



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



STABFI

Připojení pláště ve smyku

František Wald



Motivace

Seznámení s podklady
pro analytický model
připojení pláště ve smyku



RFCS 751583

Steel cladding systems for **stab**ilization of steel buildings in **fi**re

Obsah přednášky

- Úvod
- **Experimenty**
- **Model MKP**
 - Validace
 - Studie citlivosti
- **Analytický model**
 - Validace
- Shrnutí

Úvod

- Za požáru se redukují
 - hodnoty materiálových charakteristik sendvičových panelů a trapézových plechů
 - tuhost a únosnost jejich přípojů



Přednáška je zaměřena na redukci **přípojů** sendvičových panelů

➤ Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

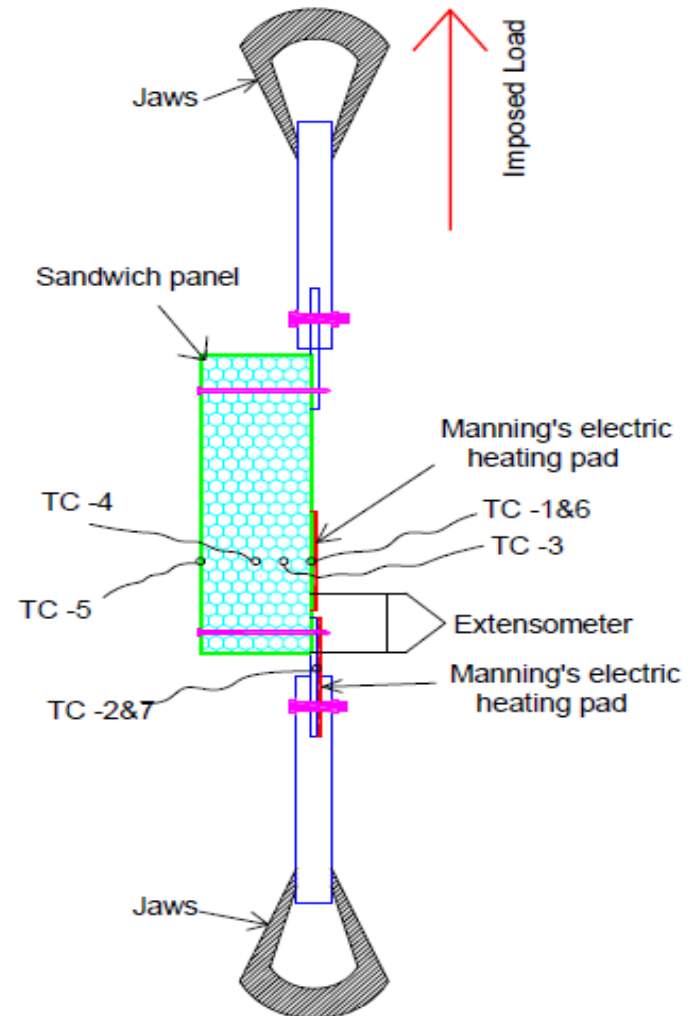
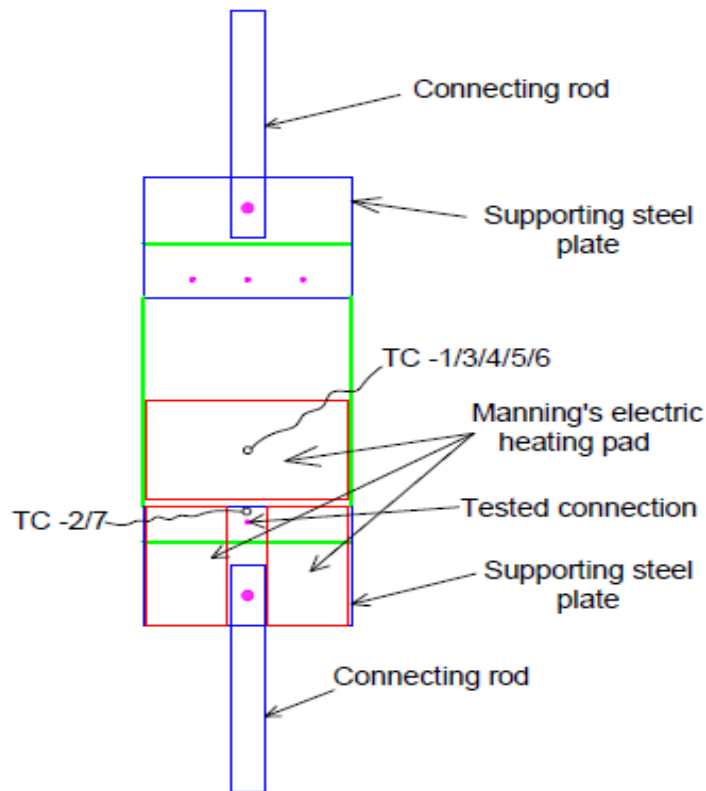
Analytický
model

Validace

Shrnutí

Experimenty s přípoji

○ Zkušební sestava



Úvod

➤ Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Zkušební sestava

- Zkouška za běžné teploty



Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Rozsah zkoušek

Zkouška			Styčnickový plech mm	Sroub 5,5 mm
Panel	Tloušťka mm	Teplota °C		
Jádro z minerální vaty	100	20	8	1
			10	1
		300	8	1
			10	1
		450	8	1
			10	1
	230	600	8	1
			10	1
		20	8	1
			10	1
		300	8	1
			10	1
450	8	1		
	10	1		
600	8	1		
	10	1		

Úvod

➤ Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Rozsah zkoušek

Zkouška			Styčnickový plech mm	Šroub 5,5 mm
Panel	Tloušťka mm	Teplota °C		
Jádro z PIRu	100	20	8	1
			10	1
		250	8	1
			10	1
		300	8	1
			10	1
	450	8	1	
		10	1	
	160	20	8	1
			10	1
		200	8	1
			10	1
300		8	1	
		10	1	
450	8	1		
	10	1		

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Ohřev keramickými odporovými dečkami

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí



Teploty připojovaných prvků

Plech °C	Chráněný průřez HEA 120 °C	Chráněný průřez HEA 200 °C
20	20	20
200	65	58
250	105	91
300	153	133
450	334	305
600	518	493

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

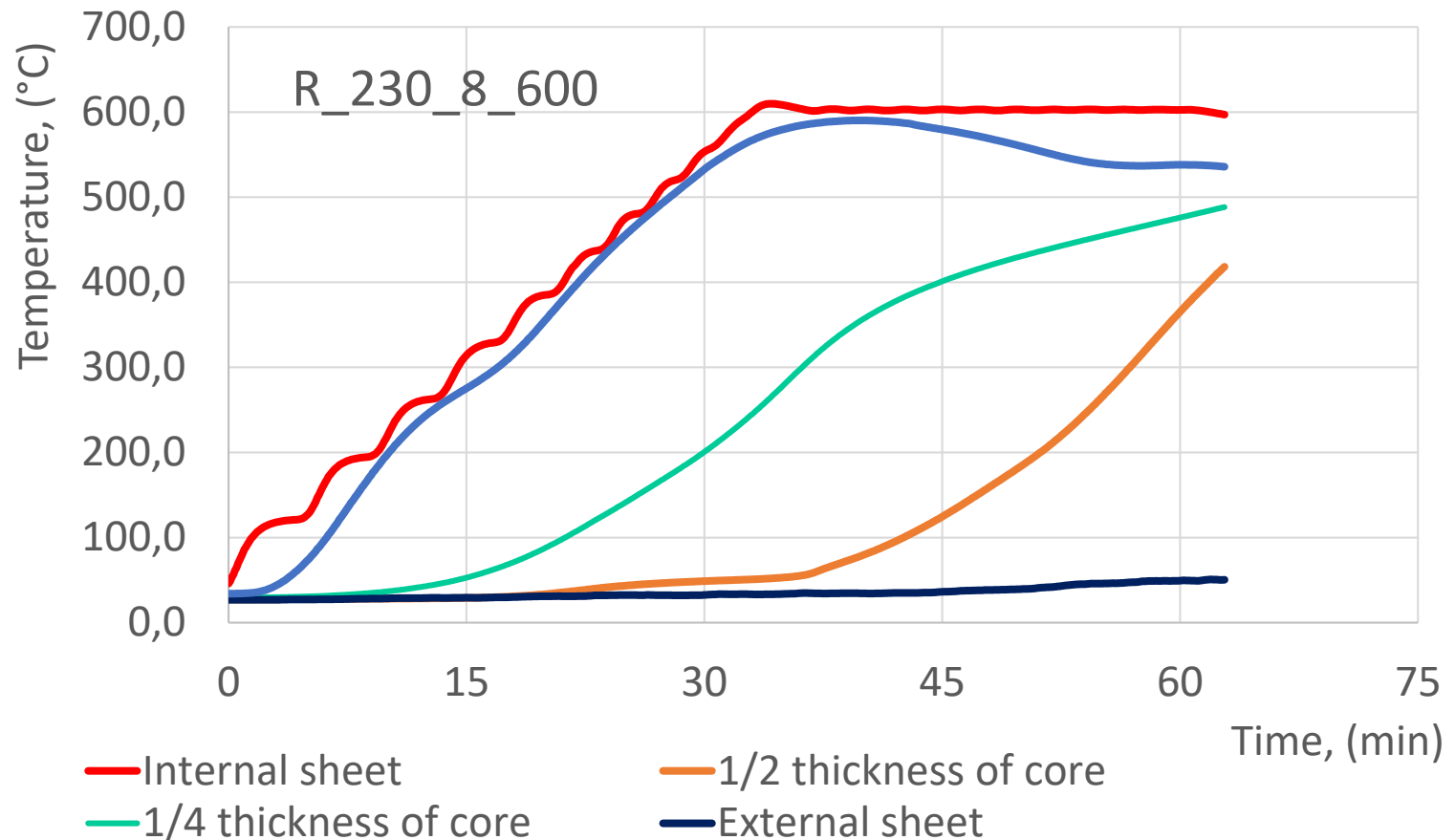
Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Zahřívání



- Jádro z MW tloušťky 230 mm
- Plech 8 mm o teplotě 300 ° C

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Závislost deformace na síle



- Jádro z PIR tloušťky 160 mm
- Plech 8 mm teploty 300 °C

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Tvary porušení pro minerální vatu

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

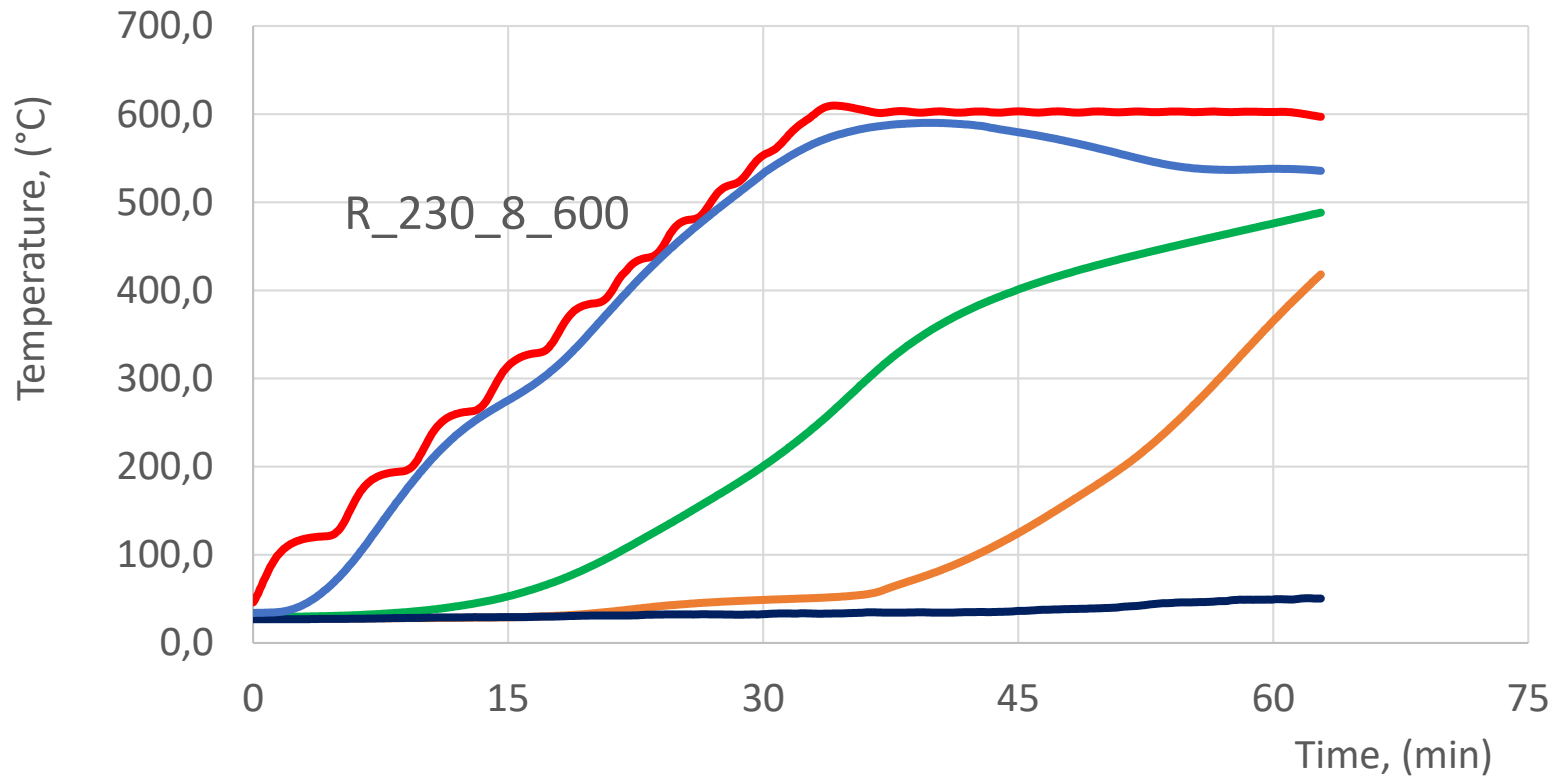
Analytický
model

Validace

Shrnutí



Zahřívání



— Internal sheet — 1/2 thickness of core — 1/4 thickness of core
— External sheet — Steel plate

- Jádro z minerální vaty tloušťky 230 mm
- Plech 8 mm o teplotě 600 ° C

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

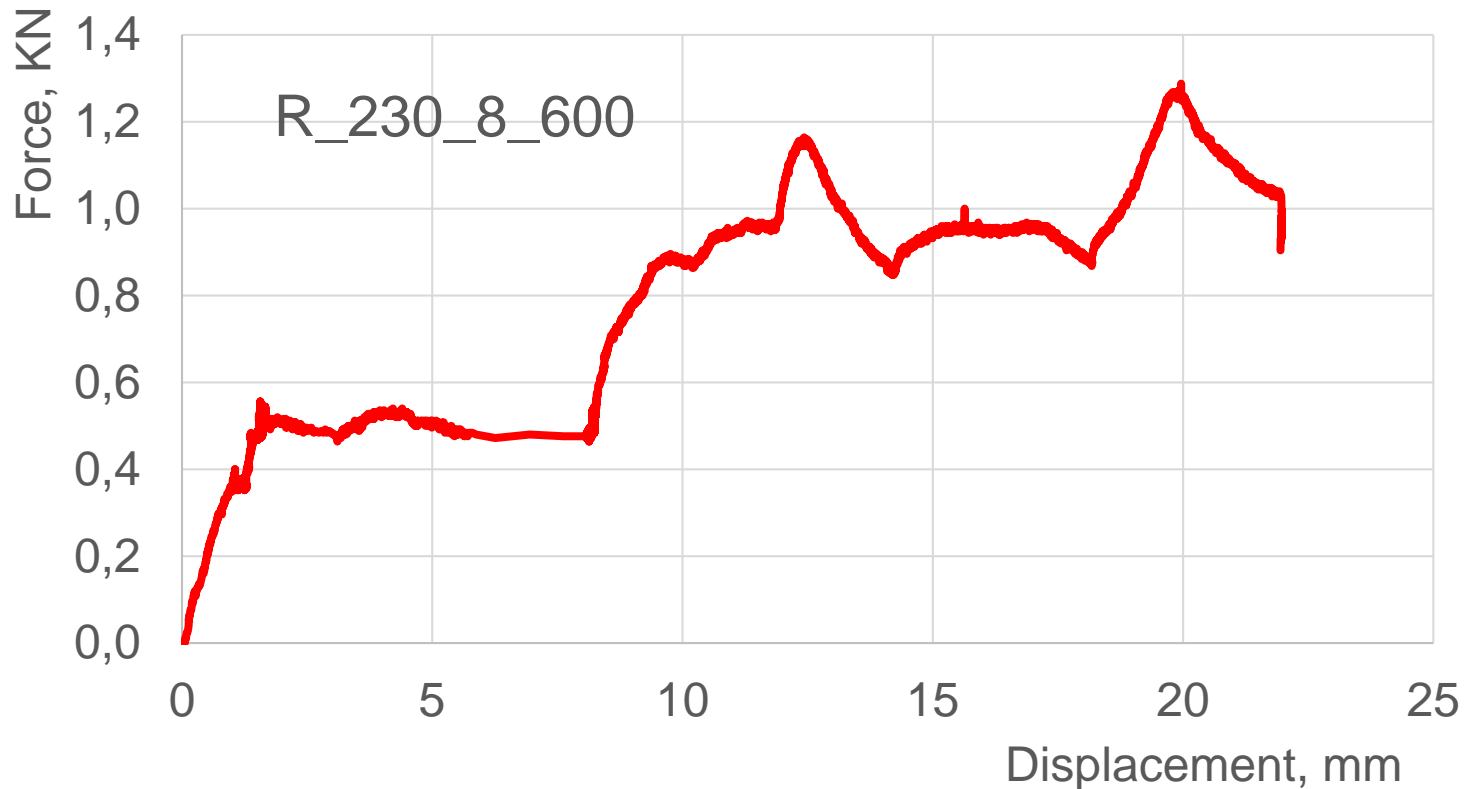
Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Závislost deformace na síle



- Jádno z minerální vaty tloušťky 230 mm
- Plech 8 mm o teplotě 600 ° C

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Tvary porušení pro jádro z MW

Úvod

► Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí



Model MKP

- ANSYS Workbench
- Ohřev a síla po přírůstcích jako při experimentu

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

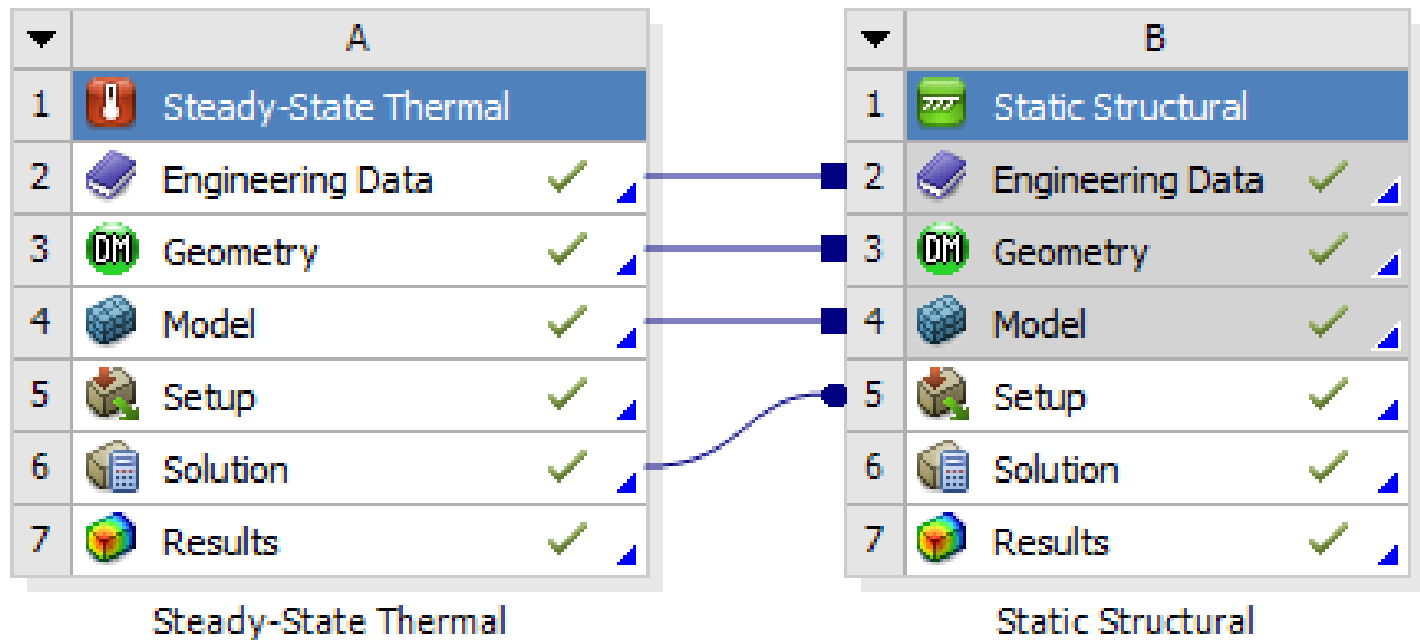
Validace

Studie citlivosti

Analytický model

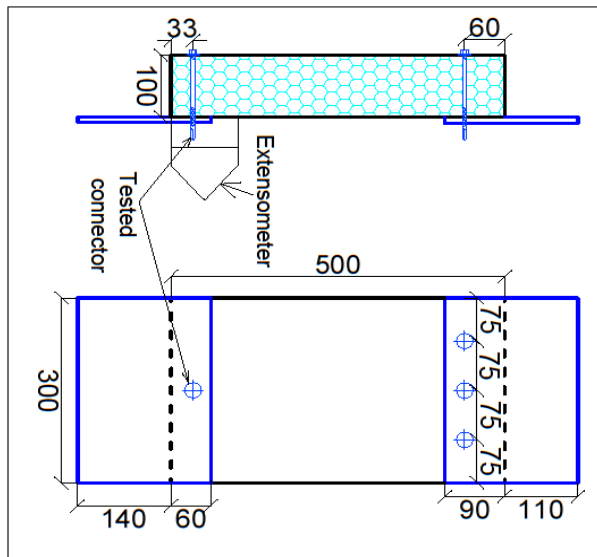
Validace

Shrnutí

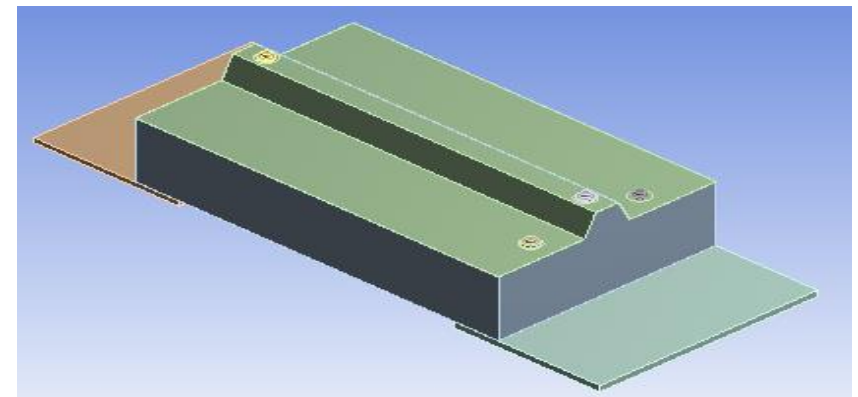
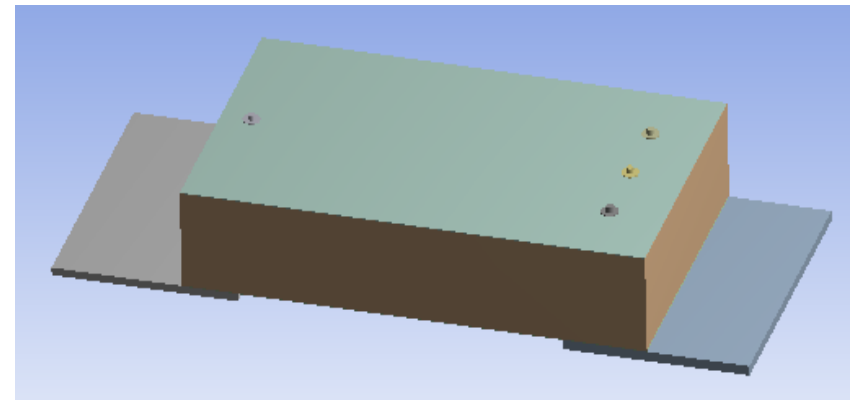


Vzorek

Experiment



Model



Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Prvky

- Jádru a plech SOLID186 (3-D 20-node)
- Ostatní SOLID187 (3-D, 10-node)

Úvod

Experimenty

► Model MKP

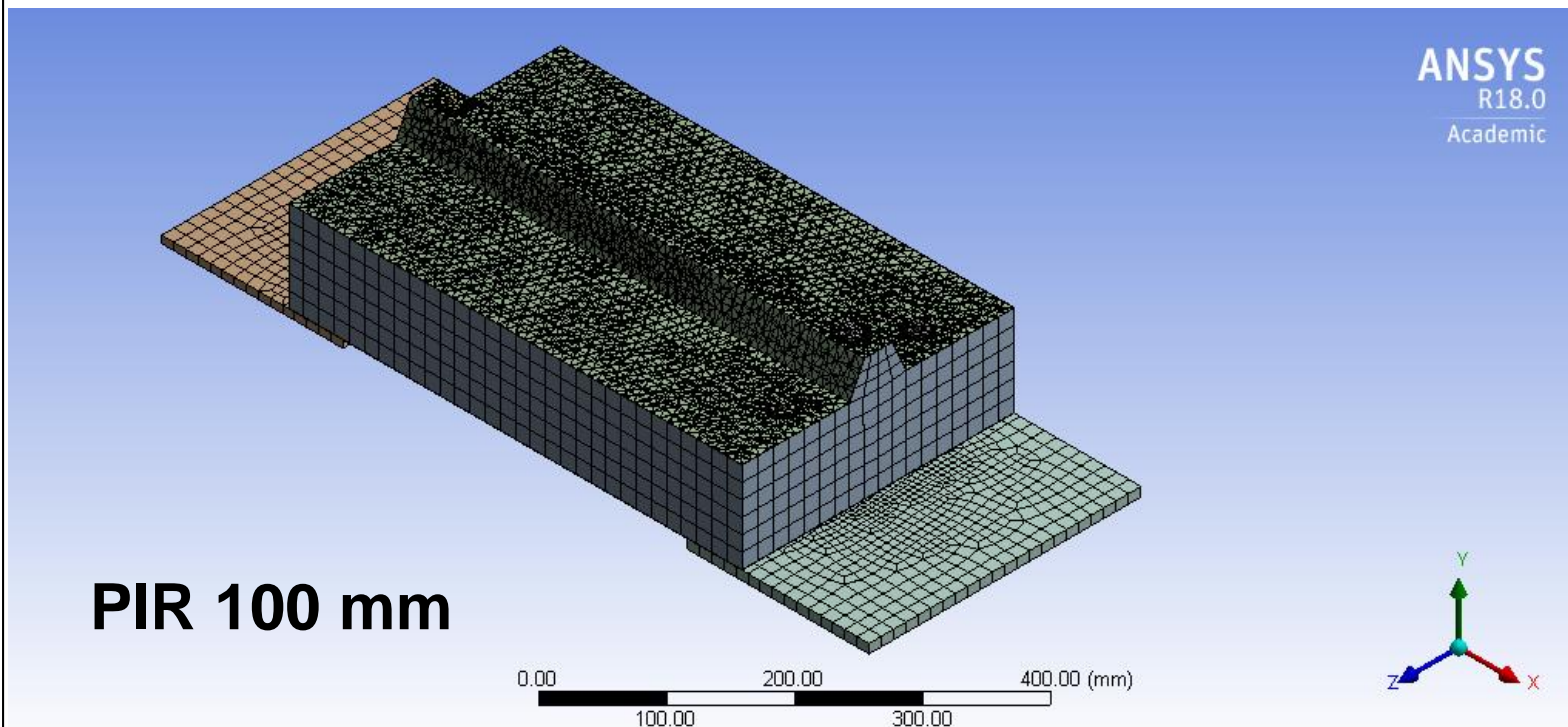
Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

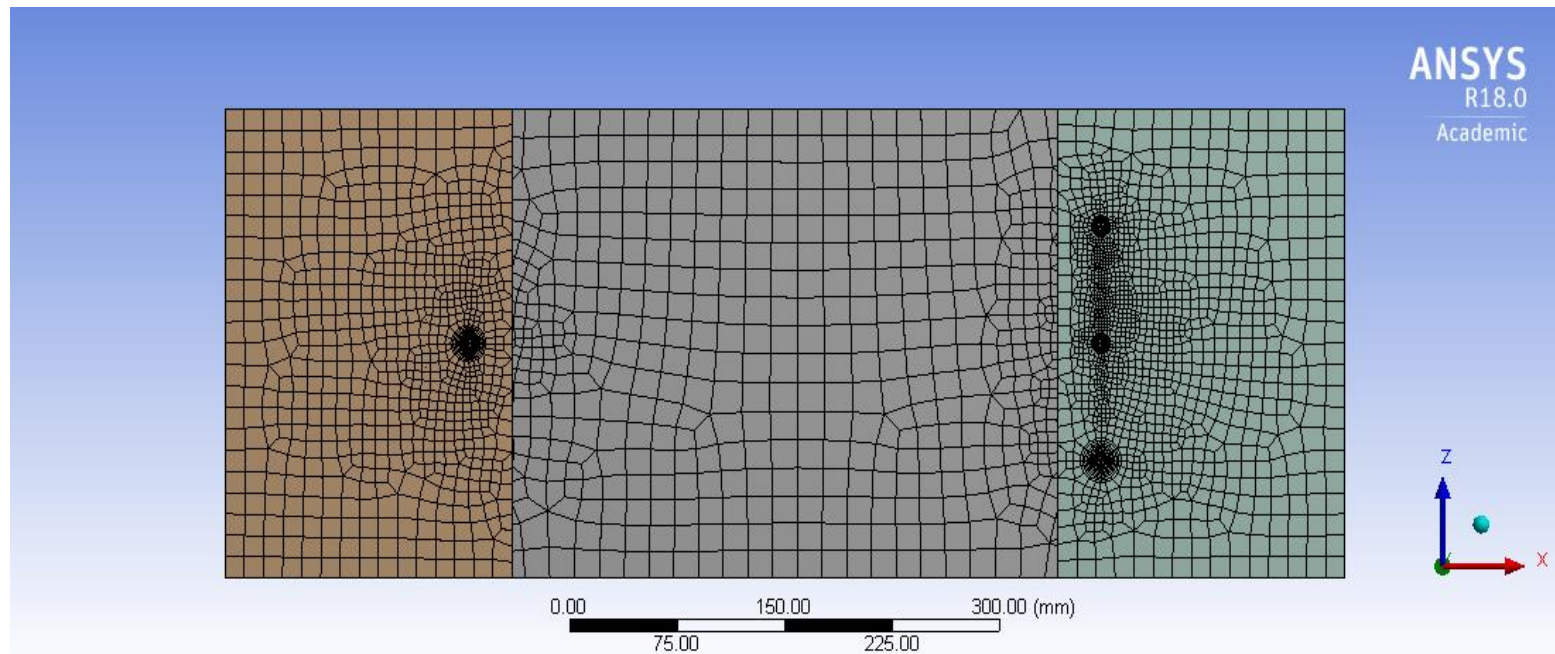
Validace

Shrnutí



Volba sítě

- Zahuštění u šroubů



Úvod

Experimenty

► Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Kontakty

✓ Plechy a výplň -- Bonded contact b/n

✓ Ostatní Frictional contact b/n

Nastavení

Details of "Bonded - Inner sheet To PIR"		Details of "Frictional - Inner sheet To Screw 1"	
Scope		Scoping Method	Geometry Selection
Scoping Method	Geometry Selection	Contact	1 Face
Contact	1 Face	Target	1 Face
Target	1 Face	Contact Bodies	Inner sheet
Contact Bodies	Inner sheet	Target Bodies	Screw 1
Target Bodies	PIR	Definition	
Definition		Type	Frictional
Type	Bonded	<input type="checkbox"/> Friction Coefficient	0.2
Scope Mode	Automatic	Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled	Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled	Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	2.1416 mm	Trim Tolerance	2.1416 mm
Suppressed	No	Suppressed	No
Advanced		Advanced	
Formulation	Program Controlled	Formulation	Augmented Lagrange
Detection Method	Program Controlled	Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled	Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled	Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled	Normal Stiffness	Manual
Update Stiffness	Program Controlled	Normal Stiffness Factor	0.1
Thermal Conductance	Program Controlled	Update Stiffness	Each Iteration
Pinball Region	Program Controlled	Stabilization Damping Factor	0.
Geometric Modification		Thermal Conductance	Program Controlled
Contact Geometry Correction	None	Pinball Region	Program Controlled
Target Geometry Correction	None	Time Step Controls	None
		Geometric Modification	

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

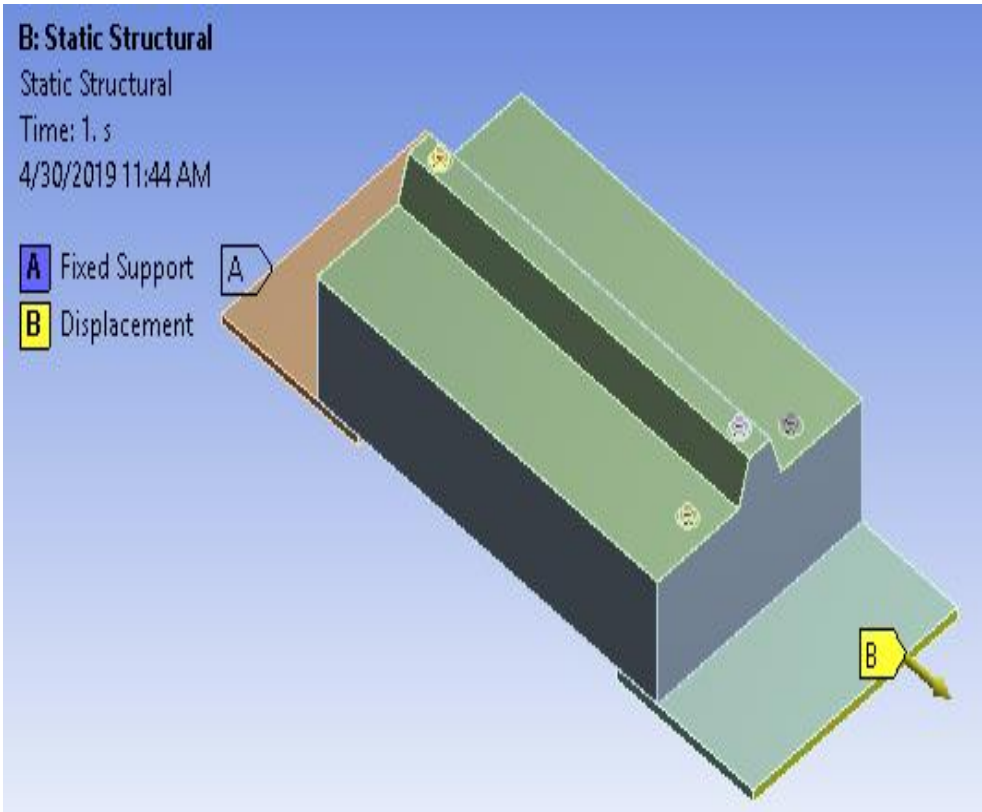
Shrnutí

Uchycení vzorku

Experiment



Model



Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Simulace ohřevu keramickými odporovými dečkami

Úvod

Experimenty

Model MKP

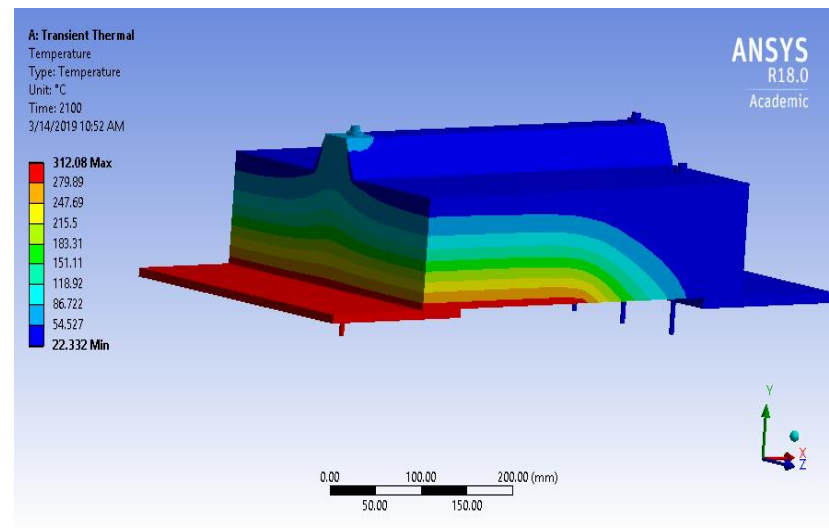
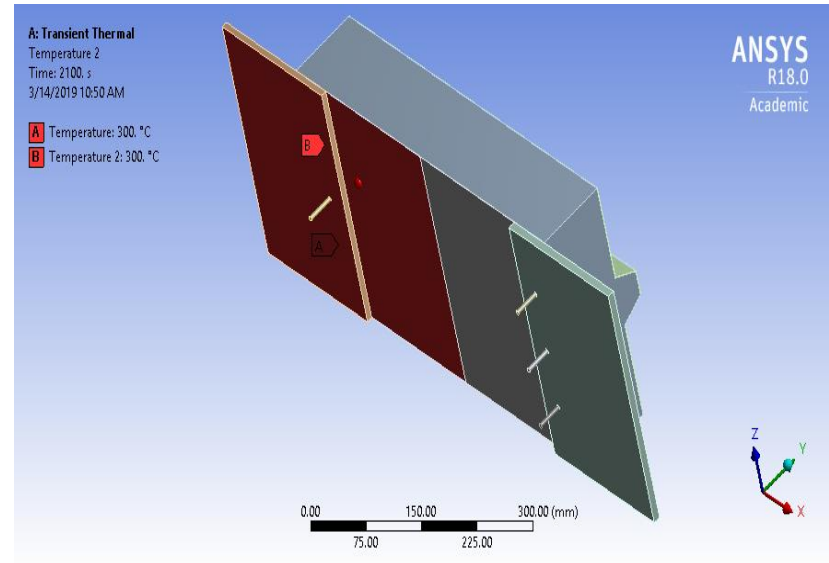
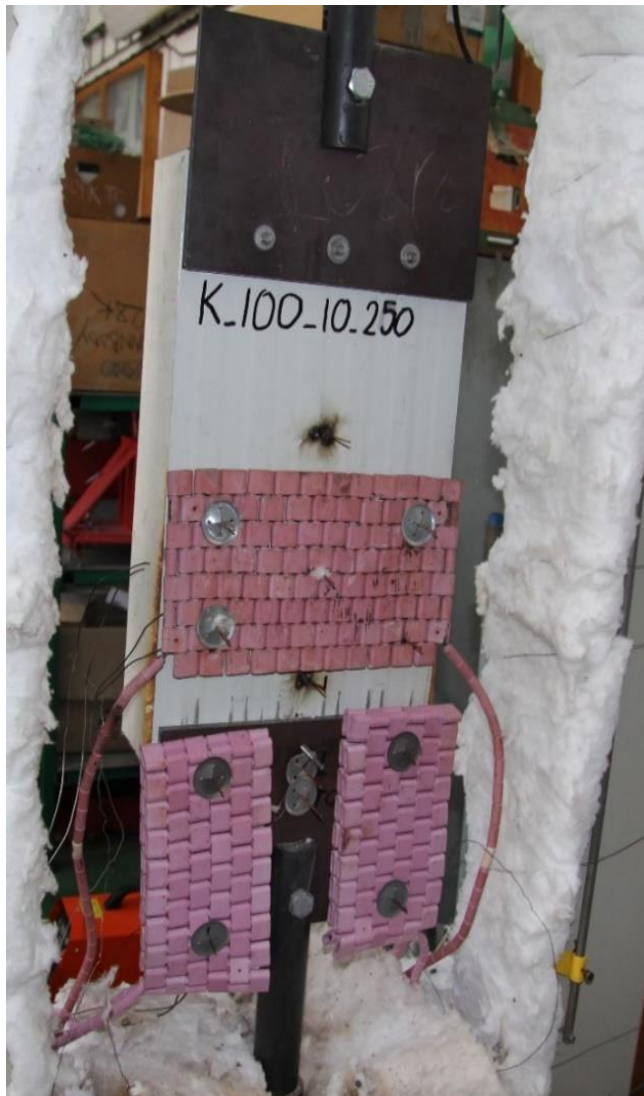
Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

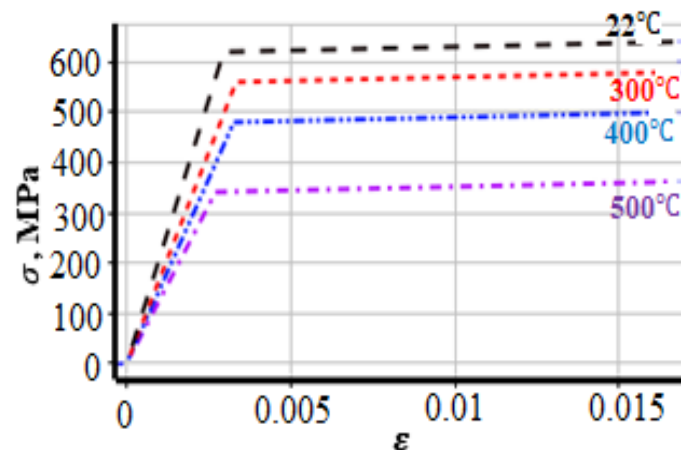
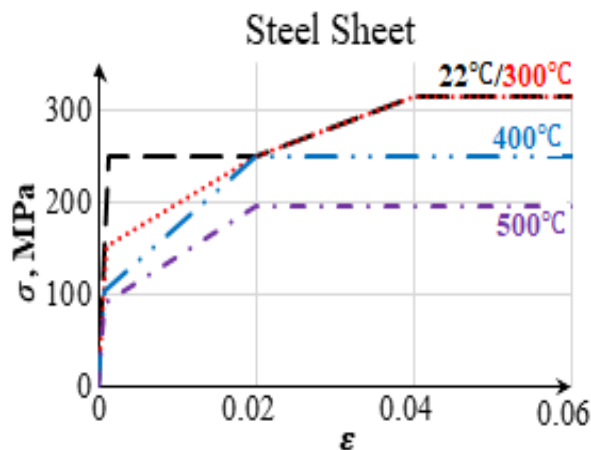
Shrnutí



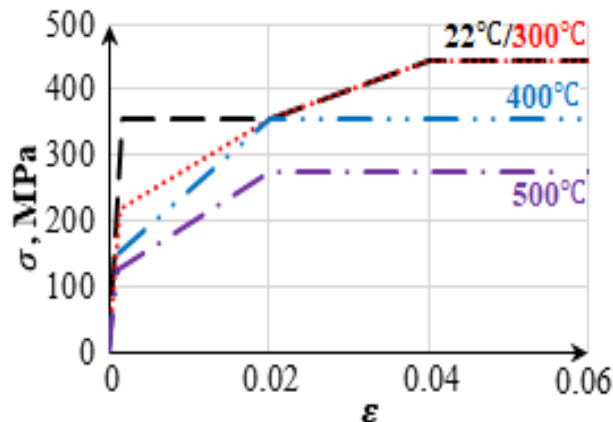
Materiálový model s degradací teplotou

○ Ocel

– Tepelně závislý model podle EN 1993-1-2:2005 Screw



Steel Support



Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Materiál

- PIR

- Linear **Orthotropic** Elastic

Property	Value	Unit
Density	37	Kg/m ³
Coefficient of thermal expansion	5E-8	1/°C
Young's Modulus X direction	12.44	MPa
Young's Modulus Y direction	4.1	MPa
Young's Modulus Z direction	3.4	MPa
Poisson's Ratio XY	0.34	-
Poisson's Ratio YZ	0.34	-
Poisson's Ratio XZ	0.34	-
Shear Modulus XY	1.62	MPa
Shear Modulus YZ	6.04	MPa
Shear Modulus XZ	1.97	MPa
Tensile Yield Strength	0.05	MPa
Compressive Yield Strength	0.01	MPa

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Materiál

- **Minerální vata**
 - Linear **Isotropic** Elastic

Property	Value	Unit
Density	85	Kg/m ³
Coefficient of thermal expansion	5E-8	1/°C
Young's Modulus	7.4	MPa
Poisson's Ratio	3E-6	-
Shear Modulus	3.7	MPa
Tensile Yield Strength	0.086	MPa
Compressive Yield Strength	0.06	MPa

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Výsledky pro 20 °C

- PIR_100_8_20°C
- Napětí se vnitřním plechu

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

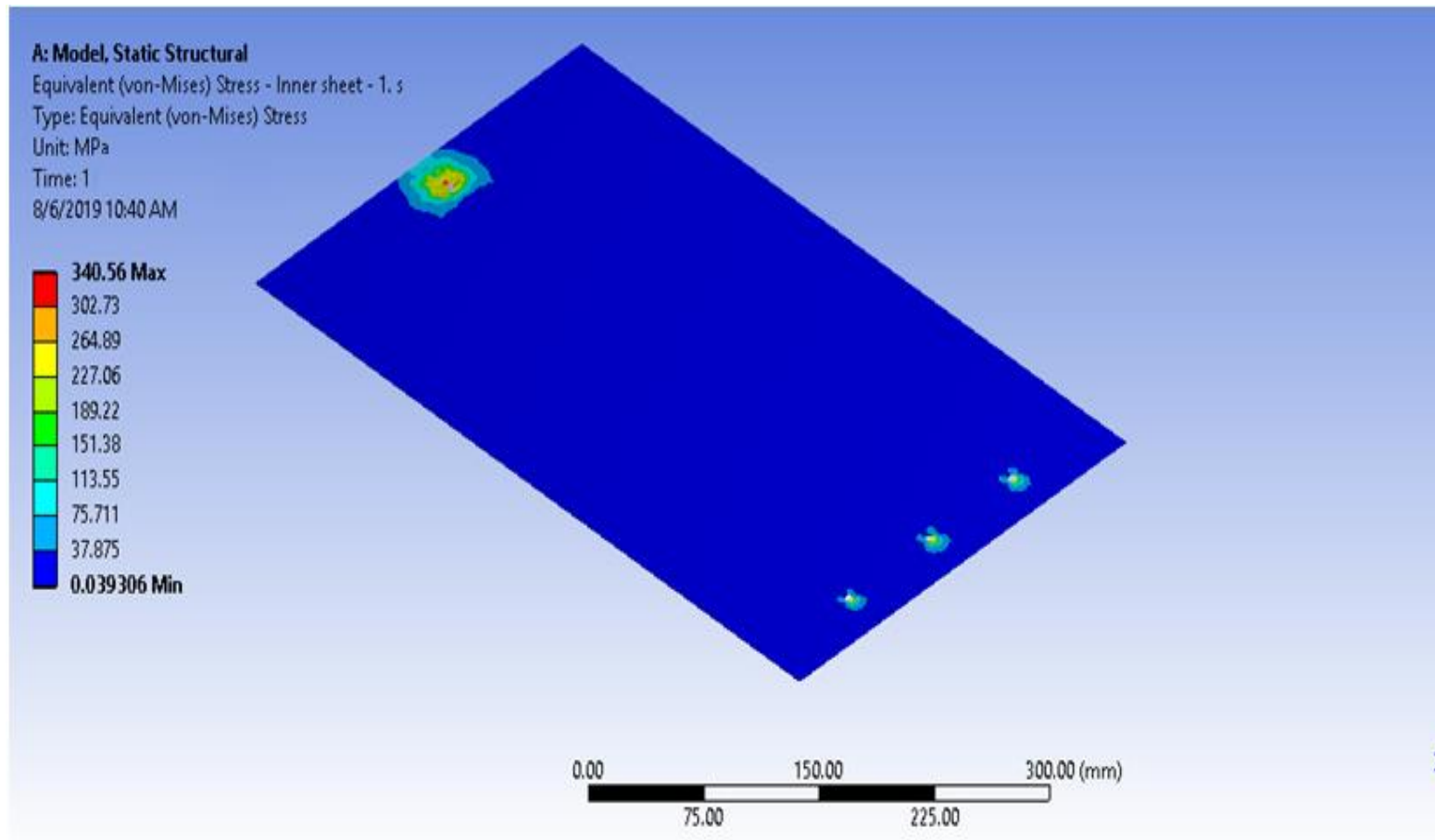
Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí



Výsledky pro 20 °C

- PIR_100_8_20°C
- Napětí v jádru

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

A: Model, Static Structural

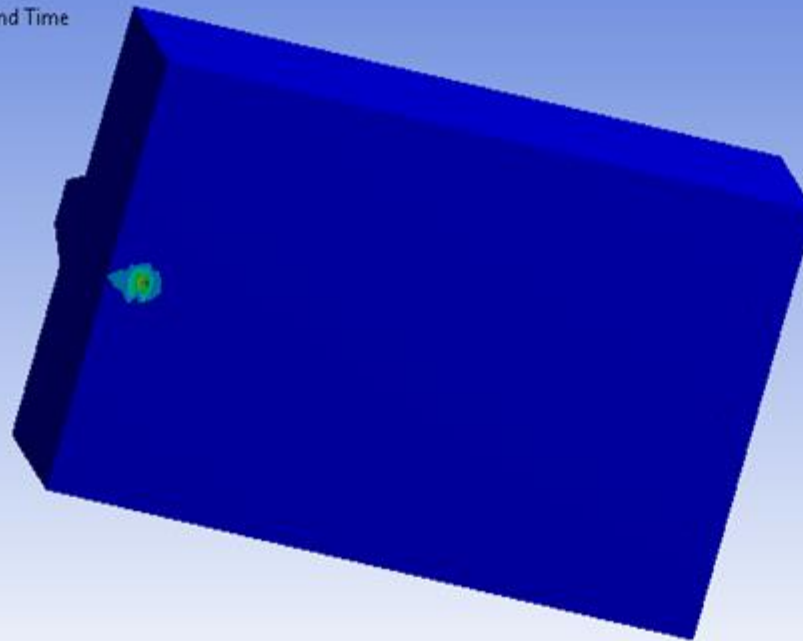
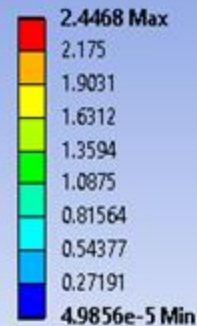
Equivalent (von-Mises) Stress - PIR - End Time

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

8/6/2019 10:43 AM



Výsledky pro 20 °C

- PIR_100_8_20°C
- Napětí ve vnějším plechu

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

A: Model, Static Structural

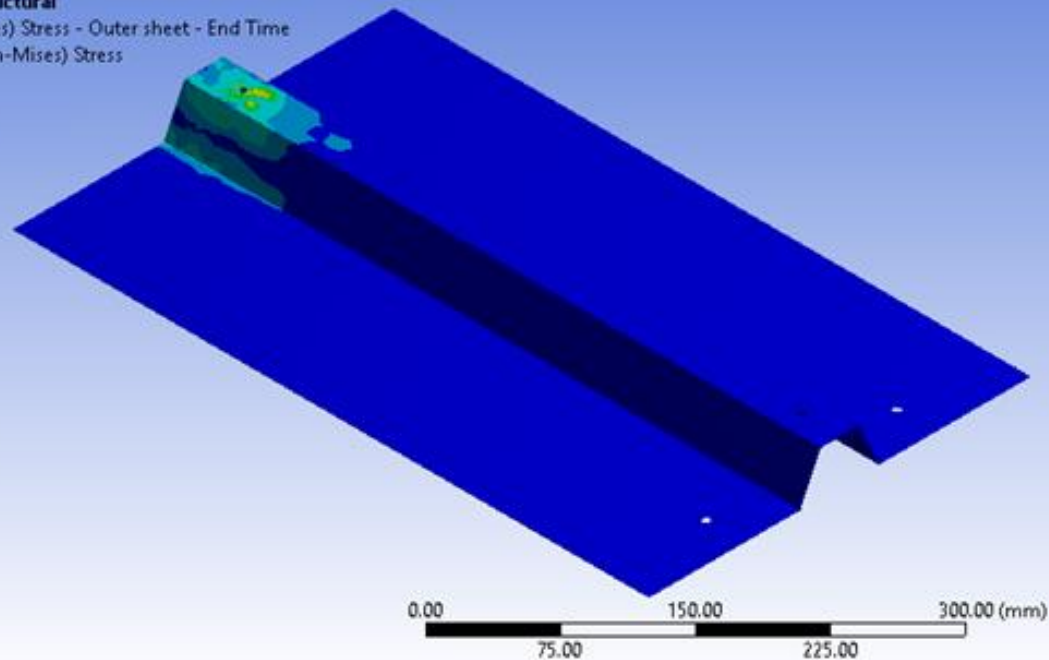
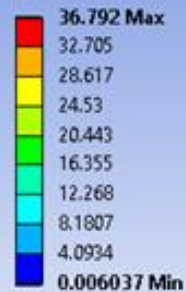
Equivalent (von-Mises) Stress - Outer sheet - End Time

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

8/6/2019 10:47 AM



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Výsledky pro 20 °C

- PIR_100_8_20°C
- Napětí ve šroubech

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

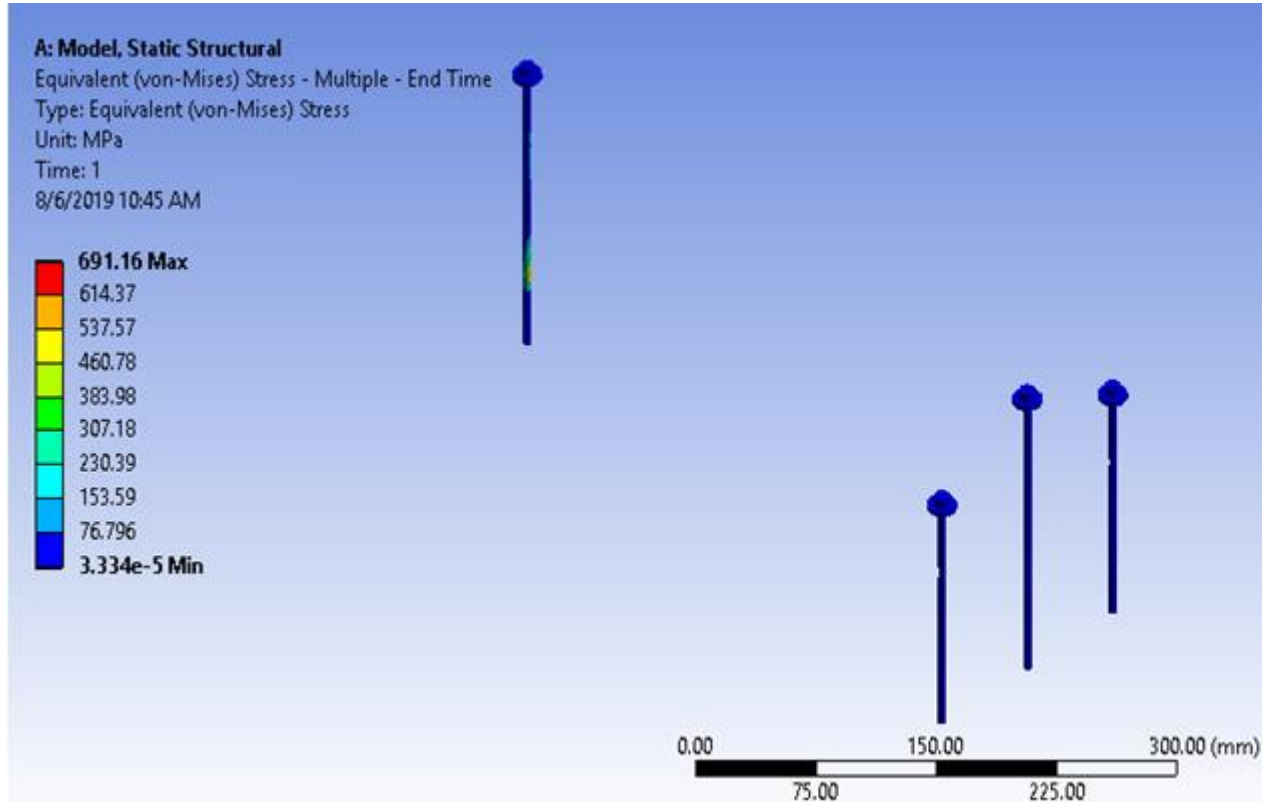
Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí



Výsledky pro 20 °C

- PIR_100_8_20°C
- Napětí ve styčnickovém plechu

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

A: Model, Static Structural

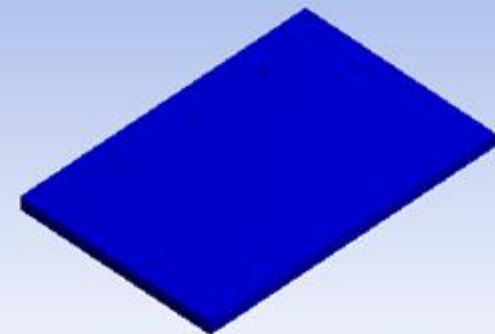
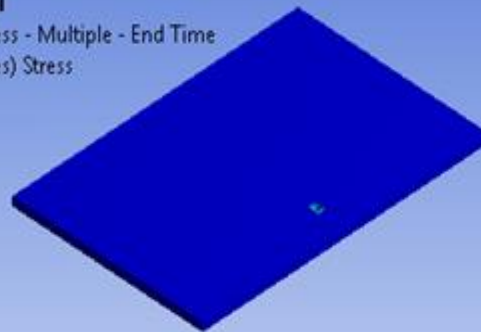
Equivalent (von-Mises) Stress - Multiple - End Time

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

8/6/2019 10:49 AM



Výsledky pro zvýšenou teplotu

- PIR_160_10_450°C
- Rozdělení teplot

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

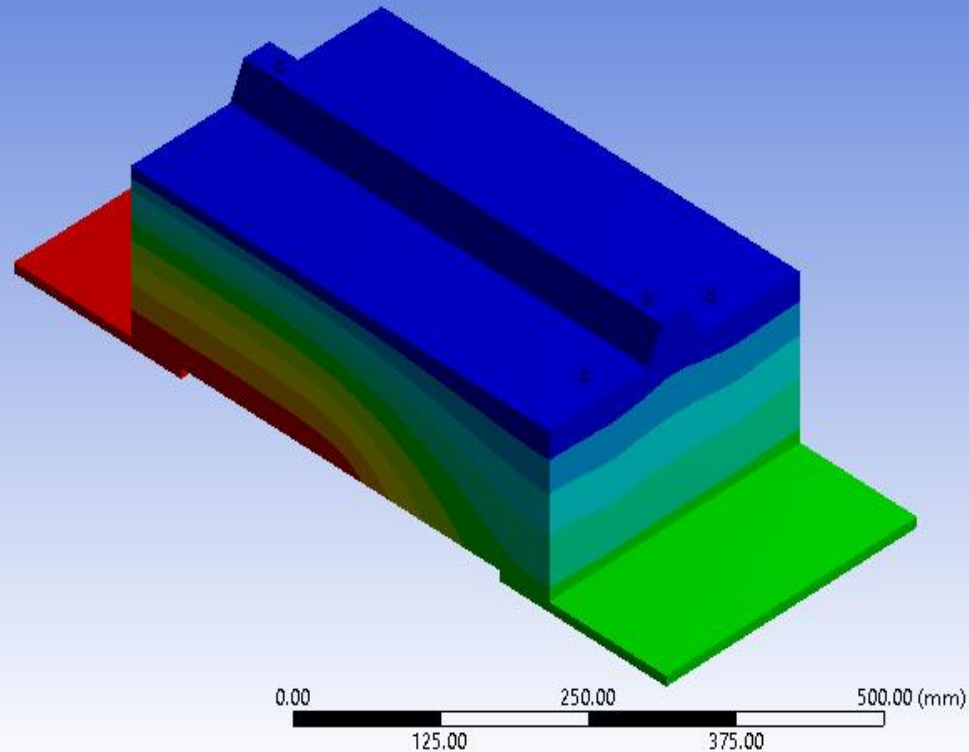
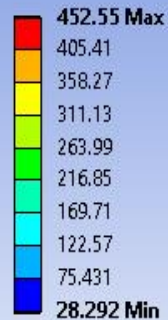
Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

A: Steady-State Thermal
Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 3000
8/6/2019 10:52 AM



Výsledky pro zvýšenou teplotu

- PIR_160_10_450°C
- Deformace

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

B: Static Structural

Directional Deformation

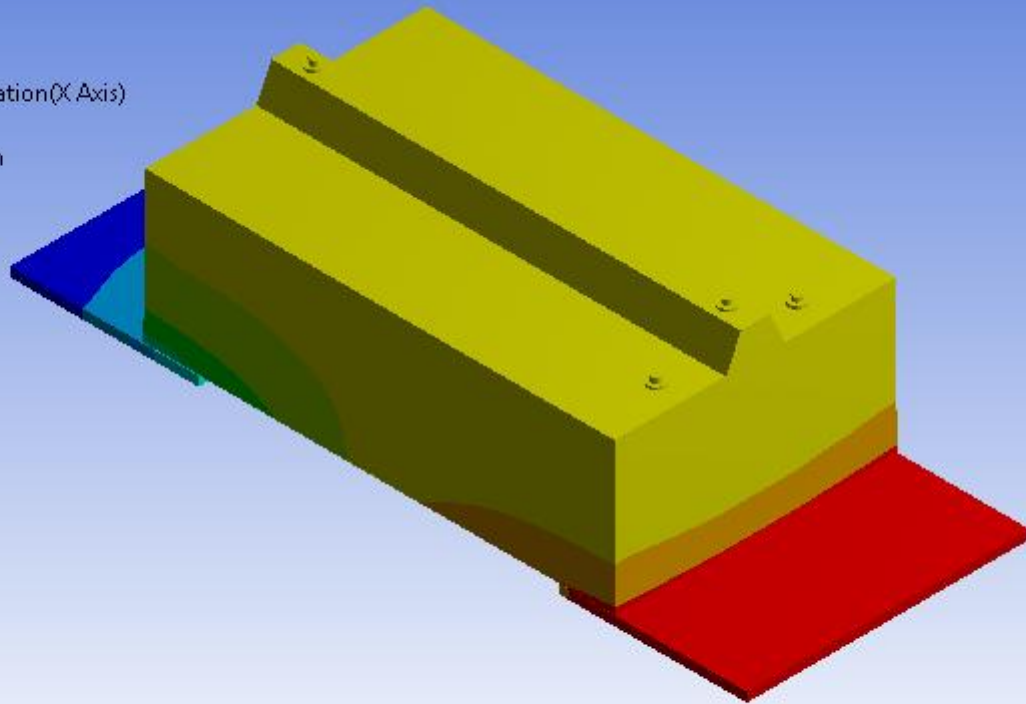
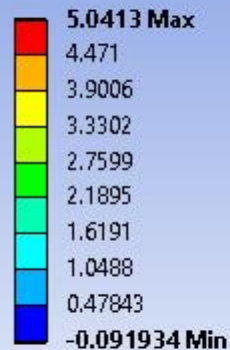
Type: Directional Deformation(X Axis)

Unit: mm

Global Coordinate System

Time: 1

8/6/2019 11:04 AM



Výsledky pro zvýšenou teplotu

- PIR_160_10_450°C
- Napětí ve vnitřním plechu

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

B: Static Structural

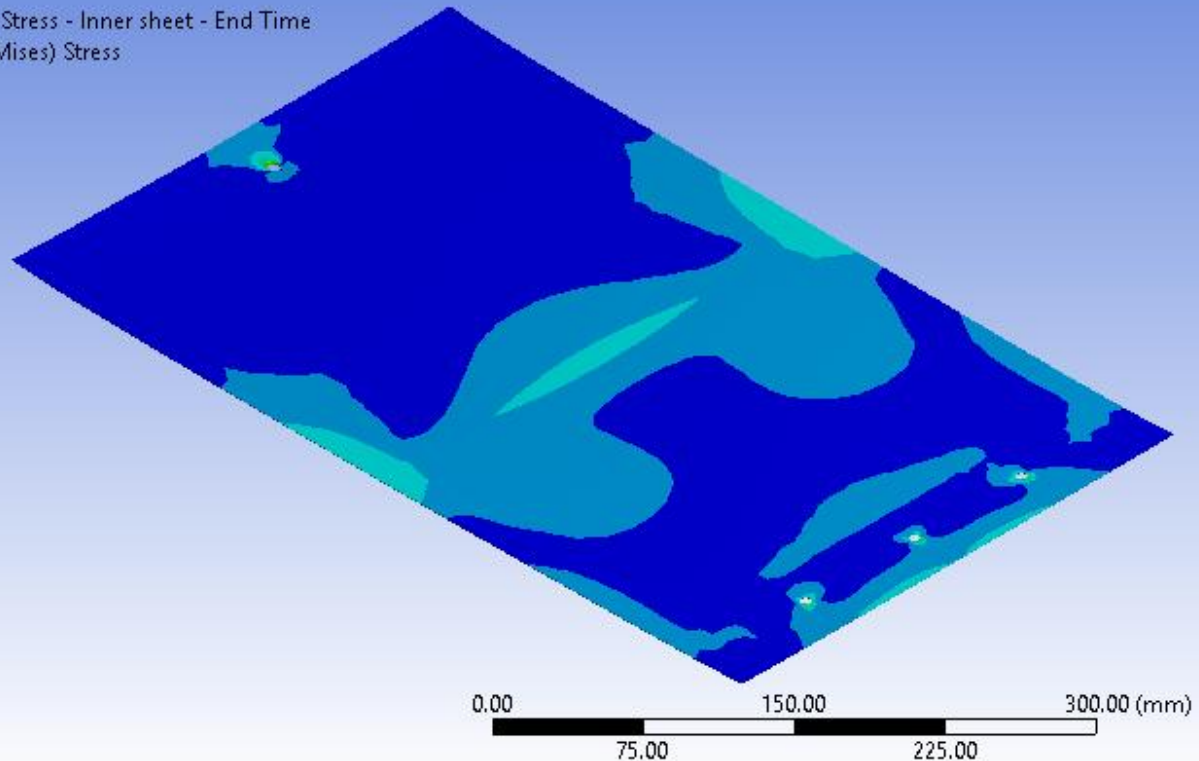
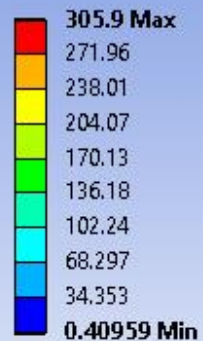
Equivalent (von-Mises) Stress - Inner sheet - End Time

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

8/6/2019 10:57 AM



Výsledky pro zvýšenou teplotu

- PIR_160_10_450°C
- Napětí v jádru

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

B: Static Structural

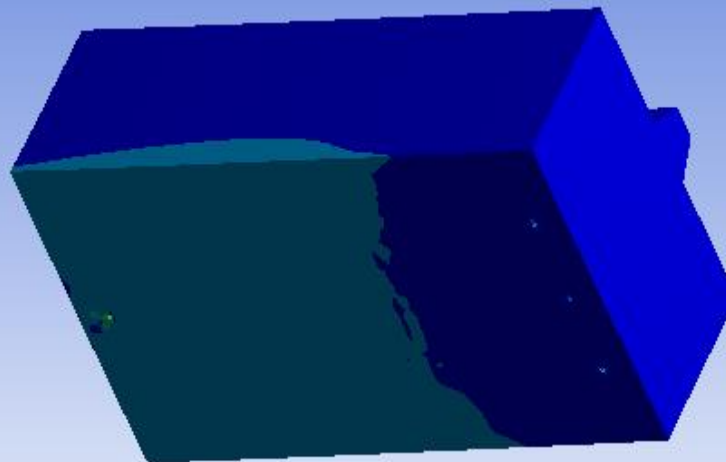
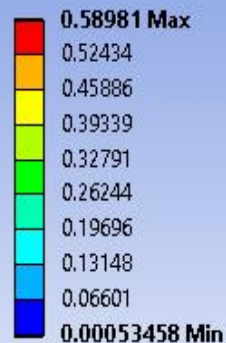
Equivalent (von-Mises) Stress - PIR - End Time

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

8/6/2019 10:59 AM



Výsledky pro zvýšenou teplotu

- PIR_160_10_450°C
- Napětí ve vnějším plechu

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

B: Static Structural

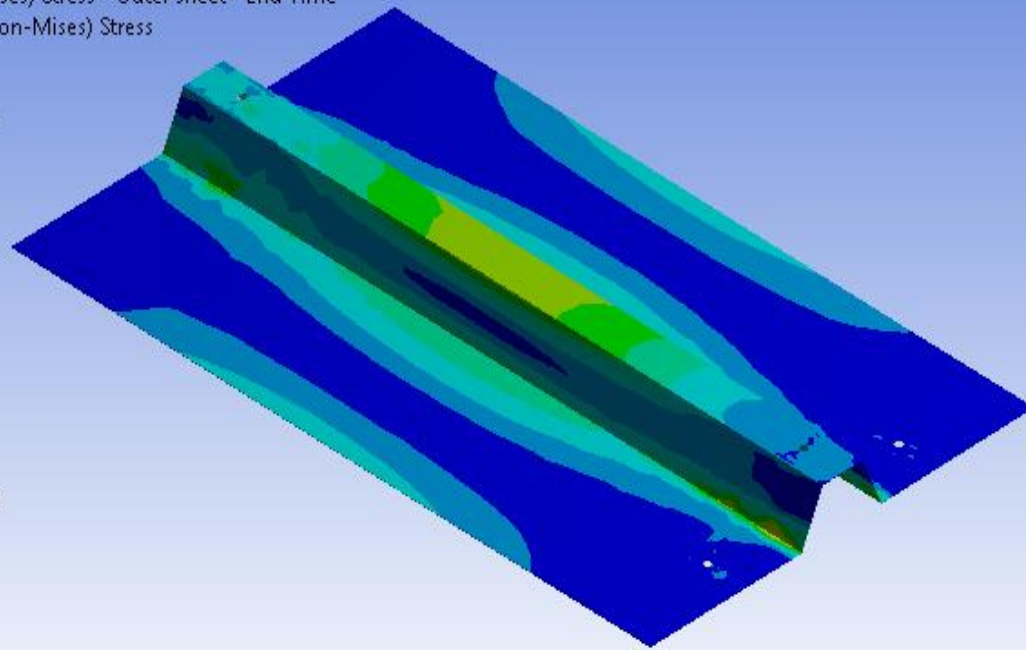
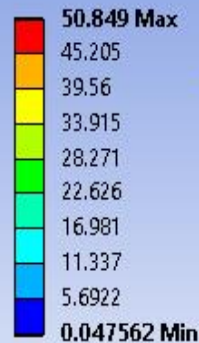
Equivalent (von-Mises) Stress - Outer sheet - End Time

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

8/6/2019 11:00 AM



Výsledky pro zvýšenou teplotu

- PIR_160_10_450°C
- Napětí ve šroubech

Úvod

Experimenty

➤ Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

B: Static Structural

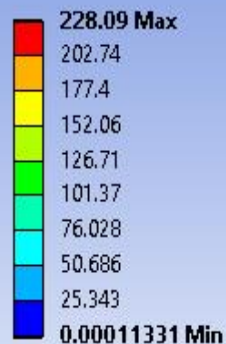
Equivalent (von-Mises) Stress - Multiple - End Time

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

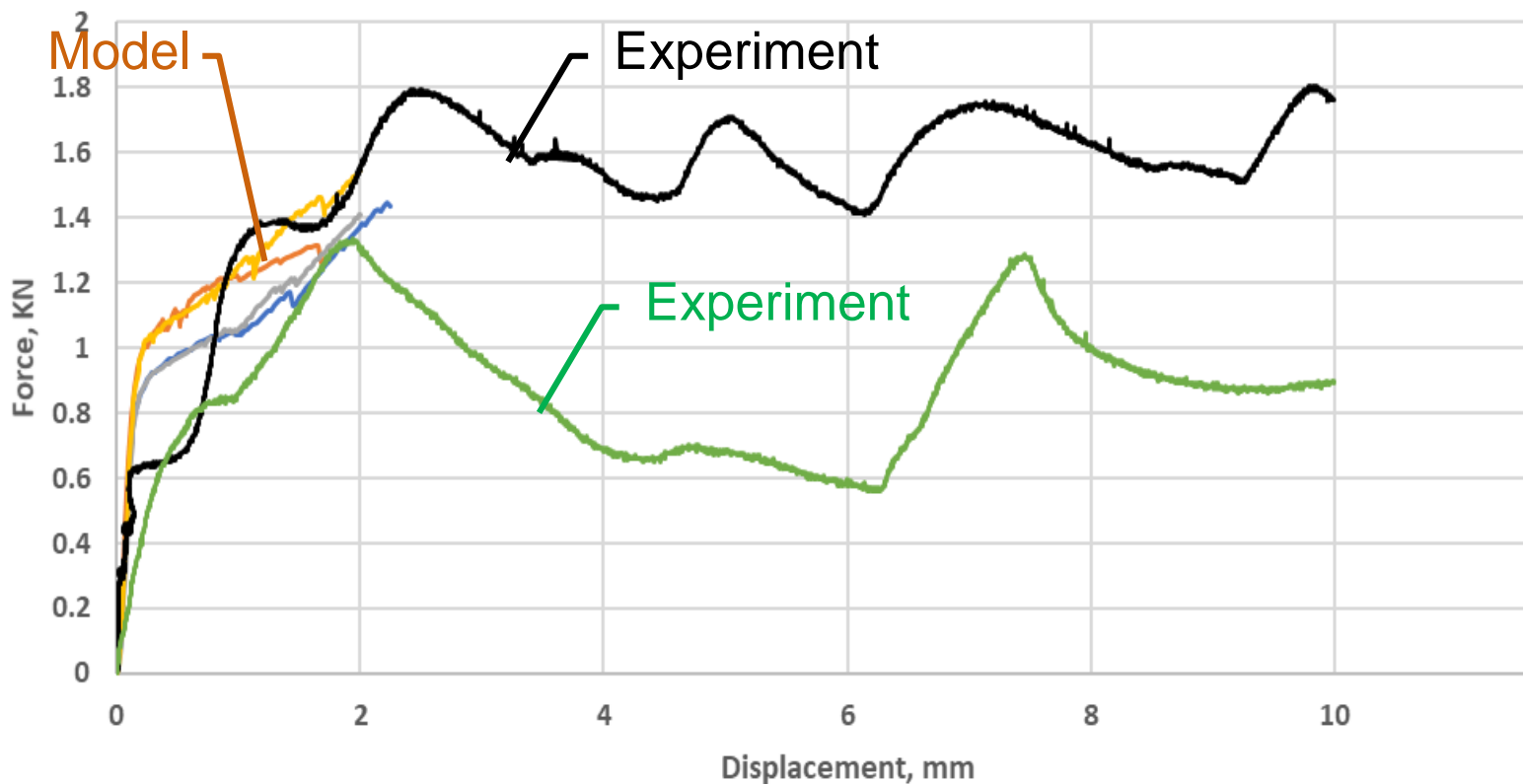
Time: 1

8/6/2019 11:01 AM



Validace závislost deformace na síle 20 °C

PIR 160 mm



FEM_PIR_160_8_5.5_20°C FEM_PIR_160_8_6.3_20°C FEM_PIR_160_10_5.5_20°C
FEM_PIR_160_10_6.3_20°C EXPE_PIR_160_8_5.5_20°C EXPE_PIR_160_10_5.5_20°C

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

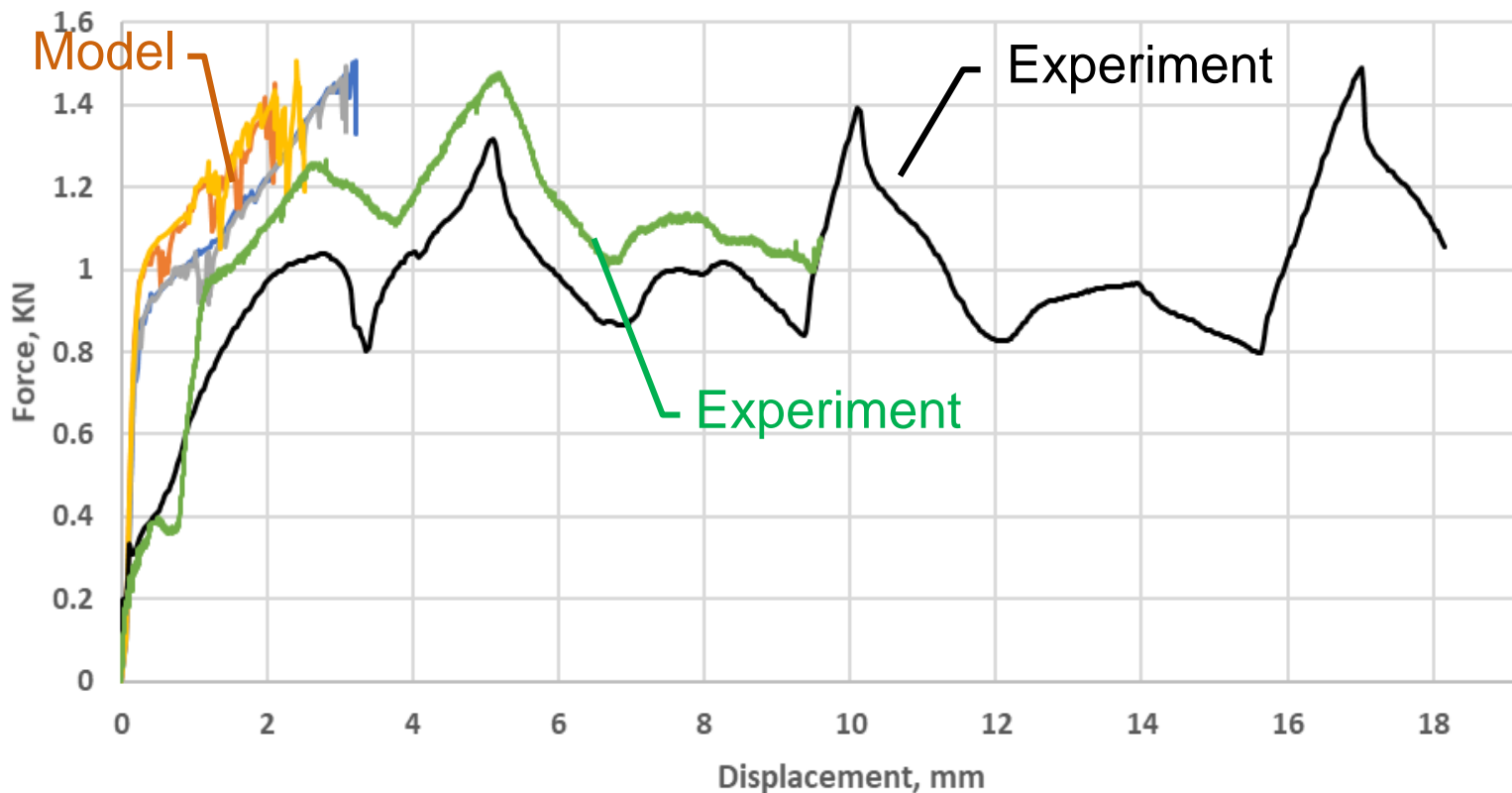
Analytický
model

Validace

Shrnutí

Validace závislost deformace na síle 200 °C

PIR 160 mm



FEM_PIR_160_8_5.5_200°C FEM_PIR_160_8_6.3_200°C FEM_PIR_160_10_5.5_200°C
FEM_PIR_160_10_6.3_200°C EXPE_PIR_160_8_5.5_200°C EXPE_PIR_160_10_5.5_200°C

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Validace závislost deformace na síle 300 °C

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

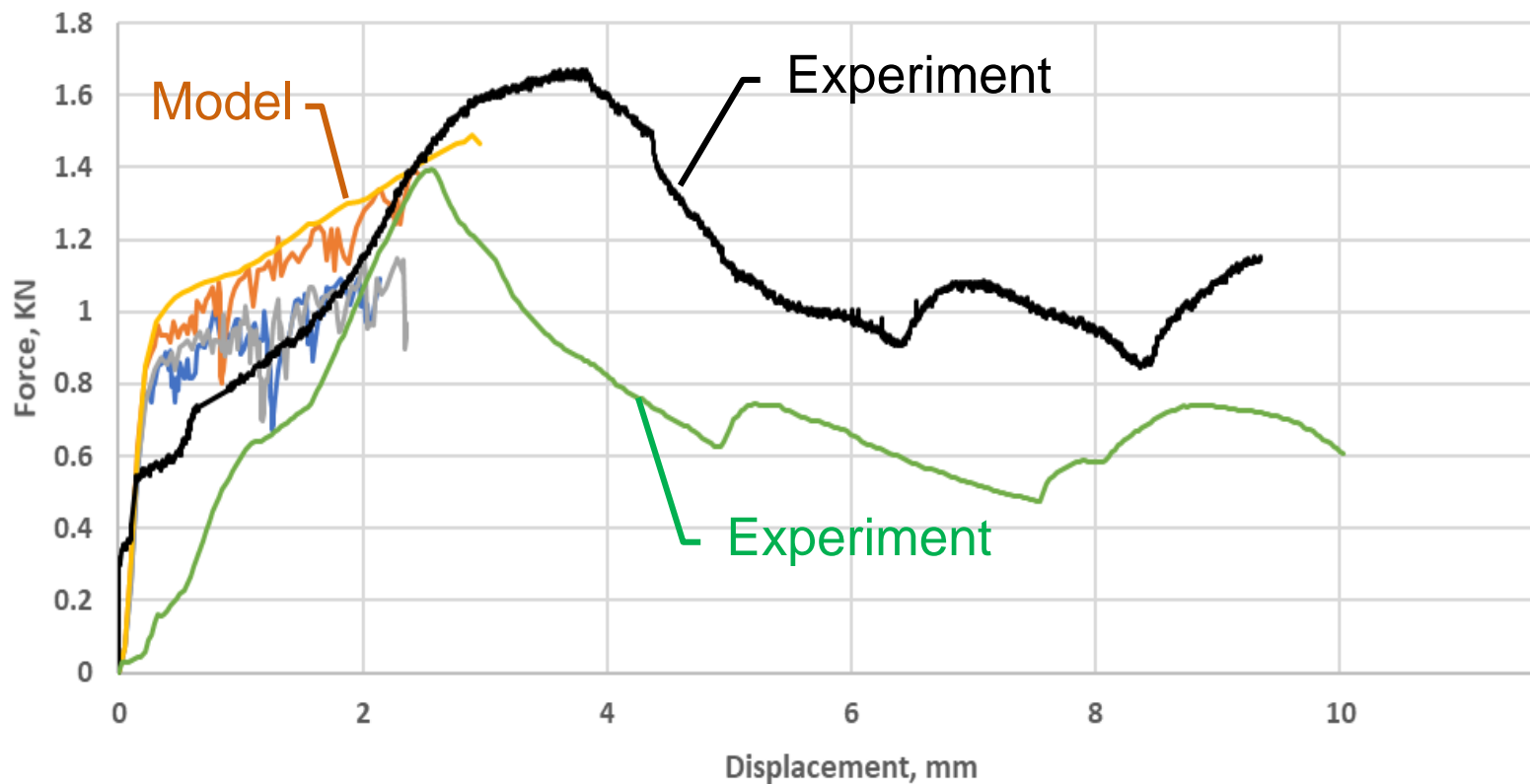
Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

PIR 160 mm



FEM_PIR_160_8_5.5_300°C FEM_PIR_160_8_6.3_300°C FEM_PIR_160_10_5.5_300°C
FEM_PIR_160_10_6.3_300°C EXPE_PIR_160_8_5.5_300°C EXPE_PIR_160_10_5.5_300°C

Studie citlivosti – rozsah

Jádro/plech	Šrouby, mm	Plech, mm	Temploty, °C
Minerální vata 100 a 230 mm, styčnickový plech 8 a 10 mm	5,5	0,5	20
		0,6	
		0,7	
	6,3	0,5	100
		0,6	
		0,7	
PIR 100 a 160 mm, styčnickový plech 8 a 10 mm	5,5	0,4	300
		0,5	
		0,6	
	6,3	0,4	450
		0,5	
		0,6	
6,3	0,4	600	
	0,5		
	0,6		

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

➤ Studie citlivosti

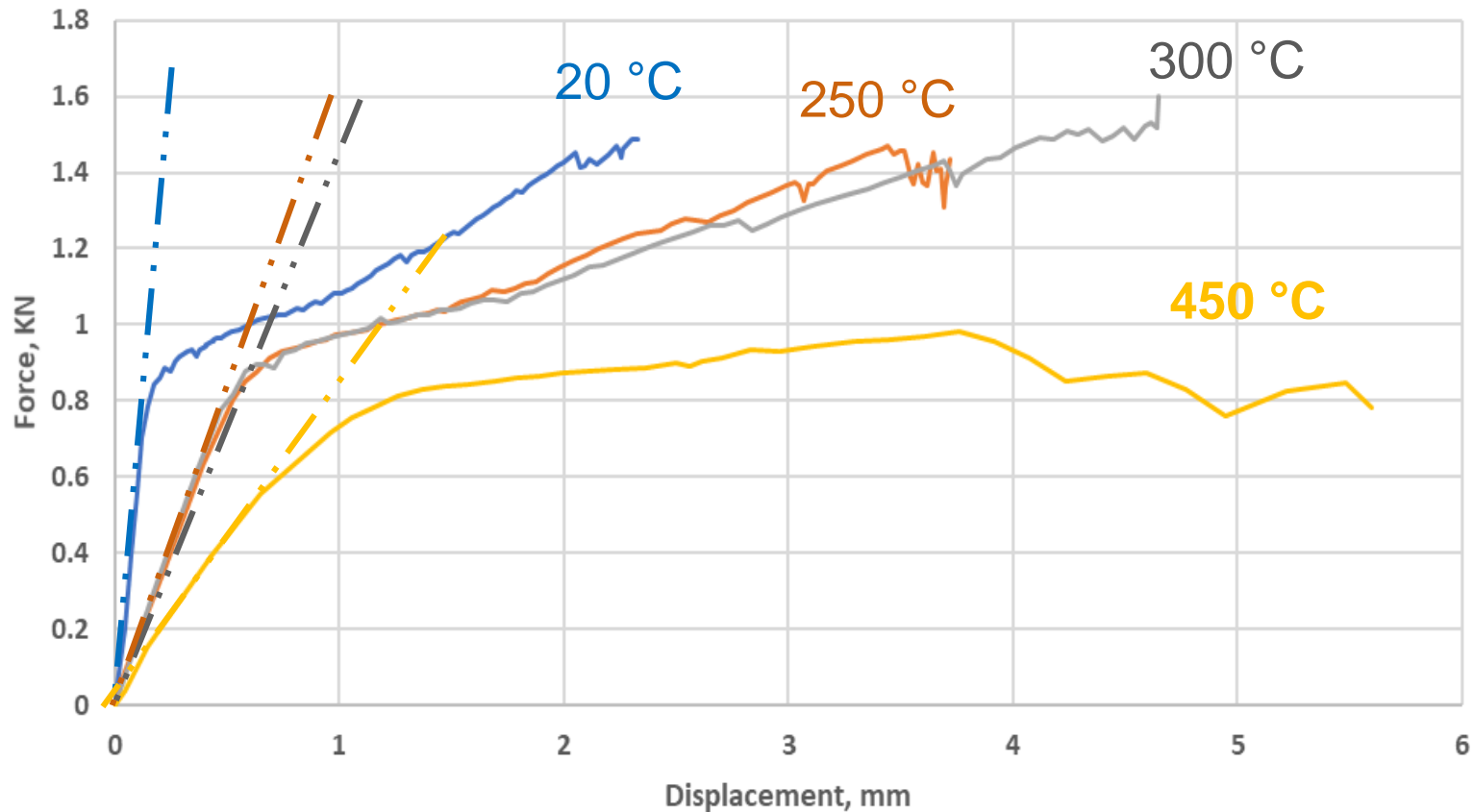
Analytický
model

Validace

Shrnutí

Studie citlivosti – vliv teploty

- PIR 100 mm, plech 10 mm a šroub 5,5 mm



FEM_PIR_100_10_5.5_20°C FEM_PIR_100_10_5.5_250°C
FEM_PIR_100_10_5.5_300°C FEM_PIR_100_10_5.5_450°C

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

➤ Studie citlivosti

Analytický
model

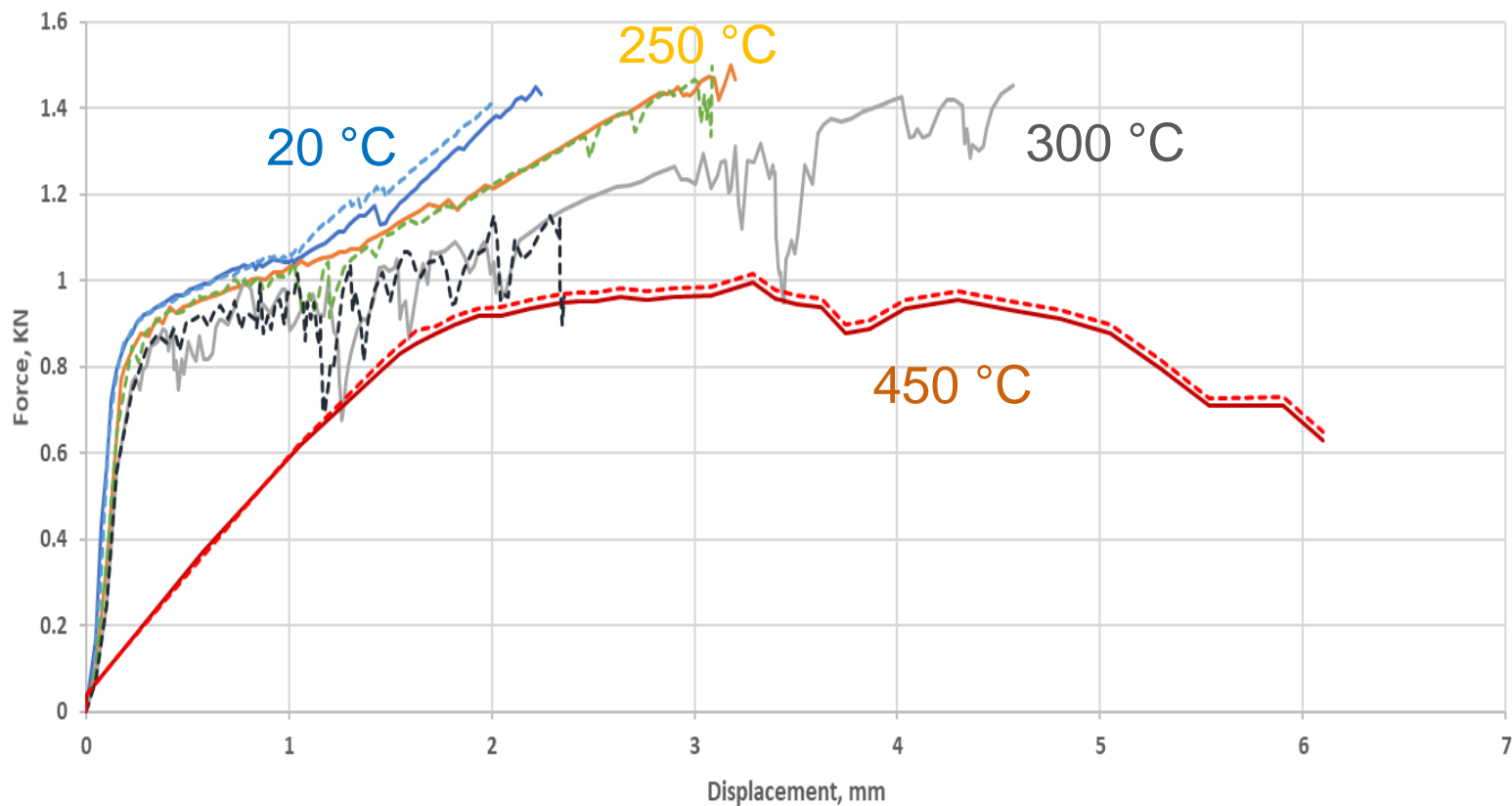
Validace

Shrnutí

Studie citlivosti

- tloušťka styčnickového plechu

- PIR 160 mm, plech 8 a 10 mm a šroub 5,5 mm



— FEM_PIR_160_8_5.5_20°C — FEM_PIR_160_8_5.5_250°C — FEM_PIR_160_8_5.5_300°C — FEM_PIR_160_8_5.5_450°C
- - - FEM_PIR_160_10_5.5_20°C - - - FEM_PIR_160_10_5.5_200°C - - - FEM_PIR_160_10_5.5_300°C - - - FEM_PIR_160_10_5.5_450°C

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

➤ Studie citlivosti

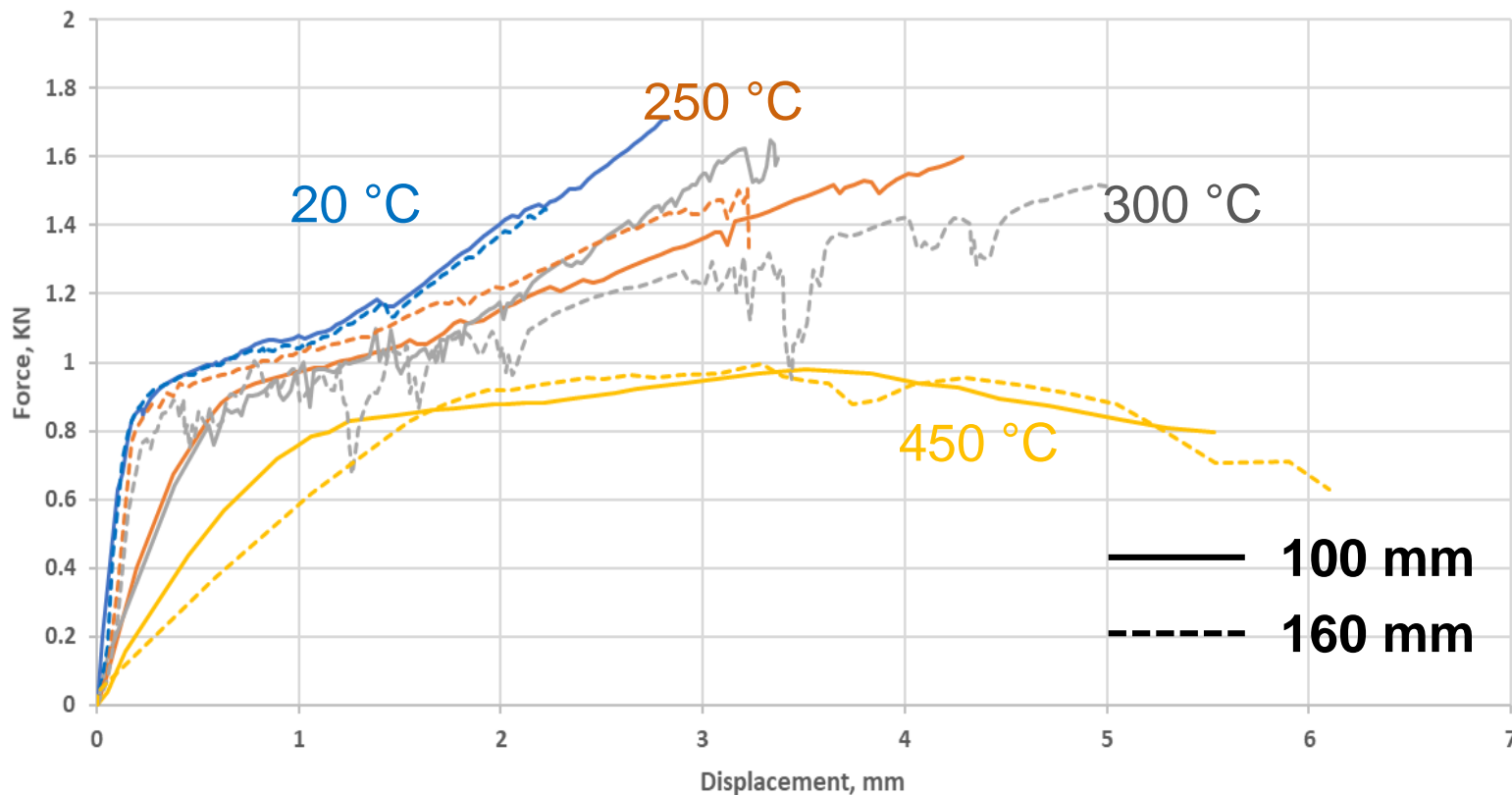
Analytický
model

Validace

Shrnutí

Studie citlivosti – tloušťka panelu

- PIR 100 a 160 mm mm, plech 10 mm, šroub 5,5 mm



FEM_PIR_100_8_5.5_20°C FEM_PIR_100_8_5.5_250°C FEM_PIR_100_8_5.5_300°C FEM_PIR_100_8_5.5_450°C
FEM_PIR_160_8_5.5_20°C FEM_PIR_160_8_5.5_250°C FEM_PIR_160_8_5.5_300°C FEM_PIR_160_8_5.5_450°C

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

➤ Studie citlivosti

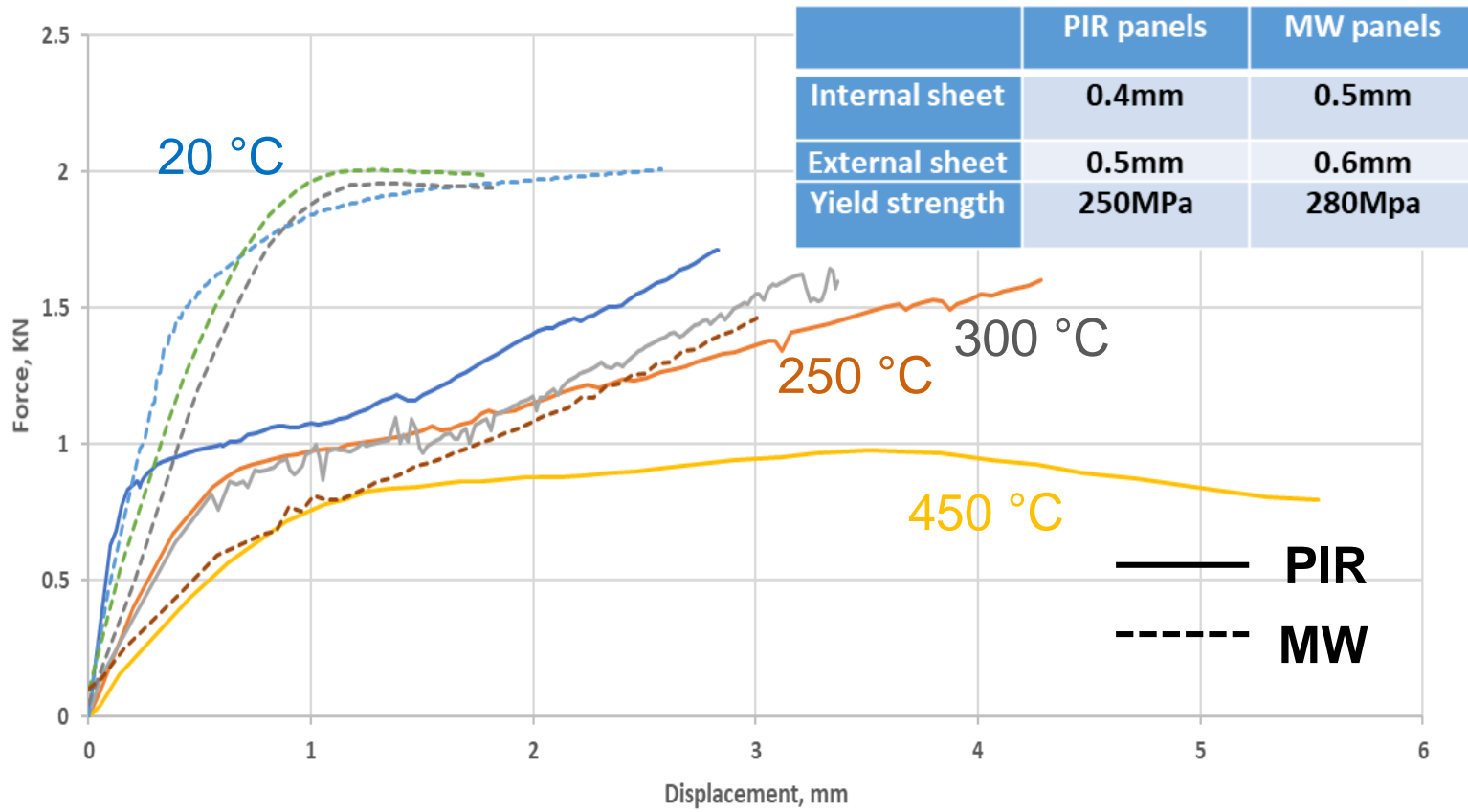
Analytický
model

Validace

Shrnutí

Studie citlivosti – materiál jádra

- PIR a MW 100, plech 8 mm a šroub 5,5 mm



— FEM_PIR_100_8_5.5_20°C — FEM_PIR_100_8_5.5_250°C — FEM_PIR_100_8_5.5_300°C — FEM_PIR_100_8_5.5_450°C
 - - - FEM_MW_100_8_5.5_20°C - - - FEM_MW_100_8_5.5_300°C - - - FEM_MW_100_8_5.5_450°C - - - FEM_MW_100_8_5.5_600°C

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

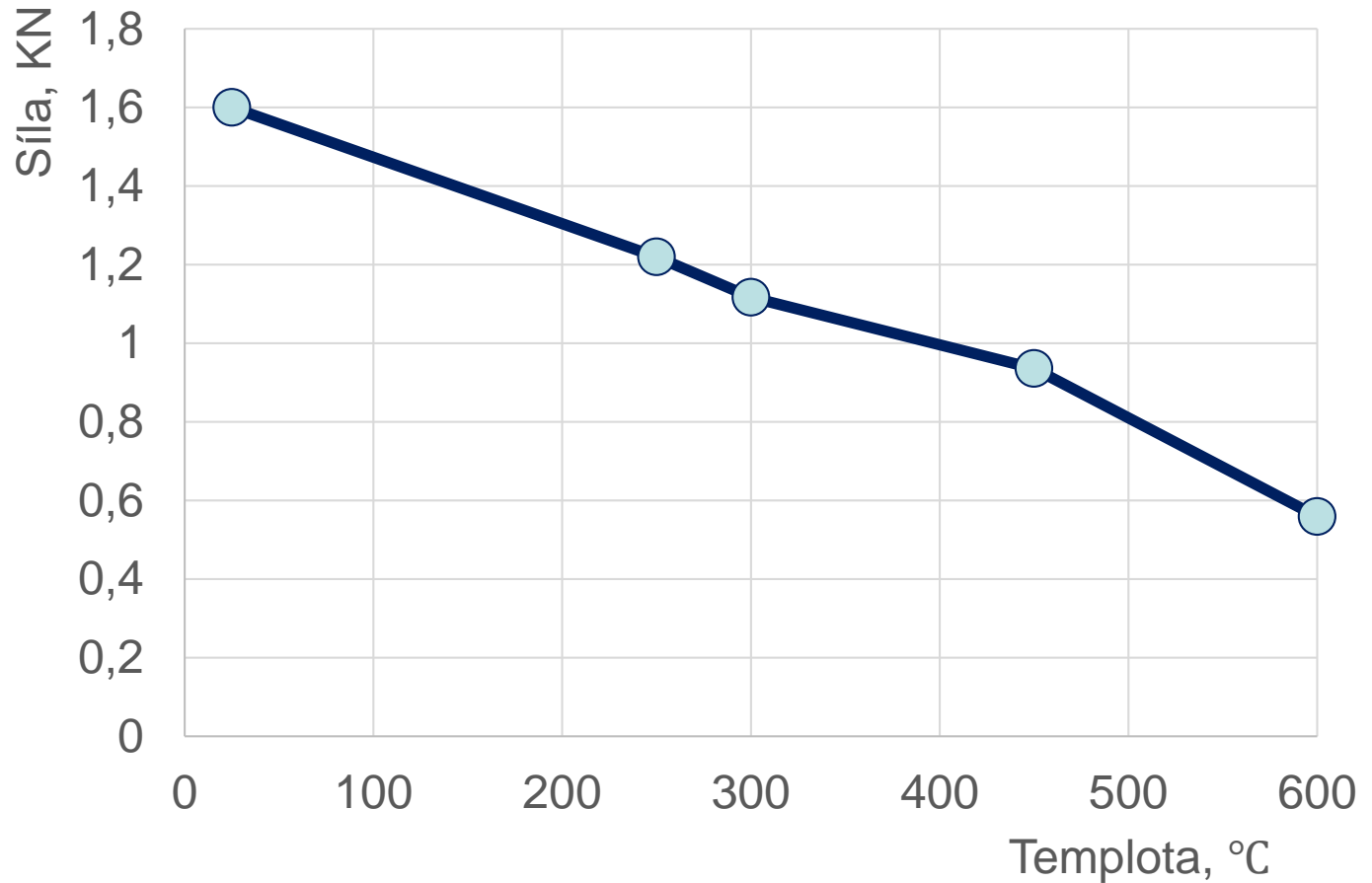
➤ Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Ztráta předepnutí šroubu



Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

► Studie citlivosti

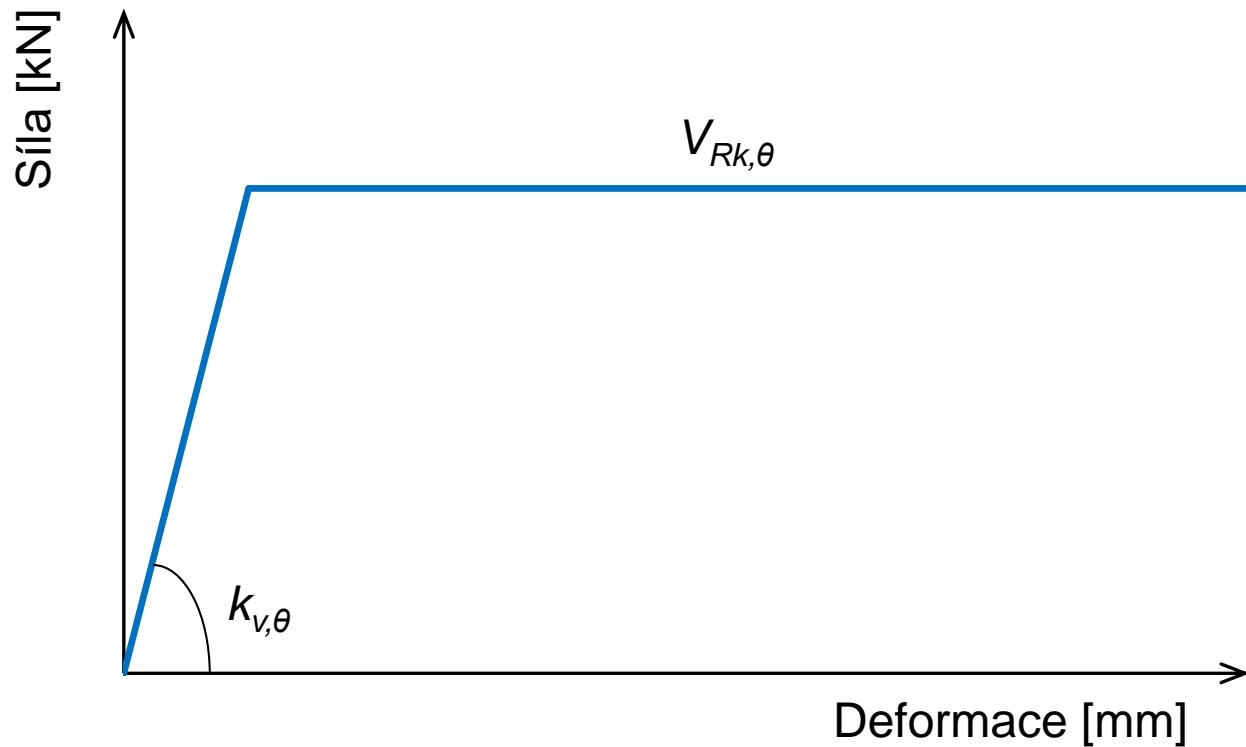
Analytický
model

Validace

Shrnutí

Analytický model

- Únosnost a tuhost



Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Analytický model únosnosti

- Únosnost **za běžné teploty** podle ECCS

$$V_{Rk} = 4.2 \sqrt{t_{cor,F2}^3 \cdot d_1 \cdot f_{u,F2}}$$

kde

$t_{cor,F2}$ je tloušťka jádra vnitřní plochy, $t_{cor,F2} = t_{F2} - 0,04$ mm

t_{F2} tloušťka vnitřního plechu panelu

d_1 nejmenší průměr šroubu, $d_1 = 0,9d_s$

d_s průřez dřívku šroubu

$f_{u,F2}$ mez pevnosti vnitřního plechu

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický

model

Validace

Shrnutí



Analytický model únosnosti

- Únosnost podle ECCS **za zvýšené teploty**

$$V_{Rk,\theta} = 4.2 \sqrt{t_{cor,F2}^3 \cdot d_1} \cdot f_{u,F2,\theta}$$

kde $f_{u,F2,\theta}$ je mez pevnosti pro **vnitřní plech** za zvýšené teploty v EN 1993-1-2:2005, příloha A

$$f_{u,F2,\theta} = \begin{cases} 1.25f_{y,\theta} & \theta < 300^\circ\text{C} \\ f_{y,\theta} (2 - 0.0025\theta) & 300^\circ\text{C} \leq \theta < 400^\circ\text{C} \\ f_{y,\theta} & \theta \geq 400^\circ\text{C} \end{cases}$$

kde $f_{y,\theta}$ je mez kluzu **za zvýšené teploty**

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Analytický model únosnosti

- Redukce meze kluzu

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

kde

f_y je mez kluzu
za běžné teploty

$k_{y,\theta}$ redukční součinitel
meze kluzu
v EN 1993-1-2:2005

Steel Temperature θ_a	Reduction factors at temperature θ_a relative to the value of f_y or E_a at 20°C		
	Reduction factor (relative to f_y) for effective yield strength $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to f_y) for proportional limit $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to E_a) for the slope of the linear elastic range $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

EN 1993-1-2:2005, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, CEN, Brussels, 2005,

Zjednodušený analytický model únosnosti

Pro $f_{u,F2}$ zjednodušeně $f_{u,F2,\theta}$

$$f_{u,F2,\theta} = f_{u,F2} \cdot k_{u,\theta}$$

kde $k_{u,\theta}$ je redukce pro mez pevnosti

$$k_{u,\theta} = \begin{cases} k_{y,\theta} & \theta < 300^\circ\text{C} \\ k_{y,\theta} (2 - 0.0025\theta) & 300^\circ\text{C} \leq \theta < 400^\circ\text{C} \\ k_{y,\theta} / 1.25 & \theta \geq 400^\circ\text{C} \end{cases}$$

θ [°C]	$k_{u,\theta}$
20	1
100	1
200	1
300	1
400	0,800
500	0,624
600	0,376
700	0,184
800	0,088
900	0,048
1000	0,032
1100	0,016
1200	0

Neredukuje se pro $\theta \leq 300^\circ\text{C}$

EN 1993-1-2:2005, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, CEN, Brussels, 2005,

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Analytický model tuhosti

- Za běžné teploty

$$k_v = \frac{1}{\frac{x_F}{k_{F2}} + \frac{t_{cor,sup}^2 + 2 \cdot (1 - x_F) \cdot D \cdot t_{cor,sup}}{4C_{sup}} + \frac{3 \cdot (1 - x_F) \cdot D \cdot t_{cor,sup}^2 + t_{cor,sup}^3}{24EI}}$$

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

kde

$$C_{sup} = 2400 \text{ N/mm}^2 \cdot \sqrt{t_{cor,sup}} d_1^5$$

$$I = \frac{\pi d_s^4}{64}$$

$$k_{F2} = \begin{cases} 6.93 \frac{f_{u,F2} \cdot \sqrt{t_{cor,F2}^3} \cdot d_1}{0.26 \text{ mm} + 0.8 t_{F2}}, & 0.40 \text{ mm} \leq t_{cor,F2} \leq 0.70 \text{ mm} \\ 4.20 \frac{f_{u,F2} \cdot \sqrt{t_{cor,F2}^3} \cdot d_1}{0.373 \text{ mm}}, & 0.70 \text{ mm} < t_{cor,F2} \leq 1.00 \text{ mm} \end{cases}$$

$$x_F = 1 - \frac{\frac{1}{k_{F2}} - \frac{Dt_{cor,sup}}{2C_{sup}} - \frac{Dt_{cor,sup}^2}{8EI}}{\frac{1}{k_{F2}} + \frac{D^2}{C_{sup}} + \frac{D^2 \cdot (2D + 3t_{cor,sup})}{6EI}}$$

Analytický model tuhosti

- Za zvýšené teploty

$$k_{v,\theta} = \frac{1}{\frac{x_F}{k_{F2}} + \frac{t_{cor,sup}^2}{4C_{sup}} + \frac{2 \cdot (1-x_F) \cdot D \cdot t_{cor,sup}}{24E_\theta I} + \frac{3 \cdot (1-x_F) \cdot D \cdot t_{cor,sup}^2}{8EI} + \frac{t_{cor,sup}^3}{8EI}}$$

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

kde

$$C_{sup} = 2400 \text{ N/mm}^2 \cdot \sqrt{t_{cor,sup}} d_1^5$$

$$i = \frac{\pi d_s^4}{64}$$

$$k_{F2} = \begin{cases} 6.93 \frac{f_{u,F2,\theta} \cdot \sqrt{t_{cor,F2}^3} \cdot d_1}{0.26 \text{ mm} + 0.8 t_{F2}}, & 0.40 \text{ mm} \leq t_{cor,F2} \leq 0.70 \text{ mm} \\ 4.20 \frac{f_{u,F2,\theta} \cdot \sqrt{t_{cor,F2}^3} \cdot d_1}{0.373 \text{ mm}}, & 0.70 \text{ mm} < t_{cor,F2} \leq 1.00 \text{ mm} \end{cases}$$

$$x_F = 1 - \frac{\frac{1}{k_{F2}} - \frac{Dt_{cor,sup}}{2C_{sup}} - \frac{Dt_{cor,sup}^2}{8EI}}{\frac{1}{k_{F2}} + \frac{D^2}{C_{sup}} + \frac{D^2 \cdot (2D + 3t_{cor,sup})}{6E_\theta I}}$$

Analytický model tuhosti

- Redukce modulu pružnosti

$$E_{\theta} = E \cdot k_{E,\theta}$$

kde

$k_{E,\theta}$ je redukce pro šroub
nerez, EN 1993-1-2:2005,
příloha C

příspěvek $k_{E,\theta}$ je zanedbatelný

Steel Temperature θ_a	Reduction factors at temperature θ_a relative to the value of f_y or E_a at 20°C		
	Reduction factor (relative to f_y) for effective yield strength $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to f_y) for proportional limit $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to E_a) for the slope of the linear elastic range $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

EN 1993-1-2:2005, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, CEN, Brussels, 2005,

Analytický model tuhosti

- Redukce meze pevnosti

$$f_{u,F2,\theta} = f_{u,F2} \cdot k_{p,\theta}$$

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

kde

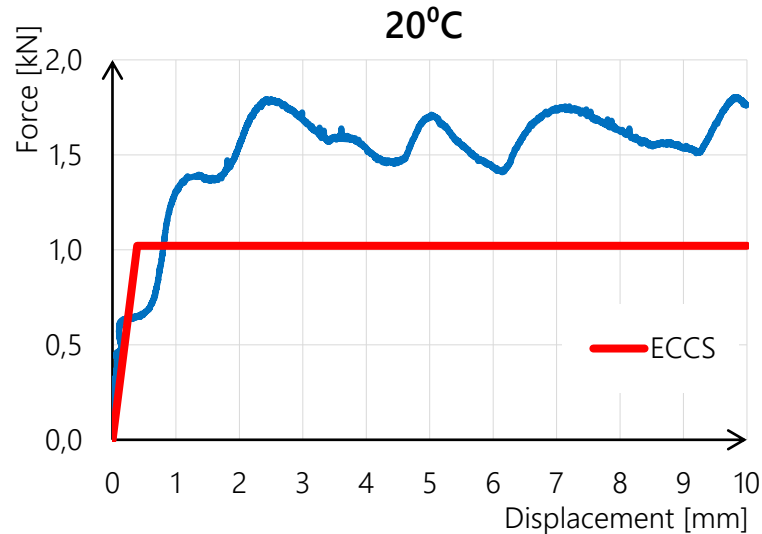
$k_{p,\theta}$ je redukce pro vnitřní plech
pro ocel v
EN 1993-1-2:2005, tab, 3,1

Neredukuje se pro $\theta \leq 100^\circ\text{C}$

Steel Temperature θ_a	Reduction factors at temperature θ_a relative to the value of f_y or E_a at 20°C		
	Reduction factor (relative to f_y) for effective yield strength $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to f_y) for proportional limit $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to E_a) for the slope of the linear elastic range $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

EN 1993-1-2:2005, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, CEN, Brussels, 2005,

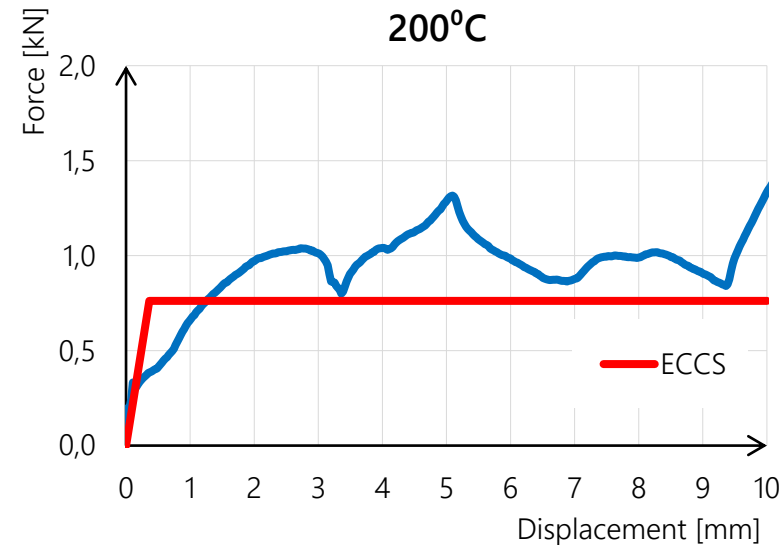
Validace pro jádro z PIRu



$$D = 160 \text{ mm}$$

$$t_{F2} = 0,4 \text{ mm}$$

$$t_{\text{cor,sup}} = 8 \text{ mm}$$



Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

Shrnutí

Validace pro jádro z PIRu

Úvod

Experimenty

Model MKP

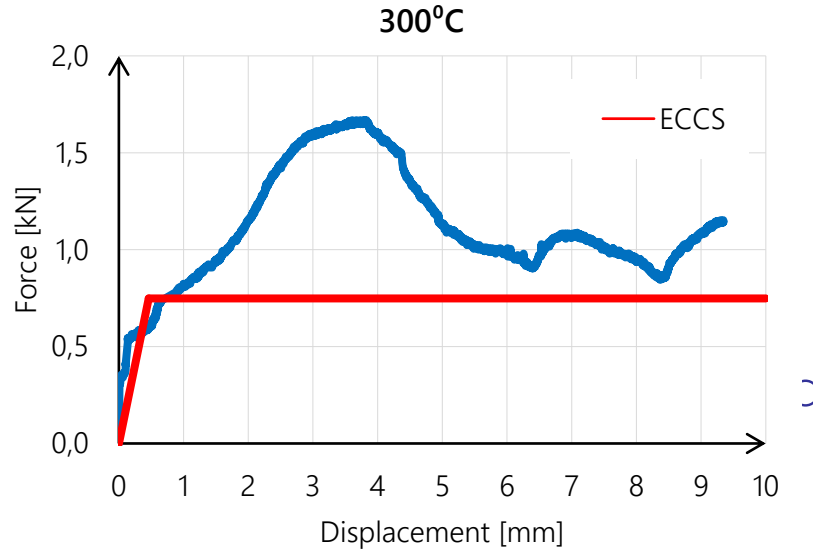
Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

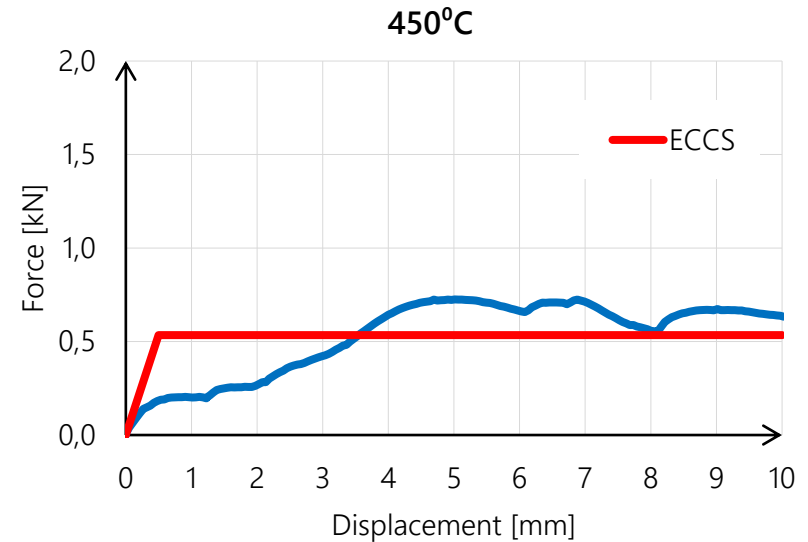
Shrnutí



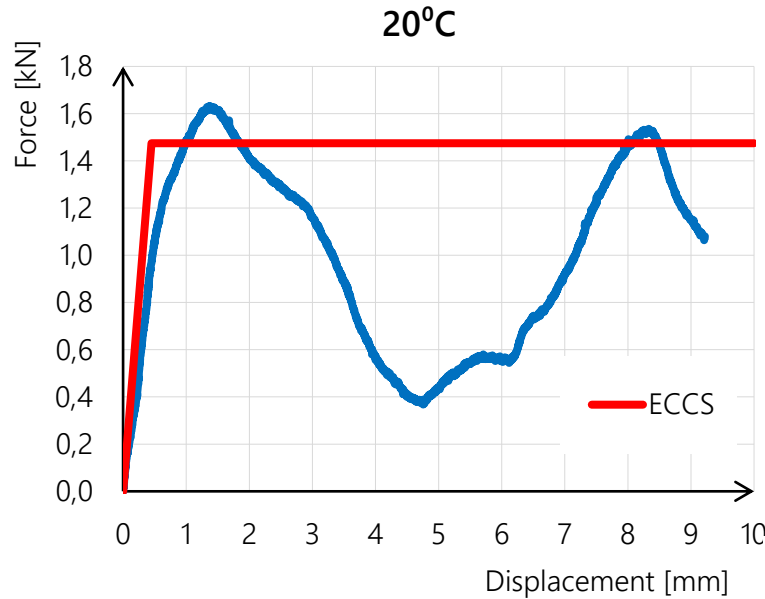
$D = 160 \text{ mm}$

$t_{F2} = 0,4 \text{ mm}$

$t_{\text{cor,sup}} = 8 \text{ mm}$



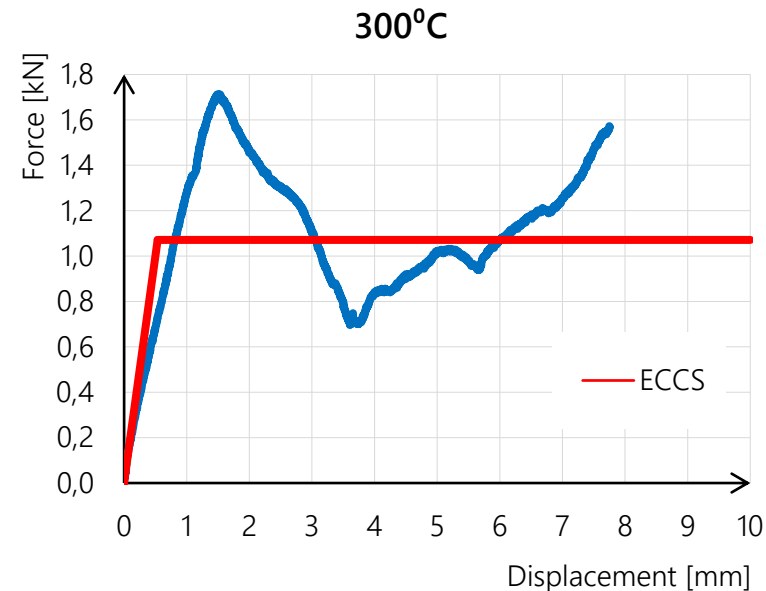
Validace pro jádro z minerální vaty



$D = 100 \text{ mm}$

$t_{F2} = 0,5 \text{ mm}$

$t_{\text{cor,sup}} = 8 \text{ mm}$



Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

Shrnutí

Validace pro jádro z minerální vaty

Úvod

Experimenty

Model MKP

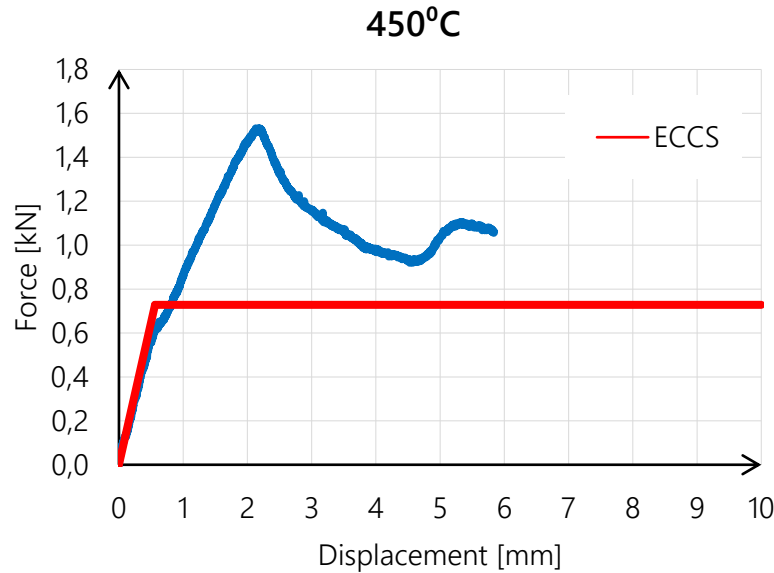
Validace

Studie citlivosti

Analytický model

Validace

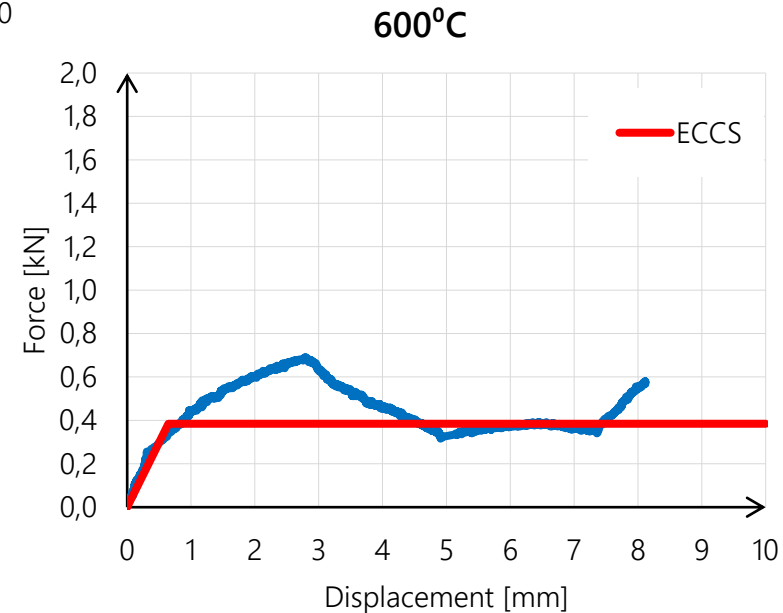
Shrnutí



$D = 100 \text{ mm}$

$t_{F2} = 0,5 \text{ mm}$

$t_{\text{cor,sup}} = 8 \text{ mm}$



Shrnutí

- Pro návrh tuhosti a únosnosti přípoju panelů lze využít návrh za běžné teploty

-

- Únosnost lze redukovat

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

- Tuhost lze redukovat

$$E_\theta = E \cdot k_{E,\theta}$$

$$f_{u,F2,\theta} = f_{u,F2} \cdot k_{p,\theta}$$

Úvod

Experimenty

Model MKP

Validace

Studie citlivosti

Analytický
model

Validace

➤ Shrnutí

redukčními součiniteli podle EN1993-1-2:2005



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Research Fund
for Coal & Steel

STABFI

Děkuji za pozornost

František Wald

frantisek.wald@fsv.cvut.cz

