

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky

**VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY TEPELNÉHO
VÝMĚNÍKU PŘI MODIFIKOVANÝCH
VARIANTÁCH PRŮTOKU VZDUCHU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Lukáš Pešán

Studijní obor: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Jan Kolínský

Praha 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janu Kolínskému za odborné vedení, cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro: **p. Lukáše PEŠÁNA**

program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

obor: **bez oboru**


název česky: **Výkonové charakteristiky tepelného výměníku při modifikovaných variantách průtoku vzduchu**

název anglicky: **Heat Exchanger Power Performance at Modified Airflow Arrangement**

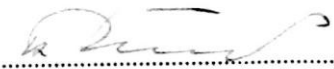
Zásady pro vypracování:

- 1) Upravte experimentální trať pro měření modifikovaných situací omezujících tok vzduchu volenými částmi výměníku.
- 2) Proved'te měření výkonu výměníku v závislosti na průtoku vzduchu a vody při jednotlivých variantách uspořádání.
- 3) Výsledky měření jednotlivých variant zpracujte, porovnejte a kriticky zhodnot'te.
Rozsah průvodní zprávy: **přibližně 30 stran**

Rozsah průvodní zprávy: přibližně 30 stran
Rozsah grafických prací:
Seznam doporučené literatury: dle průběžných konzultací s vedoucím bakalářské práce.
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Kolínský
Konzultant bakalářské práce: -
Datum zadání bakalářské práce: 30. 4. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce: 19. 6. 2015


.....
Prof. Ing. Jiří Nožička, CSc.
Vedoucí Ú 12112




.....
Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
Děkan fakulty

V Praze dne 30. 4. 2015

Abstrakt

Práce se zabývá vlivem zakrytí teplosměnné plochy tepelného výměníku na výkonovou charakteristiku. Z provedeného experimentu je získáno šest těchto charakteristik. Ty jsou vyhodnoceny a porovnáním je zjištěn závěr v podobě vyššího vlivu vertikálního zakrytí na výkon tepelného výměníku.

Klíčová slova

tepelný výměník, výkon, teplota, sdílení tepla, zakrytí, snížený průtok

Abstract

This bachelor thesis deals with the impact of modified airflow arrangement of heat exchanger on its power performance. The results obtained from the experimental data conclude, that vertical plug has greater impact on the power performance than the horizontal one.

Keywords

heat exchanger, power, temperature, heat transfer, plug, reduced airflow

Obsah

1	Použité značky veličin a jednotek	9
2	Úvod	10
3	Měření teploty	11
3.1	Teplotní stupnice.....	11
3.1.1	Fahrenheitova stupnice	11
3.1.2	Celsiova stupnice	11
3.1.3	Termodynamická teplota (Kelvinova stupnice)	12
3.1.4	ITS-90.....	12
3.2	Metody měření teplot.....	12
3.3	Snímače teploty pracující na elektrickém principu.....	13
3.3.1	Odporové snímače	13
3.3.2	Termočlánky.....	14
3.3.3	PN články	17
3.3.4	Termistory	17
3.3.5	Bezdotykové měření teploty (pyrometry).....	18
4	Chladicí soustava vozu	21
5	Tepelné výměníky	21
6	Experiment	23
6.1	Formulace problému	23
6.2	Část vzduchová	23
6.3	Část vodní	24
6.4	Výměník.....	25
6.5	Měření.....	27
6.5.1	Odečítané veličiny:	27
6.5.2	Nastavované veličiny:.....	27
6.5.3	Počítané veličiny	27
6.5.4	Průběh měření.....	27
6.5.5	Vyhodnocení.....	28
7	Výsledky.....	29
7.1	Nezakrytý výměník.....	29
7.2	Horizontálně dole zakrytý výměník.....	31
7.3	Horizontálně nahoře zakrytý výměník.....	33
7.4	Horizontálně uprostřed zakrytý výměník.....	35
7.5	Vertikálně zprava zakrytý výměník	37
7.6	Vertikálně zleva zakrytý výměník	39

7.7	Vertikálně uprostřed zakrytý výměník	41
8	Diskuze a interpretace výsledků	43
9	Závěr	45
10	Prameny	46

1 Použité značky veličin a jednotek

<i>Značka</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Veličina</i>
E.....	(1)	emitované záření
R	(1)	odražené záření
ϵ	(1)	emisivita
T.....	(K).....	termodynamická teplota
σ	($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$).....	Stefan-Boltzmanova konstanta
R_1	(Ω).....	odpor termistoru při teplotě T_1
R_0 '.....	(Ω).....	odpor termistoru při teplotě T_0
B.....	(K).....	teplotní konstanta
a_a, a_b	($\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$)	Seebeckovy konstanty
R_0	(Ω).....	odpor při teplotě 0°C
α	(K^{-1})	teplotní součinitel při změně o 1°C
Δt	(K).....	změna teploty
\dot{Q}	(J/s)	tepelný tok
c	($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).....	tepelná kapacita
λ_{max}	(m)	vlnová délka, při níž je hodnota spektrální hustoty zářivého toku při dané teplotě zářiče maximální
<i>Značka</i>	<i>Jednotka</i>	
V	volt	
W	watt	
Ω	ohm	
m.....	metr	

2 Úvod

Při práci spalovacích automobilových motorů, či jiných tepelných strojů se mimo využitelnou mechanickou práci, uvolňuje tepelná energie. Takto disipovaná energie tvoří v mnoha případech většinu energie původně uzavřené v palivu (u benzinových motorů cca 60%). Velká část z této energie se nedá žádným rozumným způsobem využít a tak, abychom zachovali příznivé provozní podmínky chodu motoru, musí být odvedena. V případě automobilových motorů je přibližně polovina odvedena spalinami o tu není potřeba se o ní starat, ovšem zbylá energie se hromadí ve stěnách motoru, motorovém bloku a dále motorovém prostoru. Na to, abychom se tohoto tepla dokázali účinně zbavit, musí být do motoru implementován chladicí okruh schopný do sebe absorbovat nejvyšší možné množství zbytkového tepla, které může motor vyprodukovat a zároveň tepelný výměník schopný toto teplo předat dále do okolí.

Motory jsou takovými soustavami vybaveny, jsou konstruovány, aby byly schopny uchládit i nejnepříznivější jízdní režimy, které mohou nastat. Ovšem mimo jízdních režimů, je třeba počítat i se stavy kdy dojde k fyzické změně chladicí soustavy. Jedna z největších hrozeb chladicího systému je snížení průtoku, a to jak chladicí kapaliny, tak vzduchu.

Tato práce se zabývá zjištěním vlivu zakrytí chladicího výměníku na jeho výkonové charakteristiky. Pro tyto účely byl sestaven experiment, během něhož byly tyto stavy simulovány.

V provedeném experimentu byla stěžejní činnost měření teploty. Pro správný a kvalitní výsledek bylo důležité měřit jednotlivé teploty s vysokou přesností a kvalitním rychlým odečtem. Proto jsem se rozhodl první část věnovat měřícím teplotním aparátům, jejich vlastnostem a vhodnosti jejich použití, která pomůže zorientovat se v oblasti měření teplot.

3 Měření teploty

Na úvod je třeba definovat, co je to teplota a k čemu nám informace o její hodnotě slouží. *Teplota je mírou kinetické energie neuspořádaného pohybu částic látky za stavu termodynamické rovnováhy (u ideálního plynu je přímo úměrná celkové energii).* [1]

Její znalost je jedním ze základních cílů technické měřicí praxe. Pomocí teploty je možné na základě znalosti teplotních závislostí určit jiné závislé veličiny, např. objem, tlak. Na teplotu je třeba také myslet při konstrukci, neboť s rozdílnou teplotou se mění veličiny ovlivňující pevnost materiálu, vodivost, ale také magnetické a polarizační vlastnosti aj. A v neposlední řadě hraje důležitou roli ve výrobě a jakosti jako indikátor stavu výrobků, částí strojů a zařízení. Pomocí monitorování tohoto parametru je možné zvýšit produktivitu a kvalitu výrobků. [2] Toto všechno jsou jenom důsledky samotné podstaty změny teploty a to jak bylo zmíněné výše, změny kinetické energie částic. To je změna natolik zásadní, že ovlivňuje chování dané látky ve všech ohledech.

Aby měl výstup měření vypovídající a porovnatelnou hodnotu, je třeba výstup unifikovat. To se děje pomocí mezinárodně platných teplotních stupnic.

3.1 Teplotní stupnice

Měření teploty nemá tak dlouhou historii jako měření délky, hmotnosti nebo času. Proto i teplotní stupnice prošly relativně krátkým vývojem a v dnešní době se používají obecně tři. [3]

3.1.1 Fahrenheitova stupnice

O stanovení všeobecné teplotní stupnice se jako první zasloužil D. G. Fahrenheit. Vyráběl teploměry, které od roku 1714 plnil lihem. Teplotní stupnici založil na třech teplotách. Za základní bod použil teplotu chladicí směsi ledu a salmiaku. Domníval se, že to je nejnižší možná teplota (žil v Holandsku) a označil ji nulou. Jako druhou zvolil teplotu tání ledu a označil ji číslem čtyři. Třetím bodem byla teplota zdravého lidského těla, označená číslem dvanáct. Od roku 1720 plnil teploměry rtutí. Poněvadž dosavadní díly se mu zdály velké, rozdělil každý na osm částí, které nazval stupně, takže teplota tání ledu má na jeho stupnici hodnotu 32 stupňů (značka °F), teplota zdravého lidského těla je 96 °F a teplota varu vody je 212 °F. Teploměry vyráběné Fahrenheitem se rychle rozšířily a stupnice označená jeho jménem se dodnes používá v Anglii a v USA. [4]

3.1.2 Celsiova stupnice

V Anglosaském světě také označovaná jako „stostupňová“ (centigrade). Je založena na desítkové soustavě a dvou hlavních bodech, a to tání resp. varu vody jím odpovídající hodnoty 0 resp. 100. Byla zavedena v roce 1742 švédským astronomem Andersem Celsiem. Užívá se

v zemích kde je zaveden metrický systém a také ve vědeckých aplikacích. Přepočíst na Fahrenheitovy stupně lze pomocí vzorce [5]

$$[C] = \frac{5}{9}([F] - 32) \quad (1.1)$$

3.1.3 Termodynamická teplota (Kelvinova stupnice)

Kelvinova stupnice je stupnice, jejíž jednotkou je Kelvin [K], ten je zároveň jednou ze sedmi základních jednotek SI. Relativní velikost Kelvina je stejná jako stupeň Celsia, rozdíl dvou teplot je tedy stejný v obou dvou stupnicích, liší se ovšem počátek stupnic.

Stupnice Kelvinova je definována dvěma teplotami a to 0 K, odpovídající absolutní nule a 273,16 K, což je teplota trojného bodu vody tedy 0,01 °C.

3.1.4 ITS-90

Jedná se o mezinárodní teplotní stupnici ustanovenou Mezinárodním výborem pro míry a váhy v roce 1990. Kalibrační standard, v němž jsou zaneseny vybrané rovnovážné termodynamické stavy a jím odpovídající hodnoty Kelvina resp. stupňů Celsia. [6] Stupnice je definována od 0,65K do nejvyšších v praxi měřitelných v podmínkách Planckova zákona při monochromatické radiaci. [7]

3.2 Metody měření teplot

Pro správné a přesné výsledky měření je třeba zvolit vhodnou měřící metodu. V případě teploty je možné zvolit z mnoha druhů měřících čidel, pracujících na rozdílných principech zjišťování této fyzikální veličiny. Hlavní role při jejich výběru hrají citlivost čidla, finanční náročnost a také zdali se jedná o měření teploty relativní nebo absolutní.

Dle fyzikálního principu měření lze teploměry rozdělit:

1. Dilatační
2. Tlakové
3. Elektrické

První dvě skupiny teploměrů nejsou pro laboratorní měření příliš zajímavé, užití mají spíše v domácnostech, zdravotnictví nebo jako venkovní teploměry, případně v laboratořích jako marginální ukazatel přibližné hodnoty. Patří mezi ně např. bimetalické teploty pracující na principu teplotní roztažnosti dvou kovů, které se deformují, a tato deformace je převáděna na

ciferník. Nebo teploměry kapalinové (rtuť, líh) případně teploměry plynové, kde je měřena změna tlaku plynu uzavřeného v baňce.

3.3 Snímače teploty pracující na elektrickém principu

Jedná se o snímače využívající měnící se elektrické veličiny v závislosti na změně teploty. Jsou jimi:

1. Odporové
2. Termočlánky
3. PN snímače

3.3.1 Odporové snímače

Princip

Odporové teplotní snímače jsou založeny na principu změny elektrického odporu při změně teploty. Snímá se úbytek napětí při konstantním proudu. Odpor se poté vypočítává z Ohmova zákona.

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.2)$$

Závislost teploty a odporu se dá vyjádřit pomocí vztahu.

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t) \quad (1.3)$$

Je třeba vzít potaz, že samotný snímač se průtokem proudu ohřívá a také že přívodní kabely mají svůj odpor a navíc i tepelnou závislost. Zapojení je nejčastěji v podobě Wheastnova můstku, který alespoň částečně eliminuje vliv přívodů.

Materiál

Ideálním materiálem pro odporový snímač je materiál s co největším odporem (čímž se snižuje procházející proud) a nejvyšším součinitelem α (zaručuje vysokou citlivost). Běžně a nejčastěji se využívá platina. Je vhodná především díky stabilitě a odolnosti proti působení vnějších vlivů, je ale také velmi drahá. Proto se také často volí levnější materiály jako je nikl nebo měď. Nikl má na rozdíl od platiny dvojnásobnou citlivost nicméně kvůli své nestabilitě a z ní vyplývající malé přesnosti se nehodí na přesná měření. Nalézt ho tak můžeme např. v teplotních regulátorech domácího topení. Měď je vhodná pro velmi nepřesná měření, např. teplota oleje elektrických strojů.

Zhotovení

Kovová odporová čidla mohou být zhotovena ze stočeného drátku, přizpůsobeného do keramického pouzdra, nebo drátku navinutého na tělísko z keramiky, slídy nebo také často skla. Případně mají formu kovové vrstvy napařené na keramické podložce. [8]

Značení

Odporová čidla jsou značena ve formátu XXYYYY, kde XX je materiál, ze kterého je čidlo zhotoveno a YYY je odpor, který má při teplotě 0°C pro nikl a platinu nebo při 25°C pro měď. Nejběžněji se vyskytujícím odporovým čidlem je platinový Pt100 pracující v intervalu teplot - 200°C až 850°C [9]

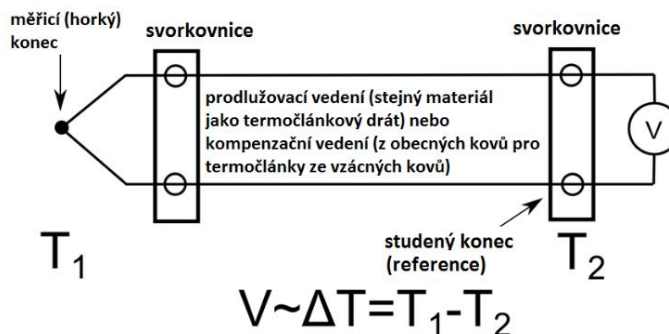
Prvek	α [$10^{-3}/K$]	ρ [$\Omega \cdot m$]
Pt	3,92	$9,81 \cdot 10^{-8}$
Ni	6,17	$12,13 \cdot 10^{-8}$
Cu	3,9	$1,54 \cdot 10^{-8}$

Tabulka 1

3.3.2 Termočlánky

Princip

Termočlánky využívají Seebeckova termoelektrického jevu. Seebeckův jev je *přeměna teplotních rozdílů přímo na elektrické napětí*. [10]. Pokud spojíme dva vodiče z rozdílných materiálů a zároveň teplota na obou rozhraní není stejná, poté protéká obvodem proud. V termočláncu měříme elektromotorické napětí na volných koncích tohoto rozpojeného obvodu jak je vidět na Obr. 3.1



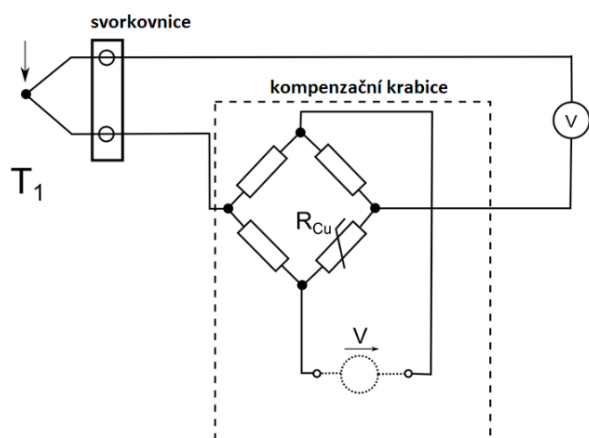
Obr. 3.1 [21]

Vztah pro elektromotorické napětí V je experimentálně zjištěný. [11]

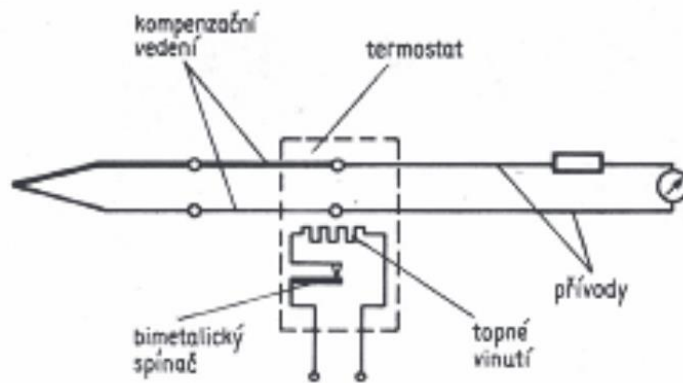
$$V = (a_a - a_b)(T_2 - T_1) + 0,5(b_a - b_b)(T_2 - T_1)^2 \quad (1.4)$$

Pro přesné měření je důležité udržet teplotu na srovnávacím konci konstantní. To se provádí různými způsoby [12]:

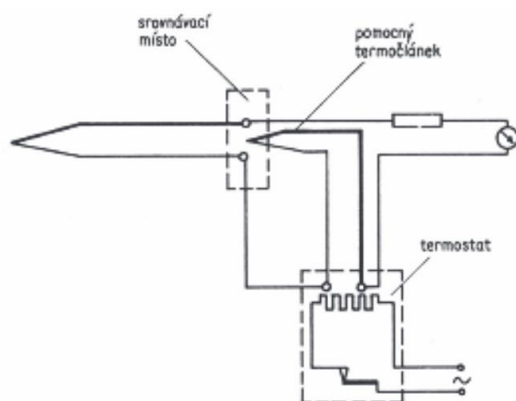
1. Dewarovými nádobami obsahující směs ledu a vody o teplotě 0°C – použitelné v laboratoři, ne v provozu
2. Termostatem, který ohřívá volné konce na konstantní teplotu -nejčastěji 50°C
3. Pomocným termočlánkem měřícím kolísající teplotu srovnávacích konců, ten je v sériovém zapojení a tak se tyto výkyvy kompenzují
4. Kompenzační krabice, ve které je zapojení termistoru do můstku



Obr. 3.3 Zapojení kompenzační krabice [12]



Obr. 3.4 Zapojení s kompenzačním termočlánkem v sérii [12]



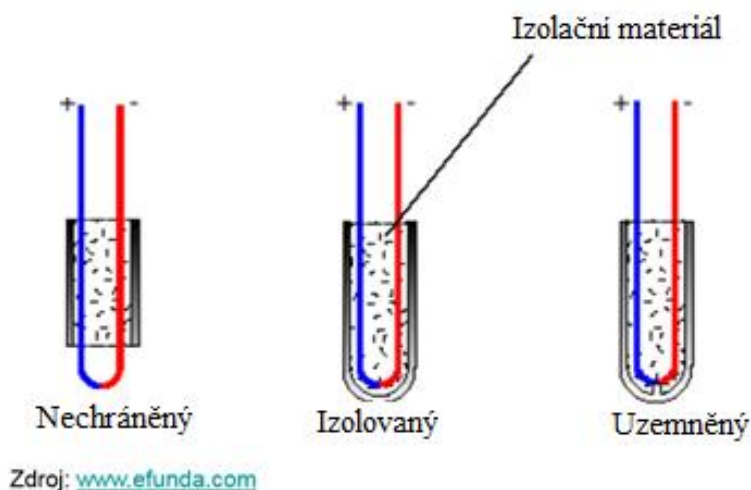
Obr. 3.2 Zapojení s topnou kompenzací [12]

Materiál

Nejběžněji se vyskytující termočlánky bývají z dvojice Fe + CuNi nebo NiCr+ NiAl. Tyto termočlánky pracují v rozsahu cca -250°C až 1250°C, s citlivostí 52 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, resp 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. [7]

Zhotovení

Termočlánky se vyrábějí v různých tvarech, respektive jejich zakončení. To může být bodové, plošné, kombinované aj. Důležitá vlastnost je plášť termočlánku, ten bývá kovový a je tedy vodivě propojen s vodiči, tedy termočlánek je uzemněný, nebo je vyplněn keramickou izolační vrstvou, v ten moment se jedná o termočlánek neuzemněný, který není náchylný na rušení, na druhou stranu jeho odezva je pomalejší. Kovový plášť může na konci úplně chybět potom je článek nechráněný a předpokládá se u něj nejrychlejší odezva, vzhledem k prostupu tepla pláštěm. Jednotlivá provedení jsou patrná z Obr. 3.5. [11]



Obr. 3.5 Provedení termočlánků

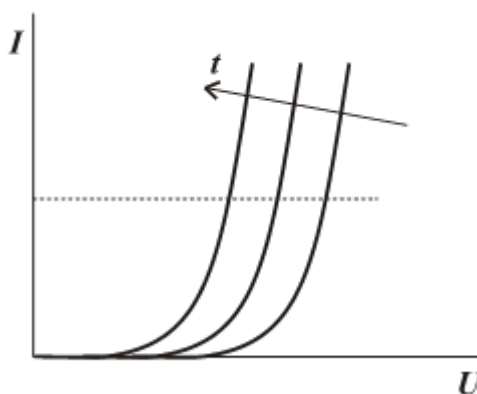
Značení

Termočlánky se značí písmeny (J,K,T,E...) a také barvou. Dle tohoto označení je možné v podkladech výrobce dohledat materiál, ze kterého jsou vodiče zhotoveny, pro jaký rozsah je termočlánek určen a také jeho napět'ově-teplotní charakteristiku.

3.3.3 PN články

Princip

Principem polovodičových PN snímačů je teplotní závislost napětí PN přechodu v propustném směru. Mohou být ve formě diody nebo tranzistoru, u kterého se používá přechodu báze - emitor. [8] Jak se mění I-U charakteristika v závislosti na teplotě je patrné z Obr. 3.6.



Obr. 3.6 Charakteristika I-U v propustném směru [8]

Výhodou těchto čidel je cena, která je podstatně nižší v porovnání s termočládky, takže často slouží jako levnější náhrada. Průběh odporu v závislosti na teplotě je bezmála lineární, při zachování vysoké citlivosti. Nevýhodou je malý rozsah cca -55°C až 150°C, větší velikost a delší časová konstanta. [7]

Materiál

Dominuje křemík s příměsí vytvářející PN přechod, případně minoritně zastoupené jiné prvky.

3.3.4 Termistory

Princip

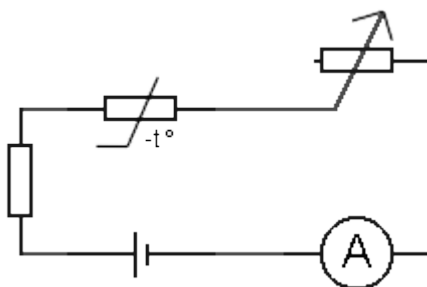
Dělí se na negistory (NTC) a pozistory (PTC), ty se však pro měření teplot takřka vůbec nepoužívají. Jsou to součástky s negativním teplotním koeficientem, tedy při zahřátí vykazují klesající odpor. [13]

Závislost odporu na teplotě je exponenciální a dá se vyjádřit dle rce. 1.5

$$R_1 = R_0' * e^{B * (\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0})} \quad (1.5)$$

Vzhledem k tomu, že teplotní koeficient je o řád vyšší než u kovů, hodí se negastor pro měření malých změn teploty, tomu přispívá i malá velikost čidla. Je třeba zmínit, že negastory jsou velmi náchylné na poškození vlivem přehřátí a také časově nestálé. [13]

Měření probíhá dle Obr. 3.7 Měření pomocí termistoru . Odpor reostatu se nastavuje tak, aby obvodem protékal stále stejný (malý) proud. Teplota se potom zjišťuje z velikosti odporu reostatu. [14]



Obr. 3.7 Měření pomocí termistoru [15]

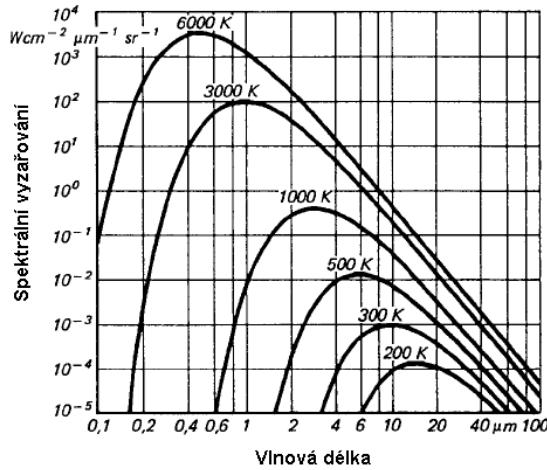
3.3.5 Bezdotykové měření teploty (pyrometry)

Princip

Jedná se o snímání teplotního, respektive elektromagnetického záření, které těleso vyzařuje.

Každé těleso, jehož teplota je vyšší než 0K vyzařuje elektromagnetické záření na určitých frekvencích a v určitém množství odpovídající jeho teplotě, to se nazývá charakteristické záření. V rámci elektromagnetického spektra pokrývá toto záření rozsah od 0,7 do 14 μ m. Oblast převážně za hranicí oku viditelnému červenému světlu, tedy oblast infračerveného záření.

Na diagramu jsou znázorněny jednotlivé křivky charakteristického vyzařování při různých teplotách, platící pro černé těleso.



Obr. 3.8 Vyzařování při různých T [2]

Z Obr. 3.8 je vidět jak se mění vyzářená energie s teplotou a zároveň posun maxima vyzářené vlnové délky směrem k nižším vlnovým délkám. Tyto závislosti jsou popsány Stefan-Boltzmannovým zákonem (1.6) a Wienovým posouvajícím vztahem (1.7).

$$I = \sigma * T^4 \quad (1.6)$$

$$\lambda_{max} * T = konst \quad (1.7)$$

Měřicí diagnostika tedy snímá množství vyzářené energie a to buď pro určitou frekvenci nebo interval a z něho pomocí známých závislostí určuje teplotu. Pro jiné než černé těleso je třeba použít upravený S-B zákon (1.8)

$$I = \varepsilon * \sigma * T^4 \quad (1.8)$$

Emisivita

„Emisivita je optická vlastnost materiálu, která popisuje, jaké množství světla se vyzářílo z materiálu v poměru k množství, které na stejné teplotě vyzařuje černé těleso.“ [17] Pro nepropustné pevné těleso platí.

$$E = 1 - R \quad (1.9)$$

Z (1.9) vyplývá, že pokud černé těleso neodráží žádné záření, pak $E=1$. [2]

Hodnota emisivity záleží na daném materiálu, ale více také na jeho povrchové úpravě či obecně stavu jeho povrchové vrstvy. Tělesa, s emisivitou vyšší než 0,9 nazýváme tmavá, jedná se o materiály, jejichž povrch odráží málo např. dřevo, guma, kámen, beton. Naopak kovy – zvláště s leštěným povrchem- mají emisivitu kolem 0,1. [2]

Při měření je důležité znát správnou hodnotu emisivity a nastavit tak měřicí přístroj. Metod určení správné hodnoty je mnoho, obecně se jedná o hledání rovnováhy mezi známou hodnotou (teplotou, emisivitou) a hledanou hodnotou (emisivitou, teplotou). Zde jsou nejběžněji používané postupy. [2]

1. Ohřejte vzorek materiálu na známou teplotu, která se určí přesným dotykovým teploměrem (např. termočlánkem). Potom se změří teplota tělesa infračerveným teploměrem. Mění se jeho emisivita, dokud naměřená teplota neodpovídá teplotě udávající dotykový teploměr. Emisivita, při které teploty odpovídají je hledanou hodnotou.
2. Při relativně nízké teplotě se na měřený objekt nalepí speciální samolepka se známou hodnotou emisivity. Změří se teplota samolepky při nastavené známé emisivitě a následně se tato teplota hledá na daném objektu pomocí změny nastavení emisivity přístroje, dokud není nalezená správná odpovídající.

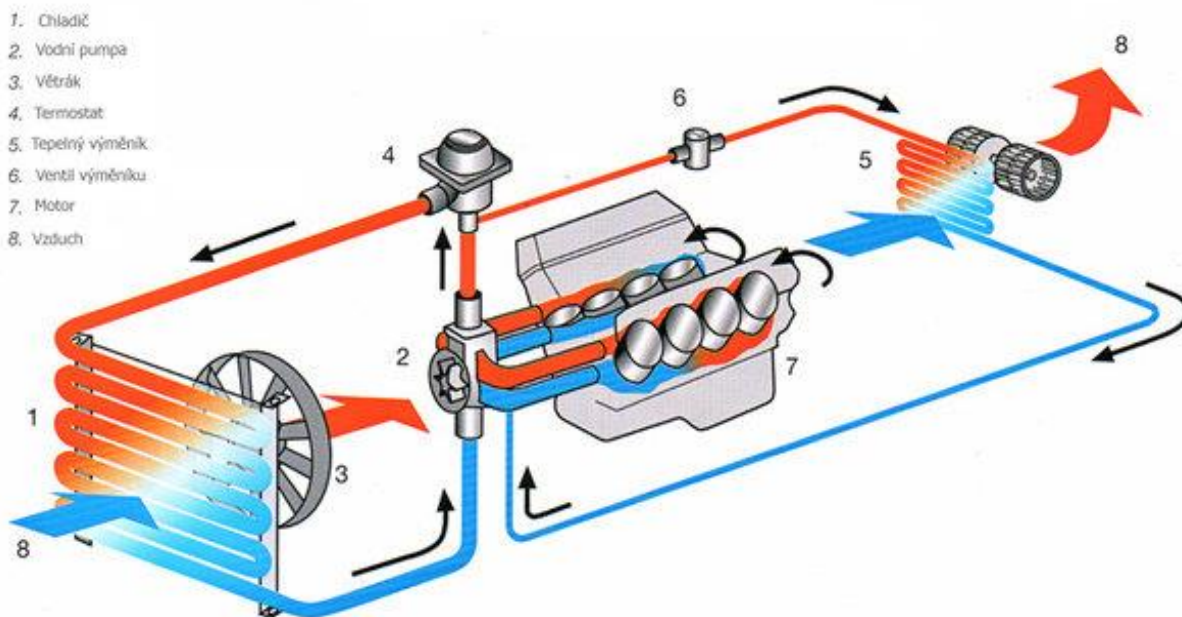
Zhotovení

Většina dnes vyráběných pyrometrů se řadí mezi pásmové pyrometry. Ty využívají určitou část spektra tepelného záření. Provedení jako takové se liší s ohledem na danou aplikaci, od malých ručních přístrojů velikosti revolveru až po stojací přístroje s hmotností až několik desítek kilogramů.

Pro zaměření měřené oblasti se využívá laserového paprsku. Ten je veden buď přímo optickou osou, nebo je rovnoběžně vyosen, případně se využívá jiného principu např. křížového zaměření. Je důležité, aby během měření byla měřená oblast větší než výseč, kterou snímá přístroj. Speciálním způsobem tohoto provedení je termovize, kde je infračervený záznam přenášen pomocí televizního signálu a zobrazen na monitoru. Díky tomu je možné lépe sledovat souvislosti pozorovaných jevů, případně dynamický vývoj teplotního pole, to vše v kontextu celé monitorované oblasti. [18]

4 Chladicí soustava vozu

Pro správný chod a funkci motoru je důležitá chladicí soustava vozu, která udržuje motor a jeho jednotlivé části v intervalu provozních teplot. Na Obr. 4.1 je schematicky znázorněná. V základu se jedná o vodní čerpadlo, které je namontováno na bloku motoru a dodává energii proudící kapalině. Ta proudí kanály v bloku motoru, hadicemi, chladičem, expanzní tlakovou nádobkou a výměníkem v systému topení. V chladiči probíhá hlavní přestup tepla mezi chladicí kapalinou a okolním prostředím (vzduchem), tento přestup probíhá díky toku vzduchu, který se vytváří pohybem vozu nebo chladícím ventilátorem („sahaře“), který tak činí v náročnějších jízdních režimech např. stání, popojíždění. Energie, která nebyla využita k mechanické práci, ani odvedena výfukem, je tedy odváděna do okolního prostředí, případně do kabiny vozu, kterou vytápí.



Obr. 4.1 Chladicí soustava automobilu [16]

5 Tepelné výměníky

Tepelné výměníky jsou tvořeny trubkami, kterými proudí ohřátá chladicí kapalina, ta odevzdává teplo přes stěny trubek do proudícího vzduchu. Přestupu tepla pomáhají žebra, která jsou v kontaktu s trubkami a zvyšují tak celkovou teplosměnnou plochu. V dnešní době se pro vozidla využívají chladiče s plochými trubkami na konci zaoblenými v kombinaci s žaluziovými skládanými žebry. V minulosti byly používány kruhové trubky a rovinná žebra.

Důležitý je také materiál, z kterého je chladič vyroben. Dnes dominují celohliníkové tvrdě pájené chladiče. Ty převyšují měděné chladiče svými korozivzdornými vlastnostmi, je možné vyrábět menší a ušetřit tak materiál, neboť hliníkové kanály mohou být širší, aniž by bylo nutné zvyšovat tloušťku jejich stěn. Měděné kanály nesou vysoký tlak a tak musí být stejná konstrukce až třikrát těžší. Další výhodou hliníkových chladičů je jednota materiálu, z kterého je zhotoven, jedná se o uniformní celek a tak zde na rozdíl od měděných pájených chladičů nedochází k snižování přestupu tepla v pájených oblastech. [19]



Obr. 5.1 Hliníkový chladič [22]

Správná volba či návrh tepelného chladiče patří k jedné z nejdůležitějších činností při konstrukci vozu. Při výběru vhodného chladiče konstruktér musí mít na paměti následující parametry:

1. Druh teplosměnných ploch
2. Hmotnostní průtok chladicí kapaliny
3. Hmotnostní průtok vzduchu
4. Rozměry chladiče
5. Rozložení rychlosti proudu a teploty vzduchu ve vstupní rovině chladiče

Tvar chladiče má vliv na vzhled vozu a naopak, vzhled vozu a zástavba v jeho přední části ovlivňuje chladič a jeho výkonové charakteristiky. Pro ideální funkci chladiče musí být celá jeho plocha ofukována a to čím více, tím lépe. V reálu ovšem nejsou všechny plochy vystaveny stejnému toku vzduchu. To je způsobeno různou zástavbou v motorovém prostoru jako:

- otvory v kapotě a mřížky, které je zakrývají
- mezichladič stlačeného vzduchu z turbodmychadla
- „sahara“
- prvky za chladičem – motor, hadice aj. mohou způsobovat cirkulaci ohřátého vzduchu do chladiče

6 Experiment

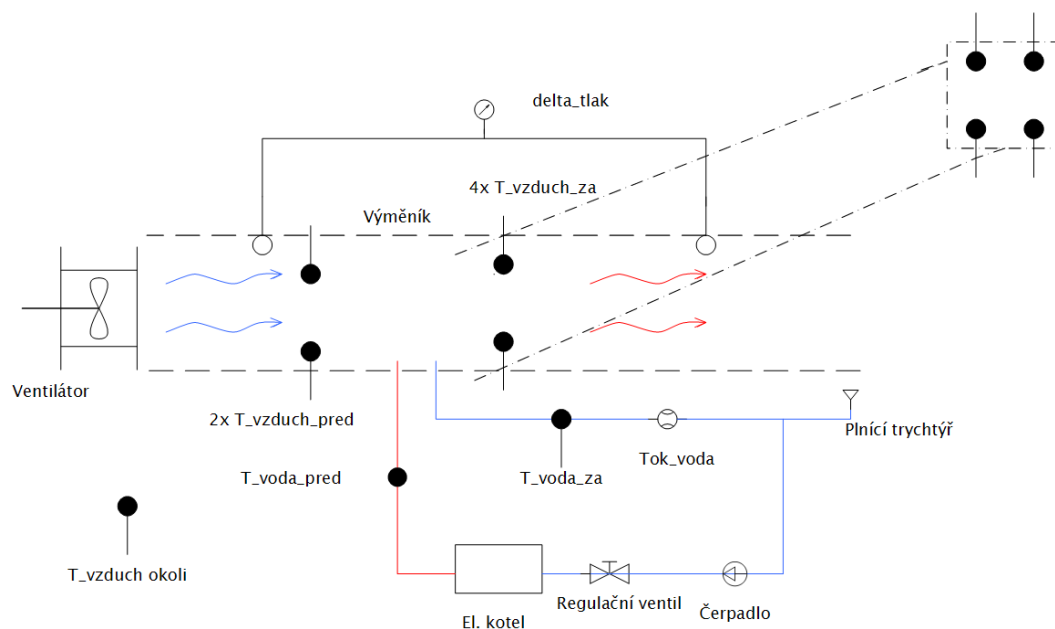
6.1 Formulace problému

Nerovnoměrnost zaclonění jednotlivých částí tepelného výměníku tedy způsobuje změny a odchýlení výkonových charakteristik od ideálního nezacloněného stavu. Tyto situace je možné simulovat matematickými výpočty, a to rozdělení plochy výměníku na jednotlivé části, ve kterých je konstantní tok vzduchu, simulace teplotní výměny a následně propojení těchto modelů do jednoho celku, který vyjadřuje výměník jako takový. K provedení těchto výpočtů je nutné znát nebo najít vhodné matematické závislosti probíhající dějů uvnitř chladiče.

Nejednodušší cestou k ověření správnosti našich předpokladů, případně nalezení klíče k dějům, které není možné jednoduše sledovat a popsat, je provedení experimentu s cílem získat co nejvíce možných údajů a z nich poté logickou analýzou vyvodit možné skutečnosti, jež uvnitř daného systému probíhají.

Základem této práce je tedy zjištění výkonnostních charakteristik výměníku zakrytého v různých polohách. Následná diskuze a interpretace získaných výsledků.

Měření proběhlo na tepelné trati v areálu laboratoří Ústavu mechaniky tekutin a termodynamiky na Fakultě strojní ČVUT. Trať se skládá z vzduchové a vodní části.



Obr. 6.1 Schéma trati

6.2 Část vzduchová

Jedná se o část, kterou proudí vzduch a odebírá teplo výměníku. Je sestavena z:

1. ventilátoru poháněném asynchronním třífázovým motorem, řízeným frekvenčním měničem
2. plexisklové trasy obdélníkového průřezu
3. upevňovací příruby
4. měřících čidel
 - a. 4x termočlánek typu T za chladičem ($T_{\text{vzduch_za}}$)
 - b. 2x termočlánek typu T před chladičem
 - c. diferenční měřič tlaku (Δ_{tlak})
 - d. termočlánek měřící okolní teplotu ($T_{\text{vzduch_okoli}}$)

Vzduch z okolí (prostor laboratoře) je nasáván ventilátorem a hnán do trati, ta je tvořena stěnami z plexiskla a tvoří obdélníkový průřez o světlém rozměru 10x15cm, který se shoduje s rozměrem funkční plochy výměníku. Vzduch o teplotě $T_{\text{vzduch_pred}}$ je tlačěn skrz výměník, zde dochází k přestupu tepla na žebrech a kanálech výměníku, která jsou ohřata od protékající tekutiny o teplotě $T_{\text{voda_pred}}$. Vzduch se tímto ohřívá na teplotu $T_{\text{vzduch_za}}$, která je měřena na čtyřech místech jedné roviny průřezu. Vzduch poté pokračuje cca 1m trasou a poté vchází do prostoru okolí (laboratoře).

6.3 Část vodní

V této části dochází k toku vody, která je ohřívána a následně chlazena ve výměníku. Je sestavena z:

1. plnicího trychtýře
2. potrubí
3. čerpadla
4. regulačního ventilu
5. elektrického kotle
6. tepelného výměníku
7. měřících čidel
 - a. 2x termočlánek typu T ($T_{\text{voda_pred}}$ a $T_{\text{voda_za}}$)
 - b. průtokoměr

Před začátkem každého měření je třeba naplnit vodní okruh chladícím médiem, v tomto případě se jedná o užitkovou vodu z vodovodního řadu. Poté co je okruh prvotně naplněn, je možné sepnout čerpadlo a nechat okruh, za stálého dolévání vody, odvzdušnit. Když je okruh odvzdušněn, zapne se kotel.

Čerpadlo udává vodě pohybovou energii na zdolání okruhu. Voda poté co projde čerpadlem, prochází regulačním ventilem, který slouží jako regulační prvek průtoku okruhem, ten je ovládán přivedeným napětím. Dále se voda ohřívá v elektrickém kotli na přednastavenou

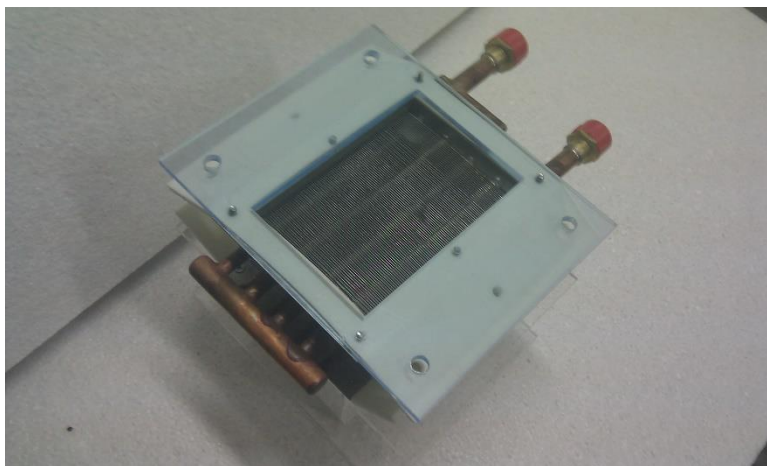
teplotu ($T_{\text{voda_pred}}$), která se určuje podle teploty vzduchu okolí, neboť pro zachování průkaznosti měření je stanovena podmínka difference $T_{\text{vzduch_pred}}$ a $T_{\text{voda_pred}}$ na $60 \pm 0,5$ °C. Poté voda prochází kanály chladiče, kde odevzdává teplo a vrací se zpět ochlazená na teplotu $T_{\text{voda_za}}$. V této části potrubí je umístěn průtokoměr.

6.4 Výměník

hliníkový se skládanými žebry

rovnoběžné kanály na koncích spojené

rozměry: 10x15 cm – zmenšenina automobilového chladiče

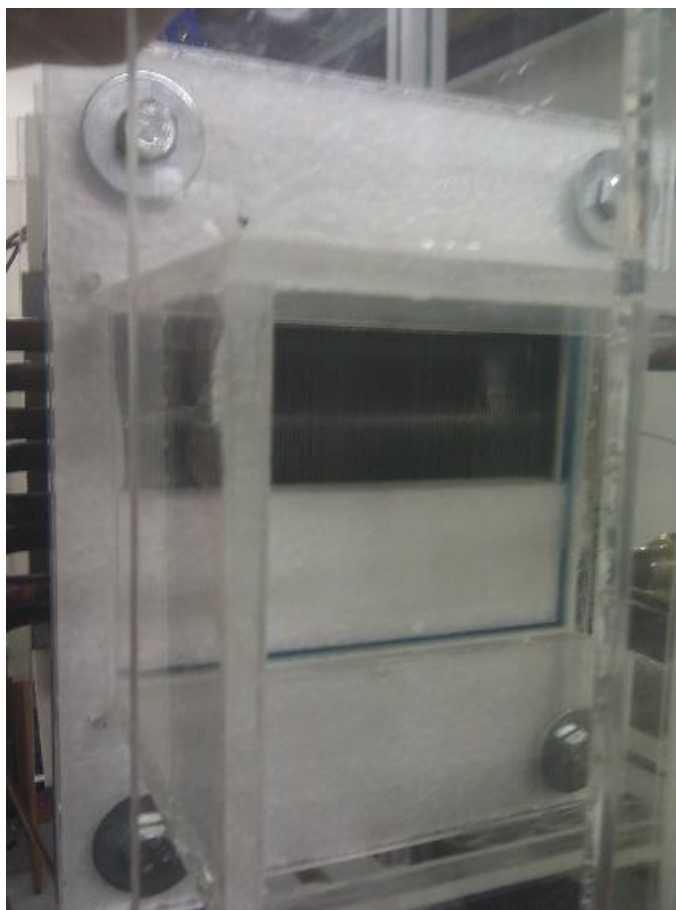


Varianty

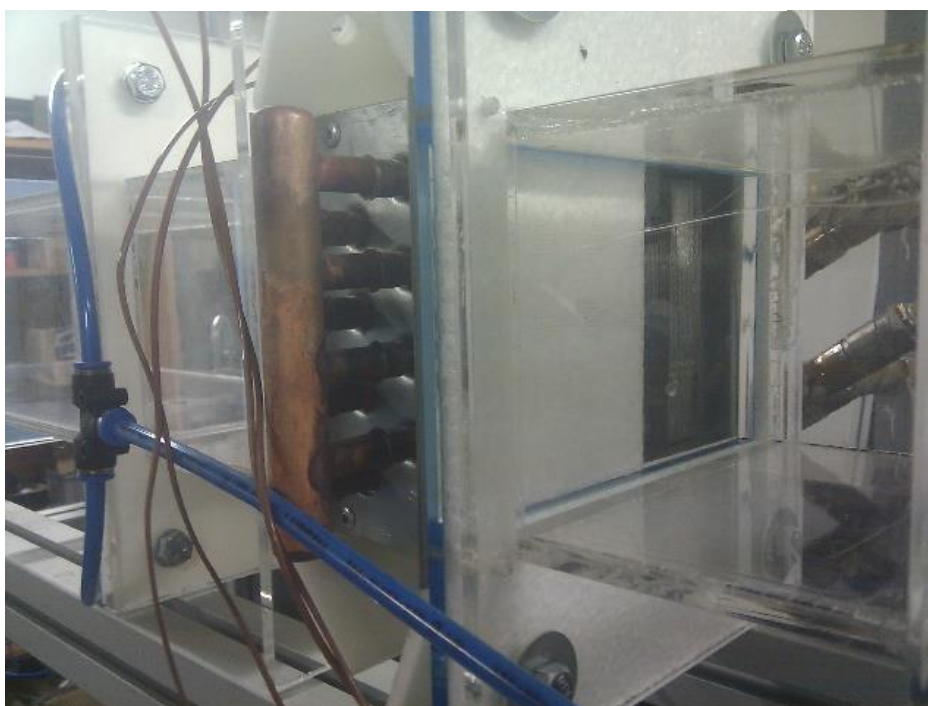
Obr. 6.2 Výměník nezakrytý s upevňovací přírubou

Měření bylo provedeno na jednom vybraném výměníku. Bylo změřeno sedm různých variant, lišící se polohou zakryté plochy. Zakrývala se vždy polovina plochy, záslenkami z polystyrenu o rozměrech 5x15 cm a 7,5x10 cm Seznam všech variant zakrytí:

1. horizontální zakrytí horní poloviny
2. horizontální zakrytí středu
3. horizontální zakrytí spodní poloviny
4. vertikální zakrytí levé poloviny
5. vertikální zakrytí středu
6. vertikální zakrytí pravé poloviny
7. bez zakrytí



Obr. 6.3 Výměník v trati horizontálně zakrytý (dole)



Obr. 6.4 Výměník v trati vertikálně zakrytý (vlevo)

6.5 Měření

6.5.1 Odečítané veličiny:

1. $T_{\text{vzduch_okoli}}$; $T_{\text{vzduch_pred}}$; $T_{\text{vzduch_za}}$
2. $T_{\text{voda_pred}}$; $T_{\text{voda_za}}$
3. Delta tlak
4. Tok vody

6.5.2 Nastavované veličiny:

1. Uzavření ventilu
2. Frekvence ventilátoru
3. Teplota vody na kotli

6.5.3 Počítané veličiny

$$\dot{Q} = c_i * (T_{\text{vstup}_i} - T_{\text{vystup}_i}) * Tok_i \quad (1.10)$$

1. Sdělený výkon

Ze změřených hodnot byla na chladiči provedena bilance dle rovnice 1.10, $i=\text{voda}$; spočítán výkon a určena výkonová charakteristika jednotlivých režimů

2. Tok vzduchu

Tok vzduchu byl dopočítán z rovnice 1.10, $i=\text{vzduch}$

6.5.4 Průběh měření

Pro sedm variant zakrytí výměníku, jsem změřil celkem šestnáct různých režimů. Jednalo se o čtyři toky vody a čtyři toky vzduchu.

Průtok vody byl nastavován regulačním ventilem, na který bylo přivedeno napájecí napětí 24V, změna průtoku byla realizována řídicím napětím v rozsahu 0-8 V. Velikost průtoku byla určována pomocí voltmetru připojeného na průtokoměr. Snahou bylo nastavit stejné průtoky pro všechny varianty zakrytí. Vzhledem k regulaci přes stejnosměrný zdroj a jeho nepříliš jemné regulaci, nebylo možné nastavit vždy přesně stejný průtok. Hodnoty se tedy liší v jednotkách voltů tedy g/s hmotnostního průtoku. Na další výpočet tato „nejednotnost“ nemá vliv.

Průtok vzduchu byl řízen frekvenčním měničem třífázového motoru. Měřené hodnoty odpovídali 5, 10, 15 a 20 Hz nastavených na frekvenčním měniči.

Po ustálení běhu byla snímána data. Teploty a tlaky byly odečítány automaticky sběrem dat přes měřicí kartu pomocí prostředí MATLAB, hodnotu toku vody bylo nutno zaznamenat ručně z připojeného voltmetru. Ustálenost běhu se hodnotila dvěma kritérii:

- a) Rozdíl teploty vstupujícího vzduchu ($T_{\text{vzduch_pred}}$) a vstupující vody ($T_{\text{voda_pred}}$) musel být $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$
- b) Rozdíl teplot vody vystupující z výměníku ($T_{\text{voda_za}}$) na začátku a konci 20 s intervalu musel být menší než 0,15.

Pro splnění podmínky a) bylo třeba provádět úpravu teploty vody na kotli, neboť teplota vzduchu vstupující do výměníku ($T_{\text{vzduch_pred}}$) se měnila v důsledku oteplení/ochlazení vzduchu v laboratoři. Jednalo se jednotky $^\circ\text{C}$ v průběhu celého měření, takže nedocházelo k významným změnám fyzikálních vlastností, které by ovlivnily výsledky měření.

Při splnění obou podmínek se odečtená data uložila do textového souboru a bylo možné přejít na měření dalšího režimu, případně varianty.

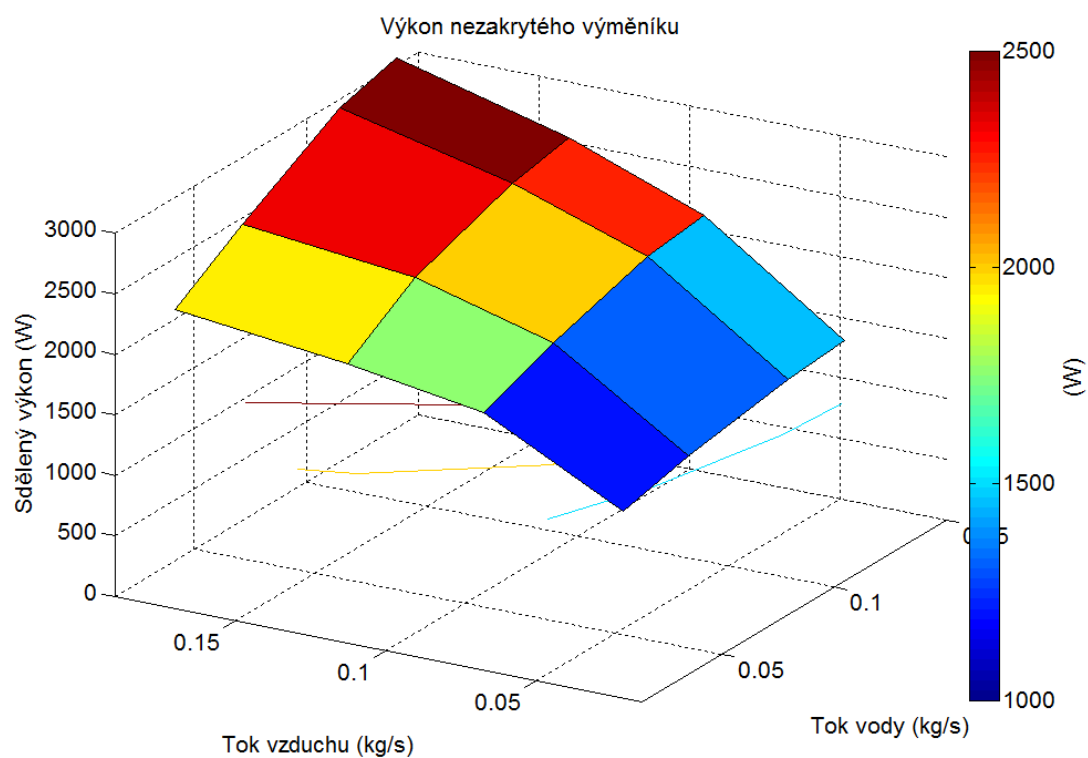
6.5.5 Vyhodnocení

Záznam a vyhodnocení získaných hodnot jsem prováděl pomocí dvou skriptů v MATLABU. První sloužil k záznamu hodnot z čidel a jejich umístění do matice. Druhý pak k výpočtu závislých veličin a vykreslení získaných výkonových a tlakových charakteristik do grafu. Charakteristiky se nachází na následujících stranách, jedná se o:

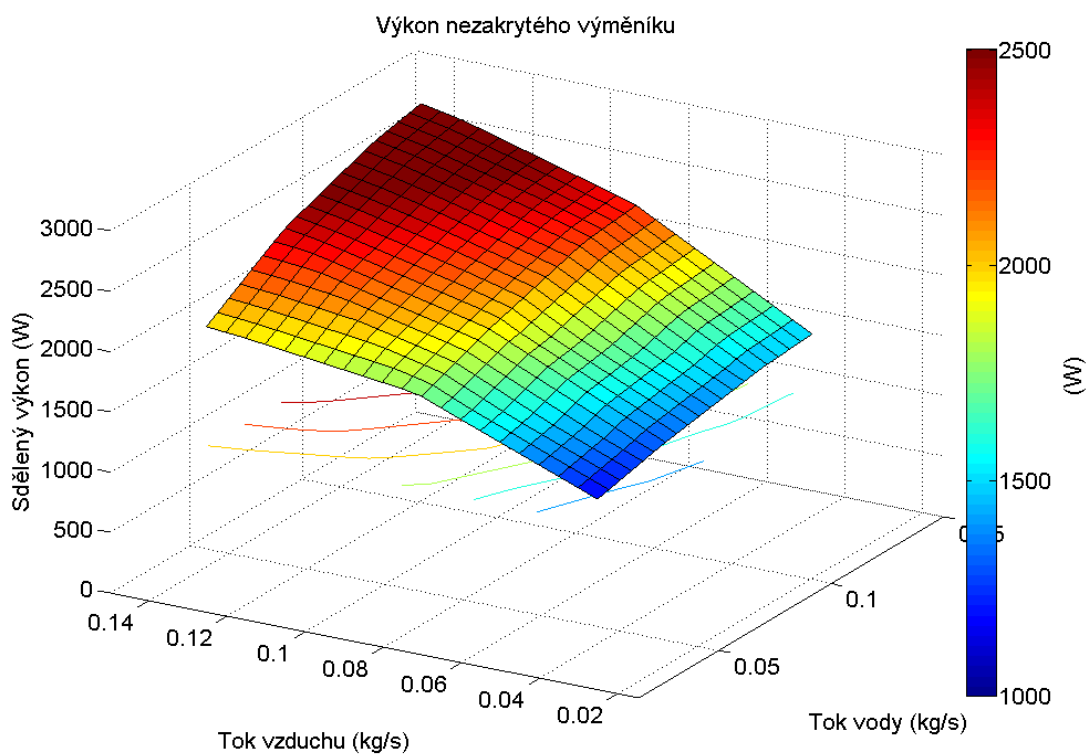
- A. Lomená výkonnostní plocha vykreslená ze získaných hodnot 16 měřících režimů
- B. Zjemněná výkonnostní plocha vzniklá aproximací hodnot na síti s krokem 0.005 kg/s
- C. Tlaková ztráta v závislosti na hmotnostním průtoku vzduchu

7 Výsledky

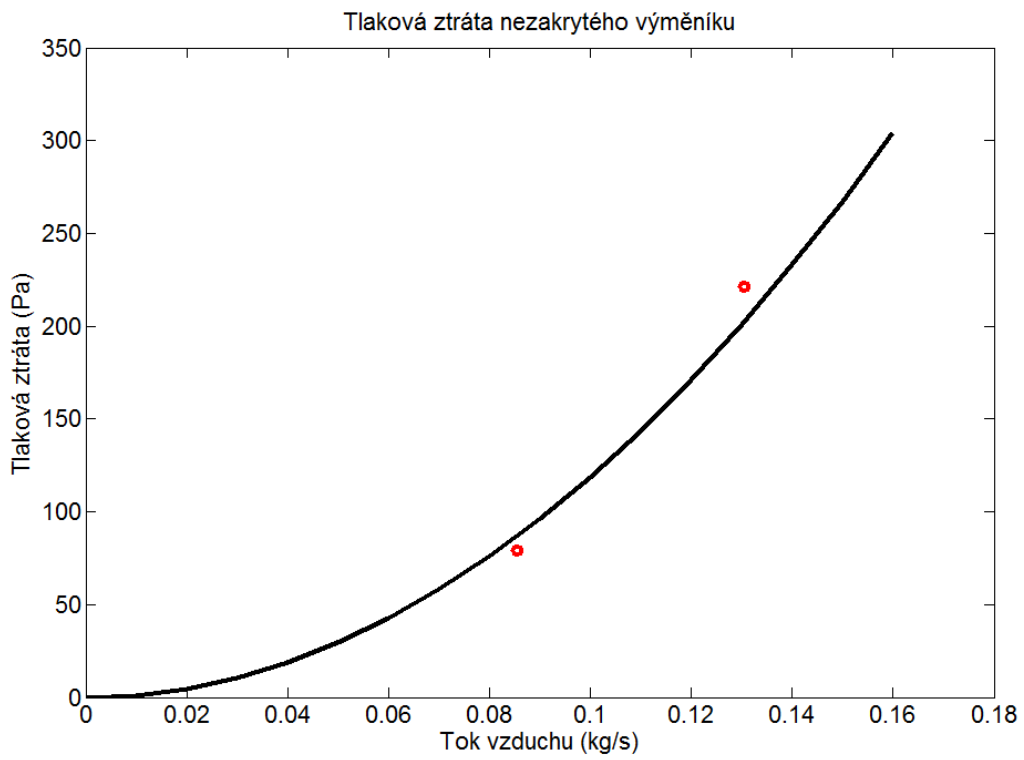
7.1 Nezakrytý výměník



Obr. 7.1 Výkonová charakteristika z 16 naměřených bodů nezakrytého výměníku

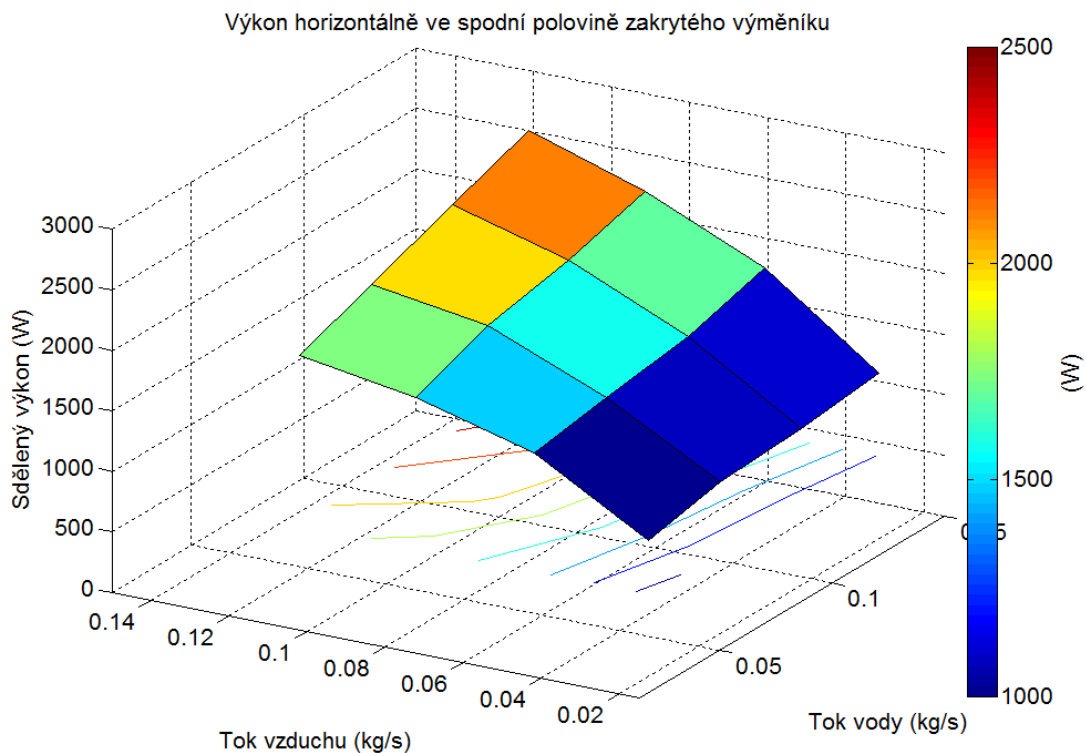


Obr. 7.2 Výkonová charakteristika nezakrytého výměníku aproximovaná na síti 24x24 bodů

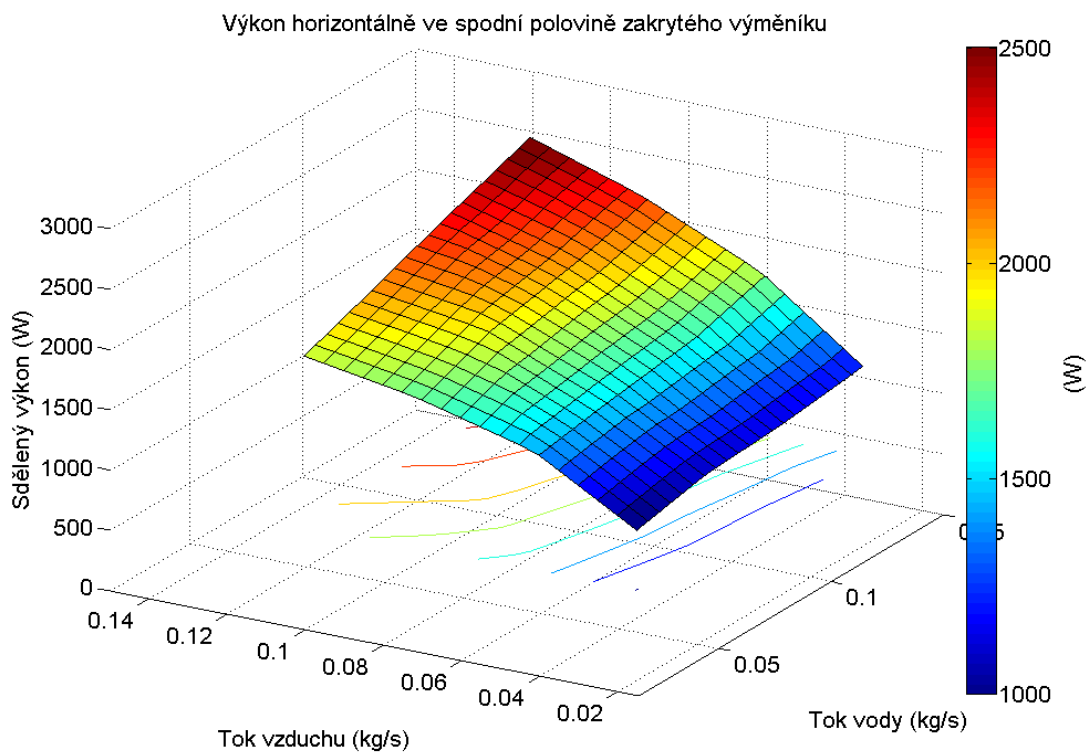


Obr. 7.3 Tlaková ztráta vzduchu nezakrytého výměníku

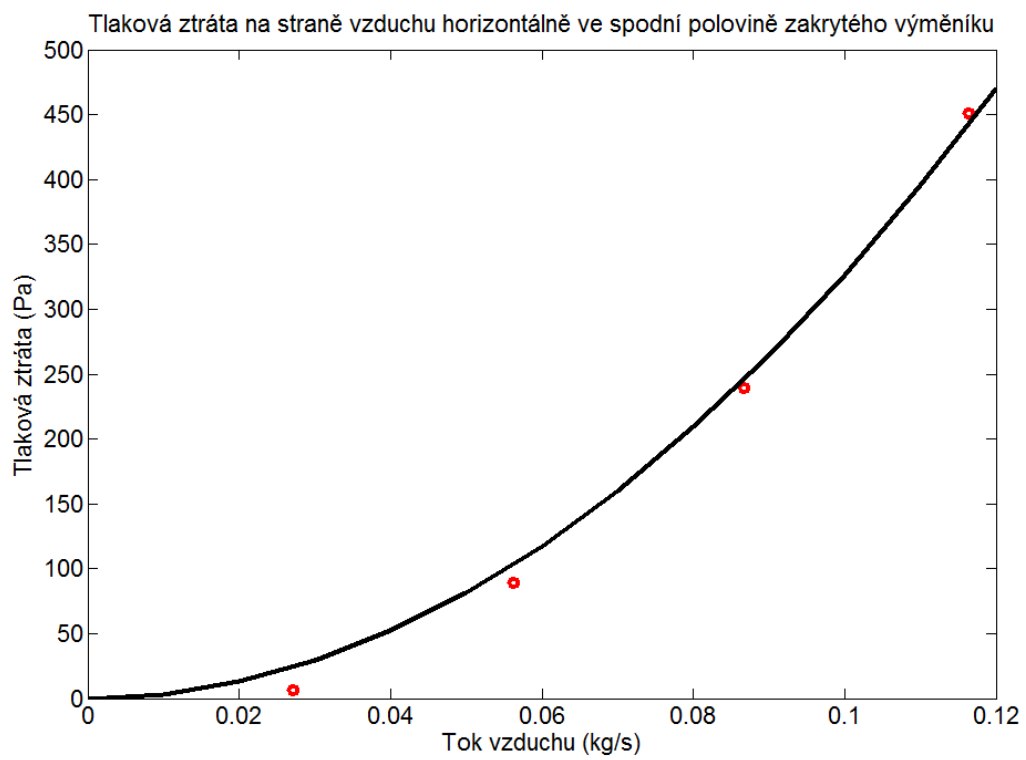
7.2 Horizontálně dole zakrytý výměník



Obr. 7.5 Výkonová charakteristika z 16 naměřených bodů horizontálně ve spodní polovině zakrytého výměníku

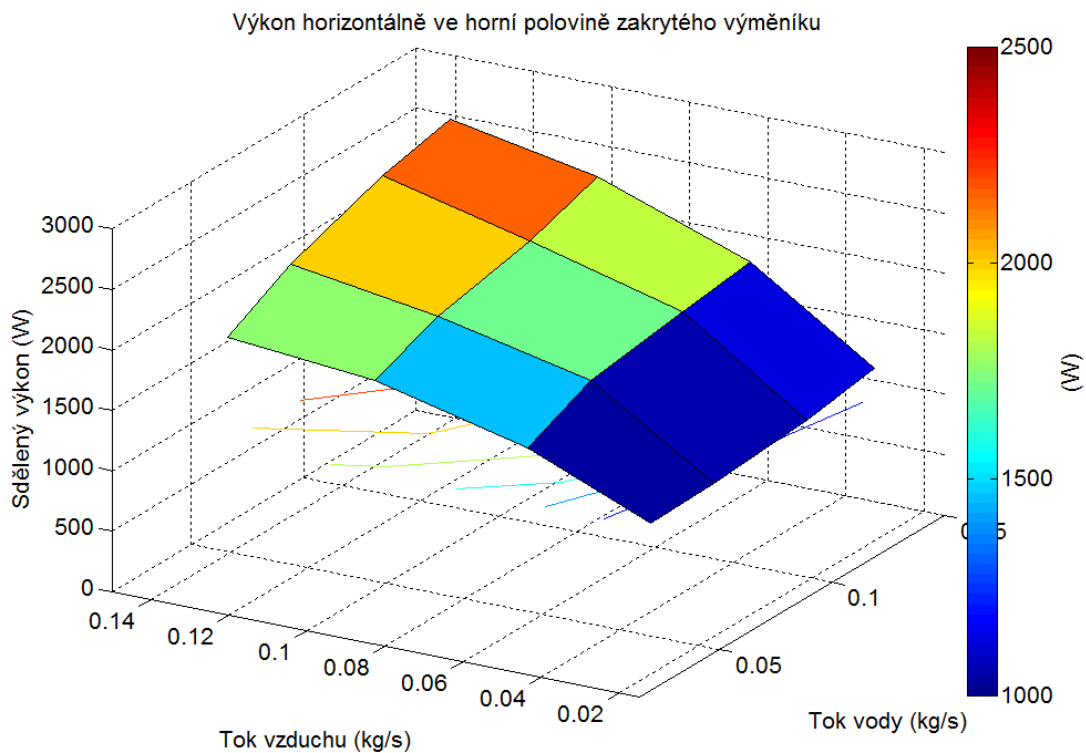


Obr. 7.4 Výkonová charakteristika horizontálně ve spodní polovině zakrytého výměníku aproximovaná na síti 24x24 bodů

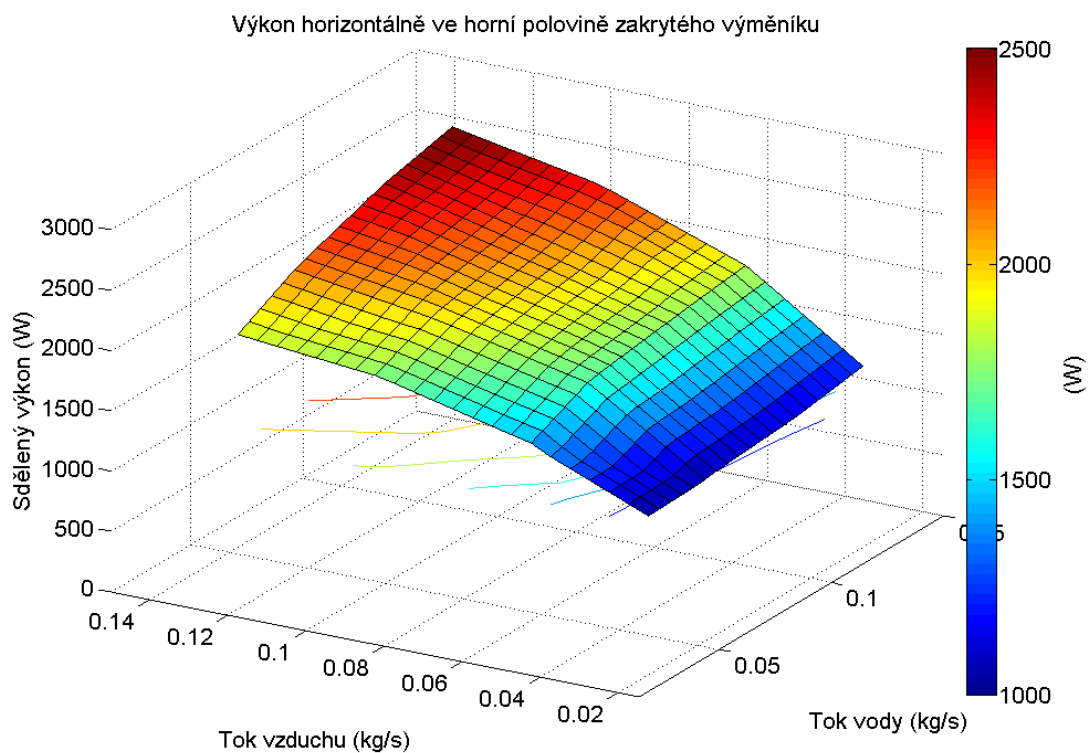


Obr. 7.6 Tlaková ztráta vzduchu horizontálně ve spodní polovině zakrytého výměníku

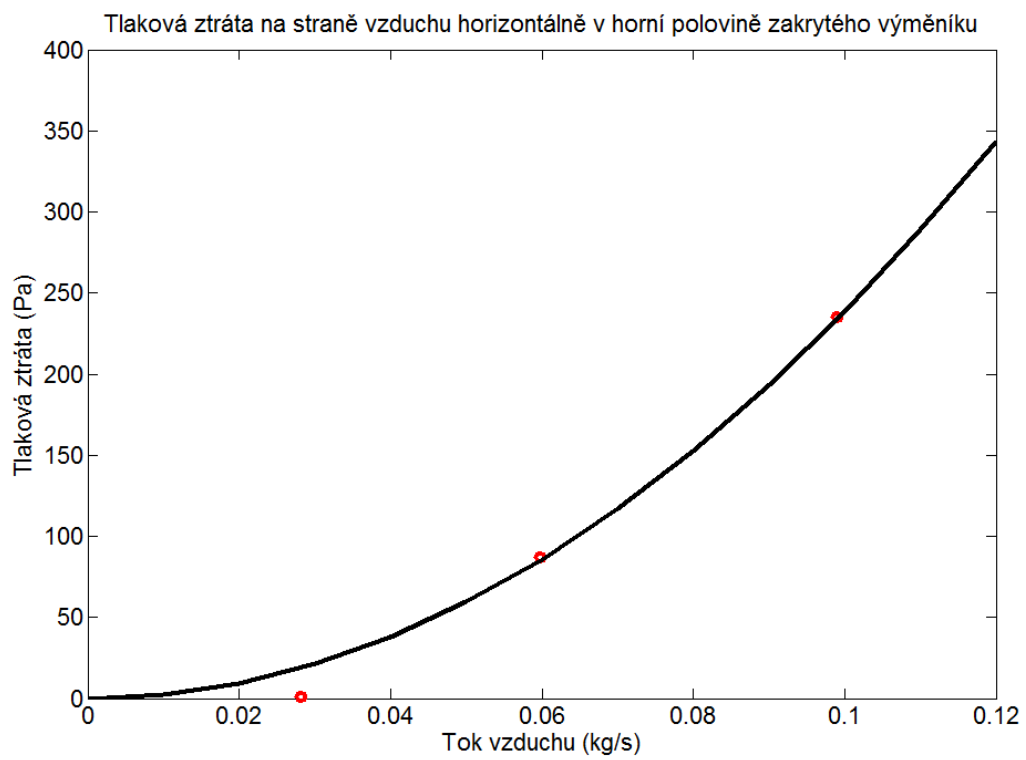
7.3 Horizontálně nahoře zakrytý výměník



Obr. 7.8 Výkonová charakteristika z 16 naměřených bodů horizontálně v horní polovině zakrytého výměníku

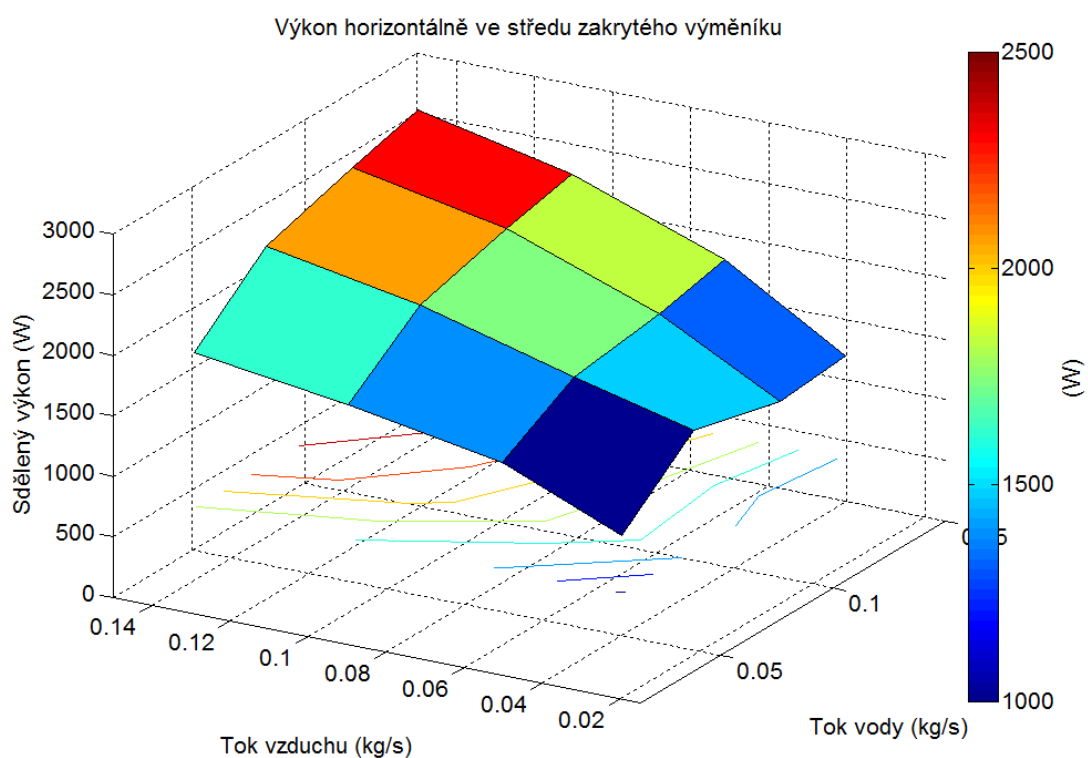


Obr. 7.7 Výkonová charakteristika horizontálně v horní polovině zakrytého výměníku aproximovaná na síti 24x24 bodů

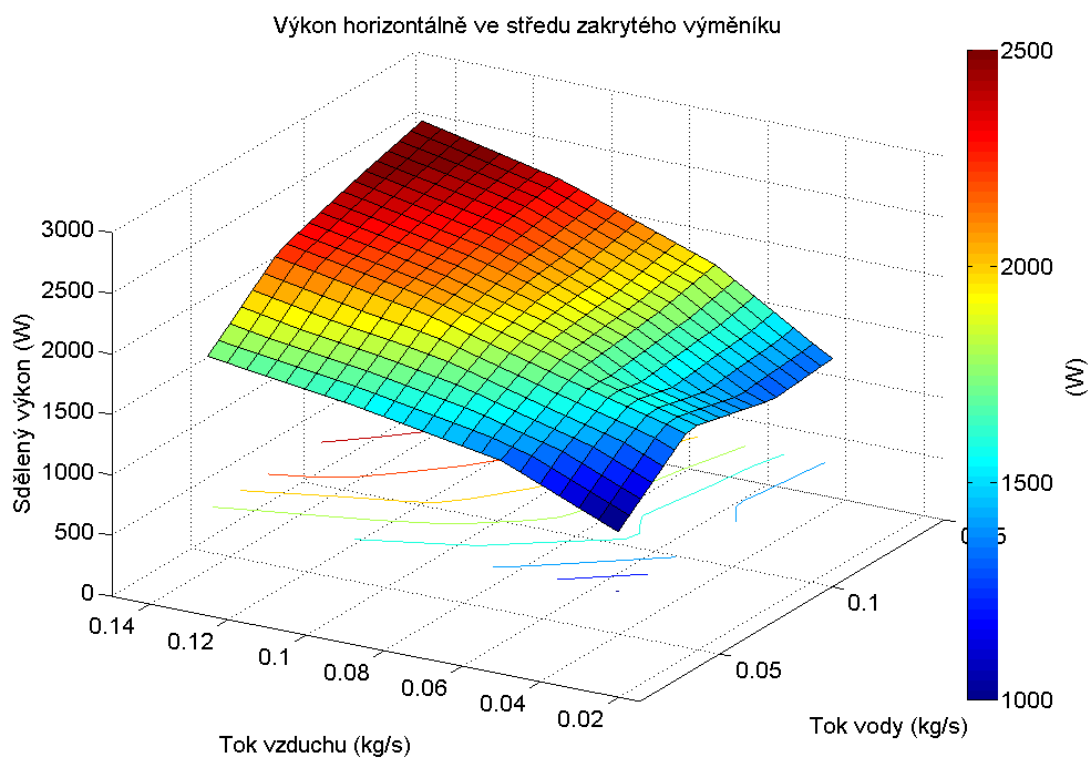


Obr. 7.9 Tlaková ztráta vzduchu horizontálně v horní polovině zakrytého výměníku

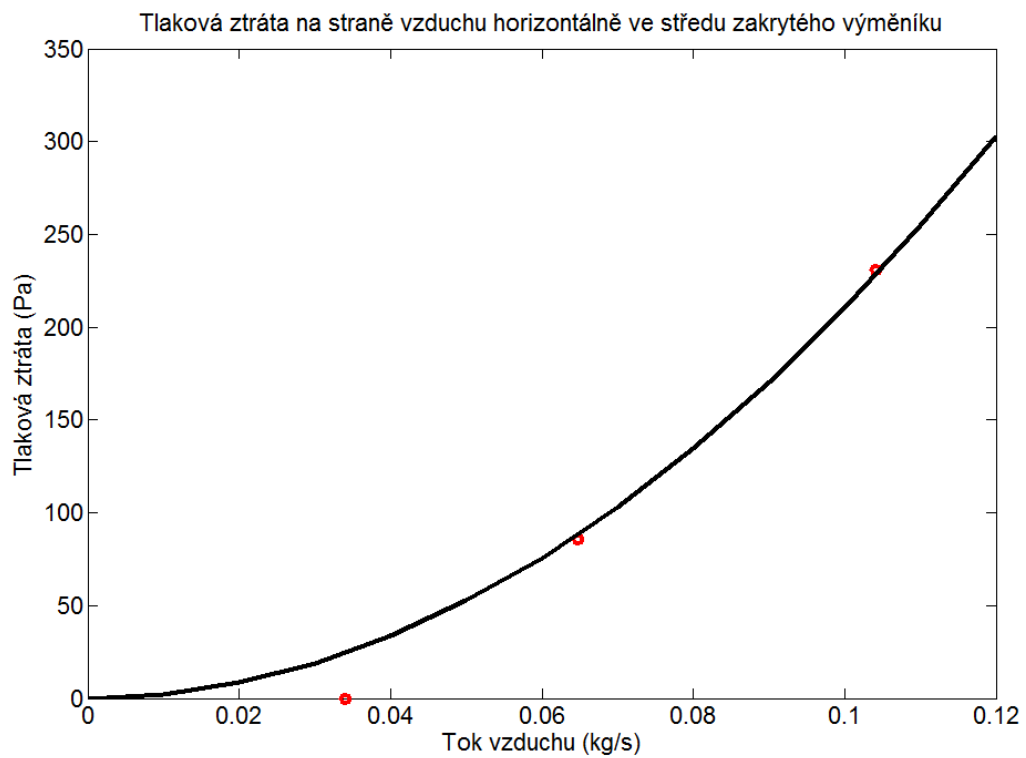
7.4 Horizontálně uprostřed zakrytý výměník



Obr. 7.10 Výkonová charakteristika z 16 naměřených bodů horizontálně ve středu zakrytého výměníku

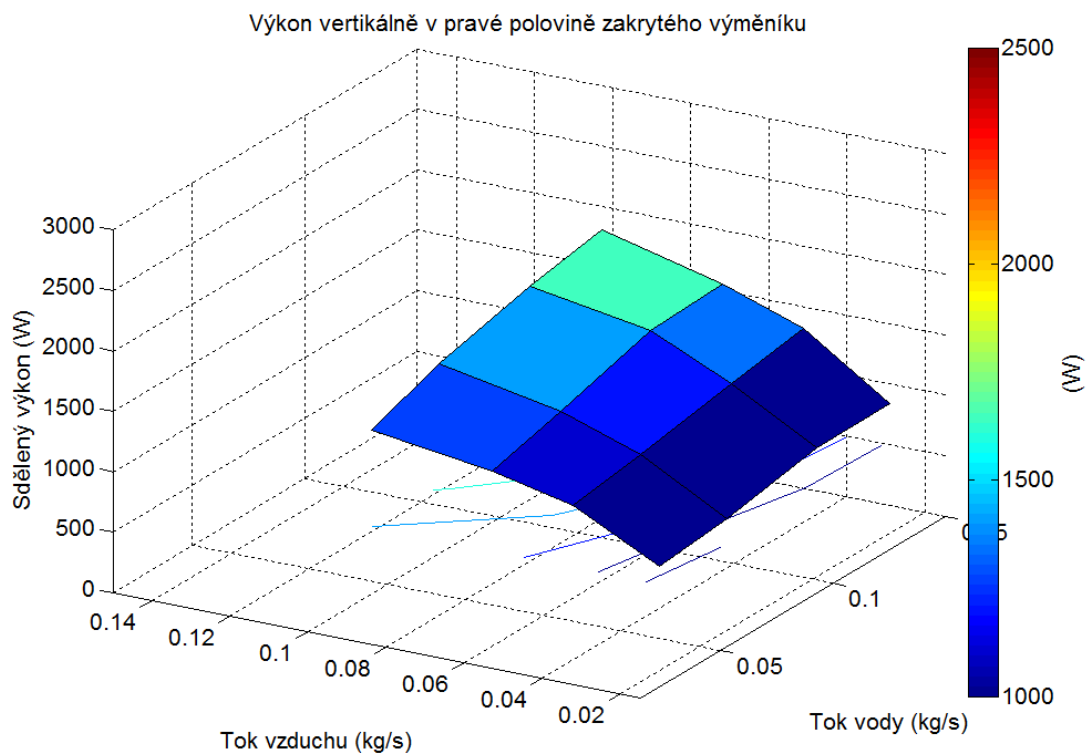


Obr. 7.11 Výkonová charakteristika horizontálně ve středu zakrytého výměníku aproximovaná na síti 24x24 bodů

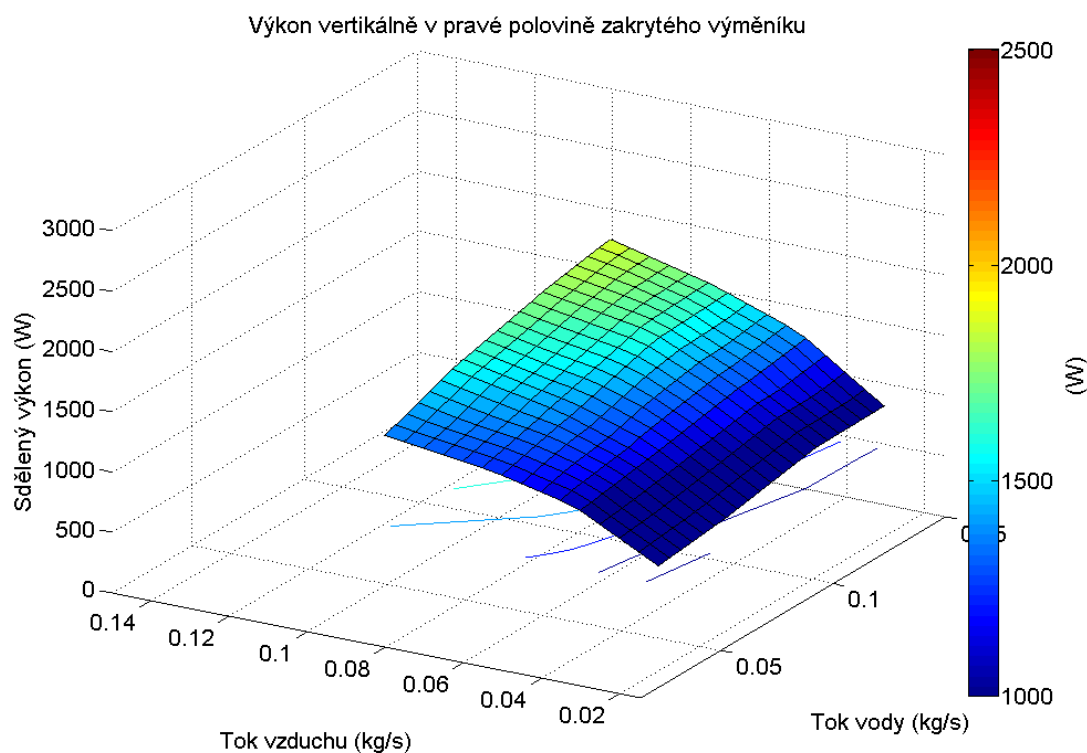


Obr. 7.12 Tlaková ztráta vzduchu horizontálně ve středu zakrytého výměníku

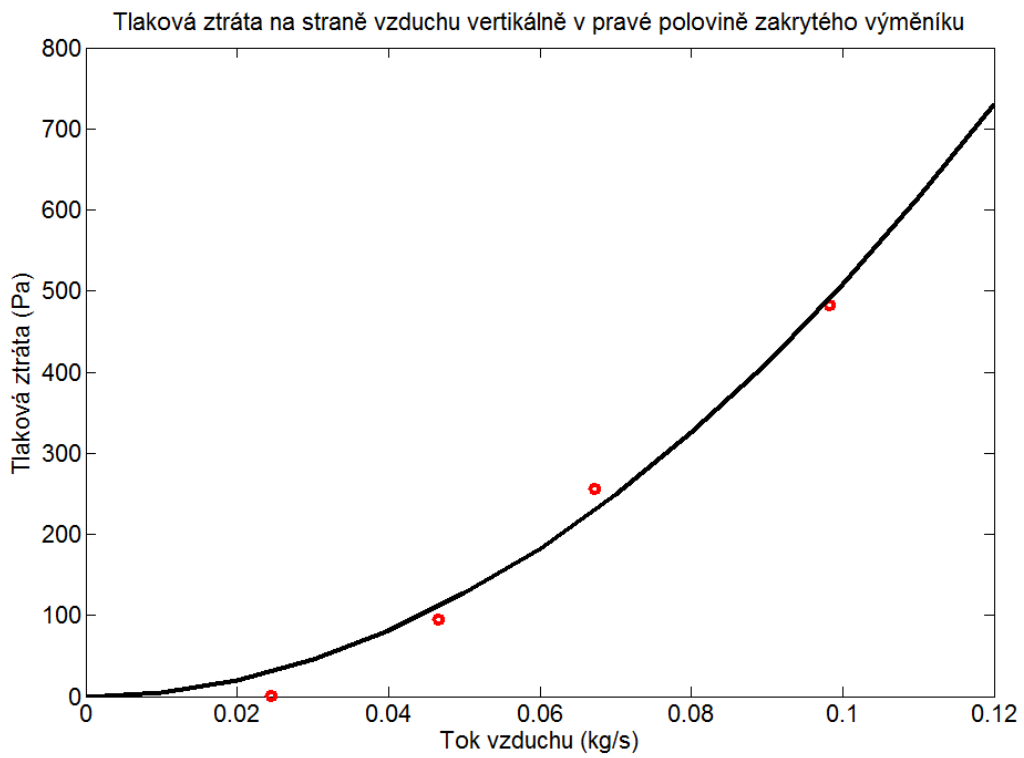
7.5 Vertikálně zprava zakrytý výměník



Obr. 7.14 Výkonová charakteristika z 16 naměřených bodů vertikálně v pravé polovině zakrytého výměníku

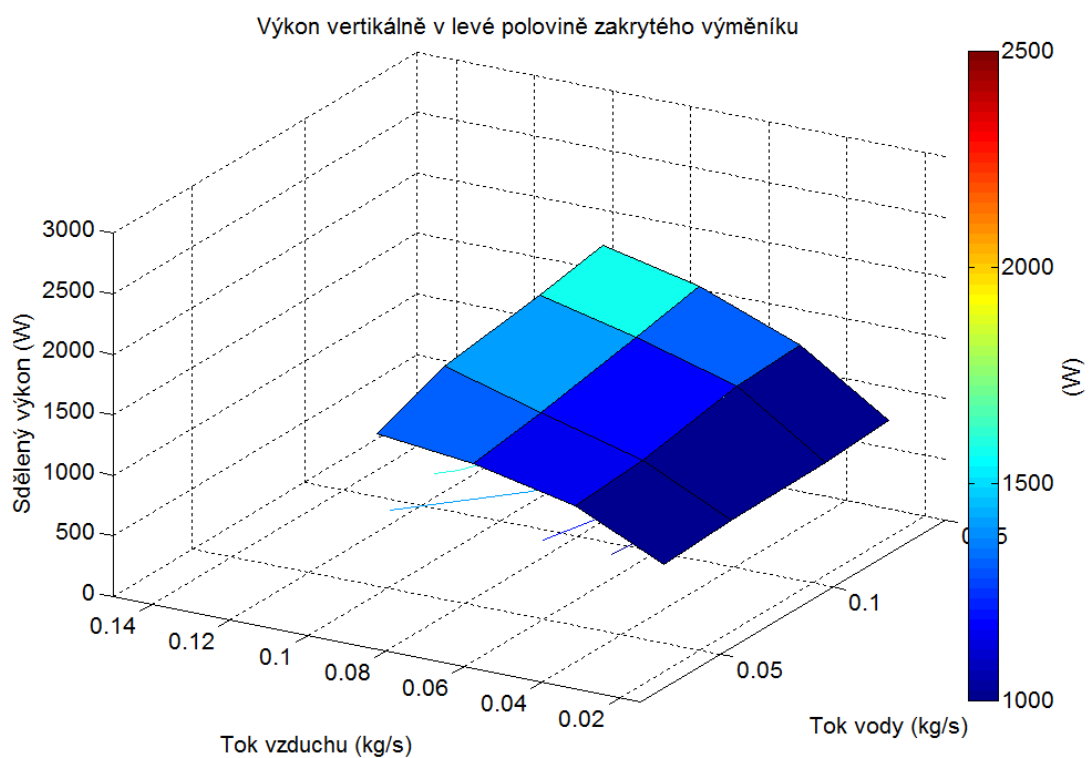


Obr. 7.13 Výkonová charakteristika vertikálně v pravé polovině zakrytého výměníku aproximovaná na síti 24x24 bodů

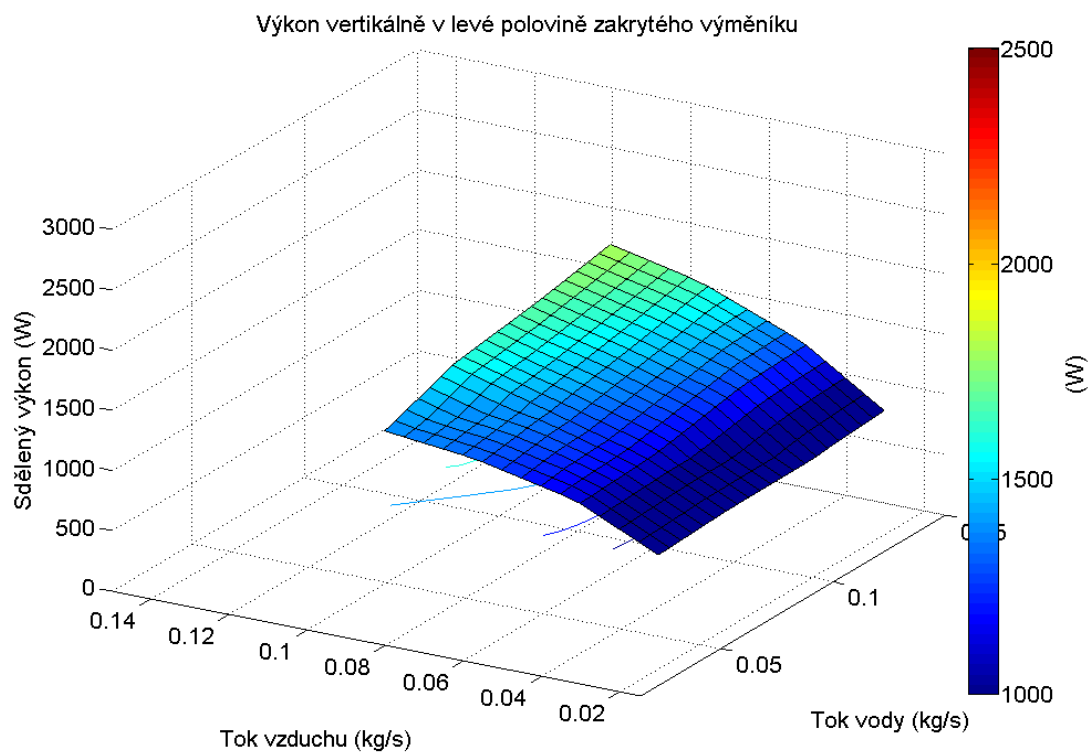


Obr. 7.15 Tlaková ztráta vzduchu vertikálně v pravé polovině zakrytého výměníku

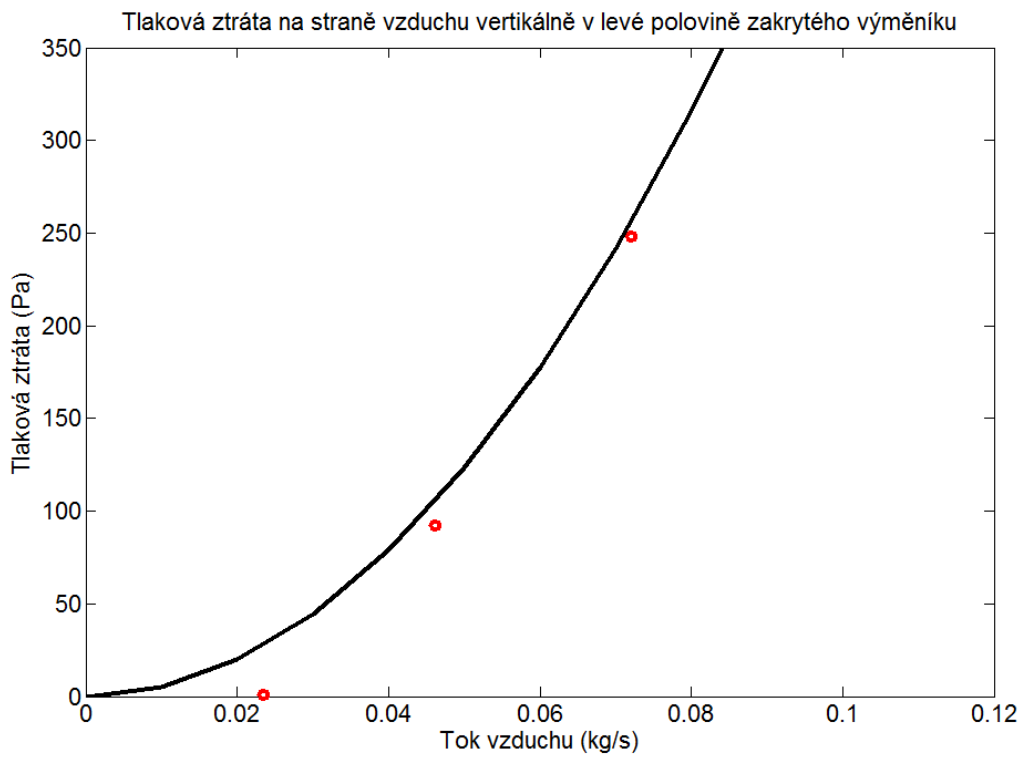
7.6 Vertikálně zleva zakrytý výměník



Obr. 7.16 Výkonová charakteristika z 16 naměřených bodů vertikálně v levé polovině zakrytého výměníku

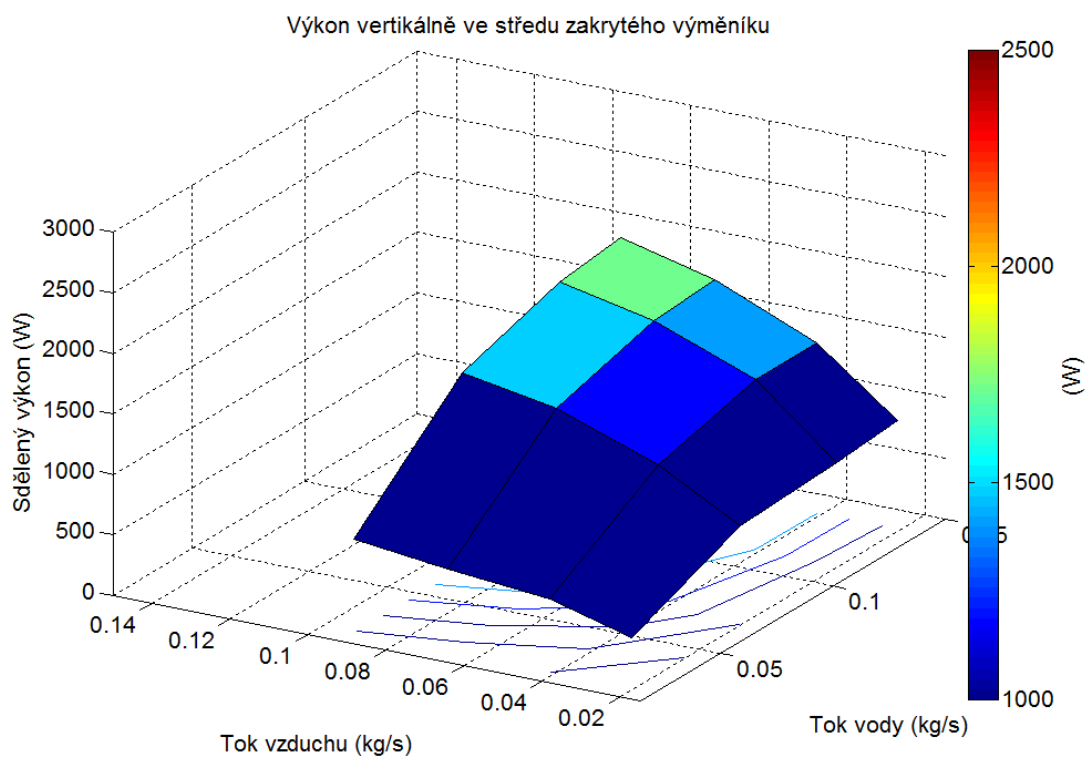


Obr. 7.17 Výkonová charakteristika vertikálně v levé polovině zakrytého výměníku aproximovaná na síti 24x24 bodů

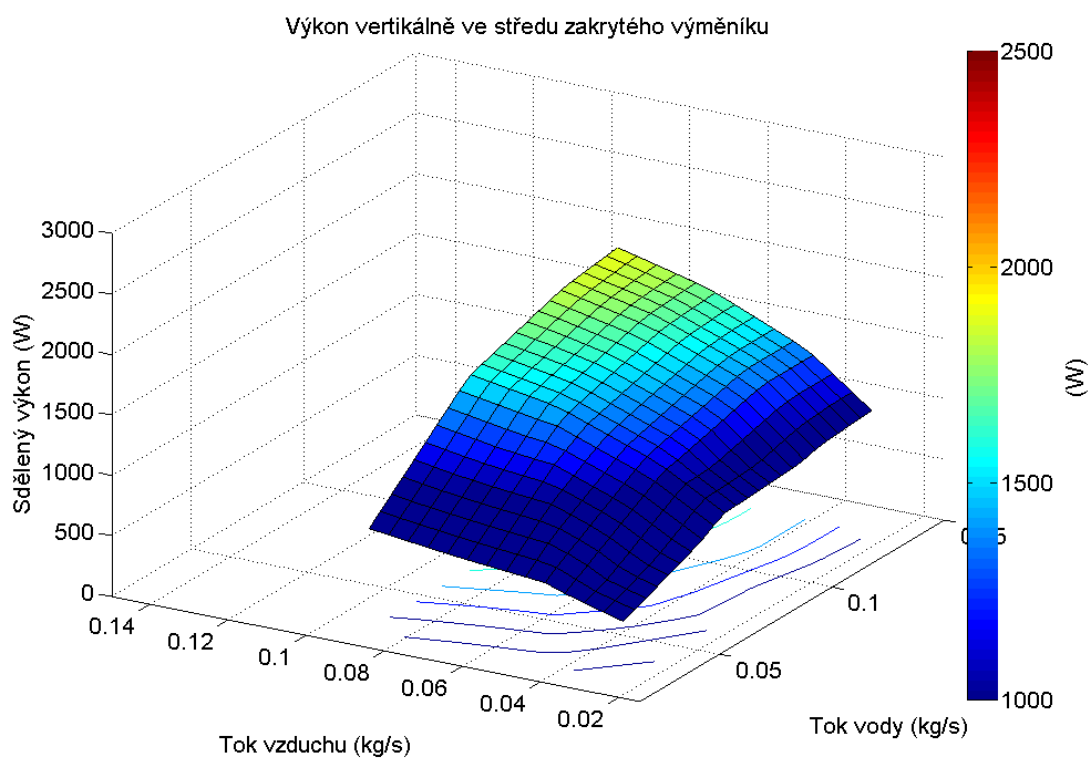


Obr. 7.18 Tlaková ztráta vzduchu vertikálně v levé polovině zakrytého výměníku

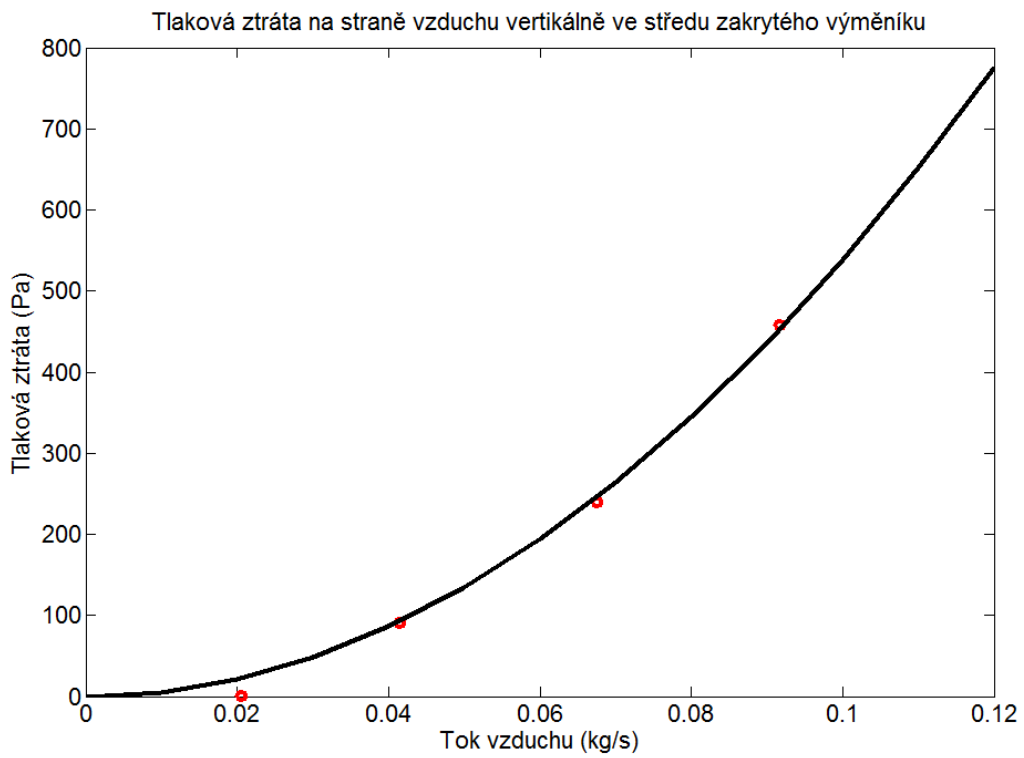
7.7 Vertikálně uprostřed zakrytý výměník



Obr. 7.20 Výkonová charakteristika z 16 naměřených bodů vertikálně ve středu zakrytého výměníku



Obr. 7.19 Výkonová charakteristika vertikálně ve středu zakrytého výměníku aproximovaná na síti 24x24 bodů



Obr. 7.21 Tlaková ztráta vzduchu vertikálně ve středu zakrytého výměníku

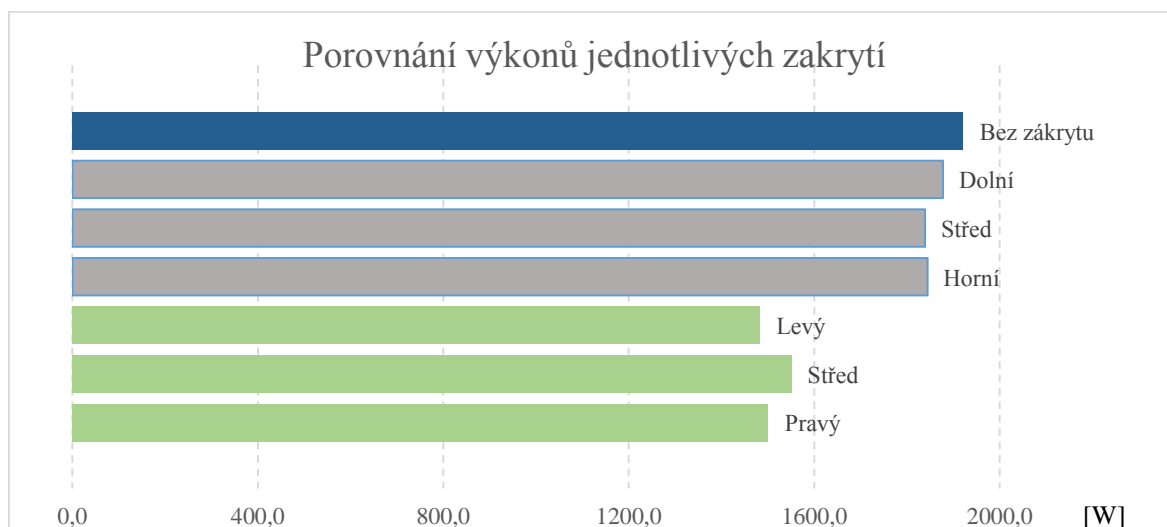
8 Diskuze a interpretace výsledků

Ze získaných závislostí jsem vybral výkonnostní referenční hodnotu na souřadnici $(Tok_vody; Tok_vzduchu) = (0,8; 0,7)$ kg/s. Hodnoty odpovídající těmto tokům jsou uvedeny v Tabulka 2.

Tabulka 2

Příčný zákryt	Výkon [W]	Výkon * [1]	Podélný zákryt	Výkon [W]	Výkon* [1]	Bez zákrytu	Výkon [W]
Pravý	1501,0	0,781	Horní	1844,2	0,960		1921,50
Střed	1551,5	0,807	Střed	1839,0	0,957		
Levý	1483,1	0,772	Dolní	1877,8	0,977		

Pozn. Výkon* je poměr daného výkonu ku výkonu nezakrytého výměníku.



Obr. 8.1

Z Obr. 8.1 je patrné, že vliv na výkon má především orientace záslepky. Umístění hraje roli podružnou, když vezmeme v potaz nepřesnosti vznikající při měření, můžeme ty rozdíly zanedbat.

Vliv příčného, tedy vertikálního zakrytí, snižuje značně účinnost přenosu tepla z chladicí kapaliny do vzduchu. Příčinou je konstrukce výměníku, konkrétně tvar a orientace chladících

lamel. Při příčném zakrytí dochází k odstavení poloviny teplosměnné plochy. Ta se ohřívá od proudící kapaliny, z této více ohřáté části putuje teplo směrem k chladnější části výměníku, tedy vodorovným směrem k nezakryté, ofukované ploše. Problémem přenosu tepla v tomto směru je malé množství materiálu orientovaným vodorovně, chladící žebra jsou spuštěna ve svislém směru a tak na přenos tepla zbývá pouze materiál trubky.

Zatímco při vodorovném zakrytí se odstavení ofukované plochy kompenzuje přenosem tepla ve svislém směru k ofukované části výměníku, tomuto směru odpovídá orientace lamel, proto je přenos více účinný a nedochází k tak markantnímu snížení teplotního přestupu výměníku.

9 Závěr

Provedl jsem stručný úvod do problematiky chladících soustav se zaměřením na tepelné výměníky a metody měření teplot, které byly zpracovány formou rešerše. Pro potřeby splnění vytyčených cílů měření zakrytého výměníku, jsem modifikoval již existující tepelnou trať a to přidáním dodatečné příruby a tvorbou zaslepovacích částí. Z těchto prvků vycházela volba sedmi měřených variant zakrytí, pro které jsem navrhl šestnáct měřených režimů, spočívající v kombinaci čtyř průtoků vody a čtyř průtoků vzduchu.

Provedl jsem experiment. Hodnoty získané během měření jsem vyhodnotil a z provedené diskuze vyplývá, že v případě zakrytí či zaclonění toku vzduchu tepelným výměníkem, dochází ke snížení účinnosti tepelné výměny. Z naměřených dat dále plyne, že nejhorší vliv na výkon tepelného výměníku má příčné zakrytí. Při konstrukci automobilů, ale i obecně jakýkoliv jiných zástaveb tepelných výměníků je třeba vzít toto v potaz a snažit se minimalizovat zakrývanou plochu. Pokud se zakrytí není možné vyhnout, je třeba orientovat ho na délku výměníku, tedy ve směru vodovodních kanálů, čímž alespoň částečně zvýšíme množství vyměněného tepla.

Provedením výše zmíněných činností jsem splnil zadání bakalářské práce uvedené na straně 4.

10 Prameny

1. RUSŇÁK, K. Vnitřní energie ideálního plynu podle kinetické teorie. [online]. 2005. Dostupné také z: <http://www.kfy.zcu.cz/dokumenty/FY11/vnitr.en.pdf>
2. GRUNER, K.D. a I. M. HUŠEK. Princip bezdotykového měření teploty. In: *qtest* [online]. 2014. Dostupné také z: <http://www.qtest.cz/bezdotykoveteplomery/bezdotykovemereni-teploty.htm>
3. KOLEKTIV. [online]. Dostupné také z: <http://www.odbornecasopisy.cz/teplotni-stupnice-28679.html>
4. Teplotní stupnice. *Odborné časopisy* [online]. Dostupné také z: <http://www.odbornecasopisy.cz/teplotni-stupnice-28679.html>
5. BRITANNICA, E. In: *www.britannica.com* [online]. 26. 10. 2014. Dostupné také z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/101689/Celsius-temperature-scale>
6. Standards for the SI Base Units - Temperature. *National Meterology Institute of Japan* [online]. Dostupné také z: <https://www.nmij.jp/english/library/units/temperature/>
7. NOVÁK, M. In: *Snímače teploty 1. - odporové termistorové* [online]. 7. 10. 2014. Dostupné také z: <http://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/6214/course/section/1271/Temperature01.pdf>
8. MAREŠ, I. L. In: *Teplota a její měření* [online]. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
9. LTD. T. I. Technical data sheet. In: *Micropik* [online]. Dostupné také z: <http://www.micropik.com/PDF/pt100.pdf>
10. MEJZLÍK, B. M. *Návrh a tvorba laboratorní úlohy s Peltierovým článkem*. Brno: VUT v Brně, 2009.
11. HYRŠ, J. *Měření teploty termočlánky*. Brno: VUT Brno, 2012.
12. *Nová stránka 0* [online]. Dostupné také z: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mttd.htm>
13. Snímače teploty. *Edumat* [online]. Dostupné také z: <http://www.edumat.cz/texty/teplota.pdf>
14. *Termistor* [online]. Dostupné také z: http://elektross.gjn.cz/soucastky/zadny_prechod/termistor.html
15. Polovodiče. *Skupina A* [online]. 2004. Dostupné také z: <http://elektross.gjn.cz/testy/test5.html>
16. *Je třeba měnit chladící kapalinu? Ano.* [online]. Dostupné také z: <http://autosalon.iprima.cz/clanky/je-treba-menit-chladici-kapalinu-ano>
17. [online]. Dostupné také z: <http://laser.zcu.cz/cz/opticke-vlastnosti/vlastnosti/emisivita>
18. BRÁNA, B. T. *Bezkontaktní metody měření teploty v ekologickém inženýrství*. Brno: VUT, 2010.

19. C, G. & J. I. In: *C, G, & J INC Heat Transfer* [online]. 28. březen. 2013. Dostupné také z: <http://www.cgj.com/2013/06/28/aluminum-vs-copper-brass-radiator-construction-differences/>
20. ZTV [ZTV]. Praha: Academia, 1984, č 4.
21. NOVÁK, M. In: *Snímače teplot 2 - Termočlánky* [online]. 14. 10. 2014. Dostupné také z: <http://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/6214/course/section/1271/Temperature02.pdf>
22. C, G. & J. I. CGJ. In: *Aluminum-vs-copper-brass-radiator-construction-differences* [online]. 28. 6. 2013. Dostupné také z: <http://www.cgj.com/2013/06/28/aluminum-vs-copper-brass-radiator-construction-differences/>