
NUMERICKE MODELOVANIE PASÍVNEHO STROPNÉHO CHLADIACEHO KONVEKTORA NUMERICAL MODELING OF PASSIVE ROOF COOLING CONVECTORS

LENHARD Richard, JANDAČKA Jozef

Žilinská Univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Výpočtové metódy založené na metódach konečných objemov (CFD metóda) sa ukazujú ako veľmi vhodné pri optimalizácii (účinnosti) stropných chladiacich konvektorov.

V príspevku je uvedený matematický model pasívneho stropného chladiaceho konvektora kde je popísaný jeho postup. Následne boli urobené CFD simulácie daného zariadenia a tie boli porovnávané s matematickým modelom a s reálne nameranými hodnotami skutočného zariadenia.

1. Úvod

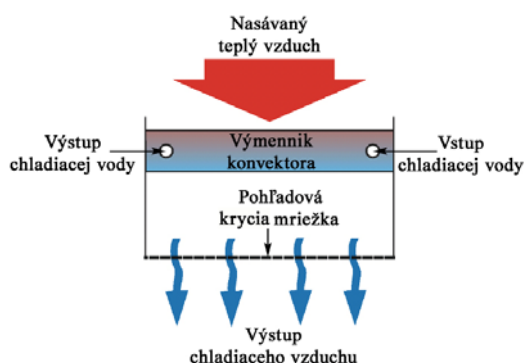
Pasívne stropné konvektory pre chladenie, sa vyznačujú tým, že nevyužívajú ku chladeniu aktívne zariadenie pre prívod vzduchu, na rozdiel od aktívnych stropných konvektorov. Z toho dôvodu sú pasívne stropné konvektory pre chladenie (obr.1.0) charakteristické tzv. „tichým chladením“. Nevytvárajú veľké sekundárne priestorové prúdenie.



Obr.1.0 Pasívny stropný chladiaci konvektor

1.2 Princíp činnosti pasívneho chladiaceho konvektora

Pasívny chladiaci konvektor predstavuje vlastne rúrkový rebrovaný výmenník tepla. Ohriaty vzduch sa v hornej časti konvektora ochladí, na princípe prirodzenej konvekcie a samovoľne klesá dole. Tým konvektor zhora nasáva ďalší teplý vzduch k ochladeniu.



Obr.1.2 Princíp činnosti pasívneho chladiaceho konvektora

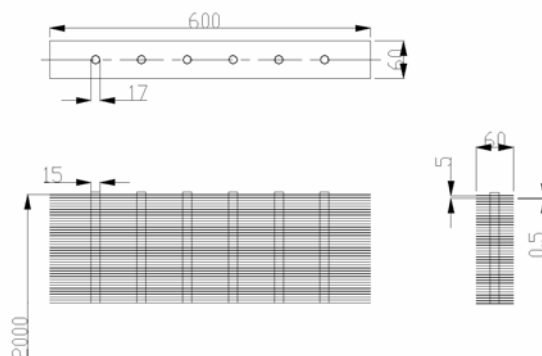
Chladiace konvektory sú spravidla napájané prívodnou vodou o teplote 16 až 20°C, čím je v prechodnom ročnom období možné sa zaobísť bez produkcie chladiacej vody pomocou chladiacich jednotiek a uskutočniť to len pomocou chladiacich veží. Ak sú chladiace konvektory namontované pod stropom, tak ich hmota pôsobí ako akumulátor chladu.

Pre projektovanie pasívnych chladiacich konvektorov je potrebné poznať ich chladiaci výkon, ktorý sa udáva pre teplotný spád chladiacej vody 16/19 °C, resp. 16/18 °C . Chladiaci výkon je však závislý okrem teplotného spádu i od teplotného spádu medzi strednou teplotou chladiacej vody a teplotou okolia

Skutočné geometrické rozmery:

d_1	vnútorný priemer rúrky	15	[mm]
d_2	vonkajší priemer rúrky	17	[mm]
s_r	rozstup rebier	5,5	[mm]
h_r	výška rebier	60	[mm]
σ_r	hrúbka rebier	0,5	[mm]
L_k	dĺžka konvektora	2000	[mm]
B	šírka konvektora	600	[mm]

Tab. 1.0



Obr.1.3 geometria konvektora

2. Matematické modelovanie a simulácie pomocou kryteriálnych rovníc

Všetky matematické simulácie boli prevádzané podľa vytvoreného modelu v programe Excel iteračnou metódou.

- Parametre konvektora: šírka, dĺžka, vnútorný priemer rúrky, vonkajší priemer rúrky, výška rebier, hrúbka rebier, rozstup rebier;
- Určenie tepelného toku výmenníka: Q
- Voľba druhu chladiaceho média: ochladzovaný vzduch o teplote 26°C, prírodná voda o teplote 16 °C
- Určenie stredného logaritmického teplotného rozdielu
- Zistenie fyzikálnych vlastností tekutín: ρ , c , ν , λ ,
- Umiestnenie prúdu vo výmenníku a voľba rýchlosti:
- Stanovenie súčiniteľa prestupu tepla: α
- Výpočet potrebnej výmennej plochy výmenníka: plochy rebier a rúrky
- Výpočet súčiniteľa prechodu tepla: k

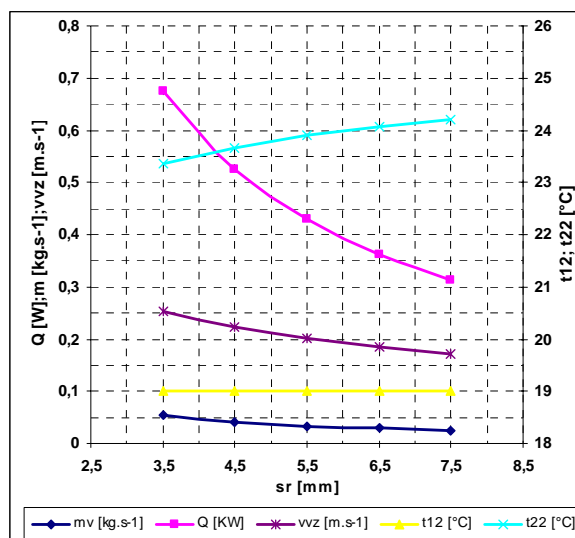
2.1. Matematické simulácie

V matematických simuláciách sa menili len geometrické rozmery pasívneho stropného chladiaceho konvektora a to rozstup rebier, priemer rúrky za stálych vstupných podmienok $t_{11}=16^{\circ}\text{C}$, $t_{21}=26^{\circ}\text{C}$ pri zmene hmotnostného toku vody, kým sa nedosiahol požadovaný teplotný spád 16/19°C, aby sa zistil maximálny výkon.

A. Simulácia so zmenou parametra rozstupu rebier s_r :

s_r [mm]	m_v [kg.s ⁻¹]	Q [KW]	t_{12} [°C]	t_{22} [°C]	v_{vz} [m.s ⁻¹]
3,5	0,053	0,675	19,004	23,36	0,253
4,5	0,041	0,525	19,003	23,673	0,223
5,5	0,033	0,429	19,004	23,897	0,202
6,5	0,028	0,362	19,006	24,067	0,185
7,5	0,025	0,314	19,009	24,202	0,172

tab. 2.1



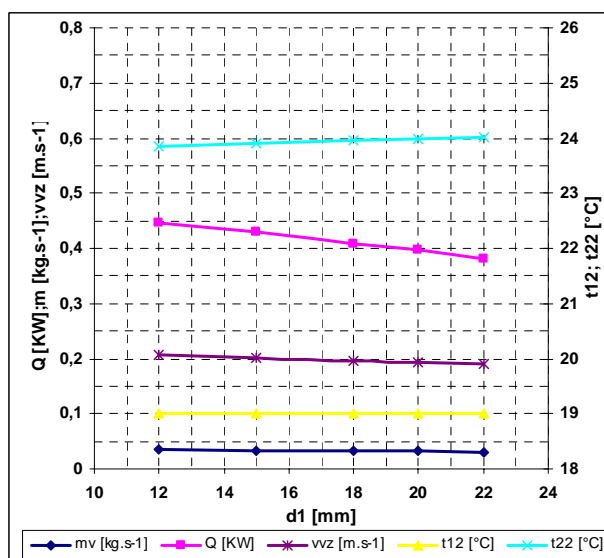
Graf 2.1

K ustáleniu na teplotný spád 16/19°C pri zmene rozstupu rebier a zmene hmotnostného toku sa dosiahne maximálny výkon 675,505 W pri rozstupe 3,5 mm.

B. Simulácia so zmenou parametra priemeru rúrky d_1 :

d_1 [mm]	m_v [kg.s ⁻¹]	Q [KW]	t_{12} [°C]	t_{22} [°C]	v_{vz} [m.s ⁻¹]
12	0,035	0,448	19,02	23,853	0,206
15	0,034	0,429	19,004	23,897	0,202
18	0,032	0,409	19,007	23,946	0,197
20	0,031	0,396	18,996	23,979	0,194
22	0,030	0,382	19,003	24,015	0,190

tab. 2.2



Graf 2.2

K ustáleniu na teplotný spád 16/19°C pri zmene priemeru rúrky so zmenou hmotnostného toku sa dosiahne maximálny výkon 447,33 W pri použití rúrky o priemere 12 mm.

V simuláciách A a B boli menené (rozstup rebier, priemer rúrky), kde pre jednotlivé geometrické zmeny bol hľadaný teplotný spád 16/19°C získaný pomocou zmeny hmotnostného toku vody s cieľom nájsť čo najväčší výkon pre daný konvektor typu PDK.

Maximálny výkon 675,505 W sa dosiahol pri rozstupe rebier 3,5 mm a so zmenou priemeru rúrky na 12 mm pri pôvodných geometrických podmienkach sa dosiahol výkon 447,33 W. Je možné konštatovať že zmenou rozstupu rebier sa dosiahne lepšia optimalizácia pasívneho stropného chladiaceho konvektora

3. CFD simulácie

Modelovanie prúdenia v pasívnom stropnom chladiacom konvektore bolo urobené v programe Fluent a Gambit v ktorých sa určili okrajové podmienky, ktoré sú prvotným predpokladom pre správny výpočet. Výsledky sa overovali už v spomínanom matematickom modeli.

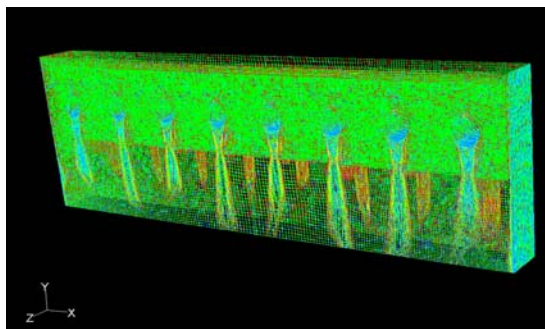
3.1. CFD model model pasívneho stropného chladiaceho konvektora (s krytom)

Na obrázku 3.0 je vytvorený 5 rebrový CFD – model pasívneho stropného chladiaceho konvektora (s krytom) na ktorom boli robene simulácie a výsledky z tohto modelu boli porovnávané s matematickým modelom – stať 2.

Vstupné parametre:

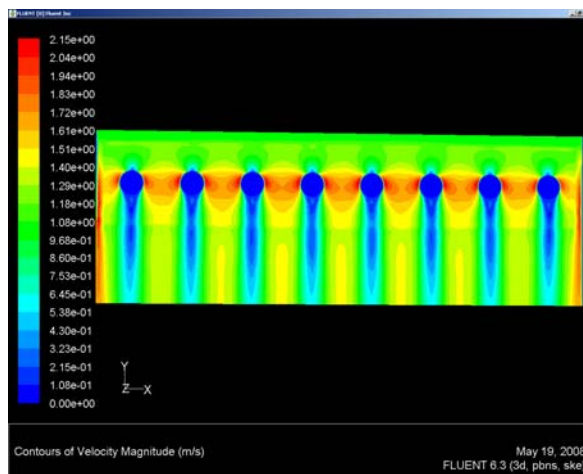
Za vstupné parametre sa brali reálne geometrické rozmery zariadenia, až na jeho dĺžku s ohľadom na výkon použitého počítača, kde pri 5 rebrovom modeli je počet prvkov cez 1,7 milióna. Celý model bez priestoru by mal cca 100 miliónov prvkov čoby vzhľadom na výkon použitého počítača nebolo možné riešiť.

- Turbulentný model dvojrovnícový: $k - \epsilon$;
- Vstup: velocity - inlet;
- Výstup: pressure - outlet;
- Hliníkové rebro: solid;
- Voda v rúrkach: wall ktorej sa zadala aj teplota;
- Medené rúrky konvektora: hrúbka steny a prestup tepla;
- Vo výpočte sa uvažuje s gravitačným zrýchlením $9,81 \text{ m.s}^{-1}$.

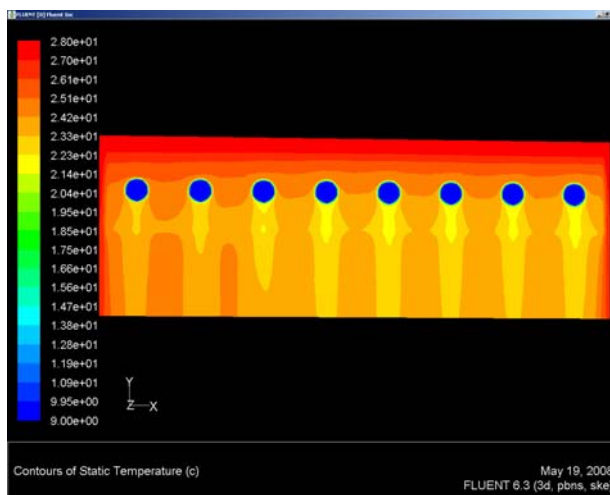


Obr. 3.0 CFD – model pasívneho stropného chladiaceho konvektora typu PDK

Na obrázku 3.1 a 3.2 je CFD – model (s krytom) už v reze. Výpočet bol riešený metódou konečných objemov: priestor, cez ktorý prúdi tekutina, je rozdelený na konečný počet malých objemov. Pre každý objem je počítaný transport hmoty, hybnosti a energie, kde je možné vidieť rýchlosť prúdenia vzduchu, ktorý sa pohyboval okolo $0,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 3.1 CFD – model pasívneho stropného chladiaceho konvektora typu PDK, rýchlostný profil.



Obr. 3.2 CFD – model pasívneho stropného chladiaceho konvektora typu PDK, teplotný profil.

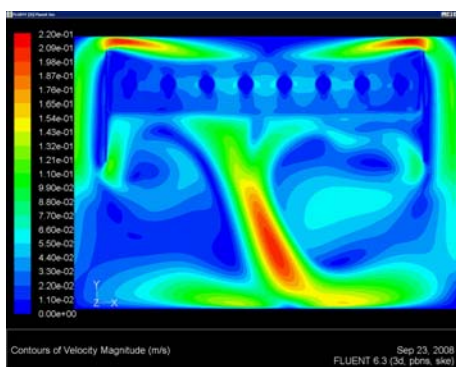
3.2. CFD model pasívneho stropného chladiaceho konvektora (s krytom) v priestore

Vstupné parametre:

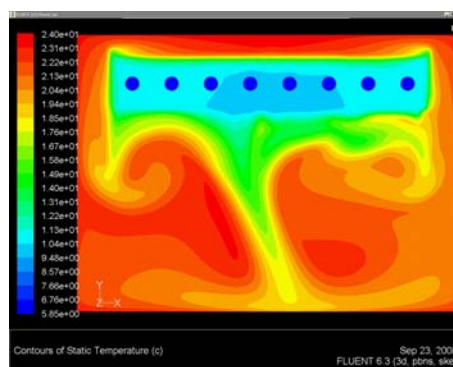
Za vstupné parametre sa brali reálne geometrické rozmery zariadenia, až na jeho dĺžku s ohľadom na výkon použitého počítača, kde pri 5 rebrovom modeli je počet prvkov 3,5 milióna (1000 krokov výpočtu – 24 hodín). Celý model by mal cca 200 miliónov prvkov čoby vzhľadom na výkon použitého počítača nebolo možné riešiť.

- Turbulentný model dvojrovnícový $k - \varepsilon - \text{RNG}$ – kvôli eliminácii malých vírov;
- Vstup a výstup do konvektora je uvádzaný ako interior;
- Hliníkové rebro: solid;
- Voda v rúrkach: wall ktorej sa zadala aj teplota;
- Medené rúrky konvektora: hrúbka steny a prechod tepla;
- Na steny miestnosti sa zadala hrúbka a teplota steny aby nedochádzalo k unikaniu teplota do okolia – (adiabatická stena)
- Vo výpočte sa uvažuje s gravitačným zrýchlením $9,81 \text{ m.s}^{-1}$.

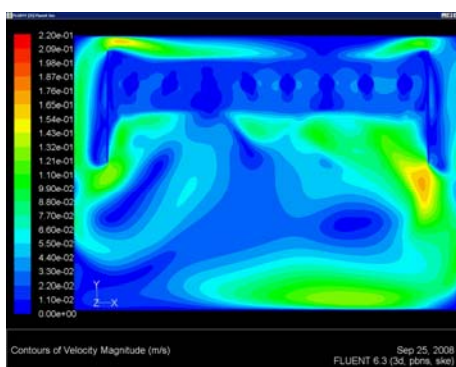
Na obrázkoch 3.3 až 3.18 je zobrazený rez CFD – modelom s krytom a pridaným objemom v určitých krokoch výpočtu kde je možné sledovať prúdenie vzduchu kde to u modelu len s krytom bez priestoru nebolo možné. Výsledkom riešenia je rýchlostné a teplotné pole.



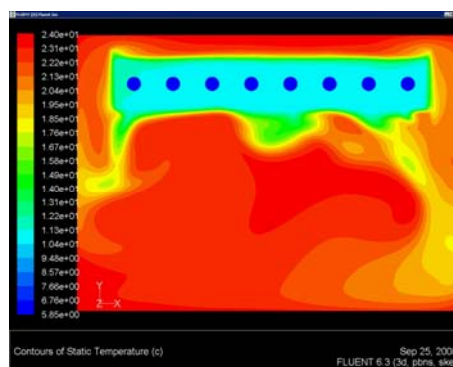
Obr. 3.3 CFD – model po 12100 iterácii



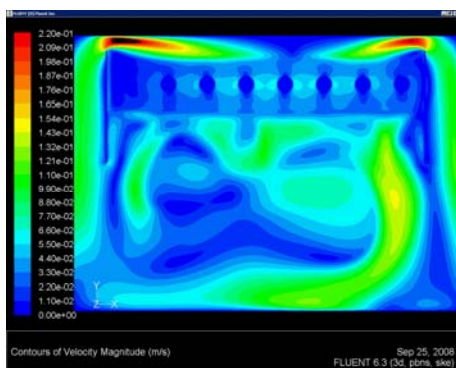
Obr. 3.4 CFD – model po 12100 iterácii



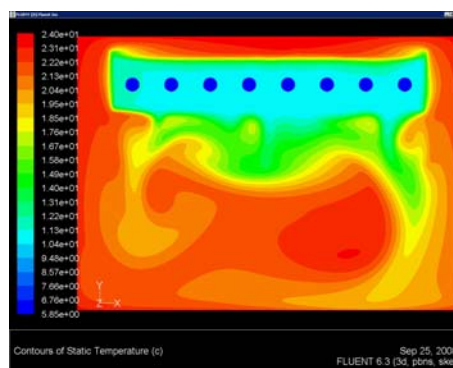
Obr. 3.5 CFD – model po 15100 iterácii



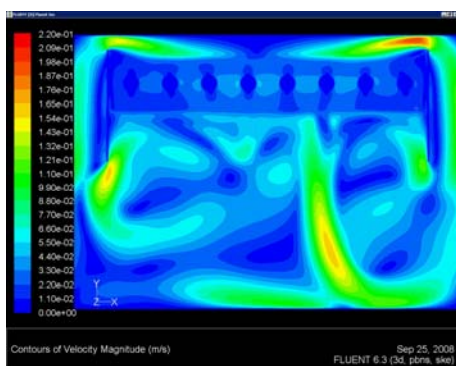
Obr. 3.6 CFD – model po 15100 iterácii



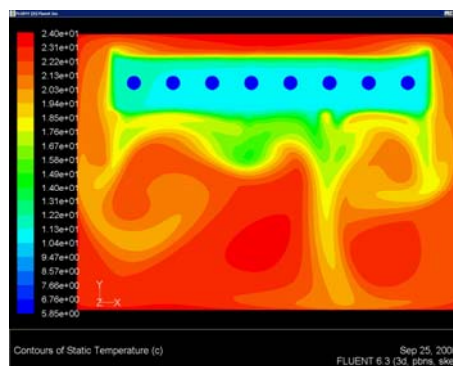
Obr. 3.7 CFD – model po 16600 iterácii



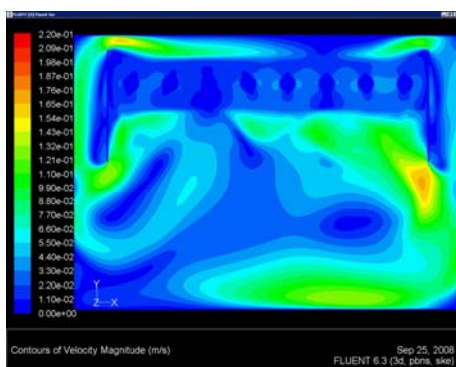
Obr. 3.8 CFD – model po 16600 iterácii



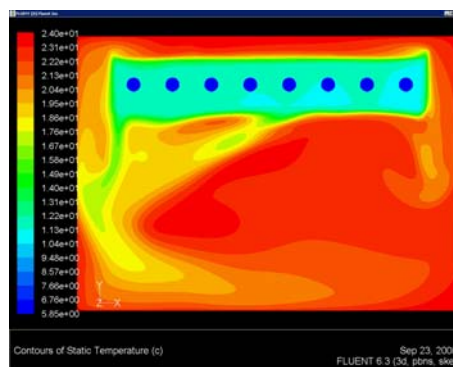
Obr. 3.9 CFD – model po 18500 iterácii



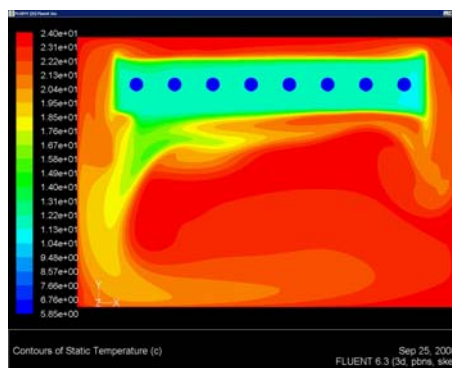
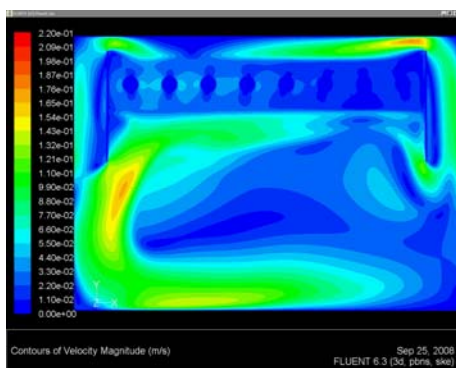
Obr. 3.10 CFD – model po 18500 iterácii



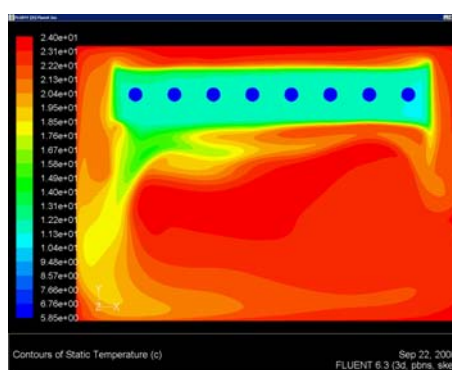
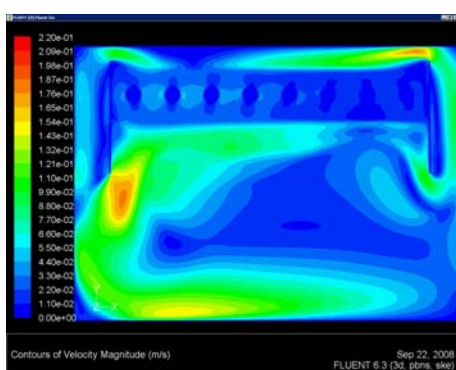
Obr. 3.11 CFD – model po 25500 iterácii



Obr. 3.12 CFD – model po 25500 iterácii



Obr. 3.13 CFD – model po 31500 iterácii Obr. 3.14 CFD – model po 31500 iterácii



Obr. 3.15 CFD – model po 50100 iterácii Obr. 3.16 CFD – model po 50100 iterácii

Na obrázkoch 3.13 až 3.16 je vidieť že už nedochádza k väčším zmenám pohybu prúdenia na základe tohto výsledku je možné konštatovať, že daný model je ustálený a môžeme ho považovať za dopočítaný.

4. Vyhodnotenie výsledkov

Porovnanie skutočného zariadenia s modelom vytvoreným v programe Excel na základe pôvodných geometrických rozmerov aby sa zistila správnosť daného matematického modelu. V tab.3.1 sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty pre porovnanie správnosti.

Pre overenie výsledkov z matematického modelu je potrebné urobiť aj numerickú simuláciu, či dané výsledky sú v zhode, a je možné tento matematický model považovať za správny. Získané hodnoty pre porovnanie sú uvedené v tab.3.2.

Typ modelu	\dot{m}_v [kg.s ⁻¹]	Q [kW]	t ₁₁ [°C]	t ₁₂ [°C]	t ₂₁ [°C]	t ₂₂ [°C]	\dot{m}_{vz} [kg.s ⁻¹]
Fluent	0	0,0191	9	9	28	27	0,018
Fluent/Excel	0,0044	0,0193	9	10,044	28	26,865	0,017

tab.3.1

Typ modelu	\dot{m}_v [kg.s ⁻¹]	Q [kW]	t ₁₁ [°C]	t ₁₂ [°C]	t ₂₁ [°C]	t ₂₂ [°C]	\dot{m}_{vz} [kg.s ⁻¹]
Skutočný	0,037	0,3675	16	18,1	25,1	24	0,5-2,2
Skut./Excel	0,036	0,3676	16	18,44	25	23,99	0,361

tab.3.2

Záver

Pomocou simulácií bol určený výkon pasívneho chladiaceho stropného konvektora, a na základe získaných výsledkov možno urobiť optimalizáciu týchto zariadení aby sa dosiahlo zvýšenie výkonu.

Porovnaním výsledkov z modelov vyplýva, že uvedené kritériálne rovnice je možné použiť pri modelovaní týchto typov konvektorov.

Literatúra

- [1] LENHARD, R., KAPJOR, A.: *Simulation of convective heat transfer by passive roof cooling convectors*. Published by University of žilina, Transcom 2007, ISBN 978-80-8070-696-8
- [2] LENHARD, R., JANDAČKA, J., ČAJA, A.: *Matematické simulácie pri zmene geometrických rozmerov u pasívneho stropného chladiaceho konvektora*. XVI. Medzinárodná vedecká konferenci - Aplikácia experimentálných a numerických metód v mechanike tekutín. Žilina 2008, ISBN 978-80-8070-826-9
- [3] MALCHO, M., JANDAČKA, J., MIKULÍK, M., HORVÁTH, Z., KAPJOR, A., PAPUČÍK, Š.: *Pasívne chladiace konvektory a ich meranie*. In. *Vetranie a klimatizácia*, Štrbské Pleso 2006., ISBN 80-89216-07-2
- [4] JANDAČKA, J., MALCHO, M. A KOL.: *Meranie a vyhodnotenie chladiacich výkonov pasívnych chladiacich konvektorov*. Žilina 2006

PodĎakovanie

Článok bol spracovaný v rámci úlohy grantovou agentúrou K -08-011-00 „Alternatívne palivá pre energetiku a dopravu.