

Experimentálne meranie transportu tepla prirodzenou konvekciou z orientovaných teplo výmenných plôch pomocou elektrickej metódy

Ing. Tomáš GREŠŠÁK

Seminár ku projektu: „Rozvoj spolupráce medzi VEC a KET so zameraním na odborný rast doktorandov a výskumných pracovníkov“ ITMS 22410320106
Demänovská dolina, 13.03. – 14.03.2014



**PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE**
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



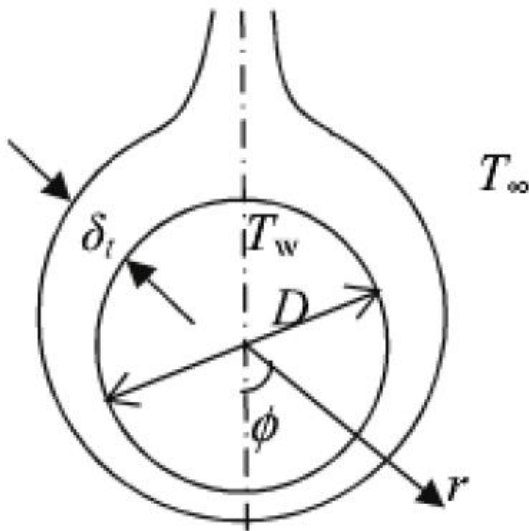
**EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Transport tepla prirodzenou konvekciou

Horizontálny valec

Empirický vzťah pre prirodzené prúdenie:

$$\overline{Nu}_D = C Ra_D^n$$



Ra_D	C	n
$10^{-10} - 10^{-2}$	0,675	0,058
$10^{-2} - 10^2$	1,02	0,148
$10^2 - 10^4$	0,850	0,188
$10^4 - 10^7$	0,480	0,250
$10^7 - 10^{12}$	0,125	0,333

$$\overline{Nu}_D = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Ra_D = \frac{g \beta (T_S - T_\infty) D^3}{\nu \alpha}$$

$$0,1 \leq Ra_D \leq 10^{12}$$

Nusseltovo číslo je **najvyššie** na spodnom okraji horizontálneho valca, kde medzná vrstva je najtenšia. Vzhľadom k tomu, že uhol sa zvyšuje, hrúbka medznej vrstvy rastie a Nusseltovo číslo sa **znižuje**.

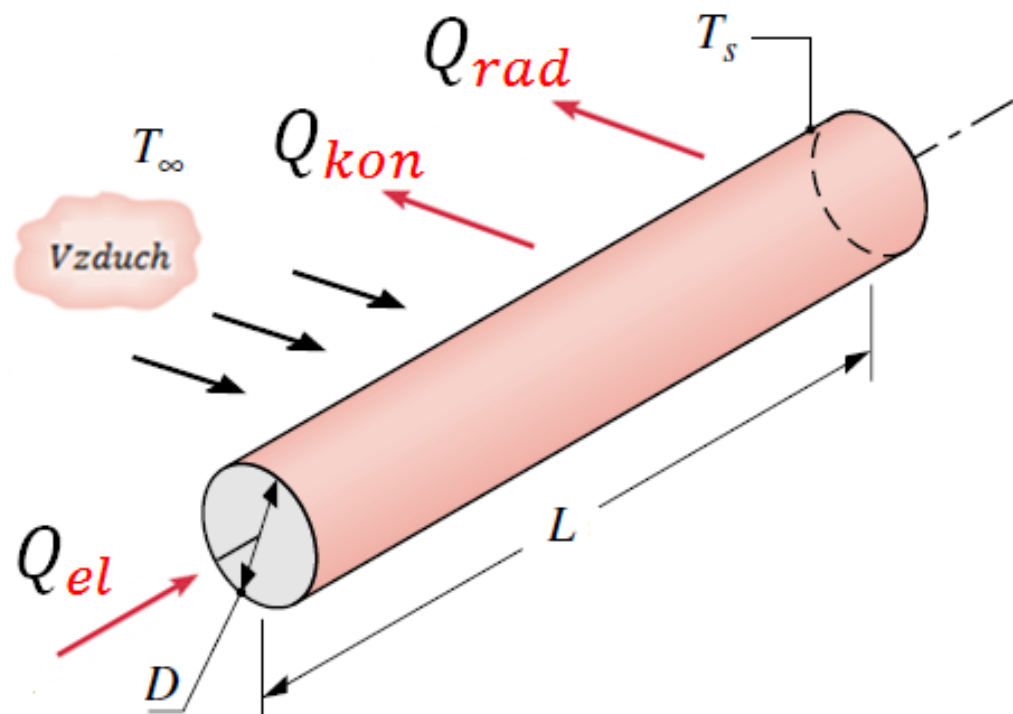
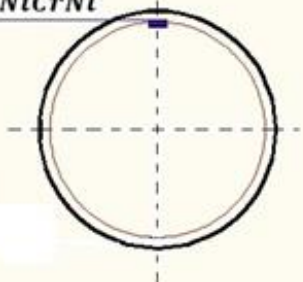
Experimentálne zariadenie



Dĺžka : 1000 mm

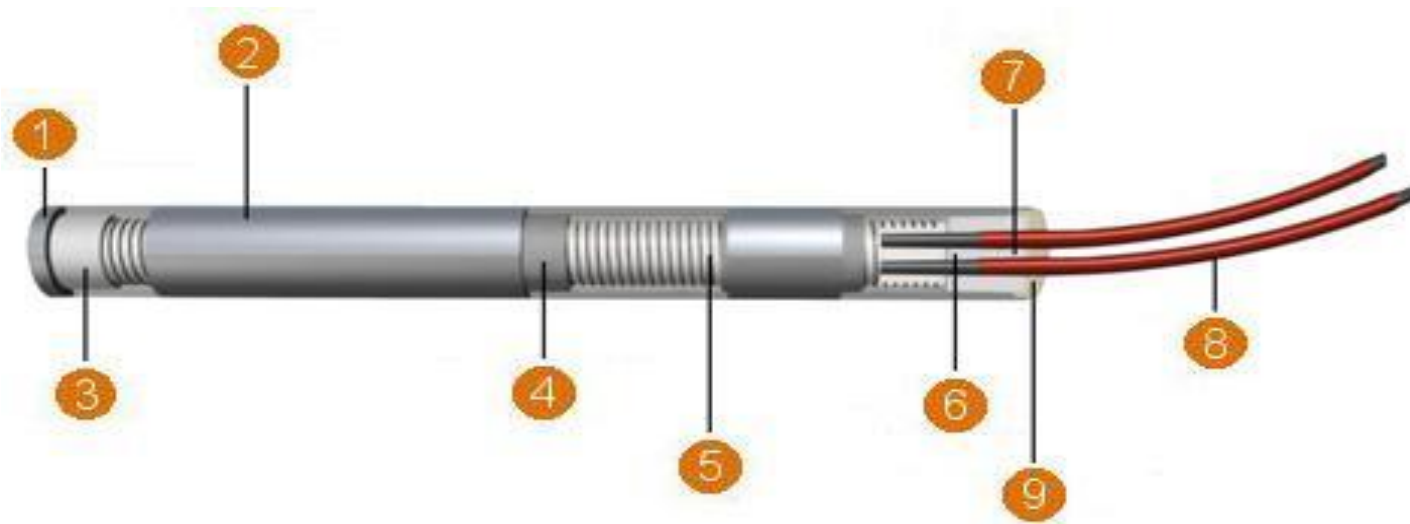
Priemer: 20 mm

umiestnenie termočlánku NiCrNi



$$Q_{el} = Q_{kon} + Q_{rad}$$

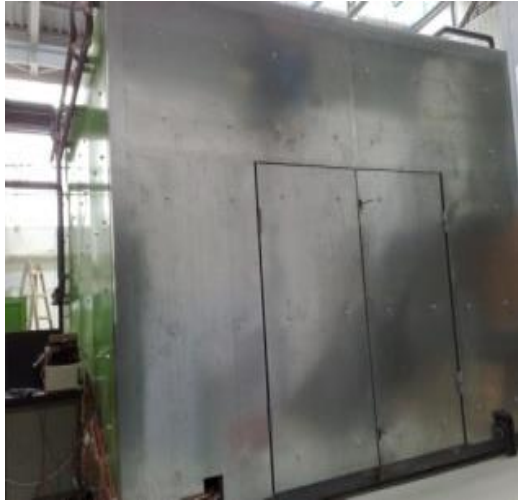
Konštrukcia výhrevnej patróny



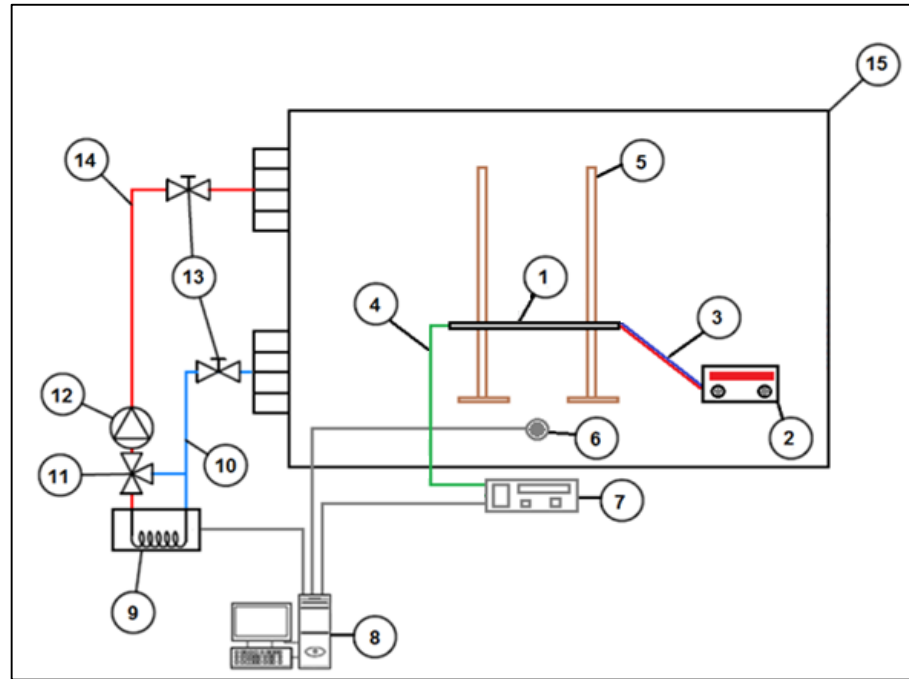
- 1-Zváraná vodotesná základňa (TIG), max. tlak až 60kg/cm²
- 2-Plášť z nerezovej ocele AISI 304/316/321/Incoloy
- 3-Keramický kotúče - izolátor
- 4-Granulometrický oxid horečnatý
- 5-Výhrevný vodič Ni-Cr 80/20 bod tavenia 1400°C
- 6-Keramické jadro
- 7-Pevná keramická hlava
- 8-Prívod
- 9-Tesniaci tmel

Experimentálne meranie

KET – NI 305



Teplota v komore: 20°C

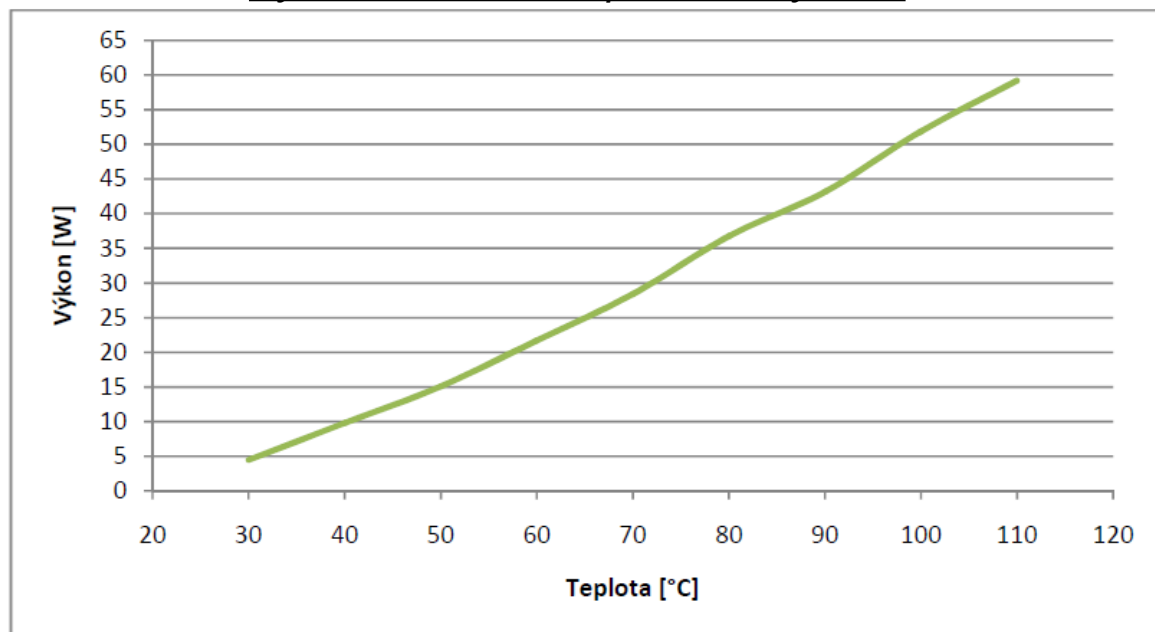


$$Q_{el} = U \cdot I \text{ (W)}$$

Výsledky z experimentálneho merania

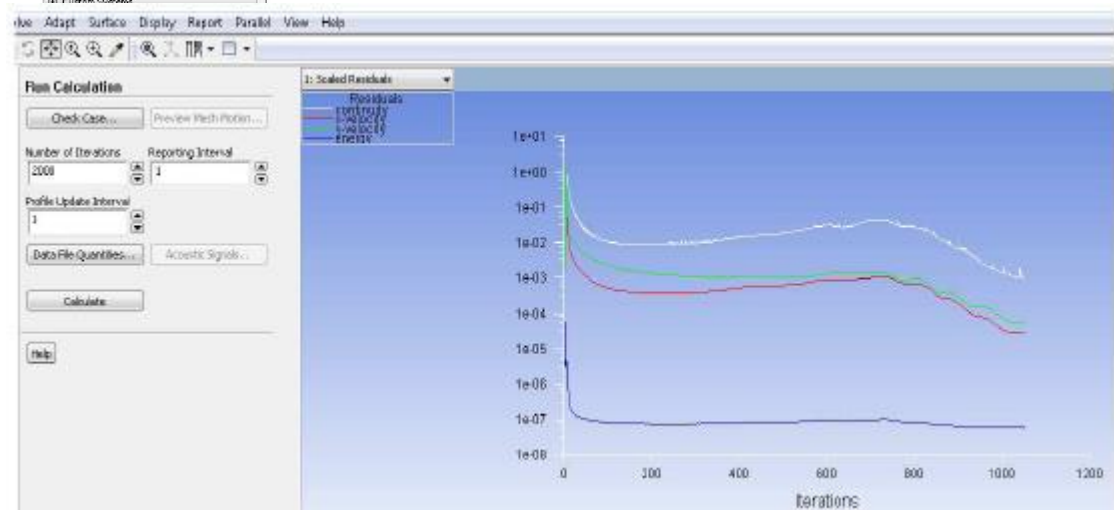
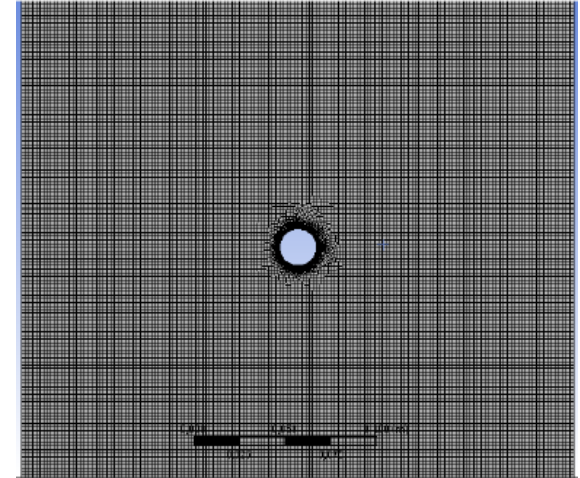
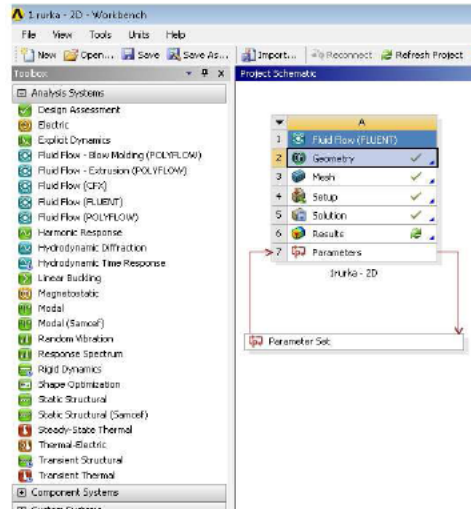
č. merania	$T_{\text{povrchu rúrky}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{okolía}} [^{\circ}\text{C}]$	Tlak [hPa]	Vlhkosť [%]	$U_{\text{vstup}} [\text{V}]$	$I_{\text{vstup}} [\text{A}]$	Výkon [W]
1.	30,00	19,83	965,00	28,67	28,00	0,16	4,48
2.	40,10	19,92	964,00	28,44	41,00	0,24	9,84
3.	50,00	20,05	963,00	28,36	52,00	0,29	15,08
4.	60,00	20,07	963,00	28,56	62,00	0,35	21,70
5.	70,00	19,98	962,00	28,92	71,00	0,40	28,40
6.	80,10	19,92	962,00	28,93	80,00	0,46	36,80
7.	90,00	19,94	962,00	28,85	88,00	0,49	43,12
8.	100,00	19,95	962,00	28,76	96,00	0,54	51,84
9.	110,00	20,01	962,00	28,67	102,00	0,58	59,16

Výkonová krivka tepelného výkonu



Transport tepla z jedného horizontálneho výhrevného patróna pomocou CFD metódy

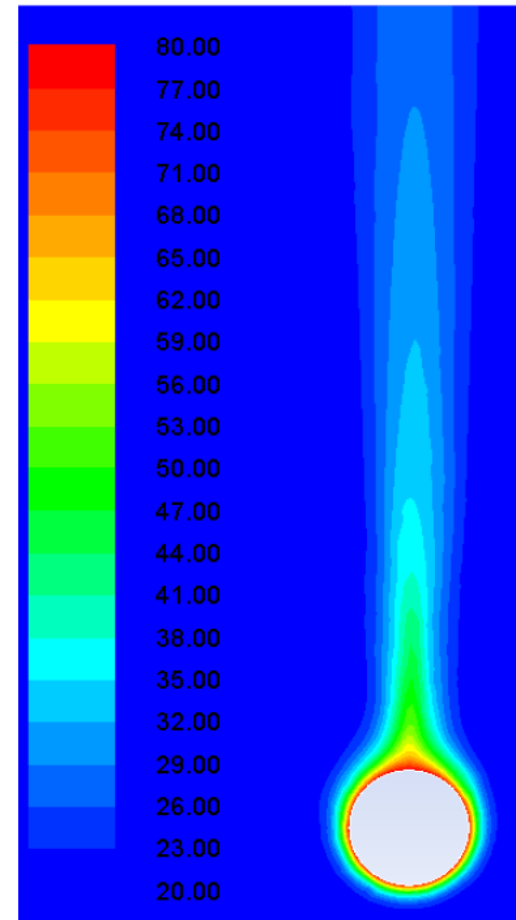
- priemer rúrky : 20 mm,
- laminárne prúdenie,
- gravitačné zrýchlenie $9,81\text{m/s}^2$,
- Boussinesgov model pre výpočet hustoty vzduchu,
- zníženie podrelaxačných faktorov



Vizualizácia teplotných polí

Teplota rúrky: 30°C – 110°C Teplota okolia : 20°C

č. merania	T _{povrchu rúrky} [°C]	T _{okolia} [°C]	Výkon [W]
1.	30,00	20,00	3,4507
2.	40,00	20,00	8,3555
3.	50,00	20,00	13,762
4.	60,00	20,00	19,882
5.	70,00	20,00	26,641
6.	80,00	20,00	33,81
7.	90,00	20,00	40,625
8.	100,00	20,00	48,451
9.	110,00	20,00	56,314

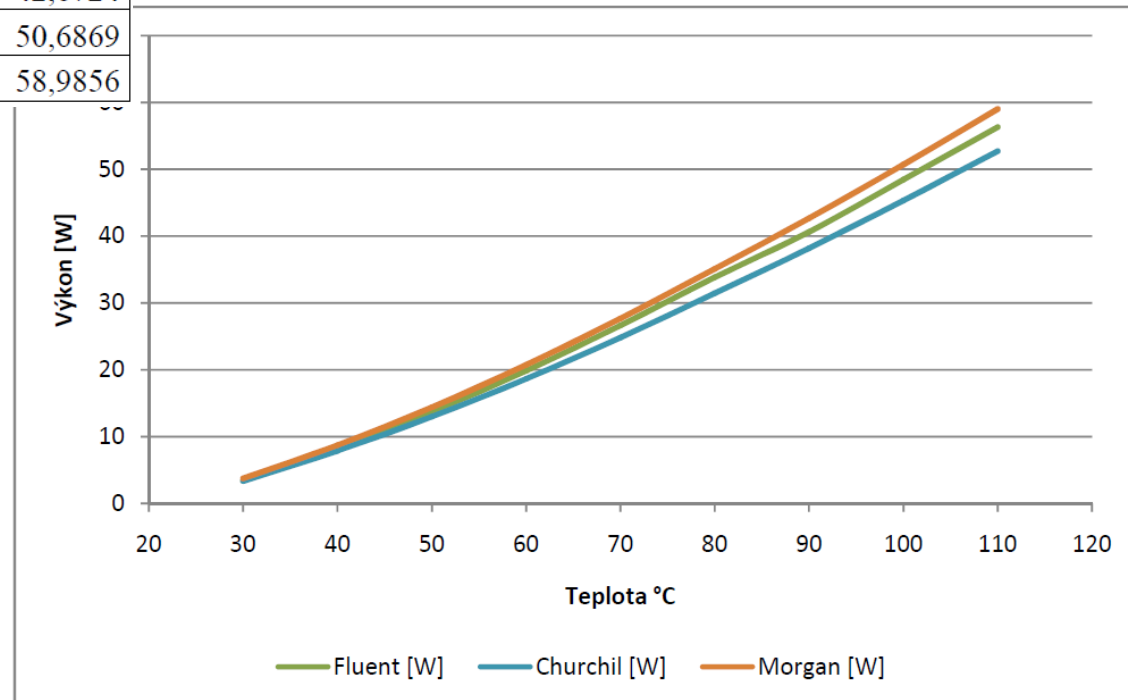


Výkon podľa známych KR

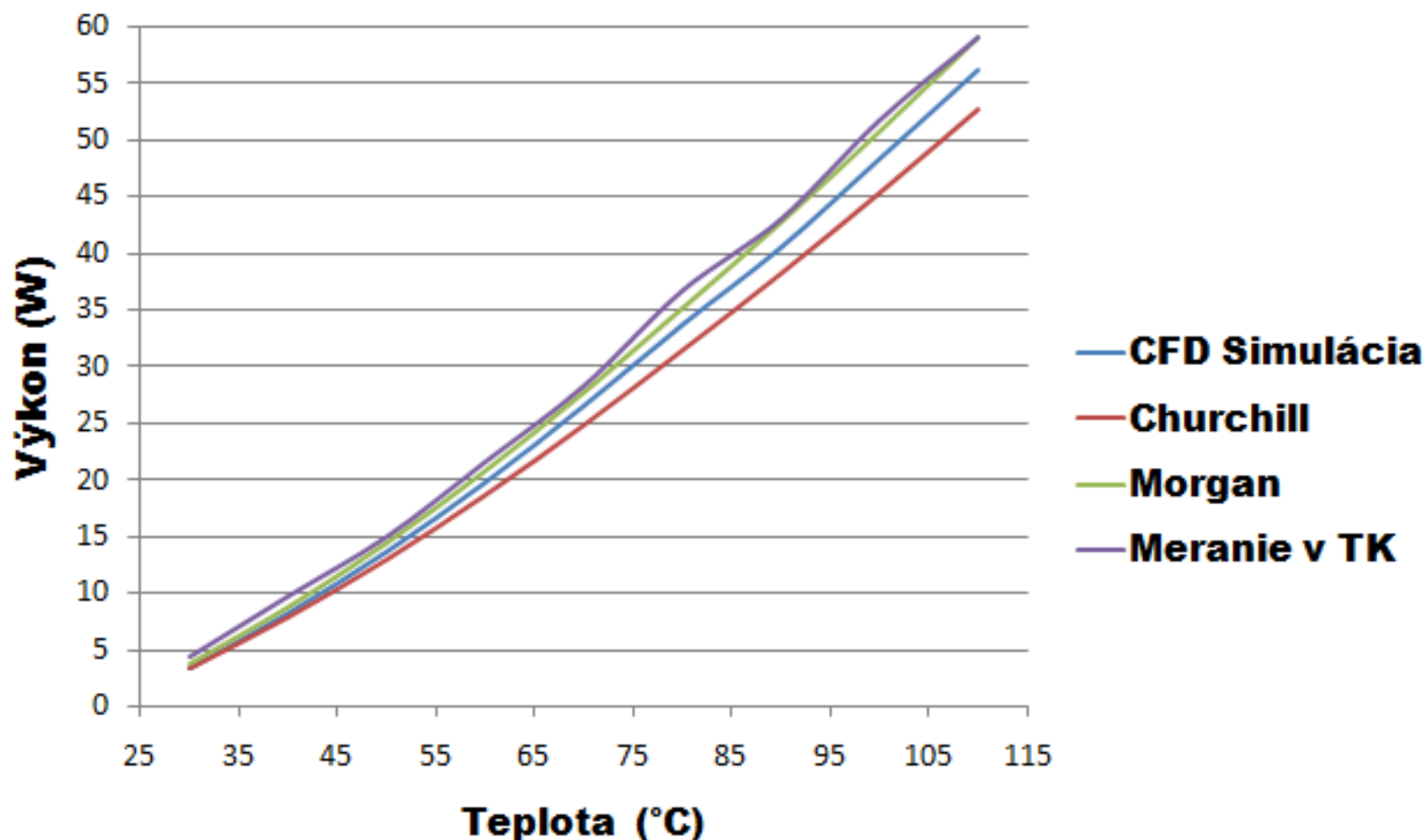
č. merania	T _{povrchu rúrky} [°C]	T _{okolía} [°C]	Churchil [W]	Morgan [W]
1.	30,00	20,00	3,3704	3,7523
2.	40,00	20,00	7,9115	8,7542
3.	50,00	20,00	12,9815	14,4178
4.	60,00	20,00	18,6664	20,7755
5.	70,00	20,00	24,8381	27,6894
6.	80,00	20,00	31,4425	35,0943
7.	90,00	20,00	38,1928	42,6724
8.	100,00	20,00	45,3221	50,6869
9.	110,00	20,00	52,6934	58,9856

$$Nu_d = \frac{\alpha L}{\lambda} = C Ra_d^n$$

$$Nu_d = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra_d^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$



Závislosť tepelných výkonov

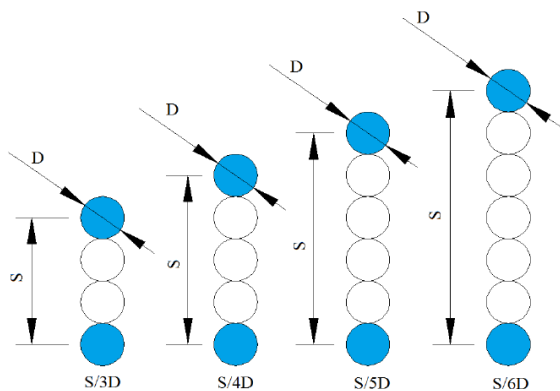
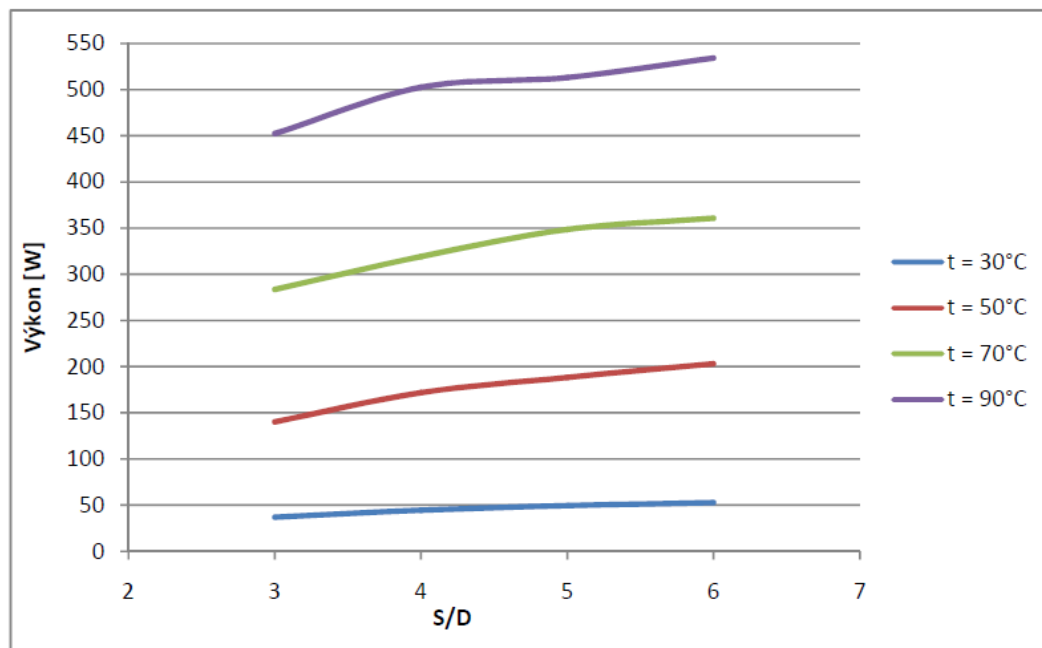


Meranie 10-tich horizontálnych výhrevných patrónov



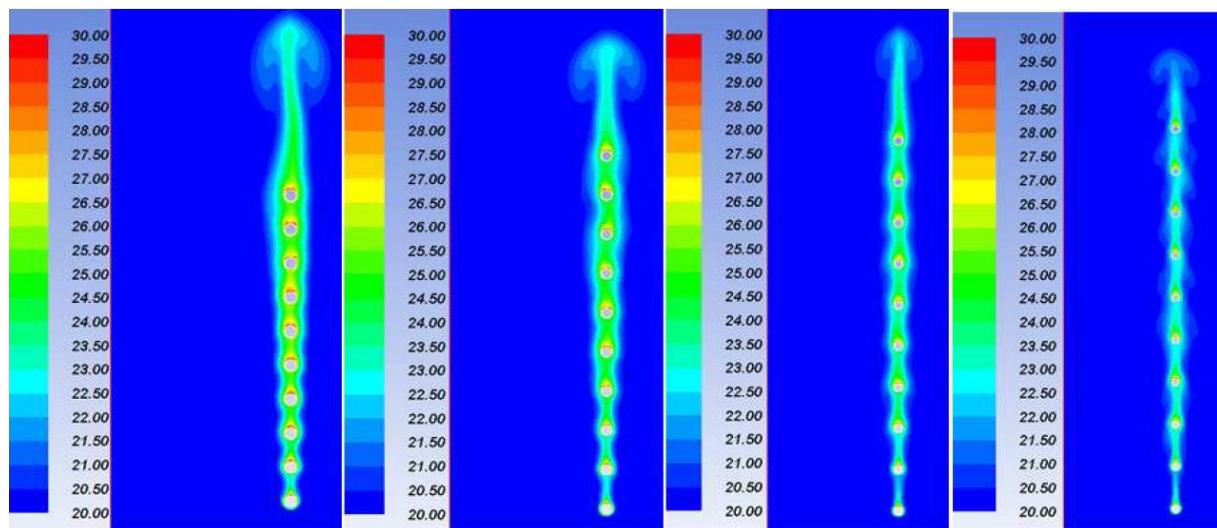
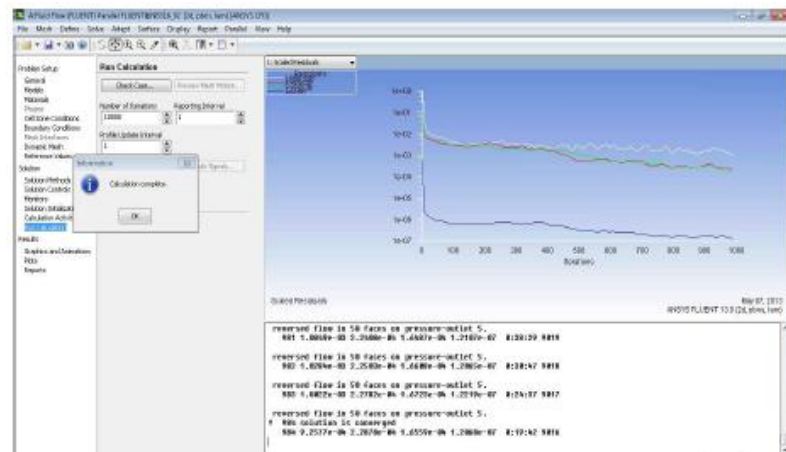
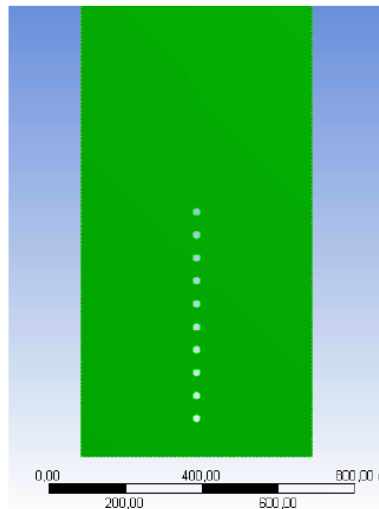
S/D	t = 30°C Q (W)	t = 50°C Q (W)	t = 70°C Q (W)	t = 90°C Q (W)
3	37,149	140,113	283,730	452,418
4	44,617	171,863	319,363	504,788
5	49,403	188,384	348,694	510,786
6	52,761	203,214	360,803	534,091

Priebehy tepelných výkonov z 10-tich patrónov s rôznym rozstupom



Analýza transportu tepla z 10-tich horizontálnych patrónov

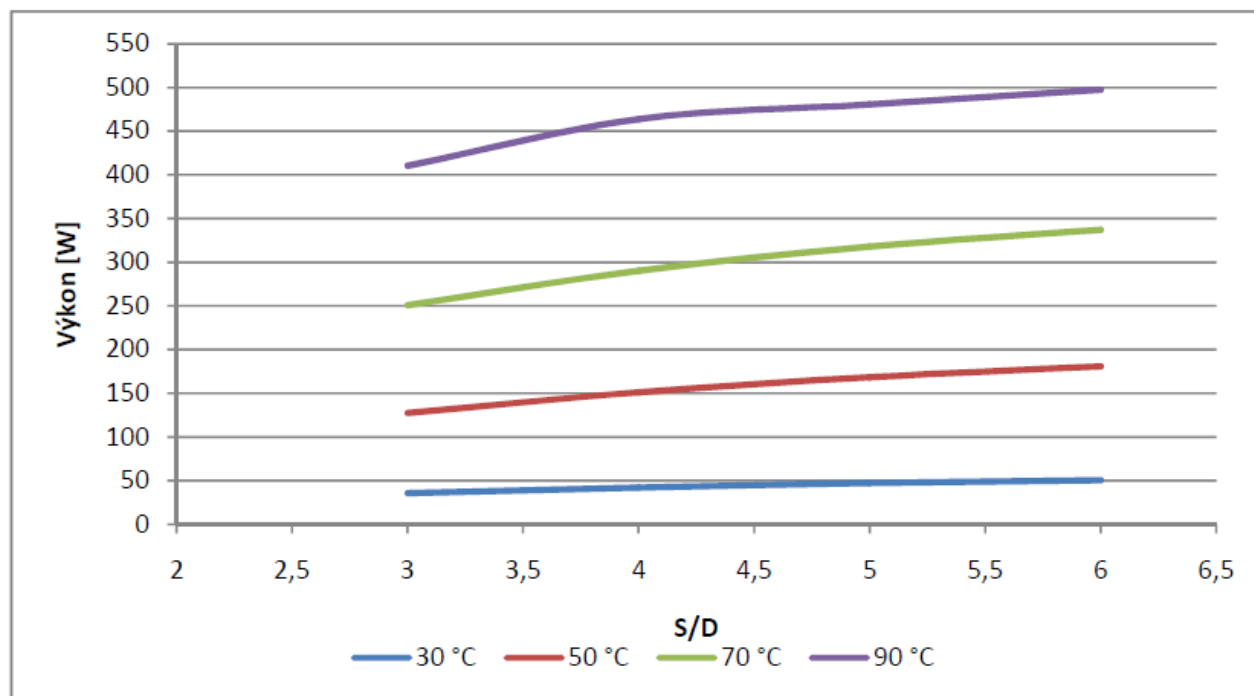
- priemer rúrky : 20 mm,
- laminárne prúdenie,
- gravitačné zrýchlenie $9,81\text{m/s}^2$,
- Boussinesgov model pre výpočet hustoty vzduchu,
- zníženie podrelaxačných faktorov
- teplota okolia : 20°C
- teplota povrchu patrónov 30°C , 40°C , 50°C , 60°C , 70°C , 80°C , 90°C .



Hodnoty tepelných výkonov z programu ANSYS

S/D	30 °C Q [W]	50 °C Q [W]	70 °C Q [W]	90 °C Q [W]
3	41,3461	159,6147	306,6568	461,2709
4	45,0268	173,4789	332,2131	499,6972
5	49,6582	189,231	355,344	535,866
6	52,7303	207,496	374,5925	574,2259

Priebehy tepelných výkonov z 10-tich patrónov s rôznym rozstupom



Porovnanie výsledkov

Ansys - Workbench

Meranie v Termostatickej komore

S/D	30 °C Q [W]	50 °C Q [W]	70 °C Q [W]	90 °C Q [W]
3	41,3461	159,6147	306,6568	461,2709
4	45,0268	173,4789	332,2131	499,6972
5	49,6582	189,231	355,344	535,866
6	52,7303	207,496	374,5925	574,2259

S/D	t = 30°C Q (W)	t = 50°C Q (W)	t = 70°C Q (W)	t = 90°C Q (W)
3	37,149	140,113	283,730	452,418
4	44,617	171,863	319,363	504,788
5	49,403	188,384	348,694	510,786
6	52,761	203,214	360,803	534,091

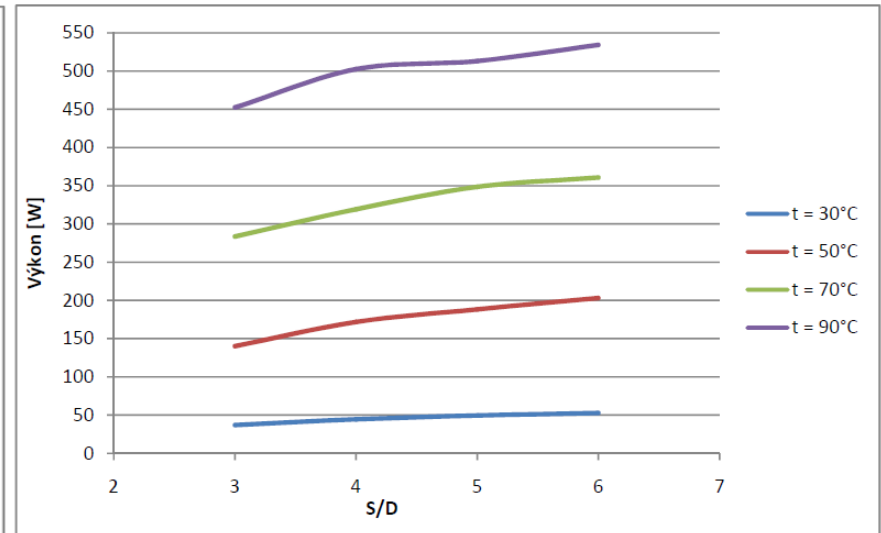
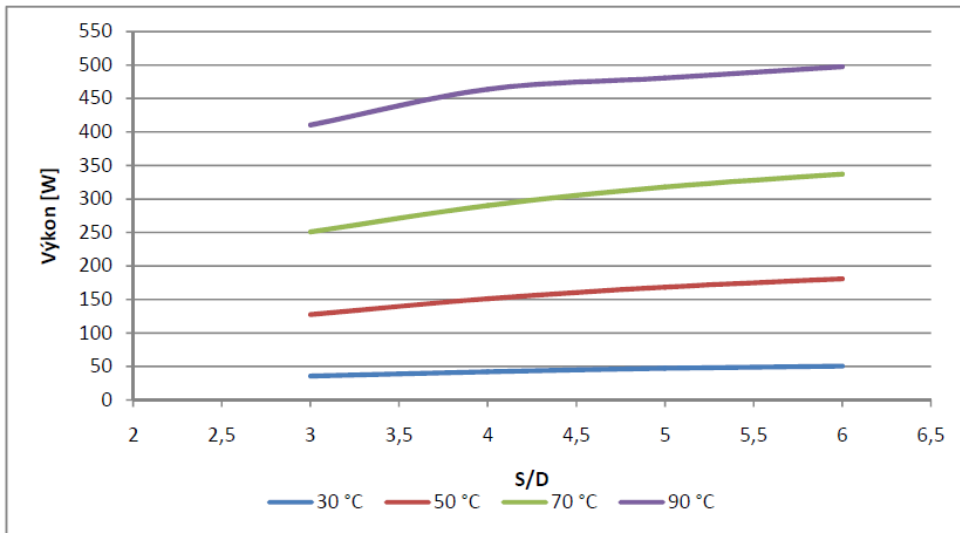
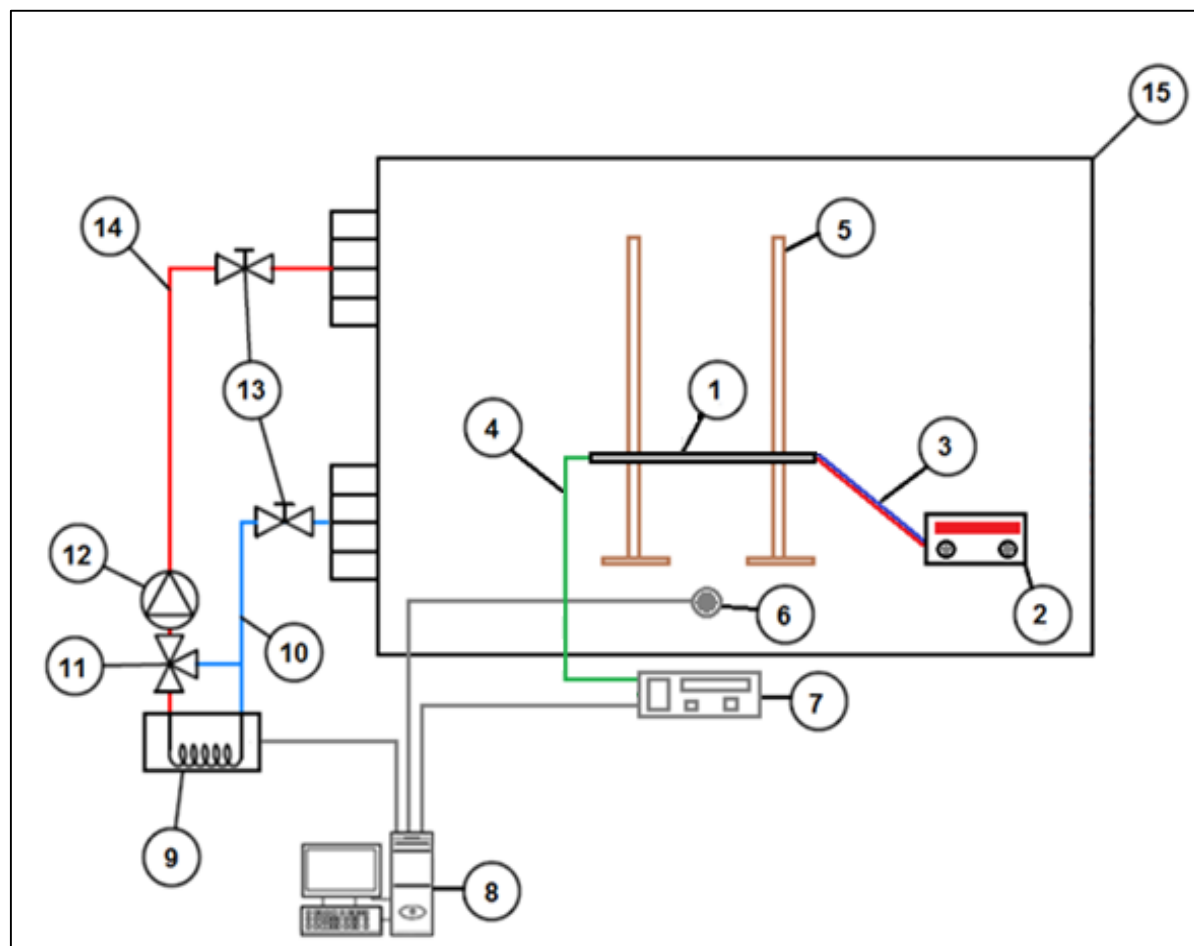


Schéma experimentálneho zariadenia



- 1) Výchrevné patróny
- 2) Zdroj elektrického napätia a prúdu
- 3) Napájacie káble
- 4) Napájacie káble pre termočlánky
- 5) Stojan pre upevnenie patrónov
- 6) Teplomer PT 100
- 7) Meracia ústredňa
- 8) PC
- 9) Zdroj chladu
- 10) Vratná potrubie
- 11) Trojcestný ventil
- 12) Čerpadlo
- 13) Uzatváracie ventily
- 14) Prívodné potrubie
- 15) Termostatická komora

Ďakujem Vám za pozornosť

PodĎakovanie

*Príspevok bol spracovaný v rámci projektu s názvom
„Rozvoj spolupráce medzi VEC a KET so zameraním na odborný
rast doktorandov a výskumných pracovníkov“*

ITMS 22410320106

