ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

Vliv výšky otopného tělesa na teplotní exponent

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PETR MACHAČ 11-BS-2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Machač** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **460009**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**

Studijní program: **Strojírenství**

Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv výšky otopného tělesa na teplotní exponent

Název bakalářské práce anglicky:

Influence of Radiator Height on Temperature Exponent

Pokyny pro vypracování:

Zabývejte se vlivem výšky otopného tělesa na změnu teplotního exponentu. V první, rešeršní, části práce rozeberte problematiku otopných těles a ustálené možnosti přepočtu jejich tepelného výkonu na jiné okrajové podmínky. Ve druhé části práce se věnujte experimentálnímu ověření předpokládaných teoretických závěrů, nejlépe na tepelném modulu deskového otopného tělesa typu 10 s různými konstrukčními výškami. V závěru diskutujte nepřesnost jaké se dopouštíme, uvažujeme - li v praktických výpočtech konstantní teplotní exponent pro daný typ otopného tělesa bez ohledu na jeho výšku.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Otopné plochy – otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. – 204 s. – ISBN 978-80-01-05943-2.
Bašta, J.: Otopné plochy – navrhování otopných těles. 27.2.2006. In: http://www.tzb-info.cz, internetový časopis oborů vytápění, vzduchotechnika, instalace, úspory energie.
Bašta, J.: Otopné plochy – přepočet tepelného výkonu I a II. 3. a 5.4.2006. In: http://www.tzb-info.cz, internetový časopis oborů vytápění, vzduchotechnika, instalace, úspory energie.
Bašta, J., Heis, V.: Strömungsfeld über Plattenheizkörpern. In: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, 5/2014. s. 32-34. ISSN 1436-5103.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24.4.2019
Datum převzetí zadání

Machač
Podpis studenta

CVUT-CZ-ZBP-2015.1

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Souhrn

Cílem bakalářské práce je ověřit vliv výšky otopného tělesa na teplotní exponent otopných těles. Provedl jsem experiment ve školních halových laboratořích na deskovém otopném tělese od výrobce Kdorado typ 10 o výškách 500, 600, 700 a 900 mm. Vyhodnocené výsledky jsem poté porovnal s katalogovými hodnotami firmy Korado a s teorií prof. Dr. Ulricha Hahna z Fachhochschule Dortmund.

Summary

The aim of the bachelor thesis is to verify the influence on the height of the radiator exponent. I conducted an experiment in school hall laboratories on a panel radiator made by Korado type 10 with heights of 500, 600, 700 and 900 mm. I compared the evaluated results with the Korado catalog values and theory of prof. Dr. Ulrich Hahn from Fachhochschule Dortmund.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Vliv výšky otopného tělesa na teplotní exponent“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 20.6.2019 Petr MACHAČ

……..

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za rady a připomínky, které mi velmi pomohly při tvorbě této práce.

Dále bych rád poděkoval Ing. Jindřichovi Boháčovi za uvedení do problematiky měření otopných těles.

Obsah

Seznam značení 7
1. Úvod 10
2. Druhy sdílení tepla 11
2.1 Sdílení tepla konvekcí 11
2.2 Sdílení tepla vedením 12
2.2.1 Rovinná stěna 12
2.2.2 Válcová stěna 13
2.3 Sílení tepla sáláním 13
3. Druhy otopných těles 18
3.1 Desková otopná tělesa 18
3.1.1 Dělení deskových otopných těles 19
3.2 Článková otopná tělesa 19
3.3 Trubková otopná tělesa 19
3.4 Konvektory 21
4. Návrh a výpočet otopných těles 21
4.1 Bilanční návrh otopného tělesa 21
4.2 Klasický návrh otopného tělesa 23
4.3 Přepočet tepelných výkonů otopných těles 25
5. Teplotní exponent 28
5.1 Experiment 28
5.1.1 Nepřesnost měření 33
6. Závěr 34
7. Seznam použité literatury 36
8. Seznam příloh 37

SEZNAM ZNAČENÍ

E	[J]	vyzařovaná a pohlcovaná energie
H	[m]	výška otopného tělesa
H_{ok}	[m]	výška okna
L_{ok}	[m]	délka okna
L_{ot}	[m]	délka otopného tělesa
$P_{čl}$	[-]	počet článků
$\dot{Q}_c$	[W]	celkový tepelný tok dodávaný otopným tělesem
$\dot{Q}_{čl}$	[W/článek]	tepelný výkon článku otopného tělesa
$\dot{Q}_d$	[W]	tepelný tok sdílený vedením rovinnou stěnou
$\dot{Q}_k$	[W]	tepelný tok sdílený konvekcí
Q_m	[W/m]	tepelný modul
Q_n	[W]	tepelný výkon za jmenovitých podmínek
Q_{ot}	[W]	tepelný výkon otopného tělesa
$\dot{Q}_s$	[W]	tepelný tok sdílený sáláním
Q_{ztr}	[W]	ztrátový tepelný výkon
$\dot{Q}_\tau$	[W]	tepelný tok sdílený vedením válcovou stěnou
S	[m^2]	plocha stěny
S_v	[m^2]	plocha otopného tělesa v kontaktu s okolním vzduchem
S_{vn}	[m^2]	jmenovitá přestupní plocha
S_w	[m^2]	plocha otopného tělesa v kontaktu s vodou
T	[K]	absolutní teplota povrchu plochy
U_c	[W/m^2.K]	celkový součinitel prostupu tepla

U_n	[W/m^2.K]	součinitel prostupu tepla za jmenovitých podmínek
U_{ok}	[W/m^2.K]	součinitel prostupu tepla okna
c_0	[-]	součinitel sálání absolutně černého tělesa $c_0 = 10^8 \cdot \sigma$
e	[-]	emisivita
$f_{\Delta t}$	[-]	opravný součinitel na teplotní rozdíl
f_n	[-]	opravný součinitel na počet článků
f_o	[-]	opravný součinitel na úpravu okolí
f_p	[-]	opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru
f_x	[-]	opravný součinitel na připojení otopného tělesa
n	[-]	teplotní exponent otopného tělesa
q	[W/m^2]	měrný telený tok
t_1-t_2	[K]	rozdíl teplot mezi místem 1(otopné těleso) a 2(vytápěný pros
t_e	[K]	venkovní oblastní výpočtová teplota
t_i	[K]	teplota okolního vzduchu
$t_{i,n}$	[K]	jmenovitá teplota okolního vzduchu
t_{ot}	[m]	teplota povrchu otopného tělesa
t_{w1}	[K]	teplota vody na vstupu do otopného tělesa
t_{w2}	[K]	teplota vody na výstupu z otopného tělesa
t_{wm}	[K]	střední teplota vody v otopném tělese
$t_{ws,n}$	[K]	střední jmenovitá teplota vody v otopném tělese
$u_{B,T}$	[-]	chyba odečtu teplot z teploměrů
$u_{B,TE}$	[-]	nejistota teplotních čidel
u_c	[-]	kombinovaná nejistota měření

Δt	[K]	rozdíl provozních teplot
$\Delta t_{\ln}$	[K]	logaritmický rozdíl teplot
Δt_{n}	[K]	rozdíl jmenovitých teplot
α	[W/m^2.K]	součinitel přestupu tepla
α_{c}	[W/m^2.K]	celkový součinitel přestupu tepla
$\alpha_{i,ok}$	[W/m^2.K]	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně okna
α_k	[W/m^2.K]	součinitel přestupu tepla konvekcí
α_s	[W/m^2.K]	součinitel přestupu tepla sáláním
α_v	[W/m^2.K]	součinitel přestupu tepla vzduchu
α_w	[W/m^2.K]	součinitel přestupu tepla vody
λ	[W/m.K]	tepelná vodivost
σ	[W/m^{2}K^4]	Steffanova-Boltzmannova konstanta $\sigma = 5{,}6705 \cdot 10^{-8}$
τ	[s]	čas

1. ÚVOD

Bakalářská práce se v první části zabývá problematikou otopných těles a ustálené možnosti přepočtu jejich tepelného výkonu na jiné okrajové podmínky. Druhá část práce je experimentální a zabývá se teplotním exponentem otopných těles.

Tento experiment řeší otázku, jaký má vliv výška otopného tělesa na teplotní exponent a jaké se dopouštíme chyby uvažujeme-li v praktických výpočtech konstantní teplotní exponent pro daný typ otopného tělesa bez ohledu na jeho výšku. Pro řešení otázky byly nejdříve stanoveny předpoklady typu závislosti teplotního exponentu na výšce otopného tělesa. Tyto předpoklady byly ověřeny právě pomocí experimentálního měření.

2. DRUHY SDÍLENÍ TEPLA

Sdílení tepla se může uskutečnit třemi odlišnými způsoby: sáláním, konvekcí a vedením. Výměnu tepla z teplonosné látky zprostředkovává otopné těleso postupně těmito druhy sdílení tepla. Nejprve dojde přenosu tepla na vnitřní straně otopného tělesa (na straně vody) prouděním, dále nastává sdílení tepla vedením přes tloušťku stěny tělesa a konečně na vnější straně tělesa je teplo sdíleno do okolního (vytápěného) prostoru sáláním. [1]

2.1 Sdílení tepla konvekcí

Sdílení tepla konvekcí dělíme na dva základní typy. Při volném proudění je pohyb částic způsoben pouze rozdíly v hustotě látky, vyvolanými různou teplotou. U nuceného proudění je pohybu docíleno rozdílem tlaků, který je uměle vytvořen například čerpadlem. Tento způsob se využívá pro rychlejší vyrovnání teplotních rozdílů v tekutině. [1], [7]

Hustotu tepelného toku mezi proudící tekutinou a okolím lze definovat pomocí Newtonova vztahu [5]:

$$q = \alpha \cdot (t_1 - t_2), \tag{1.1}$$

kde je

q	měrný tepelný tok [W/m^2],
α	součinitel přestupu tepla[W/m^2],
$(t_1\text{-}t_2)$	rozdíl teplot mezi místem 1 (otopné těleso) a 2 (vytápěný prostor) [K].

Celkový tepelný tok dodávaný otopným tělesem do vytápěného prostoru je [5]:

$$\dot{Q}_c = U_c \cdot S_V \cdot (t_{ws} - t_i), \tag{1.2}$$

kde je

t_{ws}	střední teplota vody v otopném tělese [°C],
t_i	teplota okolního vzduchu [°C],
U_c	celkový součinitel prostupu tepla [W/m^{2}K],
S_v	plocha v kontaktu se vzduchem [m].

Budeme-li předpokládat, že při porovnání ploch otopného tělesa platí $S_L >> S_W$, pak součinitel prostupu tepla definujeme jako [5]:

$$U_c = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_V}+\frac{S_V}{S_W}\cdot\left(\frac{1}{\alpha_W}+\frac{\delta}{\lambda}\right)} \quad \left[\frac{W}{m^2K}\right]. \tag{1.3}$$

S_w je plocha v kontaktu s vodou a α_w je součinitel přestupu tepla na straně vody. Součinitel prostupu tepla U_c je závislý na velkosti přestupní plochy. Charakterizuje tepelný tok mezi teplonosnou látkou na vnitřní straně a vytápěným prostorem a kvalitu přestupu tepla na obou plochách tělesa, kde dochází k přestupu.

Pro stavení celkového součinitele prostupu tepla, který charakterizuje konvekční i sálavou složku předaného tepla, použijeme vztah [1], [5], [7]:

$$U_c = \frac{\dot{Q}_c}{S_V\cdot\Delta t} = \frac{\dot{Q}_S+\dot{Q}_k}{S_V\cdot\Delta t}. \tag{1.3}$$

2.2 Sdílení tepla vedením

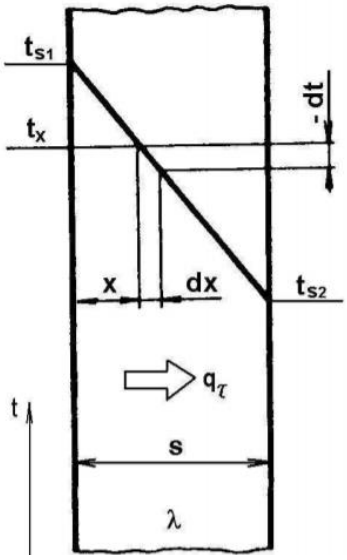
2.2.1 Rovinná stěna

Pro rovinnou stěnu s povrchovými teplotami t_{s1} a t_{s2} (konstantními po celých plochách stěn), tloušťce s a ploše S, můžeme vyjádřit celkové množství tepla, které se sdílí vedením plochou S za čas τ stěnou jako [5], [6]:

$$Q_d = q\cdot S\cdot\tau = \frac{\lambda}{s}\cdot(t_{s1}-t_{s2})\cdot S\cdot\tau\,. \qquad [J] \tag{1.4}$$

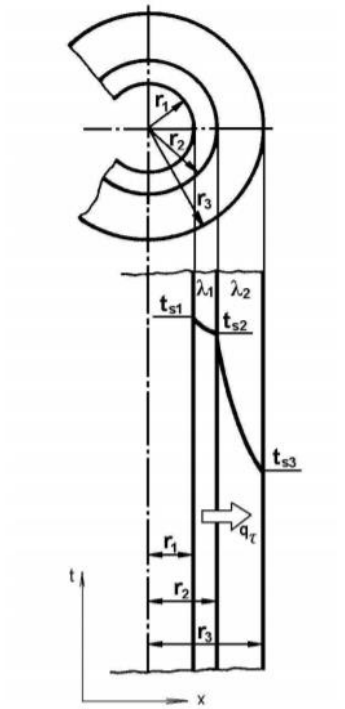
Kdyby byla rovinná stěna složená z „n“ vrstev o tloušťkách „s_i“ a tepelných vodivostech λ_i, je tepelná tok dán jako [1], [5]:

$$Q_d = q\cdot S\cdot\tau = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n}\frac{s_i}{\lambda_i}}\cdot\left(t_{s1}-t_{s,n+1}\right)\cdot S\cdot\tau\,. \quad [J] \tag{1.5}$$



Obrázek 2.1 Sdílení tepla rovinnou stěnou vedením [5]

2.2.2 Válcová stěna



Obrázek 2.2 Sdílení tepla válcovou stěnou vedením [5]

Pro stanovení tepelného toku vedením válcovou stěnou předpokládáme válcovou trubku o délce L, poloměry r_1 (vnitřní) a r_2 (vnější) a pro trubku platí λ = konst., $r_1 < r < r_2$; $t_{s1} > t_{s2}$. Teploty povrchu trubky t_{s1} a t_{s2} jsou konstantní po celých plochách stěn. Teplota se mění pouze v radiálním směru a teplotní pole je jednorozměrné. Pak tedy rovnice pro stanovení tepelného toku vedením tepla válcovou stěnou je [1], [5], [6]:

$$Q_\tau = \frac{2\cdot\pi\cdot\lambda\cdot L}{\ln\frac{r_2}{r_1}}\cdot(t_{s1} - t_{s2}). \qquad [W] \qquad (1.6)$$

Kdyby byla válcová stěna složená z „n“ vrstev o poloměrech $r_{i+1} > r_i$ a tepelných vodivostech λ_i, je tepelná tok dán jako[5]:

$$Q_\tau = \frac{2\cdot\pi\cdot L}{\sum_{i=1}^{i=n}\frac{1}{\lambda_i}\ln\frac{r_{i+1}}{r_i}}\cdot\left(t_{s1} - t_{s,n+1}\right). \qquad [W] \qquad (1.7)$$

2.3 Sílení tepla sáláním

Se šířením tepla sáláním jsou spojeny dva pojmy – emise a absorpce. Emise označuje vnik tepelného záření z tepelné energie. Naopak absorpce přeměnu záření v tepelnou energii. Vyzářená energie nezávisí na vlastnostech okolí, ale na vlastnostech zářiče jako teplota zářiče a vlastnosti povrchové plochy. [5]

Vyzařování a pohlcování energie se děje jen po celistvých dávkách energie, které mají velikost

$$E = h\cdot f = h\cdot\frac{v_0}{\lambda}, \qquad [J] \qquad (1.8)$$

kde je

h	Planckova kvantová konstanta $6{,}624\cdot^{10\text{-}34}$ [J·s],
v_0	rychlost světla ve vakuu = $300\cdot10^6$ [m/s],
λ	vlnová délka [m],
f	frekvence [1/s].

Derivací Planckova zákona podle vlnové délky λ dostaneme vztah

$$\lambda \cdot T = C_3, \tag{1.9}$$

kde je

λ	vlnová délka [m],
T	absolutní teplota [K],
C_3	konstanta = $2{,}878 \cdot 10^{-3}$ [m·K].

Výhodnější pro praktické využití je vyjádřit celkový zářivý tok absolutně černého tělesa. Kde nám poslouží Stefanův-Boltzmannův zákon pro vyjádření tepelného výkonu q vyzářený 1 m^2 absolutně černého tělesa [5], [6]:

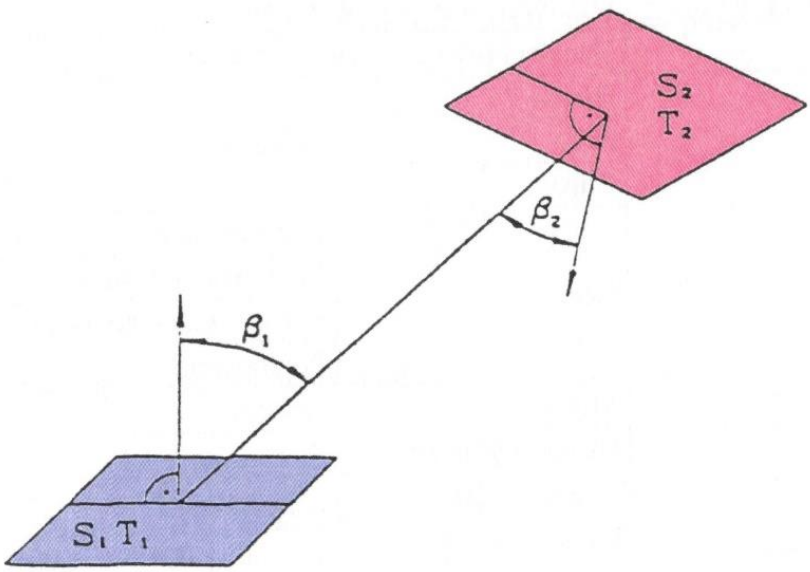
$$\dot{q} = c_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4, \tag{1.10}$$

kde je

$\dot{q}$	měrný tepelný výkon [W/m^2],
c_0	součinitel sálání absolutně černého tělesa $c_0 = 10^8 \cdot \sigma$,
σ	Steffanova-Boltzmannova konstanta $\sigma = 5{,}6705 \cdot 10^{-8}$ [W/m^2K^4],
T	absolutní teplota povrchu plochy [K].

Emisivita (e) neboli poměrná zářivost vyjadřuje schopnost tělesa vyzařovat teplo. Je to bezrozměrná veličina určená poměrem celkového zářivého toku q vyzářený daným tělesem a zářivého toku, který by vyzářilo absolutně černé těleso q_0. [5]

$$e = \frac{q}{q_0} \tag{1.11}$$



Obr. 2.3 - Geometrické parametry mezi dvěma libovolnými plochami v prostoru [5]

Emisivita je rozhodující vlastnost přenosu tepla sáláním. U všech těles, kromě ideálního „šedého“ tělesa, závisí na vlnové délce. V praxi jsou ale vyvinuty speciální barvy pro nátěr otopných těles. Tyto barvy zajišťují vysokou emisivity v nezávislosti na barvě. Ve výpočtech pokládáme tělesa pro zjednodušení za šedá. Pak tedy můžeme vyjádřit tepelný tok mezi dvěma plochami, které jsou umístěné libovolně v prostoru, vztahem [5]:

$$Q_s = \frac{e_1 e_2}{\pi} \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right) \cdot \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{\cos\beta_1 \cdot \cos\beta_2}{r^2} \cdot dS_1 dS_2, \qquad (1.12)$$

kde je

Q_s	sdílený tepelný tok mezi dvěma plochami [W],
e_1, e_2	emisivity ploch [-],
S_1, S_2	velikost ploch [m^2],
T_1, T_2	absolutní teplotu povrchů ploch [K].

Z dále uvedených hodnot je patrné, že při výběru vhodného materiálu nebo při volbě povrchové úpravy (nátěru) z hlediska zlepšení sálavého účinku bychom se měli vyhnout použití barvám s příměsí kovových pigmentů a používat barvy určiné pro otopná tělesa. [5]

Tab. 2.1 Emisivita různých materiálů [5]

Materiál / Povrch			emisivita *e*
Technické povrchy	Absolutně černé těleso		0,02 až 0,05
	Ušlechtilý kov, vysokého lesku		0,025 až 0,07
	Neušlechtilý kov, vysokého lesku		0,025 až 0,07
Kovy	Hliník	Leštěný	0,05
	Nikl		0,05
	Chrom		0,07
	Ocel	Čistě leptaná	0,16
		Pocínovaná/Leštěná	0,06
		Surová, valcovaná s okujemi	0,06
		Pocínovaná	0,75 až 0,80
	Mosaz	Leštěná	0,05
Povlakování	Hliníkový bronz		0,35 až 0,45
	Emailový lak	Bílá	0,86 až 0,97
	Olejová barva		0,9 až 0,98
	Lak	Černý, lesklý	0,89
		Obecně	0,86 až 0,97
	Lak na otopná tělesa	Jakékoli barvy	0,92 až 0,94
Ostatní povrchy	Obkladačky	Bílé	0,88
	Šamot		0,6 až 0,72
	Omítka		0,92 až 0,95
	Papír		0,89
	Tapety		0,89
	Lidská kůže		0,83
	Saze		0,83

Při výpočtu tepelného toku v přenosu tepla sáláním je tedy důležité určit reálné vlastnosti teplosměnných povrchů, mezi kterými dochází k tepelnému toku. Po určení vhodných přepokladů o vlastnostech těchto povrchů můžeme zavést čistě geometrický faktor poměr osálání [5]:

$$\varphi_{12} = \frac{1}{\pi \cdot S_1} \cdot \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{\cos\beta_1 \cdot \cos\beta_2}{r^2} \cdot dS_1 dS_2. \tag{1.13}$$

Celková hodnota poměru osálání bude jiná u článkových otopných těles, protože dochází k tepelnému toku sáláním vzájemně mezi články. Tepelný tok sáláním bude u článkových otopných těles záviset také na počtu článků. [5]

Po dosazení faktoru osálání do předchozí rovnice a použití součinitele přestupu tepla sáláním [W/m^{2}K], dostaneme rovnici ve tvaru [5]:

$$Q_s = e_1 \cdot e_2 \cdot c_0 \cdot S_1 \left(\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right) \cdot \varphi_{12} = \alpha_s \cdot S_1 \cdot (t_1 - t_2). \tag{1.14}$$

Součinitel přestupu tepla sáláním můžeme vyjádřit pomocí celkového součinitele přestupu tepla a součinitele přestupu tepla konvekcí. [5]

$$\alpha_s = \alpha_c - \alpha_k \ [\mathrm{W/m^2K}] \tag{1.15}$$

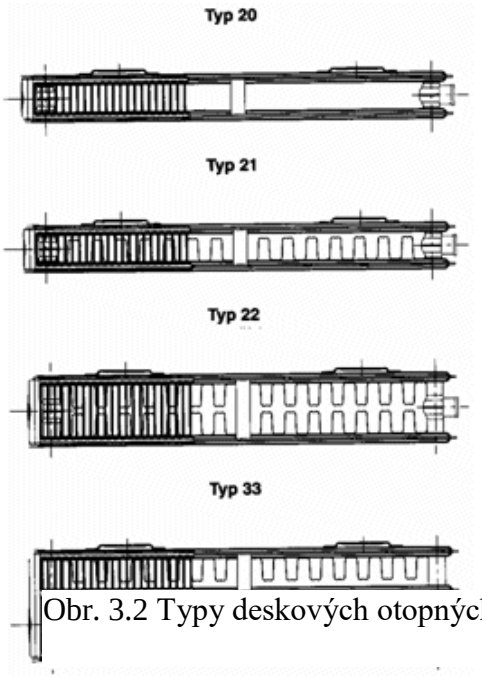
3. DRUHY OTOPNÝCH TĚLES

3.1 Desková otopná tělesa

Deskové otopné těleso je souvislá (z jednoho kusu) deska. Jedná se o nejrozšířenější typ otopného tělesa. Deskové těleso, které připomíná tvar desky, ale je sestaveno z článků, nemůžeme pokládat za deskové otopné těleso. [4], [5]

Obr. 3.1 Desková otopná tělesa [10]

Jak je z obrázku patrné, tělesa jsou zakryta z boku bočnicí a shora výdechovou mřížkou. Tělesa jsou takto zakrytá už z výroby. Uvnitř tělesa jsou dvě komory z ocelového plechu. První část ve směru šířky otopného tělesa je horní rozvodná komora a za ní je sběrná komora. [4], [5]



Obr. 3.2 Typy deskových otopných těles [5]

3.1.1 Dělení deskových otopných těles

- Jednoduchá
- Zdvojená
- Ztrojená

Zdvojená a ztrojená otopná tělesa vznikla za účelem zvětšení přestupní plochy tak, aby se zvýšil jejich tepelný modul a vyronala se tak článkovým otopným tělesům. [4], [5]

3.2 Článková otopná tělesa

Tento druh otopných těles, jak už název napovídá, je složen z jednotlivých článků, které jsou následně spojovány svařováním nebo vsuvkami s pravolevým závitem, čímž utvoří článkové otopné těleso. Počet článků je určen výkonem, který od otopného tělesa v daném prostoru požadujeme. Nejčastějšími materiály pro výrobu otopných těles jsou slitiny hliníku, ocelový plech a litina. [4], [5]

Článková otopná tělesa mají oproti deskovým otopným tělesů větší tepelný modul díky tomu, že mají větší přestupní plochu rozloženou převážně do hloubky otopného tělesa a díky žebrům. [4], [5]

3.3 Trubková otopná tělesa

S tímto druhem se nejčastěji setkáme v koupelnách. Ve srovnání s deskovými a článkovými otopnými tělesy mají daleko menší účinnost. Navíc v koupelnách bývají často zakryta vysoušenými textiliemi. [11]

Trubková otopná tělesa se nejčastěji instalují kvůli doplňkovému vytápění místnosti nebo právě pro vysoušení ručníků či mokrého oblečení a také jako funkční doplněk místnosti. [11]

Jedná se o tělesa, která mají rozvodné a sběrné komory navzájem propojené řadou trubek menšího průřezu. Spojovací potrubí jsou různého tvaru a uspořádání. [11]

Druhy uspořádání spojovacího potrubí:

- Meandr
- Registr s vodorovnými trubkami
- Registr se svislými trubkami

Obr. 3.3 Trubkové otopné těleso s vodorovným spojovacím potrubím [11]

3.4 Konvektory

Konvektory jsou druhem otopných těles, které sdílí teplo do vytápěného prosotru převážně konvekcí. Konvektor lze popsat jako skříň, která je z vrchu opatřená výdechovou mřížkou. V této skříni dochází k usměrnění proudění vzduchu přes výměník, a tím i k předávání tepla. Tímto způsobou dochází v podstatě ke komínovému efektu, tedy k přirozenému vztalku vzduchu. [4], [10]

Nejčastějším druhem konvekturu je podlahový konvektor, který je umístěný v úrovni podlahy. Dalším typem je například konvektorová lavice. [4], [10]

Obr. 3.4 Podlahový konvektor [10]

4. NÁVRH A VÝPOČET OTOPNÝCH TĚLES

4.1 Bilanční návrh otopného tělesa

Bilanční návrh otopného tělesa je novější metoda návrhu otopných těles, která zahrnuje prvky ovlivňující tepelnou pohodu. Jako je například délka otopného tělesa a sálavá složka chladného okna. Metoda návrhu spočívá v těchto bodech:

- Navržení umístění otopného tělesa pod okna s tím, že délka tělesa je větší nebo shodná s délkou okna.

  $L \geq L_{OK}$

  Touto podmínkou se zabrání tomu, že se padající chladné proudy dostanou k podlaze a vytvoří tak tepelnou nepohodu.

Kompenzace sálání chladného okna a padajících chladných proudů určením střední teploty tělesa, kterou pak lze vyjádřit z následující rovnice (platí-li rovnost délek okna L_{ok} s délkou otopného tělesa L_{ot}).

$$H \cdot (t_{ot} - t_i) \geq H_{ok} \cdot (t_i - t_{ok}) \tag{3.1}$$

Tato kompenzace říká, jaký rozdíl musí být mezi povrchovou teplotou otopného tělesa a teplotou vytápěného prostoru s ohledem na výšku tělesa, když má okno výšku H_{ok} a teplota povrchu okna je t_{ok}.

- Volba ochlazení vody v tělese t_{w1}/t_{w2} s uvažováním dříve vypočtené střední teploty tělesa $t_{ot} \approx t_{w2}$.
- Volba hloubky otopného tělesa pro pokrytí tepelné ztráty ve vytápěném prostoru

$$\dot{Q_{OT}} \geq \dot{Q}. \tag{3.2}$$

Při dimenzování otopného tělesa by se tedy postupovalo takto [5]:

1. Délka otopného tělesa musí být větší nebo rovna délce okna. $L \geq L_{OK}$
2. Ze vztahu

$$H \cdot (t_{ot} - t_i) \geq H_{ok} \cdot (t_i - t_{ok}), \tag{3.3}$$

se vyjádří t_{ot} a tím vyjde vztah

$$t_{ot} \geq t_i \cdot \left(1 + \frac{H_{ok}}{H_{ot}}\right) - t_{ok} \cdot \frac{H_{ok}}{H_{ot}}, \tag{3.4}$$

kde je

t_i	vnitřní výpočtová teplota [°C],
t_{ok}	povrchová teplota okna na vnitřní straně [°C],
H_{ok}	výška okna včetně rámu [m],
H_{ot}	výška otopného tělesa [m].

Neznámá povrchová teplota okna se určí úpravou rovnice rovnosti prostupu a přestupu tepla na vnitřní straně okna (úprava rovnice (3.5) na (3.6)). [5]

$$U_{ok} \cdot (t_i - t_e) = \alpha_{i,ok} \cdot (t_i - t_{ok}), \tag{3.5}$$

$$t_{ok} = t_i \cdot \left(1 - \frac{U_{ok}}{\alpha_{i,ok}}\right) + t_e \cdot \frac{k_{ok}}{\alpha_{i,ok}}, \tag{3.6}$$

kde je

t_e	venkovní oblastní výpočtová teplota [°C],
$\alpha_{i,ok}$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně okna [W/m^{2}K] ($\alpha_{i,ok}$ = 8 [W/m^{2}K]),
U_{ok}	výrobcem udávaný součinitel prostupu tepla okna [W/m^{2}K].

Díky vypočtené povrchové teplotě lze vypočítat i teplotu otopného tělesa $t_{ot.}$ Pak zvolíme teplotní spát na otopném tělese přes předpokládání přibližné rovnosti teploty otopného tělesa a teploty vratné vody $t_{ot} \approx t_{w2}$.

3. A konečně se použije podmínka, že teplený výkon otopného tělesa je větší nebo roven tepelné ztrátě místnosti

$$\dot{Q_{OT}} \geq \dot{Q} \tag{3.7}$$

Protože výška otopného tělesa H_{ot} i jeho délka L_{ot} jsou již stanoveny, je jediným parametrem pro stanovení požadovaného výkonu otopného tělesa jeho hloubka. U deskových těles volbou počtu desek (typu). U článkových otopných těles pak volíme počet sloupků (hloubku článku). [5]

4.2 Klasický návrh otopného tělesa

Druhým způsobem pro návrh otopných těles byl návrh, který vychází z volby teplotního spádu na tělese. Návrh spočívá v těchto krocích [5]:

- Volba ochlazení teplonosné látky v tělese t_{w1}/t_{w2} (volba teplotního spádu)
- Přednostní umístění tělesa pod okno
- Pokrytí tepelné ztráty $Q_{ot} \geq Q$ (tepelné toky)

Návrh nezahrnuje více důležitých faktorů, jako je například délka otopného tělesa vůči oknu, pod kterým je umístěné a vliv chladného povrchu okna. V tomto návrhu je tedy jediná podmínka, kterou je nutno při výpočtu dodržet a to konkrétně podmínka, která je ve třetím bodě návhu uvedená výše. [5]

Základní výpočet závisí na tom, jaký údaj udává výrobce o otopných tělesech.

Výrobce udává [5]:

- součinitel prostupu tepla otopného tělesa U [W/m^{2}K]. Pak přes výpočet velikosti přestupní plochy S_L otopného tělesa určíme z tabulek nejbližší vyšší velikost přestupní plochy za daného rozdílu teplot Δt.

  $$S_V = \frac{\dot{Q}}{U_c \cdot \Delta t} \quad [\mathrm{m}^2] \tag{3.8}$$

- tepelný výkon q [W/m^2]. Pak podobně jako v předchodzím případě vypočteme velikost přestupní plochy otopného tělesa a v katalogu výrobce vybereme nejbližší vyšší hodnotu velikosti přestupní polochy nebo nejbližší vyšší počet článků.

  $$S_V = \frac{\dot{Q}}{q} \quad [\mathrm{m}^2] \tag{3.9}$$

- tepelný modul Q_M [W/m], který může být udáván i jako výkon jednoho článku [W/článek]. Při znalosti tepelného modulu udávaného jako výkon jednoho článku, lze vypočítat počet článků přes tepelnou ztrátu a vybere se nejbližší vyšší počet článků.

  Je-li tepelný modul stanoven na jednotku délky otopného tělesa, pak se přes tepelnou ztrátu vypočte délka L a vybere se v katalogu nejbližší vyšší délka tělesa zvoleného typu.

  Tepelný modul je uváděn přes výkon jednoho článku:

  $$p_{čl} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_M} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{čl}} \; [-] \tag{3.10}$$

  Tepelný modul je uváděn přes jednotku délky:

  $$L = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_M} \quad [\mathrm{m}] \tag{3.11}$$

  tepelný výkon tělesa Q_{OT} [W]. V tomto případě vybyreme z katalogu otopné těleso, které má shodný nebo vyšší tepelný výkon (než jsou tepelné ztráty ve vytápěném prostoru) při daném rozdílu teplot.

  $$\dot{Q}_{OT} \geq \dot{Q}_{ztr} \quad [\mathrm{W}] \tag{3.12}$$

4.3 Přepočet tepelných výkonů otopných těles

Při vybírání vhodného otopného tělesa pro instalaci do objektu, který chceme tělesem vytápět, je potřeba vědět, v jakých podmínkách bude provozováno. Otopná tělesa volíme do objektu tak, aby jejich tepelný výkon pokryl tepelné ztráty objektu a vytvořila tepelnou pohodu pro obyvatele. Výkony otopných těles jsou výrobci udávany v katalozích pro normované podmínky. Například 75/45/20 °C (teplota na vstupu do otopného tělesa/teplota na výstupu otopného tělesa/teplota okolí tělesa). [5], [8]

Chceme-li, aby otopné těleso pracovalo za jiných podmínek, než jsou podmínky jmenovité (normované - za kterých byl tepelný výkon otopného tělesa měřen) uvedené v katalogu, je potřeba tepelný výkon tělesa přepočítat na námi požadované podmínky provozování. K tomuto přepočtu se dostane přes následující vztahy. [5], [8]

- Tepelný výkon otopného tělesa

$$\dot{Q}_{OT} = U \cdot S_V \cdot (t_{ws} - t_i), \tag{3.13}$$

kde je

S_V	teplosměnná plocha na straně vzduchu [m],
t_{ws}	střední teplota vody [°C],
t_i	teplota okolního vzduch [°C],
U_c	součinitel prostupu tepla stěnou otopného tělesa [W/m^{2}K].

- Velikost změny výkonu způsebonou změněním podmínek z jmenovitých na podmínky reálného prostředí, se vyjádří poměrem

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{U_c \cdot S_V \cdot (t_{ws} - t_i)}{U_N \cdot S_{VN} \cdot (t_{ws,N} t_{i,N})}. \tag{3.14}$$

- Protože u přepočtu tepelného výkonu otopného tělesa měníme pouze provzní podmínky, a nikoliv jeho velikost přestupní plochy, takže $S_V = S_{VN}$. Takže poměr výkonů se dá popsat vztahem

$$\frac{Q}{Q_N} = \left[\frac{(t_{ws} - t_i)}{(t_{ws,N} - t_{i,N})}\right]^n = \left[\frac{\Delta t}{\Delta t_N}\right]^n, \tag{3.15}$$

kde tedy změna tepelného výkonu otpného tělsa závisí pouze na změně teplnotních podmínek.

Na změně tepelného výkonu otopného tělesa se podílí množství vlivů. Skutešný tepelný výkon je možné vyjádřit přes jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa a právě pomocí opravných součinitelů na jednotlivé vlivy. [5]

$$\dot{Q}_{OT} = \dot{Q}_N \cdot f_{\Delta t} \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \,. \tag{3.16}$$

$\dot{Q}_{OT}$	skutečný tepelný výkon tělesa [W],
Q_N	jmenovitý tepelný výkon tělesa [W],
$f_{\Delta t}$	opravný součinitel na teplotní rozdíl [-],
f_x	opravný součinitel na připojení otopného tělesa [-],
f_o	opravný součinitel na úpravu okolí [-],
f_n	opravný součinitel na počet článků [-],
f_p	opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru [-].

Nevhodně zvolené napojení otopného tělesa může mít za následek pokles tepelného výklesu otopného tělesa na 78 % oproti výkonnostně nejvhodnějšímu připojení. [5]

Opravný součinitel na úpravu okolí zahrnuje možné zakrytí otopného tělesa například parapetem. Zakrytím otopného tělesa se potlačí jeho sálavá složka a jeho výkon se tak může snížit i o více jak 15 %. [5]

U článkových otopných těles je zaveden opravný součinitel na počet článků. Tento opravný součinitel zohledňuje to, že výkon článkových těles je měřen pro 10 článků a výkon jednoho článku vychází z podělení toho výkonu deseti, a jeden článek má jiné podmínky proudění a sdílení tepla, než má větší počet článků. [5]

Umístění otopného tělesa hraje ve výkonu také podstatnou roli, protože když je otopné těleso umístěno například na druhou stranu místnosti naproti oknu, rázem se sníží jeho výkon o 10 % oproti tomu, když těleso umístíme přímo pod okno. Toto zohleďuje právě opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru. [5]

Pokud se deskové otopné těleso správně (nejvýhodněji pro tepelný výkon) umístí, napojí a nebude v objektu ničím zakryto, pak jsou opravné součinitelé na tyto vlivy rovny jedné a nemají vliv na přepočet výkonu. Jediným opravným součinitelem, který tak ovlivní výpočet tepelného výkonu otopného tělesa, je opravný součinitel na teplotní rozdíl. [5]

Opravný součinitel na teplotní rozdíl zahrnuje výpočet teplotního podílového součinitele *c*. [5]

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i}, \tag{3.17}$$

kde je

c	teplotní podílový součinitel [-],
t_{w1}	teplota vody na vstupu do otopného tělesa [°C],
t_{w2}	teplota vody na výstupu z otopného tělesa [°C],
t_i	teplota ve vytápěném objektu [°C].

Výpočet opravného součinitele na rozdíl teplot je prvním krokem, od kterého se odvíjí postup výpočtu. Postupuje se dvěma rozdílnými způsoby podle toho, jestli teplotní podílový součinitel *c* vyjde $c \geq 0{,}7$ nebo $c < 0{,}7$. [5]

a) $c \geq 0{,}7$

V tomto případě se rozdíl skutečných teplot určí aritmeticky vztahem

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i, \tag{3.18}$$

který se poté dosadí do rovnice

$$Q = Q_N \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N}\right)^n = Q_N \cdot f_{\Delta t}, \tag{3.19}$$

kde je

n	teplotní exponent otopného tělesa [-].

Opravný součinitel na teplotní rozdíl je pak určen vztahem

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N}\right)^n. \tag{3.20}$$

b) $c < 0{,}7$

Pro tento případ platí, že se rozdíl teplot určí logaritmickým vztahem

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln\frac{1}{c}} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln\frac{t_{w1} - t_{wi}}{t_{w2} - t_i}}. \tag{3.21}$$

Následně jako v případě za a) se Δt_{ln} dosadí do vztahu pro přepočet na skutečný výkon otopného tělesa [5]

$$Q = Q_N \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_{ln}}\right)^n = Q_N \cdot f_{\Delta t,ln}. \tag{3.22}$$

5. TEPLOTNÍ EXPONENT

Za určitých podmínek je jediným opravným součinitelem, který ovlivní výpočet skutečného tepelného výkonu otopného tělesa, opravný součinitel na teplotní rozdíl. Tento opravný součinitel závisí na jmenovitých a skutečných teplotních podmínkách, typu otopného tělesa a průtoku. Na typu otopného tělesa a průtoku proto, že teplotní exponent *n*, kterým je umocněn podíl rozdílů teplot, má velikost právě podle druhu otopného tělesa, průtoku a teplot.

Že teplotní exponent závisí na těchto třech skutečnostech, vychází z toho, že když v logaritmických souřadnicích zobrazíme například čtyři výkony jednoho druhu otopného tělesa v závislosti na rozdílu teplot a těmito body proložíme přímku, tak směrnice bude hodnota právě teplotního exponentu *n*. [5]

Při výpočtech se teplotní exponent uvažuje jako konstantní a pro příslušná otopná tělesa přibližně v těchto hodnotách [5]:

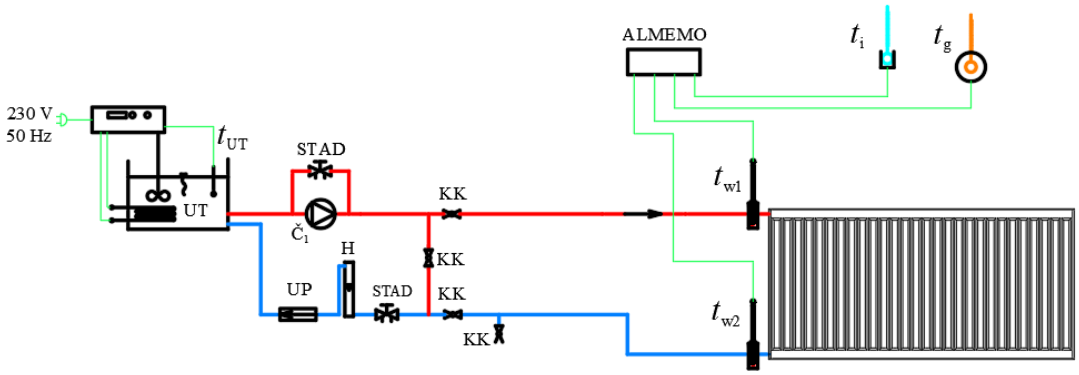
Podlahová otopná plocha	*n = 1,10*
Desková otopná plocha	*n = 1,26 až 1,33*
Trubková koupelnová otopná tělesa	*n = 1,20 až 1,30*
Konvektory bez ventilátorem	*n = 1,30 až 1,50*
Konvektory s ventilátorem	*n = 1,05 až 1,20*

Teplotní exponent je určen experimentálně na základě měření podle normy ČSN EN 442. Kromě již zmíněných pracovních podmínek a vlastností otopného tělesa, je teplotní exponent závislý také na výšce otopného tělesa. [5]

5.1 Experiment

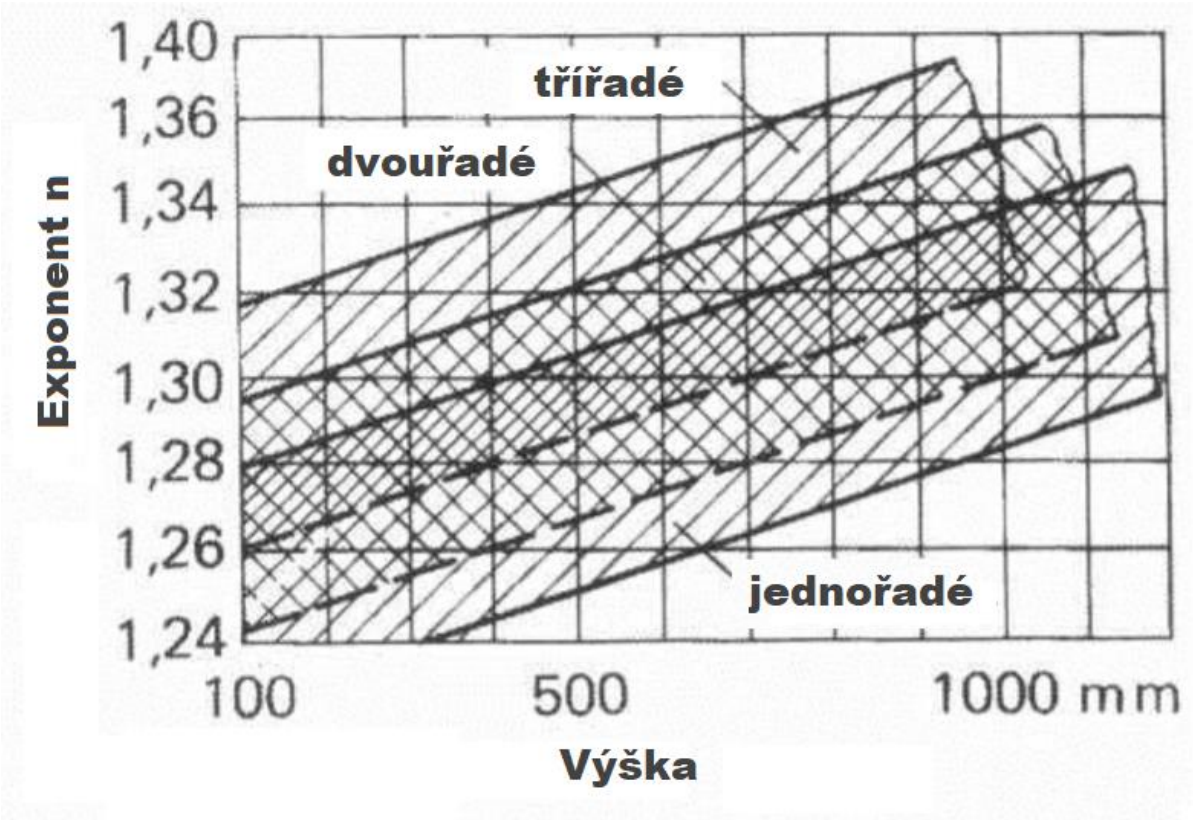
Na toto téma jsem provedl experiment ve školních halových laboratořích. Měření bylo provedeno na deskových otopných tělesech typu 10 o čtyřech různých výškách od výrobce Korado. Výšky těchno otopných těles byly 500, 600, 700 a 900 mm. Různé výšky

byly zvoleny právě proto, aby se dal posoudit vliv výšky otopného tělesa ne teplotní exponent. Otopné těleso bylo vždy napojeno na stejný systém, umístěno na stejném místě a podmínky byly zavedeny podle německé normy DIN 4704–2 Pruefung von Raumheizkoerpern-Teil 2 Offene Pruefkabine – otevřené měřící místo 1988. Měření bylo provedeno pro dva stavy: 75/65/20 a 55/45/20. Tělesa byla při každém měření odcloněna od okolí černými závěsy na protější a boční straně. Na začátku měření byla nastavena teplota v ohřívači a nastaven průtok. Dále byla sledována teplota na vstupu a výstupu z otopného tělesa. Při experimentu bylo třeba sledovat teploty na vstupu a výstupu z otopného tělesa a průběžně nastavovat vhodný objemový průtok vody otopným tělesem, který se měnil v závislosti na měnicí se teplotě vody. Po dosažení ustáleného stavu nastalo odečítání hodnot: teplota vody na vstupu do otopného tělesa, teplota vody na výstupu z otopného tělesa, objemový průtok vody otopným tělesem, teplota okolního vzduchu v prostoru otopného tělesa. Průtok byl měřen ultrazvukovým průtokoměrem Landis+Gyr ULTRAHEAT/ULTRACOLD T150. Hodnoty byly odečítány pětkrát v desetiminutovém intervalu pro každé otopné těleso a každý stav. Následně z pěti odečtených hodnot byl vypočten průměr pro každou veličinu v daném stavu a pro danou výšku otopného tělesa. Z vypočtených průměrů byl dále vypočítány výkony pro jednotlivé výšky otopných těles pro oba teplotní stavy. Pomocí těchto výkonů byl vypočítán teplotní exponent pro jednotlivé výšky otopných těles. Následně byly tyto hodnoty teplotního exponentu vyneseny do grafu v závislosti právě na výšce otopného tělesa. Díky tomuto grafu jsem mohl posoudit závislost teplotního exponentu na výšce otopného tělesa a porovnat ho s dostupnými tvrzeními o tématu „Teplotní exponent a výška otopného tělesa“.



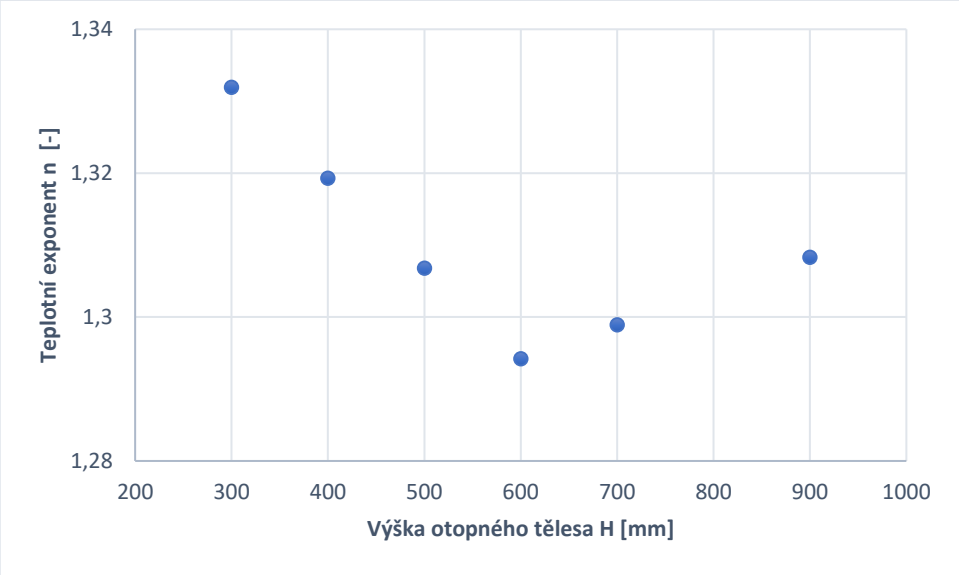
Obr. 5.1 Schéma experimentu [22]

Podle dostupných zdrojů je závislot teplotního exponentu na výšce otopného tělesa lineární funkce.



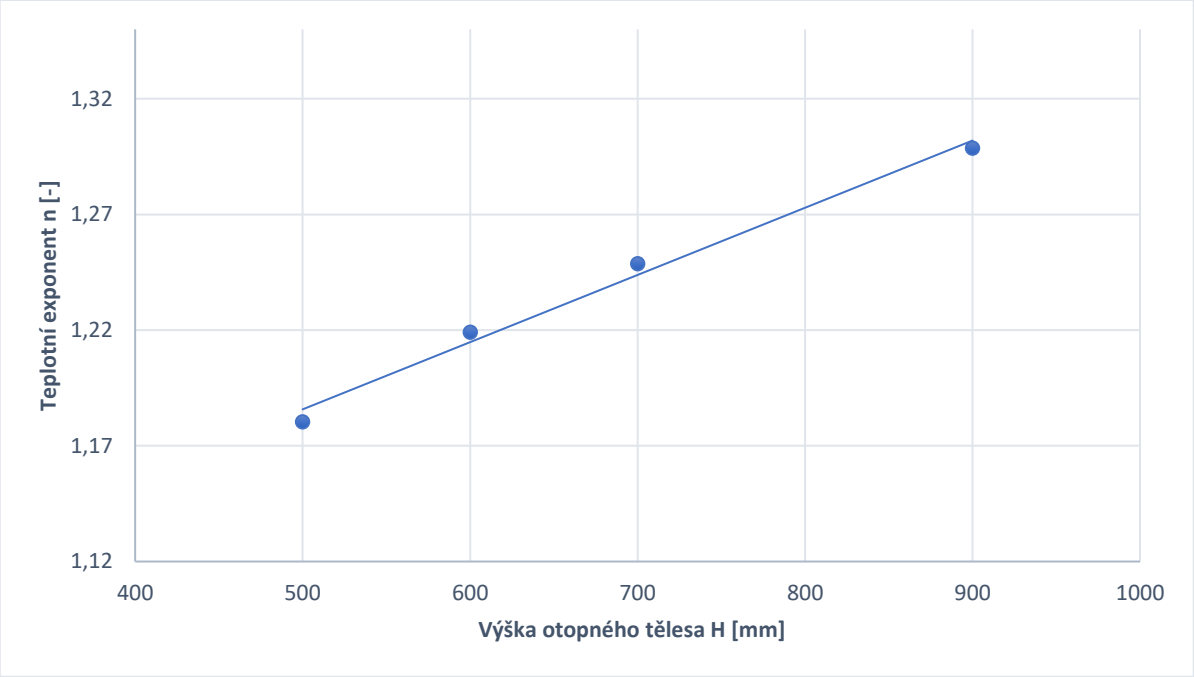
Obr. 5.2 Závislost teplotního exponentu na výšce otopného tělesa [9]

Tento graf je z internetového podkladu prof. Dr. Ulrich Hahn z Fachhochschule Dortmund. Zobrazuje rozmezí hodnot teplotních exponentů v závislosti na výšce otopného tělesa pro jednotlivé typy deskových otopných těles.



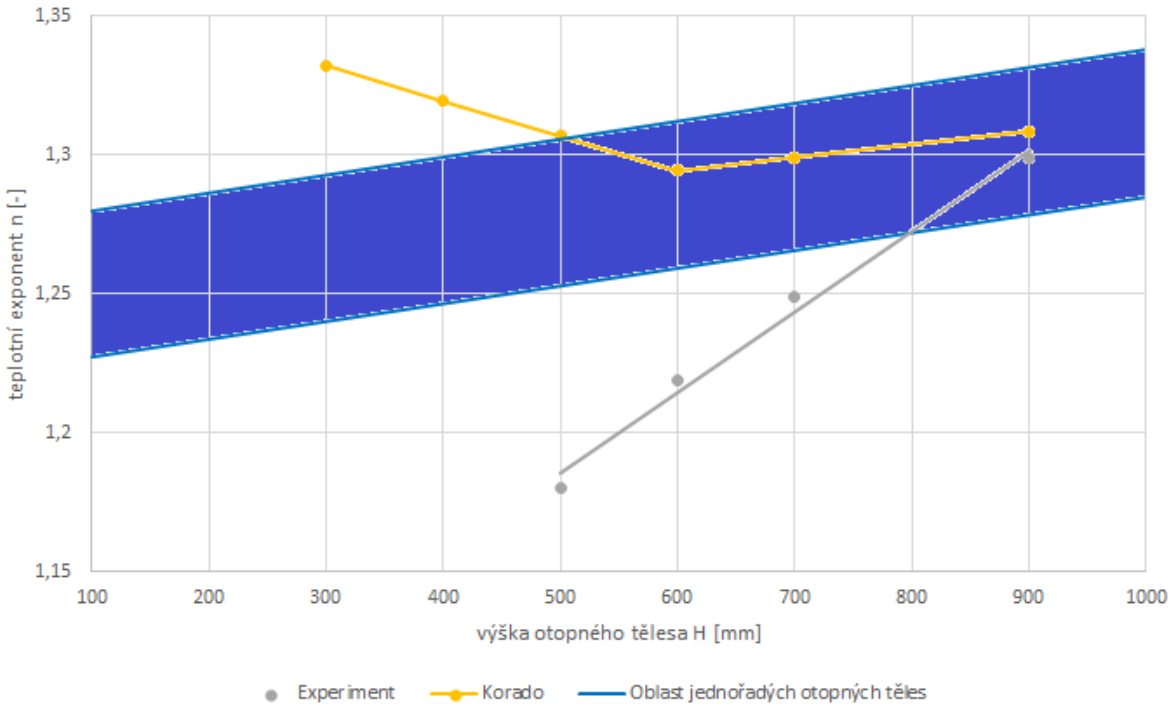
Obr. 5.3 Závislost teplotního exponentu na výšce otopného tělesa typu 10 na základě katalogu Korado. [20]

V garfu (obr. 4.3) je znázorněna závislost teplotního exponentu na výšce otopného tělsa zhotovená na základě katalogových údajů výrobce otopných těles Korado. Z grafu lze vyčíst, že otopná tělesa s menší výškou se hodnotou teplotního exponentem blíží konvektorům. To tedy souvisí s tím, že kolem otopných těles typu 10 s výškou 600 mm je patrný zlom. Tento zlom se dá vysvětlit tím, že tepltotní exponent vyjadřuje mimo jiné také poměr velikostí sálavé a konvekční složky. To tudíž podle grafu znamená, že u otopných těles s menší výškou klesá jejich sálavá složka rychleji, než klesá složka konvekčí.



Obr. 4.4 Závislost teplotního exponentu na výšce otopného tělesa

Graf (Obr. 4.4) vychází z provedeného experimentu ve školních laboratořích podle normy DIN 4704–2 Pruefung von Raumheizkoerpern-Teil 2 Offene Pruefkabine z roku 1988 pro otevřená měřící místa.



Obr. 5.5 Porovnání průběhů

Porovnáním všech tří předchozích variant byl zhotoven obr. 4.5, který znázorňuje modře ohraničené pole podle prof. Ulricha Hahna, žlutě průběh teplotního exponentu podle měření výrobce Korado v rámci normy ČSN EN 442 a zároveň experiment vyhodnocený na obr. 4.4.

Z tohoto grafu je patrné, že prof. Ulrich Hahn se se svou teorií oblasti teplotního exponentu ne úplně shoduje s hodnotami od výrobce Korado. Shodu lze vidět u otopných těles se střední a větší výškou. Korado uvádí hodnoty, ze kterých byl zhotoven graf jejich průběhu, které jsou měřeny za přísných podmínek určených normou ČSN EN 442 - otopná tělesa - zkoušky a jejich vyhodnocování. Na základě toho se dá tedy říci, že jednoznačně přesnější údaje jsou od výrobce Korado.

U hodnot zjištěných experimentem ve školních laboratořích podle normy DIN 4704-2 z roku 1988 pro otevřená měřicí místa je patrné, že se jejich směrnice proložené přímky neshoduje se směrnicí katalogových hodnot Korado. Tato skutečnost je nejspíše způsobená tím, že experiment byl prováděn podle jiné normy a za jiných okrajových podmínek.

Protože v experimentu nebyla zahrnuta otopná tělesa menších výšek, ale pouze tělesa s výškou 500 mm a větší, tak jejich teplotní exponenty nelze porovnávat s ostatními zdroji.

5.1.1 Nepřesnost měření

Chyba odečtu teplot z teploměrů s nejmenším dílkem 0,1 °C pro jeden teplotní stav je [21]:

$$u_{B,T} = \frac{0{,}1}{5\sqrt{3}} = 0{,}012\ °\mathrm{C}\,.$$

Průtok byl měřen ultrazvukovým průtokoměrem, u kterého výrobce udává chybu změřené hodnoty na daném rozsahu měření do 5 %.

Teploty na vstupu a výstupu z otopného tělesa byly měřeny teplotními ponornými čidly.

Přesnost měření těmito čidly je dána [21]:

±0,2 °C ± 1 digit (0 až 100 °C) = ± 0,2 ± 1·0,1 = 0,21 °C.

Nejistota pro jeden teplotní stav: $u_{B,TE} = \frac{0{,}21}{5\cdot 3} = 0{,}014\ °\mathrm{C}$

Zanedbáním změny měrné tepelné kapacity vody v závislosti na změně teploty vody se dopouští chyby až 0,2 % v měřeném rozmezí teplot.

Relativní nejistota výkonu otopného tělesa (typu B) při uvažování maximální chyby průtokoměru (5 %) a maximální chyby zanedbáním změny měrné tepelné kapacity vychází ze vzorce [21]:

$$u_{rB} = \sqrt{0{,}05^2 + 0{,}002^2 + \frac{{u_{B,TE}}^2 + {u_{B,T}}^2}{(t_{w2} - t_{w2})^2}}. \tag{4.1}$$

- Například maximální chyba měření pro otopné těleso o výšce 500 mm pro stav t_{w1}/t_{w2} = 75/65:

$$u_{rB} = \sqrt{0{,}05^2 + 0{,}002^2 + \frac{0{,}014^2 + 0{,}014^2}{(75{,}03 - 64{,}976)^2}} = 5\ \%.$$

Nejistota je dána především velkou chybou měření průtokoměru. Pro zbylá měření tedy lze předpokládat přibližně stejnou maximální chybu.

6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo ověřit vliv výšky otopného tělesa na teplotní exponent, zda je závislost lineární a jaké se dopouštíme nepřesnosti při praktických výpočtech, volíme-li teplotní exponent pro typ otopného tělesa bez ohledu na jeho výšku. Podle dostupných zdrojů byl stanoven předpoklad lineární závislost teplotního exponentu na výšce otopného tělesa.

Z výsledků získaných měřením čtyřech otopných těles s výškami 500, 600, 700 a 900 mm typu 10 ve školních laboratořích podle normy DIN 4704–2 z roku 1988 pro otevřená měřicí místa jsem zhotovil graf závislosti teplotního exponentu na výšce otopného tělesa. Dále byly tyto výsledky porovnány s grafem vycházejícího z katalogových hodnot výrobce Korado a s teorií prof. Dr. Ulricha Hahna z Fachhochschule Dortmund.

Protože v experimentu nebyla zahrnuta otopná tělesa menších výšek, ale pouze tělesa s výškou 500 mm a vyšší, tak jejich teplotní exponent nelze porovnávat s ostatními zdroji informací.

Porovnání ukázalo, že křivka proložená naměřenými hodnotami je lineární a není třeba použít například parabolu vyšších řádů. Ovšem liší se směrnicí od zmiňovaných zdrojů. Jiná směrnice proložené přímky naměřených hodnot ve školních laboratoří oproti

hodnotám od firmy Korado a pouze částečná shoda naměřených hodnot s rozmezím udávaným prof. Hahnem, může být zapříčiněna tím, že hodnoty od firmy Korado byly naměřeny podle jiné normy. Korado měří za přísných podmínek určených normou ČSN EN 442 - otopná tělesa-zkoušky a jejich vyhodnocování. Oproti tomu experiment ve školních laboratoří proběhl podle německé normy DIN 4704–2 z roku 1988 pro otevřené měřicí místo.

Tělesa měřená za odlišných norem, pracovala za jiných okrajových podmínek. To souvisí s otázkou, jaké chyby se dopouštíme volením úzkého rozmezí pro dané typy otopných těles nebo když zvolíme teplotní exponent udávaný výrobcem pro praktické výpočty. Jak již bylo zmíněno, výrobci určují experimentálním způsobem teplotní exponenty pro svá otopná tělesa za podmínek danými normou pro zkušební komory. Ovšem když těleso instalujeme do běžného uživatelského prostoru (tedy do otevřeného místa), tak otopné těleso pracuje za odlišných okrajových podmínek. Tudíž volba jednotného teplotního exponentu, úzkého rozmezí či použití teplotního exponentu od výrobce pro jednotlivé druhy otopných těles bez ohledu na jejich výšku je z hlediska přepočtu na skutečné podmínky zcela dostačující. Podle obr. 4.5, při porovnání křivky od výrobce Korado a křivky získané z této práce, se dá ale říci, že rozdíl mezi teplotním exponentem získaným z měření ve zkušební komoře a teplotním exponentem získaným z měření v reálném prostředí u otopných těles roste se zmenšující se výškou otopného tělesa. Tudíž se dá říci, že nejmenší chyby při volbě teplotního exponentu pro typ otopného tělesa bez ohledu na jeho výšku se dopouštíme u otopných těles s větší výškou.

Právě na obr. 4.5 je vidět rozdíl při určování teplotního exponentu na tělesech v reálných podmínkách (na otevřených místech) a určování teplotního exponentu výrobci ve zkušebních komorách s měnící se střední radiační teplotou (teplota stěn komory) podle měřeného výkonu otopného tělesa. V praxi se však mění střední radiační teplota především v závislosti na průtoku otopného období a nikoli na instalované velikosti (výkonu) otopného tělesa. Budeme-li mít například v objektu se stejnými tepelně-technickými vlastnostmi vně místnosti různé velikosti, například 5x5 = 25 m^2 a 5x10 = 50 m^2, jejich střední radiační teplota bude přibližně stejná, ale výkony instalovaných těles odlišné. A to pro kalorimetrickou komoru naplatí. Tam platí, čím větší výkon měřeného tělesa, tím nižší teplota okolních stěn.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] *Otopné plochy-úvod do problematiky* [online]. Doc. Ing. Jiří Bašta. ČVUT v Praze, Ústav techniky prostředí, 2006 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky

[2] Otopné plochy (I) - Charakteristiky otopných těles. *TZB-info* [online]. Doc. Ing. Jiří Bašta, Ing. Roman Vavřička, Ph.D. ČVUT v Praze, Ústav techniky prostředí, 2006, 13.2.2006 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/otopne-plochy/3060-otopne-plochy-i-charakteristiky-otopnych-teles

[3] Otopné plochy (II) - Druhy otopných těles. *TZB-info* [online]. Doc. Ing. Jiří Bašta, Ing. Roman Vavřička, Ph.D. ČVUT v Praze, Ústav techniky prostředí, 2006, 15.2.2006 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/otopne-plochy/3064-otopne-plochy-ii-druhy-otopnych-teles

[4] Otopné plochy (III) - Navrhování otopných těles. *TZB-info* [online]. Doc. Ing. Jiří Bašta. ČVUT v Praze, Ústav techniky prostředí, 2006, 27.2.2006 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/otopne-plochy/3101-otopne-plochy-iii-navrhovani-otopnych-teles

[5] Bašta, J.: Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. - 328 s. - ISBN 80-01-02365-6.

[6] Sdílení tepla. *Aplikovaná termomechanika* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2011[cit.2019-06-10]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-05.pdf

[7] Přenosy tepla. *Web-fyzika* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2011 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/prenos_tepla.pdf

[8] Otopné plochy (IV - 1.část) - přepočet tepelného výkonu. *TZB-info* [online]. ČVUT v Praze, Ústav techniky prostředí, 2006 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/otopne-plochy/3184-otopne-plochy-iv-1-cast-prepocet-tepelneho-vykonu

[9] Gebäudeplanung. *www.fh-dortmund.de* [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://www.fh-dortmund.de/de/fb/3/personen/lehr/hahn/medien_pw/Auslegung_Heizungsanlagen_GP.pdf

[10] Otopná tělesa. *ELUC* [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2056

[11] Otopná tělesa trubková. *EKOMPLEX* [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: http://www.topeni-topenari.eu/topeni/otopna-telesa/trubkova.php

[12] *ČSN EN 442 - 1, Otopná tělesa - Část 1: Technické specifikace a požadavky*. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví zobrazit detail normy na stránkách vydavatele, 1997.

[13] *ČSN EN 442 - 2, Otopná tělesa - Část 2: Zkoušky a jejich vyhodnocování*. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví zobrazit detail normy na stránkách vydavatele, 1998.

[14] *ČSN EN 442 - 3, Otopná tělesa - Část 3: Posuzování shody*. Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví zobrazit detail normy na stránkách vydavatele, 1998.

[15] DIN 4703 – 1 Raumheizkoerper – Teil 1: Masse, Norm-Waermeleistung, Pruefregeln. Německo, 1999.

[16] DIN 4703 – 1 Raumheizkoerper – Teil 3: Umrechning der Norm-Waermeleistung. Německo, 1999.

[17] DIN 4704– 1 Pruefung von Raumheizkoerpern - Teil 1 Pruefregeln. 1999 Německo.

[18] DIN 4704– 2 Pruefung von Raumheizkoerpern - Teil 2 Offene Pruefkabine – otevřené měřící místo 1988. Německo.

[19] DIN 4704– 1 Pruefung von Raumheizkoerpern - Teil 3 Geschlossener Pruefraum 1999. Německo.

[20] *KORADO* [online]. Česká republika [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: https://www.korado.cz/common/downloads/radik-deskova-otopna-telesa-1527232839.pdf

[21] TROJAN, Martin. *Standardní nejistoty měření*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Marie Havlíková.

[22] BOHÁČ, Jindřich. *Thermography data of panel radiator dynamic behaviour for simulation model*. Česká republika, 2016. Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech Republic.

8. SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy v elektronické podobě:

Bakalarska_prace_MACHAC.pdf

Vypocty_Grafy.xlsx