

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav techniky prostředí



Bakalářská práce

Teplotní exponent otopných těles

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Slavík** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **475060**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Teplotní exponent otopných těles

Název bakalářské práce anglicky:

Temperature Exponent of Radiators

Pokyny pro vypracování:

Na základě technických podkladů od výrobců zmapujte hodnoty teplotních exponentů u jednotlivých druhů a typů otopných těles. Graficky zhodnoťte rozsahy teplotních exponentů pro jednotlivé typy deskových otopných těles a rovněž závislost teplotního exponentu na konstrukční výšce. U ostatních druhů otopných těles vytvořte pouze přehledové tabulky. V úvodní rešeršní části se věnujte problematice jednotlivých druhů otopných těles a přepočtu jejich tepelného výkonu na jiné okrajové podmínky.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Otopné plochy Otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. 204 s. ISBN 978-80-01-05943-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

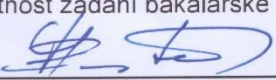
prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

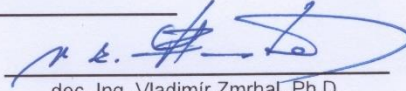
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

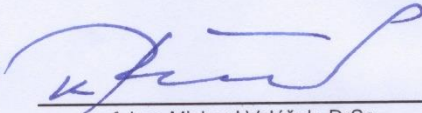
Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

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

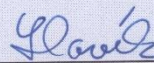

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

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.

30.4.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Souhrn

V rešeršní části se bakalářská práce zabývá možnostmi sdílení tepla do prostoru, následně rozdělením jednotlivých druhů otopných těles a okrajovými podmínkami ovlivňující výkon otopného tělesa. V praktické části analyzuje velikosti teplotního exponentu otopných těles. Zjištěné hodnoty z katalogů jsou zpracovány a vyneseny do grafů podle druhu a typu tělesa. Každý graf je okomentován a vyhodnocen.

Summary

The bachelor's thesis deals in the research part with the possibilities of sharing heat in a heated space. The following is a division and description of individual types of radiators. Last but not least, the work deals with the boundary conditions affecting the heat output of the radiator. The practical part analyses the size of the temperature exponent of radiators. The values obtained from the technical documents of the manufacturers are processed and plotted in graphs according to the kind and type of radiator. Each graph is commented and evaluated.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Teplotní exponent otopných těles“ 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 dne 31. 7. 2020

.....
podpis

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za poskytnutí informací, cenné rady a celkově aktivní přístup při řešení jakékoliv problematiky týkající se obsahu bakalářské práce i v době bezkontaktní výuky.

Obsah

1.	ÚVOD	9
2.	SDÍLENÍ TEPLA DO PROSTORU	10
2.1	Převážně sálavý způsob vytápění.....	10
2.2	Převážně konvekční způsob vytápění	11
3.	DRUHY OTOPNÝCH TĚLES	14
3.1	Článeková otopná tělesa.....	14
3.2	Desková otopná tělesa	14
3.3	Trubková otopná tělesa	16
3.4	Konvektory	18
4.	OMEZUJÍCÍ VLIVY VÝKONU OTOPNÝCH TĚLES	20
4.1	Opravný součinitel na teplotní rozdíl.....	21
4.2	Opravný součinitel na napojení tělesa.....	22
4.3	Opravný součinitel na úpravu okolí	23
4.4	Opravný součinitel na počet článků	24
4.5	Opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru	24
4.6	Teplotní exponent otopného tělesa n	25
	4.6.1 Obecný (teoretický) přehled vztahů a velikostí teplotních exponentů pro jednotlivá otopná tělesa a plochy:.....	25
5.	PRAKTICKÁ ČÁST	28
5.1	Desková otopná tělesa	28
5.2	Konvektory	37
5.3	Článeková otopná tělesa.....	40
6.	ZÁVĚR	41
7.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	44
8.	SEZNAM PŘÍLOH	47

Seznam použitého značení

L	[m]	konstrukční délka otopného tělesa
H	[m]	konstrukční výška otopného tělesa
B	[m]	konstrukční šířka otopného tělesa
S	[m ²]	plocha stěny
S_L	[m ²]	vnější přestupní plocha
S_{Ln}	[m ²]	jmenovitá vnější přestupní plocha
Q	[W]	skutečný tepelný výkon tělesa
Q_n	[W]	jmenovitý tepelný výkon tělesa
Q_s	[W]	teplo sdílené sáláním mezi plochami
q	[W/m ²]	měrný tepelný výkon tělesa
T	[K]	absolutní teplota povrchu plochy
$(t_1 - t_2)$	[K]	rozdíl teplot stěny tělesa a okolní tekutiny
Δt	[°C]	aritmeticky určený rozdíl teplot
Δt_n	[°C]	jmenovitý aritmeticky určený rozdíl teplot
Δt_{ln}	[°C]	logaritmičticky určený rozdíl teplot
t_{w1}	[°C]	teplota vstupní vody do otopného tělesa
t_{w2}	[°C]	teplota výstupní vody z otopného tělesa
t_D	[°C]	vztažná teplota vzduchu v definičním bodě
t_{Dn}	[°C]	jmenovitá teplota vzduchu v definičním bodě
t_{wm}	[°C]	střední teplota vody v otopném tělese
t_{wmn}	[°C]	střední jmenovitá teplota vody v otopném tělese
\dot{m}_w	[kg/s]	hmotnostní průtok vody tělesem

n	[-]	teplotní exponent otopného tělesa
c_0	[-]	výškový posun
c_1	[-]	směrnice přímky
K_M	[-]	konstanta vzorku
K_T	[-]	konstanta pro daný typ
λ	[m]	vlnová délka λ
f	[Hz]	frekvence
e	[-]	emisivita
α	[W/m ² .K]	součinitel přestupu tepla
k_c	[W/m ² .K]	celkový součinitel prostupu tepla stěnou OT
c	[-]	teplotní podílový součinitel
c_0	[W/m ² .K ⁴]	součinitel sálání absolutně černého tělesa
σ	[W/m ² .K ⁴]	Stefan-Boltzmanova konstanta
$f_{\Delta t}$	[W]	opravný součinitel na teplotní rozdíl
f_x	[W]	opravný součinitel na napojení tělesa
f_o	[-]	opravný součinitel na úpravu okolí
f_n	[-]	opravný součinitel na počet článků
f_p	[-]	opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru
f_m	[-]	opravný součinitel na průtok teplonosné látky konvektorem

1. ÚVOD

Teoretická část bakalářské práce se věnuje rozdělení sdílení tepla do vytápěného prostoru a jednotlivým druhům otopných těles. Následně přepočtu jmenovitého tepelného výkonu na okrajové podmínky, které nám negativně ovlivňují hodnotu předepsaného (jmenovitého) tepelného výkonu od výrobce.

V praktické části porovnáváme teplotní exponenty pro všechny typy deskových otopných těles, konvektory a článková otopná tělesa v závislosti na konstrukční výšce. Dané teplotní exponenty jsou shromážděny z katalogů největších výrobců otopných těles.

2. SDÍLENÍ TEPLA DO PROSTORU

Teplu lze sdílet do prostoru konvekcí a sáláním. Podle toho, který způsob sdílení tepla z otopné plochy převažuje, rozdělujeme vytápění na převážně sálavé, nebo převážně konvekční. Z toho vyplývá, že se nikdy nejedná pouze o sálavé nebo konvekční vytápění daného objektu. Sálavá složka ohřívá okolní stěny a předměty v prostoru, čímž zvyšujeme střední radiační teplotu. Ohřáté stěny a předměty poté částečně sálají teplo do prostoru proti chladnějším povrchům a ohřívají okolní vzduch, zatímco konvekční složka ohřívá pouze vzduch v místnosti. Obě metody vytápění slouží k vyrovnání tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty přirozeným či částečně nuceným větráním. [1]

2.1 Převážně sálavý způsob vytápění

Princip sálavého vytápění spočívá v ohřívání stěn a předmětů v prostoru, které dále sálají teplo do místnosti na chladnější povrchy a ty druhotně rovněž ohřívají okolní vzduch. Dosáhneme tím daleko příjemnějšího klima ve vytápěném prostoru než u pouhého ohřevu vzduchu konvekčním způsobem vytápění. Teplota vzduchu v sálavě vytápěné místnosti, pak může být nižší, ale pocitově stejná, neboť je stejná výsledná teplota. Sálavý způsob vytápění zároveň zabraňuje vzniku plísní na vlhkých površích stěn (vysušování). Tento systém je tak vhodný i pro lidi trpící alergií, neboť nedochází k tak markantnímu víření prachových částic, jako u teplovzdušného vytápění. Z toho jasně vyplývá, že vnitřní teplota stěn (střední radiační teplota), které nám vymezují vytápěnou oblast, je nepatrně vyšší než teplota vzduchu či srovnatelná. [1], [2]

Tepelné záření (sálání) lze charakterizovat jako elektromagnetické vlnění. Toto vlnění se šíří rychlostí světla c , kde mezi charakterizující vlastnosti patří vlnová délka λ a frekvence f . Velikost vlnových délek tepelného záření se v technické praxi pohybuje v pásmu od 0,8 (event. 0,3) do 400 μm . Tepelné sálání existuje i mimo tuto oblast, avšak dosahuje zanedbatelného množství energie. [1]

Pro výpočet tepelného výkonu q použijeme Stefan-Boltzmanův zákon, kde je tento měrný tepelný výkon q vyzářen 1 m^2 absolutně černého tělesa.[1]

$$q_0 = c_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4, \quad (1.1)$$

kde: q_0 měrný tepelný výkon [W/m^2]

c_0	součinitel sálání absolutně černého tělesa (= $10^8 \cdot \sigma = 5,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
σ	Stefan-Boltzmanova konstanta (= $5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
T	absolutní teplota povrchu plochy [K]

Důležitý pojem popisující sdílení tepla sáláním nazýváme emisivita. Emisivita neboli poměrná zářivost je bezrozměrná veličina charakterizující schopnost tělesa vyzařovat teplo. Výpočet provedeme jako poměr mezi reálným, tj. obecně šedým tělesem a absolutně černým tělesem, kde porovnáváme hodnoty celkového zářivého toku q resp. q_0 . [1]

$$e = \frac{q}{q_0} \quad (1.2)$$

U všech reálných těles se setkáváme s emisivitou závisící na teplotě povrchu, vlnové délce a úhlu vyzařované energie. V praxi, za použití teorie dokonale černého tělesa a obecně šedého tělesa, můžeme v rozmezí pracovních teplot otopných těles tyto závislosti zanedbat. Tuto skutečnost využíváme k zjednodušení výpočtu, kde reálná tělesa považujeme za obecně šedá a emisivitu za konstantní. [1], [3]

Vztah pro výpočet tepelného toku sdíleného sáláním mezi dvěma plochami v prostoru dle [1] je dán:

$$Q_s = \frac{e_1 \cdot e_2}{\pi} \cdot c_0 \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) \iint_{S_1 S_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{r^2} \cdot dS_1 \cdot dS_2, \quad (1.3)$$

kde: Q_s tepelný tok sdílené mezi plochami 1 a 2 [W]

e_1, e_2 emisivita ploch S_1 a S_2 [-]

S_1, S_2 velikost ploch 1 a 2 [m^2]

T_1, T_2 absolutní teploty povrchu ploch 1 a 2 [K]

2.2 Převážně konvekční způsob vytápění

Principem čistě konvekčního způsobu vytápění je pouhé ohřívání vzduchu ve vytápěném prostoru. Ohřátý vzduch má potom vyšší teplotu nežli vnitřní povrch stěn (střední radiační teplota). Teplo z takto ohřátého vzduchu je předáváno přestupem tepla

konvekcí okolním objektům (stěny, nábytek, ...). Rozdíl teplot – střední radiační a vzduchu - se s dostatečnou tepelnou izolací dle ČSN 73 0540 pohybuje kolem 2K až 4K. Větší rozdíly jsou způsobeny nedostatečným tepelným odporem stěn (tepelná ztráta prostupem) a přirozeným či nuceným větráním. Špatnou tepelnou izolací tak dosáhneme stavu, kdy je vzduch teplý, a zároveň zdi studené. Nevýhodou tohoto vytápění je velká cirkulace vzduchu, kdy dochází k víření prachu a vysušování vzduchu, což jsou nepříznivé jevy pro organismus. [1], [2]

Konvekce se dělí na přirozenou (volnou) a nucenou. U přirozené konvekce dochází ke změně hustoty teplotné látky → pohyb částic, a to ohříváním či chlazením této látky. Nucené konvekce dosáhneme například použitím ventilátorů u konvektoru. Jde tedy o nuceně vyvozené proudění tekutiny. [1]

Stejně jako u sálavého způsobu vytápění se při výpočtu přenosu tepla konvekcí setkáváme s velkým množstvím proměnných parametrů (stěny, okna, dveře, zákryty, umístění otopného tělesa, druh a typ otopného tělesa, ...) ovlivňující výpočet tepelných ztrát. Danou problematiku řešíme pomocí teorie podobnosti, užíváme tak podobnostních kritérií, tj. bezrozměrných čísel. Tím snížíme počet možných variací a můžeme tak urychlit výpočty. Nicméně základní rovnice, tzv. kritériální rovnice, ve které vystupuje kritérium určené a kritéria určující vychází experimentální podstaty. Výpočty jsou tak v praxi prováděny pomocí kritériálních rovnic mnohdy převedených do jednoduchých zdánlivě empirických vzorců. [1]

Pro jednoduché případy lze pro tepelný tok sdílený konvekcí použít obecné vztahy viz (1.4), kde uvažujeme s umístěním otopného tělesa ve volném prostoru, zároveň zachováváme potřebné a okrajové podmínky viz kapitola 3. [1]

Měrný tepelný tok sdílený konvekcí pro obecný případ dle [1] lze vyjádřit:

$$q = \alpha \cdot (t_1 - t_2), \quad (1.4)$$

kde: q měrný tepelný tok [W/m^2]

α součinitel přestupu tepla [$W/m^2.K$]

$(t_1 - t_2)$ rozdíl teplot stěny tělesa a okolní tekutiny [K]

Celkový tepelný výkon sdílený otopným tělesem do vytápěné místnosti [1]:

$$Q_c = k_c \cdot S_L \cdot \Delta t = k_c \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_D), \quad (1.5)$$

kde:	t_{wm}	střední teplota vody v otopném tělese [°C]
	t_D	vztažná teplota vzduchu v definičním bodě [°C]
	k_c	celkový součinitel prostupu tepla stěnou OT [W/m ² .K]
	S_L	vnější přestupní plocha [m ²]

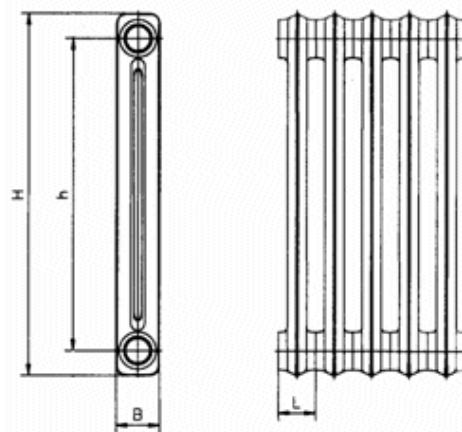
Součinitel prostupu tepla k_c lze charakterizovat jako hodnotu kvality přenosu tepla z otopné vody do vytápěného prostoru. Kvalita prostupu tepla je ovlivněna množstvím parametrů. Mezi hlavní patří například velikost celkového tepelného toku obsahující složku záření (sálání) a konvekce, rozdíl střední teploty vody v OT a teploty vzduchu, velikost přestupních ploch, součinitel přestupu tepla na straně vody a vzduchu, a součinitel tepelné vodivosti, ... [1]

3. DRUHY OTOPNÝCH TĚLES

3.1 Článeková otopná tělesa

Tento druh otopných těles se skládá z jednotlivých článků a různého materiálu. Nejčastěji ocelový plech, litina či slitiny hliníku. Technologické postupy používané pro výrobu článkových otopných těles zahrnují lisování plechů, odlévání a tlakové lití. [1]

Článeková otopná tělesa jsou spojována vsuvkami s pravolevým závitem. Dále lze použít metodu lisování, a to u těles ze slitin hliníku nebo svařování. Díky tomu jsme schopni vyrobit otopné těleso z libovolného počtu článků. U ocelových typů otopného tělesa spojujeme jednotlivé soupravy o počtu 3, 4, 5, 7 a 10 článků vsuvkami. Vsuvky používáme i pro litinová otopná tělesa mezi jednotlivými články, která mají vyšší životnost. Článeková litinová OT vykazují nejdelší životnost (cca 90 let) ze všech druhů otopných těles. Pokud pomineme ventilátorové konvektory, tak článeková litinová otopná tělesa vykazují i nejvyšší cenu vztaženou na tepelný modul. Ocelová článeková otopná tělesa se dnes používají velmi málo, stejně jako článeková OT ze slitin hliníku. U OT ze slitin hliníku je navíc i problém s kombinací materiálů v otopné soustavě vzhledem k jejich elektrickému potenciálu a korozi. [1]



Obr. 1: Článekové otopné těleso [4]

3.2 Desková otopná tělesa

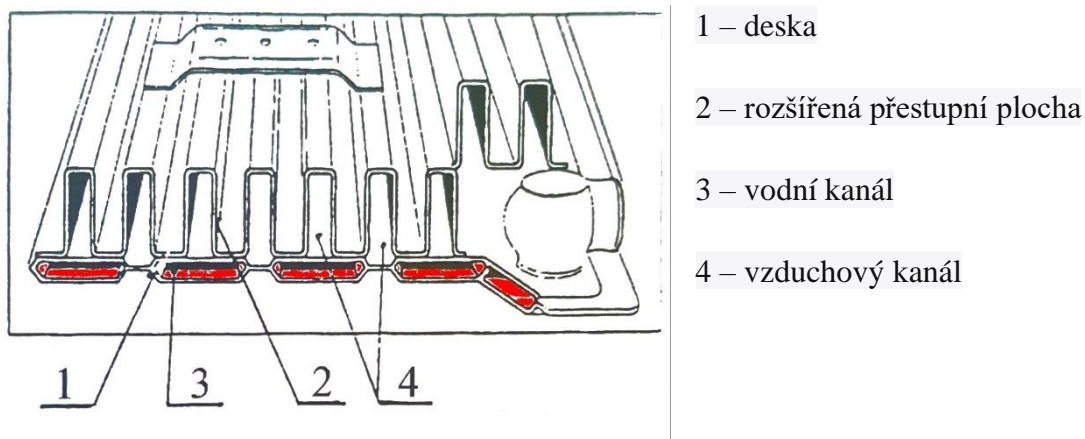
V současnosti patří mezi nejpoužívanější otopná tělesa. Jejich design, rychlá termoregulace, díky malému vodnímu objemu a hygiena je činí velice atraktivními.

Souvislé desky jsou obvykle zvětšeny zvlněním nebo přidáním konvekčního plechu. Desky se při výrobě opatří bočnicemi ze strany a výdechovou mřížkou na horní části, díky čemuž získáváme zajímavější design a zakryjeme tak ostré hrany. Rovněž pomocí bočnic zajistíme správnou funkčnost otopného tělesa z hlediska tvarování konvekčních proudů. [1], [4]



Obr. 2: Deskové otopné těleso [5]

Vnitřní struktura deskového otopného tělesa se skládá z horní rozvodné a dolní sběrné komory. Obě části jsou spojené prosily, které tak vytvářejí kanálky. Deska otopného tělesa je tedy tvořena dvěma prolisovanými deskami, které jsou následně po obvodu švově a mezi kanálky bodově svařovány. [1]



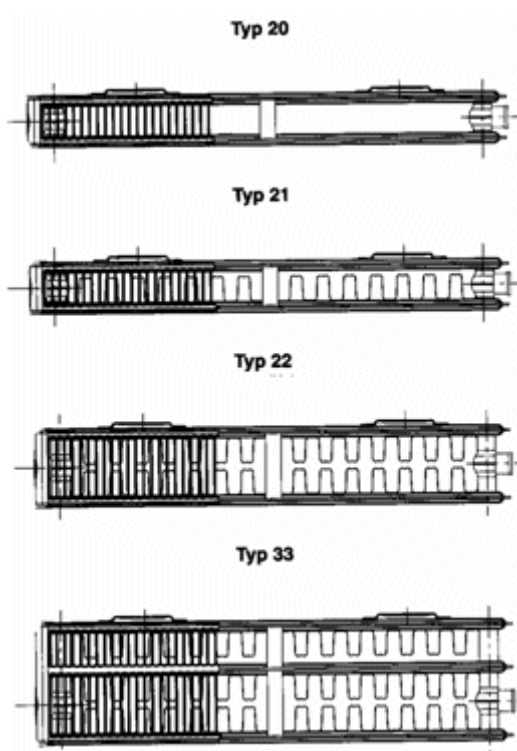
Obr. 3: Řez deskovým otopným tělesem [1]

Dříve se konvekční plechy bodově přivařovaly k deskám v místě prolisů mezi kanálky. Současné technologie využívají vyšších teplot na povrchu kanálků a konvekční plechy jsou přivařovány právě na nich. Otopná tělesa tak dosahují výrazně vyšších výkonů,

zejména typ 11 a 22, kde dosahujeme až 15% nárustu tepelného výkonu oproti dřívější technologii. [1]

Desková otopná tělesa dělíme na jednoduchá, zdvojená a ztrojená. Všechny typy lze rozšířit přídatnou tvarovanou přestupní plochou, čímž dosahujeme větších výkonů. Toto rozšíření v podobě přestupní plochy nám umožňuje dosáhnout tepelného modulu rovnajícího se tělesům článkovým. [1], [6]

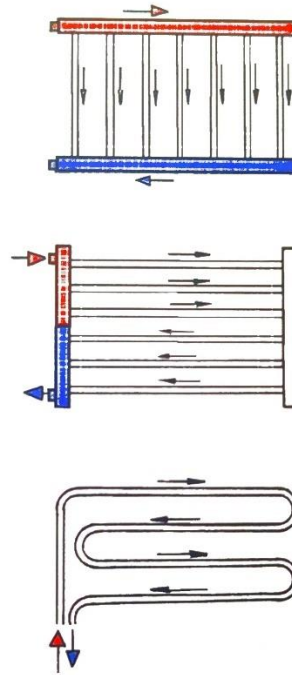
U těchto otopných těles tedy rozlišujeme počet desek a konvekčních plechů, ze kterých se desková OT skládají. Například typ 21 nám říká, že deskové otopné těleso má dvě desky a jeden konvekční plech viz obr. 4.



Obr. 4: Dělení deskových otopných těles [1]

3.3 Trubková otopná tělesa

Trubková otopná tělesa se skládají z rozvodné a sběrné komory, které jsou spojené několika trubkami menšího průřezu. Průřezy trubek jsou: kruhové, čtvercové či obdélníkové. V rámci uspořádání trubkového OT se může vyskytnout kombinace těchto typů trubek. Dále jsou trubky uspořádány ve tvaru: registru se svislými trubkami, registru s vodorovnými trubkami a meandru viz obr. 5. [1]



Obr. 5: Uspořádání trubek u trubkového otopného tělesa (průtok vody trubkovým OT)
[1]

Vzhledem k tomu, že je trubkové OT tvořeno trubkami, tak má poměrně vysoký vodní obsah daný průměrem použitých trubek. Přestupní plocha trubkových OT může být rozšířena pomocí tzv. žeber. Ty jsou k trubce otopného tělesa připojeny metodou svařování, pájení či mohou být mechanicky připevněny (lisování), a tvoří tak přestupní plochu trubkového otopného tělesa z žebrovek. Lepší vlastnosti vzhledem k vedení tepla vykazují spoje kovové. U mechanického spoje vzniká mikroskopická vzduchová mezera, která se negativně odráží na potenciálu vedení tepla z trubky do žebra. Dále musíme dbát na výběr materiálů, při kombinaci různých materiálů, jako je např. ocel, hliník a měď, musíme očekávat tzv. únavu mechanického spoje.[1]

Tento druh otopného tělesa se hodí spíše do menších prostor jako jsou koupelny, předsíně, chodby a další. V současné době nalezneme největší využití u trubkových koupelňových otopných těles, kde převážně instalujeme různě řešené obdoby registru s vodorovnými trubkami pro vytápění, ale i praktické vysušování ručníků a dalších textilií.[1], [6]



Obr. 6: Trubkové otopné těleso [7]

3.4 Konvektory

Tento druh otopných těles přivádí teplo do prostoru převážně konvekcí. Základními částmi konvektoru je výměník tepla a skříň s výdechovou mřížkou. Výměník tepla předává teplo z teplotnosné látky do vytápěného prostoru víceméně pouze konvekcí. Výměníky jsou nejčastěji žebrovky ve formě trubek kruhového průřezu, ale používají se i eliptické nebo zploštělé trubky. Mezi materiály používané pro výměníky tepla patří ocel, měď nebo slitiny hliníku. Obvykle se používá kombinace měděné trubky a hliníkových lamel, které slouží jako rozšiřující, přestupní plocha u výměníků konvektorů. Pro tvorbu žebrovek používáme nejčastěji technologii lisování (protážení měděné trubky osazené hliníkovými lamelami trnem), ale rovněž svařování či pájení. U mechanického spoje může vzniknout nežádoucí mikroskopická, vzduchová mezera, která negativně ovlivňuje přenos tepla. [1], [8]

Podle typu rozlišujeme konvektory skříňové, soklové (podparapetní) a zapuštěné (podlahové, stropní). [1]



Obr. 7: Zapuštěný konvektor podlahový [9]



Obr. 8: Soklové konvektory (otopné lavice) [10]

Kromě tohoto dělení konvektorů, rozeznáváme konvektory s ventilátorem, tj. s tzv. nuceným vybíjením tepla, a bez ventilátorů s tzv. přirozeným vybíjením tepla. Tento komponent dokáže výrazně zvýšit tepelný výkon konvektorů, a pokud je konvektor napojen na okruh chladicí vody, tak i chladicí výkon konvektorů (tzv. fan-coil) používaný zejména přes léto. Toho lze dosáhnout např. využitím reverzního chodu tepelného čerpadla s kombinací příslušného koncového prvku.[8]

4. OMEZUJÍCÍ VLIVY VÝKONU OTOPNÝCH TĚLES

Při instalaci otopného tělesa nelze počítat se jmenovitým tepelným výkonem, který je garantován výrobcem. Tyto hodnoty jsou vyhodnoceny za ideálních a přesně specifikovaných podmínek pro kalorimetrickou komoru, které obvykle nemůžeme dodržet. V praxi se setkáváme s problémy týkajícími se instalací a provozováním tepelného výkonu tělesa za reálných mnohdy významně odlišných podmínek, čímž se bude zabývat tato kapitola.[1]

Základní vztahy pro přepočítání tepelného výkonu otopných těles vychází z prostupové rovnice.

Výpočet tepelného výkonu otopného tělesa, který prostoupí z otopné vody stěnou tělesa do vytápěného prostoru dle [1] je dán:

$$Q = k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_D) \quad (1.6)$$

Výpočet změny výkonu OT s rozdílnými teplotními parametry [1]:

$$\frac{Q}{Q_n} = \frac{k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_D)}{k_n \cdot S_{Ln} \cdot (t_{wmn} - t_{Dn})} \quad (1.7)$$

$$\frac{Q}{Q_n} = \left[\frac{t_{wm} - t_D}{t_{wmn} - t_{Dn}} \right]^n = \left[\frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right]^n \quad (1.8)$$

Výpočet skutečného tepelného výkonu je však ovlivněn dalšími okolními podmínkami a změnou parametrů, než jsou jen jiné teplotní parametry. Proto zavádíme opravné součinitele, které tyto odlišné podmínky od měření v kalorimetrické komoře zohledňují. [1]

$$\dot{Q} = \dot{Q}_n \cdot f_{\Delta t} \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \cdot f_m, \quad (1.9)$$

kde: \dot{Q} skutečný tepelný výkon otopného tělesa [W]

\dot{Q}_n jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa [W]

$f_{\Delta t}$ opravný součinitel na teplotní rozdíl [-]

f_x opravný součinitel na napojení tělesa [-]

- f_o opravný součinitel na úpravu okolí [-]
- f_n opravný součinitel na počet článků [-]
- f_p opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru [-]
- f_m opravný součinitel na průtok teplotnosné látky konvektorem [-]

4.1 Opravný součinitel na teplotní rozdíl

Jak již bylo výše zmíněno, u otopných těles nemůžeme téměř nikdy počítat s jejich jmenovitým výkonem. Opravný součinitel na teplotní rozdíl nám umožní přepočítat tepelný výkon otopného tělesa na požadované teplotní podmínky, odlišné od jmenovitých.[1]

Teplotní podílový součinitel c nám umožňuje přepočet jmenovitého výkonu Q_n na tepelný výkon Q pro změněné teploty, neboť rozhoduje o tom, jakým způsobem k přepočtu přistoupíme. [1]

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad (2.0)$$

kde: c teplotní podílový součinitel [-]

t_{w1} teplota vstupní vody [°C]

t_{w2} teplota výstupní vody [°C]

t_i teplota vzduchu, resp. vnitřní výpočtová teplota [°C]

Kde následně rozlišujeme dva výstupy [1]:

a) $c \geq 0,7$ pro který platí: $Q = Q_n \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n}\right)^n = Q_n \cdot f_{\Delta t}$ (2.1)

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i, \quad (2.2)$$

kde: Δt aritmeticky určený rozdíl teplot

n teplotní exponent otopného tělesa [-]

b) $c < 0,7$ pro který platí: $Q = Q_n \cdot \left(\frac{\Delta t_{ln}}{\Delta t_{n,ln}}\right) = Q_n \cdot f_{\Delta t,ln}$ (2.3)

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \quad (2.4)$$

kde: Δt_{ln} logaritmicky určený rozdíl teplot [$^{\circ}\text{C}$]

Po úpravě je opravný součinitel na teplotní rozdíl vyjádřen [1]:

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right) \quad (2.5)$$

4.2 Opravný součinitel na napojení tělesa

Jednostranné napojení shora-dolů (A-B), při kterém získáme hodnotu opravného součinitele na napojení OT $f_x=1$, lze považovat za napojení jmenovité. [1]

Možnosti zapojení (viz obr. 9) jsou jednostranné či oboustranné, shora-dolů, zdola-nahoru a zdola-dolů, tj. tzv. "jezdecké" napojení. [1]

	PŘIPOJENÍ	opr. souč.
		f_x
1		1,00
2		1,00
3		0,90
4		0,78
5		0,85

Obr. 9: Možnosti napojení otopného tělesa [11]

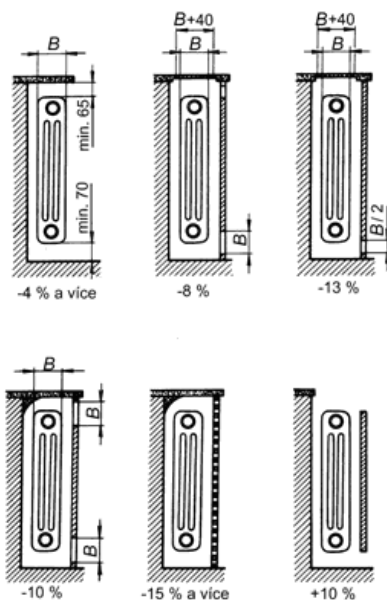
4.3 Opravný součinitel na úpravu okolí

Především kvůli designové stránce otopného tělesa se v praxi používají tzv. zákryty. Zákryty způsobují výrazné snížení tepelného výkonu sáláním a znesnadňují pohyb konvenčního proudění, dochází ke snížení výkonu až o 15 %. Dalšími překážkami může být parapet, záclony, závěsy nebo instalace v nise, kde musíme dodržovat montážní vůle. [1]

Tab. 1: Vliv zákrytu na výkon otopného tělesa [1]

Vliv zákrytu zhotoveného podle doporučených pravidel na výkon tělesa	
Otopná tělesa	Snížení výkonu o [%]
Článeková otevřená (s velkou délkou článku)	0 až 3
Článeková stažená (s malou délkou článku)	4 až 8
Jednoduchá desková bez konvekčního plechu	5 až 10
Jednoduchá desková s konvekčním plechem	4 až 8
Vícedesková	3 až 5

Zákryt může mít i pozitivní (zvyšující) vliv na tepelný výkon. Je tomu tak v jediném případě, a to při použití článekového otopného tělesa s předřazenou deskou. [1]



Obr. 10: Změna tepelného výkonu článekového otopného tělesa se zákrytem [1]

4.4 Opravný součinitel na počet článků

Výpočet opravného součinitele nelze provést pouze pomocí výpočtu s výkonem udávaným pro jeden článek, tj. s tzv. tepelným modulem. Nezaznamenali bychom podmínky proudění vody v OT o různém počtu článků, a proto výpočet provádíme s využitím opravného součinitele na příslušný počet článků. U otopných těles s menším počtem než 10 článků dochází ke zvyšování výkonu jednoho článku. Naopak u otopných těles s větším počtem článků se bude výkon jednoho článku snižovat. [1]

Vztah pro opravný součinitel na počet článků je dán:

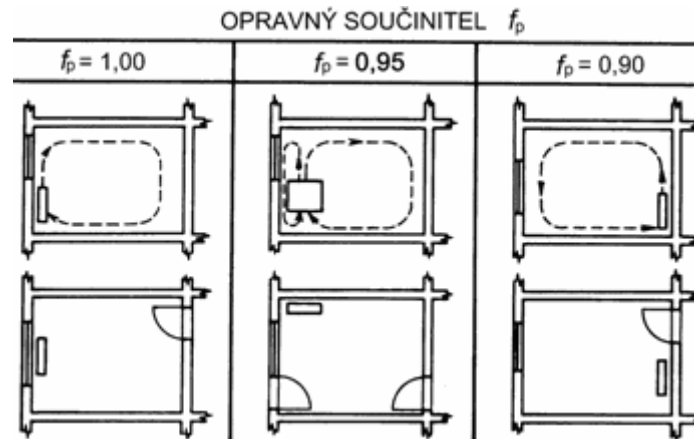
$$f_n = \left(0,955 + \frac{0,45}{n}\right), \quad (2.6)$$

kde n je počet článků článkového otopného tělesa [1]. [1]

4.5 Opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru

Důležitým procesem při návrhu vytápěného prostoru je vhodné umístění otopného tělesa. Nejvýhodnějším řešením je instalovat OT pod parapet u okna, kde vznikají chladné padající proudy, kterým tak zabraňujeme teplým stoupajícím konvekčním proudem z OT. V jiných případech umístění otopného tělesa mají chladné padající proudy od okna znatelně horší vliv na teplotní a rychlostní pole (cirkulaci) ve vytápěném prostoru, a to se projeví na tepelném výkonu OT. Tím, že dojde ke změně proudění a geometrii postavení sálajícího a osálaného tělesa (hlavně OT a okno), dojde i ke změně sdílení tepla z povrchu OT do místnosti sáláním a konvekcí. Změní se tak celkový součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu OT, a tak se změní i součinitel prostupu tepla OT, který vlastně určuje tepelný výkon OT vztažený na jeho jednotkovou přestupní plochu při jednotkovém rozdílu teplot mezi teplotou otopné vody a teplotou okolního vzduchu. [1]

Rovněž nezanedbatelné je i působení jinde umístěného OT než pod oknem z hlediska vytvoření tepelného komfortu ve vytápěném prostoru. Jednoznačně nepříznivější je umístění OT pod oknem kompenzující chladné, dolů padající konvekční proudy od okna, a zároveň umožňující doplnění sálavého tepelného toku, který člověk ve zvýšené míře vydává vůči oknu. [1]



Obr. 11: Vliv umístění otopného tělesa ve vytápěném prostoru na snížení jeho tepelného výkonu [11]

4.6 Teplotní exponent otopného tělesa n

Teplotní exponent nelze vypočítat podle nějakého vzorce, je určován experimentálně pro každý druh a typ OT. Opakovaným měřením tepelného výkonu téhož tělesa při různých teplotních parametrech získáme údaje pro určení teplotního exponentu. Tyto závislost vyneseme do logaritmických souřadnic a proložíme jimi přímkou. Směrnice této přímky nám bude reprezentovat hodnotu teplotního exponentu n . [1]

4.6.1 Obecný (teoretický) přehled vztahů a velikostí teplotních exponentů pro jednotlivá otopná tělesa a plochy:

Charakteristická rovnice, vyjadřující tepelný výkon ve tvaru funkce teplotního rozdílu, a zároveň mocninné funkce s teplotním exponentem nás upozorňuje na skutečnost, že vývoj teplotního součinitele s výškou lze považovat za lineární. [1]

Obecný tvar charakteristické rovnice typu pro tepelný výkon otopného tělesa [1]:

$$\dot{Q} = K_T \cdot L^a \cdot H^b \cdot \dot{m}_w^c \cdot \Delta t^{(c_0 + c_1 \cdot H)} \quad (2.7)$$

kde:	L	délka otopného tělesa [m]
	H	výška otopného tělesa [m]
	\dot{m}_w	hmotnostní průtok vody tělesem [kg/s]
	c_0	výškový posun [-]
	c_1	směrnice přímky [-]
	a, b, c, K_T	experimentálně získané konstanty [-]

Parametry, které jsou v průběhu měření konstantní, vyřadíme z obecného tvaru rovnice. Z čehož vyplyne normativní charakteristická rovnice pro měřené otopné těleso (s výjimkou konvektorů) v následujícím tvaru dle [1]. Rovnice je tedy validní pro měření jednoho zkušební vzorku.

$$\dot{Q} = K_M \cdot \Delta t^n, \quad (2.8)$$

kde: K_M konstanta vzorku [-]

Vidíme tedy exponenciální rovnici, kde exponent, teplotní exponent OT, který je cílem zájmu mého zkoumání.

Pro otopná tělesa (bez konvektorů) je závislost mezi tepleným výkonem a délkou prakticky lineární. To znamená, že exponent a (rovnice 2.6) se úzce pohybuje kolem hodnoty jedna. Charakteristické rovnice typu bude pak dle [1] mít tvar.

$$\dot{Q} = K_T \cdot H^b \cdot \Delta t^{(c_0 + c_1 \cdot H)}, \quad (2.9)$$

kde: K_T konstanta pro daný typ OT [-]

Teplotní exponent tedy vystupuje jako lineární funkce výšky H OT ve tvaru:

$$n = c_0 + c_1 \cdot H \quad (3.0)$$

V praxi se však závislost na výšce otopného tělesa projevuje většinou skrytě, neboť výrobci udávají teplotní exponent pro výrobní řadu OT s určitou výškou. Při neznalosti konkrétního teplotního exponentu může projektant, v rámci přepočtu, sáhnout dokonce k průměrné hodnotě, v rámci druhů a typů OT, které jsou uvedeny níže.

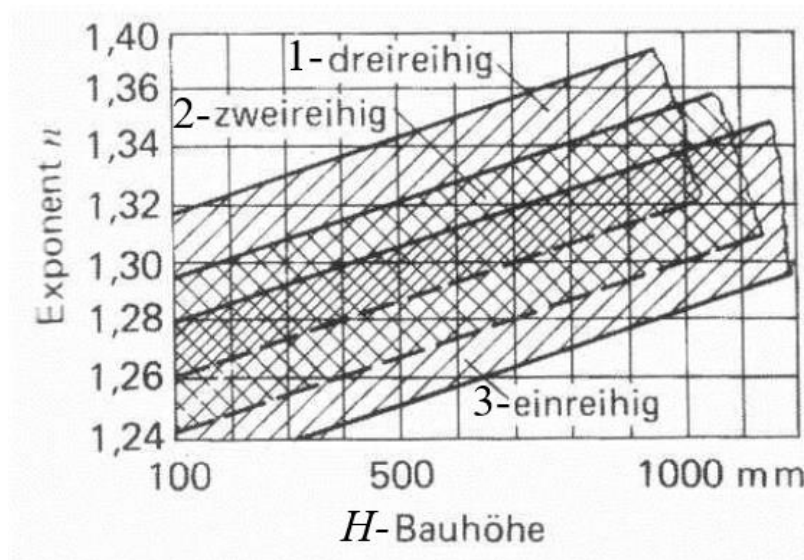
Podlahová otopná plocha $n = 1,10$

Desková otopná tělesa $n = 1,26$ až $1,33$

Trubková koupelňová otopná tělesa $n = 1,20$ až $1,30$

Konvektory bez ventilátoru $n = 1,30$ až $1,50$

Konvektory s ventilátorem $n = 1,05$ až $1,20$ [1], [6]



Obr. 12: Závislost teplotního exponentu n na výšce deskových otopných těles [12]

1- jednoduchá desková OT; 2 – zdvojená desková OT; 3 – ztrojená desková OT; H – výška OT; n – teplotní exponent OT

Tento graf zobrazuje závislost teplotního exponentu na výšce deskových otopných těles ze studie návrhu topných systémů podle prof. Hahna [12]. Graf zahrnuje všechny typy deskových otopných těles od jednoduchých po ztrojené.

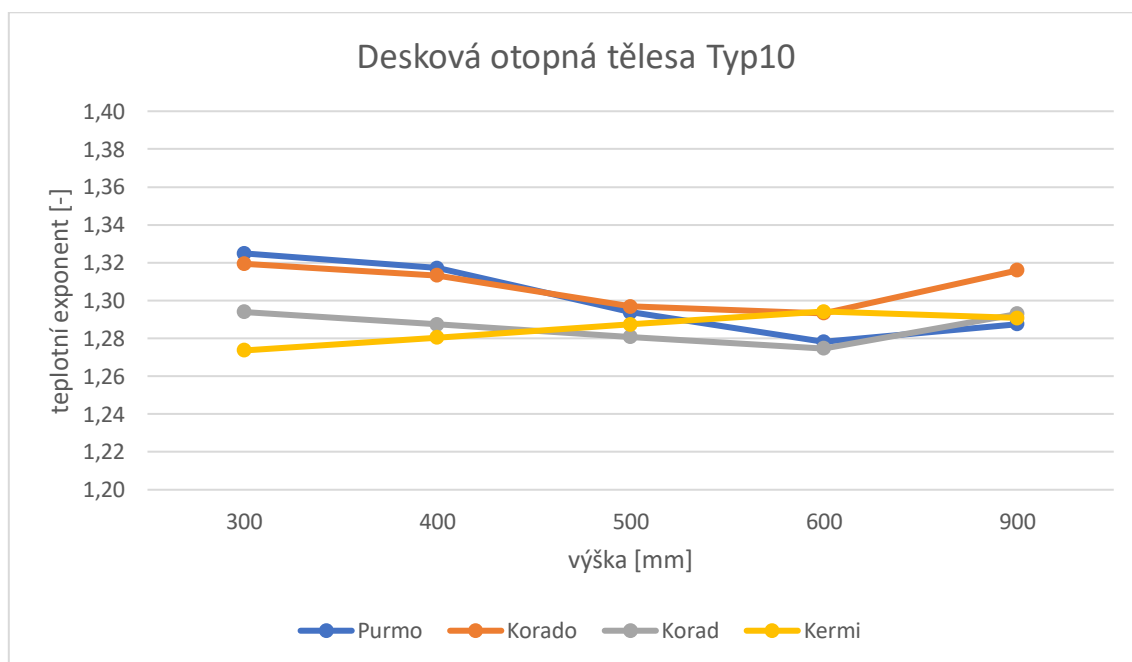
5. PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části se bude bakalářská práce zabývat porovnáním teplotních exponentů pro desková otopná tělesa v závislosti na konstrukční výšce. Dále pak vyhodnocením a porovnáním teplotních exponentů pro jednotlivé druhy otopných těles od největších dodavatelů otopných těles.

5.1 Desková otopná tělesa

Hodnoty teplotních exponentů všech typů deskových otopných těles jsou zjištěny z katalogů od největších dodavatelů otopných těles. Sortiment, nabízený dodavateli je široký. Například firma Korado nabízí 4 různé hodnoty pro deskové otopné těleso typu 10. Údaje, vynesené v grafu, jsou tedy zprůměrovanými hodnotami celkového nabízeného sortimentu pro daný typ otopného tělesa.

Z teorie víme, že by se teplotní exponent deskových otopných těles měl zvětšovat se zvyšující se konstrukční výškou. Zjištěné údaje, ale této teorii ne vždy odpovídají.



Obr. 13: Závislost teplotního exponentu na výšce OT typu 10

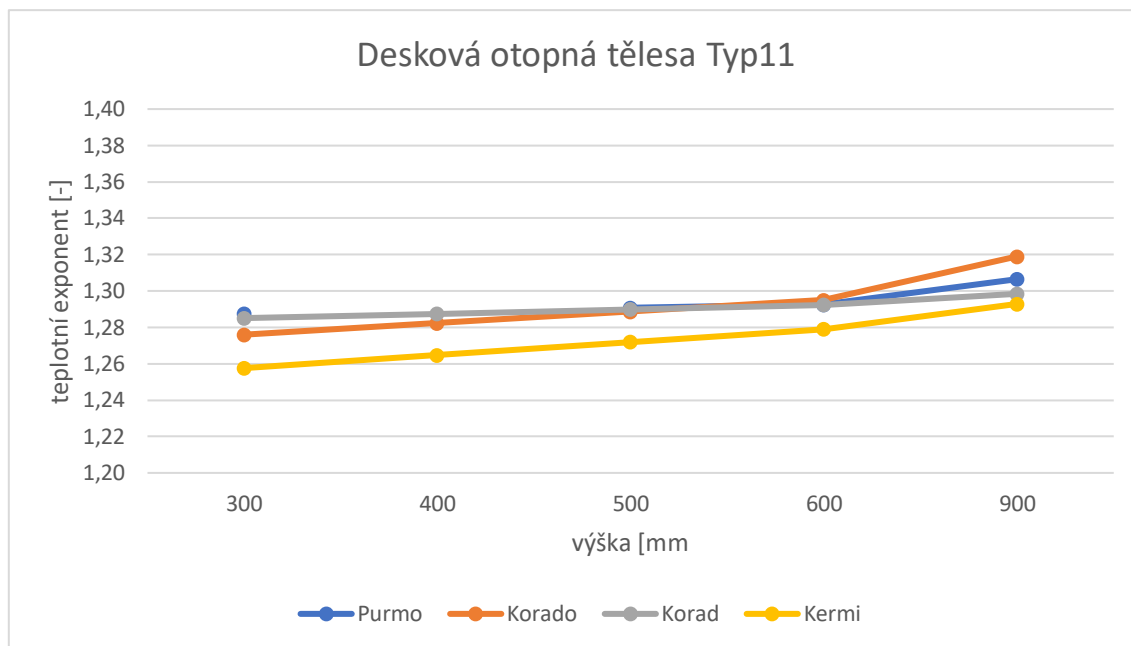
Pro otopné těleso typu 10 nabízí firma Purmo a Korado vyšší teplotní exponent oproti firmám Korad a Kermi. U této společnosti, jako jediné z výběru, vidíme nárůst velikosti teplotního exponentu, který se „láme“ v 600 mm konstrukční výšce. U ostatních

dochází v tomto „bodě“ naopak ke zvýšení. Nejvyšší hodnotu teplotního exponentu nám nabízí firma Purmo.

Zaměříme-li se na typ 10 vidíme, že průběh teplotního exponentu odporuje základním teoretickým předpokladům přijatým pro měření otopných těles v kalorimetrických komorách a následnému přepočítávání tepelného výkonu otopných těles na jiné teplotní parametry.

V EN 442 se jednoznačně vychází ze závěru, že teplotní exponent je dán lineární funkcí v celém rozsahu výšky daného typu otopného tělesa a pro různé typy a druhy otopných těles se mění pouze výškový posun a směrnice přímky. Pokud se podíváme na obr. 13, který vychází z dat prezentovaných výrobcí, je patrné, že pro typ 10 není splněna podmínka lineární funkce teplotního exponentu s výškou otopného tělesa.

Tato nesrovnalost v rámci teoretického předpokladu průběhu teplotního exponentu na výšce otopného tělesa s reálně dosaženými hodnotami, může být dána u otopného tělesa typu 10 měnícím se podílem sálavé a konvekční složky s výškou právě u této jednoduché desky. Od výšky otopného tělesa 600 mm vykazuje typ 10 cca 55 % sdílení tepla sáláním a tento podíl sálavé složky se víceméně s výškou otopného tělesa už nemění. Můžeme tedy vidět u těles vyšších než 600 mm, že průběh teplotního exponentu plně odpovídá teoretické lineární závislosti. U Těles nižších než 600 mm, kde se podíl tepelného výkonu sdíleného sáláním postupně s rostoucí výškou zvyšuje tomu tak není.



Obr. 14: Závislost teplotního exponentu na výšce OT typu 11

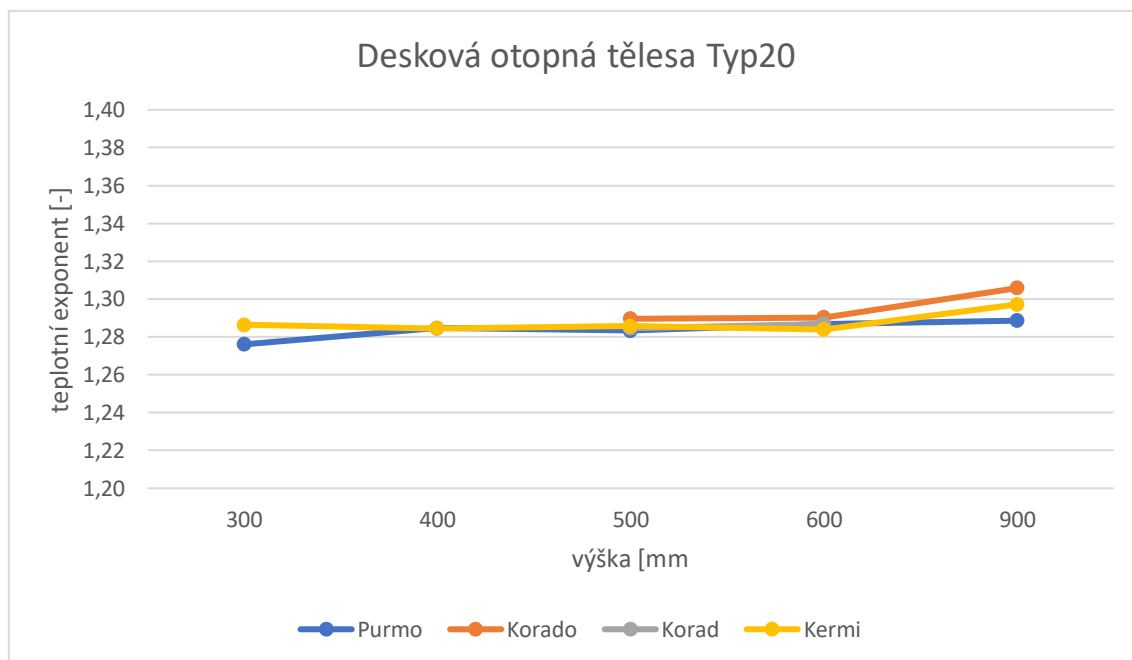
Pro OT tělesa typu 11 nabízí společnost Purmo nejvyšší hodnotu pro výšku 300 mm, a to 1,2874. Dle teoretického předpokladu dochází ke zvýšení hodnoty pro výšku 400 mm (1,3048). Poté dochází ke snížení teplotního exponentu při výšce 500 mm o 0,014 (1,2908). Při výšce 600 mm dostáváme hodnotu 1,2926 a následně 1,3065 při konstrukční výšce 900 mm.

U typu 11 se hodnoty teplotního exponentu víceméně drží teoretického předpokladu a stoupají se zvětšením konstrukční výšky OT. Vychýlení od předpokládaných hodnot nabízí firma Purmo, u které je teplotní exponent pro 400 mm konstrukční výšky téměř stejně velký jako při 900 mm.

Nejvyšší průměrnou hodnotu pro OT typu 11, a to 1,319 nám poskytuje firma Korado. Nejnižší hodnota je 1,2576 od společnosti Kermi.

Jednoznačnou anomálii vzhledem k teoretickému lineárnímu průběhu teplotního exponentu u otopného tělesa typu 11 vykazuje otopné těleso firmy Purmo při výšce 400 mm. Vzhledem k tomu, že jednotliví výrobci produkují konstrukčně víceméně stejná desková otopná tělesa, není pro tuto anomálii důvod. Domnívám se, že může jít o nepřesně udávaný údaj hodnoty teplotního exponentu právě při výšce 400 mm, a proto s touto hodnotou nebudeme dále počítat při závěrečném zprůměrování všech hodnot pro každou výšku a každý typ otopného tělesa viz obr. 20.

Obecně můžeme konstatovat, že desková otopná tělesa typu 11 vykazují lineární průběh nárůstu teplotního exponentu s výškou, kde hodnota přenosu tepla sáláním je cca 36 %. Tento průběh je definován směrnici: $n = c_0 + c_1 \cdot H$.



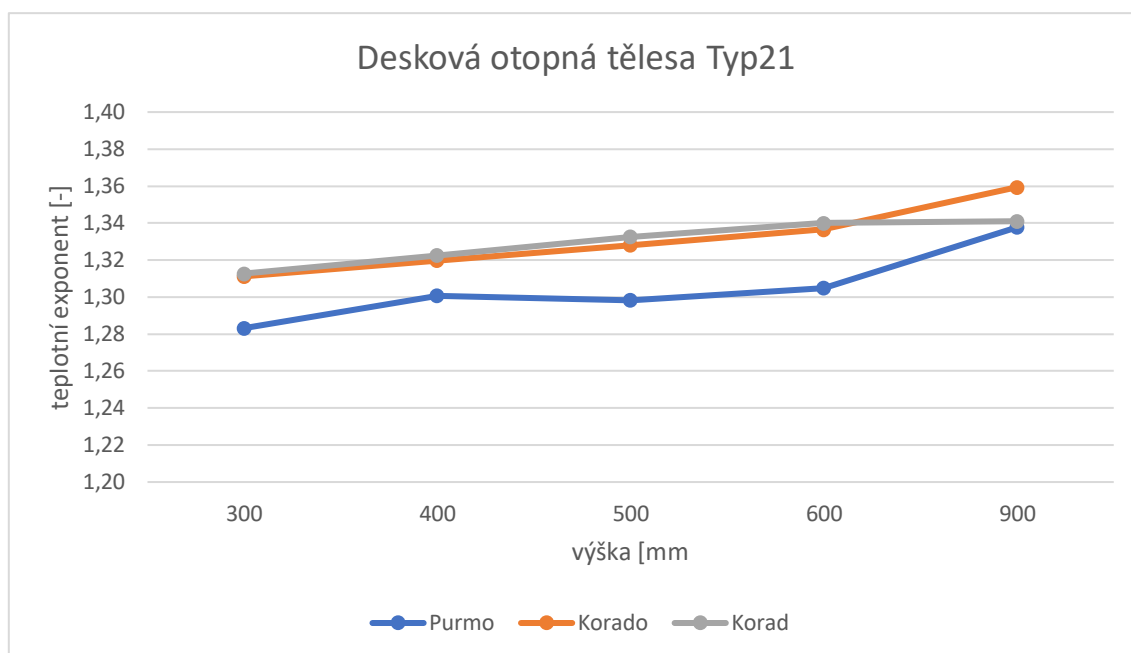
Obr. 15: Závislost teplotního exponentu na výšce OT typu 20

Pro typ 20 nabízí společnosti Purmo a Kermi téměř totožné hodnoty teplotního exponentu v závislosti na výšce. Od konstrukční výšky 300 mm až do 600 mm teplotní exponent téměř nenabývá vyšších hodnot vzhledem k zvyšování výšky otopného tělesa, vyjma firmy Korad, kde dosahujeme lineárního charakteru teplotního exponentu.

Nejvyšší hodnoty nabízí firma Korado, která se ovšem omezuje na výrobu otopných těles typu 20 pouze pro výšky 500 mm až 900 mm.

Hodnoty, naměřené v kalorimetrických komorách, lze považovat za shodné s teoretickým předpokladem pro otopná tělesa. Tento předpoklad stoupající lineární funkce teplotního exponentu se zvyšováním konstrukční výšky, nám zároveň dokazuje ustálený poměr mezi složkou konvekční a složkou sálavou, která je cca 33 %.

Z grafu dále vyplývá, že hodnota směrnice přímky teplotního exponentu pro OT typu 20 bude v porovnání s otopným tělesem typu 11 menší, viz obr. 20. Na tomto základě můžeme konstatovat, že přidání konvekčního plechu k jednoduché desce je výhodnější než použití dvou desek otopného tělesa typu 20.

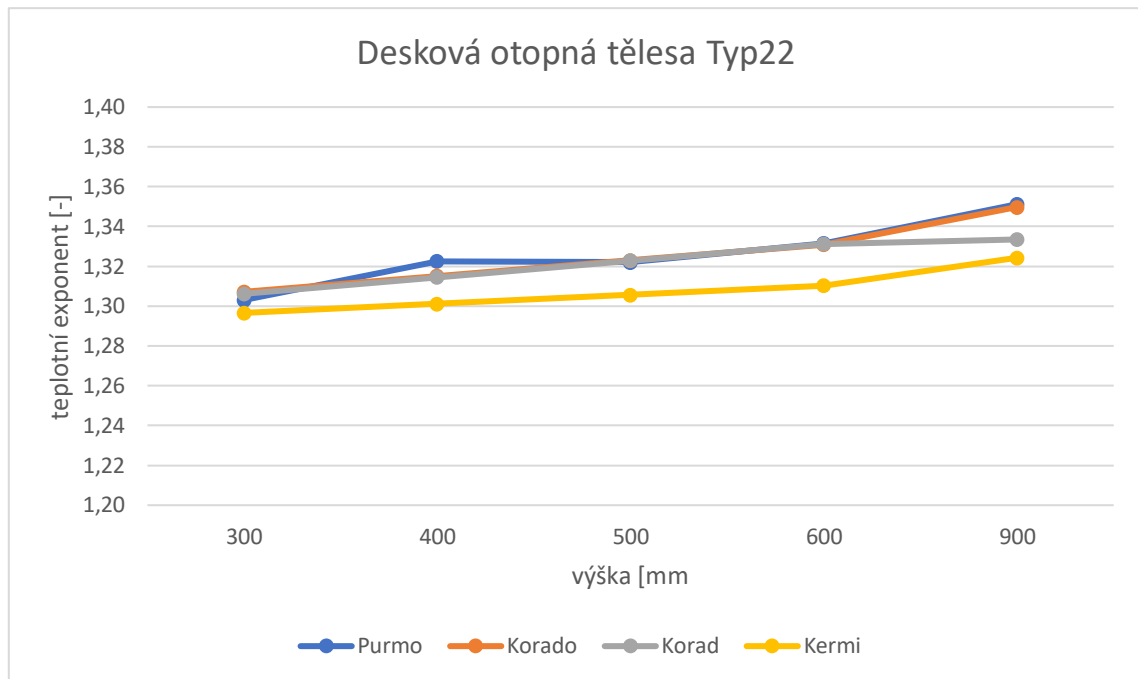


Obr. 16: Závislost teplotního exponentu na výšce OT typu 21

Pro desková otopná tělesa typu 21 nám firma Korad poskytne nejvyšší průměrné hodnoty teplotního exponentu spolu s konkurenční firmou Korado, která nabízí nejvyšší hodnotu pro výšku 900 mm, a to 1,3594. Nejnižší průměrné hodnoty jsou nabízeny společností Purmo, u kterých lze pozorovat neočekávané vychýlení od předpokládaných hodnot. Namísto rostoucího lineárního průběhu funkce v závislosti na zvýšení konstrukční výšky OT můžeme vidět pokles, a to od 400 mm až do 500 mm. U výšky 600 mm dochází k viditelnému nárůstu teplotního exponentu (Korado, Purmo). Nejvíce pak je tomu u společnosti Purmo, kde je velikost teplotního exponentu od výšky 600 do 900 mm navýšena z hodnoty 1,3049 na 1,341. Pro stejné výškové rozmezí zůstává teplotní exponent otopných těles společnosti Korad konstantní. Nejnižší hodnota 1,2832 pro výšku 300 mm je taktéž nabízena firmou Purmo.

Z obr.16 je patrné, že hodnoty udávané výrobcí až na malé odchylky hodnot teplotního exponentu v závislosti na výšce nabízené firmou Purmo, odpovídají teoretickému předpokladu lineárního průběhu, kde se podíl složky sáláním pohybuje okolo 28 %.

Společnost Kermi se nespécializuje na výrobu otopných těles typu 21, a proto je bohužel nelze v grafech zobrazit a porovnat.

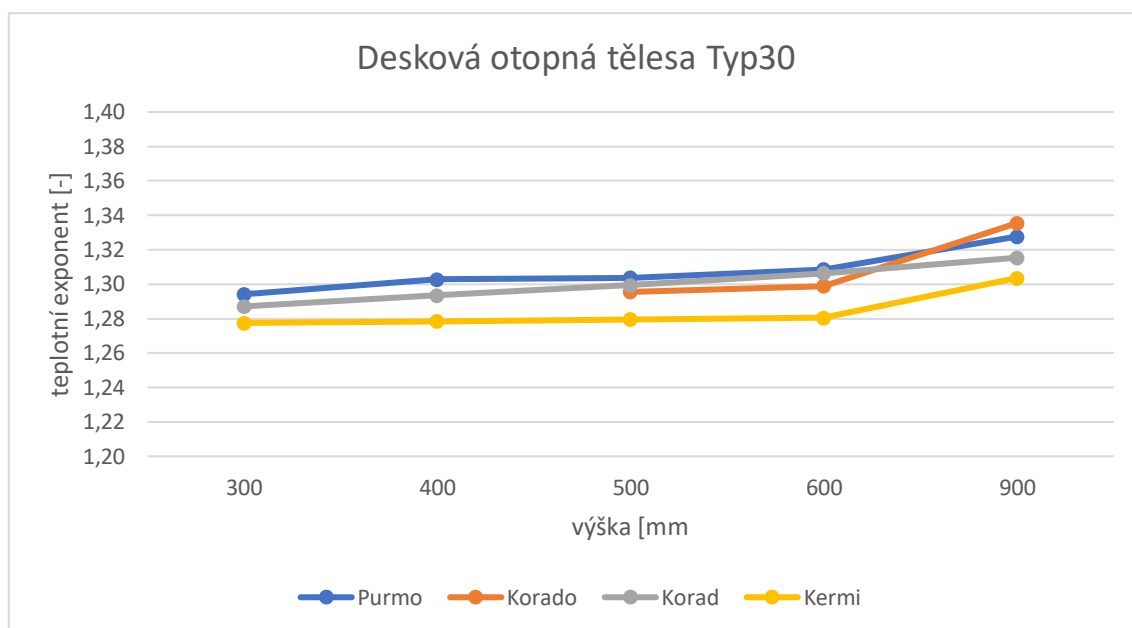


Obr. 17: Závislost teplotního exponentu na výšce OT typu 22

Na obr. 17 lze pozorovat velmi podobné hodnoty pro všechny výšky u firem Purmo, Korado a Korad. Nejvyšší hodnotu teplotního exponentu může nabídnout firma Purmo a Korado, a to 1,3498 pro výšku 900 mm. Nejnižší průměrné hodnoty jsou nabízeny firmou Kermi s nejnižší hodnotou 1,2966 pro výšku 300 mm.

U všech firem nabízejících desková otopná tělesa typu 22 lze jasně pozorovat, že reálné hodnoty teplotního exponentu pro otopná tělesa nabízená v katalogích jsou v souladu s teoretickým předpokladem lineárního průběhu dle normy EN442, viz obr. 17.

Tato skutečnost nám ukazuje stabilní poměr mezi složkou konvekční a sálavou, která činí cca 24 %.

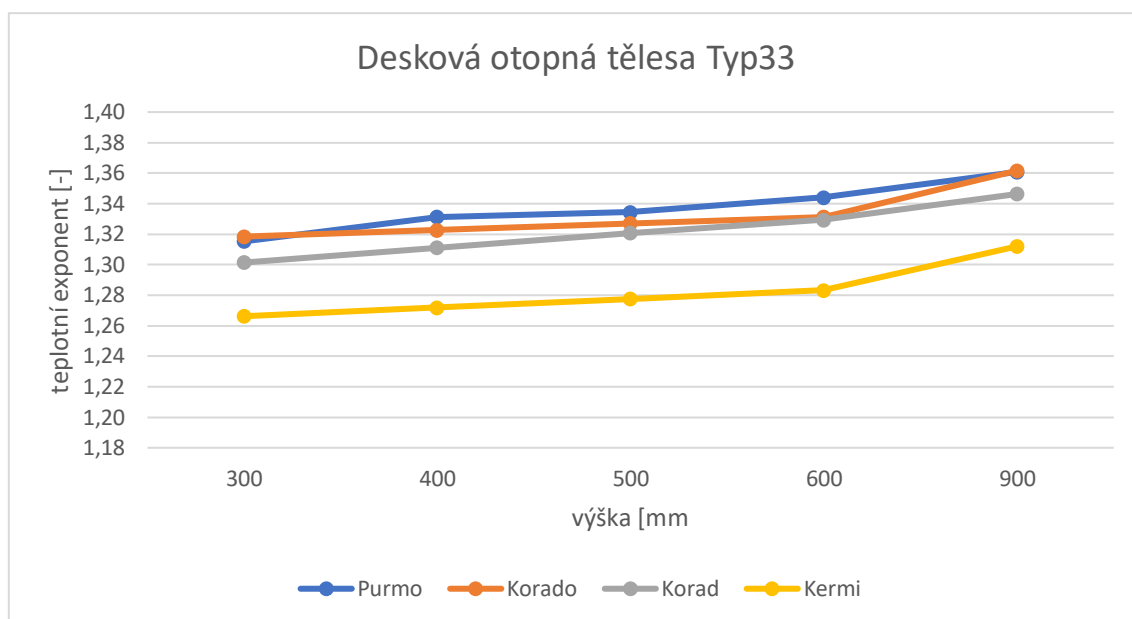


Obr. 18: Závislost teplotního exponentu na výšce OT typu 30

Z obr. 18 je patrné, že nejvyšší nabízenou hodnotu teplotního exponentu o velikosti 1,335 na výšce 900 mm otopného tělesa nabízí firma Korado. Tato společnost vyrábí, v porovnání s konkurencí největších dodavatelů deskových otopných těles, pouze omezený výběr výškového profilu deskových otopných těles typu 30, stejně jako u typu 20 viz obr. 15. Nejnižší nabízenou hodnotu o velikosti 1,2775 na výšce 300 mm nám poskytuje firma Kermi, tato hodnota zůstává z nejasných důvodů téměř stejná až do konstrukční výšky 600 mm. V tomto bodě dochází k poměrně velkému zlomu, který charakterizuje zvýšení teplotního exponentu na výšce a dále tak respektuje teoretické předpoklady.

Hodnoty teplotního exponentu pro desková otopná tělesa typu 30 získané z katalogů od výrobců Purmo, Korado a Korad jsou víceméně totožné a splňují podmínku lineárního průběhu jakožto rostoucí lineární funkce v závislosti na zvýšení konstrukční výšky. Tuto skutečnost potvrzuje i firma Kermi, která ovšem nabízí menší průměrné hodnoty teplotního exponentu otopného tělesa oproti konkurenci.

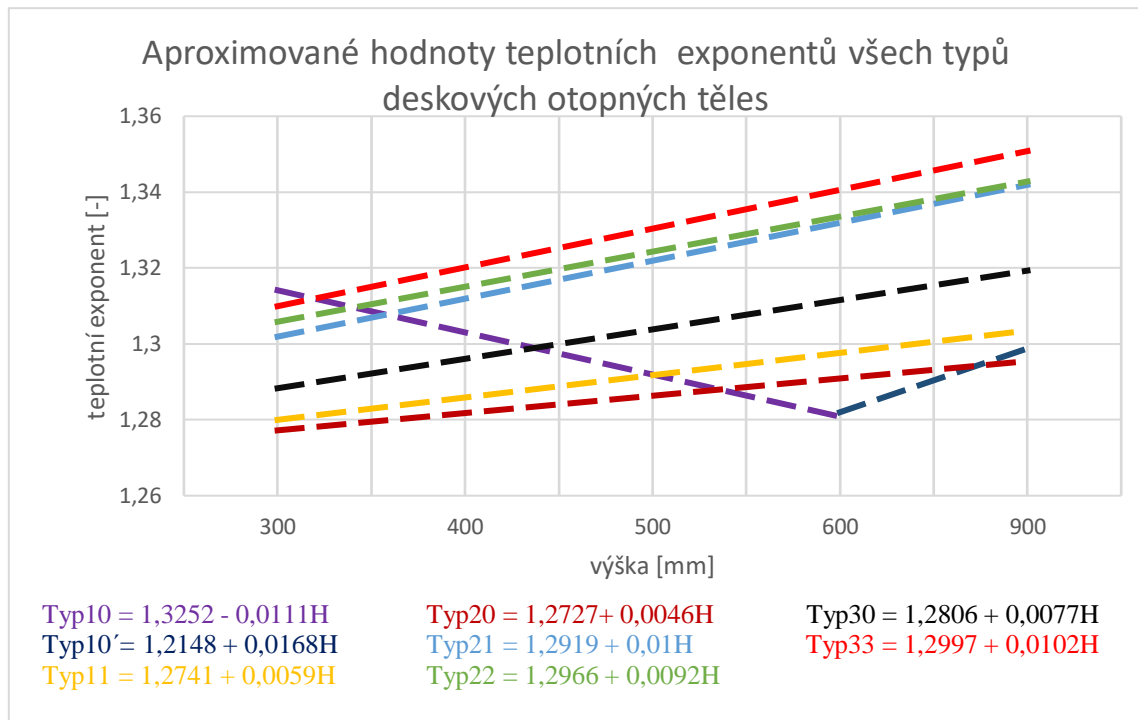
Podíl sálání deskového otopného tělesa typu 30, zde činí cca 21 %.



Obr. 19: Závislost teplotního exponentu na výšce OT typu 33

Na obr. 19 lze pozorovat, že nejvyšší průměrné hodnoty pro typ 33 poskytuje společnost Purmo s nejvyšší průměrnou hodnotou 1,3616 pro výšku 900 mm otopného tělesa, kterou taktéž disponuje firma Korado. S poměrně nižšími průměrnými hodnotami se setkáváme u firmy Kermi. Nejnižší hodnota zde dosahuje velikosti 1,2662 pro výšku 300 mm. Průměrná hodnota rozdílu teplotních exponentů pro výšky 300 až 900 mm mezi společnostmi Purmo a Kermi dosahuje pro otopná tělesa typu 33 velikosti 0,055. U všech otopných těles typu 33, nabízených vybranými dodavateli, dochází k výraznějšímu zlomu při výšce 600 mm, a to zejména u firmy Kermi, kde se velikost teplotního exponentu mezi výškami 600 a 900 mm mění z 1,283 na 1,3120.

Teoretických předpokladů, stejně jako u předchozích typů otopných těles 11 a vyšších, dosahují i otopná tělesa typu 33. Lineární průběh funkce ukazuje předpokládaný a ustálený poměr složky konvekční a sálavé. Poměr tepelného výkonu sdíleného sáláním zde dosahuje hodnoty cca 18 %.



**Obr. 20: Závislost aproximovaných hodnot teplotního exponentu všech typů
deskových otopných těles na výšce**

Poslední graf zabývající se deskovými otopnými tělesy zobrazuje aproximované hodnoty teplotního exponentu n , jakožto lineární funkce v závislosti na konstrukční výšce H . Tyto křivky zobrazují zprůměrované hodnoty teplotního exponentu pro všechny typy deskových otopných těles od výšky 300 do 900 mm od všech vybraných výrobců vyjma firmy Kermi. Tato společnost nevyrábí otopná tělesa typu 21 a tudíž by její hodnoty zkreslovaly výsledné hodnoty vůči ostatním typům.

Průběhy proložených hodnot, až na deskové otopné těleso typu 10, nám potvrzují splnění teoretického předpokladu dle EN 442. Tato již výše zmíněná norma, nám říká, že teplotní exponent je dán rostoucí lineární funkcí v celém rozsahu výšky daného typu otopného tělesa a pro různé typy a druhy otopných těles se mění pouze výškový posun a směrnice přímky. Směrnice a výškový posun je definován rovnicí:

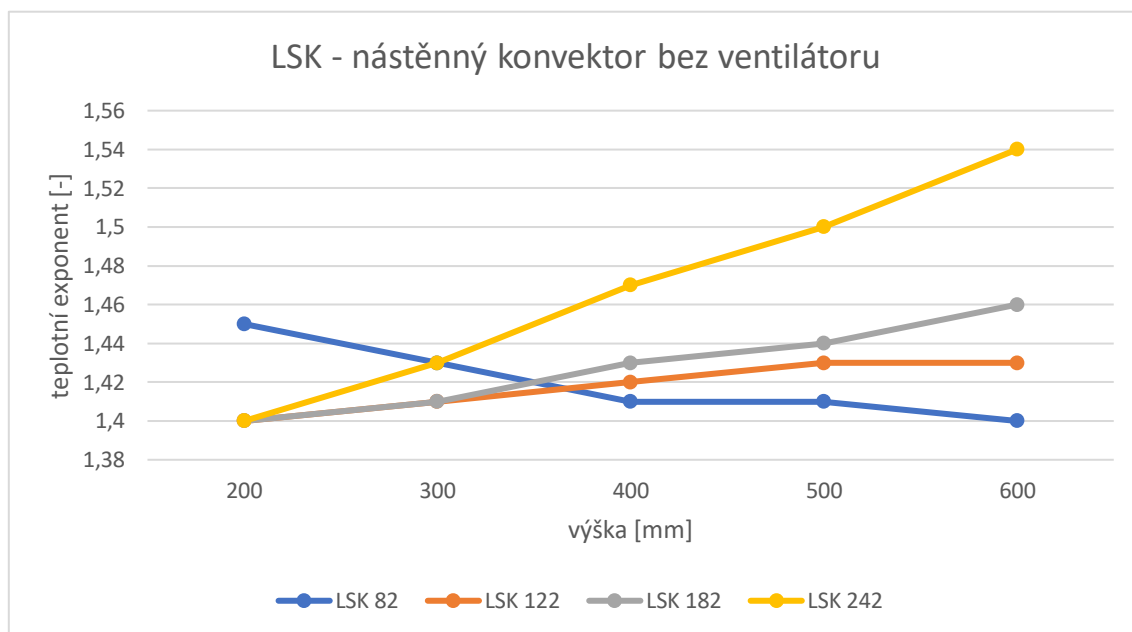
$$n = c_0 + c_1 \cdot H,$$

kde c_0 = výškový posun a c_1 = směrnice přímky.

Součet výškového posunu a směrnice přímky násobené konstrukční výškou H , nám poskytne informace o velikosti teplotního exponentu n pro daný typ deskového otopného tělesa. Z grafu je patrné, že zvýšením otopného tělesa dochází ke zvětšení

teplotního exponentu. Tento jev se pro všechny výšky nejvíce projeví u tělesa typu 33, který je složen ze tří desek a tří konvekčních plechů. Zvyšováním konstrukční výšky tohoto typu dochází k největšímu rozšíření přestupní plochy ze všech typů deskových otopných těles. Naopak nejmenší ovlivnění bude platit pro dvě desky bez konvekčních plechů, tedy typ 20. Opačného efektu dosahujeme u otopného tělesa typu 10, čímž se dostáváme do rozporu s teoretickým předpokladem. Tato skutečnost nám říká, že se zvětšením konstrukční výšky dostáváme velmi proměnlivé hodnoty tepelného výkonu sáláním a konvekcí, které po zprůměrování a aproximování lineární funkcí ve výsledku klesají, a to až do výšky 600 mm. V tomto bodě dochází ke zlomu, resp. ke zvýšení teplotního exponentu pro desková otopná tělesa typu 10.

5.2 Konvektory



Obr. 21: Závislost teplotního exponentu nástěnného konvektoru na výšce

V tomto grafu lze pozorovat hodnoty teplotního exponentu nástěnného konvektoru LSK bez ventilátoru od společnosti Isan, která nám tyto hodnoty poskytuje v závislosti na výšce od 200 až do výšky 600 mm. Nástěnné konvektory jsou rozděleny i podle hloubky, například nejvyšší hodnoty teplotního exponentu dosahuje konvektor LSK o výšce 600 mm a hloubce 242 mm, a to 1,54.

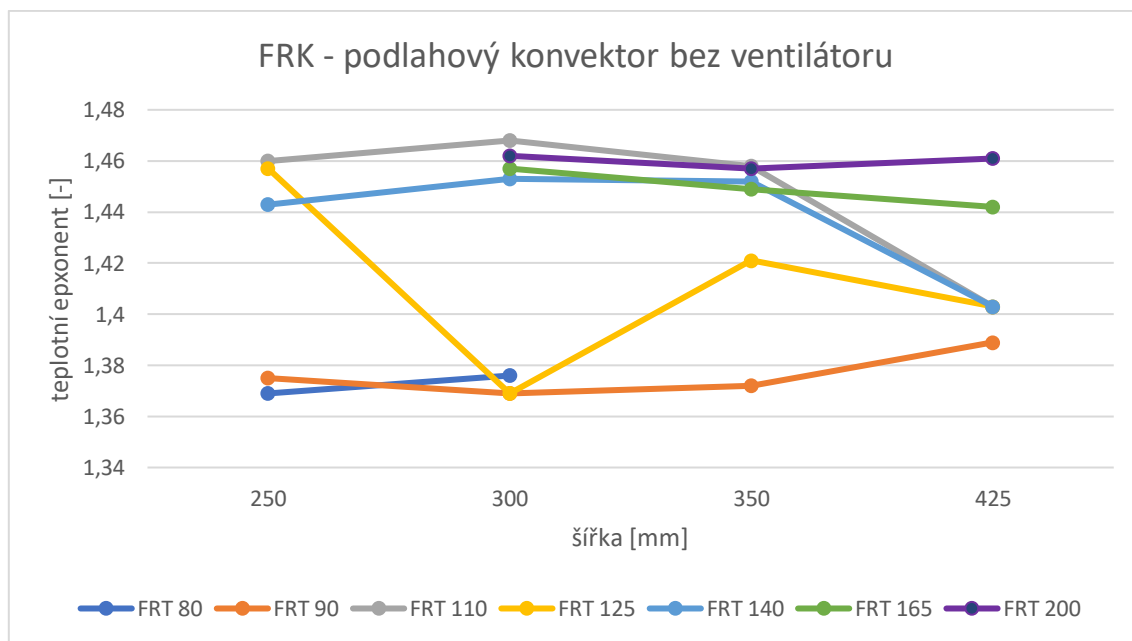
Z obr. 21 vidíme vysoký nárůst teplotního exponentu se zvýšením konstrukční výšky, zejména u konvektorů o hloubce 242 mm. Naopak u konvektoru o hloubce 82 mm

vidíme pokles teplotního exponentu. To by rovněž mohlo vysvětlovat opačné chování vývoje teplotního exponentu u nízkých deskových otopných těles typu 10.

Tab. 2: Závislost teplotního exponentu nástěnného konvektoru na výšce a hloubce

LSK - nástěnný konvektor s ventilátorem		
hloubka B [mm]	výška H [mm]	teplotní exponent n [-]
122	500	1,079
122	600	1,095
182	500	1,083
182	600	1,105

Z tab. 2 je patrné, že teplotní exponent je vyšší s konstrukční výškou 600 mm nežli 500 mm. Nejvyšší hodnota exponentu pak činí 1,105, a to pro konvektor o hloubce 182 mm a výšce 600 mm.



Obr. 22: Závislost teplotního exponentu podlahového konvektoru na výšce

Teplotní exponent je v obr. 22 uveden stejně, jako u nástěnných konvektorů, v závislosti na výšce a hloubce. Nejvyšší hodnotu lze pozorovat u podlahového konvektoru FRK o konstrukční výšce 110 mm a hloubce 300 mm. Hodnota teplotního exponentu dosahuje velikosti 1,468.

U podlahových konvektorů společnosti Isan dostáváme velmi proměnné a nestálé hodnoty teplotního exponentu. K největším "skokům" dochází u podlahového konvektoru o výšce 125 mm, kde rozdíl teplotních exponentů mezi hloubkami

250 a 300 mm činní 0,088. K dalším poklesům, které při zvětšení konstrukční výšky konvektoru očekáváme, dochází při hloubce 350 mm, a to pro konvektory o výšce 110, 125 a 140 mm. Opačné chování mají v tomto bodě konvektory o výšce 90 a 200 mm, kde dochází k nepatrnému zvětšení. Výroba podlahových konvektorů FRK pro výšku 80 mm se omezuje pouze na hloubky 250 a 300 mm, kde dochází k lineárnímu růstu společně se zvětšením hloubky konvektoru. Naopak u konvektorů o výšce 165 mm dochází k lineárnímu poklesu.

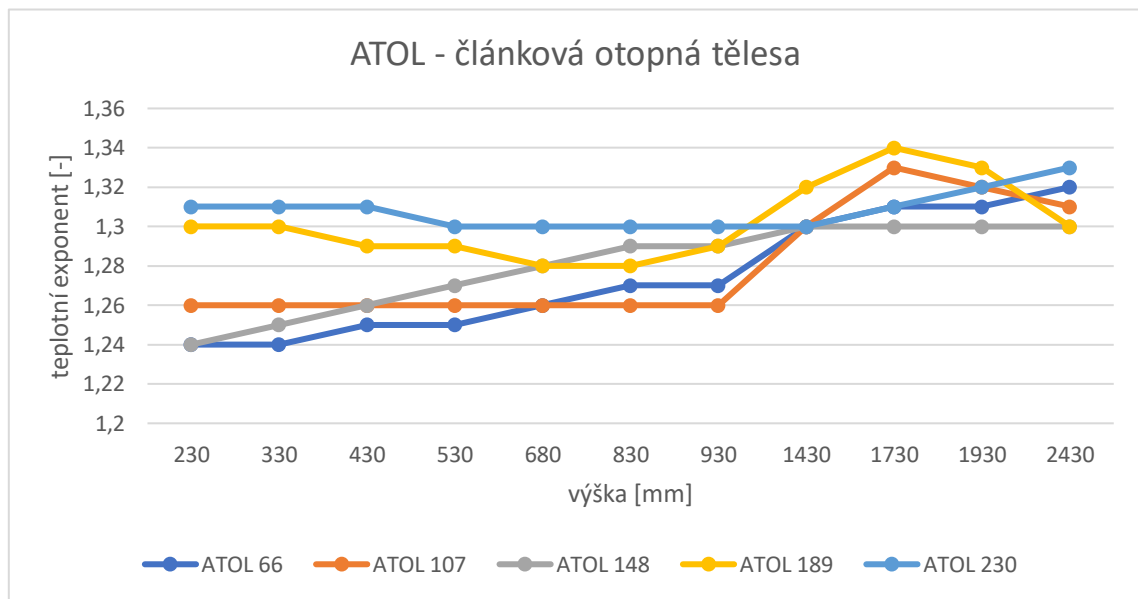
Tab. 3: Závislost teplotního exponentu podlahového konvektoru na výšce a hloubce

KORAFLEX FV - podlahový konvektor S ventilátorem		
hloubka B [mm]	výška H [mm]	teplotní exponent n [-]
280	70	1,04
280	80	1,1159
280	90	1,0996
280	110	1,1

Podlahové konvektory Koraflex s ventilátorem od společnosti Korado jsou vyráběny pro hloubky 160, 200, 280, 340 a 420 mm. Nejvíce typů, které lze porovnat v závislosti na konstrukční výšce je dimenzováno právě pro hloubku 280 mm.

Velikost teplotních exponentů zde není úplně jednoznačná. Nedochozí zde k postupnému poklesu v závislosti na růstu výšky konvektoru viz tab. 3. Nejvyšší hodnotu dostaneme u podlahového konvektoru o výšce 80 mm.

5.3 Článeková otopná tělesa



Obr. 23: Závislost teplotního exponentu článekového otopného tělesa ATOL na výšce

Podrobný přehled závislosti teplotního exponentu pro článeková OT na výšce tělesa a hloubce článku můžeme vidět na obr. 23, kde například článekové otopné těleso ATOL o hloubce článku 189 mm dosahuje nejvyšší hodnoty teplotního exponentu velikosti 1,34 při výšce 1730 mm.

U článekových otopných těles o hloubce 66 a 148 mm dochází k pomalému nárůstu teplotního exponentu v závislosti na zvětšení výšky. Naopak pro tělesa o hloubce 189 mm a 230 mm dochází nejprve k poklesu a až následně k růstu. U článekových otopných těles o hloubce 189 mm dochází k dalšímu zlomu a následnému poklesu při výšce 1730 mm. OT o hloubce článku 107 mm mají víceméně konstantní hodnotu teplotního exponentu až do výšky 930 mm. V tomto bodě dochází k poměrně výrazné změně velikosti teplotního exponentu, a to z hodnoty 1,26 na hodnotu 1,33 při výšce 1730 mm, poté následuje mírný pokles.

6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo shromáždit a zpracovat údaje o hodnotách teplotních exponentů pro všechny druhy otopných těles, které jsou v současné době na trhu se zaměřením se na desková otopná tělesa a jejich typy. Hodnoty, které byly vizuálně interpretovány pomocí grafů, nám ukazují menší či větší odchýlení od lineárního průběhu teplotního exponentu v závislosti na výšce otopného tělesa.

Téměř pro všechny typy deskových otopných těles platí střídavě rostoucí a ne klesající průběh teplotního exponentu, který víceméně odpovídá teoreticky očekávaným hodnotám. Výjimkou se v rámci jednotlivých typů deskových otopných těles stává deskové otopné těleso typu 10, u kterého se předpokládaný průběh nepotvrdil. Tato výjimky by se dala objasnit podrobnější experimentální studií vlivu podílu sálavé a konvekční složky tepelného výkonu s rostoucí konstrukční výškou. Jinými slovy, je otázkou, zda do určité výšky prosté desky neroste sálavá složka výkonu otopného tělesa rychleji, než jeho konvekční složka. Tento předpoklad vychází z poznatku, že čím je vyšší teplotní exponent u jednotlivých druhů otopných těles, tím větší podíl přirozené konvekce vykazují. Aproximované hodnoty teplotního exponentu v závislosti na výšce tělesa (viz obr. 20) nám poskytují další informace o vlastnostech deskových otopných těles. Nejpriznivějšího vlivu po zvýšení konstrukční výšky tělesa získáme u typu 33, a to s počátečním výškovým posunem 1,2997 a směrnicí přímky 0,0102 násobenou výškou H . Nízké hodnoty exponentu se projevují u deskových otopných těles bez konvekčních plechů. Především pak u typu 20, ale i typu 30, který je obvykle rozměrově náročnější a má menší průměrnou hodnotu teplotního exponentu nežli typ 21 a 22. Tento fakt vychází ze specifického použití otopných těles bez konvekčního plechu s větší konstrukční hloubkou, mnohdy i bez krycí mřížky a bočnic, s ohledem na vytápění objektů se zvýšeným požadavkem na hygienu a potřebou pravidelného otírání dezinfekcí.

U konvektorů, obdobně jako u deskových OT, vyhodnocuje tato práce závislost teplotního exponentu na výšce a hloubce skříně konvektoru. Dimenzováním těchto rozměrů získáváme velmi proměnlivé hodnoty, a to jak pro konvektory bez ventilátoru, tak i s ventilátorem. Nelze tedy jednoznačně uvést, jak se budou konvektory s přirozeným vybíjením tepla chovat pouze s ohledem na vývoj teplotního exponentu

a výšky skříňě konvektoru. Zde by bylo nutné sledovat rovněž hloubku skříňě konvektoru a minimálně odpor při protékání vzduchu žebrovkou, event. mezeru mezi žebrovkou a skříňí konvektoru s ohledem na obtékání/ protékání žebrovky. Jinými slovy, bylo by nutné zahrnout mnohem více konstrukčních parametrů s ohledem na vývoj teplotního exponentu než pouze výšku H , uvedenou v zadání této práce. Jasně je, že konvektory nesplňují předpoklad EN 442, že teplotní exponent s konstrukční výškou lineárně roste.

Článeková otopná tělesa od výšky 230 do 2430 mm mají nejprůzračnější hodnoty teplotního exponentu z pohledu předpokladů vývoje n podle EN 442, a to mezi 1730 a 2430 mm, čímž splňují naše očekávání. Dochází tedy ke zvyšování teplotního exponentu s rostoucí konstrukční výškou, ale rovněž tak i hloubkou článekového otopného tělesa. Průběh teplotního exponentu je obdobně jako u deskových OT střídavě rostoucí s výjimečnými poklesy, viz obr. 23.

Problematika teplotního exponentu se týká i trubkových otopných těles. Avšak s ohledem na širokou variabilitu otopné plochy tohoto druhu OT, při zastoupení především koupelnových trubkový OT, nelze jednoznačně předpokládat vývoj chování teplotního exponentu pouze na výšce, a proto se jimi praktická část bakalářské práce nezabývá.

Bakalářská práce zmapovala dostupné technické informace jednotlivých výrobců deskových, článekových a trubkových otopných těles včetně konvektorů, po stránce vývoje jejich teplotního exponentu s konstrukční výškou OT. Předpoklady dané EN 442 stran lineárního vývoje teplotního exponentu s rostoucí výškou OT nebyly zdaleka vždy splněny. Je tedy otázkou, zda by tato lineární funkce závislá na jediném konstrukčním parametru, tj. výšce, neměla být pro daný typ OT nahrazena lépe vyhovující, např. exponenciální funkcí, která bude mít alespoň dva konstrukční parametry, např. výšku a hloubku OT.

Přehledné zmapování teplotních exponentů pro různé druhy a typy OT, stejně jako jejich vyhodnocení s ohledem na předpokládanou lineární funkci jejich vývoje s výškou OT pokládám za důležitý přínos. Neboť teplotní exponent nahrazuje v rámci změny tepelného výkonu OT s jinými provozními a instalačními podmínkami i změnu součinitele prostupu tepla stěnou OT ze jmenovitých na skutečné podmínky. Teplotní exponent je určován experimentálně v akreditovaných laboratořích a výrobci OT mají

povinnost takto určené teplotní exponenty uvádět. Proto jsem vycházel v mé práci z teplotních exponentů uváděných výrobcí, aniž jsem je zpochybňoval. Výsledky však mnohdy oproti teoretickým předpokladům hovořily spíše ve prospěch nějakého omylu v technické dokumentaci výrobců.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy: otopná tělesa*. 2001, 2016. Praha: nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.
2. *Sálavé vs. konvekční topení* [online]. Cloppenburg: Energy-com, 2016 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://energy-com.cz/service-cz/strahlungs-und-konvektionswaerme-cz/>
3. BAŠTA, Jiří. Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3524-5.
4. *Otopné plochy (II) - Druhy otopných těles* [online]. Prof. Ing. Jiří Bašta, Ing. Roman Vavříčka, Ph.D. Praha: ČVUT v Praze, Ústav techniky prostředí, 2006 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3064-otopne-plochy-ii-druhy-otopnych-teles>
5. *Desková otopná tělesa, SETOP* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.kotlebuderus.cz/produkty-buderus/deskova-otopna-telesa/>
6. *Jaké jsou druhy otopných těles?, snizujeme.cz* [online]. 2013 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://www.snizujeme.cz/clanky/druhy-otopnych-teles/>
7. Otopné těleso ISAN GRENADA. In: *Kolte-koupelny.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.kotle-koupelny.cz/produkt/otopne-teleso-isan-grenada-1335x750-mm-bila-dgrr13350750sk01/>
8. *Konvektory a nízkoteplotní zdroje vytápění* [online]. Česká Třebová: KORADO, 2014 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/11218-konvektory-a-nizkoteplotni-zdroje-vytapani>
9. *Radiátor – jak jej vybrat?* [online]. Bydlení21.cz, 2013 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://bydleni21.cz/radiator-jak-jej-vybrat/>
10. *Konvektory* [online]. Česká Třebová: KORADO, 2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/konvektory.html>
11. BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy (IV - 2.část) - přepočítání tepelného výkonu* [online]. 2006: Ediční středisko ČVUT, 2001 [cit. 2020-04-11]. Dostupné

- z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3192-otopne-plochy-iv-2-cast-prepocet-tepelneho-vykonu>
12. *Gebäudeplanung: Auslegung von Heizungsanlagen* [online]. Fachhochschule Dortmund, 2012 [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: https://www.fh-dortmund.de/de/fb/3/personen/lehr/hahn/medien_pw/Auslegung_Heizungsanlagen_GP.pdf
 13. *ISAN katalog: Termo - Podlahové konvektory* [online]. Poříčí: ISAN, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.isan.cz/getattachment/download/Katalogy/TERMO-technicky-katalog.pdf.aspx>
 14. *ISAN katalog: Ecolite - Nástěnné konvektory* [online]. Poříčí: ISAN, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.isan.cz/getattachment/download/Katalogy/ECOLITE-technicky-katalog.pdf.aspx>
 15. *KORADO katalog: Koraflex - podlahové konvektory* [online]. Česká Třebová: Korado, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/common/downloads/koraflex-podlahove-konvektory-novinky-1589372894.pdf>
 16. *KORADO katalog: Radik - desková otopná tělesa* [online]. Česká Třebová: KORADO, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/common/downloads/radik-deskova-otopna-telesa-1579165439.pdf>
 17. *PURMO katalog: Otopná desková a dekorační tělesa* [online]. Helsinki: PURMO, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.purmo.com/publisher/online-view.php?doc=/docs/tecknicky_katalog.pdf&locale=cs-CZ
 18. *KORAD Radiators katalog: Desková otopná tělesa* [online]. Košice: KORAD Radiators, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.korad-radiators.sk/doc/korad-radiators-13-web.pdf>
 19. *KERMI katalog: Desková otopná tělesa therm - x2* [online]. Stříbro: KERMI, 2018 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://portal.kermi.cz/DownloadCenter/cs/heating/heating/documents/c>

20. *ISAN katalog: Atol - Článekové radiátory* [online]. Poříčí: ISAN, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.isan.cz/getattachment/download/Katalogy/ATOL-technicky-katalog.pdf.aspx>

8. SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy v elektronické podobě: Bakalarska_prace_SLAVIK.pdf, Tabulky_Grafy.xlsx