

Realita versus matematické modelování

zkušenosti z projektů AMBERG Engineering Brno a.s.

Ing. Jiří Pechman

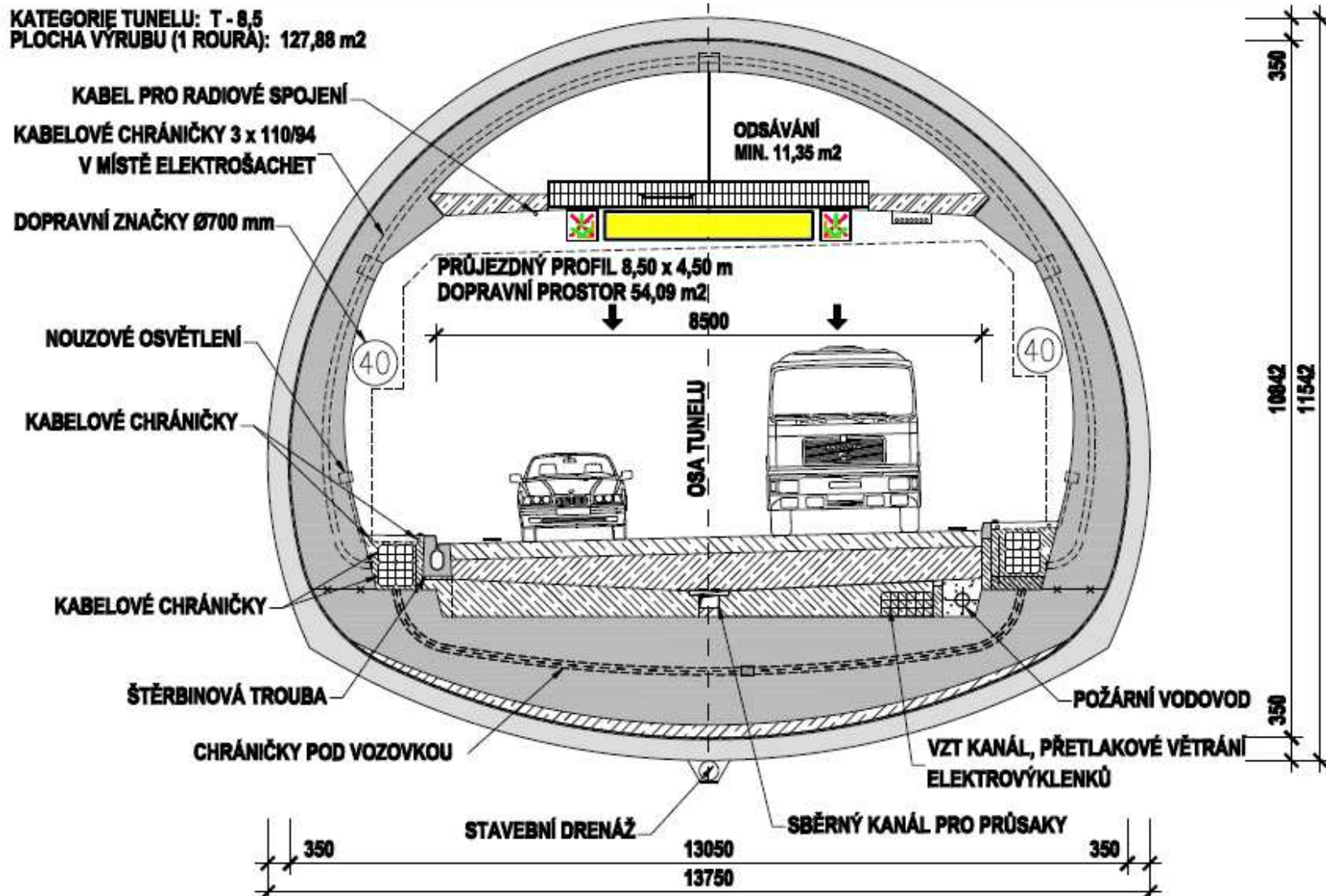
Ing. Lubomír Kosík

VMO Brno - Královopolský tunel

Průzkumné štoly

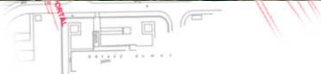
Ražba tunelu, primární ostění

Výchozí příčný řez: kategorie T-8,5, plocha výrubu 127,88 m²

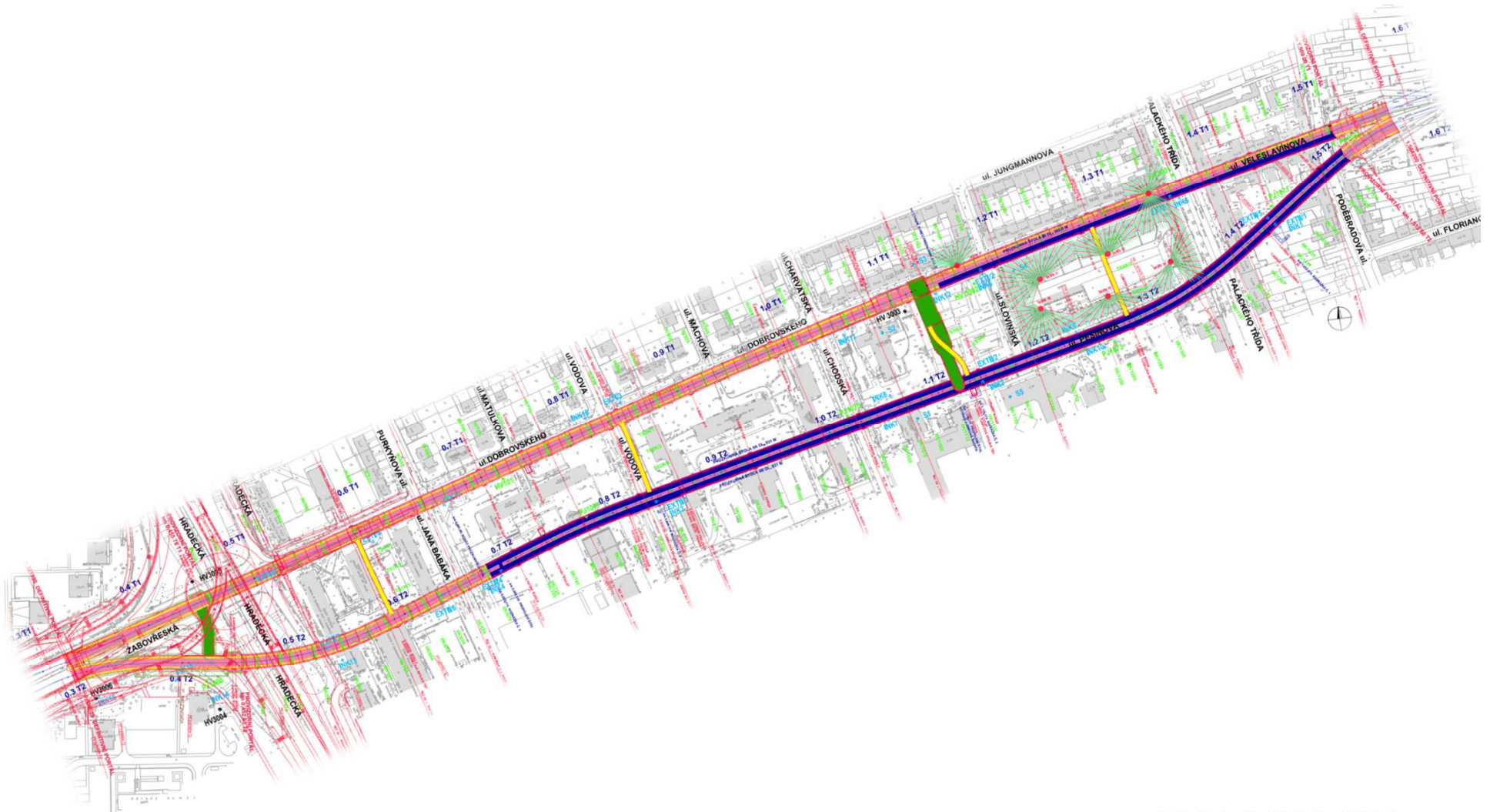


Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha, 26. března 2014

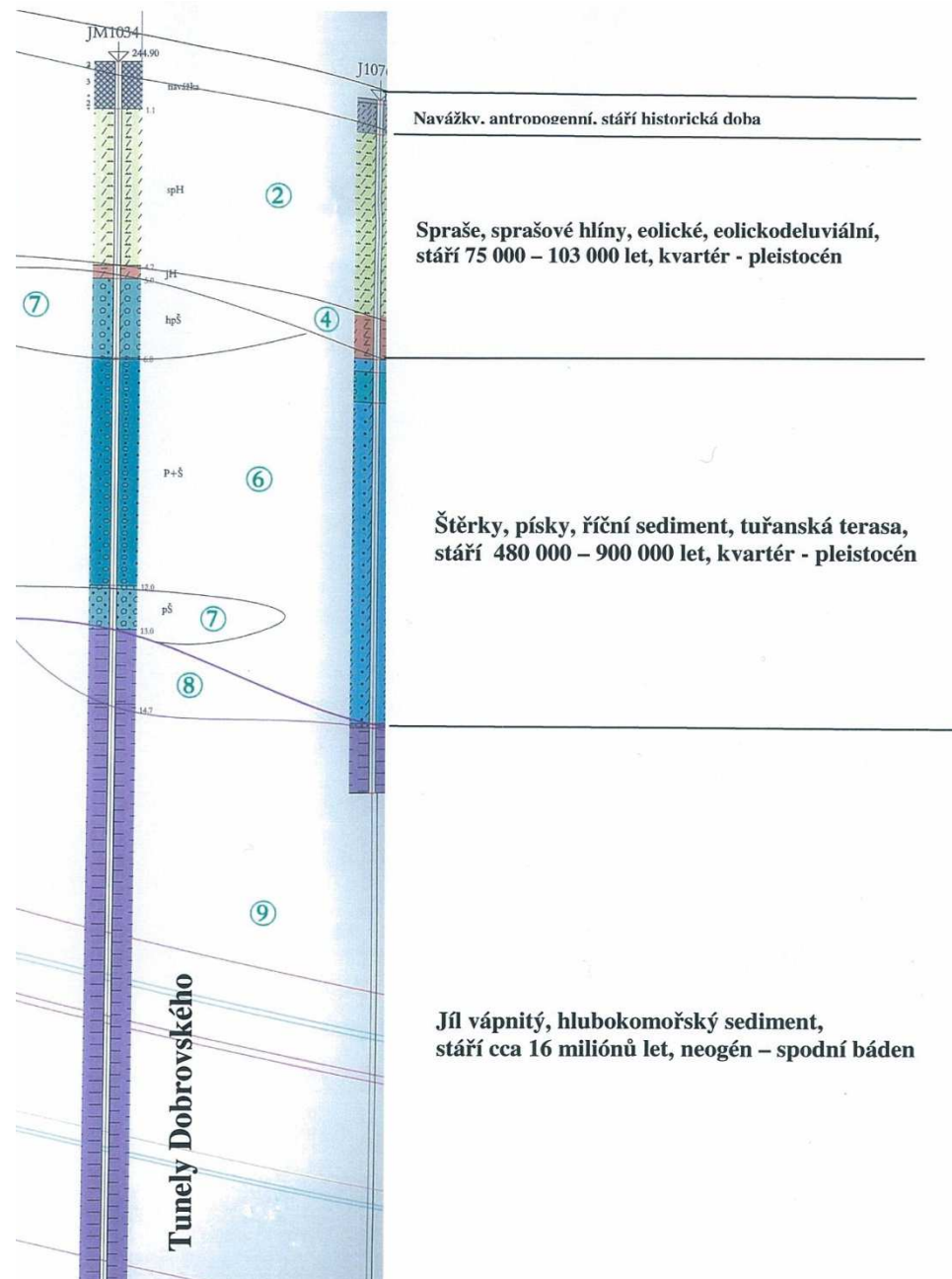
VMO Dobrovského B, Královopolský tunel - Situace



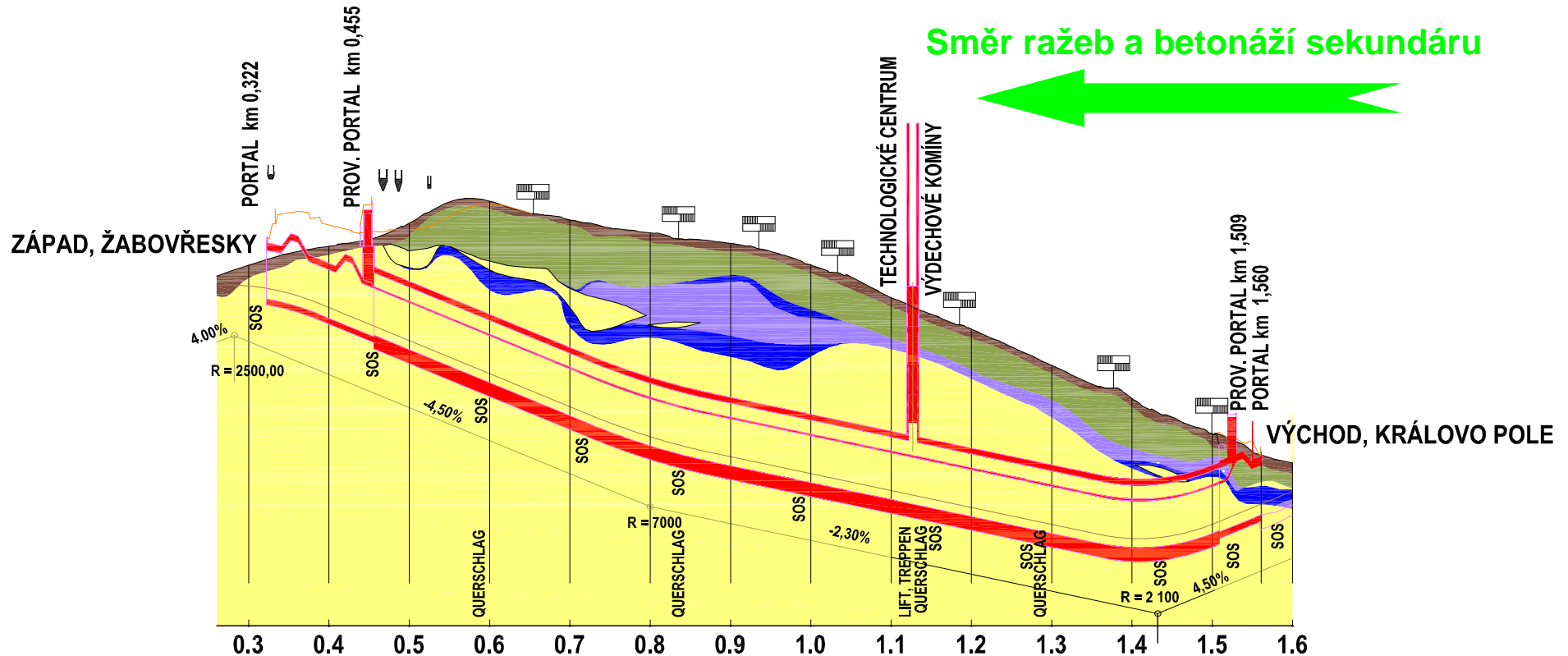
VMO Dobrovského B, Královopolský tunel - Situace



Geologická skladba lokality



Královopolský tunel – podélný profil, geologie



Délka tunelových úseků	Hloubený Žabovřesky	Ražený	Hloubený Královo Pole	Celkem
Tunel I.	133,86 m	1 053,22 m	51,80 m	1 238,88 m
Tunel II.	148,61 m	1 059,55 m	51,60 m	1 259,76 m

Optimalizační výpočty a analýzy

1996 a 1997 Optimalizační výpočty - vstupní modelování FLAC 3.3

- **Archivní data** a **zkušenosti z ražeb primárních kolektorů** v oblasti ul. Křenová – Dornych
- Analýzy materiálových modelů
- Tunel I. - analýza v deseti příčných řezech trasy

1998 Optimalizační výpočty - poklesové kotliny a deformace

- Vlastnosti jílu - **archivní data** a **zkušenosti z ražeb primárních kolektorů** v oblasti ul. Křenová – Dornych
- Tunel I. – analýza a optimalizace členění výrubu :
 - Plný profil
 - Horizontální členění výrubu – ve třech variantách
 - S jádrem a přitěžovací lavicí - ve dvou variantách
 - S horizontálně-vertikálním členěním výrubu - paramentstollen (stávající způsob)
- Analýza ražeb i materiálových modelů

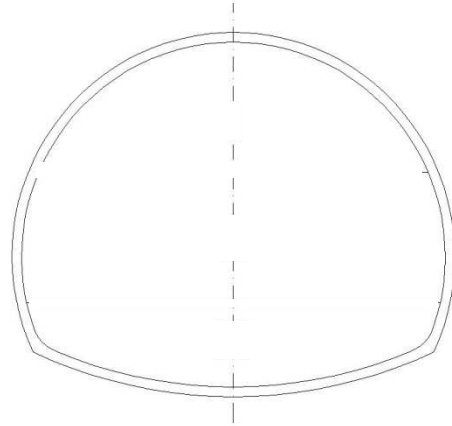
Optimalizační výpočty a analýzy

1998 Optimalizační výpočty - deformace, poklesy, vnitřní síly v ostění

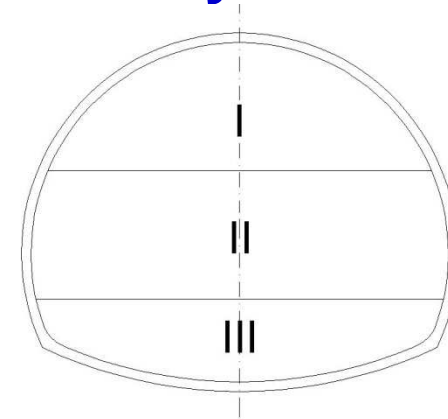
- Vlastnosti jílu – **výsledky z průzkumných vrtů** předběžného IG průzkumu lokality Dobrovského, **archivní data** a z ražeb primárních kolektorů v oblasti ul. Křenová – Dornych
- Jíly – materiálový model Mohr-Coulomb
- Tunel I. - analýza na vybraných příčných řezech pro technologii ražby s členěním výrubu :
 - Plný profil
 - Horizontální členění výrubu s podepřením pat kaloty podélnými prahy
 - S jádrem a přitěžovací lavicí - ve dvou variantách
 - S **horizontálně-vertikálním členěním výrubu - paramentstollen** (stávající způsob)
- Lze dosáhnout **snížení objemové ztráty až na 2%**.
- Poznatky z provedených analýz byly také podkladem pro **návrh podrobného IG průzkumu**

Některé z prověřovaných variant členění výrubu

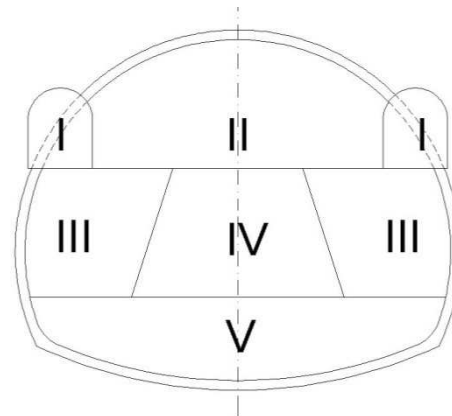
Plnoprofilová
ražba,
Perforex



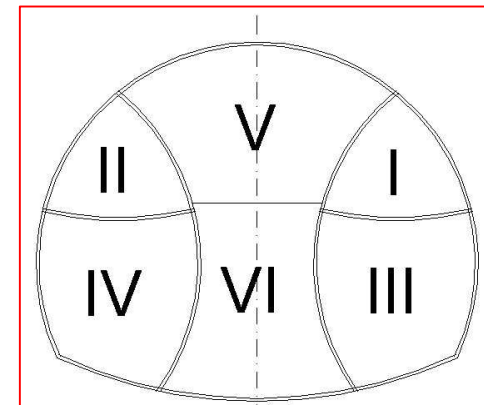
Horizontální
členění



Opěrné kalotové
štolý, přitěžovací
jádro



**Horizontálně-
vertikální
členění**



Závěry optimalizačních výpočtů a analýz

1. Pro optimální data – realizovat podrobný IG průzkum

- **Soustředěný IG průzkum z povrchu.**
- **Ražba průzkumných štol** - odběr laboratorních vzorků, polní zkoušky a měření ve štolách a v rozrážkách.
- Důkladný **monitoring procesů indukovaných ražbou** štol.
- **Ověření optimálních technologií** a účinnosti technických opatření.

2. Matematické modelování

- Matematické modelování – k dispozici **FLAC ve 2D** – využít možnosti programu.
- Využívat FISH-funkci pro individuální **programování modelovaných procesů.**
- Informace o deformacích v okolí výrubu umožní modelovat 3D ve 2D.
- Materiálové **vlastnosti neogenních jíílů řešit Mohr–Coulombovým modelem.**
- Úskalí modelu - v masívu. **Poissonovo číslo versus reziduální horizontální napětí.**
- Vhodné uplatnit **změny modulů pružnosti a deformace v závislosti na napětí.**

Závěry optimalizačních výpočtů a analýz

3. Členění tunelového výrubu

- Uplatněním horizontálně-vertikálního členění výrubu lze minimalizovat negativní důsledky ražby v daném prostředí – **analýzy prokazují, že velikost poklesové kotliny lze takto snížit na objemovou ztrátu 2% a méně!**
- Jako důsledek prvoražby dílčích štol (kalotové patní), proběhne v okolí tunelového výrubu **až 40% i více** ze všech celkových deformací, připadajících na ražbu celého profilu.

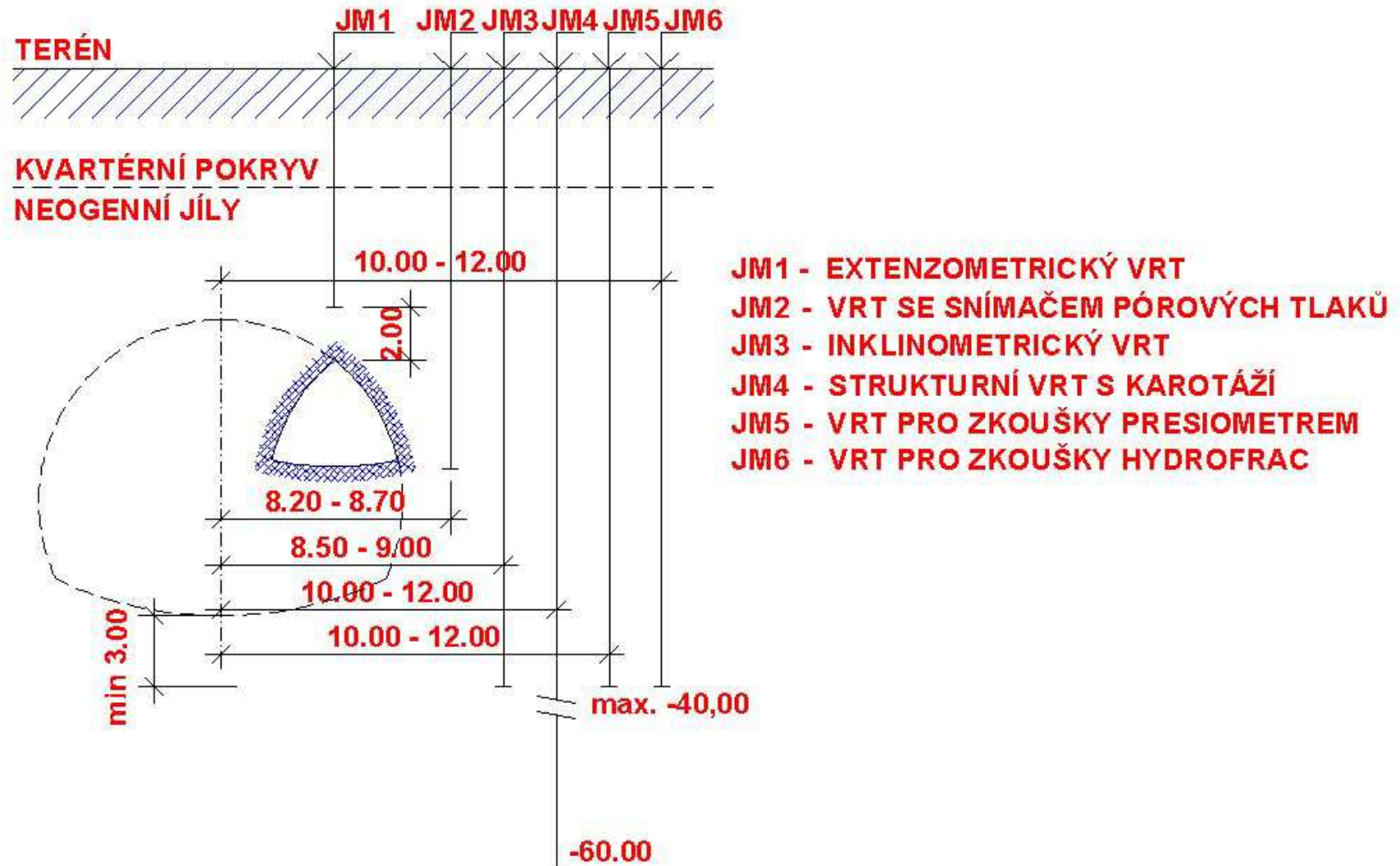
4. Konstrukce primárního ostění

- Jsou **nepřípustné prodlevy** ve zhotovení primárního ostění za ražbou.
- **Ostění vždy uzavřené i v počvě** – jak u dílčích štol, tak i plného výrubu tunelu.
- Konstrukce primárního ostění musí umožňovat **aktivaci bezprostředně po osazení**. Nedostatečná aktivace je zdrojem zvýšených poklesů a deformací.
- Optimální konstrukce primárního ostění – kombinace **ocelových rámců** (pro „okamžitou aktivaci“ a zajištění dlouhé deformační dráhy při dosažení mezní plastické únosnosti) **a stříkaného betonu se sítěmi**.
- Možné excesy z důvodu dlouhodobých procesů deformací a konvergencí vyloučit konstrukcí primárního ostění s „**dlouhou deformační dráhou**“ – využitím **pružněplastické nebo plastické únosnosti prvků ocelobetonového ostění**.

Podrobný IG průzkum – průzkumné štoly



Podrobný IG průzkum – vrty soustředěného průzkumu



Některé poznatky z ražby průzkumných štol

Střípkovitá rozpadavost jílu: **prakticky nezastižena,**

Konvergence : **nepřekročily cca 25 až 35 mm,**

Projevy deformací: **dlouhodobé (až 1 rok),**

Vzdouvání počvy: **odlehčení výrubem aktivované dynamickými účinky dopravy,**

Pórové tlaky: **bez vlivu**
– změny odpovídaly geonapjatosti,

Bobtnavost: **prakticky bez projevů (laboratorně 8–15 %),**

Reziduální napětí: **horizontální - směrově orientované,**

Výsledky extenzometrických měření - údaje pro „naladění“ postupu ražeb v matematickém modelu

Měření extenzometru JM1057

Staničení [km]: 1,42830

Štola IIa, dvorek v Palackého třídě

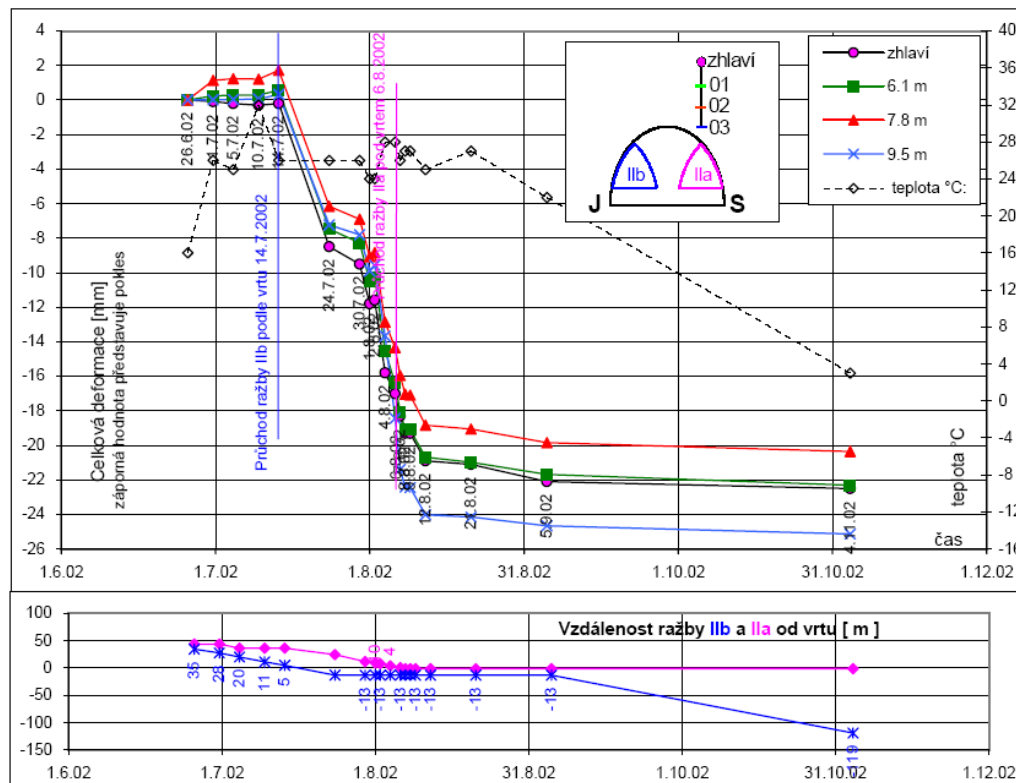
Celkový pokles terénu a kotev

Zákl. měření: 26.6.02

Výsledky: stav k 4.11.02

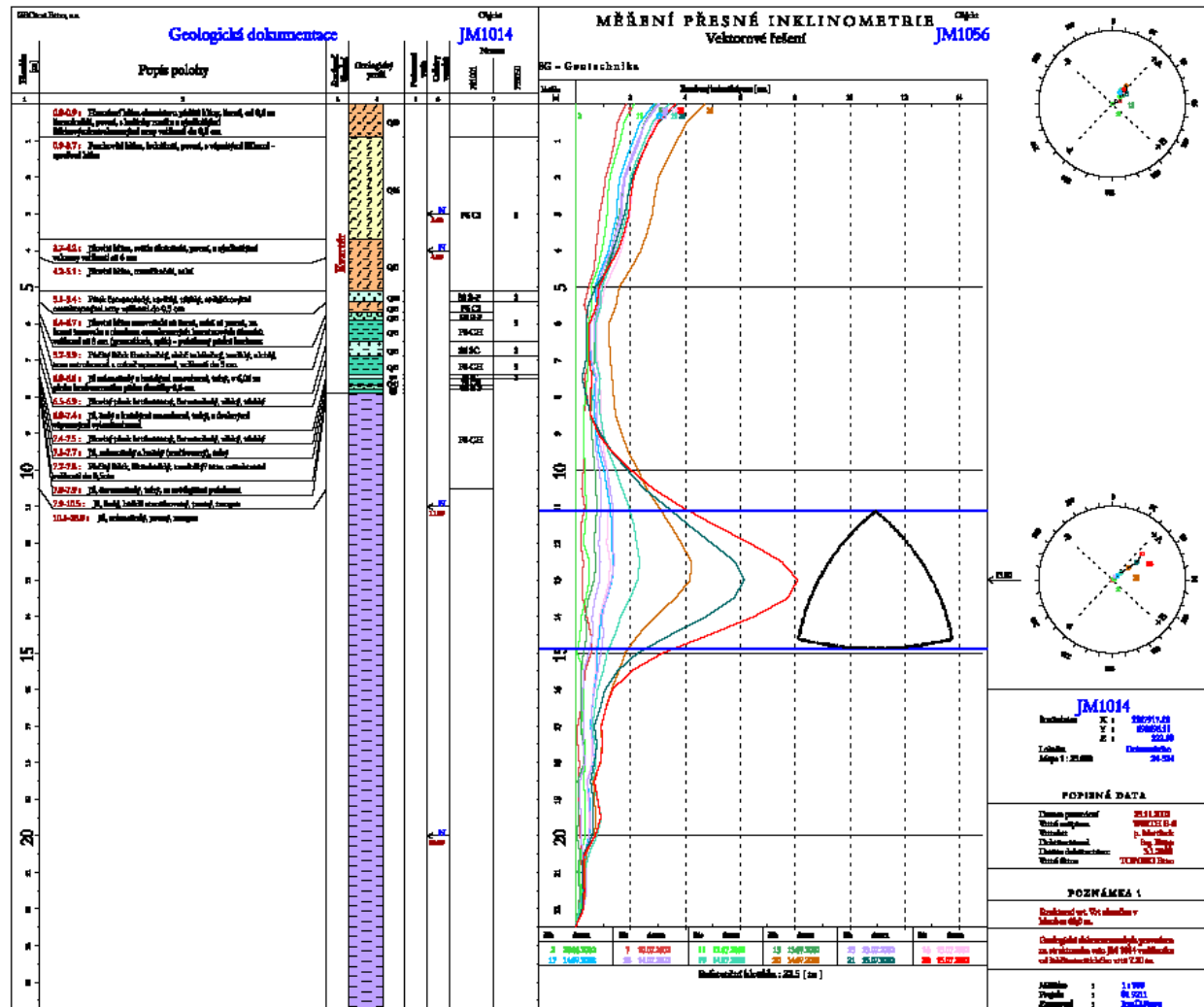
Pokles se výrazně zpomalil.

4.11.02 byly zjištěny následující poklesy: terén: 22,5 mm, kotva č.1: 22,3 mm, č.2: 20,4 mm, č.3: 25,1 mm.



Výsledky inklinometrických měření

- údaje pro „naladění“ postupu ražby v matematickém modelu



Kriteria výběru polohy vyšetřovaných příčných řezů

Poloha příčných řezů volena v závislosti na :

- Charakteru a poloze povrchové zástavby.
- Umístění a poloze soustředěného IG průzkumu na povrchu a ostatních monitorovaných bodech a profilech na povrchu a na budovách.
- Geotechnických parametrech tunelového prostředí - neogenních jíílů, dle vlastností rozdělených do čtyř kvazihomogenních úseků (A, B, C, D).
- Výšce nadloží nad tunelovou konstrukcí.
- Skutečných projevech deformací na povrchu, budov i ve štolách při ražbě průzkumných štol.

Situování analyzovaných příčných řezů



V každém tunelu bylo řešeno 14 příčných řezů

Geotechnické parametry - profil Palackého - Dobrovského

Staničení profilu	tunelová trouba	název profilu														
1,355	I	Palackého - Pěšinova / Dobrovského														
nadmožská výška terénu	m n.m.	225,7														
hladina podzemní vody	naražená	m (pod terénem)	8,0		m n.m. (úroveň hladiny)	217,7										
	ustálená		–			–										
G typ		G.1.2	G.2.1	G.3.1			G.4									
název zeminy		navážka hlinitá	sprašové hlíny	jlovitá hlína až písčité jíly			jíly, neogén									
klasifikace dle ČSN 73 1001			F6CI	F2CG			F8 CV									
báze vrstvy	m	0,7	5,9	8,2			Hloubka pod povrchem	m	15	20	30	40	50	60		
mocnost	m	0,7	5,2	2,3			součinitel konsolidace c_v	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	4.94×10^{-5}							
objemová hmotnost zeminy	ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1800	1950	1955			$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1830	1843	1786	1877	1899	1936		
modul deformace	E_{def}	MPa	6,0	2,7	5,0			obory napětí	0,2 - 0,3	MPa	3,7	...	...	...	...
									0,3 - 0,4	MPa	4,9	7,1	...	...	...	...
									0,4 - 0,5	MPa	5,3	7,4	...	...	...	...
									0,5 - 0,6	MPa	5,8	7,5	8,6	...	...	...
									0,6 - 0,7	MPa	6,1	8,1	8,9	...	...	...
									0,7 - 0,8	MPa	6,5	12,7	7,8	12,2	11,3	10
									> 0,8	MPa	7	13	7,8	12,2	10,8	9
modul pružnosti	E_p	MPa	30	45	50			obory napětí	> 0,5	MPa	116	185	140	185	185	180
									0,5 - 0,4	MPa	116	175	135	175	175	170
									0,4 - 0,3	MPa	110	155	120	155	155	150
									0,3 - 0,2	MPa	80	105	90	105	105	100
									0,2 - 0,1	MPa	43	70	65	70	70	65
									0,1 - 0	MPa	19	30	25	30	30	25
								E_{50}/E_{def}	1	0,602						
Poissonovo číslo	ν		1	0,35	0,40	0,42			1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	
smyková pevnost	efektivní soudržnost	c_{ef}	kPa	10	2	15			kPa	25	26	20	21	26	27	
	efektivní úhel vnitřního tření	φ_{ef}	°	25	28	18			°	26	22	17	19	20	20	
	totální soudržnost	c_u	kPa						kPa	60	60	35	40	65	68	
	totální úhel vnitřního tření	φ_u	°						°	5	11	0	4	15	17	
Dilatance		°	6	2	1			°	0							

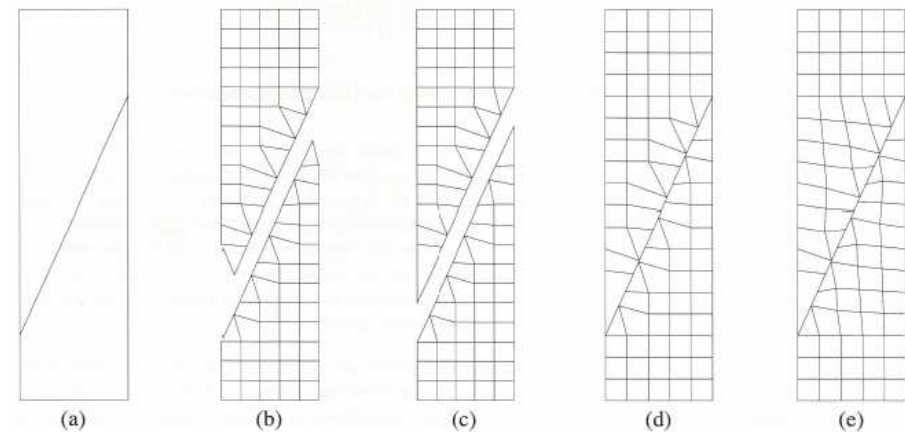
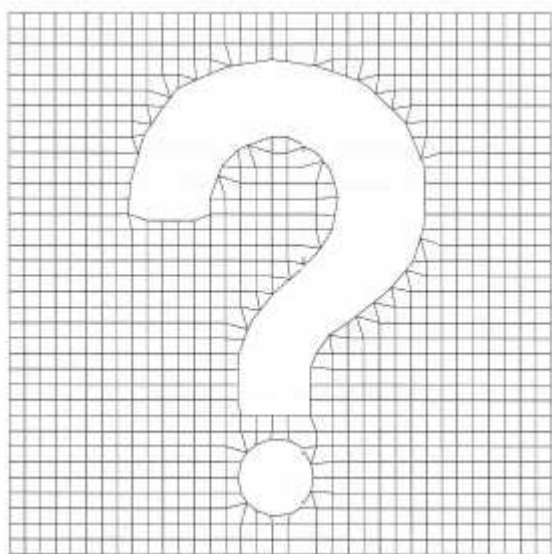
Výpočetní program FLAC

Fast Lagrangian Analysis of Continua

Version 3.3

Rychlá lagrangeovská analýza spojitého prostředí

Metoda sítí – základ je pravoúhlá síť tvarově a rozměrově modifikovatelná

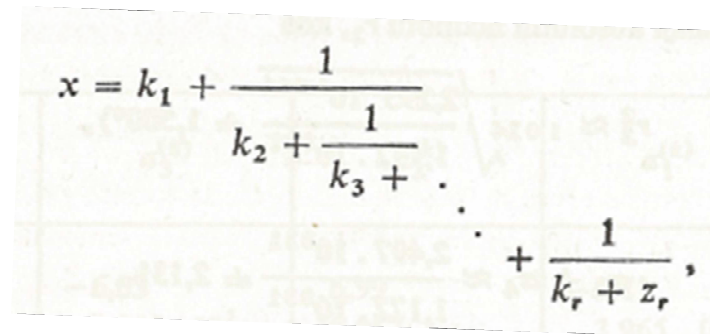


Výpočetní program FLAC – metoda sítí

Metoda sítí - z hlediska matematického řešení se jedná o přímý výpočet jednoduchých kořenů reálných algebraických rovnic. Výpočet probíhá postupně po řadách a sloupcích (sítě).

Přednost = jednoduché algebraické (lineární) rovnice, přímý výpočet.

Nástroj výpočtu – **Lagrangeova metoda** – principiálně se hledají kořeny rovnic v pravděpodobném intervalu a mezích požadované přesnosti ve tvaru **řetězového zlomku**:


$$x = k_1 + \frac{1}{k_2 + \frac{1}{k_3 + \dots + \frac{1}{k_r + z_r}}}$$

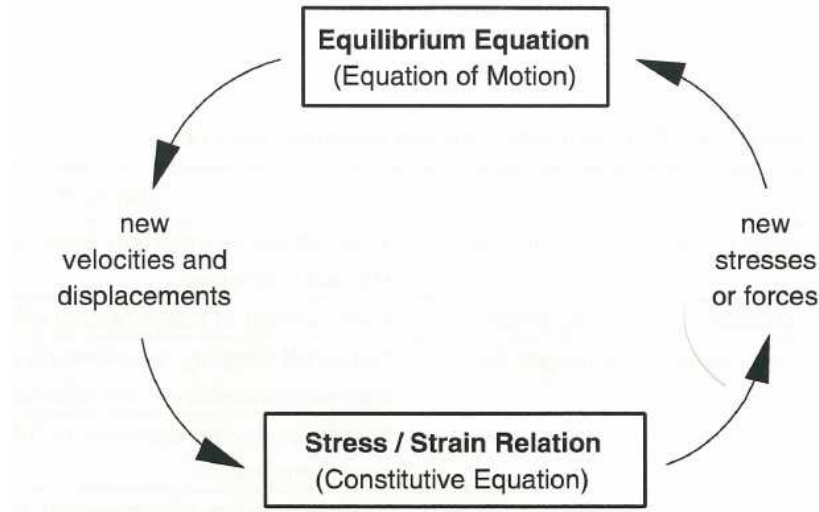
Metoda konečných prvků – z hlediska matematického řešení se jedná o **variační počet** = hledání funkcí určitých vlastností, které vyhovují daným integrálům a nabývají extrémních hodnot (minimum, maximum) = **hledání funkcionálu** !

Výsledkem jsou v principu **! pravděpodobné kořeny** !

Existuje více metod řešení: **Galerkinova, Ritzova, Kantorovičova, Trefftzova,**

Výpočetní program FLAC – přírůstkový princip

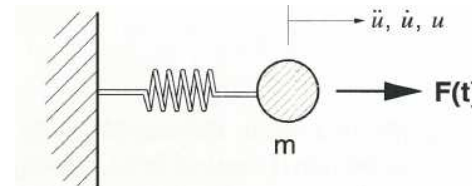
Cyklus výpočtů:



Přírůstkový princip je založen na výchozích fyzikálních vlastnostech uplatněných materiálů.

Fyzikální rovnice síly:

$$m \frac{d\dot{u}}{dt} = F$$



Rychlost podélného vlnění v daném materiálu:

$$C_p = \sqrt{\frac{K + 4G/3}{\rho}}$$

kde $K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$ $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$

Časový interval Δt pro stanovení velikosti síly F (v uzlech sítě) v dílčím cyklu:

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{C}$$

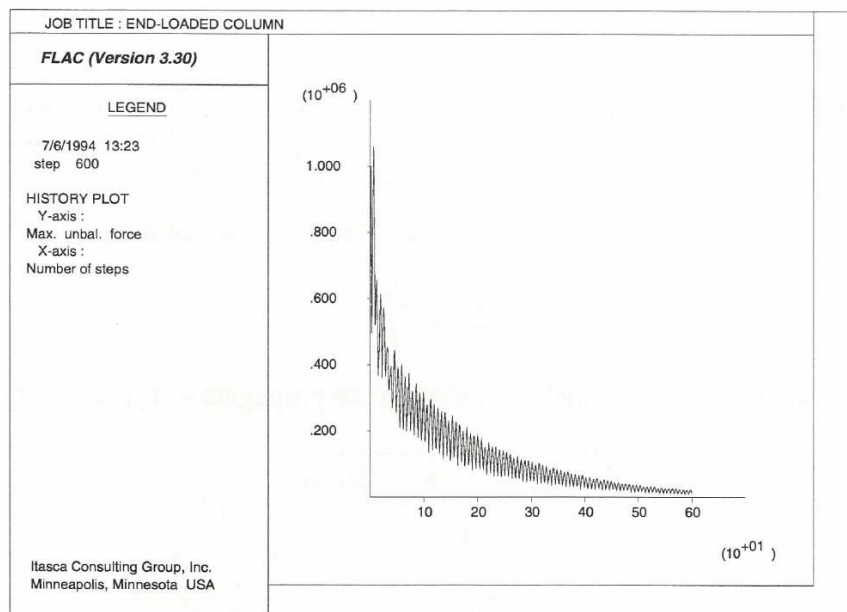
kde Δx = nejmenší vzdálenost mezi uzly sítě

Výpočetní program FLAC – historie přírůstků

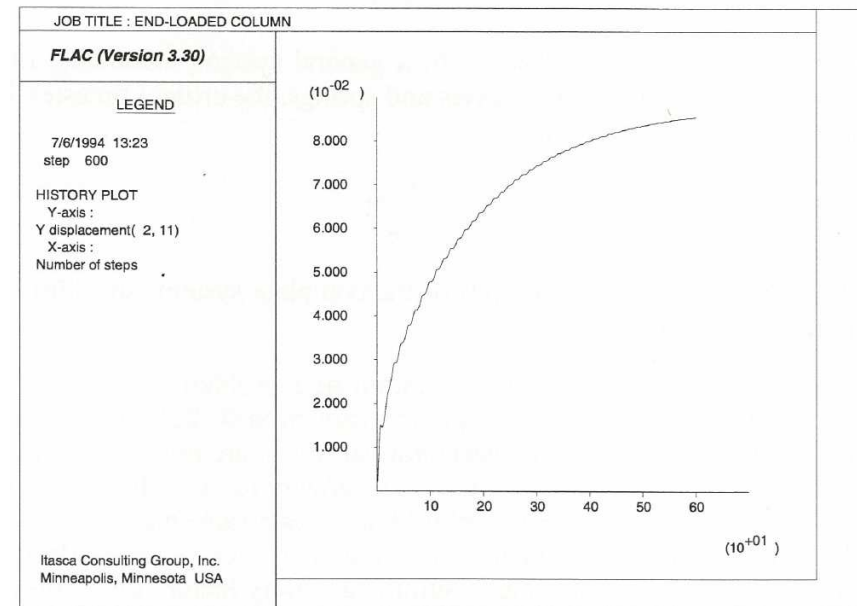
Přírůstková metoda - cyklické opakování výpočtu, při kterém se sleduje vývoj velikosti výslednice **nerovnovážné síly** v modelu.

Nerovnovážná síla po **n** cyklech výpočtu **konverguje k nule** = v modelu nastává rovnováha = **stabilita**.

Nerovnovážná síla po **n** cyklech výpočtu **alternuje, diverguje** = model je v nerovnováze = **nestabilita**.



Historie nevyvážené síly



Historie deformace

Modelování tunelového prostředí

Materiálový model pokryvných vrstev:

konstitutivní Mohr-Colomb

Materiálový model neogenních jíílů:

konstitutivní Mohr-Colomb s úpravou závislosti modulů pružnosti (přetvárnosti)

E_x, E_y, E_z v závislosti na drahách napětí $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$

G.4								
jííl, neogén								
F8 CV								
Hloubka pod povrchem	m		15	20	30	40	50	60
součinitel konsolidace c_v	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$		4.94×10^{-5}					
	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		1830	1843	1786	1877	1899	1936
obory napětí	0,2 - 0,3	MPa	3,7	...	...	...	...	...
	0,3 - 0,4	MPa	4,9	7,1	...	...	...	...
	0,4 - 0,5	MPa	5,3	7,4	...	...	...	...
	0,5 - 0,6	MPa	5,8	7,5	8,6	...	...	...
	0,6 - 0,7	MPa	6,1	8,1	8,9	...	...	...
	0,7 - 0,8	MPa	6,5	12,7	7,8	12,2	11,3	10
	> 0,8	MPa	7	13	7,8	12,2	10,8	9
obory napětí	> 0,5	MPa	116	185	140	185	185	180
	0,5 - 0,4	MPa	116	175	135	175	175	170
	0,4 - 0,3	MPa	110	155	120	155	155	150
	0,3 - 0,2	MPa	80	105	90	105	105	100
	0,2 - 0,1	MPa	43	70	65	70	70	65
	0,1 - 0	MPa	19	30	25	30	30	25

Pro zjištěnou složku napětí vypočteny orientované moduly

$$\sigma_x \rightarrow E_x$$

$$\sigma_y \rightarrow E_y$$

$$\sigma_z \rightarrow E_z$$

Z orientovaných modulů vypočteny střední moduly

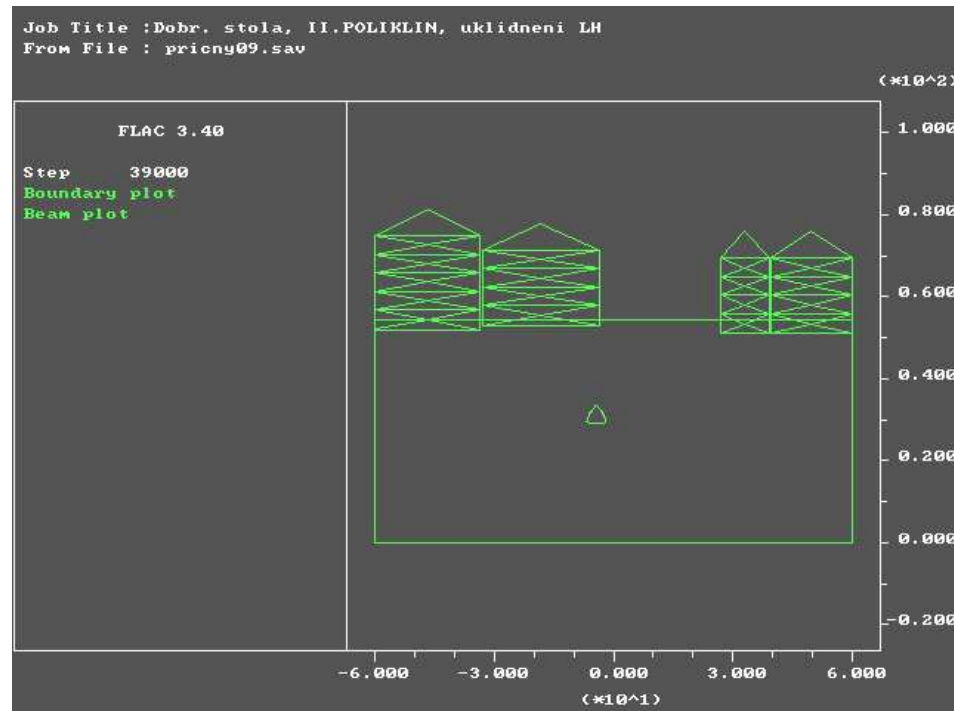
$$E_{xyz} = (3 E_x E_y E_z) : (E_x E_y + E_x E_z + E_y E_z)$$

$$G_{xyz} = E_{xyz} : 2(1 + \nu)$$

Ze středních modulů vypočteny objemové

$$K_{xyz} = E_{xyz} : 3(1 - 2\nu)$$

Modelování (interaktivního) vlivu povrchové zástavby



Poloha budov na povrchu:
dle zaměření,
umístění s přesností 0,25 m

Orientace základů budov:
uvažovány pouze základy v rovině

Hloubka základové spáry:
dle provedené pasportizace

Šířka základové spáry:
1,0 m – shodná s tloušťkou modelu

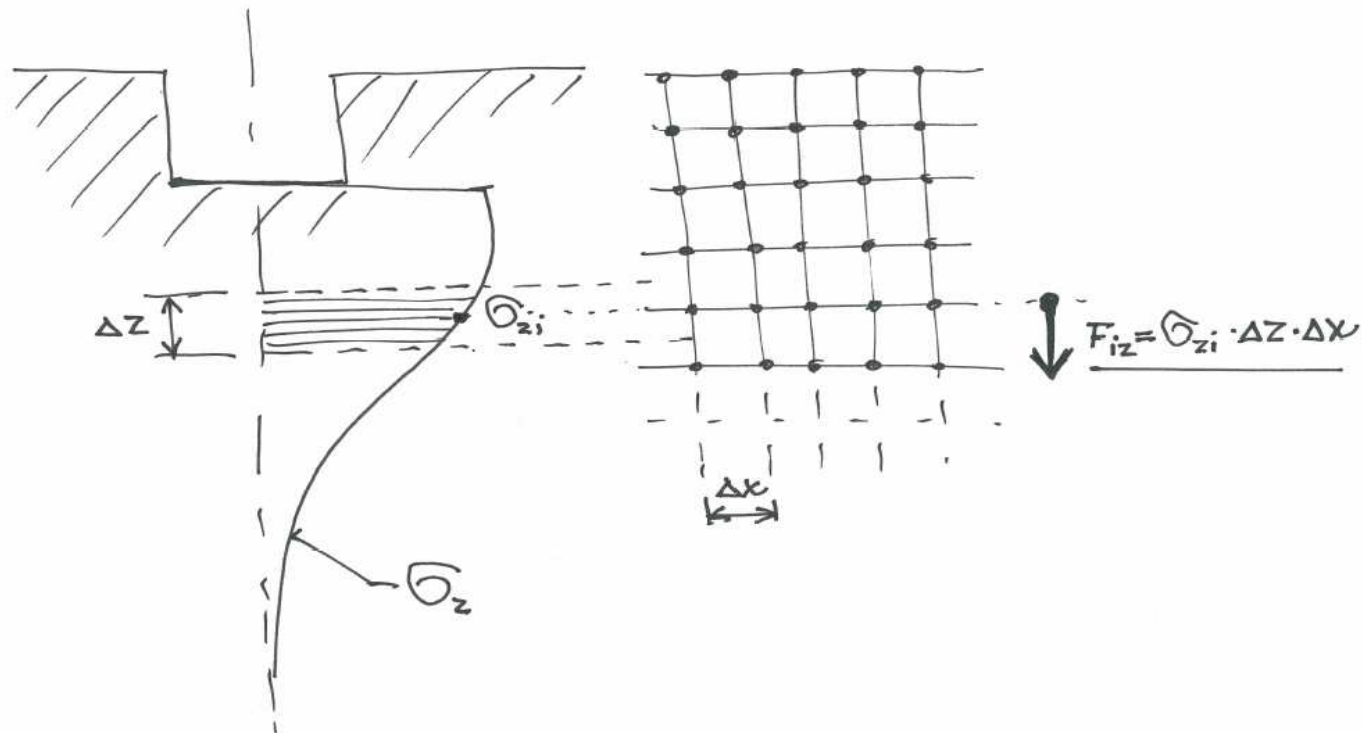
Ohybová tuhost základových pasů: **odhadem – v závislosti na konstrukci a materiálu budovy a počtu podlaží**

Zatížení do základové spáry: **uvažováno jako rovnoměrně spojitě, závislé na počtu podlaží, s jednotným odhadem zátěže nosné zdi od jednoho podlaží**

Modelování (interaktivního) vlivu povrchové zástavby

Modelování zatížení podloží od budov na povrchu:

v jednotlivých uzlech sítě do hloubky 15 m pod základem, modelováno jako zatěžovací svislé síly uzlů, vypočtené z průběhu napětí pod základovým pasem šířky 1,0 m a odpovídající hloubku.



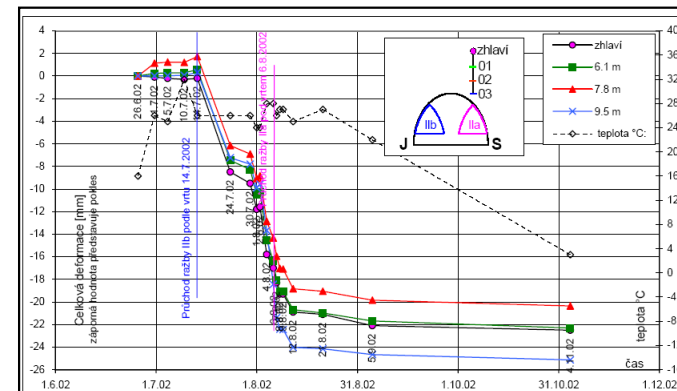
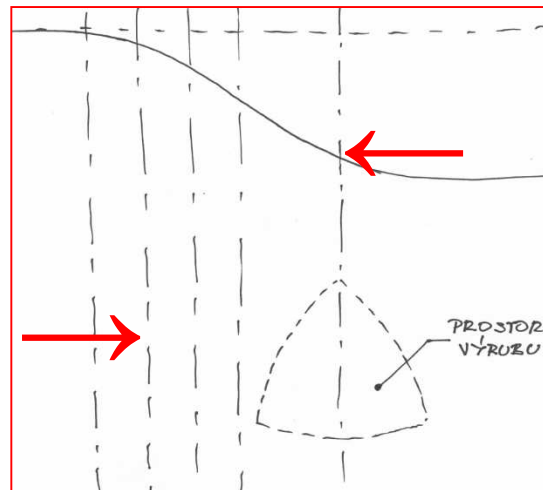
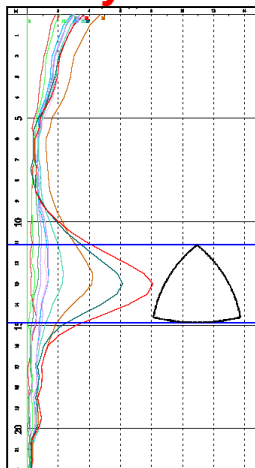
Modelování vlivu ražby na prostor před čelbou

Při ražbě průzkumných štol monitorováno:

- *vývoj poklesů na povrchu v závislosti na vzdálenosti čelby;*
- *vývoj horizontálních deformací v tunelovém prostředí (inklinometry), v závislosti vzdálenosti od čelby;*

Způsob „naladění“ modelu:

- *v prostoru budoucího výrubu v některých zónách sítě se postupně (v některých cyklech výpočtu) snižovala velikost horizontální složky napětí σ_{zz} (složka ve směru kolmém k rovině modelu, v programu FLAC je složka označena σ_{zz}) až na velikost $\sigma_{zz} \rightarrow 0$;*
- *současně byl na modelu sledován vývoj tvaru a velikosti horizontálních deformací na svislých řezech, umístěných ve vzdálenostech odpovídajících vzdálenosti čelby od místa monitorování a rovněž vývoj poklesů na povrchu nad výrubem;*

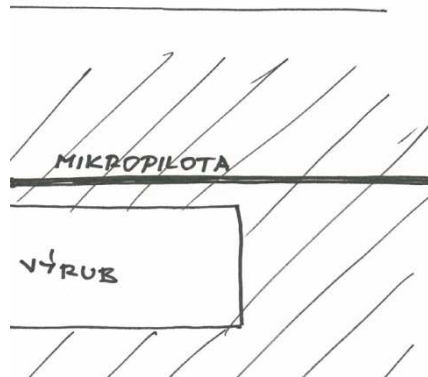


Modelování vlivu mikropilotového deštníku

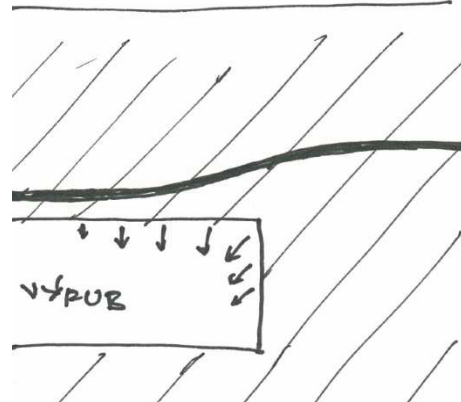
Uplatněna paralela s chováním a vlastnostmi konstrukce:

POLONEKONEČNÝ NOSNÍK NA PRUŽNÉM PODKLADĚ

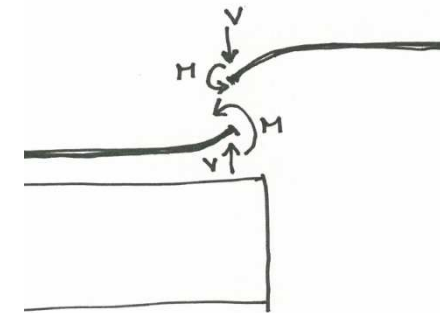
Idealizovaný stav



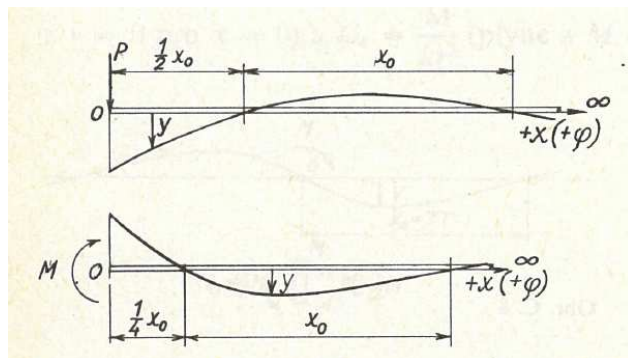
Deformace



Zjednodušené statické schéma



Průběhy deformací polonekonečného nosníku



$\max \sum y_i \approx 1/2$ celkové konvergence výrubu

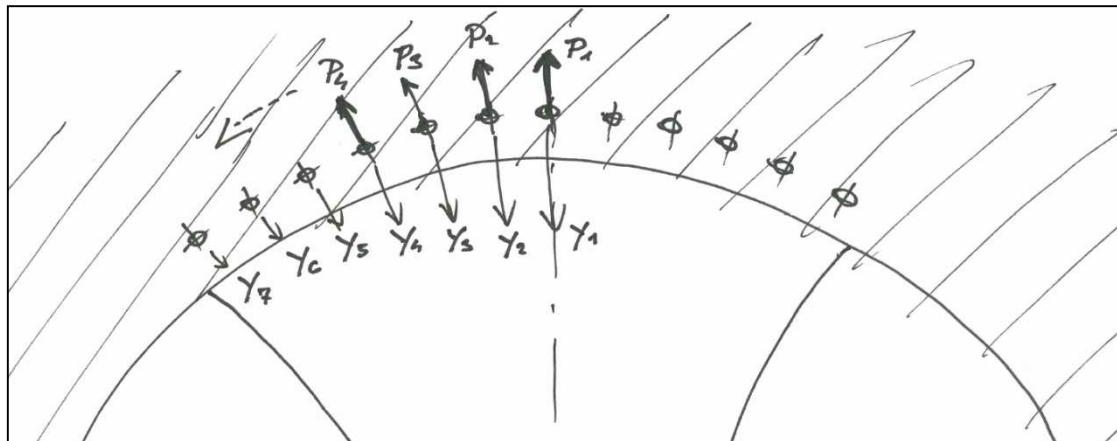
Modelování vlivu mikropilotového deštníku

Stanovení účinků mikropilotového deštníku:

- *pro polonekonečný nosník známe ohybovou tuhost EI ;*
- *je uložený na pružném podkladu s koeficientem ložnosti k ;*
- *obecně lze na základě velikosti deformace y_i definovat „velikost tlaku nosníku na podloží“ p_i a zatížení nosníku posouvající silou T_i ;*
- *program FLAC umožňuje odečítat „okamžitá posunutí a jejich rychlost v uzlu“, a účinky „tlaku na podloží“ byly programově definovány v závislosti na velikostech okamžitých posunutí.*

Zavedení účinků mikropilotového deštníku do roviny modelu:

- *do modelu je v místech mikropilot deštníku zavedena „okamžitá“ síla P_i odpovídající jednotkovému tlaku p_i , o velikosti odvozené z velikosti deformace y_i , vektorově působící v opačném směru .*



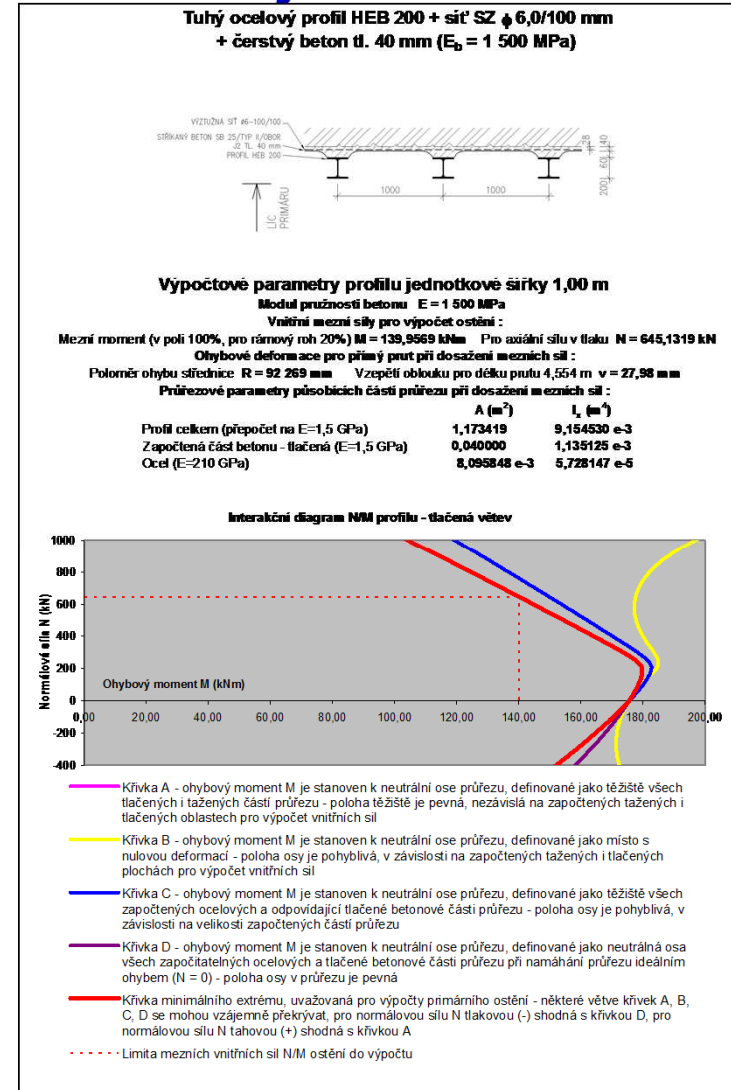
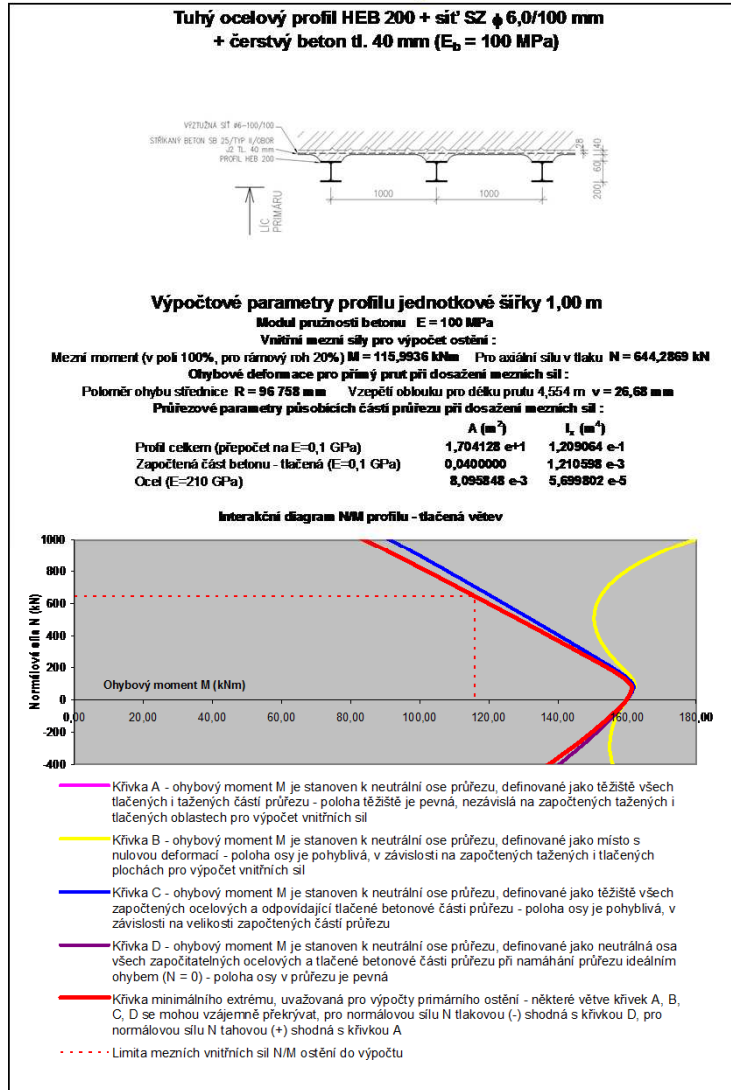
Primární ostění – tuhá výztuž - ocelové oblouky



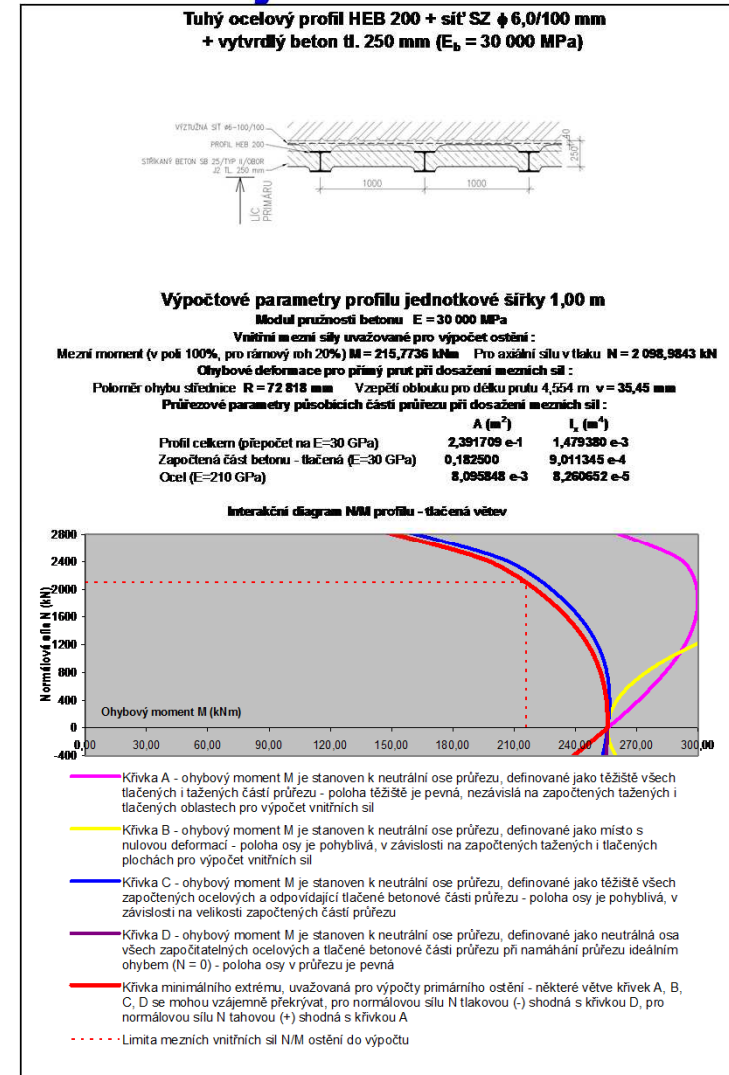
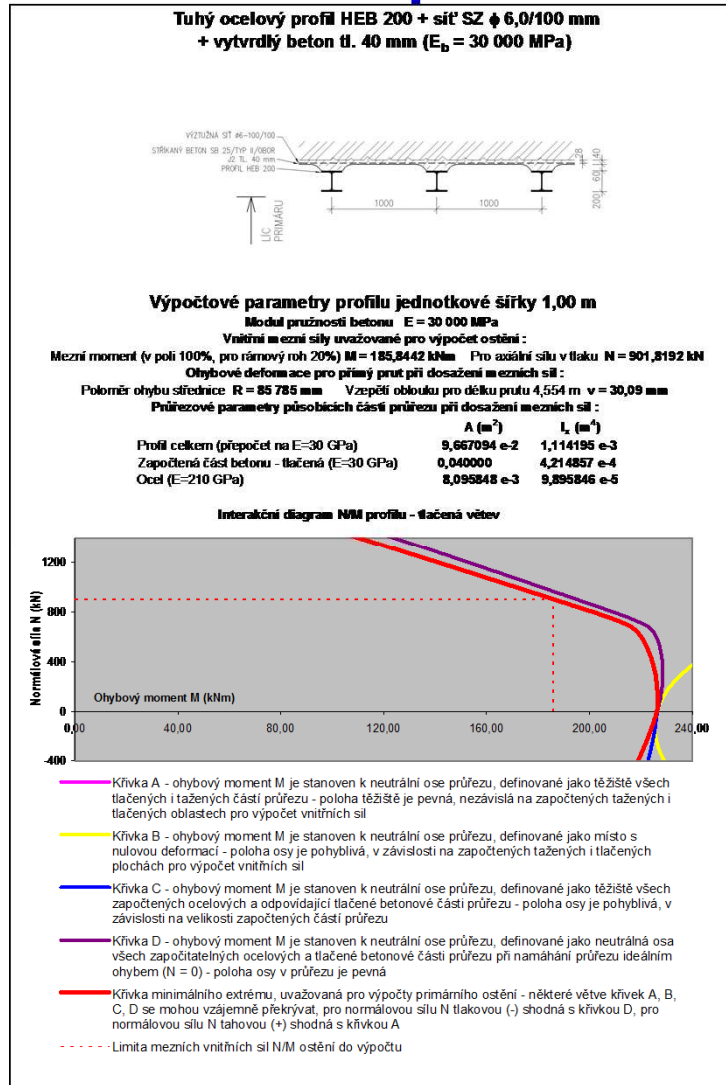
Primární ostění bylo dimenzováno následujícím způsobem:

- **využití plastické únosnosti ostění s možností redistribuce vnitřních sil;**
- **pro jednotlivá stadia zhotovení ostění byl vypočten průběh závislosti „využití poloplasticity a plasticity průřezu“ M_p a N_p dle ČSN 73 1201 včetně odpovídající závislosti statického momentu setrvačnosti I_{xp} ;**
- **do modelu byly zaveděny rozhodující parametry ostění EI_{xp} (ohybová tuhost při využití plasticity průřezu) a M_p (mezní plastický moment) v závislosti na:**
 - **stadiu technologického postupu jeho zhotovení a výstavby tunelu,**
 - **předem ověřené maximální normálové síle N ,**

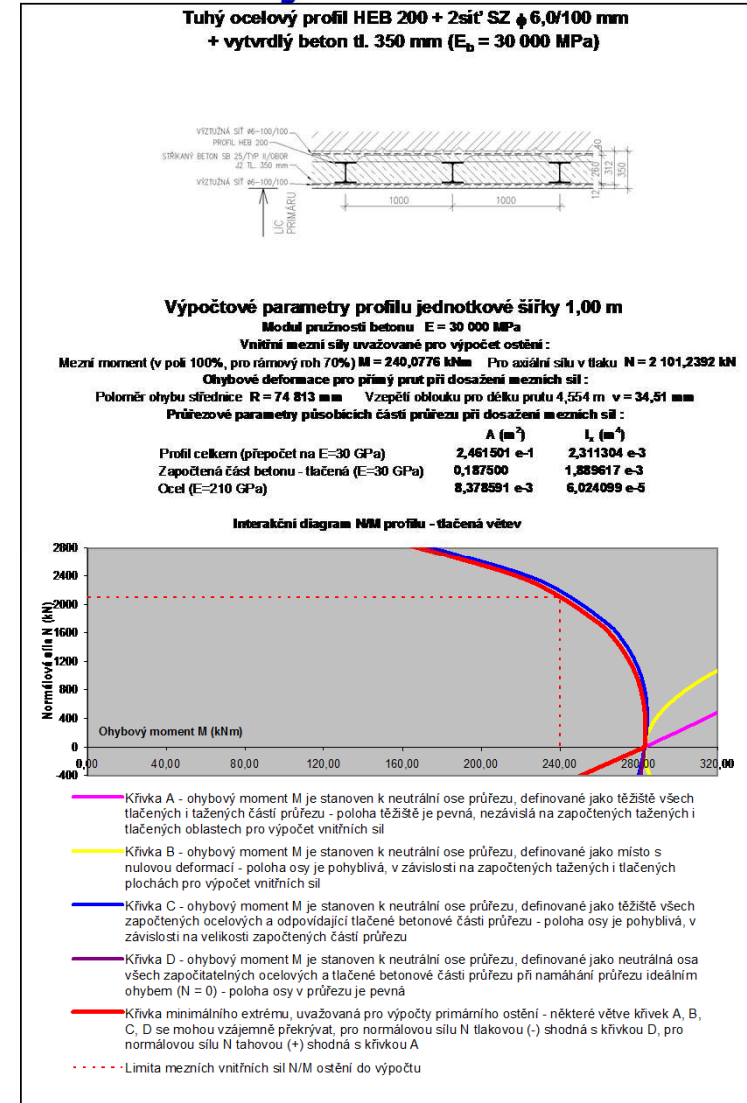
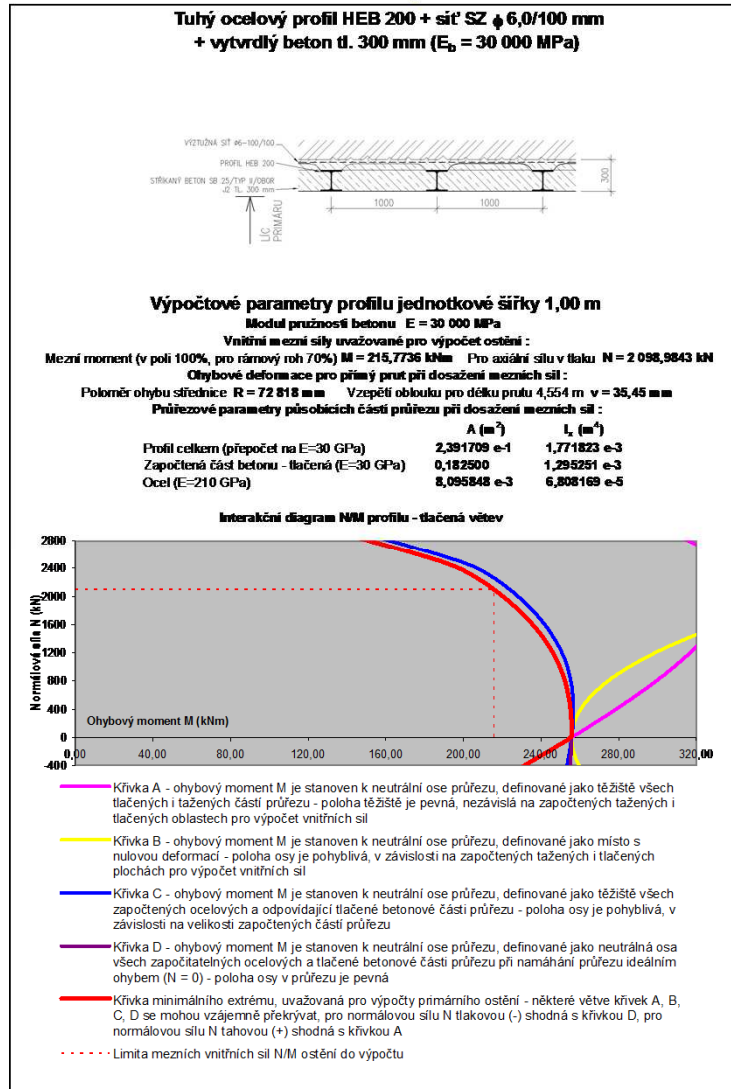
Modelování primárního ostění a změn jeho vlastností



Modelování primárního ostění a změn jeho vlastností



Modelování primárního ostění a změn jeho vlastností



Zatěžovací zkoušky segmentu primárního ostění



Zatěžovací zkoušky segmentu primárního ostění



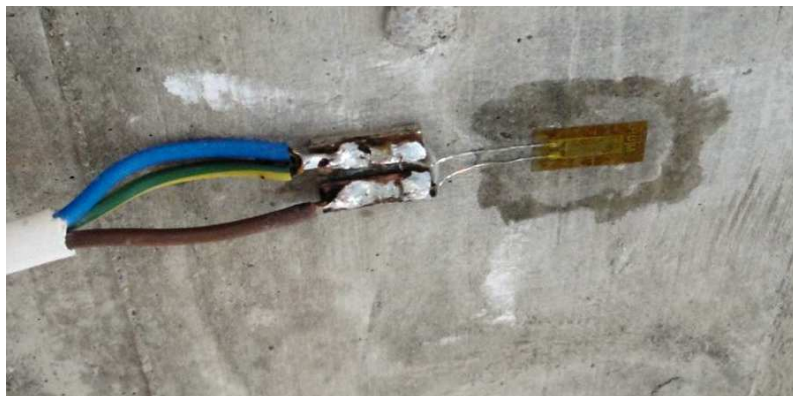
Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha, 26. března 2014

Zatěžovací zkoušky segmentu primárního ostění



Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha, 26. března 2014

Zatěžovací zkoušky segmentu primárního ostění



Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha, 26. března 2014

Zatěžovací zkoušky – předpínání



Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha, 26. března 2014

Zatěžovací zkoušky – nepodařená snaha o zničení

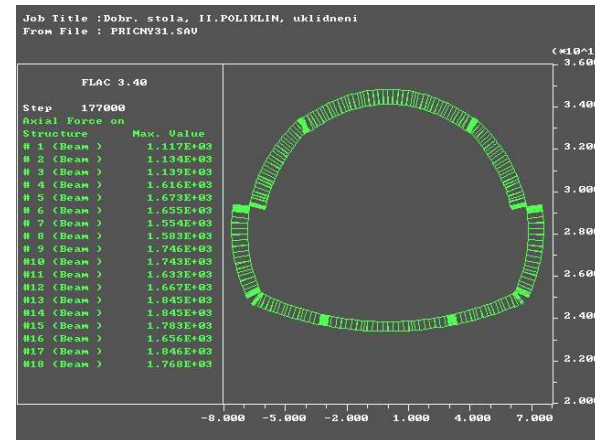
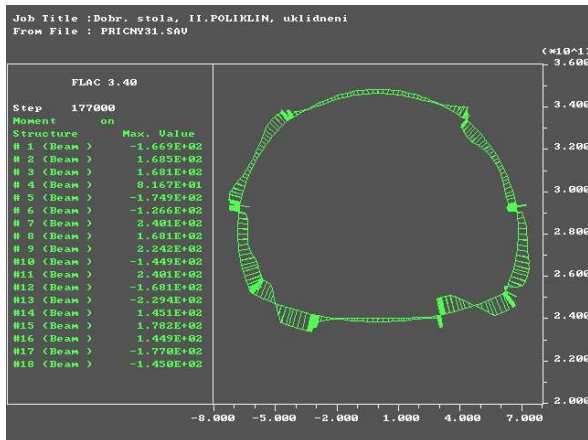
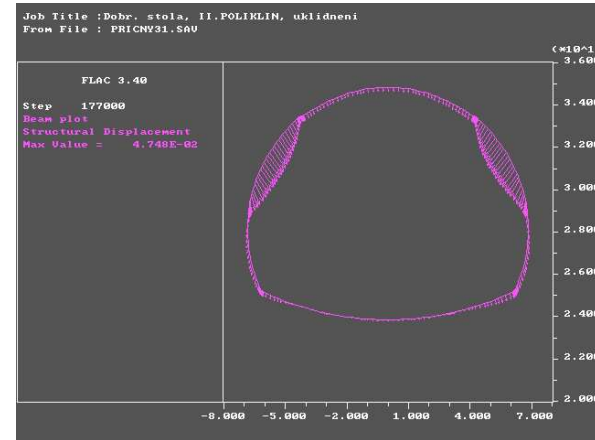
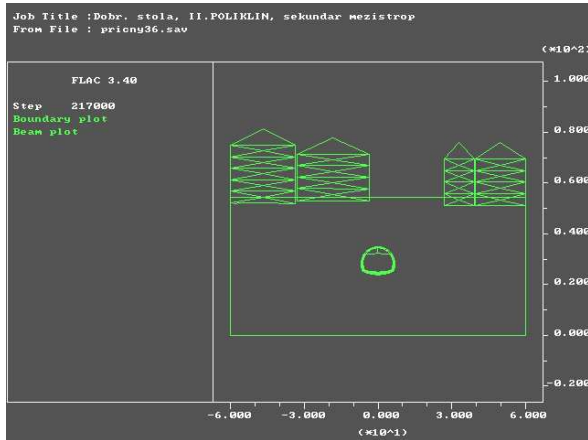


Posloupnost výpočtu

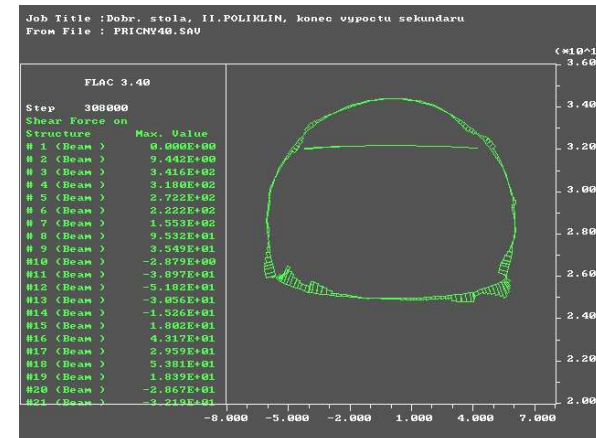
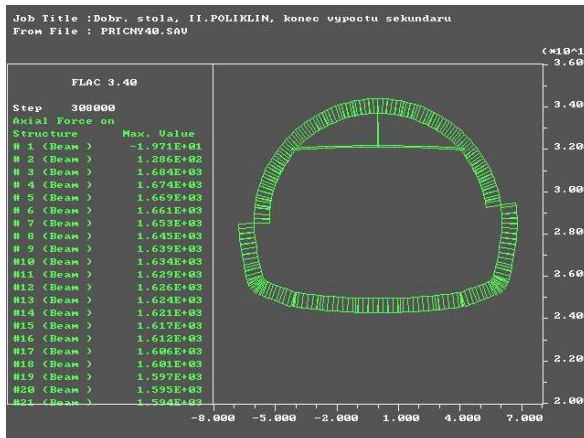
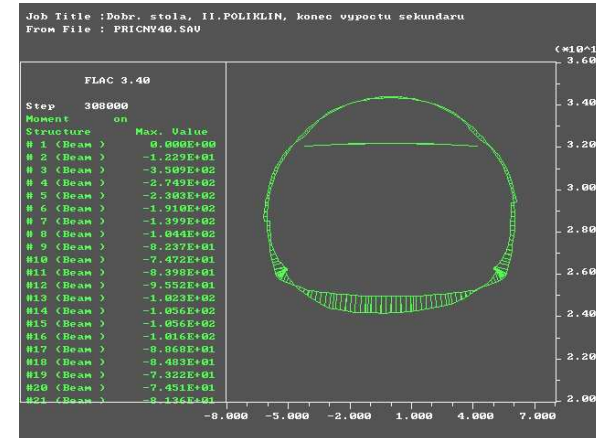
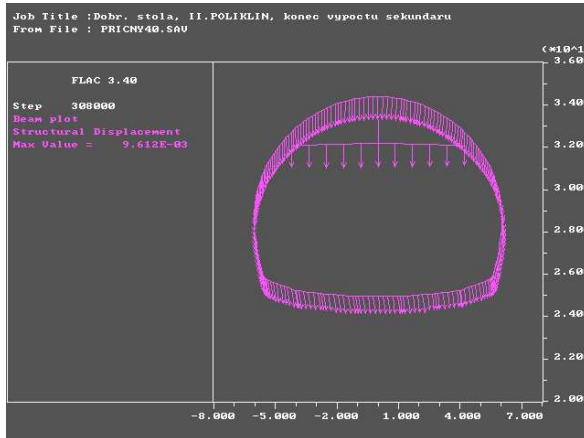
Díličí výpočty dle jednotlivých technologických kroků

Výpočet tunelů Brno, VMO Dobrovského					
Posloupnost výpočtových souborů pro modelování výstavby tunelu v programu FLAC				Tunel II předražené štoly IIb a IIa	
Č.	Název souboru	Členění výrubu	V souboru modelovaný stav	Počet cyklů	Počet cyklů celkem
1	pricny01	Výchozí model	Zadání výchozí geometrie a geotechnických parametrů modelu	0	0
2	pricny02		Zadání uzlů pro sledování vývoje některých parametrů	0	0
3	pricny03	Budovy	Zadání polohy a parametrů budov na povrchu	0	0
4	pricny04		Stanovení č. PRUTU1 a č. UZLU1 ostění tunelu; výpočet vlivu budov	20 000	20 000
5	pricny05		Výpočet nulového stavu se zahnutím vlivů budov	2 000	22 000
6	pricny06	Levá horní štola	Rozvolnění od přiblížení čelby	5 050	27 050
7	pricny07		Výrub štoly	50	27 100
8	pricny08		Zhotovení ostění v tl. 10 cm a nárůst jeho únosnosti	300	27 400
9	pricny09	Pravá horní štola	Uklidnění deformací po zhotovení štoly	11 600	39 000
10	pricny10		Rozvolnění od přiblížení čelby	5 050	44 050
11	pricny11		Výrub štoly	50	44 100
12	pricny12	Obě horní štoly	Zhotovení ostění v tl. 10 cm a nárůst jeho únosnosti	300	44 400
13	pricny13		Uklidnění deformací po zhotovení štoly	45 600	90 000
14	pricny14	Levá dol. štola	Zesílení ostění stol (25 cm + HEB140) a počvy štoly HEB240	50	90 050
15	pricny15		Rozvolnění od přiblížení čelby	5 050	95 100
16	pricny16	Levá dol. a hor.	Výrub štoly + vybourání počvy horní štoly	150	95 250
17	pricny17		Ostění dolní (30 cm + HEB200) a zesil. horní štoly na 30 cm	2 850	98 100
18	pricny18	Pravá dol. štola	Rozvolnění od přiblížení čelby	5 050	103 150
19	pricny19		Výrub štoly + vybourání počvy horní štoly	150	103 300
20	pricny20	Pravá dol. a hor.	Ostění dolní (30 cm + HEB200) a zesil. horní štoly na 30 cm	2 850	106 150
21	pricny21		Zhotovení ochranného deštníku	0	106 150
22	pricny22	Střední pilíř - kalotová část	Rozvolnění horní poloviny středového pilíře od přiblížení čelby	5 050	111 200
23	pricny23		Výrub kalotové části středového pilíře	200	111 400
24	pricny24		Ostění klenby kaloty (10 cm+K24) a zesílení (30cm+HEB140)	4 700	116 100
25	pricny25		Odbourání hor. střed. žeber - původního ostění horních stol	150	116 250
26	pricny26	Střední pilíř - dolní lávka	Zesílení ostění kaloty na konečných 35 cm primáru	50	116 300
27	pricny27		Rozvolnění dolní poloviny středového pilíře od přiblížení čelby	1 600	117 900
28	pricny28		Odtěžení dolní lávky středového pilíře	200	118 100
29	pricny29		Zhotovení ostění ve střední části počvy v tl. 30 cm	1 300	119 400
30	pricny30	Celý tunel	Vybouání dolních žeber a zesílení dolní poloviny na tl. 35 cm	1 600	121 000
31	pricny31		Uklidnění deformací po zhotovení primárního ostění tunelu	56 000	177 000
32	pricny32	Def. sekundaru	Definice prutů sekundárního ostění a vazby uzlů na primár	0	177 000
33	pricny33	Sekundár počvy	Pokládka sekundáru do jízdního pásu v počvě - prefabrikáty	10 000	187 000
34	pricny34		Dobetonování obou bočních pásů sekundáru v počvě - monolit	10 000	197 000
35	pricny35	Sekundár klenby	Betonáž sekundáru klenby - monolit	10 000	207 000
36	pricny36		Betonáž mezistropu - monolit	10 000	217 000
37	pricny37	Dokompletace	Přítížení od konstrukcí vozovky a chodníku	10 000	227 000
38	pricny38	Degr. primáru	Zatížení dopravou a degradace primárního ostění - výpočet	38 000	265 000
39	pricny39	Zatíž. vodou	Zatíž. sekundáru vod. sloupcem - výpočet (včetně meziprutů)	43 000	308 000
40	pricny40	Výsledky	Výsledky sekundáru po vymazání meziprutů	0	308 000
41	pricny41		Výsledky sekundáru po vymazání prutů budov	0	308 000
42	pricny42		Vnitřní síly v ostění sekundáru - textový soubor (pricny42.log)	0	308 000

Deformace a vnitřní síly v primárním ostění



Deformace a vnitřní síly sekundárního ostění

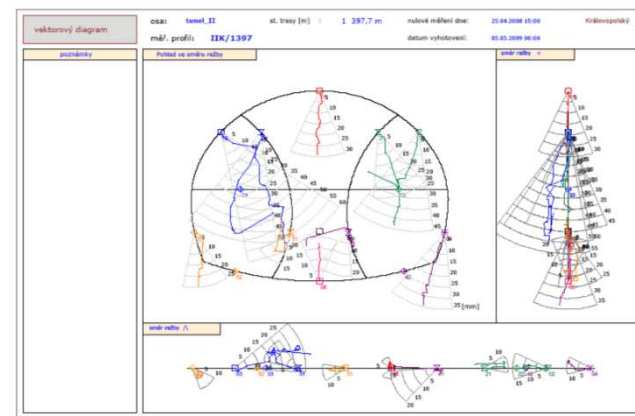
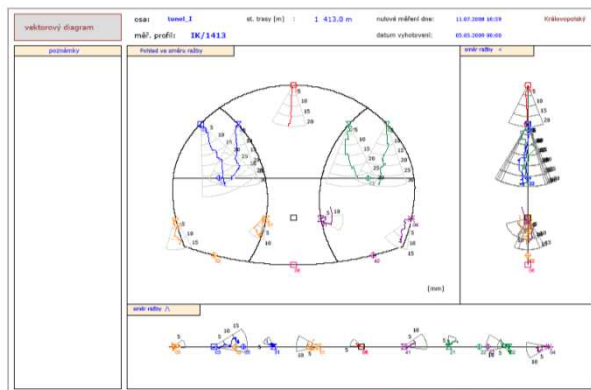
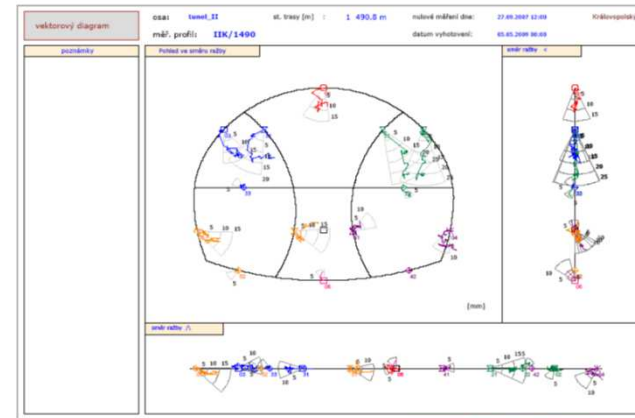
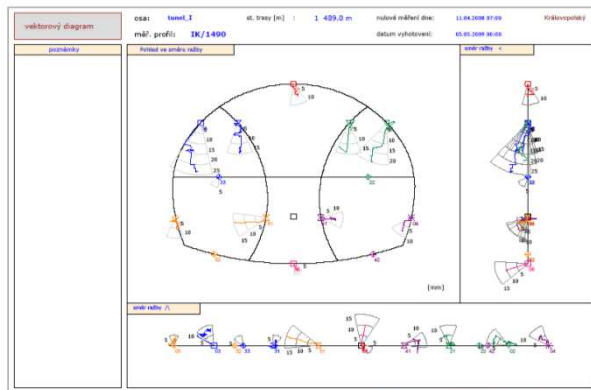


Monitorované konvergence

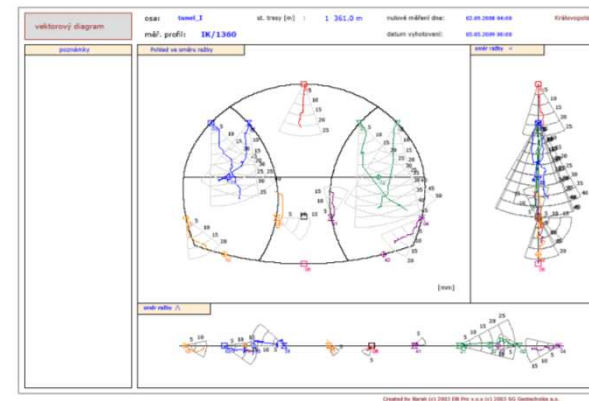
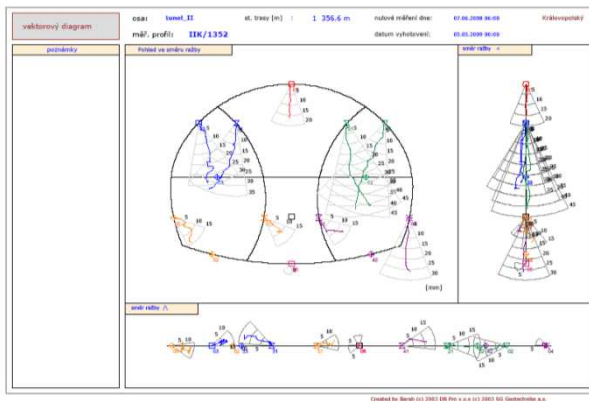
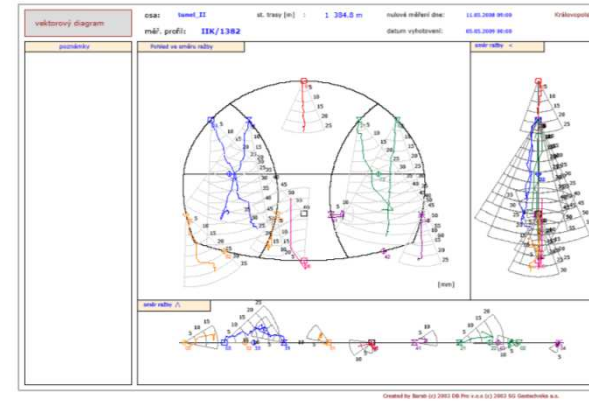
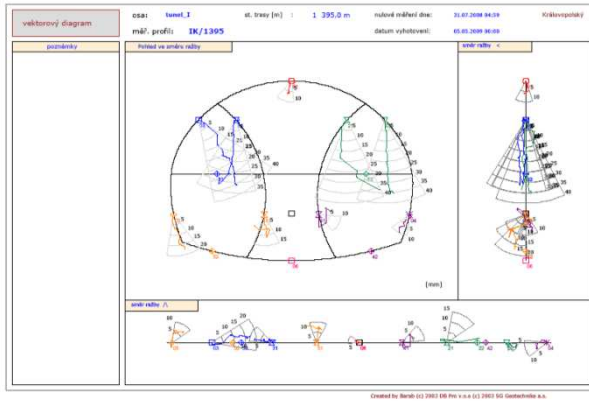
VMO Brno, Tunel Dobrovského					
Tunel I. - maximální deformace - konvergence v primárním ostění raženého tunelu					
Vyšetřovaný profil	Staniční (km)	Deformace (mm)			Poloha místa na ostění (sdola nahoru)
		Vektor	Svislá složka (dolů)	Vodorovná složka (do výrubu)	
Hradecká	0,480	11,62	9,05	7,28	4/5 horní štoly
Telekom	0,590	19,22	14,94	12,12	2/3 horní štoly
Purkyňova/J. Babáka	0,660	18,23	16,66	7,4	2/3 horní štoly
Matulkova - bazény	0,778	22,2	20,36	8,9	3/4 horní štoly
Vodova - bez budov	0,836	48,9	32,71	36,39	1/2 horní štoly
Vodova - budovy kolejí	0,870	32,27	27,22	17,33	1/2 horní štoly
Chodská - budovy kolejí	1,001	34,71	28,64	19,63	1/2 horní štoly
Chodská - bez budov	1,034	38,34	30,55	23,22	3/5 horní štoly
Poliklinika	1,078	33,48	27,34	19,33	3/5 horní štoly
Slovinská	1,200	28,98	23,2	17,37	3/5 horní štoly
Palackého - Pešínova/Dobrovského	1,355	28,42	15,38	23,89	2/5 horní štoly
Palackého uliční fronta	1,389	24,78	16,99	18,04	3/5 horní štoly
Palackého dvorní fronta	1,402	27,14	18,39	19,96	1/2 horní štoly
Poděbradova	1,491	23,86	23,59	3,6	styk uzávěry pritiklenby

VMO Brno, Tunel Dobrovského					
Tunel II. - maximální deformace - konvergence v primárním ostění raženého tunelu					
Vyšetřovaný profil	Staniční (km)	Deformace (mm)			Poloha místa na ostění (sdola nahoru)
		Vektor	Svislá složka (dolů)	Vodorovná složka (do výrubu)	
Hradecká	0,500	13,47	10,12	8,43	4/5 horní štoly
Telekom	0,584	19,82	15,36	12,52	4/5 horní štoly
Purkyňova/J. Babáka	0,654	29,06	24,91	14,98	4/5 horní štoly
Matulkova - bazény	0,774	30,27	27,28	13,13	4/5 horní štoly
Vodova - bez budov	0,830	52,78	36,06	38,54	2/3 horní štoly
Vodova - budovy kolejí	0,864	56,07	38,4	40,85	1/2 horní štoly
Chodská - budovy kolejí	0,994	47,51	37,52	29,21	1/2 horní štoly
Chodská - bez budov	1,026	39,55	30,78	24,87	3/5 horní štoly
Poliklinika	1,070	49,18	39,22	29,69	3/5 horní štoly
Slovinská	1,188	45,7	33,34	31,26	3/5 horní štoly
Palackého - Pešínova/Dobrovského	1,345	36,69	23,98	27,79	2/5 horní štoly
Palackého uliční fronta	1,382	28,41	17,69	22,24	2/5 horní štoly
Palackého dvorní fronta	1,397	33,03	22,5	24,2	1/2 horní štoly
Poděbradova	1,488	32,2	20,12	25,14	1/2 horní štoly

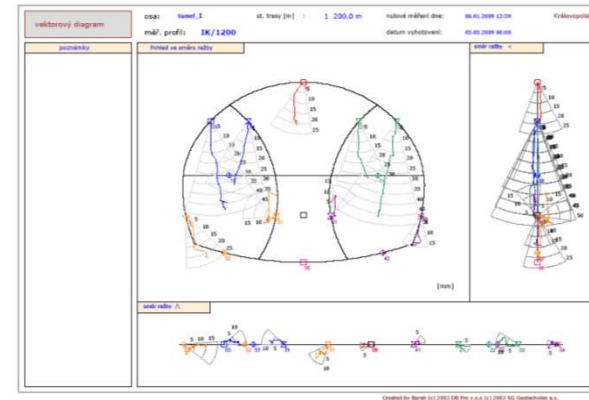
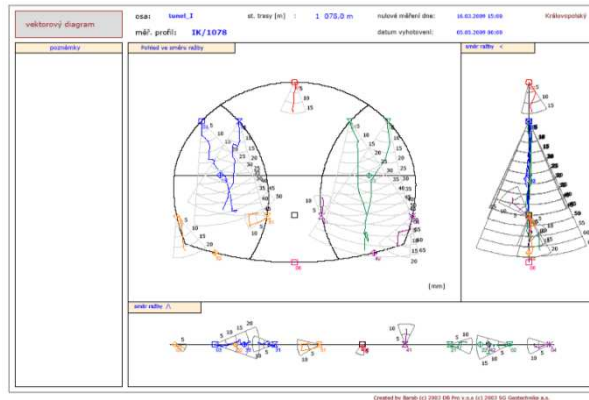
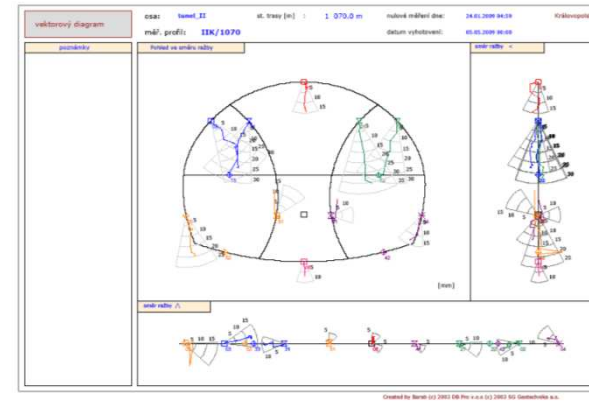
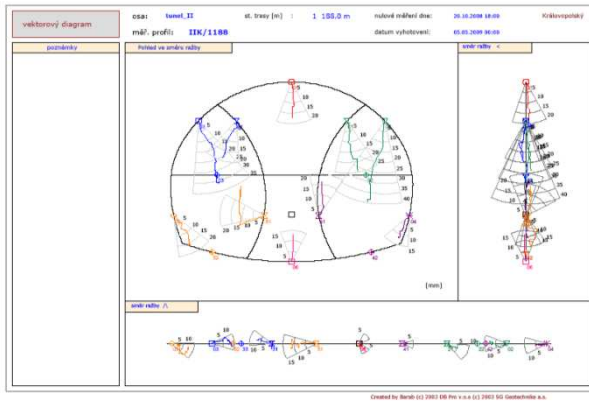
Porovnání konvergencí



Porovnání konvergencí



Porovnání konvergencí

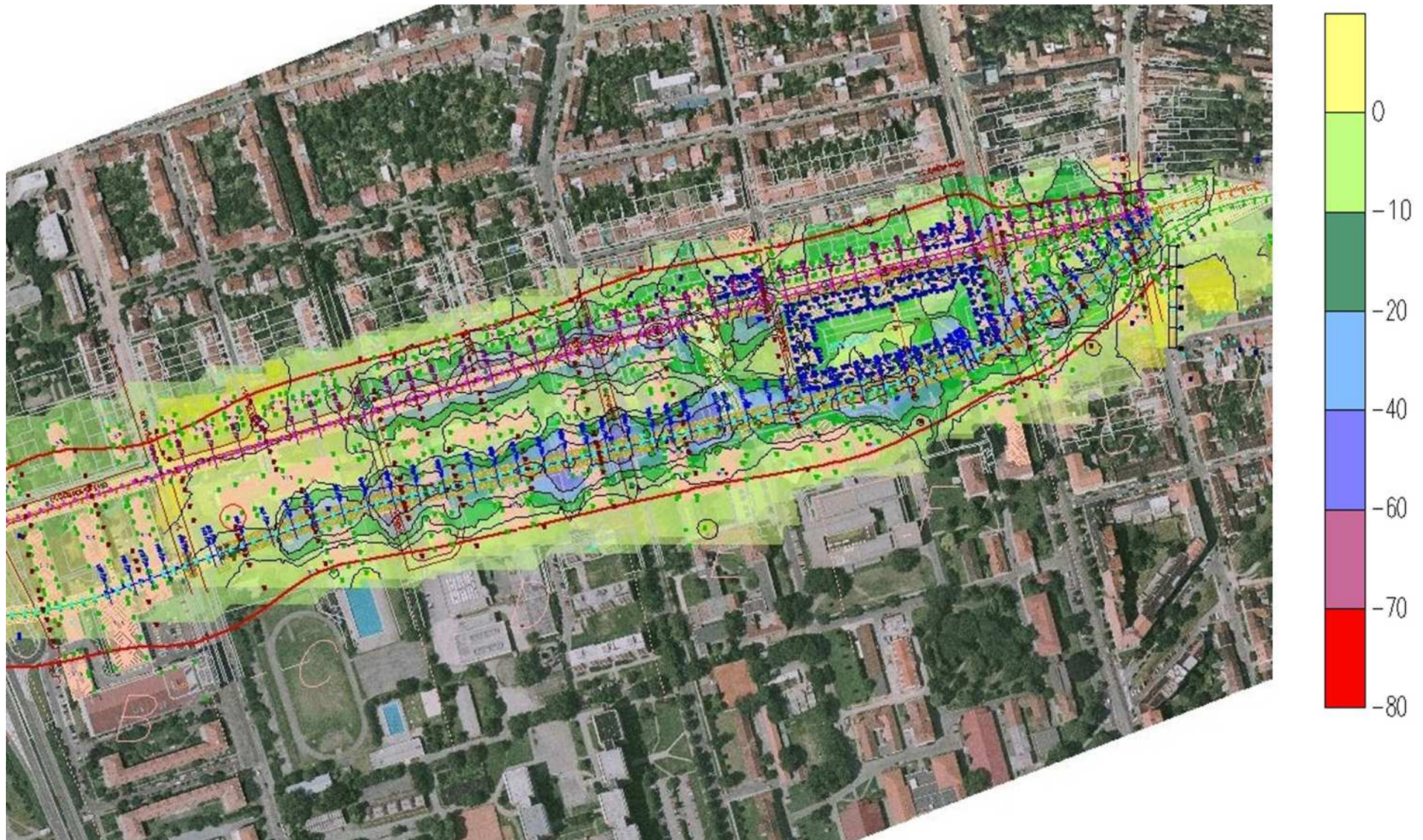


Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha, 26. března 2014

Potvrzení správnosti našeho koncepčního řešení - Deformace ostění průzkumné štoly od tryskové injektáže



Poklesová kotlina na povrchu



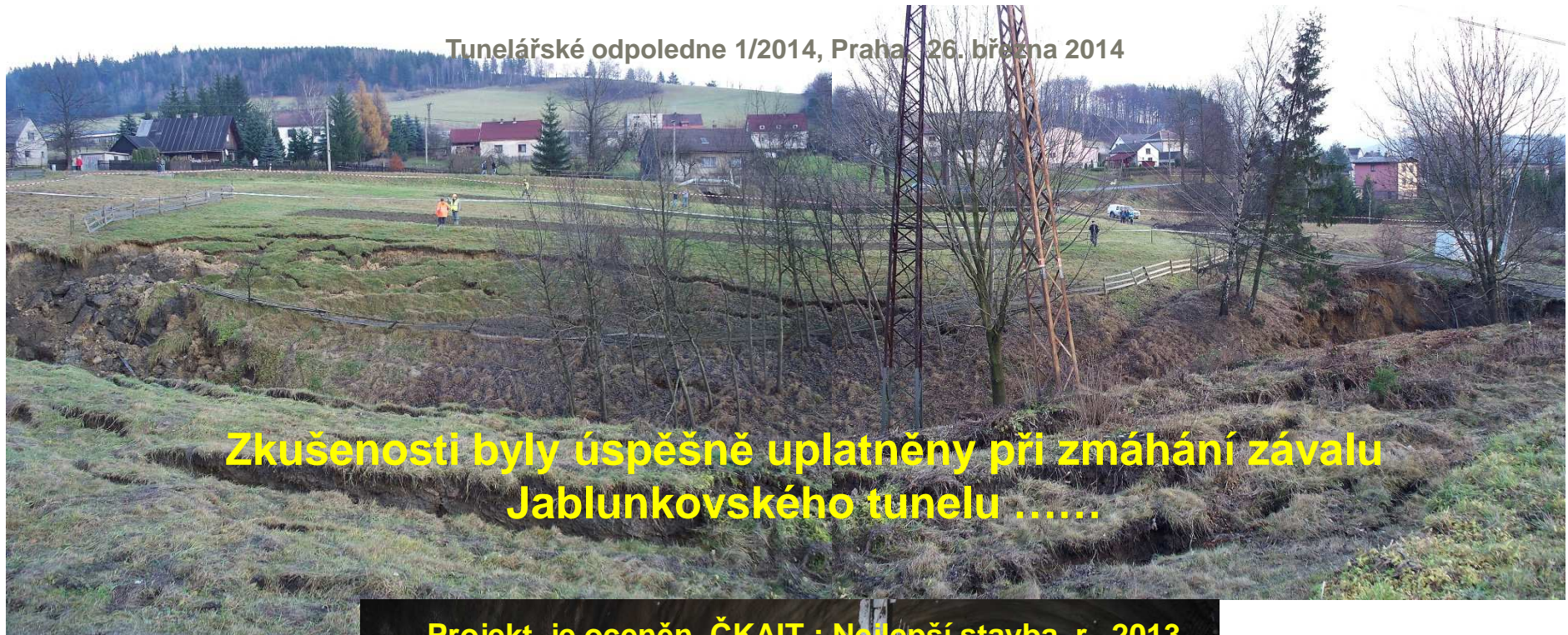
Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha, 26. března 2014

Královopolský tunel a jeho autoři obdrželi ocenění ČKAIT : Nejlepší stavba r. 2012



Děkuji za pozornost ! , a ještě něco

Tunelářské odpoledne 1/2014, Praha 26. března 2014



**Zkušenosti byly úspěšně uplatněny při zmáhání závalu
Jablunkovského tunelu**

Projekt je oceněn ČKAIT : Nejlepší stavba r. 2013



..... teď už opravdu končím !