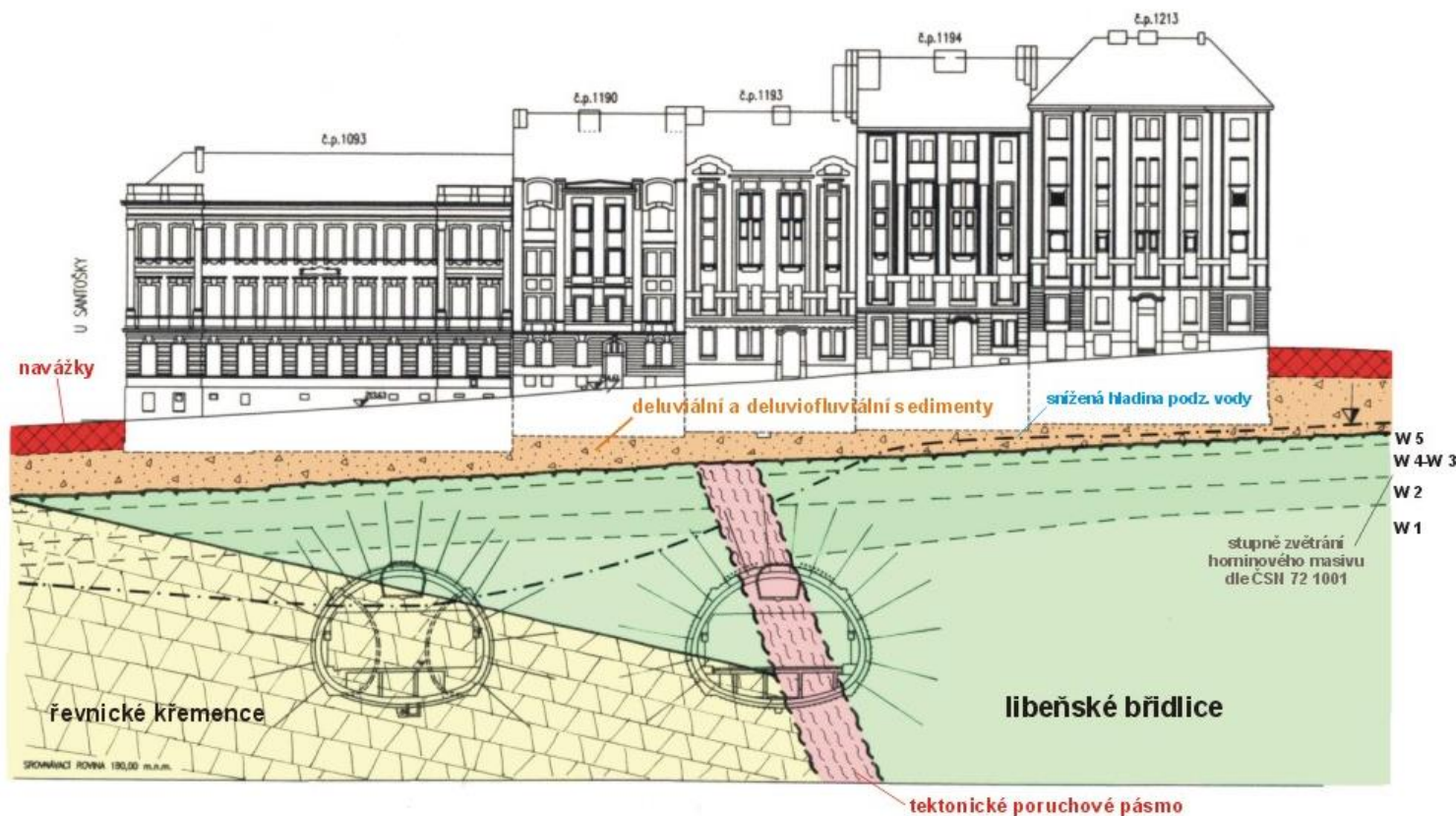
Deformační problémy



### Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm (nepřineslo v podstatě žádný efekt)
3. Provádění mikropilot v patě ostění (komplikace se spojením s již hotovým primárním ostěním)
4. Realizace dočasné protiklenby (žebra) (mírné snížení deformací, ale krátký úsek) (řešení dalších deformačních problémů při bourání protiklenby a realizaci dalšího dílčího výrubu)
5. Co dále, když....?

Deformační problémy



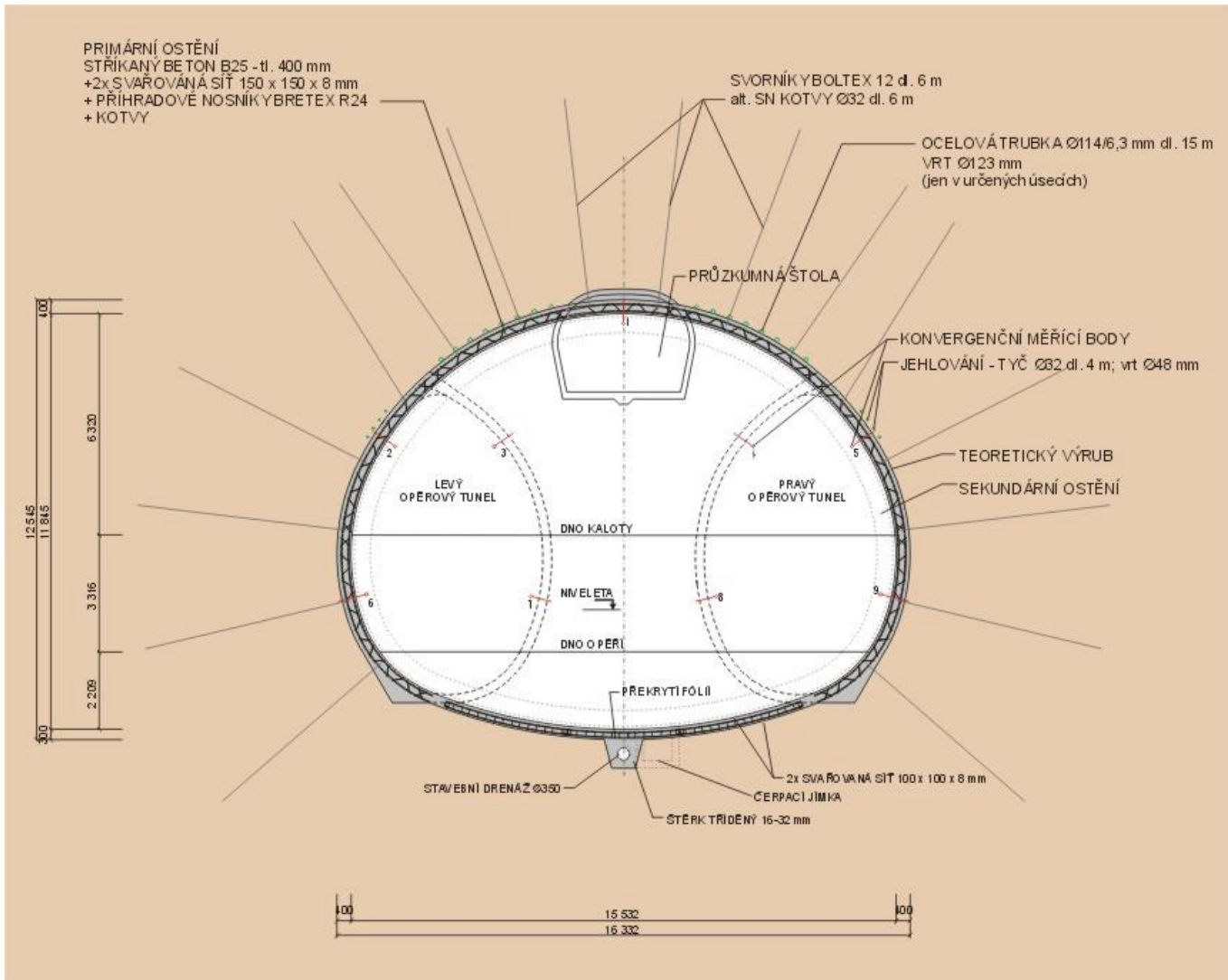
Způsoby řešení:

1. SN svorníky délky 6m doplněny 12 m (krátkodobé zastavení nárůstu deformací)
2. Rozšířena pata kaloty z 700 na 1200 mm (nepřineslo v podstatě žádný efekt)
3. Provádění mikropilot v patě ostění (komplikace se spojením s již hotovým primárním ostěním)
4. Realizace dočasné protiklenby (žebra) (mírné snížení deformací, ale krátký úsek) (řešení dalších deformačních problémů při bourání protiklenby a realizaci dalšího dílčího výrubu)
5. Co dále, když....?

Deformační problémy

Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu

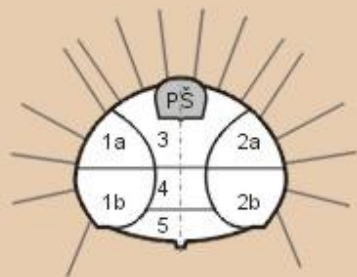
# VERTIKÁLNÍ ČLENĚNÍ



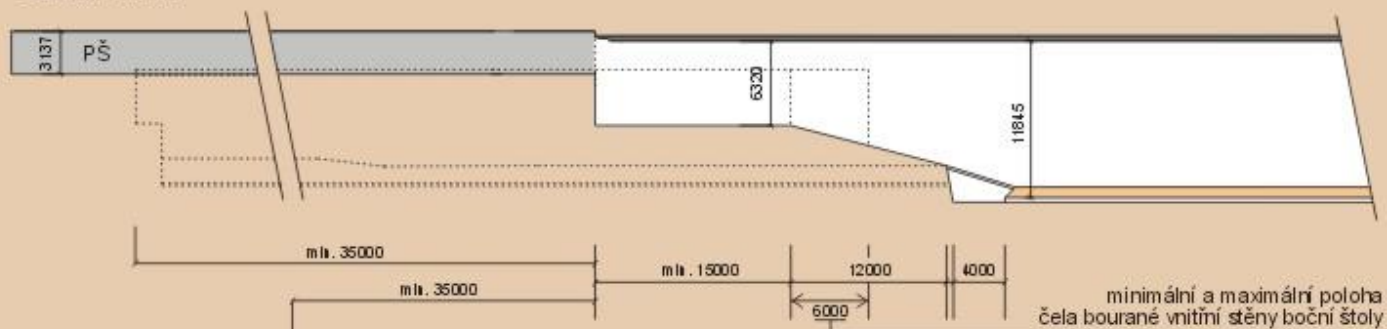
## Vertikální členění

## PŘÍČNÝ ŘEZ

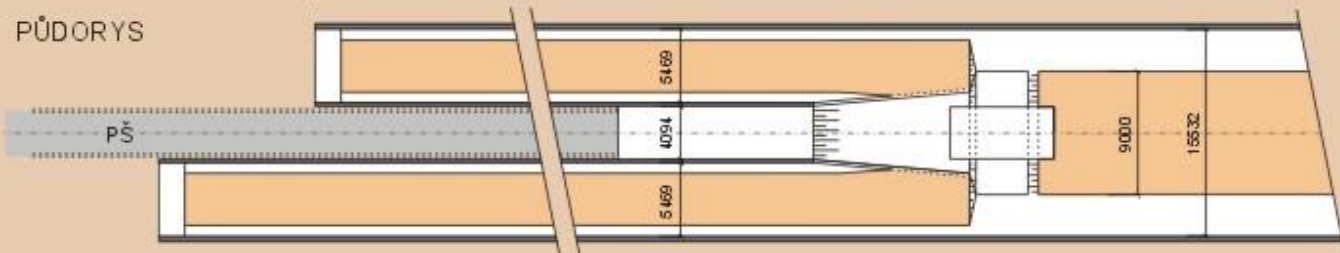
- PŠ průzkumná štola
- 1 levý opěrový tunel
- 2 pravý opěrový tunel
- 3 kalota
- 4 jádro
- 5 spodní klenba



## PODÉLNÝ ŘEZ



## PŮDORYS

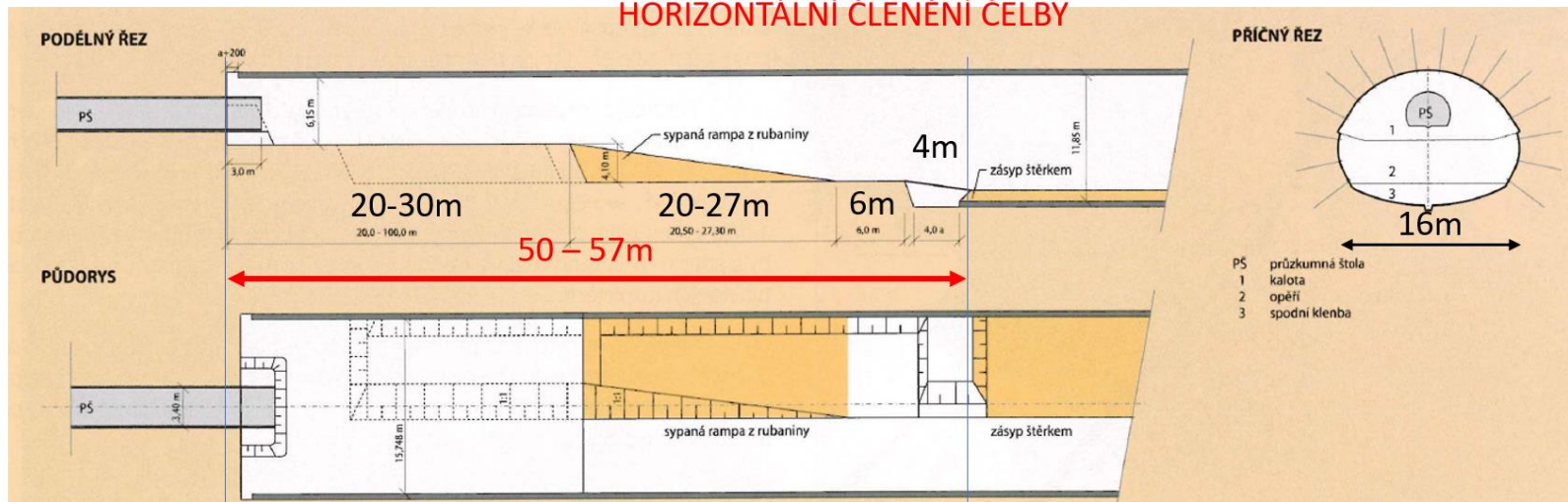


Vertikální členění

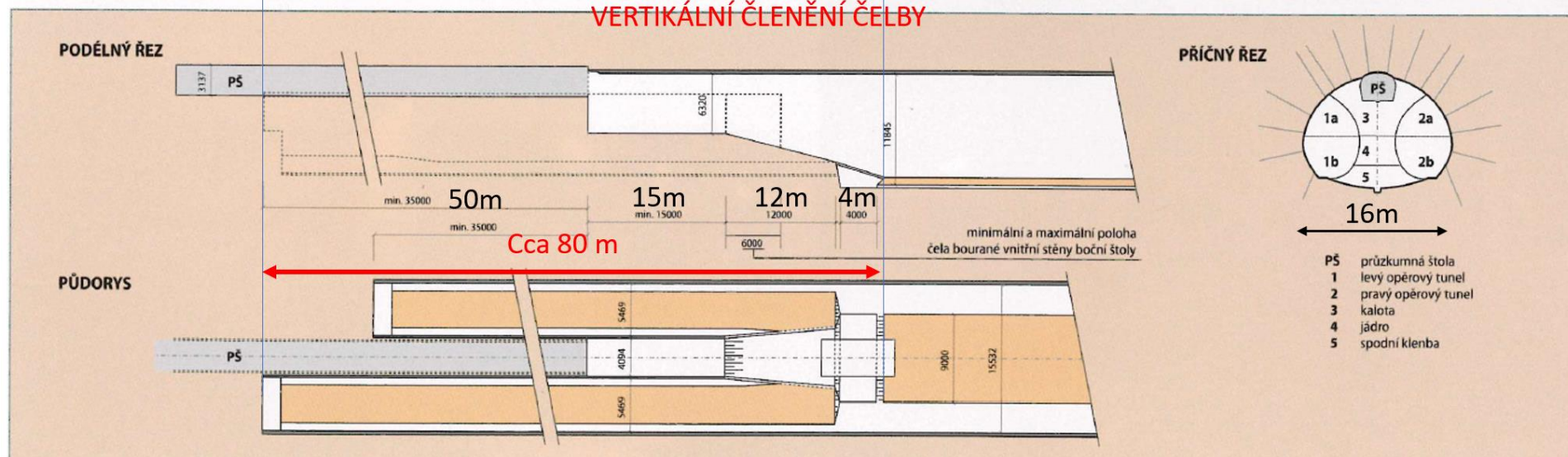


Vertikální členění

## HORIZONTÁLNÍ ČLENĚNÍ ČELBY



## VERTIKÁLNÍ ČLENĚNÍ ČELBY



Porovnání jednotlivých členění

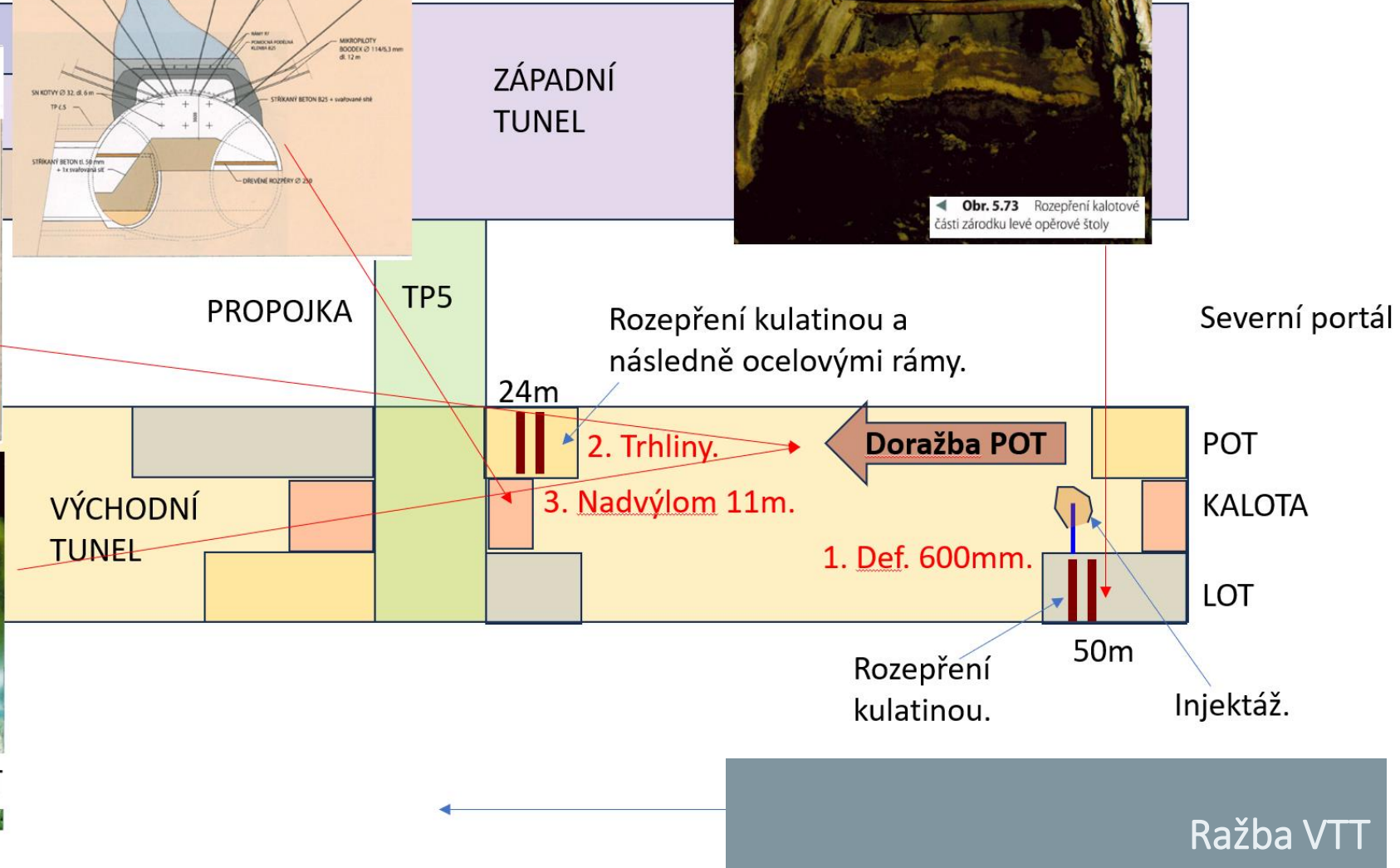
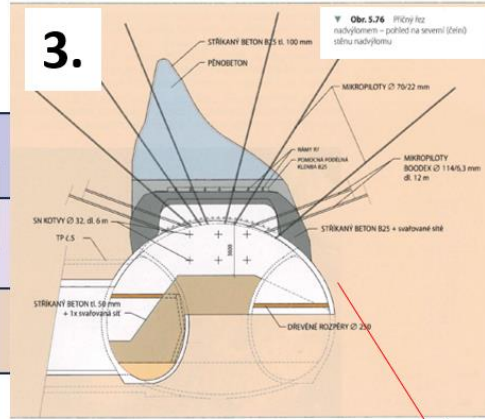
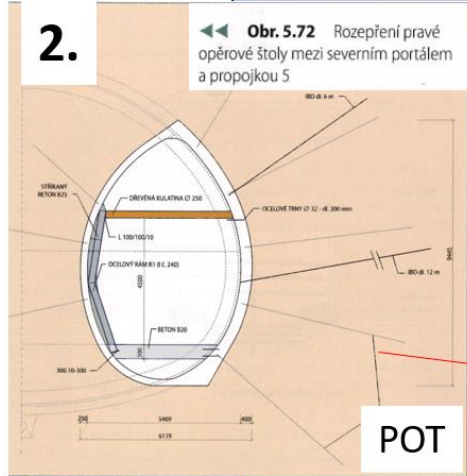


Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu

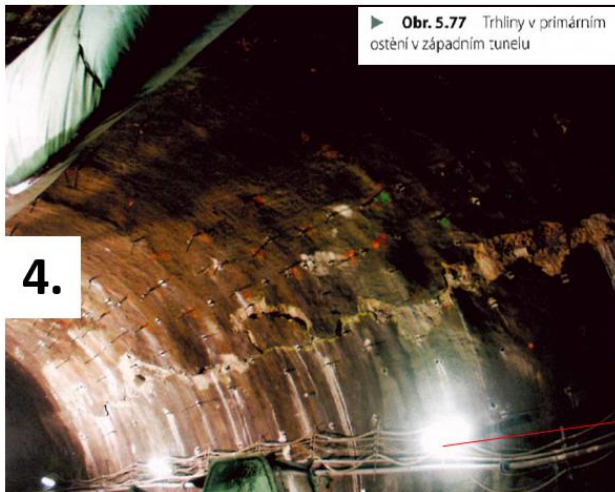
**RAŽBA VTT**

V úseku probíhalo několik ražeb najednou.

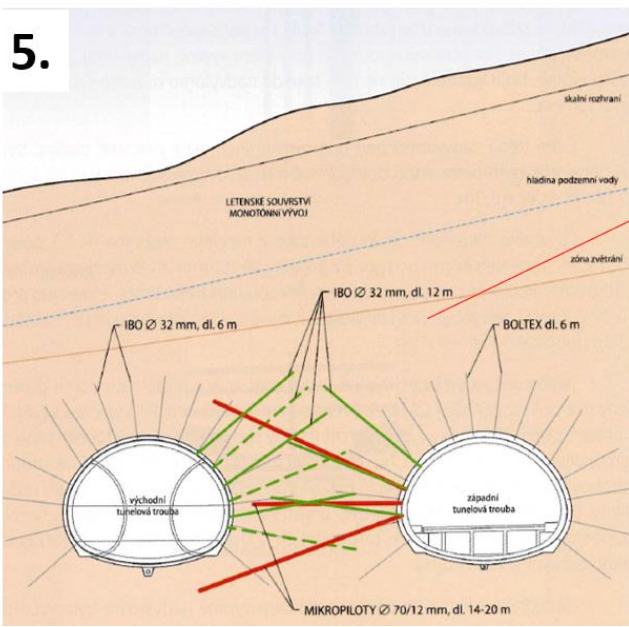
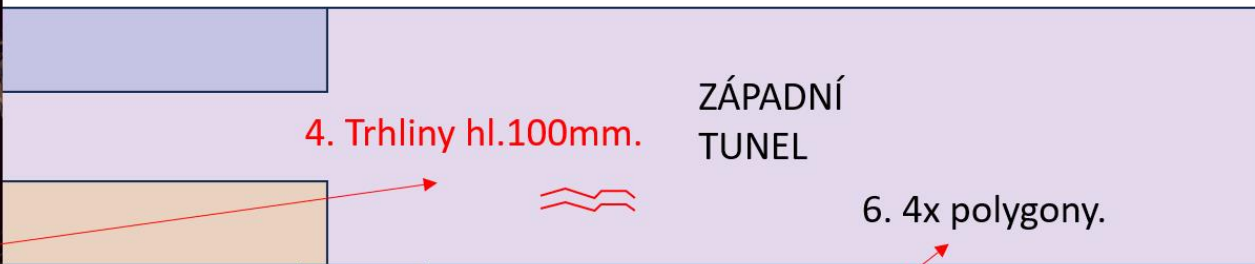
## OPATŘENÍ PŘI RAŽBĚ VÝCHODNÍHO TUNELU VERTIKÁLNÍM ČLENĚNÍM



## OPATŘENÍ PŘI RAŽBĚ VÝCHODNÍHO TUNELU VERTIKÁLNÍM ČLENĚNÍM



4.



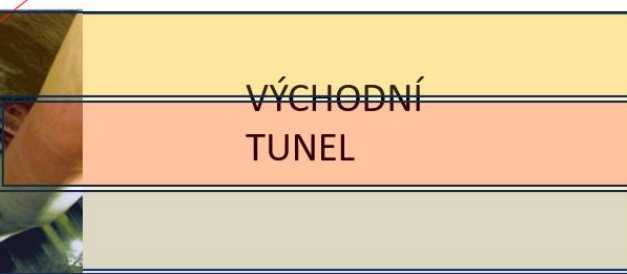
5.



5. Boltex, IBO, MKP ze ZTT a VTT.



6.



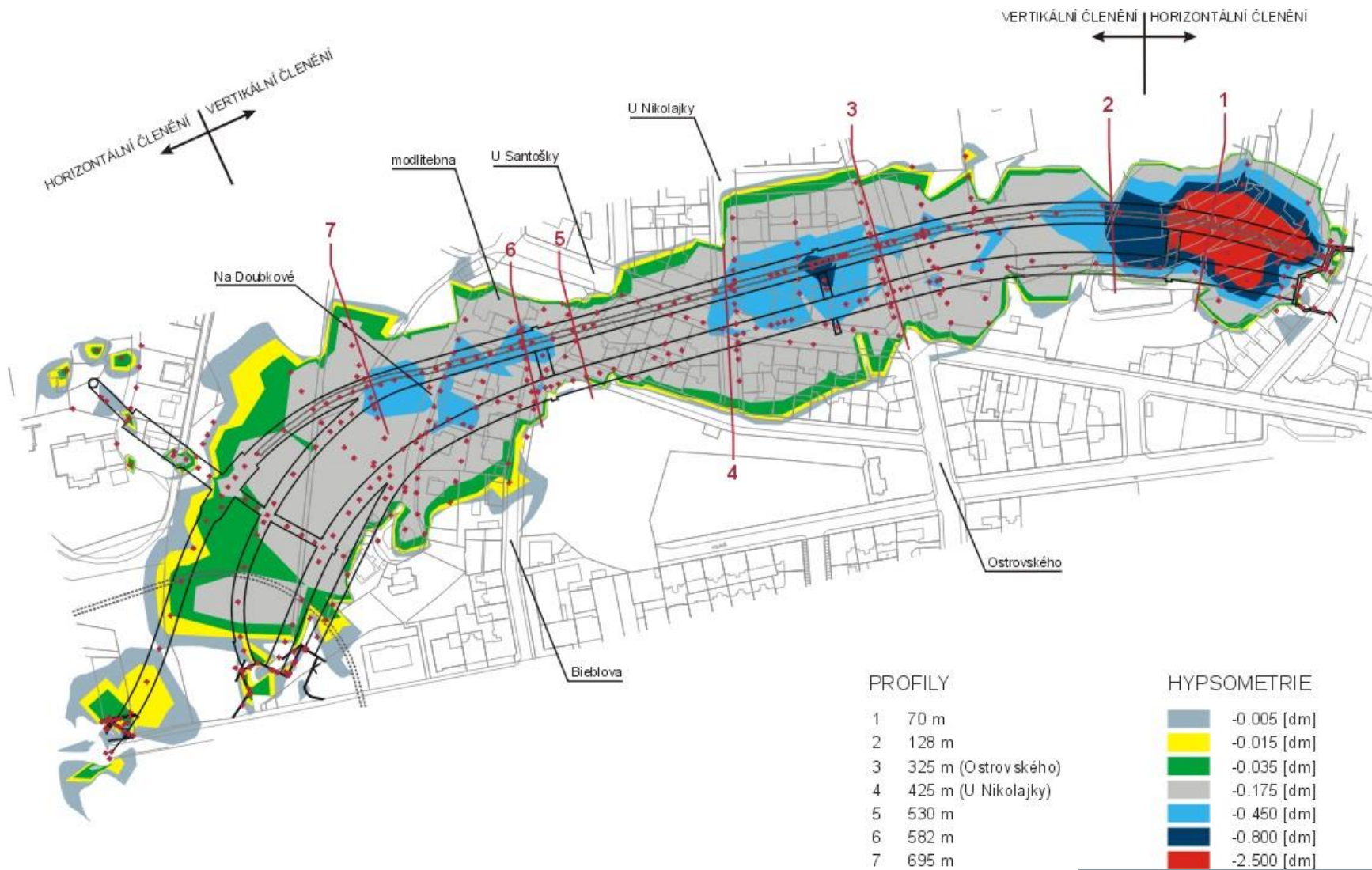
Severní portál

Ražba VTT



Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu

# ZÁVĚRY



Konečné izoplochy deformací



TABULKA DEFORMACÍ		PROFIL 1	PROFIL 2	PROFIL 3	PROFIL 4	PROFIL 5	PROFIL 6	PROFIL 7
Poloha řezu (od severního portálu ZTT)	[m]	70	128	325	425	530	582	695
Celkové nadloží	[m]	33	40	17	20	21	20	33
Skalní nadloží	[m]	28	37,5	9	18	18	18	32
Charakter. horn. vrstev, ordovické břidlice		LET	LET	LIB	LIB	ŘEV	LIB/ŘEV	LIB
Přetvárný modul	[MPa]	70 - 120	115 - 200	70 - 100	100 - 150	200 - 600	120/500	90 - 150
Celk. deformace terénu v ose VTT	[mm]	103	78	22	36	8	27	20
Celková deformace v ose ZTT po ražbě VTT (3 měs.), včetně štoly	[mm]	<b>288</b>	99	70	60	20	51	39
Celková deformace terénu v ose ZTT, bez štoly po ražbě VTT	[mm]	280	81	44	40	10	40	31
Celková deformace v ose ZTT po průzkumné štole	[mm]	8	18	26	20	10	11	8
Celková deformace v ose ZTT po ražbě ZTT, včetně štoly	[mm]	<b>215</b>	72	65	56	20	51	39
Extenzometry, kotva 1 m nad klenbou ZTT	[mm]	336	136	82	46	23	54	77
Celková deformace terénu v ose ZTT, v % předchozí položky	[%]	83,3	59,6	53,6	87	43,5	74	40,3
Celková deformace v ose ZTT po ražbě VTT (9 měsíců), včetně štoly	[mm]			73	63	22	53	41

Porovnání vlivu ražby VTT na již zrealizovanou ZTT (vliv geologických podmínek a minimální tloušťky horninového pilíře mezi tunely 12-19 m. **Nárůst deformací o 73 mm (34%).**

ČLENĚNÍ VÝRUBU	DÍLČÍ ČELBY	PLOCHA DÍLČÍHO VÝRUBU (m <sup>2</sup> )	SEDÁNÍ TERÉNU (%)	Průměrné celkové sedání terénu (mm)
HORIZONTÁLNÍ SEV. PORTÁL	KALOTA	135	60	96
	JÁDRO A DNO	30	40	64
VERTIKÁLNÍ	OPĚROVÉ TUNELY	90	55	16
	KALOTA	45	30	9
	DNO	30	15	5

Porovnání deformací

TABULKA DEFORMACÍ		PROFIL 1	PROFIL 2	PROFIL 3	PROFIL 4	PROFIL 5	PROFIL 6	PROFIL 7
Poloha řezu (od severního portálu ZTT)	[m]	70	128	325	425	530	582	695
Celkové nadloží	[m]	33	40	17	20	21	20	33
Skalní nadloží	[m]	28	37,5	9	18	18	18	32
Charakter. horn. vrstev, ordovické břidlice		LET	LET	LIB	LIB	ŘEV	LIB/ŘEV	LIB
Přetvárný modul	[MPa]	70 - 120	115 - 200	70 - 100	100 - 150	200 - 600	120/500	90 - 150
Celk. deformace terénu v ose VTT	[mm]	<b>103</b>	78	22	36	8	27	20
Celková deformace v ose ZTT po ražbě VTT (3 měs.), včetně štoly	[mm]	288	99	70	60	20	51	39
Celková deformace terénu v ose ZTT, bez štoly po ražbě VTT	[mm]	280	81	44	40	10	40	31
Celková deformace v ose ZTT po průzkumné štole	[mm]	8	18	26	20	10	11	8
Celková deformace v ose ZTT po ražbě ZTT, včetně štoly	[mm]	<b>215</b>	72	65	56	20	51	39
Extenzometry, kotva 1 m nad klenbou ZTT	[mm]	336	136	82	46	23	54	77
Celková deformace terénu v ose ZTT, v % předchozí položky	[%]	83,3	59,6	53,6	87	43,5	74	40,3
Celková deformace v ose ZTT po ražbě VTT (9 měsíců), včetně štoly	[mm]			73	63	22	53	41

Porovnání účinku vertikálního členění v úvodním úseku ražeb od severního portálu (ZTT – Horizontální, VTT – vertikální).

**Rozdíl v deformacích o 112 mm (52%)** i přes významné komplikace s horninovým pilířem.

ČLENĚNÍ VÝRUBU	DÍLČÍ ČELBY	PLOCHA DÍLČÍHO VÝRUBU (m <sup>2</sup> )	SEDÁNÍ TERÉNU (%)	Průměrné celkové sedání terénu (mm)
HORIZONTÁLNÍ SEV. PORTÁL	KALOTA	135	60	96
	JÁDRO A DNO	30	40	64
VERTIKÁLNÍ	OPĚROVÉ TUNELY	90	55	16
	KALOTA	45	30	9
	DNO	30	15	5

Porovnání deformací

TABULKA DEFORMACÍ		PROFIL 1	PROFIL 2	PROFIL 3	PROFIL 4	PROFIL 5	PROFIL 6	PROFIL 7
Poloha řezu (od severního portálu ZTT)	[m]	70	128	325	425	530	582	695
Celkové nadloží	[m]	33	40	17	20	21	20	33
Skalní nadloží	[m]	28	37,5	9	18	18	18	32
Charakter. horn. vrstev, ordovické břidlice		LET	LET	LIB	LIB	ŘEV	LIB/ŘEV	LIB
Přetvárný modul	[MPa]	70 - 120	115 - 200	70 - 100	100 - 150	200 - 600	120/500	90 - 150
Celk. deformace terénu v ose VTT	[mm]	103	78	22	36	8	27	20
Celková deformace v ose ZTT po ražbě VTT (3 měs.), včetně štoly	[mm]	288	99	70	60	20	51	39
Celková deformace terénu v ose ZTT, bez štoly po ražbě VTT	[mm]	280	81	44	40	10	40	31
Celková deformace v ose ZTT po průzkumné štole	[mm]	8	18	26	20	10	11	8
Celková deformace v ose ZTT po ražbě ZTT, včetně štoly	[mm]	215	72	65	56	20	51	39
Extenzometry, kotva 1 m nad klenbou ZTT	[mm]	336	136	82	46	23	54	77
Celková deformace terénu v ose ZTT, v % předchozí položky	[%]	83,3	59,6	53,6	87	43,5	74	40,3
Celková deformace v ose ZTT po ražbě VTT (9 měsíců), včetně štoly	[mm]			73	63	22	53	41

ČLENĚNÍ VÝRUBU	DÍLČÍ ČELBY	PLOCHA DÍLČÍHO VÝRUBU (m <sup>2</sup> )	SEDÁNÍ TERÉNU (%)	Průměrné celkové sedání terénu (mm)
HORIZONTÁLNÍ SEV. PORTÁL	KALOTA	135	60	96
	JÁDRO A DNO	30	40	64
VERTIKÁLNÍ	OPĚROVÉ TUNELY	90	55	16
	KALOTA	45	30	9
	DNO	30	15	5

Porovnání účinku vertikálního členění v úvodním úseku ražeb od severního portálu (ZTT – Horizontální, VTT – vertikální)

**V případě ZTT v dalším úseku celkové deformace 4,5x nižší než u portálu.**

**V případě VTT v dalším úseku celkové deformace 3,5 nižší než u portálu.**

(kvalita horninového prostředí, výška nadloží)

**Proč u VTT nižší?**

Porovnání deformací



## 1. Horizontální členění výrubu

- Efektivní, rychlý a „levný“ způsob realizace podzemního díla
- Dodatečná opatření při řešení deformačních problémů mohou mít jen omezený (pozitivní) vliv
- Realizace mikropilot v patě kaloty při **již zrealizovaném primárním ostění** značně komplikovaná (zajištění přenosu sil ostění – mikropilota)
- Diskutabilní problematika rychlosti uzavírání profilu v návaznosti na časové a finanční podmínky projektu (vazba na typ smluvního vztahu)

*(Postupné získávání informací z GM, predikce dalšího vývoje - po skončení projektu obvykle mnoho osob ví, jak se to mělo dělat)*

## 2. Vertikální členění výrubu

- Významné omezení deformací a zvýšení stability čelby na úkor doby realizace a času provádění
- Prostorové komplikace v návaznosti na použitou mechanizaci
- Pečlivé řešení detailů a dodržování tech. postupů

Závěry

Tunel Mrázovka – efektivnost členění výrubu

**DĚKUJI ZA POZORNOST**