

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ PODZEMNÍCH STAVEB Z HLEDISKA BETONÁŘE

Ing. Michal Sedláček, Ph.D.



NAVRHOVÁNÍ DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

- základní předpisy
- koncepce návrhu
- analýza konstrukce
- zpětná vazba

PROVÁDĚNÍ DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

- betonážní záběry
- odbednění
- ošetření
- injektáž vrchlíku

NAVRHOVÁNÍ DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

Základní literatura vztahující se k navrhování definitivního ostění tunelů:

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, 2004

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, 2006

ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, 2001

TKP staveb českých drah. Kapitola 17 Beton pro konstrukce, 2002

TKP staveb českých drah. Kapitola 20 Tunely, 2001

TKP staveb pozemních komunikací. Kapitola 18 Beton pro konstrukce, 2005

TKP staveb pozemních komunikací. Kapitola 24 Tunely, 2006

TKP-D staveb pozemních komunikací. Kapitola 7 Tunely, podzemní stavby a galerie, 2006

Koncepce návrhu definitivního ostění:

Zákon č.183/2006 Sb. - stavební zákon

Projektant odpovídá za bezpečnost stavby podle jím zpracované projektové dokumentace.

Vyhláška č.499/2006 Sb., o dokumentaci staveb:

Požadavek prokázání mechanická odolnosti a stability konstrukce statickým výpočtem.

TKP-D staveb pozemních komunikací. Kapitola 1 Všeobecně, 2005

Pro návrh a zhotovení dokumentace stavby se uplatní příslušné technické normy ze soustavy českých technických norem, která obsahuje ČSN, ČSN EN, ČSN EN ISO, ČSN EN P ENV a další převzaté normy a předpisy.

TKP staveb českých drah. Kapitola 1 Všeobecně, 2008

Technické normy nebo jejich části uvedené v textu jsou závazné pro každou stavbu, pro kterou jsou TKP použity jako součást obsahu smlouvy o dílo.

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí:

Konstrukce musí být navržena tak, aby měla odpovídající - únosnost
- použitelnost
- trvanlivost

Únosnost - mezní stavy únosnosti (ČSN EN 1992-1-1)

např. porušení - normálovou silou a ohybovým momentem
- posouvající silou
- místně zatížené plochy

Použitelnost - mezní stavy použitelnosti (ČSN EN 1992-1-1)

např. - omezení napětí
- omezení trhlin
- omezení průhybu

Trvanlivost - odolnost konstrukce vůči účinkům prostředí ve kterém se konstrukce nachází (ČSN EN 1990, ČSN EN 1992-1-1, ČSN EN 206-1)

např. - pevnostní třída betonu
- krytí výztuže

Pevnostní třída betonu

V případě TKP ŘSD 18 Beton pro konstrukce a 24 Tunely:

- beton trvalého ostění bez plášťové izolace min. **C 30/37**
- beton trvalého ostění s plášťovou izolací min. **C 25/30**

V případě TKP ČD 17 Beton pro konstrukce a 20 Tunely:

- definitivní ostění jsou prováděna z betonu třídy pevnosti min. **C 20/25**

V obecném případě se postupuje podle ČSN EN 1990, ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 206-1.

- zohlednění účelu konstrukce (životnost, typ konstrukce)
- pevnostní třída betonu (zohlednění stupně vlivu prostředí, klasifikace konstrukce)

Určení pevnostní třídy betonu v obecném případě :

Informativní návrhová životnost pro def. tunelové ostění - 100 let (tab. 2.1. (CZ), ČSN EN 1990)

Tabulka 2.1 (CZ) – Informativní návrhové životnosti

Kategorie návrhové životnosti	Informativní návrhová životnost (v letech)	Příklady
1	10	Dočasné konstrukce ⁽¹⁾
2	10 - 25	Vyměnitelné konstrukční části, např. jeřábové nosníky, ložiska
3	25 - 50	Zemědělské a obdobné stavby
4	50	Dobry a další běžné stavby
5	100	Monumentální stavby, mosty a jiné inženýrské konstrukce

⁽¹⁾ Konstrukce nebo jejich části, které mohou být demontovány s předpokladem dalšího použití, se nemají považovat za dočasné.

Indikativní pevnostní třída (tab. E.1 CZ, ČSN EN 1992-1-1)

- poškození výztuže → XC2 → C20/25
- poškození betonu → XA2 → C30/37



C 30/37

Tabulka E.1CZ – Indikativní pevnostní třídy

Stupně vlivu prostředí podle tabulky 4.1								
Koroze	koroze vyvolaná karbonatáci				koroze vyvolaná chloridy			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	
Indikativní pevnostní třída	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	
Poškození betonu	bez rizika				střídavé působení mrazu a rozmrzávání		chemické napadení	
	XF0	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Indikativní pevnostní třída	C12/15	C25/30	C25/30 ¹⁾	C25/30 ¹⁾	C30/37 ¹⁾	C25/30	C30/37	C35/45

¹⁾ beton musí být provzdušněn (provzdušnění min. 4 %), lze použít též neprovzdušněný beton o 1 třídu vyšší

Pevnostní třída betonu C 30/37 XA2, XC2

Minimální krytí výztuže

TKP ŘSD 24 Tunely:

Minimální krycí vrstva výztuže se stanoví podle ČSN EN 206-1 a kap. 18 TKP podle stupně agresivity prostředí, minimálně však 50 mm.

TKP ČD 20 Tunely:

Minimální krycí vrstva výztuže pro klenbu bez izolace je 40 mm pro oba povrchy.

Minimální krycí vrstva pro klenbu s izolací je 40 mm na vnitřní straně a 30 mm na vnější straně.

Minimální krytí pro klenbu "vodotěsného definitivního ostění" je 40 mm pro oba povrchy.

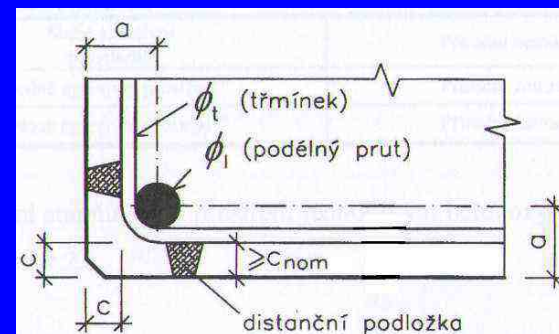
Minimální krytí pro dno s foliovou izolací je 50 mm na vnější straně.

V obecném případě se postupuje podle ČSN EN 1990, ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 206-1.

Betonová krycí vrstva je dána vzdáleností mezi povrchem výztuže nejbližším povrchu betonu (včetně spon, třmíneků a případné povrchové výztuže) a nejbližším povrchem betonu.

Nominální krycí vrstva musí být předepsána na výkresech.

$$c \geq c_{\text{nom}} = c_{\text{min,dur}} + \Delta c_{\text{dev}}$$



Určení krytí výztuže v obecném případě :

Doporučená úprava klasifikace konstrukce pro XC2 (tab. 4.3 CZ, ČSN EN 1992-1-1)

- doporučená třída konstrukce S4
- životnost 100 let → zvětšit o 2 třídy → S6
- pevnostní třída \geq C30/37 → zmenšit o 1 třídu → S5
- desková konstrukce → zmenšit o 1 třídu → S4

Tabulka 4.3CZ – Doporučená úprava klasifikace konstrukcí

Kritérium	Třída konstrukce							
	Stupeň vlivu prostředí podle tabulky 4.1							
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
návrhová životnost 80 let	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1	zvětšit třídu o 1
návrhová životnost 100 let	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2	zvětšit třídu o 2
pevnostní třída ¹⁾	\geq C20/25 zmenšit třídu o 1	\geq C25/30 zmenšit třídu o	\geq C30/37 zmenšit třídu o 1	C35/45 zmenšit třídu o 1	\geq C40/50 zmenšit třídu o 1	\geq C40/50 zmenšit třídu o 1	\geq C40/50 zmenšit třídu o 1	\geq C45/55 zmenšit třídu o 1
deskové konstrukce (poloha výztuže není ovlivněna výrobním postupem)	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1
zajištěna zvláštní kontrola kvality výroby betonu	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1	zmenšit třídu o 1

¹⁾ Pevnostní třída a poměr w/c se považují za související hodnoty. Pro výrobu málo propustného betonu lze použít zvláštní složení (druh cementu, hodnota w/c, jemné plnivo).

Minimální hodnoty krycí vrstvy $c_{min,dur}$ požadované z hlediska trvanlivosti pro betonářskou výztuž (tab. 4.4 N, ČSN EN 1992-1-1)

- třída konstrukce S4, stupeň vlivu prostředí XC2 → 25 mm

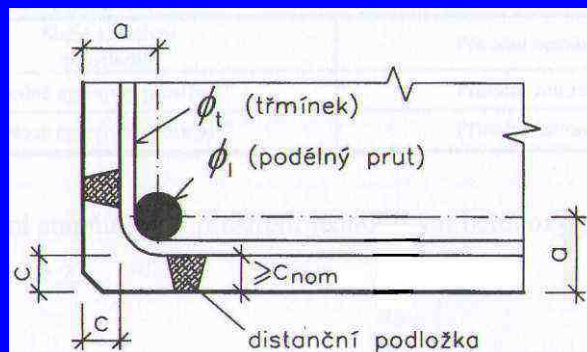
Tabulka 4.4N – Minimální hodnoty krycí vrstvy $c_{min,dur}$ požadované z hlediska trvanlivosti pro betonářskou výztuž podle EN 10080

Třída konstrukce	Požadavek prostředí pro $c_{min,dur}$ (mm)						
	Stupeň vlivu prostředí podle tabulky 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Nominální krycí vrstva $c_{nom} = c_{min,dur} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = \underline{35 \text{ mm}}$ (ČSN EN 1992-1-1, odst. 4.4.1)

min. krycí vrstva

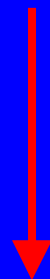
návrhová odchylka



$$c \geq c_{nom} = c_{min,dur} + \Delta c_{dev}$$

Při betonáži na nerovné povrchy je nutné c_{nom} zvětšit (ČSN EN 1992-1-1) :

- při betonáži na upravené podloží (včetně podkladního betonu) min. 40mm
- při betonáži přímo na zeminu min. 75 mm



Krytí výztuže $c = 40 \text{ mm}$.

Analýza konstrukce

Základní vstupní data: - pevnostní třída betonu
- krytí výztuže
- zatížení

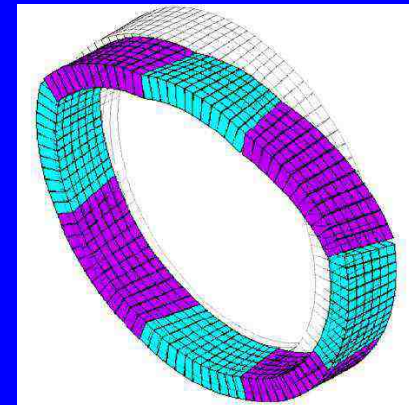
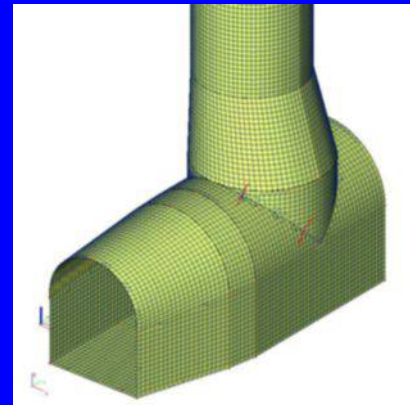
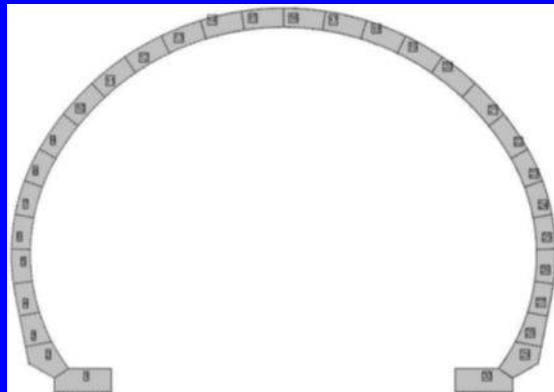
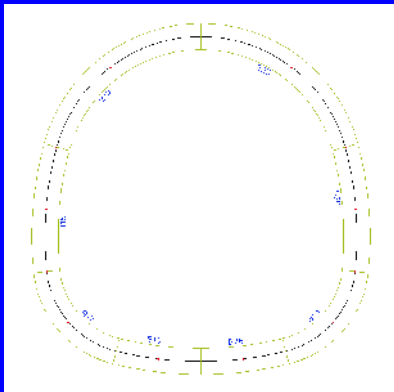
Výpočtový model konstrukce definitivního ostění:

- rovinný model (2D) - prutové prvky

- plošné prvky

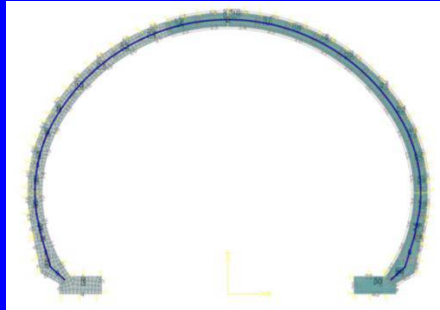
- prostorový model (3D) - plošné prvky

- objemové prvky

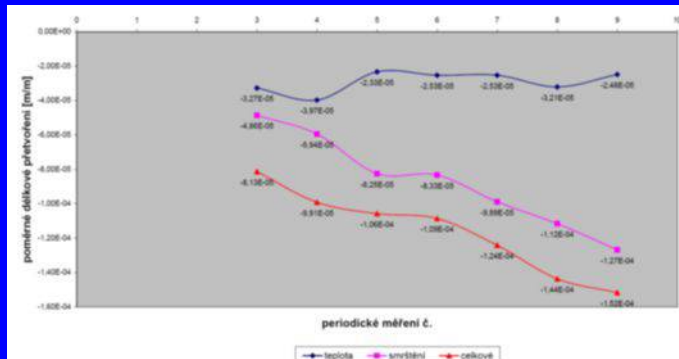


Zpětná analýza výstižnosti numerického modelu

numerický model



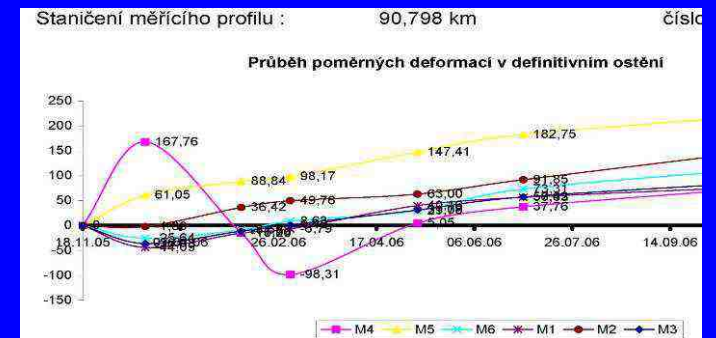
výsledky MKP



reálná konstrukce

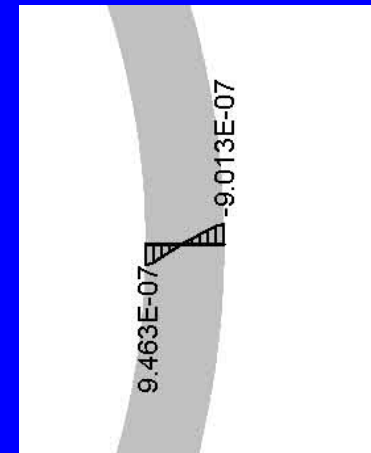
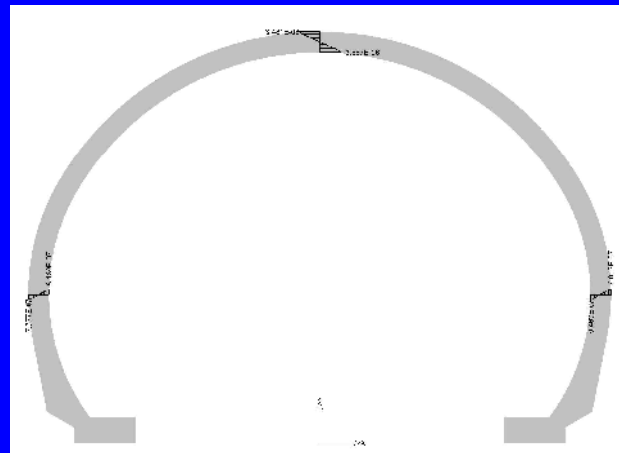
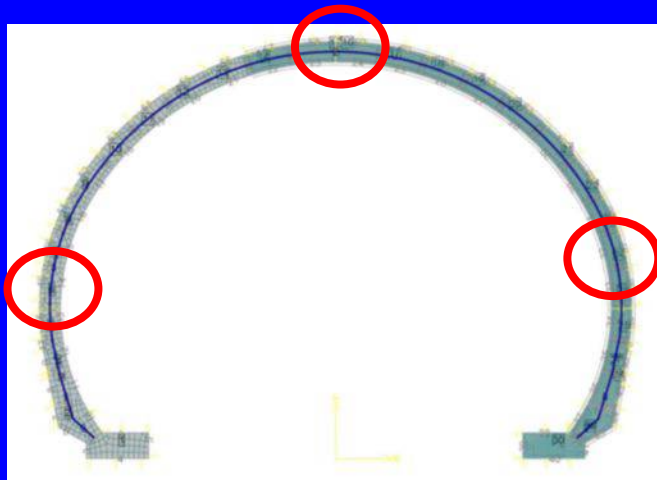
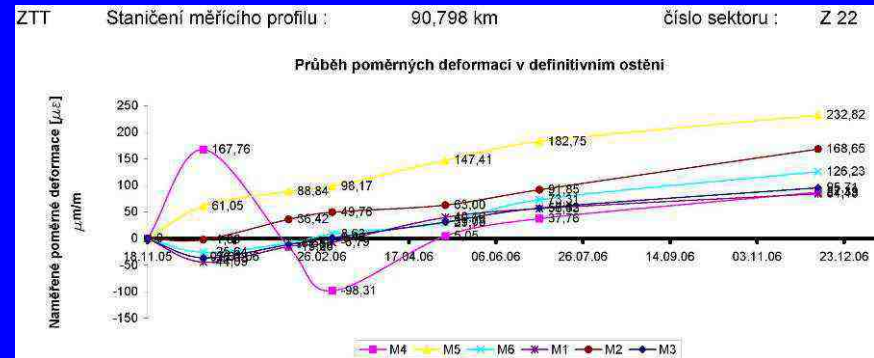
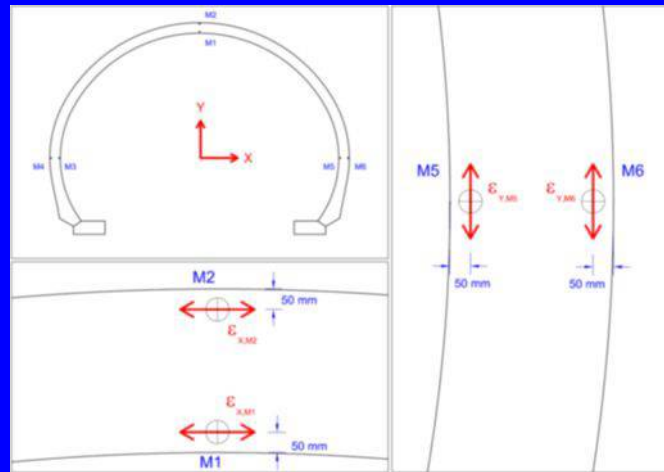
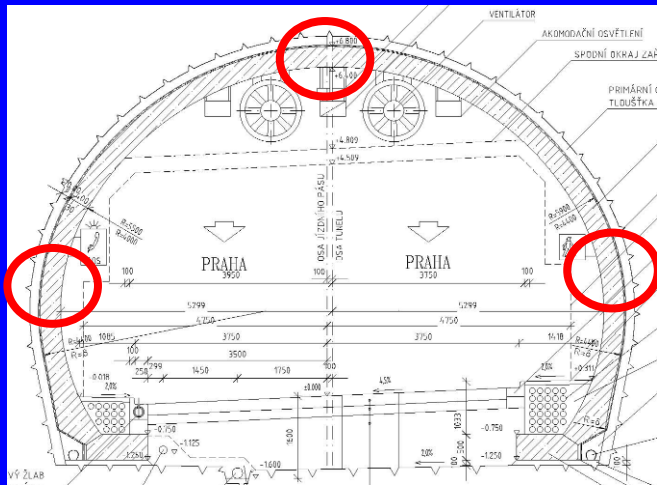


výsledky měření

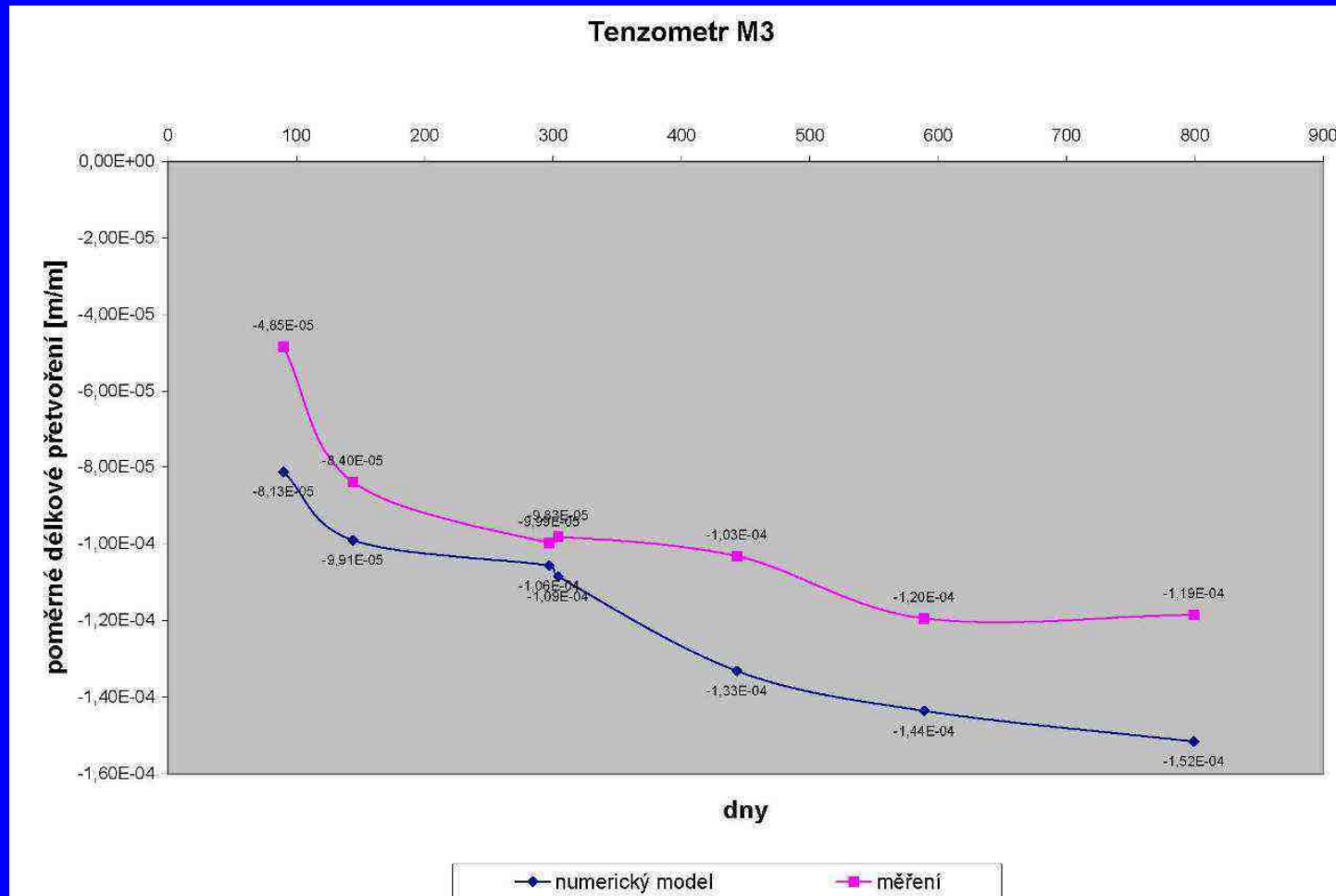


porovnání výsledků



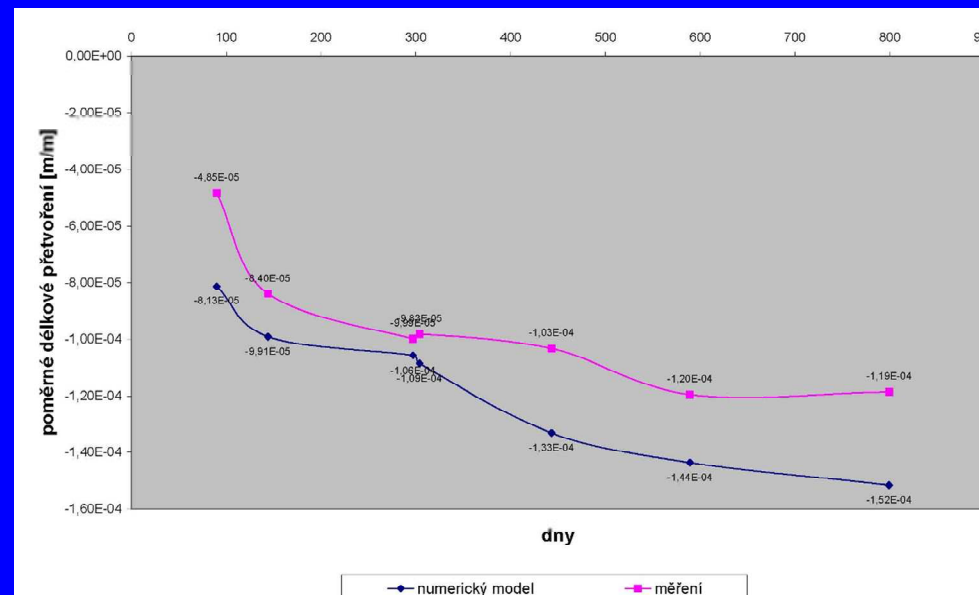


Porovnání výsledků



Závěr zpětné analýzy

- časový interval měření 5 let (2003 - 2008)
 - doposud nedošlo k degradaci primárního ostění → zatížení definitivního ostění pouze vl. tíhou, klimatickými a objemovými změnami
 - byla prokázána velmi dobrá shoda sledovaných veličin (poměrné deformace)
- 1,20 E-04 m (tenzometry) \approx -1,44 E-04 m (MKP)



PROVÁDĚNÍ DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

- betonáž
- odbednění
- ošetření
- injektáž vrchlíku

Délky betonážních záběrů (pasů)



TKP ŘSD 24 Tunely:

Délka pasů max. 12,5 m.

Portálové pasy, příportálové pasy a pasy z prostého betonu max 10 m.

Délka pasu pro ostění z vodonepropustného betonu je max. 10 m.

TKP ČD 20 Tunely:

Maximální délka bloku pro klenbu bez výztuže a bez izolace je 12 m.

Maximální délka bloku pro klenbu bez výztuže s izolací je 12 m.

Maximální délka bloku pro klenbu s výztuží a bez izolace je 12 m.

Maximální délka bloku pro klenbu s výztuží a s izolací je 12.

Maximální délka bloku pro klenbu z "vodotěsného betonu" je 10m.

Odbednění

TKP ŘSD 24 Tunely:

Nejdříve po 12 hodinách.

TKP ČD 20 Tunely: běžná doba odbednění, minimální doba odbednění

Běžná doba:

- pro klenbu bez výztuže a bez izolace 10 hod.
- pro klenbu bez výztuže s izolací 10 hod.
- pro klenbu s výztuží a bez izolace 10 hod.
- pro klenbu s výztuží a s izolací 10 hod.

- pro "vodotěsné def. ostění" 12 hod.

Minimální doba:

- pro klenbu bez výztuže a bez izolace8 hod.
- pro klenbu bez výztuže s izolací8 hod.
- pro klenbu s výztuží a bez izolace8 hod.
- pro klenbu s výztuží a s izolací8 hod.

Platí pouze při využití příznivých předpokladů pro zamezení tvorby trhlin tzn.:

Maximální teplota betonu ostění odolného proti průsakům bez plášťové izolace s obvyklou délkou záběru do 10 m je 40°C.

Maximální teplota def. ostění s izolací, nebo vhodnou separační folií a u kratších úseků je 45°C.

Minimální doba odbednění pro "vodotěsné def. ostění"8 hod.

Platí pouze při použití cementu bez C3A.

Ošetřování



TKP ŘSD 24 Tunely:

- vlhčení po dobu 1 týdne
- ošetřovací vůz min. 3 dny
- uzavírací ochranný nástřik

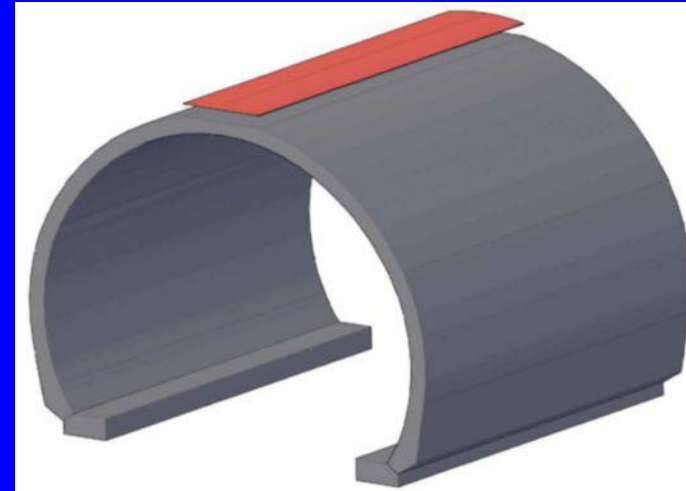
Při zřizování vodonepropustného def. ostění je nutný ošetřovací vůz.

TKP ČD 20 Tunely:

- ošetření betonu tekutými prostředky
- nesmí docházet k příliš silnému ochlazení a vysušení

Injektáž vrchlíku

- zajištění kontaktu



TKP ŘSD 24 Tunely:

- injektáž možno zahájit po 56 dnech
- injektáž cementovou maltou
- injektážní tlak do 2 barů (0,2 MPa)

TKP ČD 20 Tunely:

- nejdříve po 56 dnech od uložení betonu
- pomocí injektážních trubek se zaplní stabilní pojivovou suspenzí
- injektážní tlak 0,1 až 0,2 MPa

DĚKUJI ZA POZORNOST