

*Modelování historických konstrukcí*

8.12.2005

# Víceúrovňové počítařové modelování nelineárního chování zdiva Karlova mostu



**Zdeněk Janda**

*České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební  
Katedra Stavební mechaniky*



# Obsah prezentace

---

- Úvod
- Poruchy Karlova mostu
- Geometrie a kvazihomogenní celky
- Výpočetní modely a fáze výstavby
- Charakter zdiva Karlova mostu a způsob porušení
- Materiálové charakteristiky a zatíhvací stavy
- Okrajové podmínky
- Odezva konstrukce
- Závěr a budoucí záměr

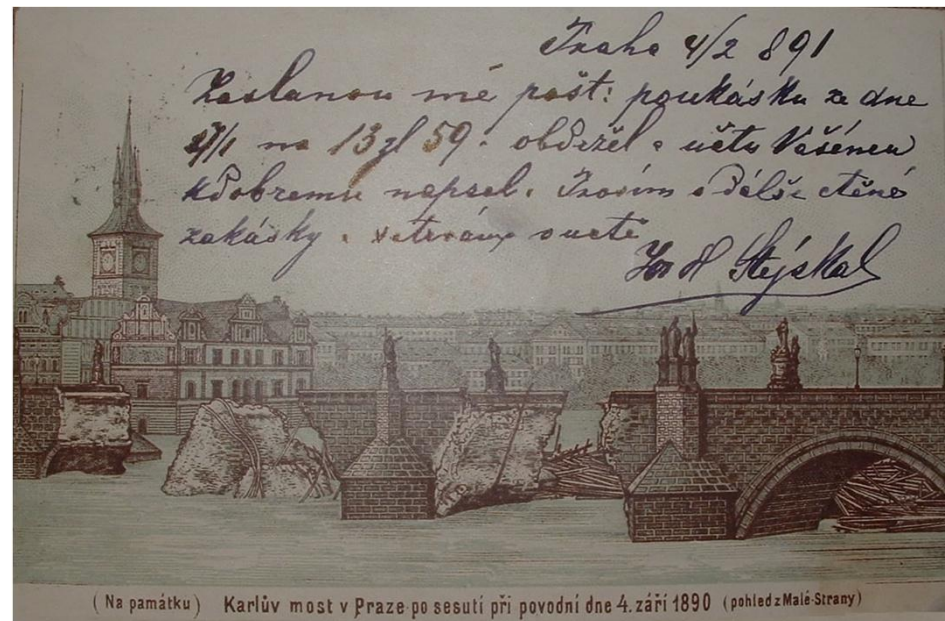
# Úvod



- “ 1890 - strženy klenby 5,6 a 7, poškozeny pilí e 4 - 8
- “ 1893 - oprava ýkod z roku 1890
- “ 1903 - sanace pilí 3, 4, a 7
- “ 1966-1975 - rozsáhlá rekonstrukce, injektáže, železobetonová deska
- “ 2002 - povode více než stoletá voda - most odolal
- “ 2005 Ě Sanace založení pilí 8,9

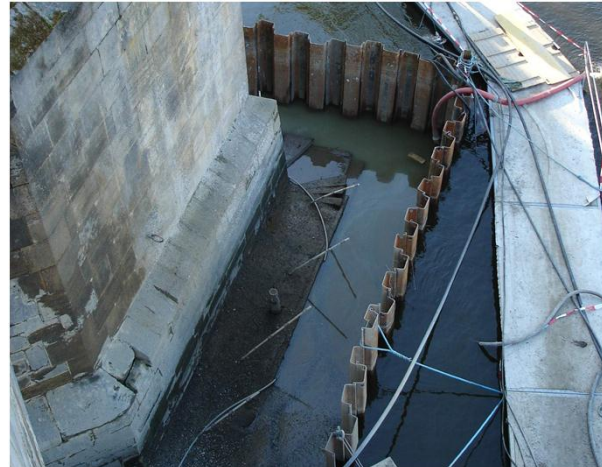
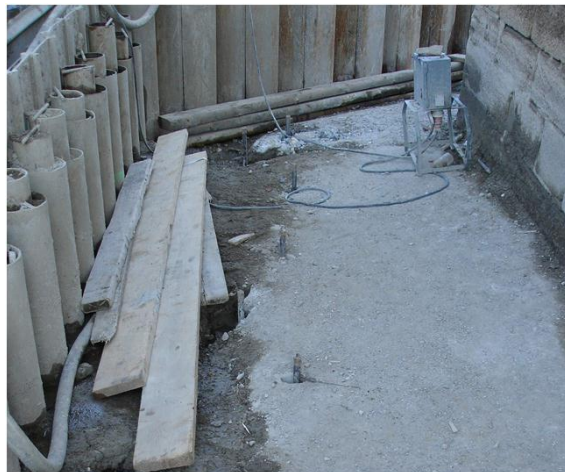
## Historie

- “ 1406 - Dokon ení Karlova mostu
- “ 1432 - poškození p i povodních, pilí e 3,4,7,8,10
- “ 1496 - podemletí a pokles pilí e 3
- “ do 1503 - oprava ýkod z roku 1432 a 1496
- “ 1655 - poškození založení pilí
- “ 1784 - poškození 3 pilí a 5 oblouk
- “ do 1788 - oprava ýkod z roku 1784



# Poruchy Karlova mostu

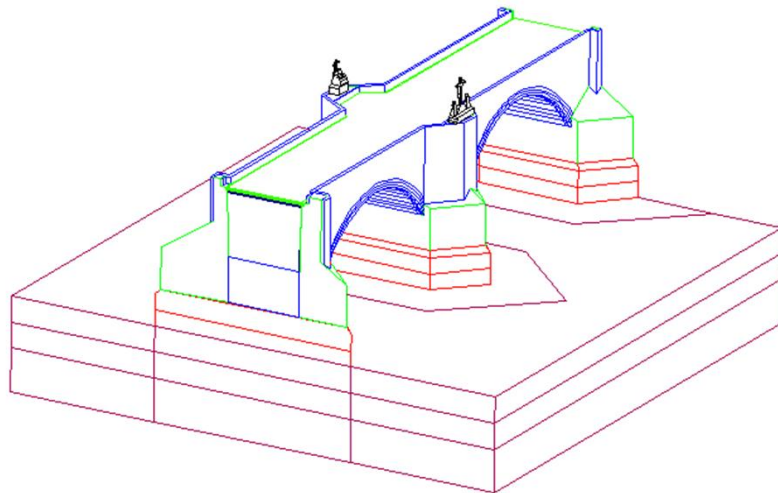
Práv prob hlá rekonstrukce pilí . mikropilotá0, tlaková injektá0 8,9 pilí e



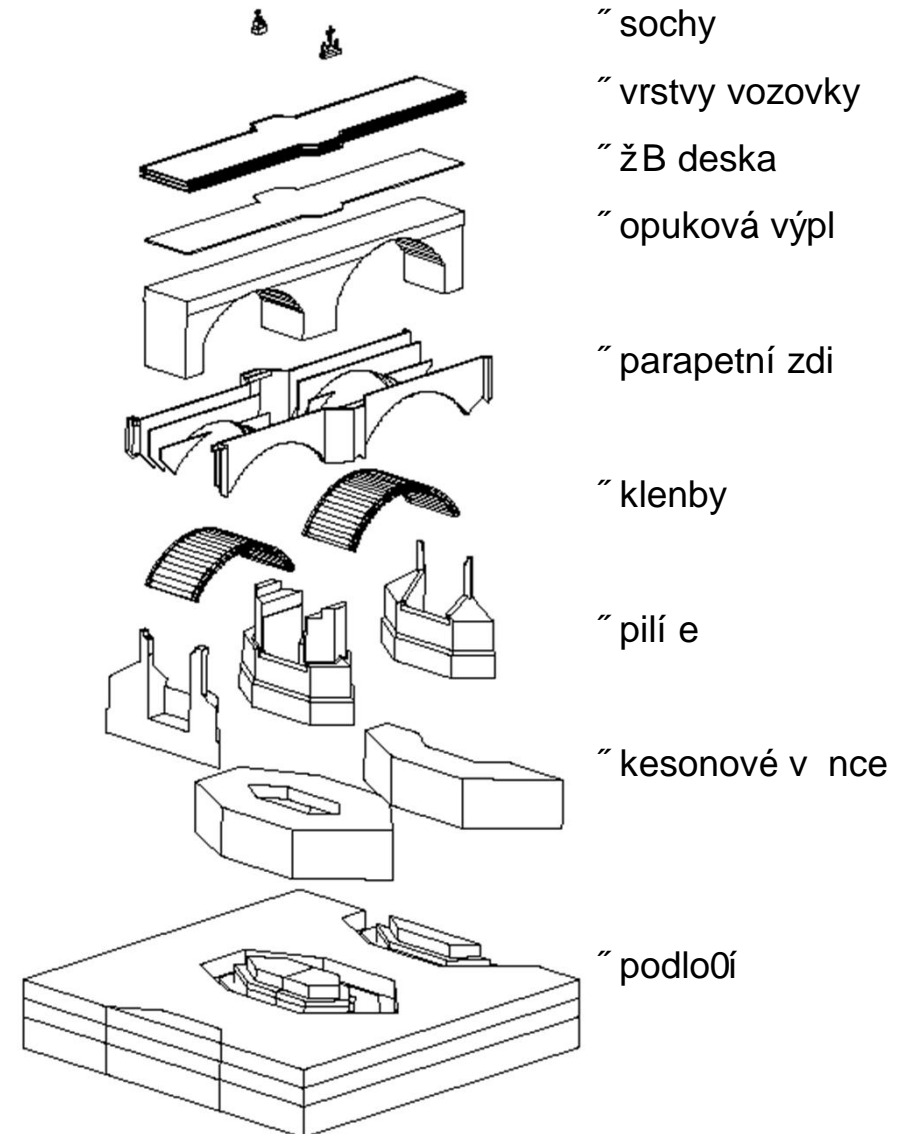
Další poruchy . zdivo, koroze, degradace, trhliny



## 3D geometrie segmentu - AutoCad



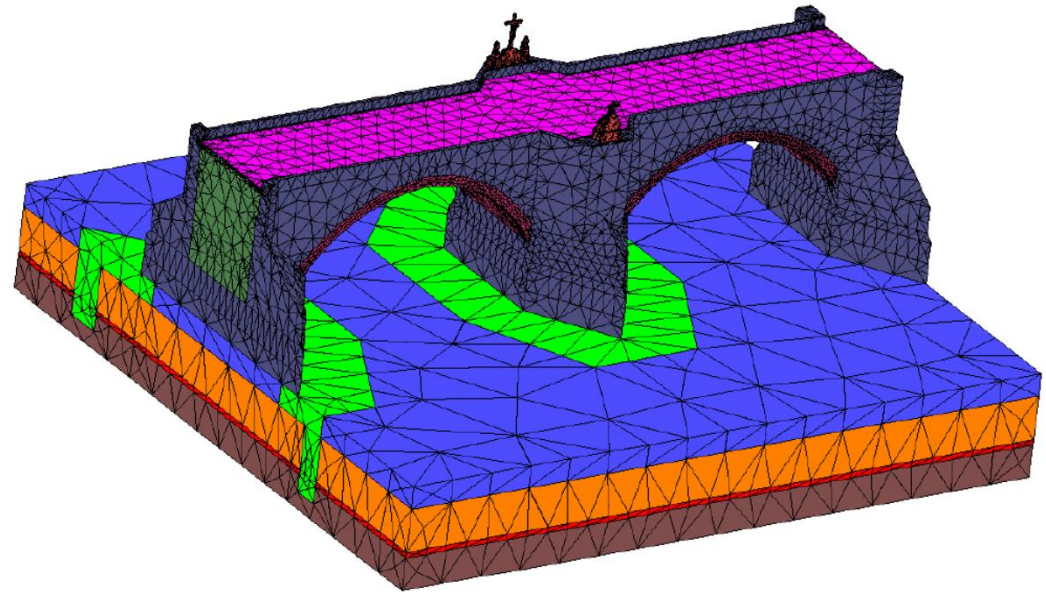
## Účlení kvazihomogenních celků



# Makroskopické periodické výpočetní modely

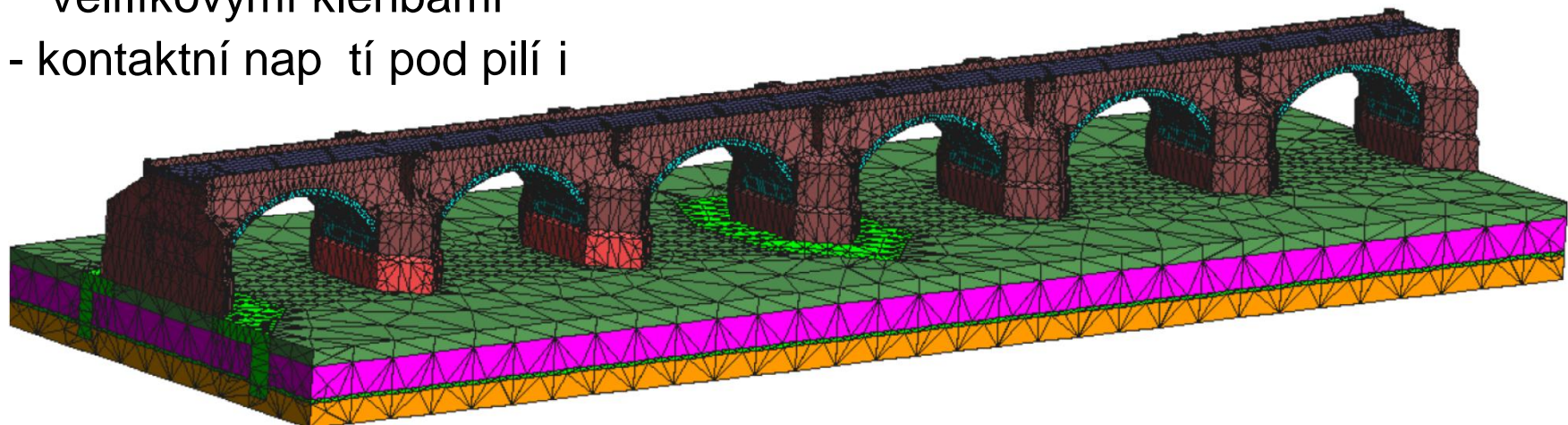
## Dvouobloukový model:

- 90 000 element
- 60 000 stupňů volnosti
- velké teplotní gradienty



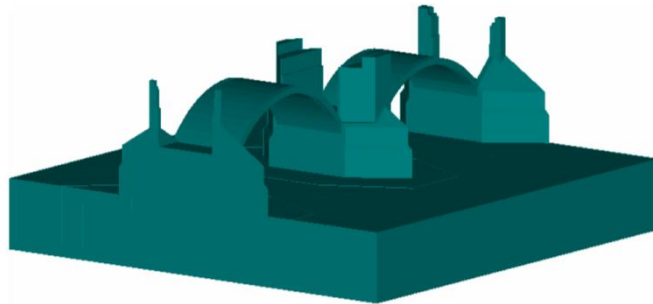
## Čtyřobloukový model:

- 140 000 element
- 90 000 stupňů volnosti
- zatížitelnost nad velkým klenbami
- kontaktní napětí pod pilířemi



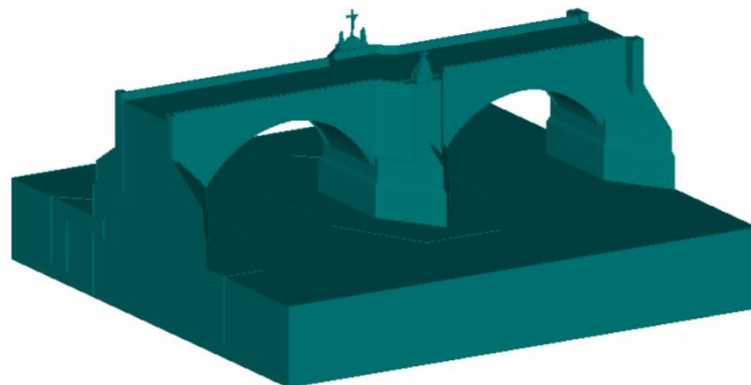
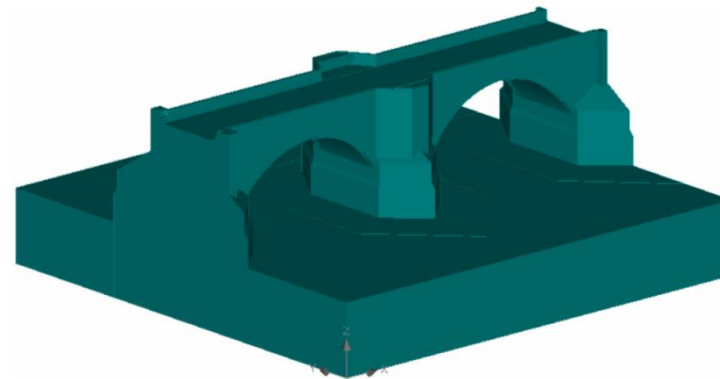
# Fáze výstavby

---



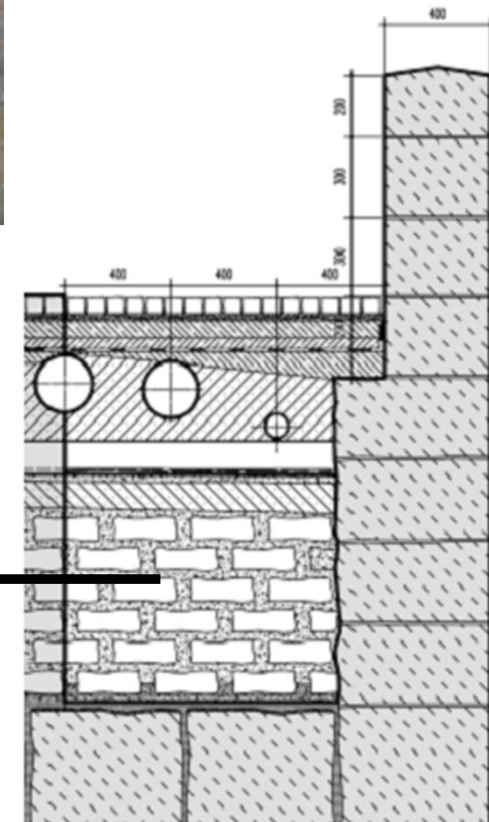
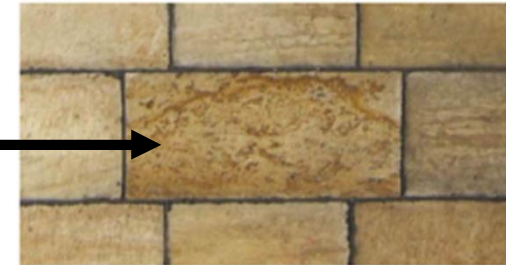
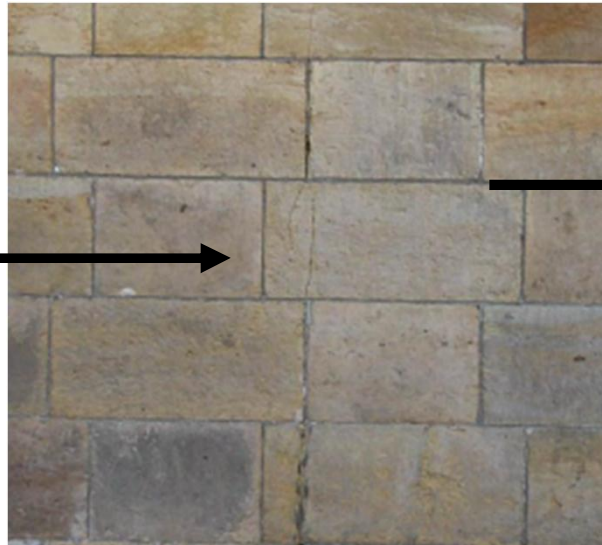
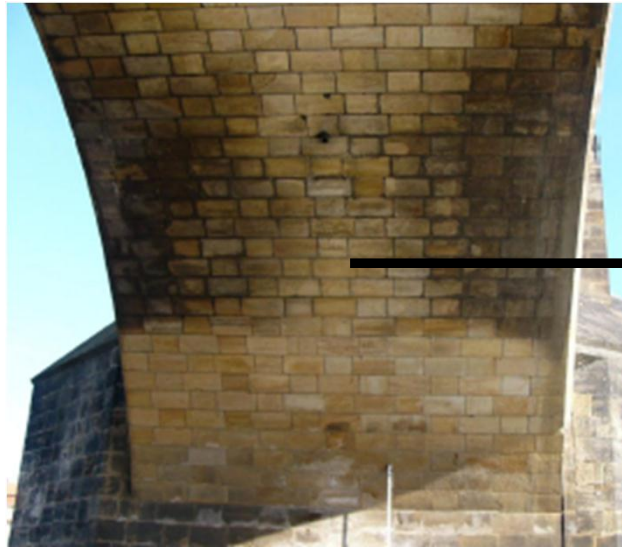
**"1. Fáze Ě oblouk s píli i**

**"2. Fáze Ě (po odskružení klenby) poprsní zdi, opukové zdivo**



**"3. Fáze Ě vrstvy vozovky, pB deska, sochy**

# Charakter zdiva Karlova mostu a způsob poruování





# Materiálové charakteristiky a zatíhvací stavy

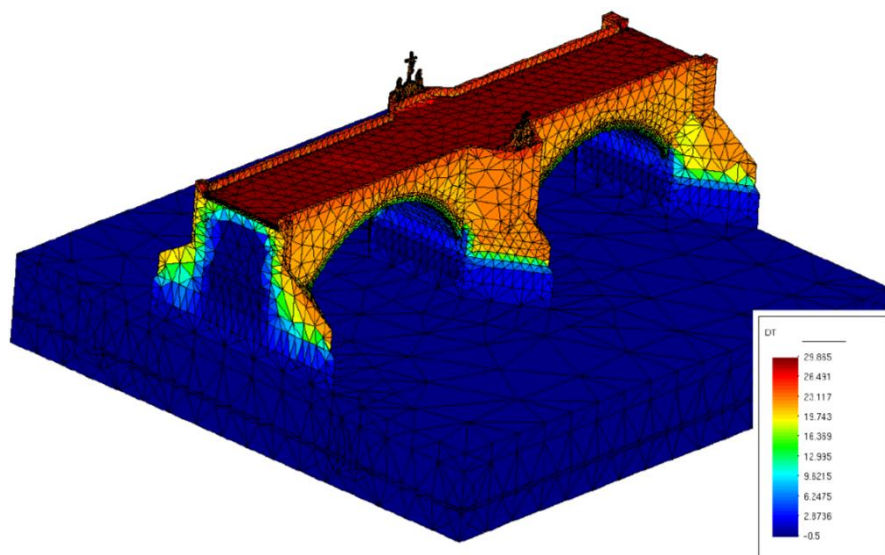
## ➤ Tabulka materiál

.	materiál	E	$\nu$	$G_f$	$f_t$	w
		Gpa		Nm-1	Mpa	m
1	Betonový kesonový v nec	29	0,2			
2	Dilatace	1 Pa	0,01			
3	Neperiodické zdivo - pískovec	20,2	0,17	80	0,5	-0,0005
4	Opukové zdivo	10,4	0,17	40	0,3	-0,0005
5	Periodické zdivo - pískovec	20,2	0,15	80	0,5	-0,0005
6	Podkladní vrstva vozovky	29	0,2			
7	Podloží o nav tralé b idlice	0,5	0,3			
8	Podloží - t rkopisky	0,2	0,3			
9	Podloží - zv tralé b idlice	0,15	0,3			
10	Podloží-hrubé t rky	0,4	0,3			
11	Socha - pískovec	20,2	0,2			
12	Spádový beton vozovky	1	0,2			
13	fiB deska	27,5	0,2			
14	fiulová dlažba vozovky	1	0,2			

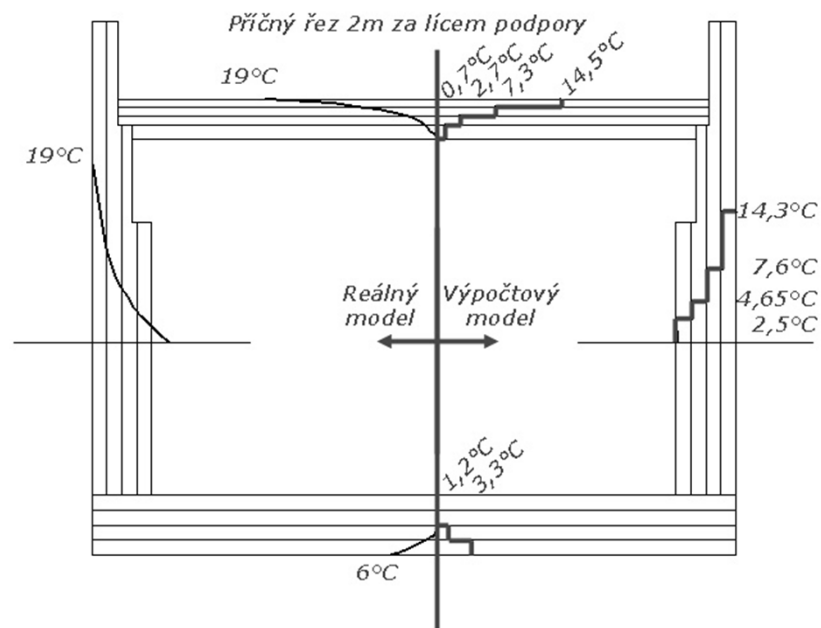
➤ Zatíhvací stavy: 13 kombinací zatíhvacích stav

# Okrajové podmínky

- “ Kinematické okrajové podmínky
- “ Zatížení teplotou



“Rozložení letní teploty

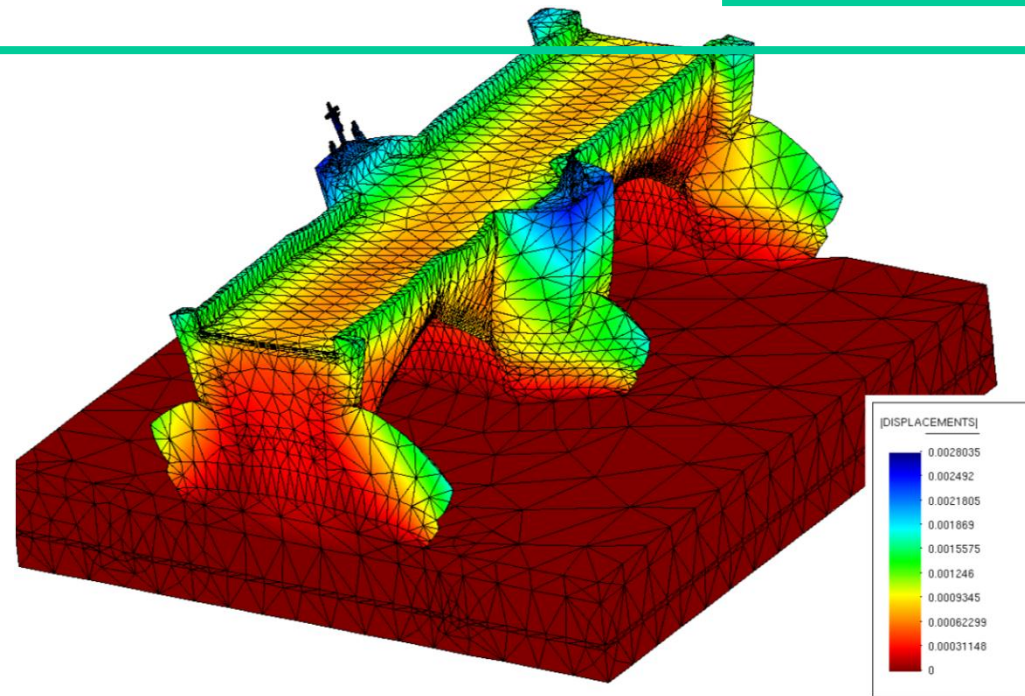


“ Rozložení teploty v konstrukci spo teno pomocí programu DELPHIN, a následnou aplikací jako zatížení do programu ANSYS.

# Odezva konstrukce

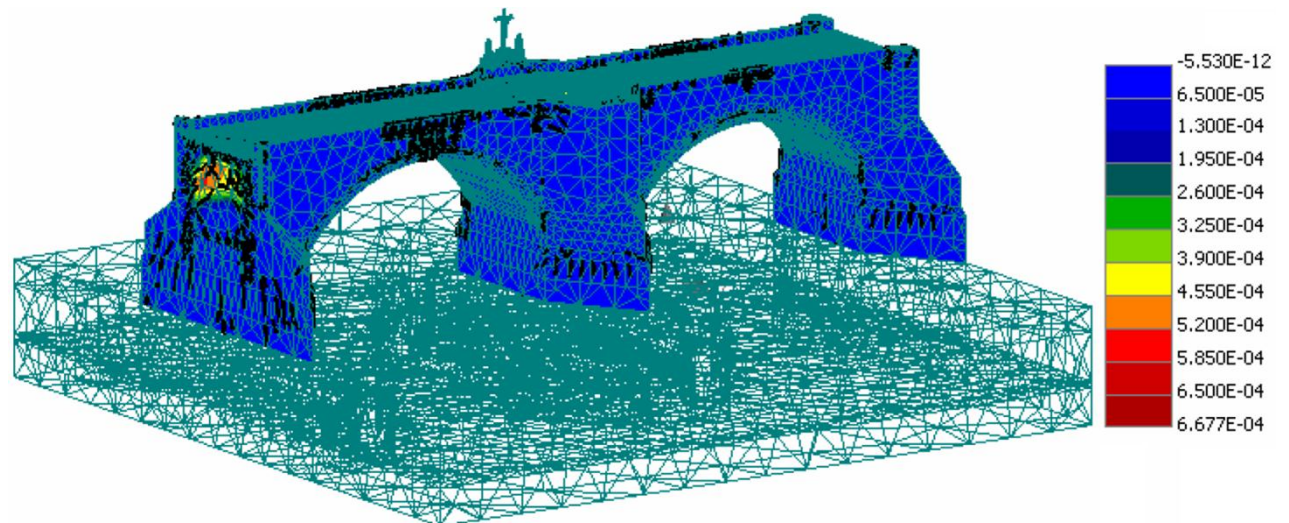
## Zatížení letní teplotou

Deformovaný tvar konstrukce



Rozložení trhlin a jejich rozevření

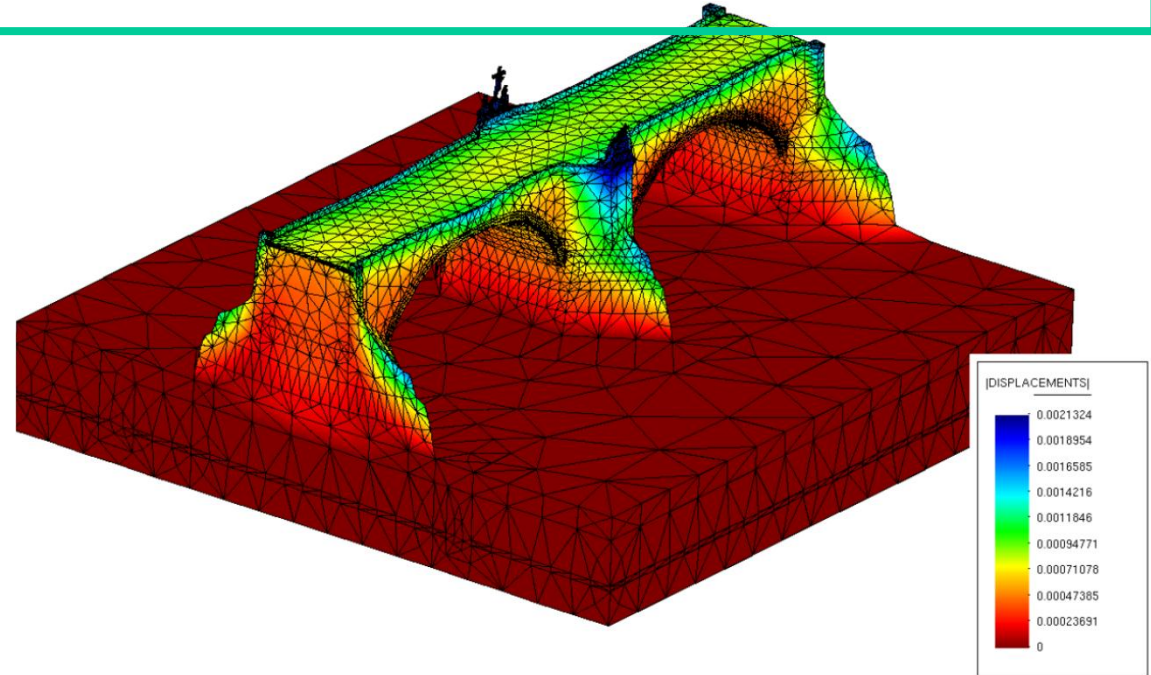
- pole trhlin mezi opukovým zdivem a parapetními zdmi



# Odezva konstrukce

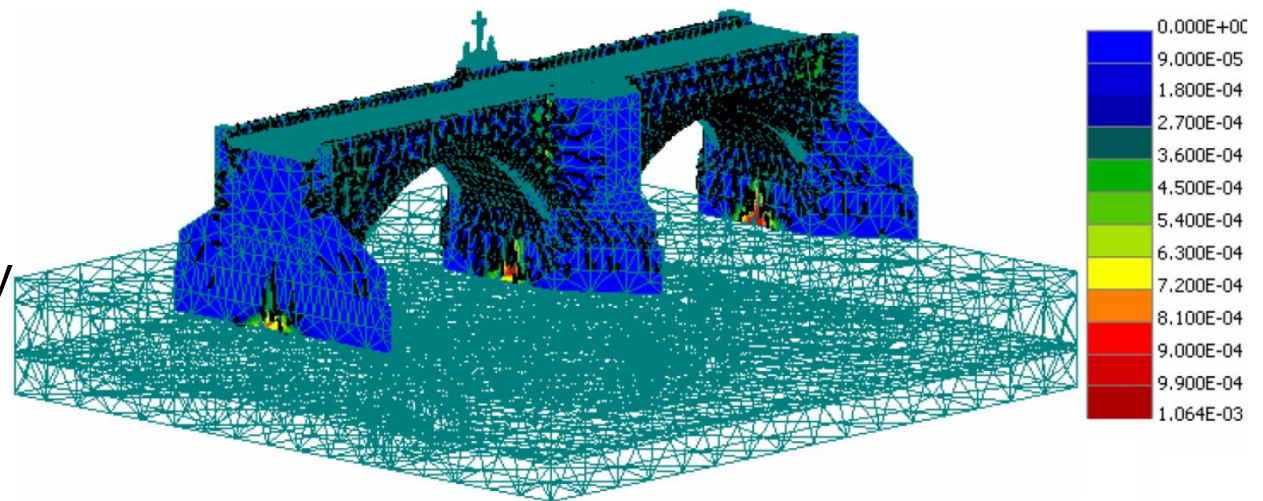
## Zatížení zimní teplotou

Deformovaný tvar  
konstrukce



Rozložení trhlin a jejich  
rozevření

-spojit rozdělené trhliny  
rovnomerné  
a ne příliš velké

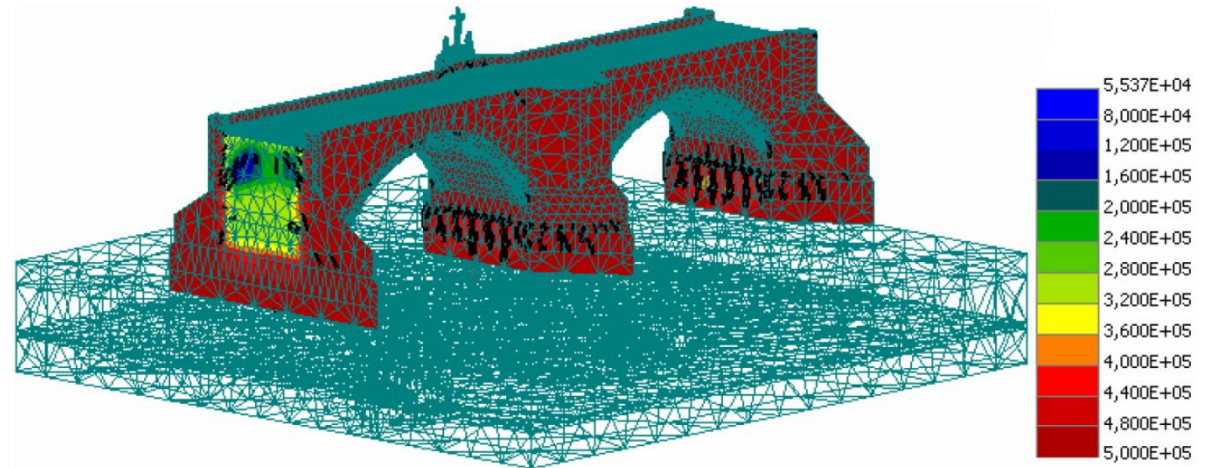


# Odezva konstrukce

## Teplotní cyklus

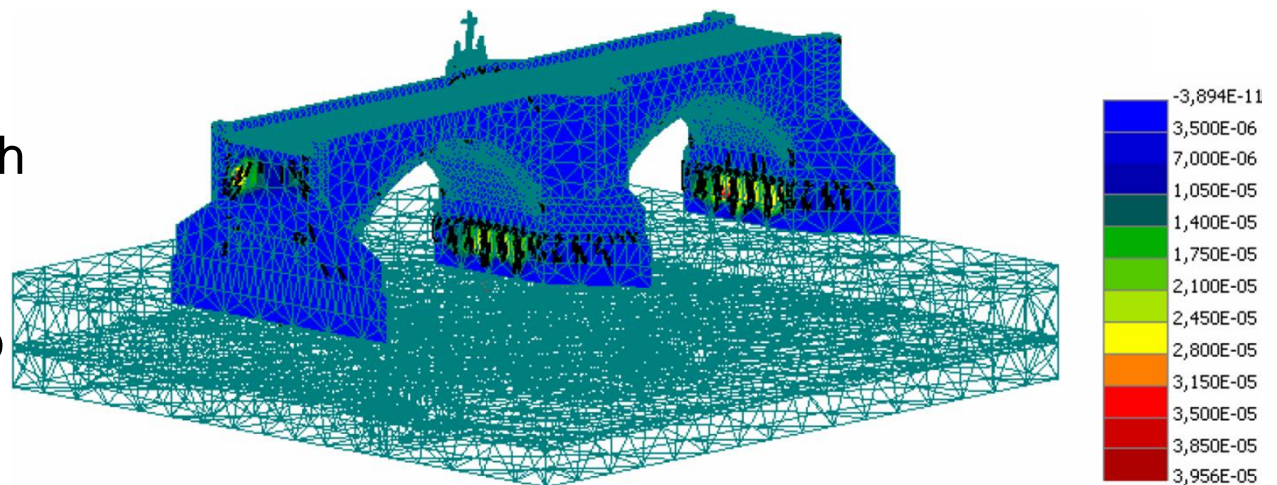
Zatížení letní teplotou  
zimní teplotou

Deformovaný tvar  
konstrukce



Rozložení trhlin a jejich  
rozevření

- v kombinaci s  
předpětím z letního  
období přiznají  
výsledky



# Závěr a budoucí záměr

---

## “ Závěr:

“Rozložení tahových napětí v klenbě odpovídá reálnému rozložení trhlin spodní klenby Karlova mostu

“Vypočtená tahová napětí jsou vyzdí ne0 mezní únosnost materiálu klenby v tahu a predisponují tedy vývoj trhlin

“Predisponované trhliny patrně vznikají nejen z důvodu tahového namáhání ale i z důvodu smykového namáhání klenby pod vlivem tíhy parapetních zdí

## “ Budoucí záměr:

“Zjistění přesnějších materiálových charakteristik pro zbývající kvazihomogenní celky

“Stále probíhá experimentální měření v Kloknerov ústavu pro přesnější zjistění lomové houževnatosti pro opukové zdivo