



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



STABFI

Požární zkoušky ve vodorovné peci

Teploty v plášti

**Nikola Lišková,
Kamila Cábová, František Wald**



Motivace

- Pro návrh konstrukce je rozhodující předpověď teplot, kterých může na konstrukci dosaženo.
- Výsledky experimentů:
 - Degradace a chování systému opláštění
 - Teploty přípojů ve stříhové rovině

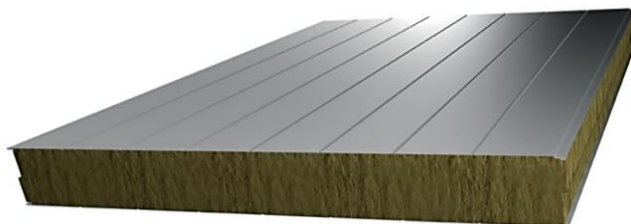
Obsah

- Testované plášťové systémy
- Analytický přístup
- Zkouška střešní konstrukce
 - Výsledky
- Rohová zkouška
 - Výsledky
- Shrnutí

Testované plášťové systémy

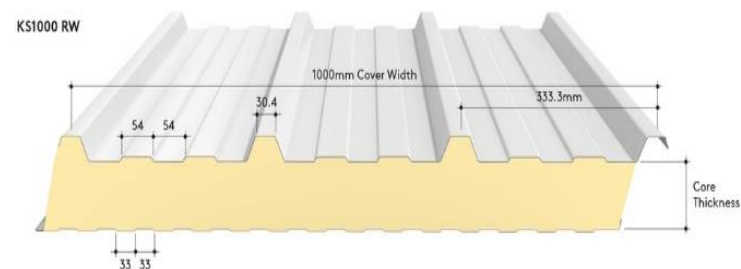
SENDVIČOVÝ PANEL

- jádro z **minerální vlny**
- **100 mm a 230 mm**



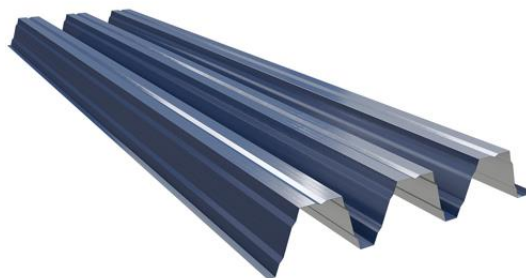
SENDVIČOVÝ PANEL

- jádro z **PIR pěny**
- **100 mm a 160 mm**



TRAPÉZOVÝ PLECH

- výška vlny **153 mm**
- tl. plechu **0,9 mm**



TRAPÉZOVÝ PLECH

- výška vlny **100 mm**
- tl. plechu **0,88 mm**



► Opláštění

Výpočet

Experimenty

Výsledky

Shrnutí

Analytický přístup

- Teploty přípojů ve stříhové rovině
- Distribuce teplot po výšce sendvičových panelů vyjádřená v závislosti na **Efektivní tepelné vodivosti**

Tepelný tok _ Fourierův zákon vedení tepla:

$$Q = -\lambda * \frac{d\theta}{dx} = -\lambda \frac{\theta_2 - \theta_1}{x} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Úprava rovnice pro
Přírůstkovou metodu



Vyjádření **efektivní tepelné vodivosti** λ_{eff} [W/m°C]

$$\Delta\theta = \frac{(\theta_{fi} - \theta_m) * \lambda_m}{d_m * \rho_m * c_m} * \Delta t \quad \Rightarrow \quad \lambda_{eff} = \frac{d_m * \rho_m * c_m * \Delta\theta}{(\theta_{fi} - \theta_m) * \Delta t} * \Delta t$$

Opláštění

➤ Výpočet

Experimenty

Výsledky

Shrnutí

Zkouška střešní konstrukce

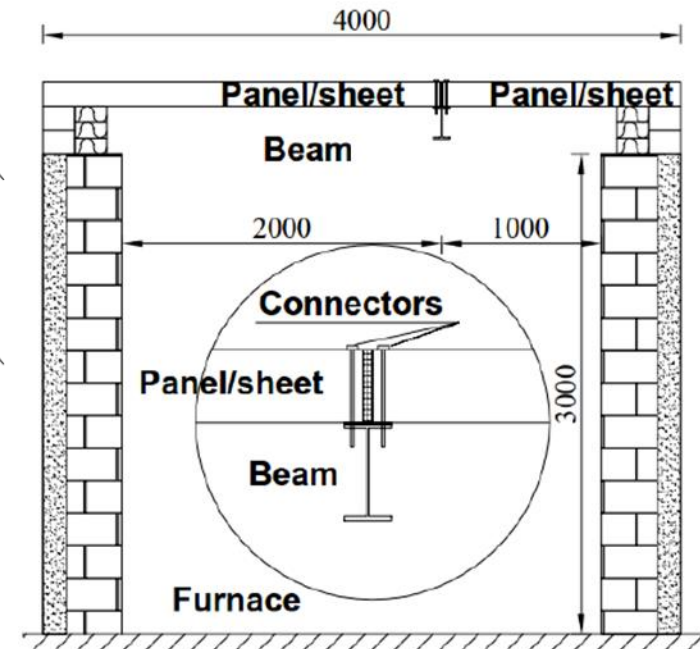
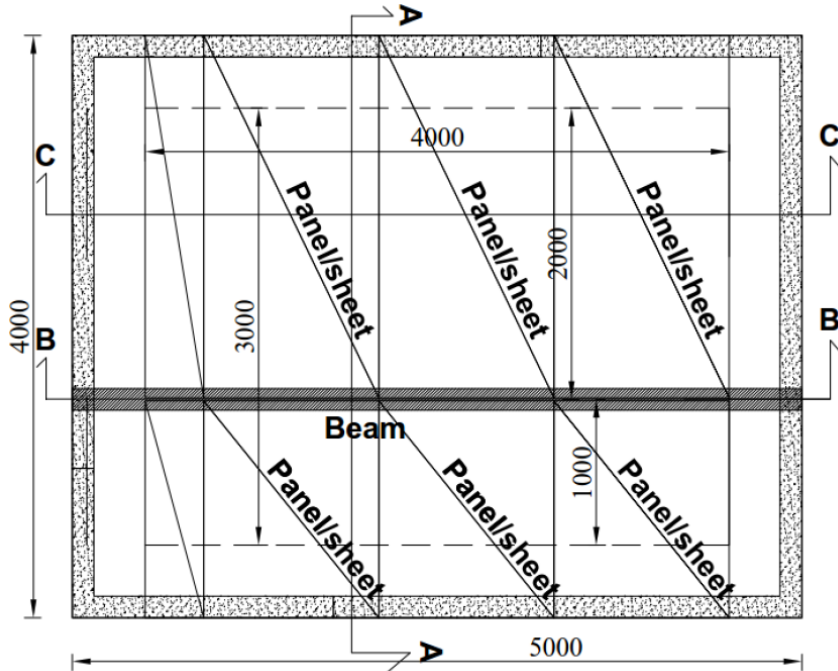
Opláštění

Výpočet

► Experimenty

Výsledky

Shrnutí



Normová teplotní křivka

$$\theta = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

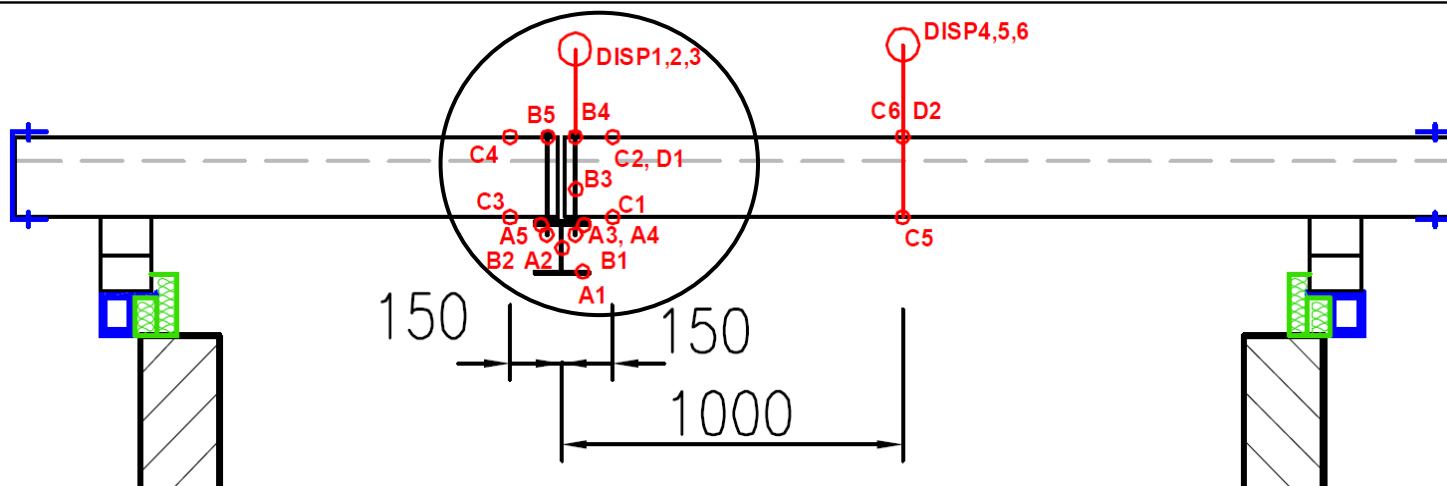
θ je teplota plynu [°C]

t je čas [min]

Vodorovná pec

- použitých 8 hořáků
- maximální výkon každého hořáku 320 kW

Zkouška střešní konstrukce



Opláštění

Výpočet

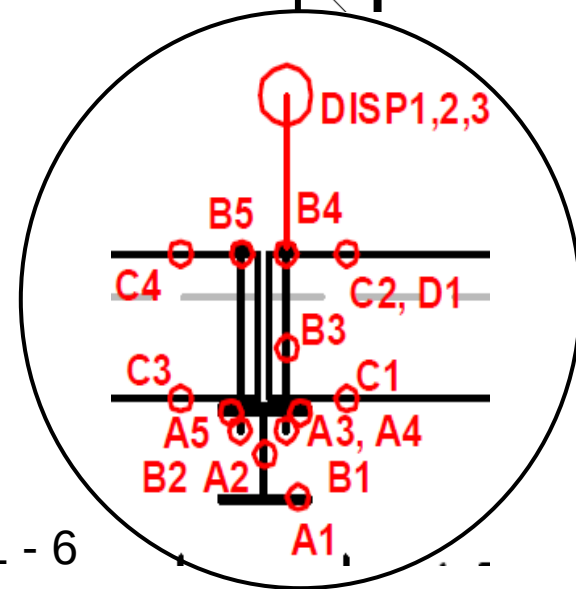
► Experimenty

Výsledky

Shrnutí

Rozmístění termočlánků

- Vnitřní a vnější plech TC_C
- **Konec, střed a hlava šroubu TC_B**
- Pásnice a stojina nosníku TC_A
- Měření průhybu nosníku a pláště DISP1 - 6



Panel s PIR pěnou _ 160 mm

Opláštění

Výpočet

Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí

Panely po testu



Přípoje

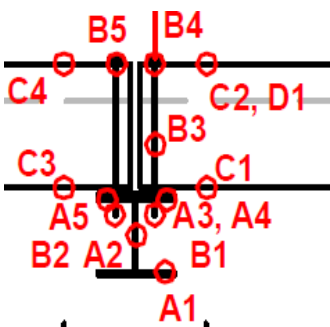


Vnitřní plech panelu



Konec testu v **83. min z důvodu rychlého nárůstu průhybu.**

Max. teplota plynů pod stropem **991 °C.**



Panel s PIR pěnou _ 160 mm

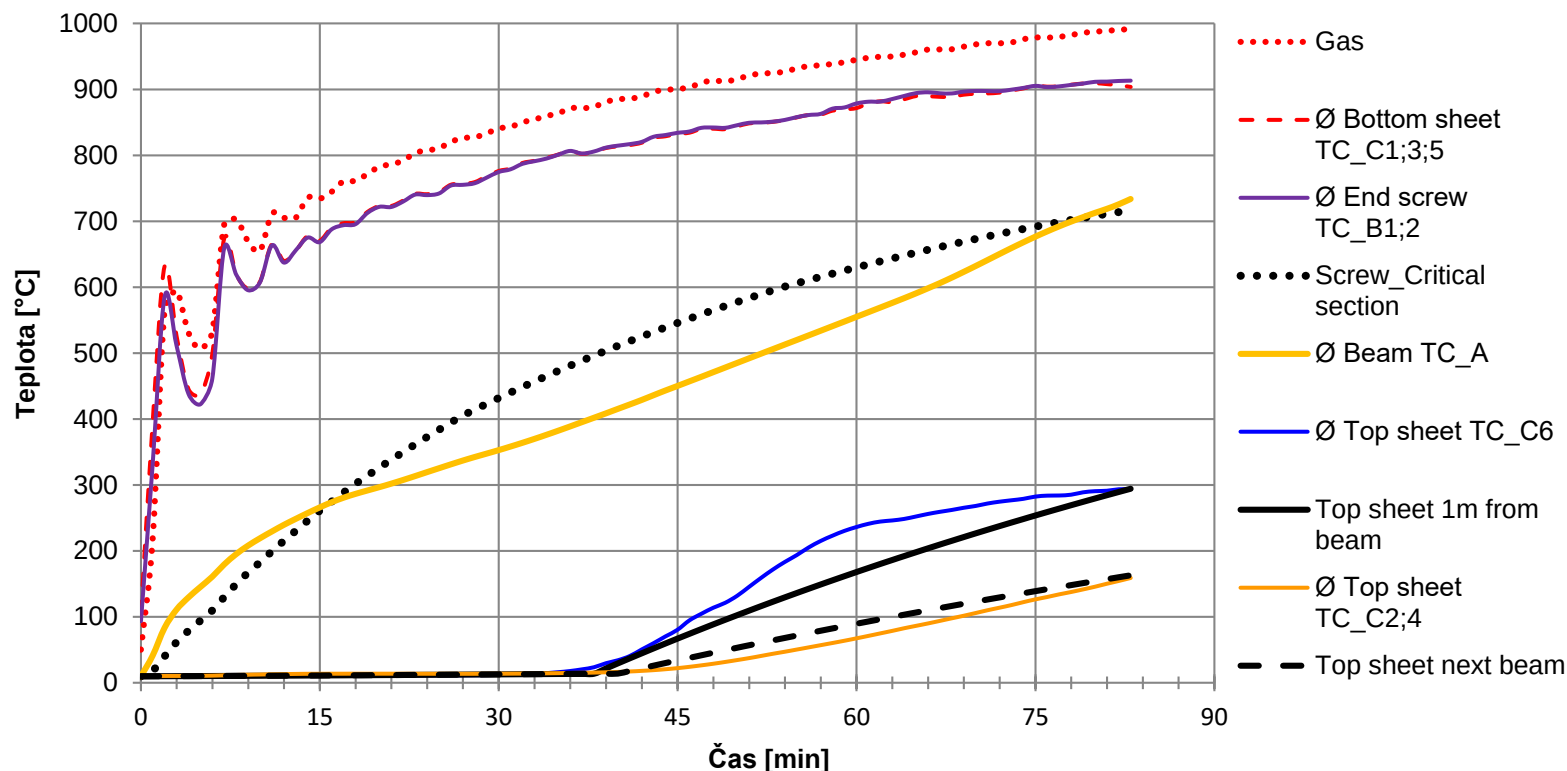
Opláštění

Výpočet

Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí



- Teplota exponovaného plechu panelu = 93% teploty plynu
- Teplota přípoje ve stříhové rovině $\approx$ Teplota chráněného nosníku
- Tepelná vodivost $\lambda_{20} = 0,018 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ pro předpověď teploty na neexponované straně panelu **do 38 min**, pak **Efektivní tepelná vodivost**:
 - v blízkosti nosníku: $\lambda_{\text{eff}} = 0,62 - \theta/1000 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
 - uprostřed panelu: $\lambda_{\text{eff}} = 1,2 - \theta/1000 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Trapézový plech _ 153 mm



Přípoje



Exponovaná strana



Úvod

Zkoušky

Výsledky

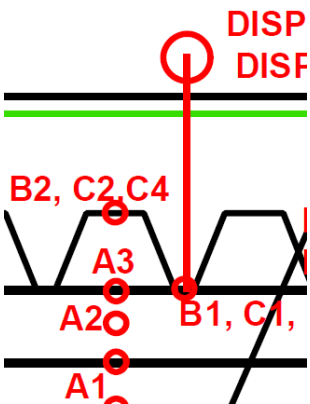
Shrnutí

TR plechy po testu

Konec testu ve **33. min z důvodu rychlého nárůstu průhybu.**

Max. teplota plynů pod stropem **853 °C.**





Trapézový plech _ 153 mm

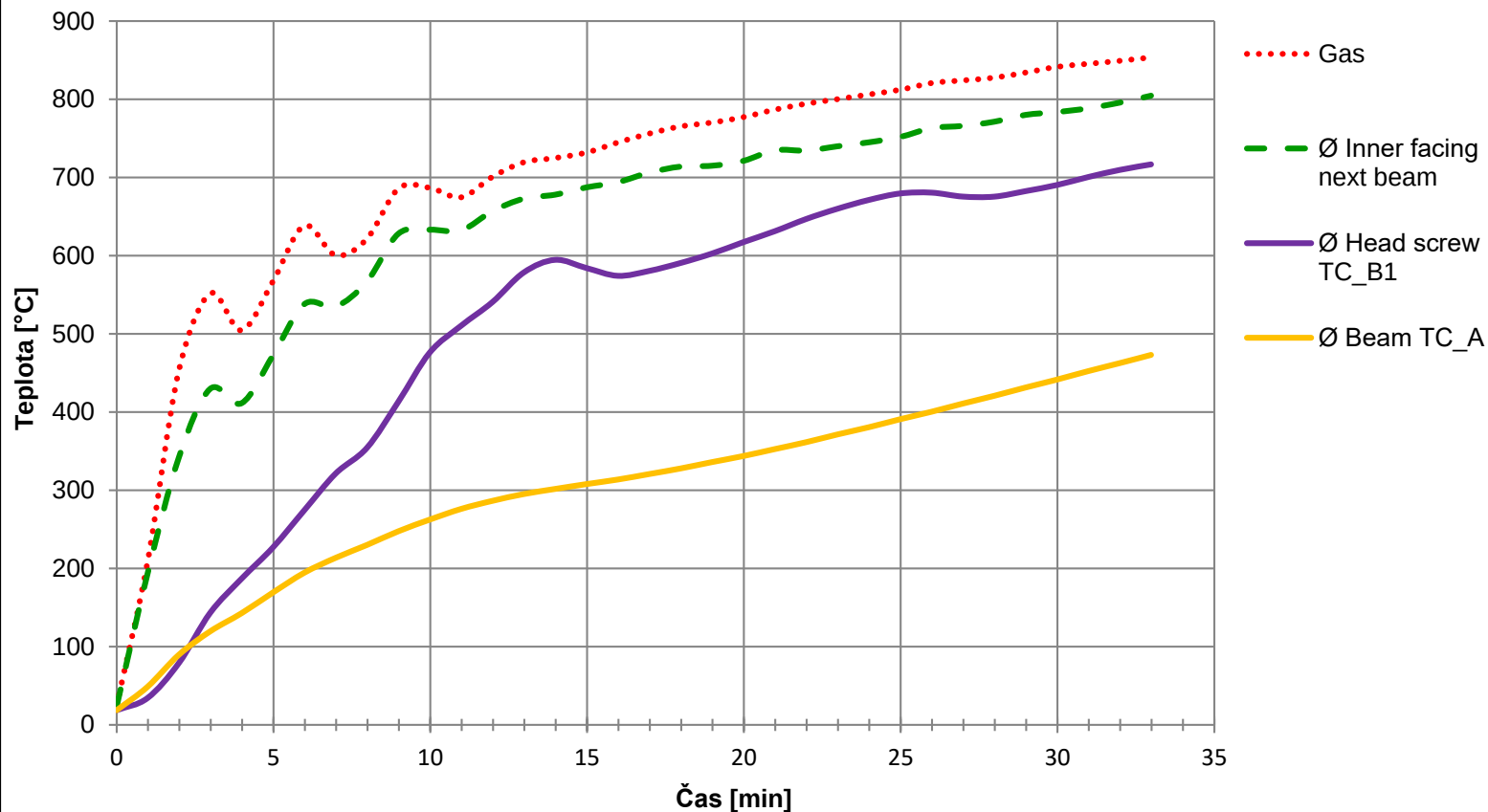
Opláštění

Výpočet

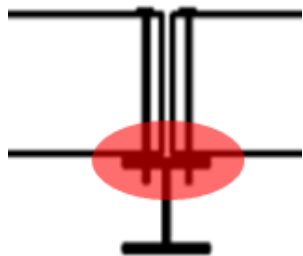
Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí



- Teplota TR plechu od 7 min $\approx$ 95% teploty plynu, $\theta_{max} = 804^{\circ}\text{C}$
- Teplota hlavy šroubu do 2 min = Teplotě chráněného nosníku; dalších 11 min teplota roste velmi rychle a od 13 min $\approx$ 83% Teploty plynu
- Teplota hlavy šroubu < Teplota TR plechu



Zkouška střešní konstrukce

Distribuce teploty

Opláštění

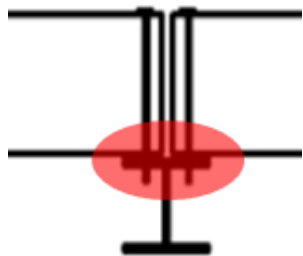
Výpočet

Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí

Vzorek	Zatížení [kN/m ²]	Konec testu [min]	Efektivní tepelná vodivost λ_{eff} [W/m°C]
Střecha SP_PIR 100 mm	1	77	$\lambda_{20} = 0,018 \text{ W/m°C}$ do 20 min, poté $\lambda_{\text{eff}} = 0,41 - \theta/1000 \text{ W/m°C}$
Střecha SP_PIR 160 mm	1	83	$\lambda_{20} = 0,018 \text{ W/m°C}$ do 38 min, poté $\lambda_{\text{eff}} = 0,62 - \theta/1000 \text{ W/m°C}$ vedle nosníku $\lambda_{\text{eff}} = 1,2 - \theta/1000 \text{ W/m°C}$ uprostřed panelu
Střecha SP_MV 100 mm	0,5	72	$\lambda_{\text{eff}} = 0,39 \text{ W/m°C}$
Střecha SP_MV 230 mm	0,5	88	$\lambda_{\text{eff}} = 0,1 \text{ W/m°C}$
Střecha TR 100 mm	1	41	-
Střecha TR 153 mm	1	33	-



Zkouška střešní konstrukce

Teploty přípoje

Opláštění

Výpočet

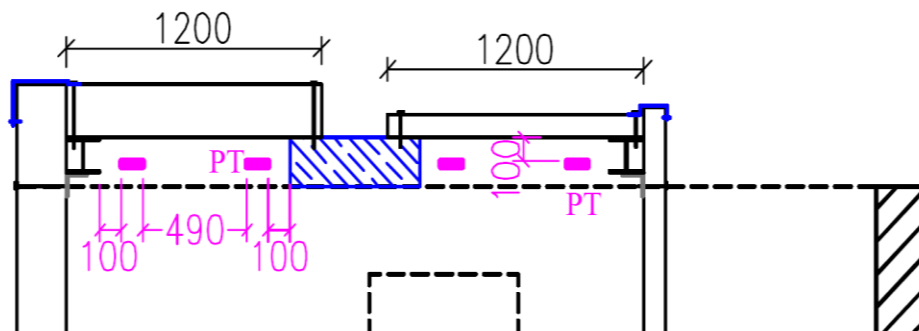
Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí

Vzorek	Zatížení [kN/m ²]	Konec testu [min]	Teplota [°C] a Průhyb [mm]	
			HEA 160 3,5 m	Přípoj ve stříhové rovině
Střecha SP_PIR 100 mm	1	77	$\theta_{max} = 445^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 4,2\text{mm}$	$\approx$ Nosníku
Střecha SP_PIR 160 mm	1	83	$\theta_{max} = 460^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 6,8\text{mm}$	$\approx$ Nosníku
Střecha SP_MV 100 mm	0,5	72	$\theta_{max} = 674^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 11,2\text{mm}$	$\approx$ Nosníku
Střecha SP_MV 230 mm	0,5	88	$\theta_{max} = 652^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 12,8\text{mm}$	$\approx$ Nosníku
Střecha TR 100 mm	1	41	$\theta_{max} = 567^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = -10\text{mm}$	$\approx$ 90% plynu od 25 min
Střecha TR 153 mm	1	33	$\theta_{max} = 560^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = -12\text{mm}$	$\approx$ 83% plynu od 13 min

Rohová zkouška



Normová teplotní křivka

$$\theta = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

θ je teplota plynu [°C]

t je čas [min]

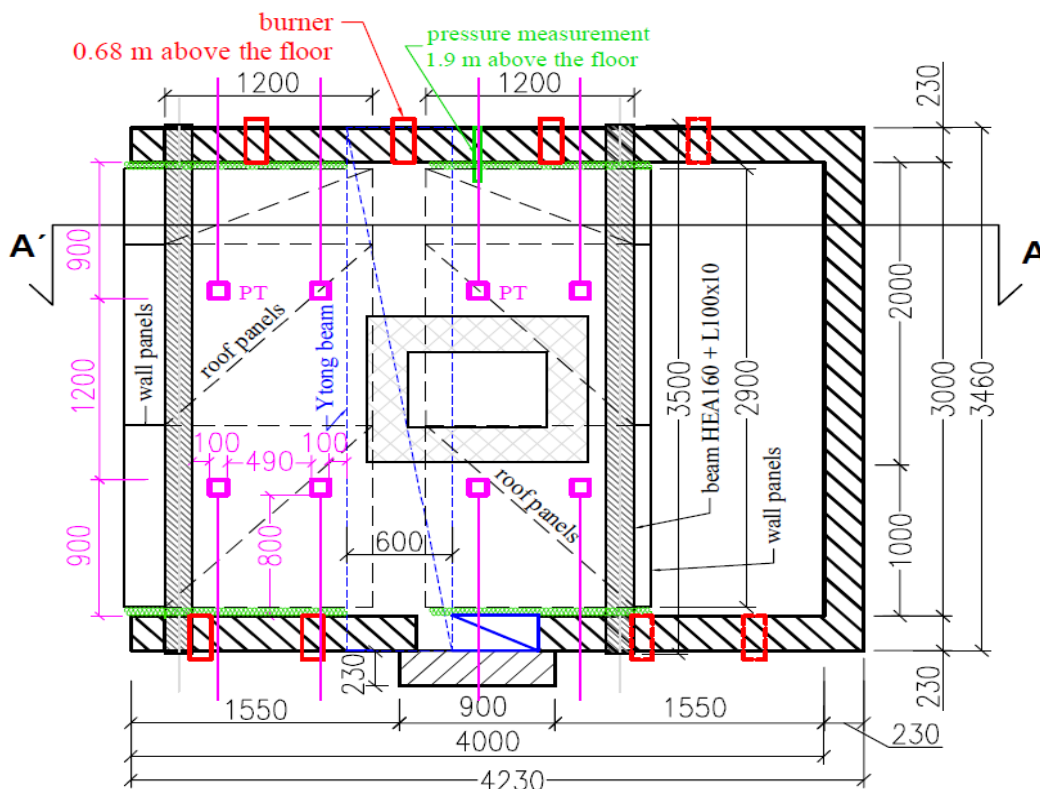
Opláštění

Výpočet

► Experimenty

Výsledky

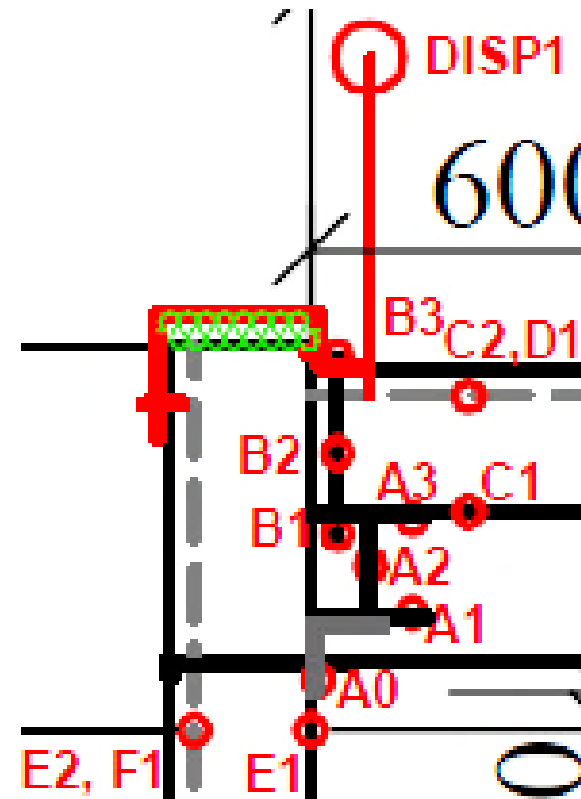
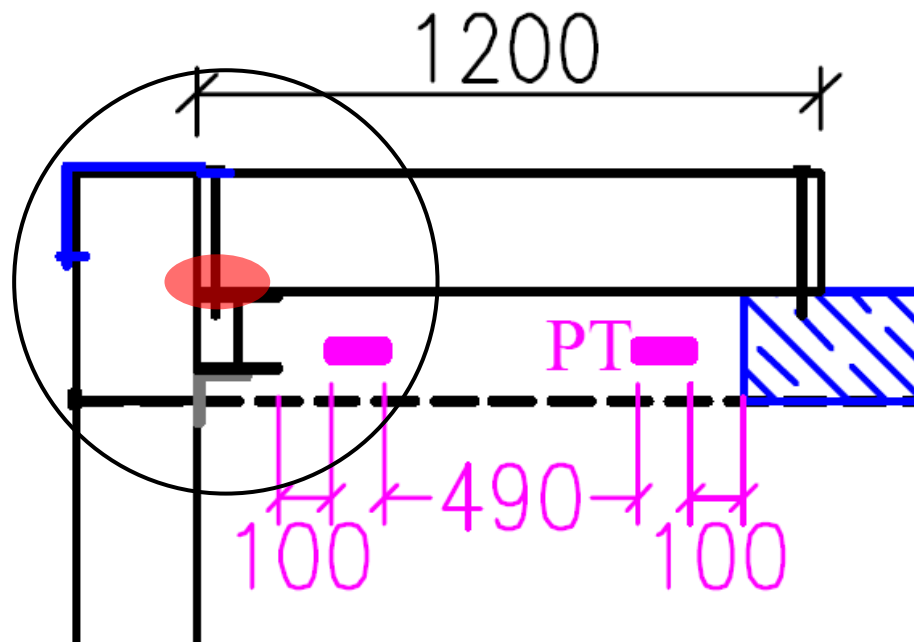
Shrnutí



Vodorovná pec

- použitých 5 hořáků
- maximální výkon hořáku 320 kW

Rohová zkouška



Rozmístění termočlánků

- Vnitřní a vnější plech - střecha TC_C; stěna TC_E
- **Konec, střed a hlava šroubu TC_B**
- Pásnice a stojina nosníku TC_A
- Měření průhybu nosníku a pláště DISP1 - 2

Opláštění

Výpočet

► Experimenty

Výsledky

Shrnutí

Panel s Minerální vlnou _ 100 mm



Konec testu v 82. min z důvodu plamene mezi stěnou pece a panely. Plyn 993°C.

Opláštění

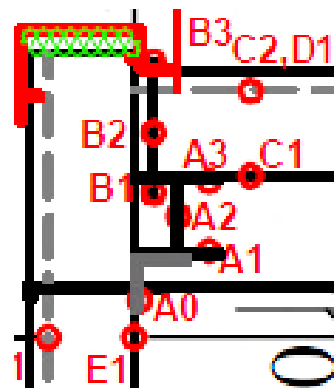
Výpočet

Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí





Panel s Minerální vlnou _ 100 mm

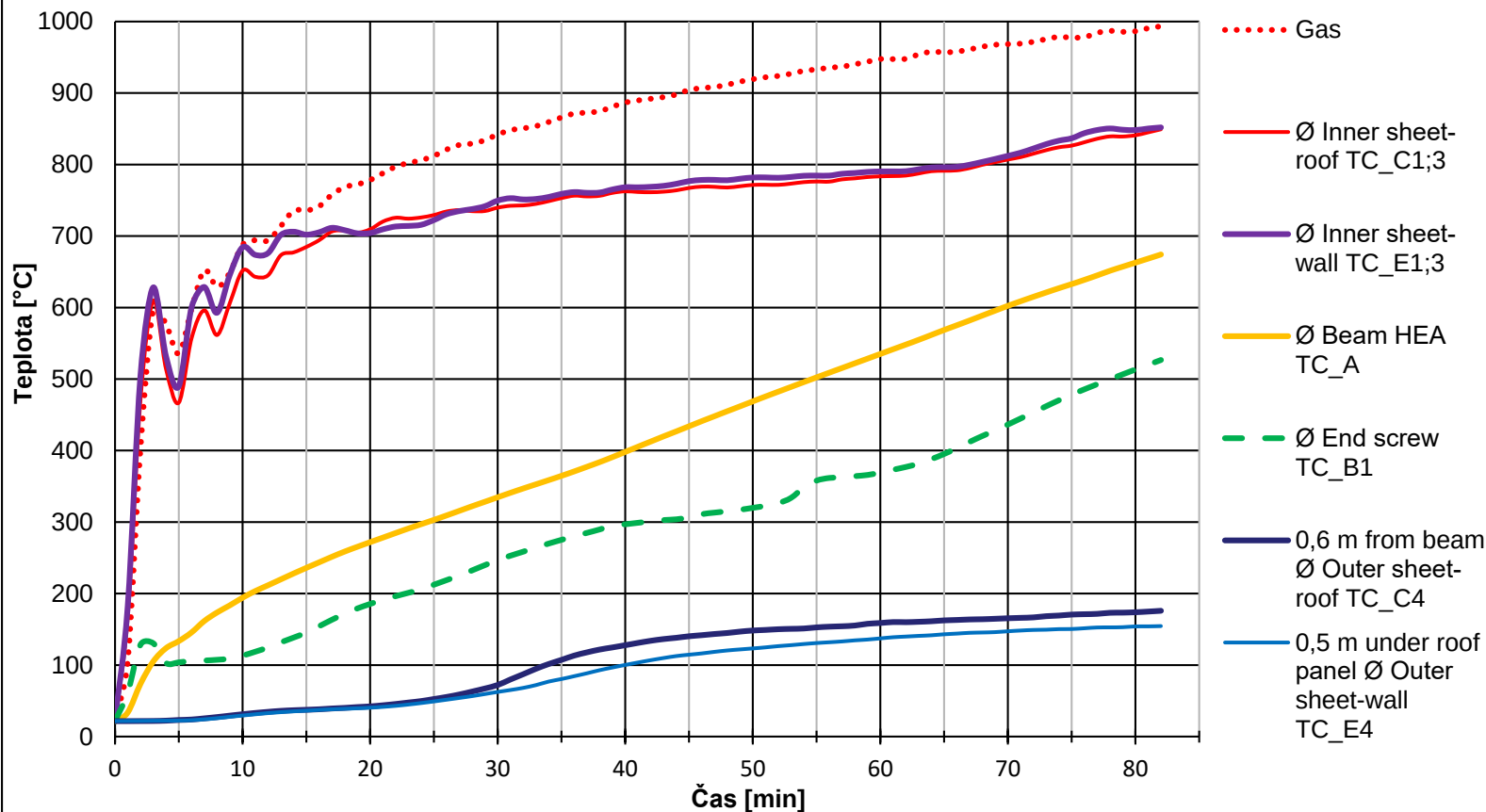
Opláštění

Výpočet

Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí



- Exponovaná strana střešních a stěnových panelů $\theta_{max} = 849\text{ °C} \approx 87\%$ teploty plynu
- Teplota šroubu ve střihové rovině < Teplota chráněného nosníku $\theta_{max} = 674\text{ °C}$
- Teplota na neexponované straně střešních panelů $\theta_{max} = 176\text{ °C} > t.$ stěnových panelů $\theta_{max} = 155\text{ °C}$ a narůstá od 27. min a

Trapézový plech _ 100 mm

Konec testu ve **49. min** z
důvodu **plamenů ve**
spárách panelů.

Max. teplota plynů pod
stropem **915 °C.**



Opláštění

Výpočet

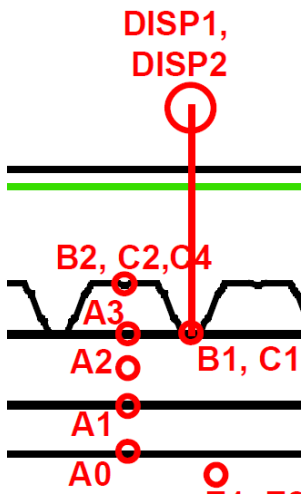
Experimenty

➤ Výsledky

Shrnutí



Trapézový plech _ 100 mm



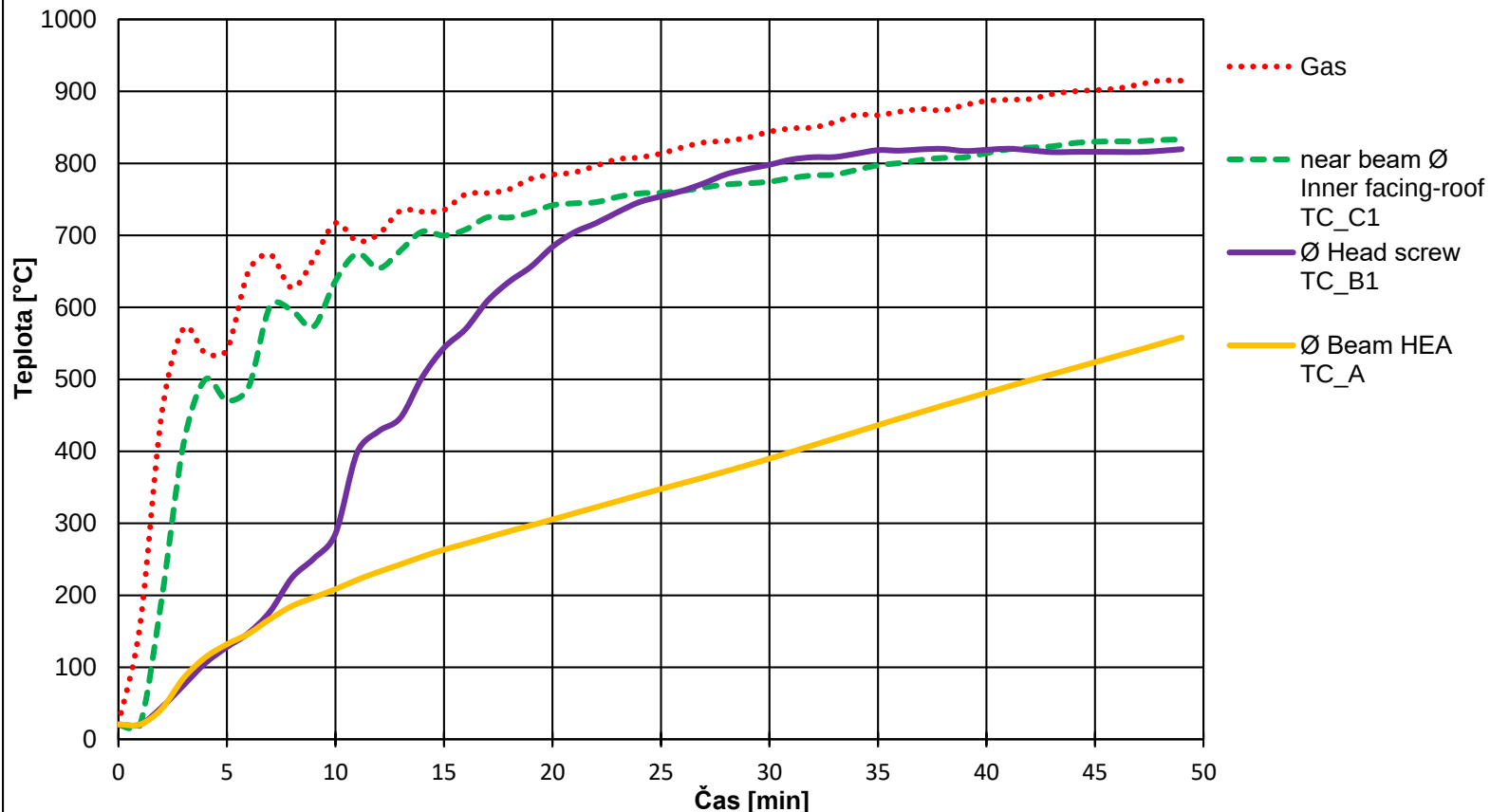
Opláštění

Výpočet

Experimenty

➤ Výsledky

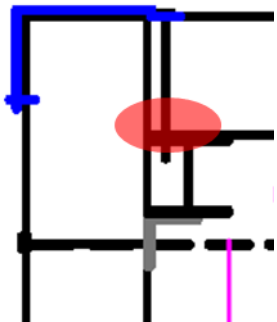
Shrnutí



- Střecha: teplota TR plechu $\approx 90\%$ do 10 min, pak 95% teplota plynu, $\theta_{max} = 875^\circ\text{C}$
- Teplota hlavy šroubu do 6 min = Teplotě chráněného nosníku; dalších 19. min teplota narůstá velmi rychle a od 25. min = Teplotě střešního TR plechu

Rohová zkouška

Teploty přípoje



Opláštění

Výpočet

Experimenty

➤ Výsledky

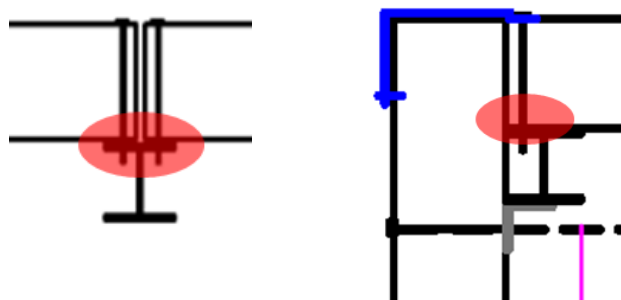
Shrnutí

Vzorek	Zatížení [kN/m ²]	Konec testu [min]	Teplota [°C] a Průhyb [mm]	
			HEA 160 3,5 m	Přípoj ve stříhové rovině
Střecha + Stěna SP_PIR 100 mm	1	50	$\theta_{max} = 445^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 4,2\text{mm}$	$\approx 75\%$ nosníku
Střecha + Stěna SP_PIR 160 mm	1	50	$\theta_{max} = 460^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 6,8\text{mm}$	$\approx 75\%$ nosníku
Střecha + Stěna SP_MV 100 mm	0,5	82	$\theta_{max} = 674^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 11,2\text{mm}$	$\approx 75\%$ nosníku
Střecha + Stěna SP_MV 230 mm	0,5	82	$\theta_{max} = 652^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = 12,8\text{mm}$	$\approx 75\%$ nosníku
Střecha TR 100 mm Stěna SP_PIR 160 mm	1	49	$\theta_{max} = 567^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = -10\text{mm}$	$\approx 95\%$ plynu od 25 min
Střecha TR 100 mm Stěna SP_MV 230 mm	1	49	$\theta_{max} = 560^{\circ}\text{C}$ $\delta_{max} = -12\text{mm}$	$\approx 91\%$ plynu od 20 min

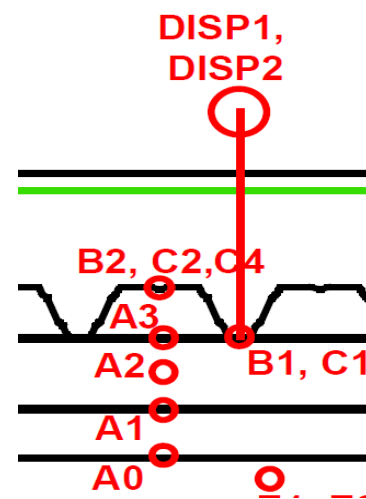
Shrnutí

Teplota přípoje ve stříhové rovině

- Teplota přípoje v místě stříhové roviny může být uvažována jako:
- **Sendvičové panely** s jádrem z PIR/minerální vlny
 - jako teplota chráněného nosníku



- **Trapézové plechy**
 - jako 85% do 15 min a v dál pak jako 95 % teploty plynů v peci



Opláštění

Výpočet

Experimenty

Výsledky

➤ Shrnutí



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



STABFI

Děkuji za pozornost

Nikola Lišková

nikola.liskova@fsv.cvut.cz

