



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

TEPELNÁ VODIVOST U NESTANDARDNÍCH MATERIÁLŮ PRO TZB

THE THERMAL CONDUCTIVITY OF NON-STANDARD MATERIALS FOR HVAC

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karel Běťák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL UHER, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Karel Běťák
Název	Tepelná vodivost u nestandardních materiálů pro TZB
Vedoucí práce	Ing. Pavel Uher, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

- A. Popis stávajícího stavu, analýza tématu a podkladů stavby, stanovení konkrétních cílů a metod řešení
 - B. Zjištění tepelné vodivosti předem připravených vzorků z nestandardních materiálů.
 - C. Minimálně 1 varianta v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:50, stručná technická zpráva
- Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Pavel Uher, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na stanovení součinitele tepelné vodivosti λ na skupině termoplastů používaných pro 3D tisk (PLA, ABS, PETG). Popisuje materiály používané pro 3D tisk a návrh vzduchotechniky pro prodejnu potravin. K řešení byla použita stacionární metoda. Měřen byl tepelný tok procházející vzorkem a dopočítáván součinitel tepelné vodivosti. Zvolenou metodou jsme stanovili součinitel $\lambda = 0,11-0,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Srovnání s dostupnými výsledky jiných metod a autorů ukázalo, že výsledný součinitel je nižší. Na základě zjištěných údajů je možné porovnat tepelné technické vlastnosti materiálů pro 3D tisk.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelná vodivost, součinitel tepelné vodivosti, materiály pro 3D tisk, filament, vzduchotechnika, prodejna potravin.

ABSTRACT

The thesis is focused on the determination of the thermal conductivity coefficient λ on the group of thermoplastics used for 3D printing (PLA, ABS, PETG). The thesis describes the materials used for 3D printing and the design of air conditioning for the grocery store. A stationary method was used for the solution. The heat flux passing through the sample was measured and the thermal conductivity coefficient was calculated. By the chosen method, we determined the coefficient is $\lambda = 0,11-0,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Comparison with the available results of other methods and authors has shown that the resulting coefficient is lower. Based on the data, it is possible to compare the thermal properties of 3D printing materials.

KEYWORDS

Thermal conductivity, thermal conductivity coefficient, materials for 3D printing, filament, air conditioning, grocery store.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Karel Běťák *Tepelná vodivost u nestandardních materiálů pro TZB*. Brno, 2019. 107 s., 29 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Pavel Uher, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Tepelná vodivost u nestandardních materiálů pro TZB* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Karel Běťák
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Tepelná vodivost u nestandardních materiálů pro TZB* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Karel Běťák
autor práce

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Pavlu Uhrovi Ph.D. za odbornou pomoc, poskytnutí cenných rad, ochotu a věnovaný čas. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině. V neposlední řadě kolegům Bc. Ondřeji Malovanému a Bc. Jakobovi Oravcovi za čas věnovaným konzultacím technických problémů.

OBSAH

ÚVOD	13
1 TEORETICKÁ ČÁST	16
1.1 ÚVOD.....	16
1.2 VEDENÍ TEPLA	16
1.2.1 STACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA ROVINNOU STĚNOU	17
1.3 SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI λ	17
1.3.1 ZNÁME HODNOTY SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI	17
1.3.2 STANOVENÍ SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI λ	18
1.3.2.1 METODY STANOVENÍ	18
1.3.2.2 METODA CHRÁNĚNÉ TEPLÉ DESKY	19
1.3.2.3 METODA MĚŘIDLA TEPELNÉHO TOKU	19
1.3.2.4 METODA NESTACIONÁRNÍHO TEPELNÉHO TOKU	19
1.3.2.5 METODA HORKÉHO DRÁTU	19
1.3.2.6 METODA LASEROVÉHO ZÁBLESKU	20
1.4 NESTANDARTNÍ MATERIÁLY PRO TZB.....	20
1.4.1 CO TO JE 3D TISK?	20
1.4.1.1 ROZDĚLENÍ TISKÁREN PODLE DRUHU TISKOVÉHO MATERIÁLU:	20
1.4.2 FILAMENTY	22
1.4.2.1 PLA – POLYLACTIC ACID (Kyselina polymléčná)	23
1.4.2.2 ABS – ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE	23
1.4.2.3 PETG – POLYETHYLENE TEREPHTHALATE GLYCOL.....	23
1.4.2.4 NYLON	24
1.4.2.5 TPE, TPU (FLEXIBLE)	24
1.4.2.6 PC – POLYKARBONÁT	24
1.4.2.7 PP – POLYPROPYLEN	24
1.4.2.8 HIPS.....	24
1.4.2.9 ASA.....	24
1.4.2.10 PVA – POLYVINYLALKOHOL	25
1.4.2.11 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	25
1.4.2.12 SPECIÁLNÍ FILAMENTY	26
1.4.3 ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ DLE DOMINANTNÍCH VLASTNOSTÍ	27
1.4.4 SROVNÁNÍ FILAMENTŮ	29
1.4.5 VÝPLŇ MODELU A TLOUŠŤKA PLÁŠTĚ.....	31
1.4.6 KROUCENÍ OBJEKTŮ	31
1.4.7 VLIV TRYSEK	32
1.4.8 MATERIÁLY PRO 3D TISK KOVŮ.....	32
1.4.9 FOTOPOLYMERY.....	33
1.5 ZÁVĚR	34
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	36
2.1 ÚVOD.....	36
2.2 POPIS MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI.....	36

2.2.1	ZÁKLADNÍ MYŠLENKA	36
2.2.2	MĚŘÍCÍ VZORKY.....	36
2.2.3	PŘÍPRAVA MĚŘENÍ	37
2.2.4	MĚŘÍCÍ POMŮCKY	37
2.2.4.1	MĚŘÍCÍ ÚSTŘEDNA.....	37
2.2.4.2	SNÍMAČ TEPELNÉHO TOKU	38
2.2.4.3	TERMOČLÁNKOVÝ DRÁT.....	38
2.2.4.4	MRAZNIČKA.....	38
2.3	POSTUP MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI	39
2.3.1	VARIANTA Č. 1.....	39
2.3.2	VARIANTA Č. 2.....	40
2.3.3	VARIANTA Č. 3.....	40
2.3.4	VARIANTA Č. 4.....	40
2.4	VÝPOČET SOUČINITELE TEPELNÉ VODIVOSTI λ	41
2.5	VÝSLEDKY.....	41
2.5.1	ANALÝZA NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	41
2.5.2	PETG.....	42
2.5.2.1	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI U PETG – VARIANTA Č. 1	42
2.5.2.2	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI U PETG – VARIANTA Č. 2	44
2.5.2.3	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI U PETG – VARIANTA Č. 3	47
2.5.2.4	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ PRO MATERIÁL PETG	47
2.5.3	ABS.....	47
2.5.4	PLA	49
2.6	SOUHRN VÝSLEDKŮ	50
2.7	OVĚŘENÍ METODY MĚŘENÍ	51
2.8	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ MĚŘENÍ	52
2.8.1	TERMODRÁTY	52
2.8.2	SNÍMAČ TEPELNÉHO TOKU	52
2.8.3	MĚŘÍCÍ ÚSTŘEDNA.....	52
2.8.4	KOLÍSANÍ TEPLoty	52
2.8.5	PŘENOS MEZI VZORKEM A ČIDLY	52
2.8.6	VZNIKAJÍCÍ NÁMRAZA.....	52
2.8.7	SAMOTNÝ TISK	53
2.9	MĚŘENÍ METODOU HORKÉHO DRÁTU.....	54
2.9.1	PETG.....	54
2.9.2	COPPERFILL.....	55
2.10	POROVNÁNÍ.....	56
2.11	ZÁVĚR.....	56
3	PROJEKTOVÁ ČÁST	60
3.1	ANALÝZA OBJEKTU	60
3.1.1	POPIS OBJEKTU	60
3.1.2	ROZDĚLENÍ NA FUNKČNÍ CELKY.....	60
3.1.2.1	POPIS FUNKČNÍCH CELKŮ	62
3.2	TEPELNÁ BILANCE	62
3.2.1	VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ.....	62

3.2.2	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU.....	62
3.2.3	SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA.....	62
3.2.4	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	63
3.2.5	VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE.....	63
3.2.5.1	VODNÍ ZISKY	63
3.3	STANOVENÍ PRŮTOKU VZDUCHU	63
3.3.1	STANOVENÍ DÁVEK VZDUCHU	64
3.4	TLAKOVÉ POMĚRY	67
3.5	DISTRIBUCE VZDUCHU	67
3.6	DIMENZOVANÍ POTRUBÍ A TAKOVÁ ZTRÁTA POTRUBÍ	70
3.6.1	VÝLEDNÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA POTRUBÍ.....	70
3.7	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK.....	70
3.7.1	ZAŘÍZENÍ Č. 1	70
3.7.2	ZAŘÍZENÍ Č. 2	71
3.7.3	ZAŘÍZENÍ Č. 3	72
3.7.4	ZAŘÍZENÍ Č. 4	72
3.8	ÚPRAVY VZDUCHU.....	72
3.8.1	VÝPOČET TEPLoty PŘIVÁDĚNÉHO VZDUCHU.....	72
3.9	ÚTLUM HLUKU.....	74
3.9.1	SOUHRN HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU A NAVRŽENÝCH TLUMIČŮ.....	74
3.9.2	VÝPOČET ÚTLUMU HLUKU	74
3.10	NÁVRH IZOLACE POTRUBÍ.....	75
3.11	POŽÁRNÍ KLAPKY A PROTIPOŽÁRNÍ IZOLACE	75
3.12	TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	77
3.12.1	ÚVOD	77
3.12.1.1	PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ.....	77
3.12.1.2	VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ	77
3.12.1.3	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU.....	77
3.12.1.4	POPIS OBJEKTU A ROZSAHU PD.....	78
3.12.2	TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI BUDOVY	79
3.12.3	SEZNAM POUŽITÝCH NOREM A PŘEDPISŮ	80
3.12.4	ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	80
3.12.4.1	HYGIENICKÉ VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE	81
3.12.4.2	TEPELNÁ ZÁTĚŽ V LÉTĚ, TEPELNÁ ZTRÁTA V ZIMĚ, VLNKOSTNÍ ZISKY	81
3.12.4.3	TECHNOLOGICKÉ VĚTRÁNÍ A CHLAZENÍ.....	82
3.12.4.4	ENERGETICKÉ ZDROJE.....	82
3.12.5	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ.....	82
	ZAŘÍZENÍ Č. 1- VZDUCHOTECHNIKA PRODEJNY.....	83
	ZAŘÍZENÍ Č. 2 NUCENÉ VĚTRÁNÍ ŠATEN A HYGIENICKÉHO ZÁZEMÍ ZAMĚŠTNAVANCŮ	84
	ZAŘÍZENÍ Č. 3 CHLAZENÍ PRODEJNY.....	84
	ZAŘÍZENÍ Č. 4 DVEŘNÍ CLONY.....	85
3.12.6	NÁROKY NA ENERGIE	85
3.12.7	MĚŘENÍ A REGULACE	85
3.12.8	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE	85
3.12.8.1	STAVENÍ ČÁST	85
3.12.8.2	ELEKTRO	86

3.12.8.3	ZDRAVOTECHNIKA	86
3.12.8.4	VYTÁPĚNÍ	86
3.12.8.5	CHLAZENÍ	86
3.12.8.6	MĚŘENÍ A REGULACE	87
3.12.9	PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ	87
3.12.10	OCHRANA PROTI HLUKU A VIBRACÍM	87
3.12.11	IZOLACE A NÁTĚRY	87
3.12.12	ZÁVĚR	87
3.13	TECHNICKÁ SPECIFIKACE	93
3.14	FUNKČNÍ SCHÉMATA	96
4	ZÁVĚR	98
5	POUŽITÉ ZDROJE.....	99
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ	102
7	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	104
	SEZNAM PŘÍLOH.....	107
A.	VÝKRESY	107

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá tepelnou vodivostí nestandardních materiálů, které se v blízké budoucnosti mohou začít používat v oboru TZB a dále návrhem vzduchotechnického systému pro prodejnu potravin.

V průběhu studia oboru TZB na Fakultě stavební VUT v Brně jsem se zapojil do projektu „*Vývoj nových typů výměníků pro systémy TZB s využitím 3D tisku*“. V rámci projektu vznikl požadavek na prozkoumání materiálů používaných pro 3D tisk. „*Nestandardními materiály pro TZB*“ se tedy zamýšlí materiály určené k 3D tisku výměníků, popřípadě jiných zařízení používaných v oboru TZB. Projdeme si jaké materiály se používají pro 3D tisk, jaké jsou jejich vlastnosti a prozkoumáme jejich tepelnou vodivost.

Cílem práce je stanovit součinitel tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) na skupině termoplastů používaných pro 3D tisk. Součinitel λ určíme stacionární metodou umístěním vzorku mezi dvě prostředí s rozdílnou teplotou a nestacionární metodou horkého drátu.

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE

TEPELNÁ VODIVOST U NESTANDARDNÍCH MATERIÁLŮ PRO TZB

A. TEORETICKÁ ČÁST

TEPELNÁ VODIVOST A NESTANDARDNÍ MATERIÁLY PRO TZB

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Úvod

V této části se zaměříme na problematiku stanovování součinitele tepelné vodivosti λ a přiblížíme si metody jeho řešení. Popíšeme „nestandardní materiály pro TZB“, prozkoumáme jejich vlastnosti, výhody a nevýhody.

1.2 Vedení tepla

Je způsob, jímž je teplo přenášeno pevnou látkou nebo kapalinou a plynem. K vedení tepla dochází v důsledku pohybu elektronů mezi molekulami, které se nepohybují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Vedení tepla dochází z prostředí s vyšší teplotou do prostředí chladnějšího.

Vedení tepla lze sledovat v teplotním stavu:

- ustálením = stacionárním \rightarrow teplota se s časem nemění
- neustálením = nestacionárním \rightarrow teplota se s časem mění

Jako první, kdo pozoroval, že množství tepla, které se přenáší mezi oblastmi s různou teplotou je úměrné teplotní diferencí byl Newton. Základní zákon pro vedení tepla popsal Fourier: „*velikost tepla přenášeného vedením je úměrná ploše kolmé na směr toku tepla a teplotnímu gradientu ve směru toku tepla*“. Konstantou úměrnosti je v tomto zákonu součinitel tepelné vodivosti λ . Fourierův zákon má tvar: [1]

$$\dot{Q}_x = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dt}{dx} \quad (1.1)$$

kde \dot{Q}_x – tepelný tok ve směru x (W)
 λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 S – plocha (m^2)

Poměr dt/dx se nazývá teplotní gradient; označuje poměr přírůstku teploty dt ke vzdálenosti dx mezi izotermními plochami [2]:

$$\text{grad } t = \frac{dt}{dx} \quad (1.2)$$

Tok tepla vztažený na jednotku plochy označujeme jako měrný tepelný tok \dot{q} ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), jeho rovnice má tvar (1.3). Dosazením (1.2) dostaneme rovnici (1.4). Měrný tepelný tok bývá někdy označován jako hustota tepelného toku.

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad (1.3)$$

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad } t \quad (1.4)$$

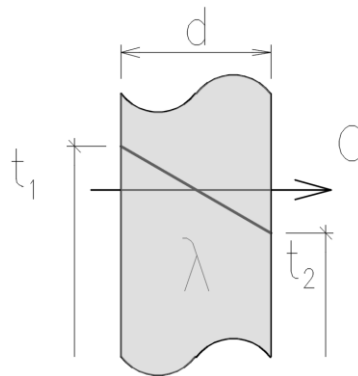
kde \dot{q} – měrný tepelný tok ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
 λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 $\text{grad } t$ – gradient teploty ($\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$)

1.2.1 Stacionární vedení tepla rovinnou stěnou

Vedení tepla rovinou stěnou je nejjednodušší případ, který se v teorii vedení tepla vyskytuje. Předpokládáme desku (stěnu) o tloušťce d , jejíž plochy jsou udržovány na konstantních povrchových teplotách t_1 , t_2 ($t_1 > t_2$), pro kterou platí, že součinitel tepelné vodivosti λ je konstantní. Potom měrný tepelný tok vypočteme z rovnice (1.5).

$$q = \lambda \cdot \frac{(t_1 - t_2)}{d} \quad (1.5)$$

kde
 q – měrný tepelný tok ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
 λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 d – tloušťka stěny (m)
 t_1 – teplota teplejšího povrchu (K)
 t_2 – teplota na chladnějším povrchu (K)



Obrázek 1 Průběh tepelného toku rovinnou stěnou

1.3 Součinitel tepelné vodivosti λ

Je definován jako schopnost materiálu při dané střední teplotě vést teplo. Představuje rychlost šíření tepla z prostředí teplejšího do prostředí s nižší teplotou.

Slovním popsáním jednotky ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) lze vyjádřit součinitel tepelné vodivosti definicí: jak velký tok tepla projde 1 metrem materiálu při změně teploty o 1 K.

Součinitel je určován experimentálně, jedná se o materiálovou konstantu, která umožňuje porovnat látky a rozdělit je na tepelné vodiče a izolanty.

Rozeznáváme fononový a elektronový součinitel tepelné vodivosti. Výsledný součinitel je dán součtem těchto dvou složek. Fotonová vodivost se přenáší rozkmitáním atomů a molekul. Elektronová přenosem volných elektronů mezi atomy – nejvíce se projevuje u kovů. [3]

Odvození součinitele tepelné vodivosti z Fourierova zákona:

$$\lambda = \frac{\dot{q}}{-\text{grad } t} \quad (1.6)$$

1.3.1 Známé hodnoty součinitele tepelné vodivosti

Největší tepelnou vodivost mají kovy, u kterých se součinitel λ pohybuje v rozmezí desítek až stovek $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. U kapalin se pohybuje v desetínách. Nejmenší součinitel tepelné vodivosti

mají plyny, který se pohybuje v řádech setin s výjimkou vodíku a helia, které mají λ v rozmezí desetin $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. [3]

Tabulka 1 Součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) vybraných materiálů při 25 °C [4]

Kovy		Kapaliny		Plyny	
Materiál	Součinitel tepelné vodivosti	Materiál	Součinitel tepelné vodivosti	Materiál	Součinitel tepelné vodivosti
	($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)		($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)		($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Stříbro	429	Voda	0,606	Vzduch	0,0262
Mosaz	109	Benzín	0,15	CO ₂	0,0146
Ocel (1% uhlíku)	43	Olivový olej	0,17	Vodík	0,168
Nerezová ocel	16			Čpavek	0,0249

Tabulka 2 Součinitel tepelné vodivosti vybraných termoplastů [5]

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti
	($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	0,23
Polylactic Acid (PLA)	0,13
Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)	0,29
Polyvinyl Chloride (PVC)	0,19
Polyamide (PA, Nylon) 11	0,28
Low Density Polyethylene (LDPE)	0,36

1.3.2 Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ

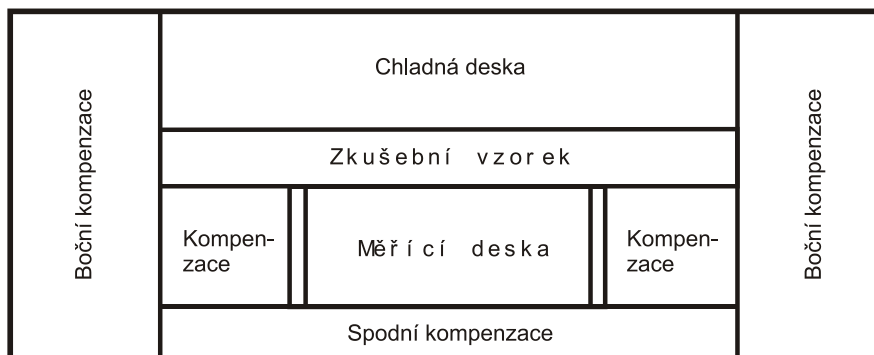
Součinitel tepelné vodivosti λ je nutno určit pro materiály, které se používají pro aplikace, kde se sdílí teplo a chceme vědět množství tohoto tepla.

1.3.2.1 Metody stanovení

- Stacionární metody,
 - metoda desky,
 - metoda chráněné teplé desky,
 - metoda měřidla tepelného toku,
 - metoda válce,
 - metoda koule.
- Nestacionární metody,
 - metoda nestacionárního tepelného toku,
 - metoda tepelných impulsů,
 - metoda horkého drátu,
 - záblesková metoda,
 - ostatní metody tepelných impulsů. [6]

1.3.2.2 Metoda chráněné teplé desky

Základ je vytvořit gradient teploty a zachovat ustálený teplotní stav po dobu měření. Vzorek se vloží mezi ohřívanou a chladnou desku. Měří se teploty na obou površích vzorku a teplo dodávané měřicí desce. Metodika chráněné teplé desky je dána ČSN 72 7012-1/2. [7] [8]



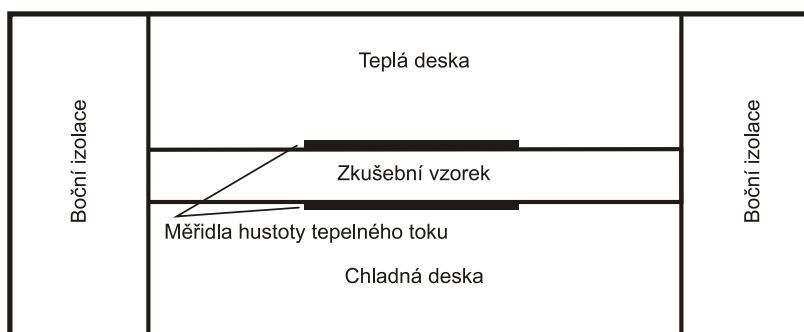
Obrázek 2 Schéma metody chráněné teplé desky [6]

$$\lambda_{sam} = \frac{Q_d \cdot d_m}{A_d \cdot (\theta_{hd} - \theta_{cd})} \quad (1.7)$$

- Kde
- Q_d – teplo dodané měřicí desce (J)
 - d_m – tloušťka zkoušeného vzorku (m)
 - A_d – účinná plocha (m²)
 - θ_{hd} – teplota povrchu teplé strany vzorku (°C)
 - θ_{cd} – teplota povrchu chladné strany vzorku (°C)

1.3.2.3 Metoda měřidla tepelného toku

Opět platí, že se měření odehrává v ustáleném stavu. Od metody chráněné desky se liší přidáním měřidla hustoty tepelného toku na obou površích vzorku. Pro výpočet sledujeme výstupní napětí měřiče tepelného toku. Podrobnosti udává ČSN 72 7012-3. [9]



Obrázek 3 Schéma metody měřidla tepelného toku [6]

1.3.2.4 Metoda nestacionárního tepelného toku

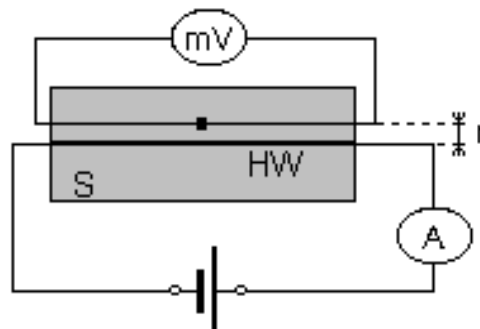
Součinitel zkoumaného vzorku se stanovuje výpočtem z hodnot tloušťky, tvaru ohraničené desky, jeho objemové hmotnosti, časové změny teploty povrchu vzorku Δt a jeho měrné tepelné kapacity.

1.3.2.5 Metoda horkého drátu

Metoda horkého drátu je založena na měření nárůstu teploty ve vymezené vzdálenosti od lineárního zdroje tepla (horkého drátu) zabudovaného do zkušební vzorku. Součinitel tepelná

vodivost může být odvozena přímo z výsledné změny teploty v průběhu známého časového intervalu. [10]

Používají se dvě modifikace. Křížové zapojení, kdy je drátěný kříž uložen v drážkách mezi dvěma vzorky. Kříž se skládá z topného drátu a termočlánku, který slouží jako teplotní čidlo. V odporovém zapojení působí topný drát i jako teplotní čidlo. [10]



Obrázek 4 Schématický pohled na vzorek [10]

1.3.2.6 Metoda laserového záblesku

Metoda je založena na měření vzrůstu teploty na zadní stěně tenkovrstvého vzorku vytvořeného krátkým energetickým impulsem na přední straně. Je vhodná pro různé materiály v širokém teplotním rozmezí. [11]

1.4 Nestandardní materiály pro TZB

Pro 3D tisk se používají termoplasty, kovy, pryskyřice, vosk, sádra, ale i papír.

1.4.1 Co to je 3D tisk?

3D tisk je proces, při kterém se z digitální předvolby (3D model) vytváří fyzický model.

K dispozici jsou různé technologie tisku a od toho se odvíjejí i tiskové materiály.

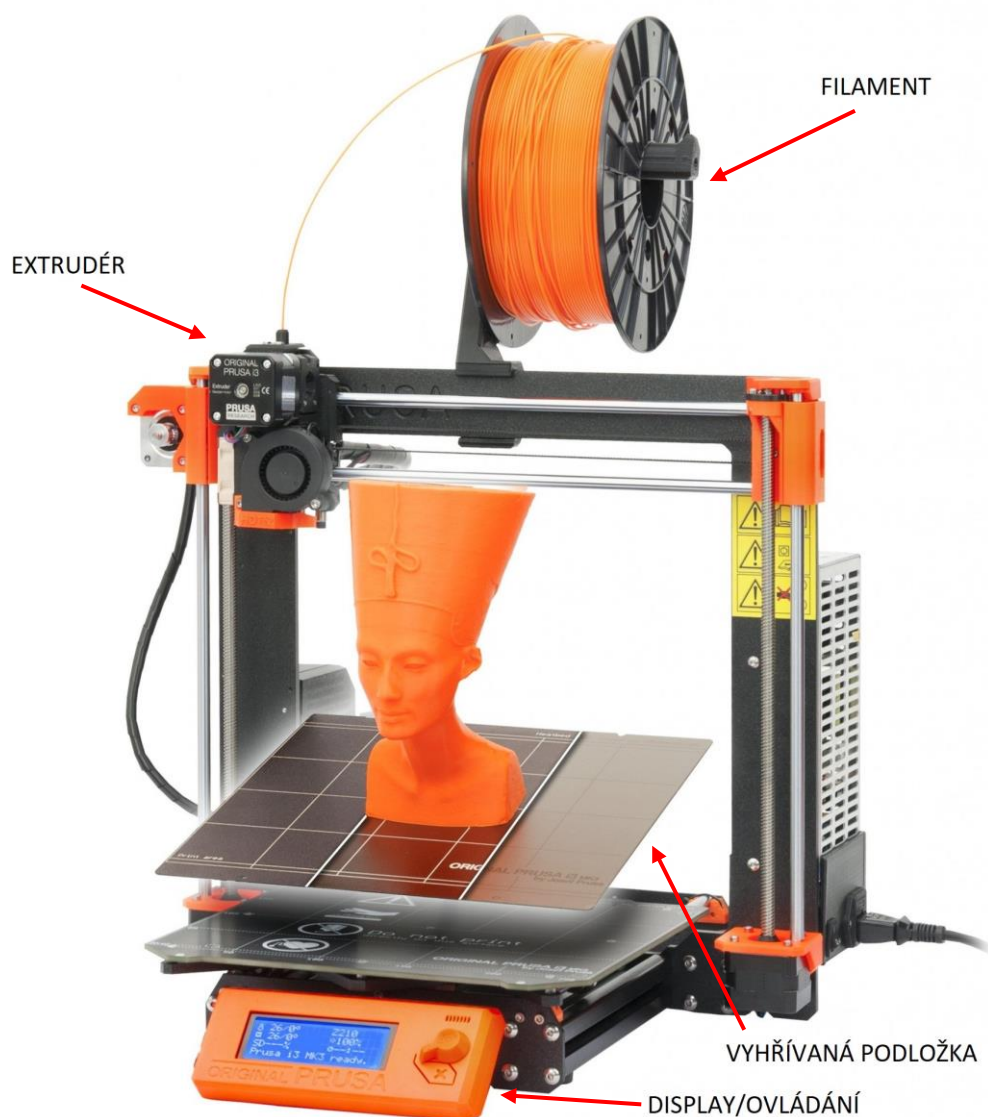
1.4.1.1 Rozdělení tiskáren podle druhu tiskového materiálu:

Tisk termoplastů

Objekt vzniká vrstvou po vrstvě natavováním tenkého proužku plastového materiálu. Jedná se o aditivní způsob tvorby výrobku – materiál je přidáván. Jde tedy opak obrábění. Využívají ho tzv. RepRap tiskárny, který umí vyrábět vlastní díly. Tento systém je nejvíce rozšířený a používány po celém světě. Tato technologie 3D tisku bývá označována zkratkami FDM nebo FFF. [12]

Základní popis tiskárny:

- Filament – tisková struna, materiál, ze kterého tiskárna tiskne.
- Tisková hlava (extrudér) – část tiskárny, která provádí samotný tisk
- Tryska – část extrudéru, kterou je vytlačován roztavený filament na podložku
- Vyhřívaná podložka – část na, které je zhotovován tištěný prvek



Obrázek 5 3D tiskárna PRUSA i3 MK3 – popis [13]

Tisk probíhá vytlačováním filamentu tiskovou hlavou na vyhřívanou podložku. Pohybuje se extruder nebo podložka. Po dokončení tisku jedné vrstvy se posune extrudér a začne tisk druhé vrstvy, to se opakuje, dokud není vyhotoven výsledný model.

Používají se trysky průměru 0,25 až 0,8 mm, ty jsou teoreticky schopné vytisknou vrstvu vysokou 0,05-0,64 mm.

Další možností tisku je spékání plastu ve formě prášku laserem. Nejprve se rozprostře vrstva prášku a pak laser v požadovaném tvaru vrstvu vytvrdí. Tisková podložka se posune nanese se další vrstva prášku a znovu se vytvrdí, tento proces se opakuje až po dokončení výrobku.

Tisk kovů

Kovové díly vznikají vrstvením tenkých vrstev kovového prášku, který je vytvrzen (sintrován) pomocí laserového paprsku. Laserový paprsek každou vrstvu sintruje, podle předem vytvořeného 3D modelu. Pro dokončení díly procházejí tepelným zpracováním.

Tisk pryskyřice

Tisk probíhá v nádobě s tekutým polymerem (pryskyřicí). Výsledný tvar vzniká osvitěm fotocitlivé pryskyřice. Tato metoda nese název stereolitografie, která byla vynalezena jako první technologie 3D tisku. Metoda vytváří extrémně detailní předměty.

Tisk papíru

„Tvar vrstvy „tištěného“ modelu je vyříznut z materiálu nožem a následně je další vrstva přilepena na předchozí. Podání nové vrstvy materiálu je zajištěno odvinutím z role nebo podáním ze zásobníku např. formátu A4, A3 apod.“ [14]

Výrobky ze sádry vznikají podobně jako při tisku práškových plastů nebo kovů, jako pojivo je použito lepidlo.

1.4.2 Filamenty

Filament je vlákno neboli tisková struna, z které se 3D objekt vyrábí. Tiskové struny mají obvykle průměr 1,75 a 2,85 mm s tolerancí $\pm 0,05$ mm. Materiálem je pestrá škála plastů, ale i kompozitních materiálů s příměsí např. kovů. Filamenty se prodávají navinuté na cívkách. Délka struny na cívce je cca 330 m a váží 1 kg ($\varnothing 1,75$ mm), liší se v závislosti na materiálu. Výrobci dodávají všemožné barvy.



Obrázek 6 Filamenty [15]

Výrova filamentů

„Základní vstupní surovinou je granulát odpovídajícího plastu, např. PLA. Granulát je nejprve třeba správně vysušit. Následuje tedy sušička. Vysušený granulát pokračuje do mísícího zařízení, kde se ve správném poměru smísí s určitou přísadou, např. barvivovým koncentrátem. Odtud putuje směs do tavicí komory extrudéru, ze které je pomocí rotujícího šneku materiál vytlačován v roztavené podobě přes vytlačovací hlavu s maskou odpovídajícího tvaru. V případě struny jde o kruhový otvor určitého průměru. Jakmile je materiál vytlačen ven, je třeba ho zchladit. Ochlazená struna prochází několika dalšími částmi linky, kde dochází např. ke kontrole jejího průměru. Když je vše v pořádku, pokračuje plastová struna dál do navíjecí stanice, kde je automaticky navinuta na špulky. Špulky se následně balí a putují do skladu, odkud se expedují.“ [16]

1.4.2.1 PLA – POLYLACTIC ACID (KYSELINA POLYMLÉČNÁ)

Snad nejpoužívanější materiál pro 3D tisk díky snadnému tisku, nízké tepelné roztažnosti a při tisku nezapáchá spíš voní nasládlé. Má nižší teplotu tisku, než ostatní termoplasty a zároveň díky nízké roztažnosti nepotřebuje vyhřívat podložku, ale použití je vhodné. Je vyroben z obnovitelných zdrojů – ze škrobu (kukuřičného, bramborového, řepného) a je tak biologicky odbouratelný. Je základním materiálem pro výrobu kompozitních filamentů, které jsou s příměsí např. kovů a dřeva. PLA je křehký a nehodí se pro tisk namáhaných součástí např. pouzder mobilních telefonů. Má nízkou tepelnou odolnost, začíná se deformovat už při teplotách 60°C. Je jako jediný materiál ověřen pro tisk vrstev tloušťky 0,05 mm. PLA má sklon absorbovat vzdušnou vlhkost, což vede k chybám tisku. Pohlčování vlhkosti se zabraňuje vhodným skladováním. [17] [18]

Výhody

- + nízké náklady
- + tvrdost a dobrá pevnost
- + malá tepelná roztažnost
- + dobrá rozměrová přesnost
- + tisk velkých objektů (nad 20 cm)
- + tisk 50mikronových vrstev

Nevýhody

- křehkost a zlomitelnost
- nízká tepelná odolnost (do 60 °C)
- sklon absorbovat vlhkost
- není vhodný pro venkovní použití
- tvorba otřepků a potřeba chladicího ventilátoru

Velké objekty vznikají skládáním menších kusů vytištěných na 3D tiskárně. Jednotlivé díly se spojují pomocí lepidla nebo látek, které naleptávají strukturu výtisku.

1.4.2.2 ABS – ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE

ABS s ohledem na své materiálové vlastnosti je mírně lepší než PLA, přestože se obtížněji tiskne. Z ABS se vyrábí spousta výrobků pro domácnost, v TZB to jsou například vpusti, vodovodní a vzduchotechnické potrubí, ale také součástky malých ventilátorů. Jedná se o materiál velmi pevný s vysokou teplotní odolností (98 °C bez deformace). Vhodný i pro venkovní použití. Pro 3D tisk to znamená vysokou teplotu tisku, tendenci se deformovat během chladnutí, intenzivní výpary a nutnost použít vyhřívanou podložku. Použití ABS se hodí pro mechanicky i teplotně namáhané výrobky. Filament z ABS je rozpustný v acetonu, což umožňuje spojení více kusů a naleptáváním par acetonu získat lesklý povrch. [17] [18]

Výhody

- + nízké náklady
- + vysoká tepelná odolnost
- + odolnost vůči mechanickému poškození
- + venkovní použití
- + rozpustnost v acetonu

Nevýhody

- smršťování při tisku
- nutná vyhřívaná podložka
- škodlivý zápach
- sklon absorbovat vlhkost

1.4.2.3 PETG – POLYETHYLENE TEREPHTHALATE GLYCOL

Polyethylentereftalát jako základ PETG je nejběžněji používaný plast na světě (dobře známé PET láhve). Přidáním glykolu vznikl populární materiál používaný pro 3D tisk. PETG je považován za prostředníka mezi PLA a ABS, protože je pružnější a odolnější než PLA a pro tisk snadnější než ABS. Je vhodný pro tisk mechanických částí, také je houževnatý, a tak akorát pružný, proto se při

zatížení dočasně prohne a nepraskne. Je polotuhý, ale má mírně měkký povrch, který je náchylný k opotřebení. Používá se pro součástky samotných 3D tiskáren. [17] [18]

Výhody

- + lesklý a hladký povrch
- + houževnatost
- + dobře přilne k podložce
- + mechanická odolnost
- + většinou bez zápachu při tisku

Nevýhody

- může vytvářet otřepy při tisku
- špatné vlastnosti překlenutí
- náchylný na poškrábání

1.4.2.4 NYLON

Nylon je tvrdý a polopružný materiál, který má vysokou odolnost proti nárazům a oděrům. Je ideální pro tisk mechanických součástek. Jeho silné stránky jsou pevnost, pružnost, trvanlivost a nevýhodou je schopnost absorbovat vlhkost. [19]

1.4.2.5 TPE, TPU (Flexible)

Termoplastické elastomery jsou plasty s vlastnostmi podobné pryži. Výtisky jsou velmi pružné a ohebné, ale závisí na konkrétním složení filamentu. Tomu odpovídá i účel použití. Kvůli své pružnosti se hůře tiskne, proto vyžaduje vyladění tisku (optimální rychlost). [19]

1.4.2.6 PC – POLYKARBONÁT

Polykarbonát je velmi pevný materiál určený pro náročné prostředí a technické aplikace. Může být v průhledném provedení, má vysokou tepelnou odolnost (taví se při 150 °C), proto má vysoké nároky na tisk. Polykarbonát je extrémně hygroskopický, což znamená, že absorbuje vlhkost ze vzduchu, to ovlivní jeho tiskové vlastnosti a pevnost. [19]

1.4.2.7 PP – POLYPROPYLEN

Polypropylen je tvrdý, pružný, lehký, chemicky odolný a ověřený pro styk s potravinami. Bohužel jde obtížně tisknout, což je dáno jeho smršťováním a špatné přilnavosti vrstev. Pokud by to tak nebylo, stal by se nejpopulárnějším filamentem pro 3D tisk. Další nevýhodou je jeho vysoká cena. [17]

1.4.2.8 HIPS

„HIPS je velmi odolný polystyren, který má podobné vlastnosti jako ABS.“ [18] Je rozpustný v limonenu, proto je využíván jako podpurný materiál pro ABS. Složité modely, které mají převisy, musí být podepřeny a na to se skvěle hodí právě HIPS. Je rozměrově stabilnější a lehčí než ABS, takže je skvělou volbou pro součástky, které by mohly těžit z nižší hmotnosti. [19]

1.4.2.9 ASA

Akrylonitril styren akrylát je alternativou k ABS a má vysokou odolnost vůči UV záření, teplotě a nárazům. Je hojně využíván ve venkovních aplikacích. ASA si z ABS zachovalo nedostatky jako je smršťování a nebezpečné výpary při tisku. [19]

1.4.2.10 PVA – POLYVINYLALKOHOL

Polyvinylalkohol je měkký a biologicky odbouratelný materiál. Využívá se jako podpůrný materiál pro složité výtisky v kombinaci se všemi materiály. Ponořením do teplé vody se rychle rozpustí. Nutné ho je skladovat v suchých vzduchotěsných nádobách a také je drahý. [19]



Obrázek 7 Výtisk s podpůrnou konstrukcí PVA [20]

1.4.2.11 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály jsou v oblasti 3D tisku založeny na běžném termoplastu (nejčastěji PLA) s příměsí dřeva, kovů, uhlíkových vláken a mnoho dalších.



Obrázek 8 Dřevěný kompozit

Dřevo

Příměsí je dřevěný prach, který je standardně z borovice, břízy, cedru, ebenu, vrby a dalších méně obvyklých dřevin. Obvykle se filament skládá z přibližně 30 % dřevěných pilin. Vyhotovené modely mají skutečný vzhled dřeva. Při tisku se doporučují větší trysky (0,5 mm a větší). Využívá se u aplikací, kde je požadován atraktivní vzhled. [18] [19]

Kov

Bronz, mosaz, měď, hliník a nerezová ocel jsou nejběžněji dostupné kovové filamenty, možností je ale mnohem víc. Vyrábějí se smícháním jemného kovového prášku se základním materiálem. Výsledkem je jedinečný kovový povrch a větší hmotnost. Kovové filamenty jsou velmi abrazivní, proto se doporučuje použít tvrzené trysky. [19]

Karbonová vlákna

Uhlíková vlákna jsou extrémně pevná a filamentu zvyšují pevnost a tuhost. Výrobky jsou lehčí, rozměrově stabilnější. Vlákna zabraňují kroucení během tisku, ale mohou způsobit ucpání trysky, což potřebuje větší pozornost při nastavování tisku. Důležité je použít tvrzenou trysku. [19]

1.4.2.12 Speciální filamenty

Vodivé

Vodivé 3D tiskové filamenty obsahují vodivé uhlíkové částice. Umožňují realizovat tisk slaboproudých elektrických obvodů. [17]

Samozhášivé filamenty

Tisková struna obsahuje speciální aditiva se samozhášivými účinky. Použití tam, kde chceme zabránit šíření požáru. Tisk krabiček pro elektroniku.

Keramika

Směs hlíny a polymeru umožňuje vyrobit hliněný vzhled s přesností, kterou dává 3D tisk. Výsledek se dostaví až po vypálení v peci. [17]

Biologicky rozložitelné

Použití filamentů na bázi biopolymerů, které jsou vyrobeny z rostlinného škrobu, přináší do světa 3D tisku možnost stát se odvětvím šetrným k životnímu prostředí. Vývoj bioplastů může předstihnout tradiční ropné plasty a stát se dominantním na trhu. [21]

Samotný 3D tisk umožňuje výrobu věcí na místě použití, tím snižuje dopad dopravy na planetu.

PLA kompostovat doma je obtížné, ale je ho možné kompostovat průmyslově za speciálních podmínek, kde je rozložitelné za 1-3 měsíce.

Svítilí ve tmě

Podstatou je použití fosforujícího materiálu. Díky fosforu je model schopen absorbovat a posléze vyzařovat fotony. Nejlepšího svítícího efektu se dosahuje vytvořením akumulární hmoty (větší tloušťka stěny). [17]

Magnetické

Výtisk zhotovený z filament s příměsí železného prášku umožňuje přichytit se magnetu.

Změna barvy

Filamenty v této kategorii mají tendenci měnit barvy na základě teploty, vždy mezi dvěma např. z fialové na růžovou, z modré na zelenou atd.

Vosk

Voskové materiály se používají k tvorbě forem pro odlitky.

1.4.3 Rozdělení materiálů dle dominantních vlastností

Při rozhodování, jaký materiál vybrat pro daný model nám může pomoci následující tabulka č. 3, která rozděluje materiály na základě jejich dominantní vlastnosti.

Tabulka 3 Rozdělení materiálů [19]

Chemická odolnost							
PETG							
Kompozitní							
Uhlík	Kov	Dřevo					
Rozpustnost							
HIPS	PVA						
Ohebnost							
TPE/TPU							
Odolnost proti únavě materiálu							
TPE/TPU	PETG	Nylon	PC	PP	PVA		
Pružnost							
TPE/TPU	Nylon	PP	PVA				
Tepelná odolnost							
ABS	HIPS	Nylon	ASA	PC	PP		
Rázová odolnost							
ABS	HIPS	Nylon	ASA	PC			
Pevnost							
ABS	PLA	HIPS	PETG	Uhlík	ASA	PC	Kov
Měkkost							
TPE/TPU	PP	PVA					
Odolnost proti UV záření							
ASA							
Voděodolnost							
PETG	PP						
Nevyžadující vyhřívanou podložku							
TPE/TPU	PLA	Uhlík	Kov	Dřevo			

Vysvětlivky:

Uhlík - Filament s uhlíkovými vlákny

Kov - Filament s příměsí kovového prášku

Dřevo - Filament s příměsí jemných dřevěných pilin

Tabulka č. 4 uvádí mechanické vlastnosti, maximální pracovní teplotu, teplotní roztažnost, hustotu, cenu za kilogram a základní požadavky na tiskárnu pro vybranou skupinu filamentů.

Tabulka 4 Vlastnosti základních materiálu pro 3D tik [22]

		Materiál filamentu												
		ABS	Flexible	PLA	HIPS	PETG	Nylon	Karbonové vlákno	ASA	Polykarbonát	PP	Kovové filamenty	Dřevěné filamenty	PVA
Mez pevnosti ¹⁾		40 MPa	26-43 MPa	65 MPa	32 MPa	53 MPa	40-85 MPa	45-48 MPa	55 MPa	72 MPa	32 MPa	20-30 MPa	46 MPa	78 MPa
Tuhost ²⁾		5/10	1/10	7,5/10	10/10	5/10	5/10	10/10	5/10	6/10	4/10	10/0	8/10	3/10
Trvanlivost ³⁾		8/10	9/10	4/10	7/10	8/10	10/10	3/10	10/10	10/10	9/10	4/10	3/10	7/10
Maximální pracovní teplota		98 °C	60-74 °C	52 °C	100 °C	73 °C	80-95 °C	52 °C	95 °C	121 °C	100 °C	52 °C	52 °C	75 °C
Součinitel teplotní roztažnosti		90 μm/m·°C	157 μm/m·°C	68 μm/m·°C	80 μm/m·°C	60 μm/m·°C	95 μm/m·°C	58 μm/m·°C	98 μm/m·°C	69 μm/m·°C	150 μm/m·°C	34 μm/m·°C	31 μm/m·°C	85 μm/m·°C
Objemová hmotnost		1040 kg/m ³	1210 kg/m ³	1240 kg/m ³	1035 kg/m ³	1230 kg/m ³	1100 kg/m ³	1300 kg/m ³	1070 kg/m ³	1200 kg/m ³	900 kg/m ³	2000-4000 kg/m ³	1200 kg/m ³	1230 kg/m ³
Cena (za kg)		220-880 Kč	660-1540 Kč	220-880 Kč	530-700 Kč	440-1320 Kč	550-1430 Kč	660-1760 Kč	840-880 Kč	880-1650 Kč	1320-2640 Kč	1100-2640 Kč	550-1200 Kč	880-2420 Kč
Tisknutelnost ⁴⁾		8/10	6/10	9/10	6/10	9/10	8/10	8/10	7/10	6/10	4/10	7/10	8/10	5/10
Teplota trysky		220-250 °C	225-245 °C	190-220 °C	230-245 °C	230-250 °C	220-270 °C	200-230 °C	235-255 °C	260-310 °C	220-250 °C	190-220 °C	190-220 °C	185-200 °C
Teplota podložky		95-110 °C	45-60 °C	45-60 °C	110-115 °C	75-90 °C	70-90 °C	45-60 °C	90-110 °C	80-120 °C	85-100 °C	45-60 °C	45-60 °C	45-60 °C
Vyhřívání podložka		Požadovaná	Doporučená	Doporučená	Požadovaná	Požadovaná	Požadovaná	Doporučená	Požadovaná	Požadovaná	Požadovaná	Doporučená	Doporučená	Požadovaná

¹⁾ Maximální napětí, které je materiál schopen unést než nastane porušení

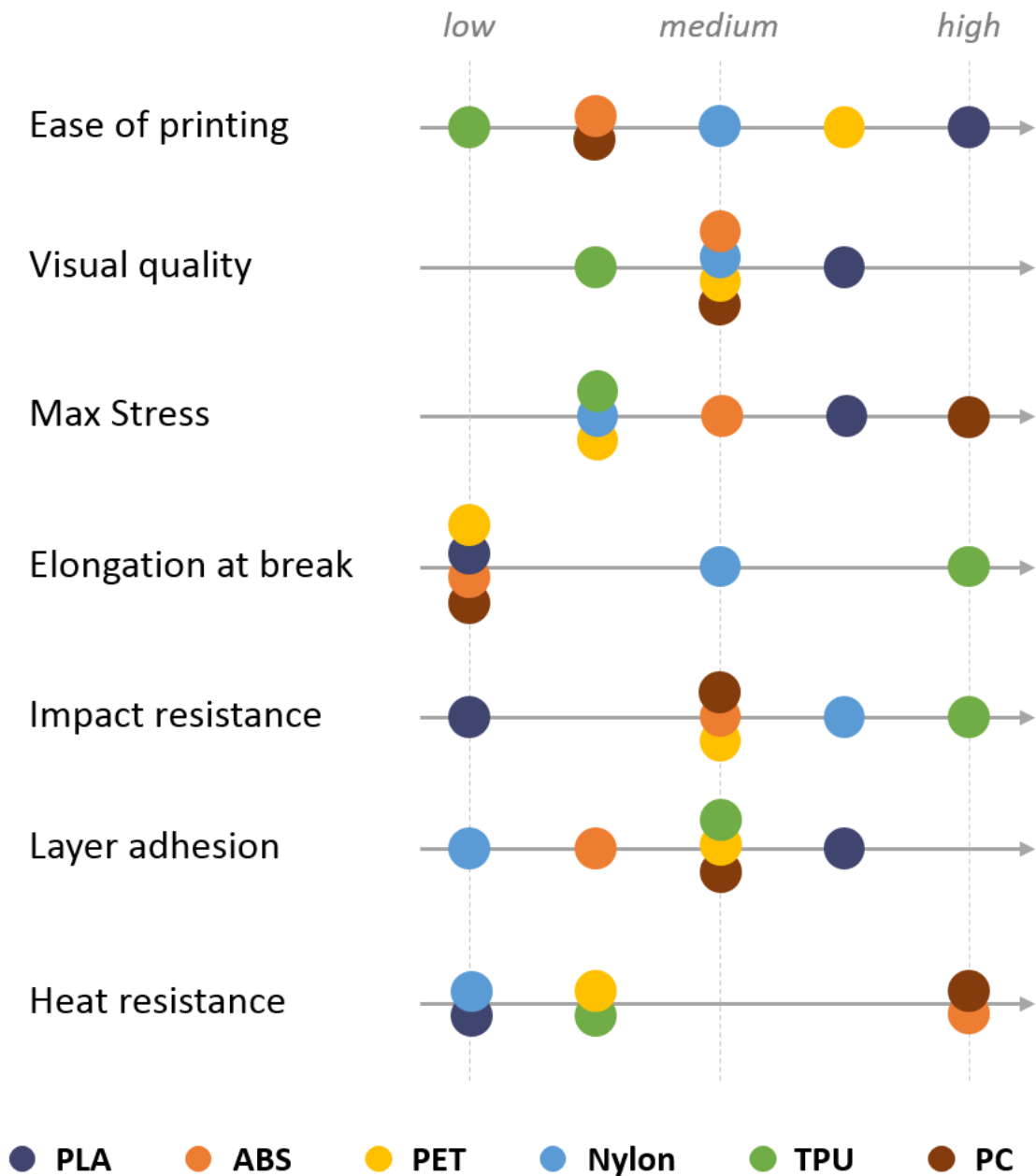
²⁾ Míra, jak je možné prohnut daný materiál

³⁾ Kombinace tepelné, vlhkostní, UV a chemické odolnosti

⁴⁾ Snadnost tisku na základě rozpínání, deformace, zanášení...

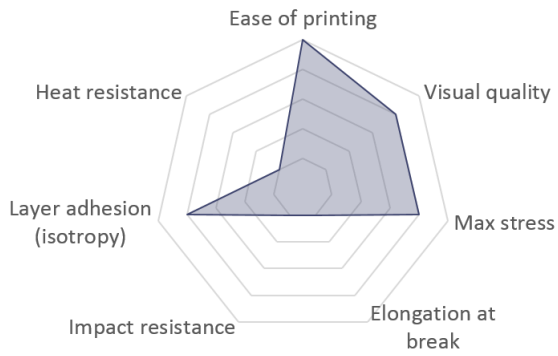
1.4.4 Srovnání filamentů

Srovnání základních běžně používaných materiálů pro 3D tisk vytlačováním termoplastů provedla ve stručném průvodci společnost 3D Matter. Věnuje se PLA, ABS, PET, Nylonu, TPU a Polycarbonátu. Porovnáva vlastnosti z těchto hledisek: celková snadnost tisku, pohledová kvalita, maximální zatížení, mezní protažení, rázová odolnost, soudržnost vrstev a tepelná odolnost. Všechny vlastnosti jsou zachyceny v grafech. Materiály jsou hodnoceny na stupnici 1-5, kde 1 je nejhorší (malý 7-úhelník) a 5 je nejlepší (velký 7-úhelník). [23]



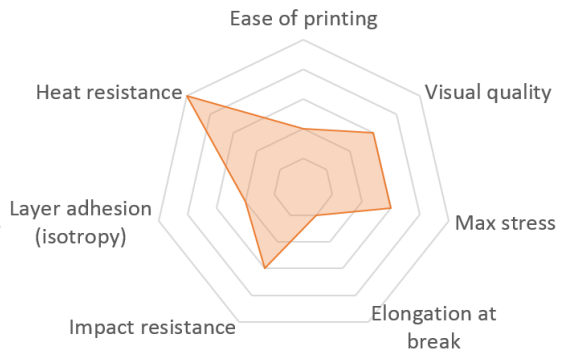
Obrázek 9 Zjednodušený přehled základních vlastností [23]

PLA



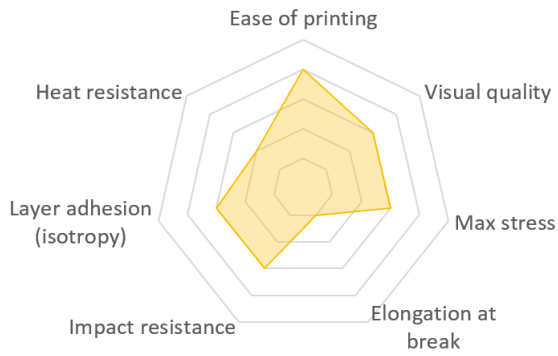
Obrázek 10 Základní charakteristiky PLA [23]

ABS



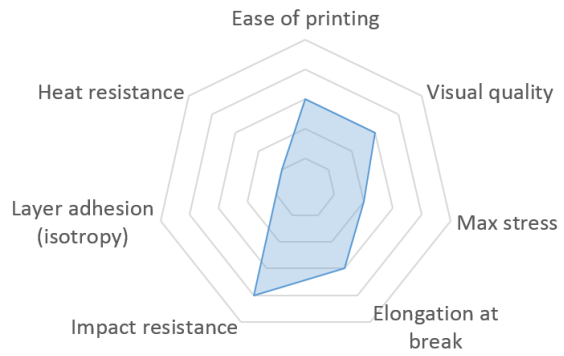
Obrázek 11 Základní charakteristiky ABS [23]

PET



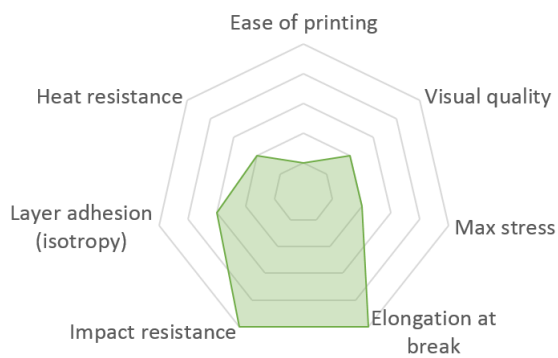
Obrázek 12 Základní charakteristiky PET [23]

Nylon



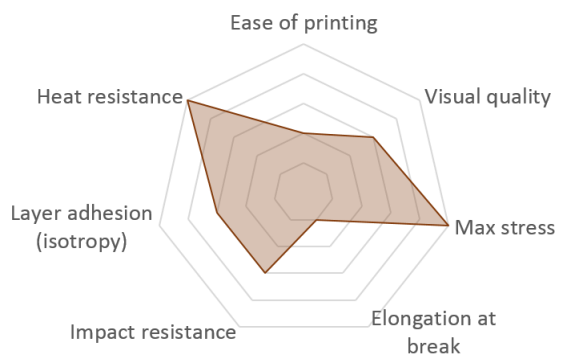
Obrázek 13 Základní charakteristiky Nylon [23]

TPU



Obrázek 14 Základní charakteristiky TPU [23]

PC

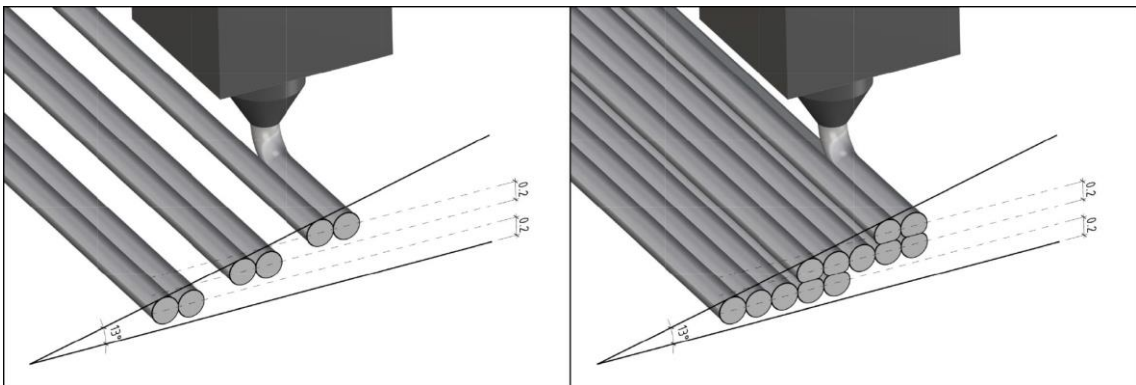


Obrázek 15 Základní charakteristiky Polykarbonát [23]

1.4.5 Výplň modelu a tloušťka pláště

Model se ve většině případech netiskne plný, ale volí se nějaká struktura výplně a její hustota. Model s výplní má o něco nižší pevnost. Výplň přináší úsporu materiálu a času. Pevnost můžeme nastavovat hustotou výplně.

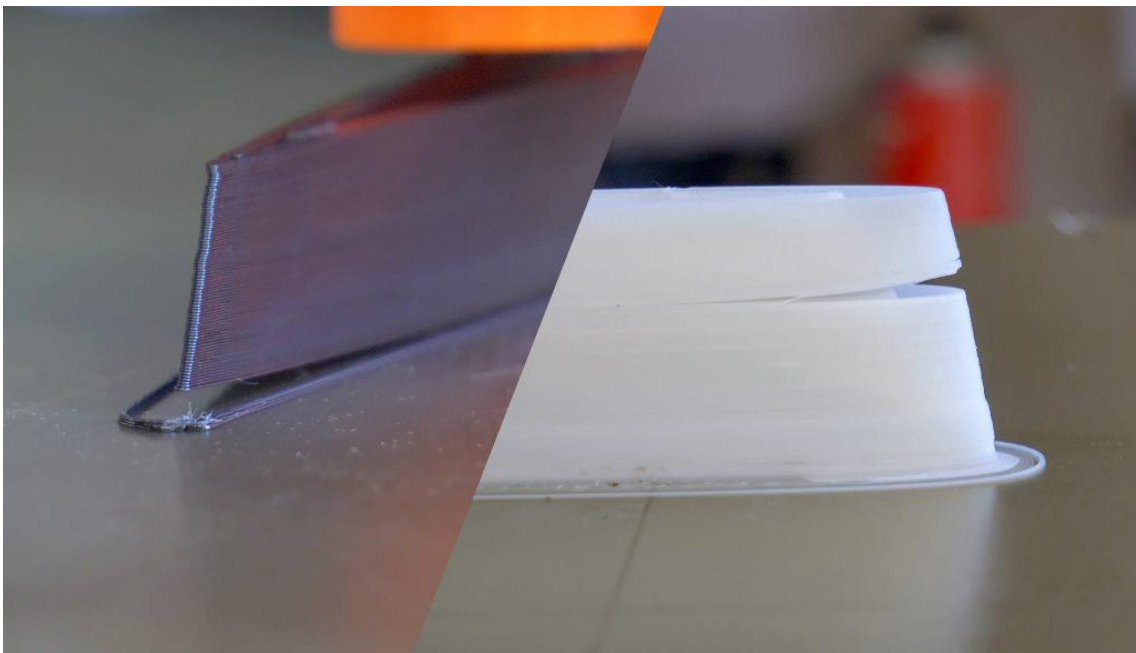
Tloušťku pláště modelu volíme především na základě toho, jak chceme mít pevný výsledný model, ale také zohledňujeme tisk šikmé stěny. Tiskem tenké stěny může dojít k tomu, že tryska začne nanášet vlákna do prázdna. Při tisku větší tloušťky stěny je větší šance, že se nanášená vlákna ukotví na předešlou vrstvu. Tloušťka pláště se odvíjí na základě počtu položených vláken vedle sebe. [24]



Obrázek 16 Porovnání 2 a 5 vláken ve stěně pláště [24]

1.4.6 Kroucení objektů

Při tisku větších objektů vlivem smršťování může docházet ke kroucení okrajů objektu. Kroucení může vyústit v odlepení modelu od podložky (nejčastější problém u ABS). Problém vzniká při náhlé změně teploty mezi tryskou a okolím. Předcházet kroucení můžeme sestavením boxu kolem tiskárny, nastavením „límce“ kolem objektu a čistou podložkou. [25]



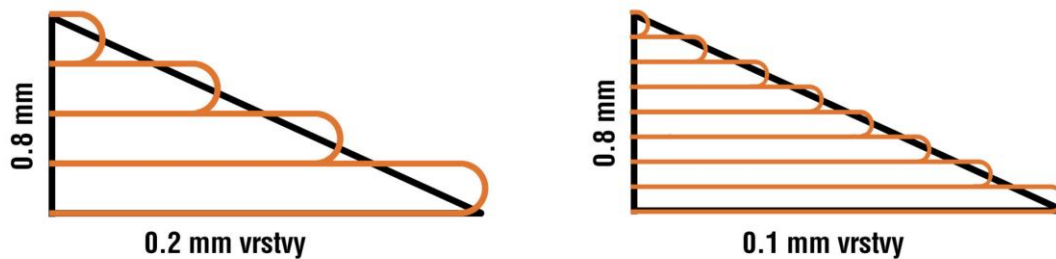
Obrázek 17 Kroucení objektů [25]

1.4.7 Vliv trysek

Dostupné jsou trysky s průměrem 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,5, 0,6, 0,8 a 1,0 mm. Obecně platí, že tryska o průměru 0,25 má nejlepší vzhledovou kvalitu výtisku a např. 0,6 mm je rychlejší.

Závislost výšky vrstvy a průměru trysky

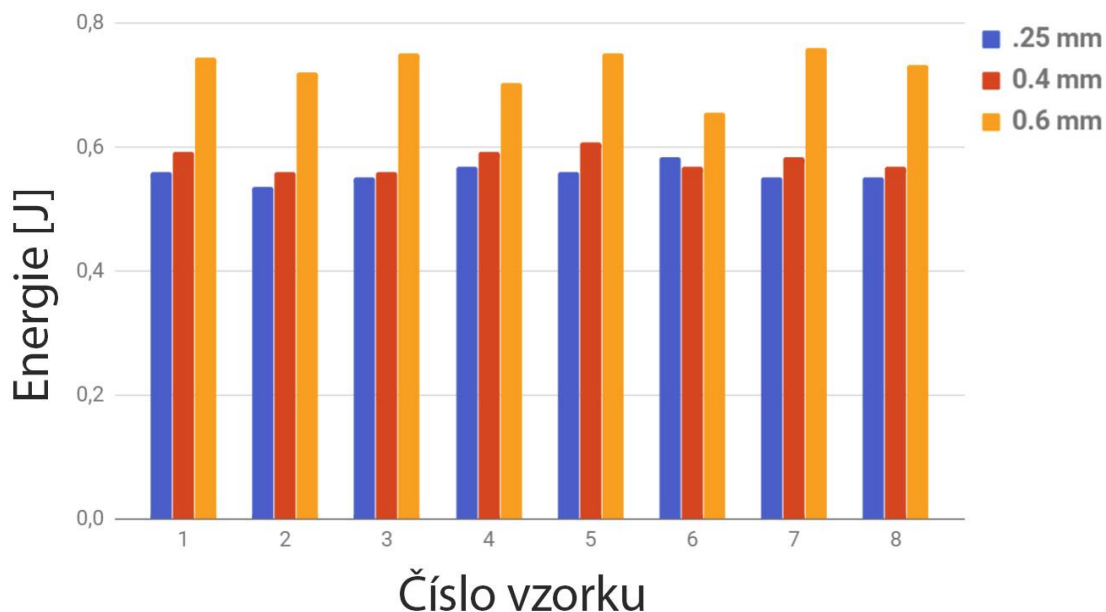
„Výška vrstvy by neměla přesahovat 80 % průměru trysky.“ Průměr trysky má vliv na kvalitu tisku ve vodorovné rovině. Menší tryska detailněji zobrazí části viditelné seshora. Výška vrstvy ovlivňuje detaily na bočních stranách a také rychlost s jakou bude model dokončen. [26]



Obrázek 18 Závislost výšky vrstvy na detailu [26]

Vliv na mechanické vlastnosti

Větší průměr trysky zvýší odolnost výtisku. Test byl proveden pomocí Charpyho kladiva.



Obrázek 19 Rázová houževnatost [26]

1.4.8 Materiály pro 3D tisk kovů

Pro tisk kovů metodou sintrování laserem se používají kovy ve formě prášku. Hladkých povrchů se dosahuje povrchovou úpravou. Proces probíhá v ochranné atmosféře. [27]

Titan ($TiAl_6V_4$)

Nejznámější slitina ve 3D tisku kovů. Má dobré mechanické vlastnosti a nízkou objemovou hmotnost. Využívá se pro náročné konstrukce.

Další používané materiály:

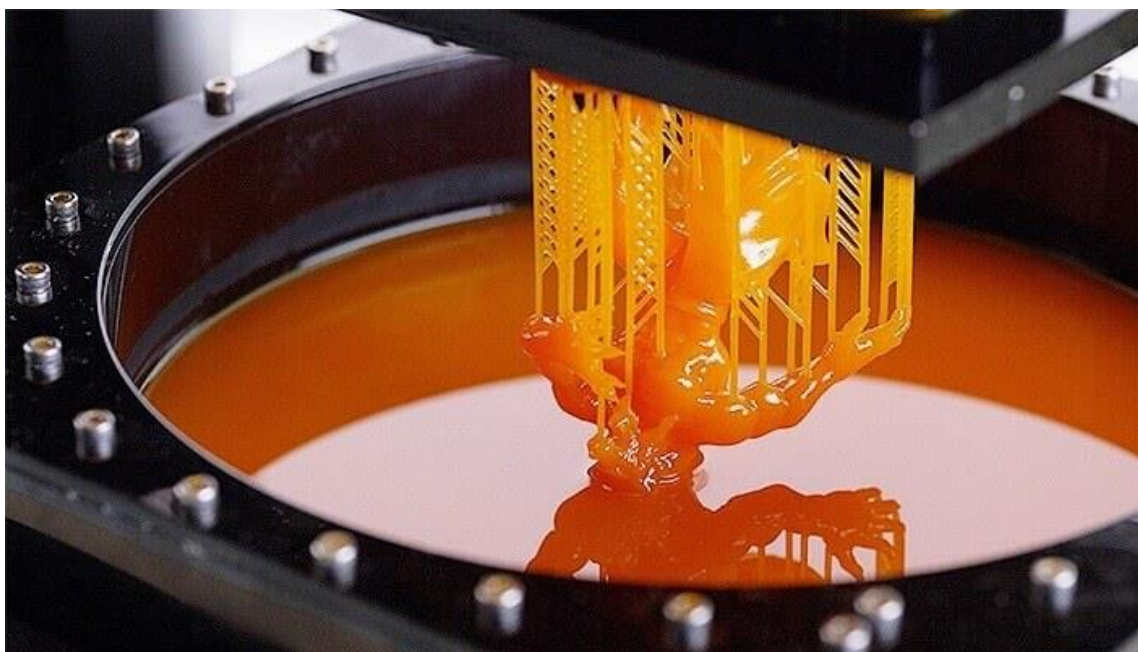
- Hliník (AlSi₁₀Mg)
- Nerezová ocel
- Inconel
- Měď a bronz
- Zlato, stříbro, platina



Obrázek 20 3D výroby z titanu [28]

1.4.9 Fotopolymery

Jedná se o řadu kapalných pryskyřic, které při vystavení ultrafialového záření (UV) nebo viditelného světla tuhnou. Pryskyřice jsou navrženy k simulaci vlastností „tradičních“ materiálů. Můžeme najít pryskyřice, které jsou srovnatelné s voskem. Pokud hledáme šetrné k životnímu prostředí existuje fotopolymer, který je podobný PLA. Jiné fotopolymery jsou podobné ABS. Také to jsou kompozitní materiály s vlastnostmi keramiky. Vyrábí se i pryskyřice mechanicky a teplotně odolné. Největší nevýhodou je jejich vysoká cena. [28]



Obrázek 21 Stereolitografie [28]

1.5 Závěr

Závěrem je nutno dodat, že pro 3D tisk se používá široká škála materiálů. Pro jejich rozsáhlost jich nebylo možné všechny uvést a popsat. S postupujícím vývojem přibývají další a další nové materiály.

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE

TEPELNÁ VODIVOST U NESTANDARDNÍCH MATERIÁLŮ PRO TZB

B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

ZJIŠTĚNÍ TEPELNÉ VODIVOSTI VZORKŮ Z NESTANDARDNÍCH
MATERIÁLŮ

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Úvod

Experimentální část se zabývá stanovením součinitele tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) nestandardních materiálů pro TZB. Pod pojmem „nestandardní materiál“ se v této diplomové práci zamýšlí materiál pro 3D tisk technologií FDM/FFF na tiskárnách typu RepRap. Stanovení probíhalo u třech nejčastěji používaných materiálech pro 3D tisk – PLA, ABS a PETG.

2.2 Popis měření tepelné vodivosti

2.2.1 Základní myšlenka

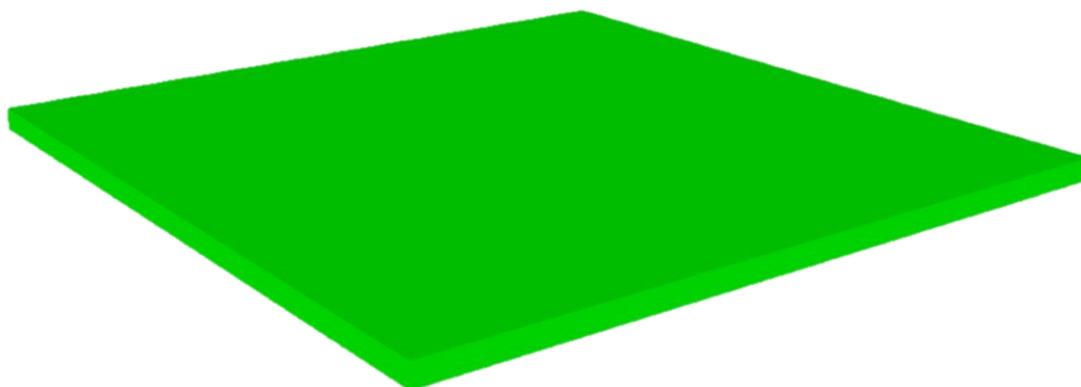
Zjišťování součinitele tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) vycházelo ze snímání měrného tepelného toku q ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) procházejícího sledovaným materiálem mezi dvěma prostředími v ustálené stavu. Součinitel tepelné vodivosti λ dopočítáváme z rovnice hustoty tepelného toku.

$$q = \lambda \cdot \frac{\Delta t}{d} \quad (1.8)$$

kde q – měrný tepelný tok ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 Δt – rozdíl teplot mezi povrchy vzorku (K)
 d – tloušťka vzorku (m)

2.2.2 Měřicí vzorky

Pro měření byly na 3D tiskárně Prusa i3 MK2 vytištěny testovací destičky o rozměru 100 x 100 x 3 mm. V extrudéru byla použita tryskou o průměru 0,4 mm. Testovací destičky se lišily použitým materiálem a výškou tištěné vrstvy. Pro tento účel byly vytištěny 4 testovací vzorky. Tři vzorky s výškou tištěné vrstvy 0,2 mm, každý z jiného materiálu – PLA, ABS, PETG. Jeden vzorek z materiálu PLA, který měl výšku vrstvy 0,35 mm.

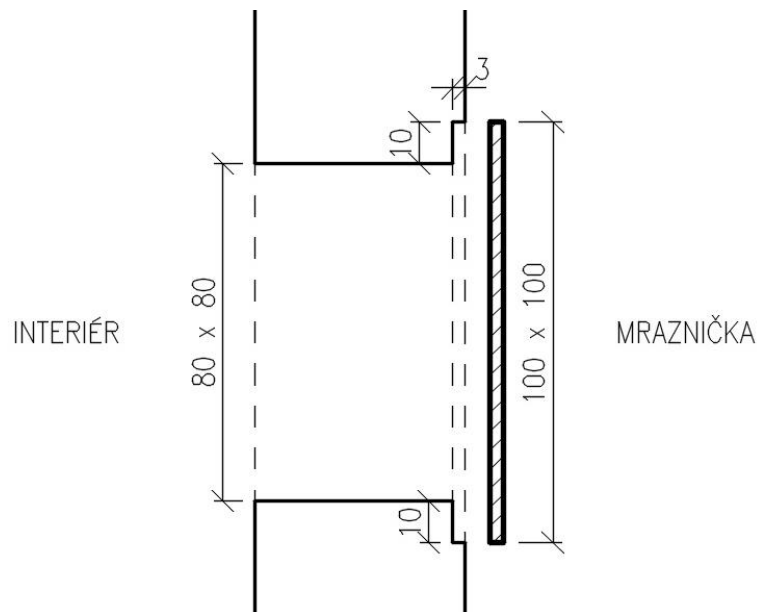


Obrázek 22 Vzorek – destička 100 x 100 x 3 mm

2.2.3 Příprava měření

Stanovení tepelné vodivosti spočívalo v dosažení velkých rozdílů teplot mezi oběma stranami vzorku a tím zajištění většího tepelného toku materiálem. Ve výpočtu by měly větší hodnoty tepelného toku a rozdílu teplot snížit případné nepřesnosti měření.

Rozdíl teplot vytvářela mraznička a pokojová teplota. Před vložením destičky mezi prostředí s rozdílnou teplotou bylo nutné provést úpravu mrazničky. Mrazničky byly odmontovány dveře a na místo nich byla osazena polystyrenová tabule. Do tabule byl vyřezán otvor 80 x 80 mm, kolem kterého byla vytvořena drážka 10 mm široká a hluboká 3 mm. Drážka vytvořila prostor o celkovém rozměru 100 x 100 mm, do kterého přesně pasovala měřená destička viz obrázek. Drážka umožnila lepší osazení vzorku a minimalizování tepelného toku okraji destičky.



Obrázek 23 Otvor pro zkoumanou destičku

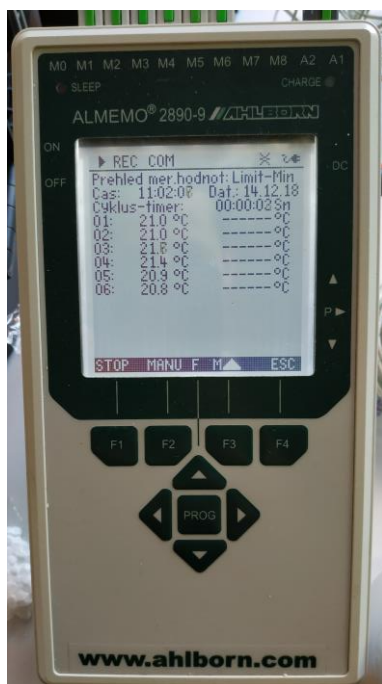
Polystyrenová deska byla umísťována na mrazničku stranou, z které se vkládá vzorek. Před osazením desky na místo dveří mrazničky připevníme snímač tepelného toku a čidla teploty. Snímač tepelného toku bude vždy připevněn do středu vzorku ze strany místnosti. Čidla teploty přesně naproti sobě (mraznička/místnost).

2.2.4 Měřící pomůcky

2.2.4.1 Měřící ústředna

Pro záznam a převod měřených veličin byl použit univerzální ruční měřicí přístroj AHLBORN ALMENO 2890-9 s 9 univerzálními vstupy a 2 výstupy. K přístroji lze pomocí konektorů připojit jakékoli čidlo pro měření fyzikálních, elektrických a chemických veličin.

Z přístroje prostřednictvím softwaru Almeno-Control je možný přenos měřených hodnot do počítače. Soubor měřených hodnot je možné následně otevřít a zpracovat v Excelu.



Obrázek 24 Měřicí ústředna ALMEMO 2890-9

2.2.4.2 Snímač tepelného toku

Měření tepelného toku probíhalo snímačem FQA020C od společnosti AHLBORN. Jde o kruhový snímač \varnothing 33 mm, tloušťky 1,5 mm, z epoxidové pryskyřice s odolností do 80 °C.



Obrázek 25 Snímač tepelného toku ALMEMO FQA020C

2.2.4.3 Termočláňkový drát

Pro měření teploty byly použity termočláňkové dráty typ K-T 190-1, žíly 2x0,2 mm, rozsah teploty -25-400 °C.



Obrázek 26 Termodrát

2.2.4.4 Mraznička

Zdrojem chladu byla mraznička Elektrolux, která byla schopná dosáhnout teploty až -30 °C.

2.3 Postup měření tepelné vodivosti

Měření tepelné vodivosti metodou s mrazničkou bylo odzkoušeno v těchto variantách.

2.3.1 Varianta č. 1

První a nejjednodušší varianta spočívala v umístění snímače tepelného toku doprostřed vzorku ze strany interiéru. Vzorek má vždy stranu, kterou byl umístěn na podložce tiskárny hladší než tu, kde skončil tisk. Tato strana poslouží pro připevnění snímače. Termodráty byly umístěny v blízkosti snímače a měřily teplotu na povrchu vzorku z obou stran. Tedy v místě se zápornou a kladnou teplotou.

Do drážky kolem otvoru v polystyrenové tabuli vložíme zkoumanou destičku z vybraného materiálu. Destičku k polystyrenu připevníme lepicí páskou. Tahle strana tabule přijde směrem do mrazničky. Dále na vzorek připevníme hliníkovou lepicí páskou termodrát. Tabuli otočíme, do středu vzorku připevníme snímač tepelného toku opět hliníkovou lepicí páskou a přesně naproti prvnímu termodrátu druhé teplotní čidlo. Takto připravenou tabuli s čidly osadíme na místo dveří do předem zapnuté mrazničky. Konektory snímačů zapojíme do dataloggeru. Zapneme měřicí přístroj, nastavíme interval měření a variantu výstupu měřených hodnot – do sloupců. Necháme měřit a po několika hodinách vyzvedneme výsledky.



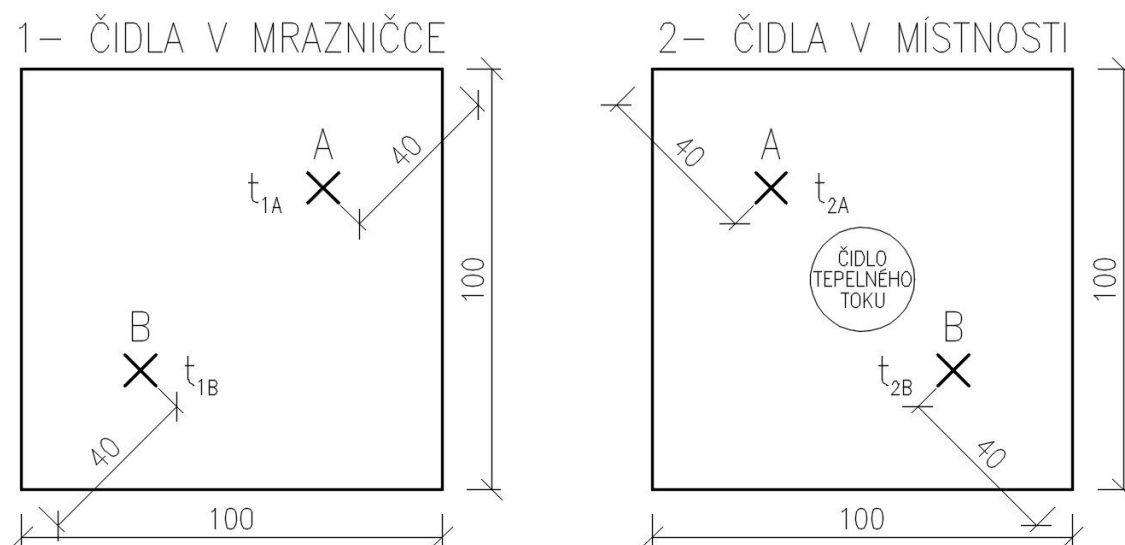
Obrázek 27 Umístění čidel u varianty č. 1

Naměřené hodnoty z ústředny pomocí softwaru převedeme do excelu, ve kterém provedeme výpočet, který si přiblížíme v další kapitole. Toto měření proběhlo na každém materiálu jedenkrát.

2.3.2 Varianta č. 2

Podstatou této varianty je zpřesnění výpočtu zjišťováním více měřených veličin – teplot. Ke dvěma snímaným teplotám z varianty č. 1 přibudou další dvě, které zjišťují teplotu přímo na povrchu materiálu. Dále jako informativní měříme teplotu uvnitř mrazničky a v místnosti. Teplotu v mrazničce budeme měřit protažením termodrátu skrz polystyrenovou desku v blízkosti vzorku, kde bude probíhat samotné měření. Teplotu interiéru zkoumáme těsně před měřenou destičkou.

Na měřený materiál jsou umístěny celkem 4 termočláňkové dráty. Dva na stranu do mrazničky dva ze strany interiéru. Vždy tak, aby byly proti sobě. Přesné rozmístění čidel je patrné z příloženého obrázku.



Obrázek 28 Rozmístění čidel varianta č. 2

Postup upevnění čidel a proces měření bude shodný s první variantou.

2.3.3 Varianta č. 3

Od předchozího měření se liší pouze nalepením fólie přes měřený vzorek ze strany interiéru. Cílem bylo zamezit proudění vzduchu kolem čidel a omezit tak přestup tepla.

2.3.4 Varianta č. 4

Varianta spočívá v úplně jiném přístupu vytváření rozdílu teplot, a to následovně. Měřený materiál se umístil mezi nádobou s ledem a vřící vodou. Teoreticky je možné dosáhnout rozdílu většího jak 100°C. K této variantě je zapotřebí jiné čidlo tepelného toku. Pokus jsme vyzkoušeli na dřevě. Mezi dvě prkna o rozměru 120 x 120 x 25 mm jsme umístili čidlo tepelného toku se stejným půdorysným rozměrem a po stranách od nádob uprostřed prken jsme osadili termodráty. Na venkovní strany prken byly umístěny plechové kanystry s ledem a s horkou vodou. Horká voda byla stále ohřívána pomocí vařiče. Rozpuštěný led byl nahrazován novým. Omezením je odolnost čidel do 80 °C. Pro tento druh měření by bylo nutné vytisknout nové vzorky s rozměrem 120 x 120 mm. Pro „nestandardní materiály“ nebyl tento pokus realizován. Součinitel tepelné vodivosti dřeva byl stanoven 0,09 W·m⁻¹·K⁻¹.

2.4 Výpočet součinitele tepelné vodivosti λ

Výpočet vychází ze stacionárního výpočtu měrného tepelného toku rovinou střenou. Z rovnice vyjádříme součinitel tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Z měření jsme zjistili všechny neznáme veličiny, proto můžeme dopočítat součinitel λ .

$$q = \lambda \cdot \frac{\Delta t}{d} \quad (1.9)$$

$$\lambda = q \cdot \frac{d}{\Delta t} \quad (1.10)$$

kde q – měrný tepelný tok ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 Δt – rozdíl teplot (K)
 d – tloušťka vzorku (m)

Rovnost jednotek

$$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{K}} \rightarrow \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} = \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad (1.11)$$

Dosažením jednotek za veličiny ve vzorci pro výpočet součinitele tepelné vodivosti λ a jejich vykrácením ověříme rovnost obou stran rovnice.

2.5 Výsledky

Postupně projdeme měření všech materiálů, vypočteme tepelnou vodivost, porovnáme jednotlivé varianty a vyhodnotíme s údaji běžně uváděných k těmto materiálům. Nutno podotknout, že součinitel tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) není dostupný pro hotové výrobky z 3D tiskárny. Výrobci filamentu také neuvádějí tepelnou vodivost tiskové struny.

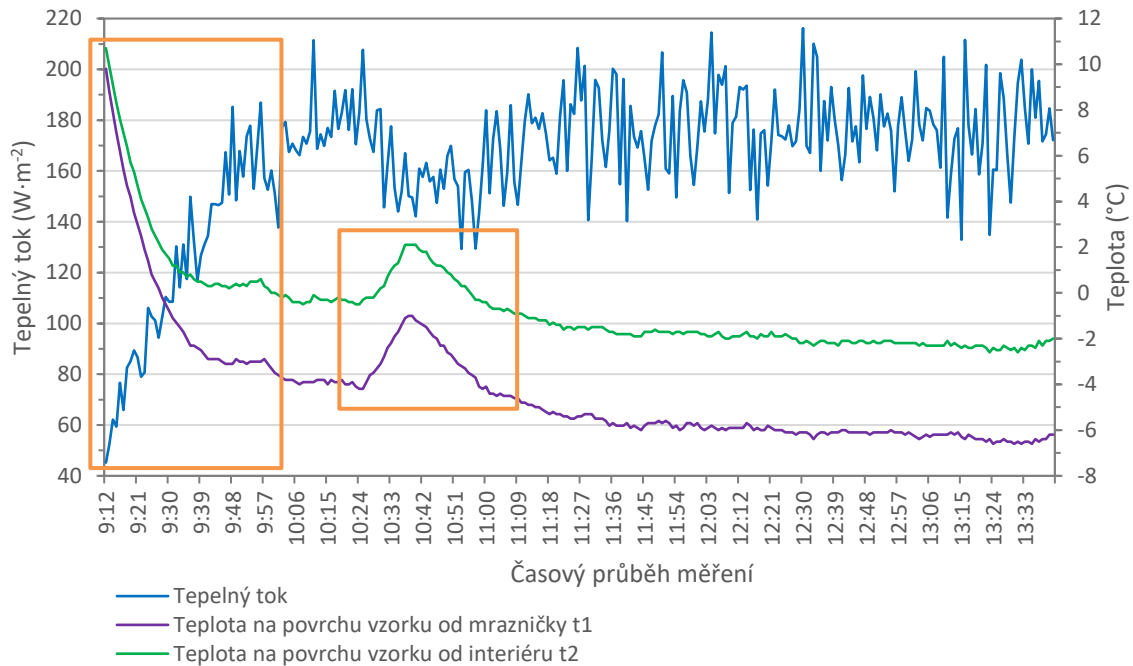
Měření probíhalo v intervalu 30 sekund po dobu několika hodin. Z měření byly zpracovány grafy s průběhy teplot a tepelného toku. Po výpočtu součinitele tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) byly také zpracovány grafy v závislosti na čase.

2.5.1 Analýza naměřených hodnot

Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků je zapotřebí analyzovat naměřená data, k tomu se nejlépe hodí graf měřených hodnot v závislosti na čase. Z grafu č. 1 je patrný náběh teploty a postupné zvyšování tepelného toku a také výkyv pravděpodobně vzniklý vypnutím mrazničky. Tato data odfiltrujeme.

Demonstrativní analýzu předvedeme na prvním měření materiálu ABS. Po odstranění neustálých hodnot zbylo pro výpočet 122 hodnot.

Průběh teplot a tepelného toku ABS - varianta č. 1



Graf 1 Průběh teplot a tepelného toku, ABS – varianta č. 1, s chybami

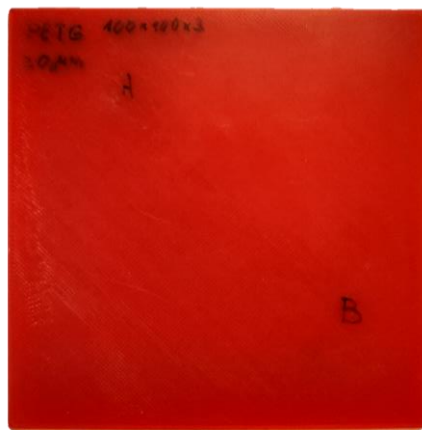
2.5.2 PETG

Stanovení proběhlo na vzorku s výškou tisku 0,2 mm. Běžně uváděný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,29 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

2.5.2.1 Výpočet tepelné vodivosti u PETG – varianta č. 1

Výpočet byl proveden pro každý interval zvlášť. Ze všech vypočtených hodnot vybereme pomocí funkce medián výsledný součinitel tepelné vodivosti λ . Pro PETG jsme stanovili výsledný součinitel $\lambda_{\text{výsledná}} = 0,1090 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tento součinitel se liší o necelé 2 desetiny od uváděné vodivosti.

V ustáleném stavu se teplota na povrchu od mrazničky liší maximálně o 1,0 °C, na povrchu od interiéru o 1,9 °C, ale tepelný tok kolísá mezi 174-270 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Přehled naměřených hodnot a tepelnou vodivost pro pár intervalů uvádí tabulka č. 5



Obrázek 29 Vzorek PETG

Tabulka 5 Část tabulky z měření PETG varianta č. 1

Polyethylene Terephthalate Glycol [PETG]

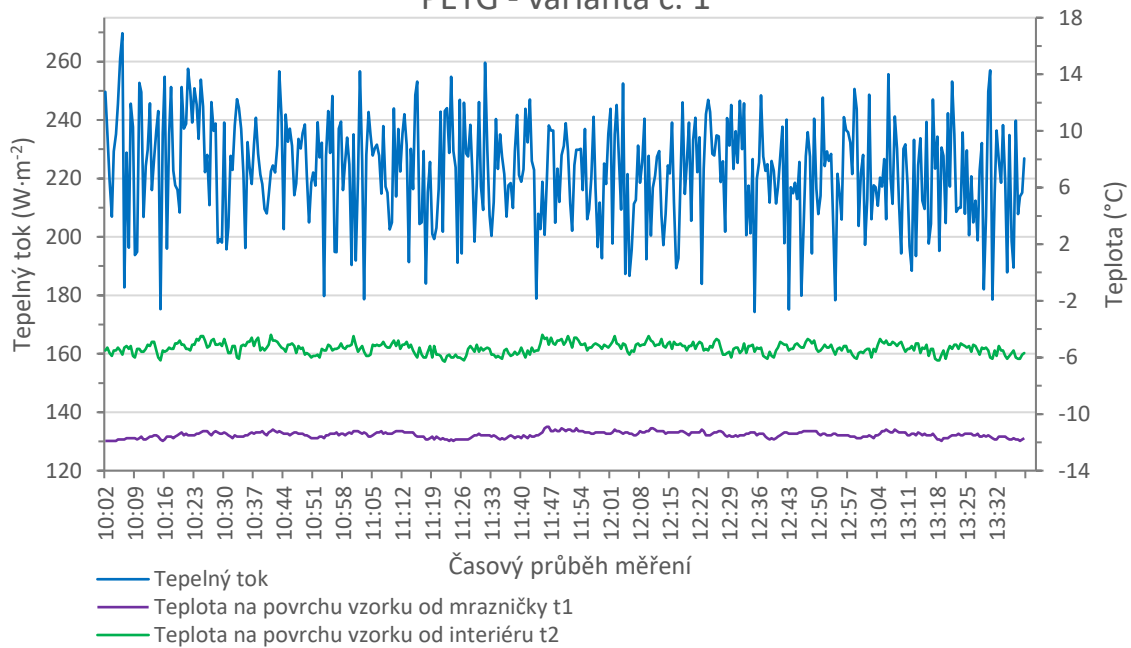
Běžně uváděná tepelná vodivost		0,29	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Počet měření n = 434	Tloušťka desky d = 0,003 m	Výška vrstvy tisku: 0,2 mm	

Časový průběh měření	Tepelný tok q ($W \cdot m^{-2}$)	Teplota povrchu od mraz. t ₁ (°C)	Teplota povrchu od inter. t ₂ (°C)	Součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
PRŮMĚR	222,60	-11,46	-5,35	0,1094
MEDIÁN	224,45	-11,50	-5,30	0,1090
MAX	269,70	-10,90	-4,40	0,1377
MIN	174,30	-11,90	-6,30	0,0843
10:02:16	249,7	-11,9	-5,5	0,1170
10:02:46	235,5	-11,9	-5,3	0,1070
10:03:16	219,2	-11,9	-5,7	0,1061
10:03:46	206,9	-11,9	-5,9	0,1035
10:04:16	229,3	-11,9	-5,5	0,1075
10:04:46	235,2	-11,9	-5,5	0,1103
10:05:16	245,5	-11,8	-5,3	0,1133
10:05:46	261	-11,8	-5,5	0,1243
10:06:16	269,7	-11,8	-5,8	0,1349
10:06:46	182,7	-11,8	-5,3	0,0843
10:07:16	228,8	-11,7	-5,2	0,1056
10:07:46	196,3	-11,7	-5,4	0,0935
10:08:16	245,6	-11,7	-5,2	0,1134
10:08:46	237,6	-11,7	-5,9	0,1229
10:09:16	193,8	-11,7	-6	0,1020
10:09:46	194,9	-11,8	-5,4	0,0914
10:10:16	252,7	-11,7	-5,4	0,1203
10:10:46	249,5	-11,6	-5,6	0,1248
10:11:16	206,8	-11,8	-5,6	0,1001
10:11:46	224,2	-11,8	-5,4	0,1051
10:12:16	229,8	-11,7	-5,1	0,1045

Vzorový výpočet pro 3. řádek

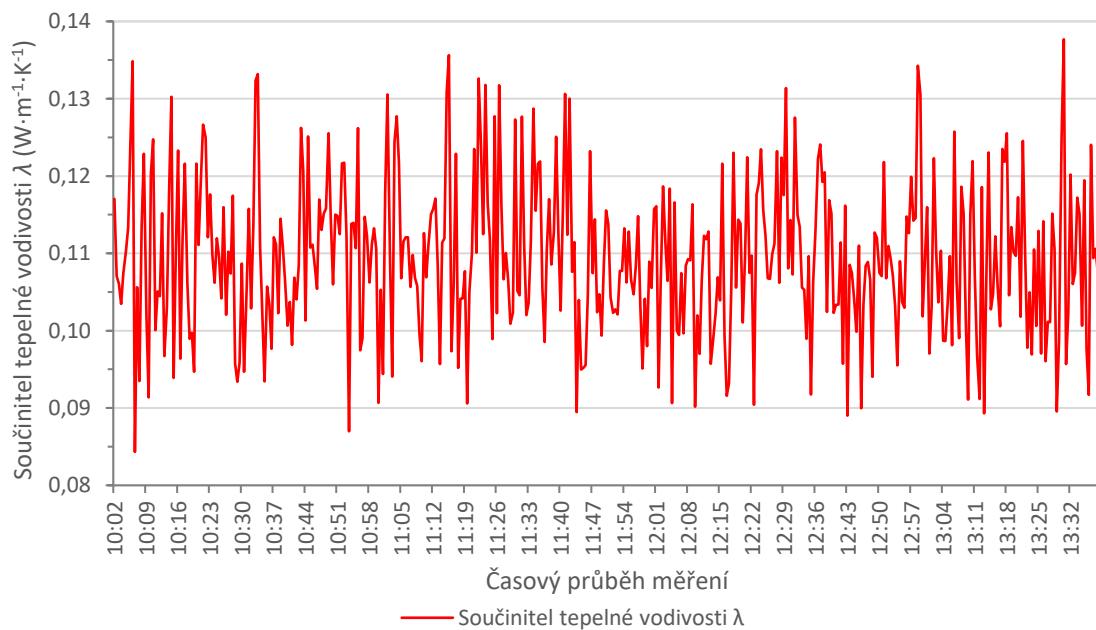
$$\lambda = q \cdot \frac{d}{\Delta t} = 219,2 \cdot \frac{0,003}{-5,7 - (-11,9)} = 0,1061 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad (1.12)$$

Průběh teplot a tepelného toku PETG - varianta č. 1



Graf 2 Průběh teplot a tepelného toku, PETG – varianta č. 1

Průběh součinitele tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) PETG - varianta č. 1



Graf 3 Průběh součinitele tepelné vodivosti λ , PETG – varianta č. 1

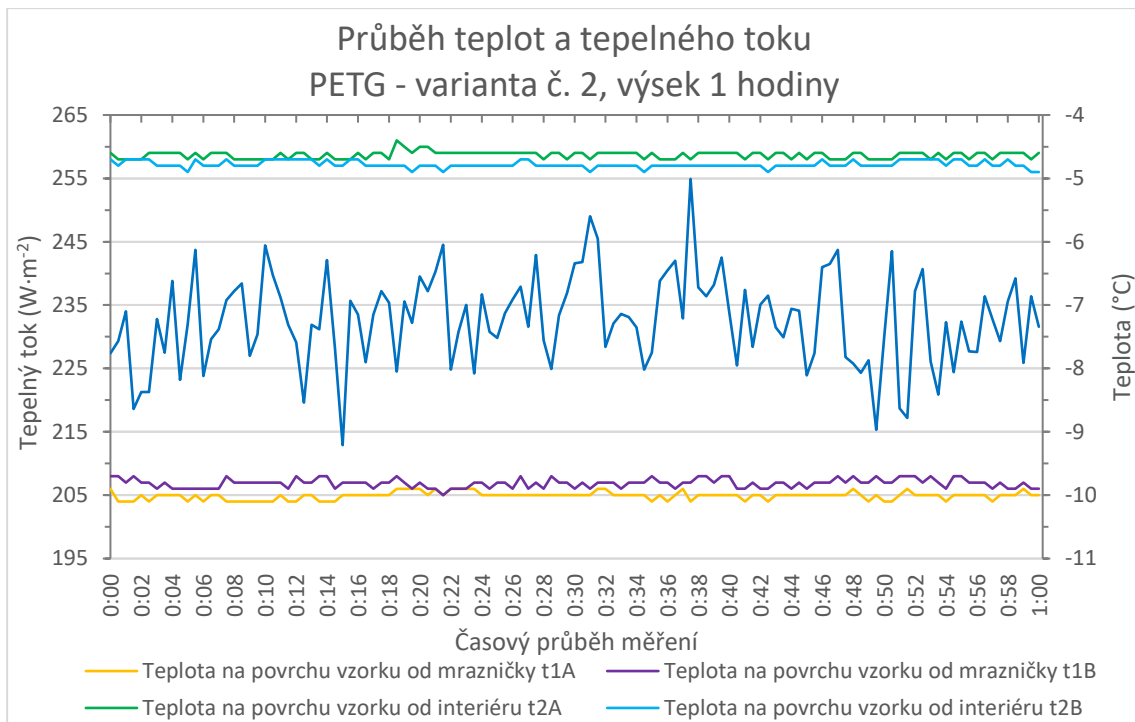
2.5.2.2 Výpočet tepelné vodivosti u PETG – varianta č. 2

Pro PETG jsme stanovili výsledný součinitel $\lambda_{\text{výsledná}} = 0,1344 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Tento součinitel se liší o 0,15 od uváděné vodivosti. V ustáleném stavu se teplota na obou stranách vzorku liší maximálně o 1,2 °C, ale tepelný tok kolísá mezi 199-263 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. Přehled naměřených hodnot a

tepelné vodivosti pro pár intervalů uvádí tabulka č. 6. Výpočet u varianty č. 2 byl proveden vždy pro protilehlá čidla a pak do kříže. Přesně tedy rozdíl teplot $t_{2A}-t_{1A}$, $t_{2B}-t_{1B}$, $t_{2B}-t_{1A}$ a $t_{2A}-t_{1B}$.

Tabulka 6 Část tabulky z měření PETG varianta č. 2

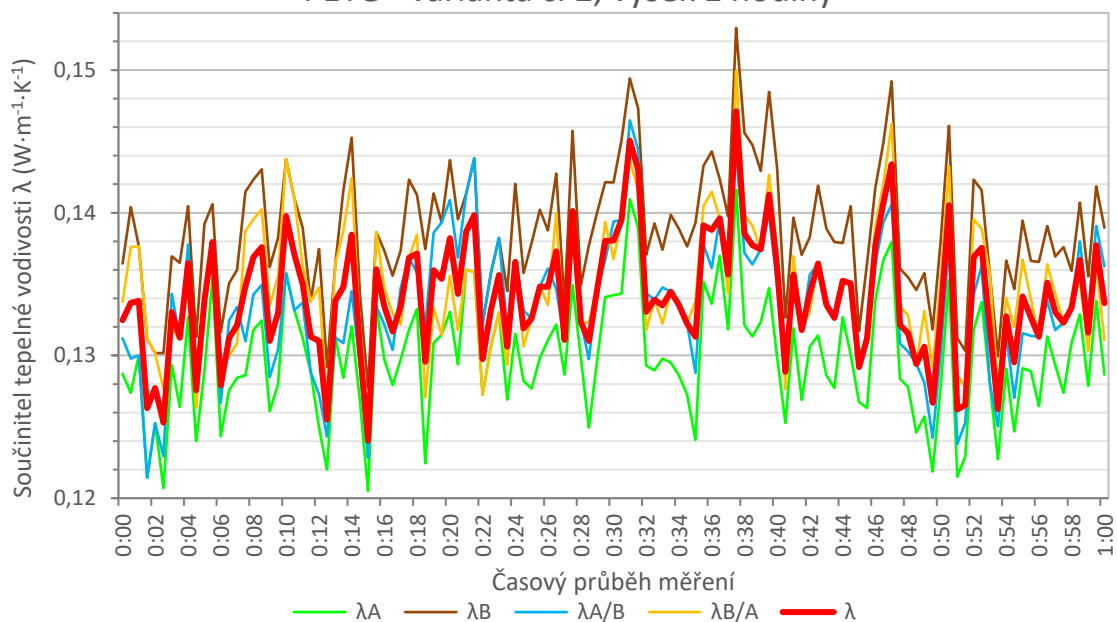
Polyethylene Terephthalate Glycol [PETG]																			
Běžně uváděná tepelná vodivost $0,29 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$																			
Počet měření		Tloušťka desky		Výška vrstvy tisku:															
n = 781		0,003 m		0,2 mm															
Časový průběh měření	Tepelný tok q ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	Teplota povrchu od mraz.		Teplota povrchu od mraz.		Teplota povrchu od mraz.		Teplota povrchu od inter.		Teplota povrchu od inter.		Teplota v mrazáku		Součinitel tepelné vodivosti		Součinitel tepelné vodivosti		Součinitel tepelné vodivosti	
		t_{1A} (°C)	t_{1B} (°C)	t_{2A} (°C)	t_{2B} (°C)	t_{1A} (°C)	t_{1B} (°C)	t_{2A} (°C)	t_{2B} (°C)	t_{1A} (°C)	t_{1B} (°C)	t_{2A} (°C)	t_{2B} (°C)	λ_A ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	λ_B ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	$\lambda_{A/B}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	$\lambda_{B/A}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	
PRŮMĚR	233,00	-9,96	-9,76	-4,59	-4,72	20,30	20,42	0,1302	0,1385	0,1335	0,1352	0,1343							
MEDIÁN	233,10	-10,00	-9,80	-4,60	-4,80	20,30	20,40	0,1301	0,1389	0,1336	0,1349	0,1344							
MAX	262,90	-9,50	-9,30	-4,10	-4,10	20,70	20,90	0,1462	0,1548	0,1533	0,1577	0,1504							
MIN	199,30	-10,20	-10,30	-5,00	-5,30	19,90	20,20	0,1087	0,1172	0,1104	0,1150	0,1129							
22:00:25	228,6	-9,6	-9,3	-4,2	-4,1	20,6	20,7	0,1270	0,1319	0,1247	0,1345	0,1294							
22:00:55	224,1	-9,5	-9,3	-4,1	-4,1	20,6	20,7	0,1245	0,1293	0,1245	0,1293	0,1269							
22:01:25	215,9	-9,6	-9,3	-4,1	-4,1	20,5	20,8	0,1178	0,1246	0,1178	0,1246	0,1212							
22:01:55	235,6	-9,7	-9,4	-4,2	-4,2	20,5	20,6	0,1285	0,1359	0,1285	0,1359	0,1322							
22:02:25	249,4	-9,6	-9,3	-4,2	-4,1	20,5	20,6	0,1386	0,1439	0,1360	0,1467	0,1412							
22:02:55	242,8	-9,7	-9,4	-4,2	-4,1	20,5	20,6	0,1324	0,1374	0,1301	0,1401	0,1349							
22:03:25	237,2	-9,6	-9,4	-4,2	-4,2	20,4	20,7	0,1318	0,1368	0,1318	0,1368	0,1343							
22:03:55	217,6	-9,6	-9,4	-4,2	-4,2	20,4	20,7	0,1209	0,1255	0,1209	0,1255	0,1232							
22:04:25	222	-9,6	-9,4	-4,1	-4,1	20,4	20,7	0,1211	0,1257	0,1211	0,1257	0,1234							
22:04:55	239,9	-9,6	-9,3	-4,1	-4,1	20,4	20,9	0,1309	0,1384	0,1309	0,1384	0,1346							
22:05:25	227,5	-9,6	-9,4	-4,1	-4,2	20,5	20,7	0,1241	0,1313	0,1264	0,1288	0,1276							
22:05:55	238,5	-9,6	-9,3	-4,2	-4,2	20,5	20,8	0,1325	0,1403	0,1325	0,1403	0,1364							
22:06:25	249,7	-9,6	-9,4	-4,2	-4,2	20,4	20,7	0,1387	0,1441	0,1387	0,1441	0,1414							
22:06:55	235	-9,6	-9,4	-4,2	-4,2	20,5	20,8	0,1306	0,1356	0,1306	0,1356	0,1331							



Graf 4 Průběh teplot a tepelného toku, PETG – varianta č. 2, výšek 1 hodiny



Průběh součinitele tepelné vodivosti λ
PETG - varianta č. 2, výšek 1 hodiny



Graf 5 Průběh součinitele tepelné vodivosti λ , PETG – varianta č. 2, výšek 1 hodiny

Vypočtený součinitel se pro jednotlivé body A, B a jejich kombinace A/B, B/A liší. Může to být způsobeno nerovnoměrným rozložením teplot po destičce, i když po výběru ustálených hodnot se teploty na povrchu ze strany od mrazničky ani od interiéru v průměru neliší více jak o 0,2 °C, což je patrné z tabulky č. 7. Větší vliv na výpočet má kolísání tepelného toku. Například ve dvou krocích při stejných teplotách se lišil o více jak 20 W·m⁻² viz tabulka č. 8. To se projeví rozdílem součinitele o 1 setinu. V tomto měření termodrát uvnitř mrazničky po 30 minutách začal měřit teplotu v interiéru. Pro další měření jsme ho vyměnili.

Tabulka 7 Teploty na povrchu testované destičky PETG

Časový průběh měření	Tepelný tok	Teplota povrchu od mraz.	Teplota povrchu od mraz.	Teplota povrchu od inter.	Teplota povrchu od inter.	Teplota v interiéru
	q	t _{1A}	t _{1B}	t _{2A}	t _{2B}	
	(W·m ⁻²)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	
PRŮMĚR	233,00	-9,96	-9,76	-4,59	-4,72	20,30
MEDIÁN	233,10	-10,00	-9,80	-4,60	-4,80	20,30
MAX	262,90	-9,50	-9,30	-4,10	-4,10	20,70
MIN	199,30	-10,20	-10,30	-5,00	-5,30	19,90

Tabulka 8 Rozdílný tepelný tok při stejných teplotách

Časový průběh měření	Tepelný tok	Teplota povrchu od mraz.	Teplota povrchu od mraz.	Teplota povrchu od inter.	Teplota povrchu od inter.	Teplota v interiéru	Součinitel tepelné vodivosti
	Q	t _{1A}	t _{1B}	t _{2A}	t _{2B}	t _{int}	λ
	(W·m ⁻²)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
22:03:25	237,2	-9,6	-9,4	-4,2	-4,2	20,4	0,1342
22:03:55	217,6	-9,6	-9,4	-4,2	-4,2	20,4	0,1232

2.5.2.3 Výpočet tepelné vodivosti u PETG – varianta č. 3

Varianta s překrytím čidel fólií ze strany od interiéru. Výsledný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{\text{výsledná}} = 0,1028 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Toto měření doprovázely výpadky čidel teploty a nebylo opakováno, proto mu nepřikládáme velkou váhu.

2.5.2.4 Shrnutí výsledků pro materiál PETG

Za nejpřesnější metodu považujeme metodu se snímáním teploty čtyřmi čidly. Metoda s překrytím fólií byla odzkoušena jen pro tento materiál. Výsledný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{\text{PETG}} = 0,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

2.5.3 ABS

Stanovení proběhlo na vzorku s výškou tisku 0,2 mm. Běžně uváděný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.



Obrázek 30 Měření s překrytím fólií

Tabulka 9 Výsledky ABS

Materiál			Naměřený součinitel tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
ABS	Výška vrstvy (mm)	Popis	
Varianta			
č. 1	0,2	2 čidla teploty	0,1312
č. 2		4 čidla teploty	0,1115

Výsledný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{\text{ABS}} = 0,11 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.



Obrázek 31 Zapojení čidel u ABS

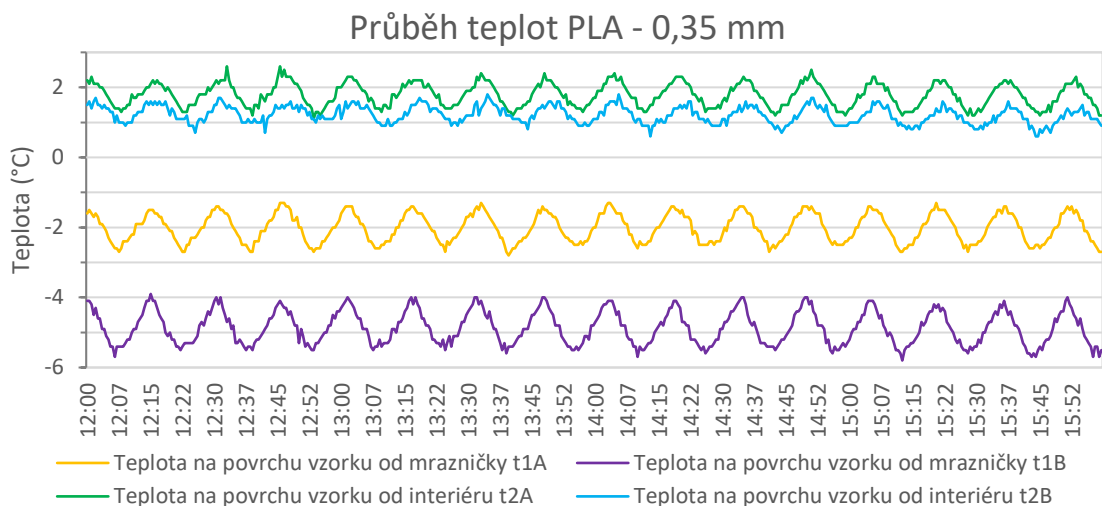
2.5.4 PLA

Stanovení proběhlo na vzorcích s výškou tisku 0,2 a 0,35 mm. Běžně uváděný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

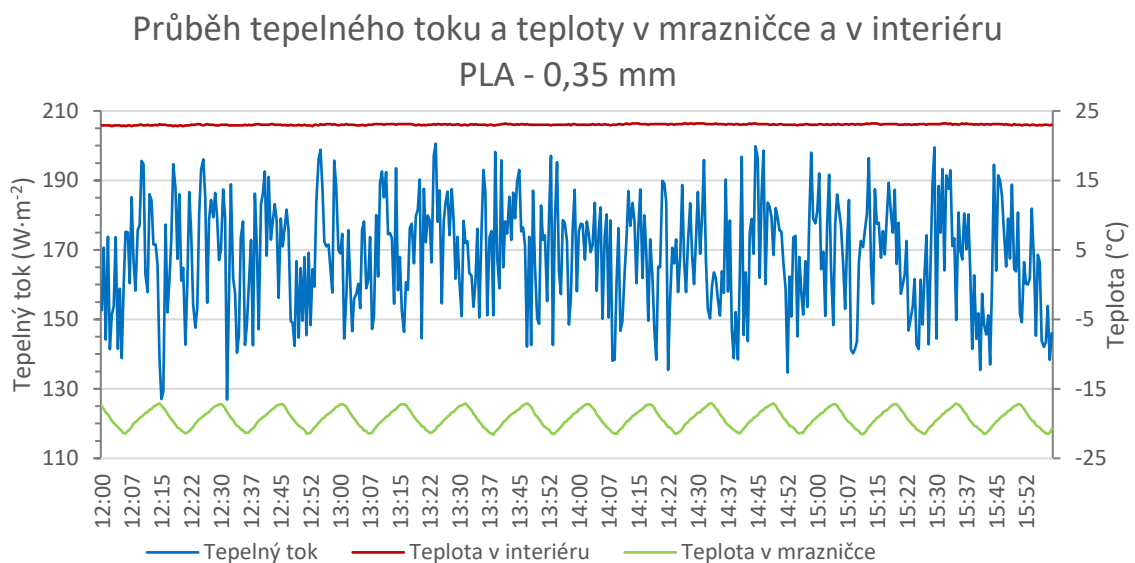
Tabulka 10 Výsledky PLA

Materiál			Naměřený součinitel tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
PLA	Výška vrstvy	Popis	
Varianta	(mm)		
č. 1	0,2	2 čidla teploty	0,1286
č. 2		4 čidla teploty	0,1273
č. 2	0,35	4 čidla teploty	0,1063

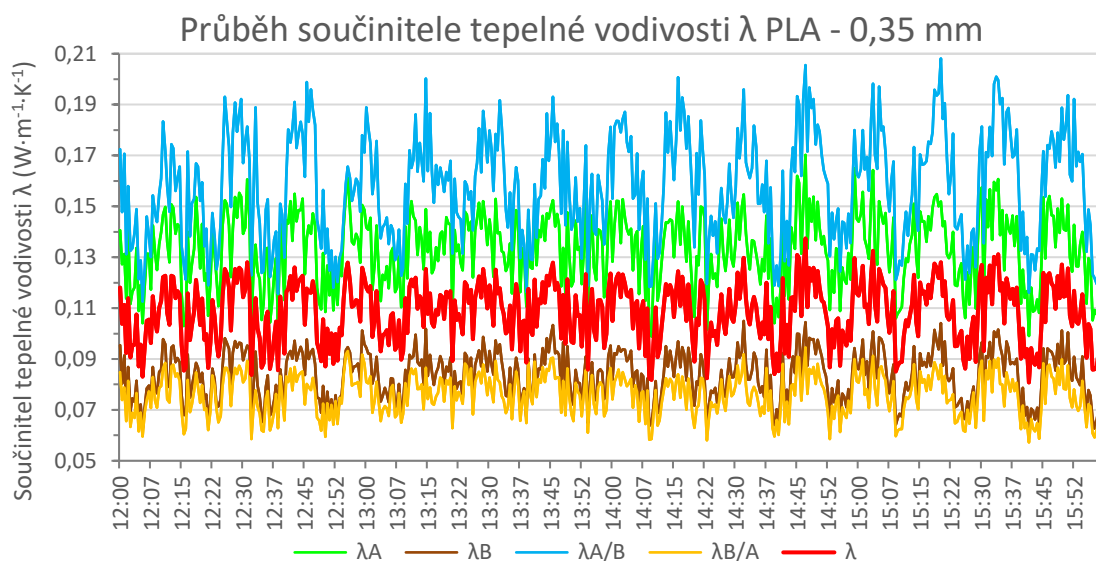
U tohoto materiálu se u obou metod dosáhlo takřka stejného výsledku. Celkový součinitel má hodnotu $\lambda_{\text{PLA}} = 0,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tepelná vodivost PLA se shoduje s uváděno hodnotou. Z PLA byl vytištěn vzorek s tloušťkou vrstvy 0,35 mm. Bylo zjištěno, že to má vliv na tepelnou vodivost. Výrobek se stává větším izolantem.



Graf 6 Průběh teplot PLA - 0,35 mm



Graf 7 Průběh tepelného toku a teploty v mrazničce a v interiéru PLA - 0,35 mm



Graf 8 Průběh součinitele tepelné vodivosti PLA – 0,35 mm

U měření PLA – 0,35 mm je z grafů patrná závislost kolísání teploty v mrazničce a na povrchu testované destičky. V grafu č. 7 můžeme sledovat kolísání teploty v mrazničce o cca 5 °C v 15minutových intervalech. To se projeví na změně teploty na povrchu vzorku o necelé 2 °C (Graf 6).

2.6 Souhrn výsledků

Výsledný součinitel jsme zvolili z varianty se snímání teploty z povrchu vzorku 4 termodrátů a kontrolou okolní teploty. Stanovené hodnoty jsou pro výšku vrstvy 0,2 mm. Tuto hodnotu je lépe brát jako orientační a vhodné je zvolit patřičný rozsah.

Tabulka 11 Výsledná tepelná vodivost

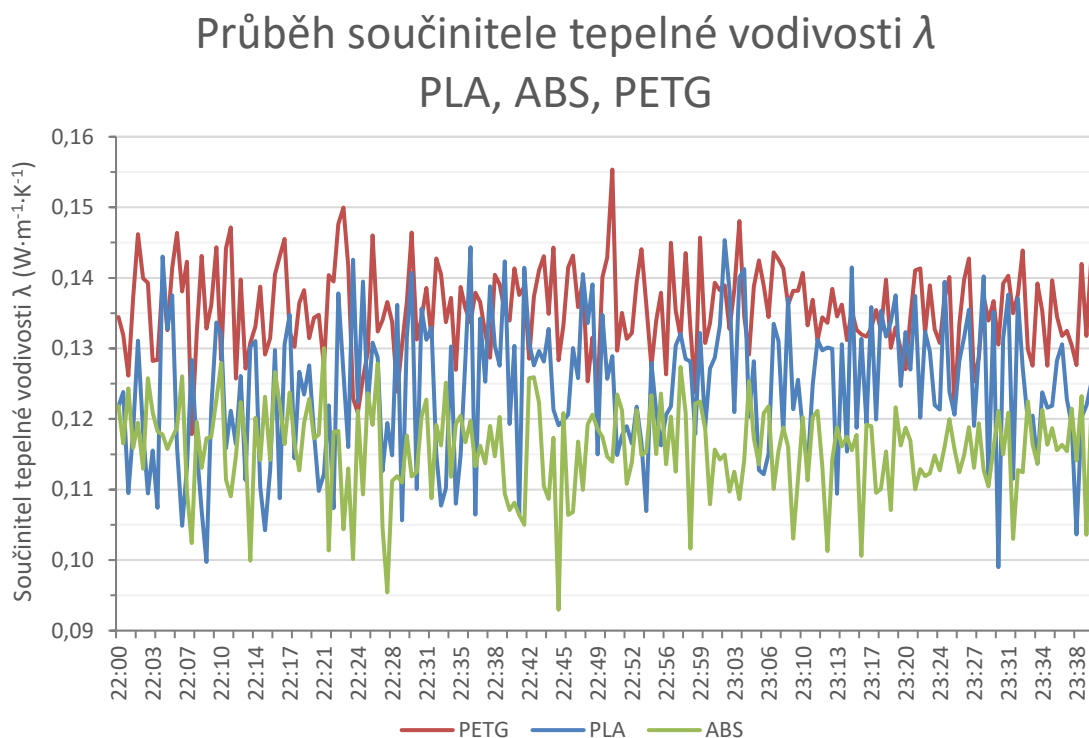
Materiál	Stanovený součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
PLA	0,13
ABS	0,11
PETG	0,13

Tabulka 12 Přehled všech výsledků

Materiál	Výška tištěné vrstvy 3D tiskárnou (mm)	Varianta	Uváděný součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Naměřený součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
PLA	0,2	č. 1 se 2 čidly teploty	0,13	0,1286
		č. 2 se 4 čidly teploty		0,1273
	0,35	č. 2 se 4 čidly teploty	0,1063	
ABS	0,2	č. 1 se 2 čidly teploty	0,17	0,1312
		č. 2 se 4 čidly teploty		0,1115
PETG	0,2	č. 1 se 2 čidly teploty	0,29	0,1090
		č. 2 se 4 čidly teploty		0,1344
		č. 2 se 4 čidly teploty, s fólií		0,1028

Typické hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) pro PLA, ABS a PETG byly čerpány ze článku „Rozdíl mezi ABS, PLA, PETG“ na internetových stránkách materialpro3d.cz. [29] Příspěvek neuvádí, zdali se jedná o vodivost filamentu ani hotového výrobku. S největší pravděpodobností jsou to hodnoty pro materiály využívané jinak než pro 3D tisk. Tepelné vodivosti těchto materiálů jsou těžko dohledatelné a různé zdroje se liší. U ABS se pohybuje 0,14-0,25 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Podobné hodnoty pro termoplasty uvádí MakeltFrom.com. [5]

Průběh součinitele tepelné vodivosti λ u všech měřených materiálů je zobrazen v grafu č. 9.



Graf 9 Průběh vodivosti PLA, ABS, PETG

2.7 Ověření metody měření

Správnost měření jsme se rozhodli ověřit na materiálech s dobře známou tepelnou vodivostí. Pro tento účel jsme použili ocel. Zhotovili jsme vzorek o stejných rozměrech jako plastová desička. Otestovali jsme dva vzorky o rozměrech 100 x 100 mm a tloušťkách 3 a 4 mm. Součinitel tepelné vodivosti oceli se pohybuje mezi 40 až 50 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Námi naměřený součinitel byl pro tloušťku 3 mm 0,79 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a vzorek tl. 4 mm 1,1 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Což se výrazně liší. Tloušťka materiálu se zdála být jako výrazný faktor ovlivňující měření v kombinaci s přesností čidel a schopností železa rychle vést teplo. Čidla nemusely zachytit přesné teploty.

Jako druhý materiál jsme zvolili polystyren. U polystyrenové tabule tl. 50 mm jsme stanovili součinitel $\lambda = 0,047 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ což od uváděné hodnoty 0,04 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ lze pokládat za relativně přesnou.

Námi zvolenou metodu nelze považovat za příliš spolehlivou a přesnou, ale rámcových výsledků jí dosáhnout lze.

2.8 Faktory ovlivňující měření

2.8.1 Termodráty

Termočláňkové snímače dosahují nepřesnosti měření až $\pm 2,5$ °C. [30] Vyzkoušíme ověřit výpočet pro nejhorší variantu, kde na obě teploty aplikuje nepřesnost $\pm 2,5$ °C. Využijeme vzorový výpočet z rovnice 1.12 na straně. 43, kde tepelný tok $q = 219,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, teplota $t_1 = -11,9$ °C a $t_2 = -5,7$ °C.

$$\lambda = q \cdot \frac{d}{\Delta t} = 219,2 \cdot \frac{0,003}{-5,7 - (-11,9)} = 0,1061 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \quad (1.13)$$

$$\lambda = 219,2 \cdot \frac{0,003}{(-5,7 + 2,5) - (-11,9 - 2,5)} = 0,0587 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \quad (1.14)$$

$$\lambda = 219,2 \cdot \frac{0,003}{(-5,7 - 2,5) - (-11,9 + 2,5)} = 0,548 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \quad (1.15)$$

Tato nepřesnost čidel může vést k 55 až 516% nejistotě výsledků. Kdyby byl rozdíl teplot vyšší, tak by se vliv nepřesností čidel snižoval.

2.8.2 Snímač tepelného toku

Snímač má přesnost kalibrace 6 %. V nejhorší kombinaci s termodráty může vést k navýšení součinitele λ na hodnotu $0,5809 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

2.8.3 Měřící ústředna

Ústředna může mít nepřesnost přenosu 0,02 %.

2.8.4 Kolísání teploty

Další vliv na nepřesnost výsledků může mít kolísání teploty v mrazničce a tím i na povrchu vzorku. Kolísání je patrné v předchozích grafech.

2.8.5 Přenos mezi vzorkem a čidly

Čidla byla na měřenou destičku přilepena hliníkovou lepící páskou, která nemusela dokonale přilnout a zajistit přesný přenos. Vhodné by bylo použít vodivou pastu, to jsme neučinili.

2.8.6 Vznikající námraza

Po několika hodinách se na straně od interiéru začala tvořit námraza. Námraza dosahovala tloušťky až několik milimetrů.

U materiálu PETG byl výsledný součinitel pro první dvě hodiny ustáleného stavu $0,131 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a poslední dvě hodiny na konci měření, když už byla zaručeně vytvořena námraza, činil $0,143 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Nebylo jasně zřejmé, kdy přesně se začala tvořit námraza, a proto nemohly být všechny ovlivněné hodnoty odfiltrovány.



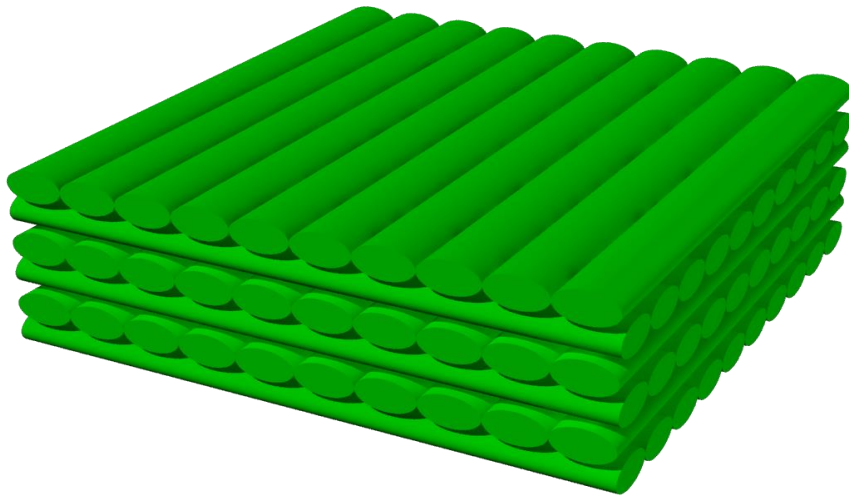
Obrázek 32 Námraza



Obrázek 33 Výška námrazy

2.8.7 Samotný tisk

Při tisku jsou tenké proužky plastového materiálu kladeny vedle sebe a vrstveny na sebe do kříže. To může způsobovat ulpívání bublinek vzduchu a hotový výrobek může nabýt lepších izolačních vlastností. Také to může vést k tomu, že různé materiály mají přibližně stejné tepelně vodivé vlastnosti.



Obrázek 34 Kladení vrstev

2.9 Měření metodou horkého drátu

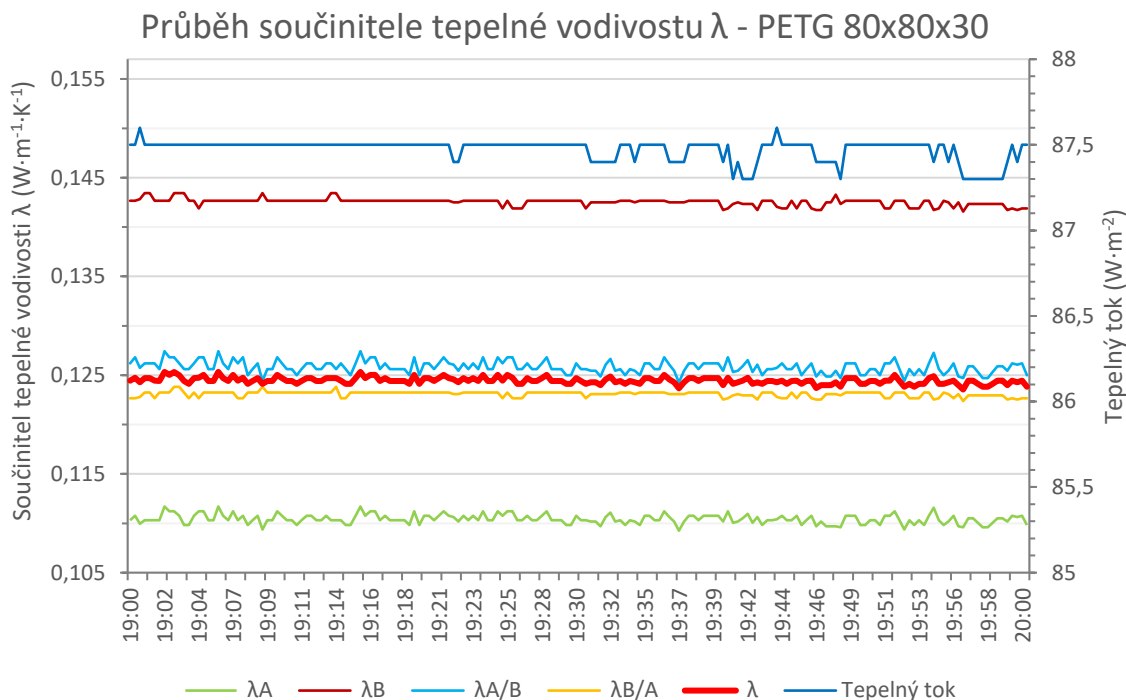
2.9.1 PETG

Pro objektivnost měření byl změřen materiál PETG v laboratoři Ústavu technologie stavebních hmot a dílců Fakulty stavební VUT v Brně. Měření proběhlo na vzorku o velikosti 80 x 80 x 30 mm. Vzorku byla stanovena objemová hmotnost $\rho = 1\,147,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita $1\,310 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,533 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.



Obrázek 35 Vzorek PETG 80 x 80 x 30 mm

Pro porovnání byl tento vzorek změřen i naší metodou. Metoda prokázala odlišnost výsledků. Naměřen byl součinitel $\lambda = 0,1244 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Výsledek je takřka shodný s destičkou tl. 3 mm, ale odlišný o 4 desetiny od metody horkého drátu. Metoda horkého drátu je známá a ověřená metoda, proto její výsledky budou objektivnější.



Graf 10 Průběh součinitele tepelné vodivosti λ PETG 80x80x30 mm

Vzorek s tloušťkou 30 mm neprokazoval tak výrazné výkyvy tepelného toku ani povrchových teplot. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 13. Tepelná vodivost také nevykazovala velké odchylky. Teplota mezi body A a B se lišila skoro o 3 °C to ovlivnilo součinitele tepelné vodivosti v těchto dvou bodech, který se lišil o 3 setiny.

Tabulka 13 Naměření hodnoty vzorku PETG 80 x 80 x 30 mm

Časový průběh měření	Tepelný tok	Teplota povrchu od mraz.	Teplota povrchu od mraz.	Teplota povrchu od inter.	Teplota povrchu od inter.	Teplota v interiéru	Teplota v mrazáku	Součinitel tepelné vodivosti	Součinitel tepelné vodivosti	Součinitel tepelné vodivosti	Součinitel tepelné vodivosti	Součinitel tepelné vodivosti
	q	t _{1A}	t _{1B}	t _{2A}	t _{2B}	t _{int}	t _{mraz}	λ _A	λ _B	λ _{A/B}	λ _{B/A}	λ
	(W·m ⁻²)	(°C)						(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)				
PRŮMĚR	87,32	-23,94	-21,47	-0,19	-3,10	19,20	-31,95	0,1103	0,1426	0,1257	0,1231	0,1244
MEDIÁN	87,40	-24,00	-21,50	-0,20	-3,20	19,30	-32,00	0,1102	0,1427	0,1257	0,1231	0,1244
MAX	88,40	-23,30	-20,90	0,40	-2,40	20,10	-31,40	0,1125	0,1447	0,1285	0,1248	0,1264
MIN	86,30	-24,50	-21,80	-0,60	-3,50	18,20	-32,40	0,1085	0,1409	0,1230	0,1217	0,1227

2.9.2 COPPERFILL

Pro výrobu výměníku by se lépe mohly hodit kompozitní materiály s příměsí kovu. Pro tuto zkoušku byl vybrán materiál Copperfill. Jde o materiál PLA s vysokým podílem měděného prášku, bohužel nepodařilo se dohledat přesné množství tohoto prášku obsaženého ve filamentu. Uvádí se pouze hustota 3 900 kg·m⁻³. Vzorek měl stejné rozměry jako v předchozím případě. Vzorku byla stanovena objemová hmotnost $\rho = 3\,592,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita 455 J·kg⁻¹·K⁻¹ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,443 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Materiál Copperfill nesplnil naše očekávání a nestal se lépe vodivým než PETG. Měděný prášek je pravděpodobně obalen termoplastem PLA a nemůže tak docházet ke snadnému přenosu tepla.

2.10 Porovnání

Měření tepelné vodivosti materiálů využívaných pro 3D tisk proběhlo také na Státní univerzitě Jižní Dakota v Brookings, SD, USA. Vyvinuli speciální přístroj pro měření. Skládá se z ohřívané měděné desky na horní straně vzorku a chlazené desky na spodní straně vzorku. Mezi ně byl vložen zkušební vzorek tl. 12,5 mm. Kolem celého přístroje byla izolace. V přístroji bylo dosaženo ustáleného stavu. Přístroj měřil výkon, teplotu okolí a teploty uvnitř bloku. [31] Výpočet vycházel z rovnice č. 1.16

$$Q_{cond} = k \cdot A_s \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1.16)$$

kde Q_{cond} – změřený přenos tepla přes vzorek (W)
 k – součinitel tepelné vodivosti ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
 A_s – průřezová plocha vzorku
 ΔT – rozdíl teplot mezi oběma termočlánky (K)
 Δx – tloušťka vzorku (m)

Typické hodnoty tepelné vodivosti ABS se pohybují v rozmezí 0,14 až 0,21 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Výsledky 3D tisknutých vzorků ukazují, že tepelná vodivost je poněkud vyšší 0,34 až 0,43 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Nejpravděpodobnějším důvodem tohoto rozdílu jsou chemické rozdíly mezi pryskyřicemi, které se používají k vytvoření vlákna ABS, které dobře pracují s procesem 3D tisku, a pryskyřicemi pro jiné procesy, jako je vstřikování. [31]

Tabulka 14 Výsledky testu ze Státní univerzity v Jižní Dakotě [31]

Druh vzorku	λ
	($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
ABS	0,34 - 0,43
PLA	0,45
Mosaz - PLA	0,31
Bronz - PLA	0,37
Nerezová ocel - PLA	0,514

2.11 Závěr

Porovnáním námi stanovenými výsledky s výsledky uváděnými u termoplastů pro jiné využití než pro 3D tisk nebyl zjištěn markantní rozdíl. Pokud se pokusíme srovnat výsledky s cíli dosaženými jinými metodami u materiálu pro 3D tisk, tak dosahujeme větší nepřesnosti.

Tabulka 15 Shrnutí součinitelů tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) ze všech metod

Metoda měření	Tepelný tok + mraznička	Metoda horkého drátu	Statní universita
Materiál			Jižní Dakota
PLA	0,13	-	0,45
ABS	0,11	-	0,34 - 0,43
PETG	0,13	0,533	-
COPPERFILL	-	0,433	-
Mosaz - PLA	-	-	0,31
Bronz - PLA	-	-	0,37
Nerezová ocel - PLA	-	-	0,514

Závěrem můžeme shrnout, že metoda měření tepelného toku a vytváření rozdílu teplot pomocí mrazničky se dopouští značných nepřesností. Obtížně se dosahovalo ustáleného stavu. Zvolená tloušťka testované destičky 3 mm prokazovala velké kolísání tepelného toku. To se projevuje na výsledné tepelné vodivosti jejím větším rozptylem. U měření vzorku tl. 30 mm byl tepelný tok téměř neměnný, i přesto se výsledky neshodovaly s jinými metodami.

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE

TEPELNÁ VODIVOST U NESTANDARDNÍCH MATERIÁLŮ PRO TZB

C. PROJEKTOVÁ ČÁST

PRODEJNA POTRAVIN

3 PROJEKTOVÁ ČÁST

3.1 Analýza objektu

3.1.1 Popis objektu

Objekt, kterým se nadále budeme zabývat je prodejna potravin. Prodejna je středního rozsahu s prodejní plochou do 1 000 m². Prodejna nákupního střediska je navrhována a vybavena jako samoobslužná prodejna potravin. Navíc s prodejem balíčkového masa, oddělení lahůdek, ovoce, zeleniny a drogistického zboží. Prodejna je uvažována jako velkokapacitní širokosortimentová prodejna potravin s doplňkovými průmyslovými výrobky. Kapacita prodejny je daná velikostí prodejní plochy, uspořádáním, velikostí a kapacitou regálových ploch a k tomu příslušným počtem pokladních míst.

Vstup zákazníků do prodejny je přes zádveří, v prostoru před pokladnami jsou vyhrazené prostory pro zákazníky. Nákupní vozíky jsou umístěny před vstupem do prodejny. V prodejně se nachází 5 pokladen.

Členění prodejny

Postupným průchodem prodejnou můžeme tyto části: oddělení ovoce a zeleniny, po pravé straně regály s chlazeným a mraženým masem, nalevo regály s cereáliemi, pak následuje oddělení sýrů, pečiva a lahůdek, dále chlazené regály s uzeninami, mléčnými výrobky, vejci a jako poslední jsou regály s trvanlivými potravinami.

Objekt prodejny je zděn z keramických tvárnic. Nosnou konstrukci tvoří sloupy, které podepírají střešní vazníky. Plášť střechy je z trapézového plechu, tepelné izolace a asfaltového pásu. Fasáda od vstupu je celoprosklená z části polepena reflexní fólií s upoutávkami na prodejnu. Před vstupem do prodejny je střecha protažena a slouží jako přístřešek a slunolam.

3.1.2 Rozdělení na funkční celky

V rámci budovy se nabízí rozdělení do tří funkčních celků. Jsou to prostory s odlišnými požadavky na provoz, kde se vyskytují a stýkají různí účastníci provozu. Jde o samotné nakupující, zaměstnance a místo, kde se stýkají tyto dvě skupiny. Jedná se tedy o prostor prodejny, zázemí zaměstnanců a sklady.

Funkční celky v prodejně:

1. Prodejna se vstupní částí,
2. zázemí pro zaměstnance (šatny, sprchy, denní místnost),
3. skladovací prostory a příprava potravin (není řešeno tímto projektem).

Pro přísun vzduchu do každého celku bude použita vlastní vzduchotechnická jednotka. Tato zařízení budou pracovat nezávisle na sobě. Tato práce se nadále nebude zabývat prostory pro skladování a přípravou potravin.



Obrázek 36 Rozdělení na funkční celky

3.1.2.1 Popis funkčních celků

Zařízení č. 1 – Vzduchotechnika prodejny

Prostor prodejny je pomyslně rozdělen do čtyř základních úseků – čerstvé zboží, lahůdky, trvanlivé zboží a pokladny. K celku je přiřazena také kancelář vedoucích. Předpokládá se velký výskyt nakupujících – kapacita 194 osob (1 osoba na 5 m² prodejní plochy). Vzduchotechnika zajistí potřebné mikroklima, v zimě vytápění a v létě společně se zařízením č. 3 pokrytí tepelné zátěže.

Zařízení č. 2 – Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců

Soubor místností určený pro potřeby zaměstnanců. Zaměstnanci mají k dispozici šatny pro ženy a muže, každá s vlastním hygienickým zázemím. Šatna – ženy má kapacitu 15 šatních míst a k dispozici 2 sprchy. Šatna – muži má kapacitu 8 míst a 1 sprchu. K prostoru také přiléhá denní místnost. Toalety a sprchy budou větrány podtlakově, s úhrnem vzduchu z okolních místností. Vzduchotechnická jednotka zaručí nucené větrání místnosti. V zimě přivádí vzduch o teplotě místnosti.

3.2 Tepelná bilance

Vzduchotechnika bude v zimě zajišťovat vytápění prodejny. V létě VZT jednotka pokryje tepelnou zátěž větráním. Zařízení č. 3 – VRV systém eliminuje vnitřní a solární tepelné zisky. Vytápění zbylých celků zajistí otopná tělesa, popřípadě podlahové vytápění. Zbylé místnosti budou nuceně větrány – dohřev vzduchu na teplotu interiéru.

3.2.1 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

místo:	Třebíč
nadmořská výška:	457 m. n. m.
normální tlak vzduchu	96,2 kPa

Tabulka 16 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

Parametr	LÉTO	ZIMA
Teplota venkovního vzduchu t_e	32 °C	-17 °C
Entalpie vzduchu h_e	69,6 kJ·kg ⁻¹	-
Měrná vlhkost vzduchu x_e	-	0,8

3.2.2 Výpočtové hodnoty vnitřního mikroklimatu

teplotní parametry interiéru:	léto 24 °C, zima 20 °C – prodejna
	léto 27 °C, zima 20 °C – zázemí zaměstnanců

3.2.3 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla byl vypočten v souladu z ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov [32]. Součinitel tepelné vodivosti byl použit dle podkladů výrobců.

3.2.4 Výpočet tepelných ztrát

Tepelné ztráty byly vypočteny dle ČSN EN 12 831-1 [33]. Výpočet byl proveden ručně, bez použití softwaru. Výpočet je rozdělen na části tepelné ztráty prostupem a větráním. V tepelné ztrátě větráním se zohlední pouze infiltrace. Ztrátu větráním pokryje vzduchotechnika. Podrobný výpočet je uveden v ČSN EN 12 831-1. [33]

Vypočtená tepelná ztráta pro místnost č. 102 Prodejna činí **18 548 W**.

3.2.5 Výpočet tepelné zátěže

Výpočet byl proveden v programu Teruna v1.5b [34] pro místnost č. 102 Prodejna. Prosklená fasáda je situována na severozápad a je polepena reflexní folií potíštěnou upoutávkou na prodejnu.

Vstupní hodnoty

Rozměr místnosti: délka l= 38,14 m
 šířka š= 25,46 m
 světlá výška s. v.=3,4 m

Teplota v místnosti: $t_i = 24 \text{ }^\circ\text{C}$
Venkovní teplota $t_e = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
V okolní místnosti $t_{i2} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$
Stínící součinitel: 0,38
Počet osob: 194

Celková tepelná zátěž pro místnost č. 102 Prodejna činí **35 293 W**.

3.2.5.1 Vodní zisky

$$M_W = n_l \cdot m_{lw} (g \cdot h^{-1}) \quad (1.1)$$

m_l produkce vodní páry na jednu osobu pro různé teploty a různé činnosti uvedené v tabulce 6 normy ČSN 73 0548 [35]

n_l počet osob

$$M_W = 185 \cdot 124 + 9 \cdot 226 = 24\,974 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1} = \mathbf{6,94 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}}$$

3.3 Stanovení průtoku vzduchu

Průtok vzduchu pro zařízení č. 1 Vzduchotechnika prodejny je stanoven na základě porovnání výpočtu ze škodlivin s porovnáním dávky čerstvého vzduchu na osobu.

Tabulka 17 Porovnání průtoků vzduchu v závislosti na škodlivinách u zařízení č. 1

Škodlivina	Poznámka k výpočtu	Průtok vzduchu
		($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
Dávka na osobu	197 osob, 25/50/70 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	5 325
Tepelná ztráta	18,548 kW, $\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$	5 603
Tepelný zisk	35,294 kW, $\Delta t = 7 \text{ }^\circ\text{C}$	15 230
Koncentrace ppm	197 osob, 25 l/h, 1200–350ppm	5 764

Jako optimální průtok vzduchu byl zvolen $5\,750\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, který zajistí pokrytí tepelné ztráty a přivede dostatečné množství čerstvého vzduchu. V létě schladí venkovní vzduch na $24\text{ }^\circ\text{C}$. Vnitřní tepelnou zátěž odvede VRV systém – zařízení č. 3.

Pro určení průtoků vzduchu v zařízení č. 2 Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců je rozhodující dávky čerstvého vzduchu a množství odváděného vzduchu na zařizovací předmět.

Průtoky vzduchu pro jednotlivé místnosti jsou vypsány v tabulkách č. 20 a 21. Z tabulek je patrné, jaké množství vzduchu s danými vlastnostmi se do místnosti přivádí a odvádí.

3.3.1 Stanovení dávek vzduchu

Dávky vzduchu jsou stanoveny na základě doporučení uváděné v literatuře. Pro pobytové místnosti je množství odváděného vzduchu pro hygienických zařízení stanovena vyhláškou č. 6/2003 Sb. [36]. Pro pracovní prostředí je nařízením vlády č. 361/2007 Sb. [37] stanoveno minimální množství venkovního vzduchu na pracovníka a výměna vzduchu v sanitárních zařízeních.

Tabulka 18 Dávky větracího vzduchu na osobu

Místnost		Dávka čerstvého vzduchu
Prodejna		
Osoby	Kupující	$25\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{os}$
	Prodavači	$50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{os}$
	Doplňování zboží	$70\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{os}$
Kancelář		$50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{os}$

Tabulka 19 Množství odváděného vzduchu pro hygienické zařízení

Místnost	Množství odváděného vzduchu
WC	$50\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na 1 mísu
	$30\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na 1 umyvadlo
	$25\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na 1 pisoár
Úklid	$25\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na 1 výlevku
Sprcha	$150\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na 1 sprchu

Výměna vzduchu na 1 šatní místo činí $20\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

Tabulka 20 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 1

Zadané hodnoty		Vypočtené hodnoty																				
		Léto					Zima															
		Místnost		Léto		Zima		Tepelná bilance			Přívod		Odvod									
Císlo místnosti	Název místnosti	Plocha (m ²)	Světla výška	Objem V _m (m ³)	Počet osob	Dávka vzduchu na osobu	Pož. intenzita výměny n	Tepota v interiéru t _i (°C)	Relativní vlhkost φ _i (%)	Tepota v interiéru t _i (°C)	Relativní vlhkost φ _i (%)	Vodní zisky M _w (g·h ⁻¹)	Tepelné zisky Q _L (W)	Tepelná ztráta Q _Z (W)	Čerstvý vzduch V _e (m ³ ·h ⁻¹)	Přívod V _p (m ³ ·h ⁻¹)	Léto t _{pL} (°C)	Zima t _{pZ} (h ⁻¹)	Dosažená výměna n	Odvod V _o (m ³ ·h ⁻¹)		
Zařízení č. 1 - Vzduchotechnika prodejny																						
101	Vstup	25,4	3,4	86,4	-	Větrání řešeno přirozeně		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
102	Prodejna	924	3,4	1342	185	25	2-6	24	50	20	40	24 056	35 293	18 540	5 175	5 600	17	20	4,17	5 750		
		-	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		-	-	-	5	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
103	Kancelář	17,6	3,4	59,8	3	50	3-15	24	50	20	40	-	-	-	150	150	17	20	2,51	-		
104	Sklad	136	3,81	517	-	Neřešeno tímto projektem		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Σ															5 750						Σ	5 750

Tabulka 21 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 2

		Zadané hodnoty								Vypočtené hodnoty												
Číslo místnosti	Název místnosti	Místnost				Léto		Zima		Tepelná bilance				Přívod				Odvod				
		Plocha (m ²)	S.V. (m)	Objem (m ³)	Počet osob (-)	Dávka vzduchu na osobu (m ³ h ⁻¹)	Pož. intenzita výměny (h ⁻¹)	t _i (°C)	φ _i (%)	Tepota v interiéru	Relativní vlhkost	M _w (g·h ⁻¹)	Q _L (W)	Q _Z (W)	Čerstvý vzduch (m ³ h ⁻¹)	V _p (m ³ h ⁻¹)	t _{pl} (°C)		t _{pZ} (°C)	n		
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců																						
201	Schodiště	6,4	3,0	19,2	-	-	0,5	27	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
202	Úklid	2,0	3,0	6	-	-	0,5	27	50	15	40	-	-	-	-	-	-	20	4,17	25	25	
203	Chodba	12,4	3,0	37,2	-	-	0,5	27	50	15	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
204	Kuchyňka	18,1	3,0	54,3	9	30	1,5	27	50	20	40	-	-	270	270	270	-	20	4,97	80	80	
205	Chodba - šatna ženy	3,6	3,0	10,8	-	-	0,5	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
206	Šatna - ženy	34,9	3,0	105	15	20	0,5	27	50	20	40	-	-	300	300	300	-	20	2,87	-	-	
207	WC - ženy	7,0	3,0	21	-	-	2-20	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	20	7,62	160	160
208	Sprchy - ženy	8,5	3,0	25,5	-	-	4-10	27	50	24	40	-	-	-	-	220	220	-	20	16,5	420	420
209	Chodba - šatna muž	1,9	3,0	5,7	-	-	0,5	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
210	Šatna - muži	9,3	3,0	27,9	8	20	0,5	27	50	20	40	-	-	160	160	210	210	-	20	7,53	-	-
211	WC - muži	6,8	3,0	20,4	-	-	2-20	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	20	5,15	105	105
212	Sprchy - muži	3,8	3,0	11,4	-	-	4-10	27	50	24	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
213	Plynová kotelna	10,1	3,7	37,4	-	-	0,5	-	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
214	Strojovna chlazení	25,2	3,7	93,2	-	-	0,5	-	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
215	Strojovna VZT	27,6	3,7	102	-	-	0,5	-	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ															1000						Σ	1000

3.4 Tlakové poměry

V rovnotlakém režimu bude pracovat celý funkční celek č. 1 Prodejna, kde se přívod i odvod odehrává v prodejní ploše a kanceláři. Podtlakově budou větrána hygienická zázemí. Režim přetlakového větrání bude v místnostech, z kterých je uhrazován vzduch pro hygienu. Vzduch bude proudit mezi místnosti dveřními mřížkami osazených ve dveřích u podlahy.

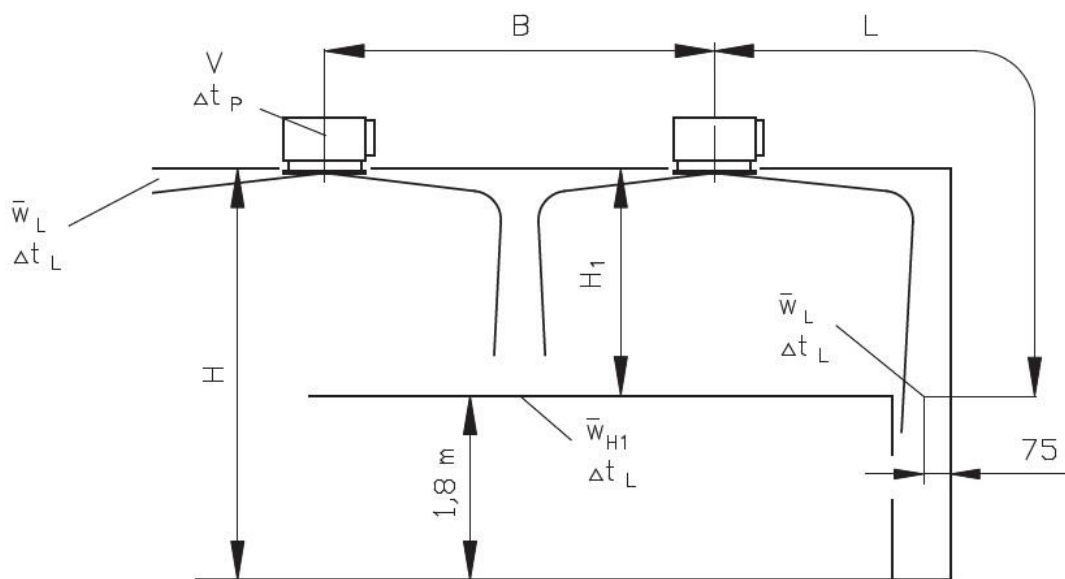
3.5 Distribuce vzduchu

V objektech jsou navrženy různé distribuční elementy dle druhu a povahy místností, tak aby vyhovovaly proudění vzduchu tzv. obrazy proudění v letním i zimním období. Jedná se především o vířivé výústky a talířové ventily.

Výpis všech distribučních elementů použitých v projektu je uveden formou tabulek s dohledanými a vypočtenými parametry na konci této kapitoly.

Tabulka 22 Rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně

teplé období roku	0,16-0,25 m·s ⁻¹
chladné období roku	0,13-0,20 m·s ⁻¹



Obrázek 37 Veličiny použité v tabulkách distribučních elementů

V [m ³ ·h ⁻¹]	objemový průtok vzduchu pro jednu výúst		
A, B [m]	vzdálenost mezi dvěma výústěmi		
L [m]	vodorovná + svislá vzdálenost ($X + H1$)		
X [m]	vzdálenost středu vyústi od stěny		
H [m]	výška od stropu - od 2,6 do 4,0 m	Δt_p [K]	rozdíl mezi teplotou přiváděného vzduchu a teplotou vzduchu v místnosti
H_1 [m]	vzdálenost mezi stropem a zónou pobytu	Δt_L [K]	rozdíl mezi teplotou vzduchu v ose proudu v délce L a teplotou vzduchu v místnosti
H_2 [m]	vzdálenost mezi podlahou a zónou pobytu	Δp_c [Pa]	celková tlaková ztráta při $\rho = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
w_L [m·s ⁻¹]	střední rychlost proudění vzduchu na stěně	L_{WA} [dB(A)]	hladina akustického výkonu
w_{H1} [m·s ⁻¹]	střední rychlost proudění vzduchu mezi dvěma výústěmi ve vzdálenosti $H1$		

Tabulka 23 Koncové distribuční elementy zařízení č. 1 a 2

Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha		Světla výška		Objem	Přívod/Odvod	Označení distribučního elementu	Počet	Přítok na 1 element	Celková tlaková ztráta	W_{HI} ($m \cdot s^{-1}$)	W_L ($m \cdot s^{-1}$)	L_{WA} (dB)	Vzdálenost od podlahy			
		A_{PDL} (m^2)	S.V. (m)	S.V. (m)	V_m (m^3)										H_1 (m)	H (m)	H_2 (m)	
									(ks)	V ($m^3 \cdot h^{-1}$)	Δpc (Pa)	W_{HI} ($m \cdot s^{-1}$)	W_L ($m \cdot s^{-1}$)	L_{WA} (dB)	H (m)	H_1 (m)	H_2 (m)	
Zařízení č. 1 - Vzduchotechnika prodejny																		
101	Vstup	25,4	4,2	107	-			Dveřní clona										
102	Prodejna	924	3,4	1342	P			Vířivá vyústka VVKR-A-S-600-32-W	14	400	15	<0,13	<0,13	26	3,4	1,6	1,8	
					O			Vířivá vyústka VVKR-A-S-600-32-R	5	600	9	<0,13	<0,13	24	3,4	1,6	1,8	
					O			Vířivá vyústka VVKR-A-S-600-32-R	2	675	11	<0,13	<0,13	26	3,4	1,6	1,8	
					O			Odsávací zákryt KUBUS 1000x 465 x 1250	2	700	-	-	-	-	2,6	-	-	
								Vnitřní kazetová jednotka AUXB18GALH	7	710	-	-	-	41	3,4	1,6	1,8	
103	Kancelář	17,6	3,4	59,8	P			Vířivá vyústka VVKR-A-S-600-8-W	1	150	24	-	0,2	26	3,4	1,6	1,8	
104	Sklad	135	3,81	514	-			Neřešeno tímto projektem										
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců																		
201	Schodiště	6,4	3	19,2	-			Přirozené větrání	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
202	Úklid	2	3	6,0	O			Talířový ventil TVOM 80; s=0	1	25	20	-	-	<25	3	1,2	1,8	
					P			Stěnová mřížka NOVA-L-1-200x150; $A_v = 0,012 m^3$	1	25	1	-	0,58	<25	2,5			
203	Chodba	3,6	3	10,8	-			Větrána prouděním vzduchu mezi jednotlivými místnostmi										
204	Kuchyňka	18,1	3	54,3	P			Talířový ventil TVPM 160; s= +10	2	135	20	-	-	<25	3	1,2	1,8	
					P			Talířový ventil TVOM 125; s= +3	1	80	20	-	-	<25	3	1,2	1,8	
					P			Dveřní mřížka NOVA-D-1-600x400; $A_v = 0,066 m^3$	1	190	-	-	0,8	-	0,2	-	-	
205	Chodba - šatna ženy	3,6	2	7,2	-			Větrána prouděním vzduchu mezi jednotlivými místnostmi										
					P			Dveřní mřížka NOVA-D-1-600x150; $A_v = 0,023 m^3$	1	60	-	-	0,72	-	0,2	-	-	

Tabulka 24 Koncové distribuční elementy zařízení č. 2 – pokračování

Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha		Světla výška	Objem	Přívod/Odvod	Označení distribučního elementu	Počet	Průtok na 1 element	Celková tlaková ztráta	W_{H1} ($m s^{-1}$)	W_L ($m s^{-1}$)	L_{WA} (dB)	Vzdálenost od		
		A_{pdl} (m^2)	S.V. (m)											V_m (m^3)	H_1 (m)	H_2 (m)
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců - pokračování																
206	Šatna - ženy	34,9	3	105	P	Talířový ventil TVPM 125; s = +9	3	100	20	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-600x200; $A_v = 0,031 m^3$	1	100	-	-	-	0,9	-	0,2	-	-
207	WC - ženy	7	3	21	O	Talířový ventil TVOM 100; s = +6	2	50	20	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					O	Talířový ventil TVOM 100; s = +6	1	60	25	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-500x400; $A_v = 0,055 m^2$	1	160	-	-	-	0,81	-	0,2	-	-
					P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-400x150; $A_v = 0,015 m^2$	2	50	-	-	-	0,93	-	0,2	-	-
208	Sprchy - ženy	8,5	3	25,5	P	Talířový ventil TVPM 125; s = +9	2	110	25	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					O	Talířový ventil TVOM 125; s = +9	4	105	20	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-500x400; $A_v = 0,055 m^2$	1	200	-	-	-	1,01	-	0,2	-	-
209	Chodba - šatna muži	2,9	3	8,7	-	Větrána prouděním vzduchu mezi jednotlivými místnostmi										
					P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-500x300; $A_v = 0,04 m^2$	1	130	-	-	-	0,9	-	0,2	-	-
210	Šatna - muži	9,3	3	27,9	P	Talířový ventil TVPM 100; s = +5	3	70	22	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
211	WC - muži	6,8	3	20,4	P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-400x150; $A_v = 0,015 m^2$	2	50	-	-	-	0,93	-	0,2	-	-
					P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-500x300; $A_v = 0,04 m^2$	1	130	-	-	-	0,9	-	0,2	-	-
					O	Talířový ventil TVOM 80; s = 0	1	25	20	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					O	Talířový ventil TVOM 80; s = 3	1	30	20	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					O	Talířový ventil TVOM 100; s = 5	1	50	25	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
212	Sprchy - muži	8,5	3	25,5	O	Talířový ventil TVPM 125; s = 9	2	105	20	-	-	-	<25	3	1,2	1,8
					P	Dveřní mřížka NOVA-D-1-500x400; $A_v = 0,055 m^2$	1	210	-	-	-	1,06	-	0,2	-	-

3.6 Dimenzování potrubí a taková ztráta potrubí

Pro výpočet vzduchotechnického potrubí byla zvolena metoda poklesu rychlostí. V potrubí se volí rychlosti, tak aby tlaková ztráta byla po celé délce vzduchovodů rovnoměrně rozložena. Střední rychlosti ve strojovně volíme okolo $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v odbočkách a v podlažních rozvodech v rozmezí

$3\text{-}5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3.6.1 Výsledná tlaková ztráta potrubí

Tabulka 25 Stručná tabulka s externí tlakovou ztrátou pro návrh VZT jednotek

Stručná tabulka s externí tlakovou ztrátou pro návrh VZT jednotek	
Zařízení č. 1 - Vzduchotechnika prodejny	
Přívodní potrubí	190 Pa
Odvodní potrubí	244 Pa
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců	
Přívodní potrubí	191 Pa
Odvodní potrubí	235 Pa

3.7 Návrh vzduchotechnických jednotek

Pro větrání prodejny byla zvolena sestavná vzduchotechnická jednotka společnosti REMAK a.s., sídlící v Rožnově pod Radhoštěm. Návrh a výpočet vzduchotechnické jednotky byl proveden za pomoci softwaru AeroCAD, který je volně ke stažení na internetových stránkách společnosti. [38] Vzduchotechnická jednotka pro šatny zaměstnanců byla vybrána kompaktní podstropní jednotka Systemair TOPVEX FC.

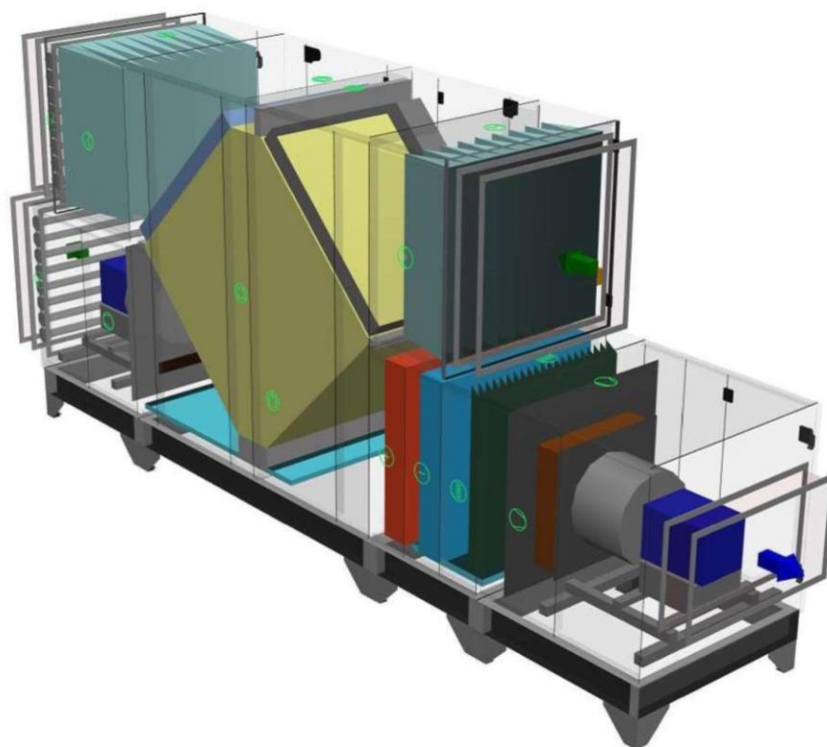
3.7.1 Zařízení č. 1

Zařízení č. 1 obsluhuje prodejnu a kancelář. Zařízení musí hospodařit s průtokem vzduchu $5\,750 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, s externí tlakovou ztrátou na přívodu 190 Pa a na odvodu 244 Pa. V zimním období bude schopné vytopit prostor na $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a v létě schladit venkovní vzduch na $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro tento účel je zvolena modelová řada AeroMaster XP 13.

Jednotka je umístěna ve strojovně vzduchotechniky v 2NP místnost č. 215. Jednotka pro systémem ZZT používá deskový křížový rekuperátor, který má účinnost 86 %. V rekuperační komoře je osazeno integrované směšování, které je realizováno klapkou umístěnou v otevřeném by-passu na odvodu. Proto je osazena další samostatná klapka na vstupu do přívodní větve a druhá na výstupu z odvodní větve. Jednotka splňuje požadavky na ekodesign 2018.

Ohřev bude realizován pomocí čtyřřadého vodního ohříváče. Jednotka bude obsahovat dvouřadý přímý výparník s teplotním médiem R410A. Filtrace je zvolená ve složení filtru F5 na přívodu a G4 na odvodu. Ostatní parametry viz technická zpráva.

Pro zajištění potřeby chladicího výkonu bude na střeše umístěna kondenzační jednotka se vzduchem chlazeným kondenzátorem o maximálním výkonu 28,1 kW.



Obrázek 38 Zařízení č. 1 – vzduchotechnická jednotka XP13

3.7.2 Zařízení č. 2

Zařízení č. 2 – Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců. Jak název napovídá, zařízení řídí nucené větrání v šatnách, toaletách, sprchách a denní místnosti pro zaměstnance. Do prostoru přivádí a odvádí $1\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. VZT jednotka ohřeje v zimě vzduch na teplotu v místnosti. Pro tento účel je zvolena jednotka TOPVEX FC02 HWL-L-CAV. Jednotka bude namontována pod strop místnosti č. 206 Šatna – ženy. Zařízení negarantuje výslednou teplotu v místnosti v letním období.

Jednotka má v sobě zabudovaný protiproudý deskový výměník s účinností až 85 %, vodní ohříváč a nízkoenergetické EC motory. Obsahuje také kapsové filtry M5 (přívod) a G4 (odvod). Ovládaní je pomocí dotykového ovladače. Další parametry viz technická zpráva.



Obrázek 39 VZT jednotka TOPVEX FC02

3.7.3 Zařízení č. 3

Zařízení č. 3 – Chlazení prodejny. V prodejně vzniká nadbytečná tepelná zátěž 35,3 kW, kterou je nutno odvést. K tomuto účelu je navrženo chlazení pomocí VRV systému. V prodejně budou umístěno 7 stropních kazetových jednotek každá o výkonu 5,6 kW. Vnitřní jednotky budou v prostoru rozmístěny mezi přívodními distribučními elementy. Pro odvod nadbytečného tepla z prodejny bude použita venkovní kondenzační jednotka s chladícím výkonem 40 kW, která bude osazena na střeše přístavby. Systém je provozován s chladivem R410A.

3.7.4 Zařízení č. 4

Zařízení č. 4 – Dveřní clony. Tato zařízení je navrženo, aby nedocházelo k nechtěnému proudění vzduchu do prodejny přes vstupní dveře. K tomu to účelu budou nad posuvné dveře na vstupu i východu instalovány vzduchové dveřní clony. Clony budou pokrývat proudem vzduchu celou plochu dveřního otvoru. Vzduchové clony budou v provedení s vodním ohřivačem o výkonu 32,6 kW při teplotním spádu 60/40°C.

3.8 Úpravy vzduchu

3.8.1 Výpočet teploty přiváděného vzduchu

Výpočet teploty přiváděného vzduchu, který proudí za systémem ZZT do místnosti. Podrobný výpočet a změny stavu vzduchu jsou uvedeny v h-x diagramu.

$$\frac{\eta}{100} = \frac{t_1 - t_e}{t_i - t_e} \quad (-) \quad (1.2)$$

$$t_1 = t_e + \frac{\eta}{100} \cdot (t_i - t_e) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.3)$$

- η tepelná účinnost systému ZZT (%)
 t_1 teplota přiváděného vzduchu, který proudí za systémem ZZT do místnosti (°C)
 t_i teplota v interiéru (°C)
 t_e teplota exteriéru (°C)

Zařízení č. 1

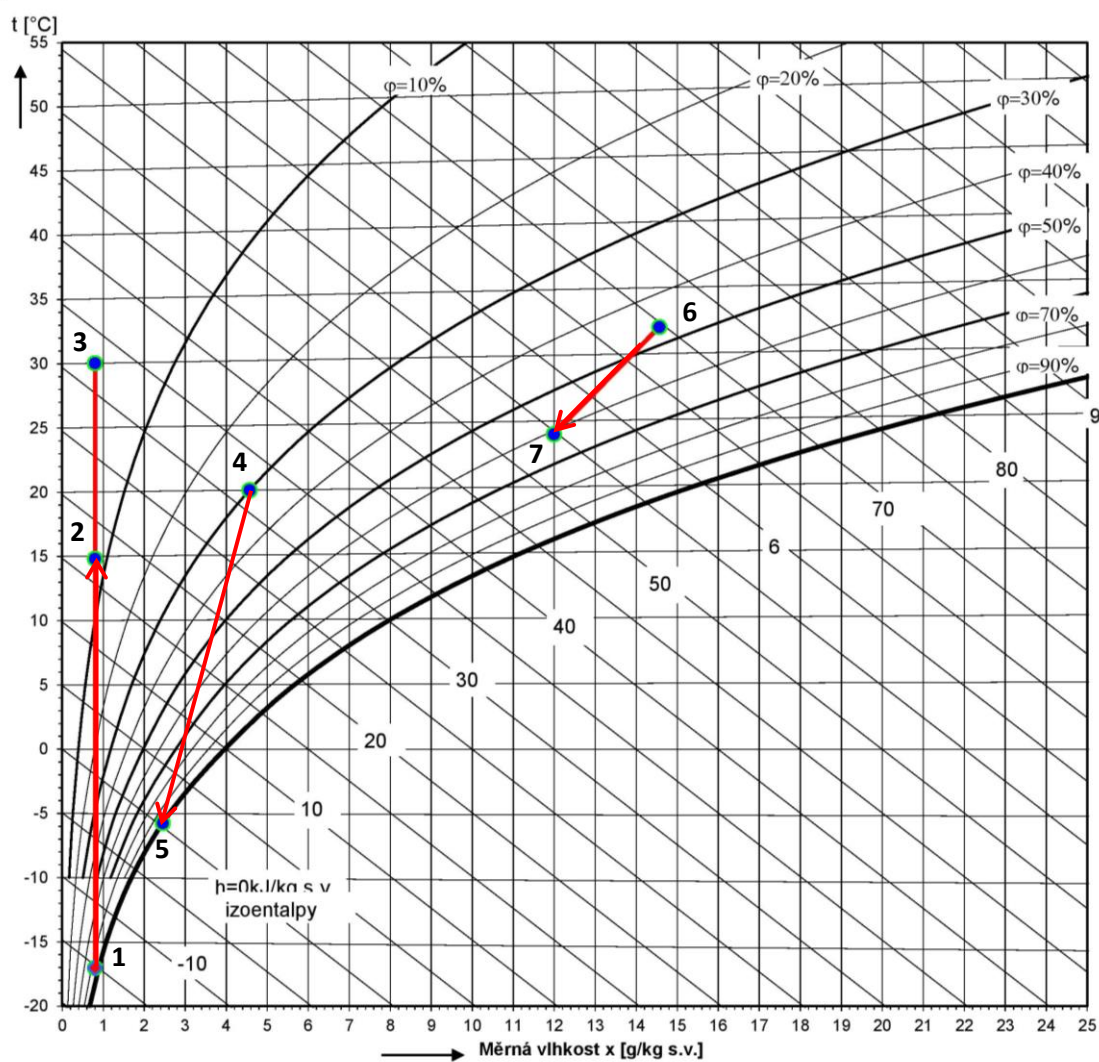
Účinnost rekuperace 86 %. Teplota vypařování 6°C.

Tabulka 26 Výpočtové parametry vzduchu zařízení č. 1

Výpočtové parametry vzduchu	Teplota v exteriéru	Teplota v interiéru
	(°C)	(°C)
Léto	32	24
Zima	-17	20

$$t_1 = (-17) + \frac{86}{100} \cdot (20 - (-17)) = 14,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Název akce:	Zařízení č.1 Vzduchotechnika prodejny					Povrchová teplota chladiče: 6 °C					
	Tlak vzduchu: 96,2 kPa					Max. vlhkost při úpravách: 100 %					
Číslo stavu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Popis stavu		ZIMA	bod 1	Prívod	Interiér	bod 2	LÉTO	Prívod			
Teplota	t °C	-17,0	14,8	30,0	20,0	-5,7	32,0	24,0			
rel.vlhkost	j %	90%	7%	3%	30%	100%	46%	61%			
měr. vlhkost	x g/kg s.v.	0,8	0,8	0,8	4,6	2,4	14,6	12,0			
entalpie	h kJ/kg s.v.	-15,2	17,0	32,3	31,8	0,3	69,6	54,8			
tep.vlh. teploměru	tv °C	-17,2	3,8	10,8	10,6	-5,7	22,7	18,61			
hustota	r kg/m3	1,31	1,16	1,10	1,14	1,25	1,09	1,1			
Skut. průtok	Vs m3/h	0	0	0	0	0	0	0			
Norm. průtok	Vn m3/h	0	0	0	0	0	0	0			
Předaný výkon	P kW		0,0	0,0				0,0			
Odpařené vody	qw kg/h		0,0	0,0				0,0			



Obrázek 40 H-x diagram zařízení č. 1

3.9 Útlum hluku

Pro zamezení šíření hluku od vzduchotechnických jednotek a zajištění pohody v chráněných vnitřních prostorech a chráněných vnějších prostorech bylo provedeno posouzení s hygienickými limity z nařízení vlády č. 272/2011 [39] na základě něj byly navrženy opatření. Posuzuje se distribuční element nejbliže vzduchotechnické jednotce.

Při návrhu distribučních elementů bylo hleděno na to, aby jejich vlastní hladina akustického tlaku L_{WA} nepřekročila 40 dB. Všechny distribuční elementy jsou napojeny pomocí zvukově tlumící ohebné hadice. V případě nedostatečného přirozeného útlumu hluku jsou navrženy tlumiče.

Pro útlum hluku v kruhovém potrubí jsou zvoleny tlumiče hluku GD provedení s děrovaným plechem. Pro čtyřhranné potrubí kulisové tlumiče GKK v kaširovaném provedení s náběhovými i odtokovými hranami. Tlumiče jsou od výrobce Greif-akustika s.r.o.. Kulisy jsou vyrobeny z minerální vaty s kaširovaným povrchem šířky 100 mm.

Tabulka 27 Maximální hladina akustického tlaku L_{WA}

Místnost	Maximální hladina akustického tlaku (A)
Prodejna	50 dB (A)
Zázemí zaměstnanců – toalety, šatny	50 dB (A)
Kancelář	40 dB (A)

3.9.1 Souhrn hladiny akustického tlaku a navržených tlumičů

Tabulka 28 Přehled hladiny akustického tlaku L_{WA} a použitých tlumičů

Přehled zvolených tlumičů				
	Hladina akustického tlaku v místě posluchače L_s [dB]	Hladina akustického tlaku v místě posluchače s tlumičem hluku L_s [dB]	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti $L_{p,A}$ [dB]	Navržený tlumič hluku
Zařízení č. 1 - Vzduchotechnika prodejny				
Přívodní potrubí	81	45	50	GKK 100x 800x 1000
Odvodní potrubí	55	31	50	GKK 100x 800x 1000
Sání čerstvého vzduchu	43	-	50	-
Výtlač odpadního vzduchu	75	45	50	GKK 100x 800x 1000
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců				
Přívodní potrubí	73	46	50	GD 250 - 1000
Odvodní potrubí	54	47	50	GD 250 - 1000
Sání čerstvého vzduchu	52	40	50	GD 250 - 1000
Výtlač odpadního vzduchu	75	49	50	GD 250 - 1000

3.9.2 Výpočet útlumu hluku

Výpočet byl proveden běžně používanými vzorci pro výpočet útlumu hluku uvedených v literatuře a za pomoci programu excel. Výpočet byl proveden zjednodušeně bez přirozeného útlumu. Hladina akustického tlaku ve venkovním prostředí je vypočtena ve vzdálenosti 1 m od protidešťové žaluzie/střešní hlavice.

3.10 Návrh izolace potrubí

Návrh tepelné izolace proti zabránění kondenzace v potrubí a úniku tepla z potrubí byl proveden v programu Teruna v1.5b. [34] Tepelnou izolací bude opatřeno přívodní potrubí zařízení č. 1, potrubí prochází mezi podhledem a izolovanou střechou, kde je uvažována teplota v zimě +10 °C. Tepelnou izolací budou izolovány i pružné manžety VZT jednotek. Ostatní potrubí izolováno nebude, protože v potrubí proudí vzduch přibližně o stejné teplotě jako v interiéru.

Je navržena tepelná izolace z kamenné vlny hydrofobizovaná v celém objemu, s polepem hliníkovou fólií se skleněnou mřížkou, tloušťky 40 mm. Součinitel tepelné vodivosti λ bude nejméně $0,038 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Z výpočtu vyplývá, že nedojde v celé délce potrubí k ochlazení ani ohřátí vzdušiny o víc než 1 °C v přívodním potrubí při návrhových podmínkách.

Potrubí spojující vzduchotechnickou jednotku s exteriérem bude izolováno izolací proti kondenzaci vzdušné vlhkosti. Je navržena izolace ze syntetického kaučuku s uzavřenou strukturou buněk, s polepem hliníkovou fólií vyztuženou skelným vláknem se součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,036 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťky 32 mm.

Použitím této izolace o tloušťce 32 mm nebude docházet ke kondenzaci vlhkosti v potrubí ani na jejím povrchu.

3.11 Požární klapky a protipožární izolace

Návrh vzduchotechniky respektuje rozdělení objektu na požární úseky. Potrubí zbytečně neprochází požárně dělícími konstrukcemi. K zachování a neporušení požárních úseků jsou použity požární klapky MANDÍK PKTM 90 v provedení s mechanickým ovládním s tepelnou tavnou pojistnou a signalizací polohy. Požární odolnost EI90. Požární klapky jsou zabudovány v požárně dělící konstrukci.

STAVEBNÍK: **BOHUSLAV KOZELKA**, Zahradní 11, 695 01 Hodonín

NÁZEV STAVBY: **PRODEJNA POTRAVIN**

MÍSTO STAVBY: **TŘEBÍČ**
kat. území Budíkovice, parc. č. 520

DRUH DOKUMENTACE: **DOKUMENTACE PRO STAVEBNÍ POVOLENÍ**

OBJEKT: **SO 01 PRODEJNA POTRAVIN**

TECHNICKÁ ZPRÁVA

D.1.4 TECHNIKA PROSTŘEDÍ STAVEB

VZDUCHOTECHNIKA

SEZNAM DOKUMENTACE:

D.1.4.01	TECHNICKÁ ZPRÁVA
D.1.4.02	TECHNICKÁ SPECIFIKACE
D.1.4.03	PŮDORYS 1NP
D.1.4.04	PŮDORYS 2NP
D.1.4.05	PŮDORYS STŘECHY
D.1.4.06	ŘEZ A-A', ŘEZ B-B', ŘEZ C-C'
D.1.4.07	ŘEZ D-D', ŘEZ E-E', ŘEZ F-F'

3.12 TECHNICKÁ ZPRÁVA

3.12.1 ÚVOD

Předmětem řešení této projektové dokumentace je vypracování vzduchotechnického systému v prodejně potravin tak, aby bylo zajištěno potřebné mikroklima a množství vzduchu k pokrytí tepelných ztrát a zisků. Projekt se zabývá větráním prodejny, kanceláře a zázemí zaměstnanců. Sklady, chladírny, mrazírny a přípravný pokrmů nejsou řešeny v této části dokumentace. Projekt je zpracován v rozsahu dokumentace pro stavební povolení.

3.12.1.1 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování této PD byla stavební dokumentace s půdorysy a řezy stavební části objektu, uživatelem dané požadavky na obsluhu jednotlivých místností. Dále pak podklady od použitých zařízení a koncových elementů.

3.12.1.2 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

místo:	Třebíč
nadmořská výška:	457 m. n. m.
normální tlak vzduchu:	96,2 kPa

Tabulka 29 Parametry vnějšího vzduchu

Parametr	LÉTO	ZIMA
Teplota venkovního vzduchu t_e	32 °C	-17 °C
Entalpie vzduchu h_e	69,6 kJ·kg ⁻¹	-
Měrná vlhkost vzduchu x_e	-	0,8

3.12.1.3 Výpočtové hodnoty vnitřního mikroklimatu

teplotní parametry interiéru:	léto 24 °C, zima 20 °C – prodejna
	léto 27 °C, zima 20 °C – zázemí zaměstnanců

Pro zajištění výsledných požadovaných teplot pro zázemí zaměstnanců je v zimním období uvažováno pokrytí tepelné ztráty prostupem otopnými tělesy. Vzduchotechnika zaručí pokrytí tepelné ztráty větráním. V letním období nebude venkovního vzduchu upravován. Výsledná letní teplota v těchto prostorech nebude garantována. V prodejně je požadováno udržovat teplotu vzduchu do 25 °C. Tento požadavek je od provozování systémového chladícího a mrazícího nábytku (regály, vitríny, pulty). Dodržení této teploty je nutné pro zajištění správné funkce těchto systému. Vzduchotechnická jednotka pro prodejnu bude pokrývat celou tepelnou ztrátu a v létě zchladí venkovní vzduch na 24°C. Tepelnou zátěž pokryje VRH systém chlazení. V zimě je pro dovlhčení na požadovanou vlhkost počítáno s vodní párou od lidí, potravin a zařízení interiéru. Rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně bude dodržena v rozmezí:

Tabulka 30 Rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně

teplé období roku	0,16-0,25 m·s ⁻¹
chladné období roku	0,13-0,20 m·s ⁻¹

Ochrana zdraví proti hluku a vibracím

Hluk v chráněném vnitřním prostoru staveb a ve vnějším prostoru v denní době nepřesáhne maximální hladinu akustického tlaku. Vzhledem k charakteru obsluhovaného prostoru není uvažováno s provozem zařízení v noční době.

Tabulka 31 Maximální hladina akustického tlaku

Místnost	Maximální hladina akustického tlaku (A)
Prodejna	50 dB (A)
Zázemí zaměstnanců – toalety, šatny	50 dB (A)
Kancelář	40 dB (A)

Tabulka 32 Tabulka místností

Č. M.	Název místnosti	Plocha	Výsledná vnitřní teplota		Relativní vlhkost	
			LÉTO	ZIMA	LÉTO	ZIMA
			t_{gL} (°C)	t_{gZ} (°C)	φ_{iL} (%)	φ_{iZ} (%)
101	Vstup	25,40	N	N	N	N
102	Prodejna	924,40	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	50	30
103	Kancelář	17,60	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	50	30
201	Schodiště	6,40	N	N	N	N
202	Úklid	2,00	N	N	N	N
203	Chodba	3,60	N	20,0 ± 2,0	N	N
204	Kuchyňka	18,10	N	20,0 ± 2,0	N	N
205	Chodba - šatna ženy	3,60	N	20,0 ± 2,0	N	N
206	Šatna - ženy	34,90	N	20,0 ± 2,0	N	N
207	WC - ženy	7,00	N	20,0 ± 2,0	N	N
208	Sprchy - ženy	8,50	N	24,0 ± 2,0	N	N
209	Chodba - šatna muži	2,90	N	20,0 ± 2,0	N	N
210	Šatna - muži	9,30	N	20,0 ± 2,0	N	N
211	WC - muži	6,80	N	20,0 ± 2,0	N	N
212	Sprchy - muži	8,50	N	24,0 ± 2,0	N	N
213	Plynová kotelná	10,10	N	N	N	N
214	Strojovna chlazení	25,10	N	N	N	N
215	Strojovna VZT	27,60	N	N	N	N

N - negarantováno

3.12.1.4 Popis objektu a rozsahu PD

Prodejna nákupního střediska je navrhnutá a vybavená jako samoobslužná prodejna potravin, navíc s prodejem balíčkováného masa, oddělením lahůdek, ovoce, zeleniny a drogistického zboží.

Objekt je rozdělena na tři funkční celky:

- prodejna se vstupní částí
- zázemí pro zaměstnance (šatny, sprchy, denní místnost)
- skladovací prostory a příprava potravin (není řešeno tímto projektem)

Prostor prodejní plochy je postupně složen z těchto oddělení: vstup, ovoce-zelenina, čerstvé zboží, lahůdky, uzeniny, mražené zboží a trvanlivé zboží.

Projekt vzduchotechniky zajišťuje větrání prodejny, kanceláří a zázemí zaměstnanců. Čerstvý vzduch je do prodejny přiváděn v prostoru regálů s trvanlivými potravinami a pokladen. Odpadní vzduch je nasáván z prostoru čerstvé zboží, lahůdky, uzeniny a z prostorech s chladícími a mrazícími regály.

Provozní doba prodejny je pondělí až sobota 7-22 hodin. V neděli 8-22 hodin.

Předpokládaná obsazenost prodejny:

Tabulka 33 Předpokládaná obsazenost prodejny

Druh prostor	Využívání	Stupeň využití
Prodejna	7.00-11.00	70 %
	11.00-13.00	50 %
	13.00-18.00	100 %
	18.00-20.00	70 %
	20.00-22.00	50 %

3.12.2 Tepelně technické vlastnosti budovy

Obvodové nosné konstrukce jsou zděné z keramických tvárnic tl. 400 mm. Střecha je izolována expandovaným polystyrenem. Podhled je kazetový v rastru 600 x 600 mm z kazetových dílců Thermanex. Okna a dveře jsou jednoduchá s izolačním dvojsklem. Fasáda od vstupu je celoprosklená polepená folií s upoutávkami na prodejnu.

Tabulka 34 Součinitel prostupu tepla konstrukcí

Číslo konstrukce	U_k ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Název
SO1	0,24	Stěna ochlazovaná (tl. 0,4)
SN1	0,80	Stěna neochlazovaná (tl. 0,35)
PDL1	0,28	Podlaha na zemině
SCH1	0,15	Střecha
OJ1	1,20	Okno jednoduché (1,2x 0,6)
OJ2	1,20	Okno jednoduché (1,7x 2,5)
DO1	1,20	Dveře ochlazované (2,5x 2,5)
DO2	1,20	Dveře ochlazované (0,9x 2,45)
DN1	2,00	Dveře vnitřní (1,1x 2,2)
DN2	2,00	Dveře vnitřní (2,25x2,25)

3.12.3 Seznam použitých norem a předpisů

Návrh, montáž a provoz systému je v souladu s příslušnými bezpečnostními předpisy a protipožárními předpisy a normami platnými na území České republiky, přitom implicitní hodnoty údajů ve výpočtech dále uvažovaných, jakož i výpočtové metody jsou převzaty zejména z obecně závazných předpisů a norem:

- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky vnitřního prostředí
- Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb ze znění pozdějších předpisů
- ČSN 73 0872 Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením
- ČSN 73 05 40-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- ČSN EN 12 831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu
- ČSN 01 3154 Technické výkresy – Instalace – Vzduchotechnika, klimatizace
- ČSN 12 7010/Z1 Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení – Obecná ustanovení
- ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN 38 3350 Zásobování teplem, všeobecné zásady

3.12.4 Základní koncepční řešení

K zajištění všech požadavků, které jsou na profesi vzduchotechnika kladeny, byly navrženy standardní nízkotlaké systémy. Vzduchotechnická zařízení byla dimenzována tak, aby splnila potřebné hygienické požadavky, normy a oborové zvyklosti (minimální potřebná dávka čerstvého vzduchu na osobu, potřebná doporučená intenzita větrání, dostatečná filtrace čerstvého vzduchu).

Projekt se bude zabývat dvěma funkční celky se svou vlastní vzduchotechnickou jednotkou, které seskupují místnosti s podobným charakterem a to následovně:

1. Vzduchotechnika prodejny
2. Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců

Nucené větrání je navrženo pro zázemí zaměstnanců, které bude zajišťovat přívod čerstvého vzduchu a v zimě pokrytí tepelné ztráty větráním. Vzduchotechnika pro prodejnu bude eliminovat celou tepelnou ztrátu a získá větráním. Všechny prostory hygienického zázemí budou řešeny podtlakovým větráním a úhradou vzduchu z okolních místností. Hlavní prostor prodejny bude fungovat jako rovnotlaký systém. U všech zařízení jsou navrženy systémy zpětného získávání tepla.

Provoz VZT zařízení bude řízen samostatným systémem MaR. Chlazení vzduchu bude pomocí přímého chlazení. VZT jednotky budou umístěny v samostatné strojovně nebo přímo pod stropem některé z místností.

3.12.4.1 Hygienické větrání a klimatizace

Větrání bude navrženo v souladu s hygienickými předpisy.

Tabulka 35 Dávky větracího vzduchu na osobu

Místnost		Dávka čerstvého vzduchu
Prodejna		
Osoby	Kupující	25 m ³ ·h ⁻¹ ·os
	Prodavači	50 m ³ ·h ⁻¹ ·os
	Doplňování zboží	70 m ³ ·h ⁻¹ ·os
Kancelář		50 m ³ ·h ⁻¹ ·os

Tabulka 36 Množství odváděného vzduchu pro hygienické zařízení

Místnost	Množství odváděného vzduchu
WC	50 m ³ ·h ⁻¹ na 1 mísu
	30 m ³ ·h ⁻¹ na 1 umyvadlo
	25 m ³ ·h ⁻¹ na 1 pisoár
Úklid	25 m ³ ·h ⁻¹ na 1 výlevku
Sprcha	150 m ³ ·h ⁻¹ na 1 sprchu

Výměna vzduchu na 1 šatní místo činí 20 m³·h⁻¹.

- podtlakové větrání je navrženo v hygienických zázemích,
- přetlakové větrání je navrženo pro místnosti, z kterých je uhrazován vzduch pro podtlakové větrání hygienických zařízení,
- rovnotlaké větrání je navrženo v prodejně
- je navržena jednostupňová filtrace třídy M5 pro přívod vzduchu,
- na odvodu je navržena jednostupňová filtrace třídy G4,
- vzduchotechnika v zimě zajistí vytápění prodejny a v létě v kombinaci z VRV systémem pokrytí tepelné zátěže,
- vytápění ostatních místností zajistí profese vytápění

3.12.4.2 Tepelná zátěž v létě, tepelná ztráta v zimě, vlhkostní zisky

Tepelná ztráta, tepelné zisky a vlhkostní zisky jsou vypočteny pro funkční celek Prodejna potravin. Výpočet tepelné zátěže je proveden pro maximální sluneční intenzitu 21. 7. ve 14.00 hodin. Okna jsou orientována na severozápad. Zastínění bude formou slunolamu a reflexní fólie s uvažovaným stínícím součinitelem $s = 0,38$.

Tabulka 37 Tabulka vstupních parametrů pro výpočet tepelné zátěže

Druh prostoru	Obsazenost	Vnitřní tepelná zátěž			Vodní zisky
		Osvětlení	Pokladny	Osoby	
Prodejna	194 osob	15 W·m ⁻²	4 x 250 W	77 W/os.	124 g·h ⁻¹ os.

Tabulka 38 Tabulka výsledů tepelné zátěže

Tepelná ztráta	18 548 W
Tepelný zisk	35 294 W
Vlhkostní zisky	6,94 g·s ⁻¹

3.12.4.3 Technologické větrání a chlazení

V objektu se vyskytují nároky na technologické větrání a chlazení. Tato část je tvořena jiným zpracovatelem projektové dokumentace.

3.12.4.4 Energetické zdroje

Elektrická energie

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů VZT, systémů chlazení a vzduchových dveřních clon – soustava 3NPE 400 V, 50 Hz; 1NPE 230 V, 50 Hz

Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu v tepelných výměnících vzduchotechnických jednotek a dveřních clon bude sloužit topná voda s teplotním spádem 60/40 °C vyráběná v plynových kotlích. Napojení vodních ohřevačů bude přes regulační uzly. Napojení výměníku a dodávku regulačních uzlů zajistí profese vytápění.

Chlazení venkovního vzduchu ve VZT jednotce bude zajištěno přímým výparníkem. Zdrojem chladu bude venkovní kondenzační jednotka. Chlazení vnitřního vzduchu v prodejně bude pomocí systému VRV.

3.12.5 Popis technického řešení

Vzduchotechnické zařízení bude sloužit pro tvorbu a udržení vhodného interního mikroklimatu v objektu podle požadavku na vnitřní prostředí. VZT jednotky budou umístěny v samostatné strojovně nebo přímo pod stopem některé z místností. Kondenzační vany vzduchotechnických jednotek budou napojeny na kanalizaci přes zápachovou uzávěrku.

Všechny navržené systémy VZT budou nízkotlaké. Vzduchotechnické systémy jsou navrženy tak, aby výměna vzduchu vyhovovala hygienickým, funkčním a technologickým požadavkům. Všechny jednotky budou ve vnitřním provedení a ze strany napojení vzduchu z exteriéru budou osazeny regulační klapky.

Doprava vzduchu bude realizována potrubím čtyřhranným i kruhovým typu Spiro. Sání čerstvého vzduchu a výtlač odvodního vzduchu bude izolováno vždy kvůli zamezení kondenzace, přívodní potrubí bude izolováno jen v případech s rozdílnou teplotou v potrubí a prostoru, kde je potrubí vedeno.

Distribuční prvky pro přívod a odvod vzduchu jsou zvoleny dle účelu a výšky místností – v úseku prodejny to jsou vířivé vyústky pro přívod vzduchu a na odvodu jsou vířivé vyústky v kombinaci s odsávacími zákryty. V zázemí zaměstnanců budou použity talířové ventily pro přívod i odvod

vzduchu. Všechny distribuční elementy budou připojeny přes regulační klapky a ohebné hadice SONOFLEX MI.

Sání a výtlač vzduchu bude přes fasádu nebo střechu objektu. Pro přívod budou použity protidešťové žaluzie. Pro odvod protidešťové žaluzie nebo hlavice Lindab LHR. Vzdálenost a charakter střešních prvků zajistí, aby nedocházelo k nasávání odpadního vzduchu. Střešní prvky budou instalovány min. 500 mm nad úroveň střechy.

Navržená vzduchotechnická zařízení jsou rozdělena do následujících funkčních celků:

Zařízení č. 1- Vzduchotechnika prodejny

Prostor prodejny bude větrán centrálně upravovaným vzduchem pomocí vzduchotechnické jednotka REMAK Aeromaster XP 13, která je umístěna ve strojovně vzduchotechniky v 2NP přístavby místnost č. 215. Jednotka pro systémem ZZT používá deskový křížový rekuperátor. V rekuperační komoře je osazeno integrované směšování, které je realizováno klapkou umístěnou v otevřeném bypassu na odvodu. Proto je osazena další samostatná klapka na vstupu do přívodní větve a druhá na výstupu z odvodní větve.

Dimenzování vzduchového výkonu je provedeno s ohledem na počet osob a tepelnou bilanci. Předpokladem je obsazenost prostoru maximálně 197 osobami, včetně lidí pro doplňování zboží, prodavačů a vedoucích. Obsazenost zákazníku je stanovena 1 osoba na 5 m² prodejní plochy. Rozhodujícím faktorem pro množství přiváděného vzduchu je tepelná ztráta činící $Q_z = 18\,548\text{ W}$ a koncentrace CO₂. Vzduchový výkon tedy činí 5 750 m³·h⁻¹.

Jednotka bude ve složení na přívodu: regulační klapka, filtr M5, deskový rekuperátor, vodní ohřívač, přímý výparník, eliminátor kapek a ventilátor. Na odvodu: filtr G4, deskový rekuperátor, eliminátor kapek, ventilátor a regulační klapka. Jednotka bude na potrubí napojena přes tlumící vložky, které zamezí šíření vibrací do potrubí. V zimním období bude vzduch ohříván na $30 \pm 1\text{ °C}$, v letním období bude chlazen na $24 \pm 1\text{ °C}$. V zimním období se uvažuje dovlhčení od vlhkostních zisků lidí, potravin a zařízení nacházejících se v prostoru. Zařízení bude ovládáno na základě teploty v místnosti popřípadě koncentrace CO₂.

Větrání prostoru je zvoleno směšovacím/zředňovacím způsobem. Přívod vzduchu je realizován vířivými vyústkami s nastavitelnými lamelami. Vzduch je přiváděn do prostoru s trvanlivým zbožím a pokladen. Odvod vzduchu je také realizován vířivými vyústkami, avšak bez lamel. Odváděn bude v prostoru s čerstvým zbožím a z chladícími a mrazícími regály. Vyústě budou osazeny do plenum boxu s horizontálním připojením a na potrubí budou připojeny přes ohebnou hadici a regulační klapku. V oddělení obslužných pultů je umístěna trouba na pečivo a gril. Nad oba spotřebiče bude umístěn akumulační odsávací zákryt. Každý o vzduchovém výkonu 700 m³·h⁻¹. Tímto zařízením je také přiváděn čerstvý vzduch (150 m³·h⁻¹) do kanceláře místnost. č. 103 a odváděn je dveřní mřížkou do prostoru prodejny.

Na rozmezí strojovny a prodejny jsou do potrubí vsazeny požární klapky, které jsou zazděné v požárně dělící konstrukci.

Potrubí je zvoleno v kombinaci čtyřhranného a kruhového Spiro. Potrubí je vedeno v prostoru mezi střechou a kazetovým podhledem. Přívodní potrubí bude izolováno tepelnou izolací z kamenné vlny tloušťky 40 mm včetně tlumících vložek.

Sání čerstvého vzduchu bude přes protidešťovou žaluzii z fasády. Výtlačk vzduchu bude přes střechu objektu. Pro odvod bude použita střešní hlavice Lindab LHR.

Teplotu ve strojovně zajistí v zimě profese vytápění a to minimálně 10 °C.

Kondenzační jednotka chlazení bude umístěna na střeše přístavby.

System je navržen jako rovnotlaký vzhledem k ostatním prostorům. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR (blíže samostatná kapitola).

Zařízení č. 2 Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců

Prostor zázemí účinkujících bude větrán centrálně upravovaným vzduchem pomocí vzduchotechnické jednotky Systemair Topvex FC02 HWL-L-CAV, která je umístěna pod stropem místnosti č. 206 Šatna – ženy. Dimenzování vzduchového výkonu je provedeno s ohledem na počet osob, dávku na zařizovací předmět a výměnu vzduchu. Vzduchový výkon tedy činí 1 000 m³·h⁻¹.

Kompaktní rekuperační jednotka se skládá z kapsových filtrů M5 (přívod)/G4 (odvod), vodního ohříváče, protiproudého deskového rekuperátoru a radiálních ventilátorů s nízkoenergetickými EC motory.

V zimním období bude vzduch ohříván na 20 ± 1 °C, v letním období nebude upravován. Zařízení bude spouštěno na základě časového harmonogramu, ručního zapnutí a snímačů pohybu na chodbách toalet. Časový harmonogram se nastaví podle průběhu pracovní směny, přestávek a střídání směn.

Přívod vzduchu bude realizován v šatnách, v kuchyňce a v sprše – ženy pomocí talířových ventilů. Všechny prostory hygienického zázemí budou opatřeny odvodními talířovými ventily a dveřními mřížkami, ty zajistí podtlakovým větráním a úhradou vzduchu z okolních místností. Všechny distribuční elementy budou na potrubí připojeny přes ohebnou hadici a regulační klapku. Dveřní mřížky budou instalovány 200 mm od spodní hrany dveří.

Rozvod vzduchu bude ze Spiro potrubí. Izolováno bude potrubí spojené s exteriérem.

Sání a výtlačk vzduchu bude přes protidešťovou žaluzii.

Zařízení č. 3 Chlazení prodejny

Chlazení centrální vzduchotechnickou jednotkou není postačující. Zaručuje jen pokrytí zisků větráním. Je třeba odvést 35,3 kW zisků. Vnitřní a solární zátěž bude eliminována VRV systémem. Konkrétně systém VR-II od společnosti FUJITSU. K tomuto účelu bude sloužit 7 vnitřních kazetových jednotek, každá o maximálním výkonu 5,6 kW. Potřebu tepla pro chlazení zajistí venkovní kondenzační jednotka o výkonu 40 kW, která bude umístěna na střeše přístavby. Chladivo R410A. Odvod kondenzátu od vnitřních jednotek bude napojen na kanalizaci.

Zařízení bude ovládáno na základě požadované teploty v místnosti.

Zařízení č. 4 Dveřní clony

Nad vstup a východ budou umístěny vzduchové dveřní clony s vodním ohřevem. Dveřní clony budou v délce 2,5 m s maximálním průtokem $4\ 600\ \text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Napojení clon provede profese vytápění. Clony budou spouštěny zároveň s otevíráním dveří.

3.12.6 Nároky na energie

Nároky a energie pro VZT jednotky a ostatní zařízení jsou uvedené podrobně v tabulce výkonu zařízení, která je přílohou této technické zprávy a je její nedílnou součástí.

3.12.7 Měření a regulace

Navržený systém VZT bude řízený a regulovaný samostatným systémem měření a regulace – profese MaR:

- Ovládaní chodu ventilátor, silové napájení ovládaných zařízení,
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohříváče v zimním období – vlečná regulace (směšování),
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu přímého výparníku,
- umístění teplotních a vlhkostních čidel dle požadavků,
- protimrazová ochrana deskového výměníku nastavením obtokové klapky,
- ovládaní uzavíracích klapek na jednotce včetně dodání servopohonů,
- protimrazová ochrana teplovodního výměníku – měření na straně vzduchu i vody. Při poklesnutí teploty: 1. vypnutí ventilátoru, 2. uzavření klapek, 3. otevření třicestného ventilu, 4. spuštění čerpadla,
- signalizace bezporuchového chodu ventilátoru pomocí diferenčního snímače tlaku,
- plynulá regulace výkonu ventilátorů frekvenčními měniči na přívodu i odvodu vzhledem k zanášení filtru a možnosti nastavení vzduchového výkonu zařízení podle potřeby provozu a časového rozvrhu,
- řízení směšování klapek pro cirkulační chod,
- snímání signalizace zanesení filtrů,
- poruchová signalizace,
- snímání signalizace chodu, poruchy a vypnutí zdroje tepla a chladu.

3.12.8 Nároky na související profese

3.12.8.1 Stavení část

V rámci stavebních profesí je nutno zajistit:

- zhotovení prostupů pro trasy vzduchovodů a potrubí, tyto otvory budou o 50 mm symetricky větší na každou stranu, než je jmenovitý rozměr,
- umožnit montáž VZT potrubí mezi vazníky,
- vzduchovody procházející střechou je nutné utěsnit a oplechovat proti zatékání,

- po montáži utěsnit prostory mezi prostupujícím potrubím a stavební konstrukcí. Provedení tohoto utěsnění bude po požární stránce ve stejné kvalitě jako stěna, kterou potrubí prochází, uložení potrubí bude provedeno jako pružné, tak aby se chvění a vibrace nepřenášely do stavební konstrukce,
- zajistit přístup k požárním klapkám, regulačním klapkám, ventilátorům, filtrům apod. tak, aby byla možná údržba a pravidelný servis,
- viditelné označení požárních klapek,
- připravit dveře v hygienickém zázemí pro osazení dveřních mřížek,
- zajistit řádné osvětlení pro montáž, údržbu a servis apod.

3.12.8.2 Elektro

Silnoprúd

V rámci montáže silových rozvodů je nutno zajistit přívod elektrické energie k VZT zařízením v příkonech uvedených v tabulce výkonů, která je nezbytnou přílohou této technické zprávy. Dále je nutné provést napojení vodivých dílů čnicích nad střechu objektu na bleskosvodný rozvod, případně uzemnit zařízení VZT.

Slaboprúd

V rámci montáže slaboproudých rozvodů je nutno zajistit např.: napojení požárních klapek (jsou-li spouštěny externě), případně další funkce související zejména s EZS (elektronický zabezpečovací systém) a EPS (elektro požární signalizace).

3.12.8.3 Zdravotechnika

V rámci zdravotní techniky bude nutno z hlediska VZT zajistit zejména:

- Přívod pitné vody do jednotlivých strojoven vzduchotechniky,
- napojení parních zvlhčovačů na vodovod a kanalizaci,
- odvod kondenzátu z chladičů, kondenzačních van klimatizačních jednotek ve strojovnách VZT a kazetových jednotek,
- podlahové vpusti ve strojovně VZT zařízení č. 1.

3.12.8.4 Vytápění

Profese vytápění zajistí přívod otopné vody k VZT zařízení s teplovodním výměníkem. Přivedený výkon musí odpovídat požadavku, uvedenému v tabulce zařízení, která je nezbytnou přílohou technické zprávy. Doporučená regulace vodního výměníku je kvalitativní se směšovací armaturou.

Voda musí být chemicky i mechanicky upravena tak, aby nedocházelo k mechanickému zanášení výměníků produkty koroze ani k usazování vodního kamene ve výměníku.

Také zajistí temperování strojovny VZT na 10 °C.

3.12.8.5 Chlazení

Profese chlazení zajistí napojení přímého výparníku ve VZT jednotce. Přivedený výkon musí odpovídat požadavku, uvedenému v tabulce zařízení, která je nezbytnou přílohou technické zprávy.

Také zajistí zapojení a zprovoznění VRV systému. Venkovní a vnitřní jednotky budou navzájem propojeny izolovaným Cu potrubím s komunikačním kabelem. Potrubí bude vedeno v podhledu.

3.12.8.6 Měření a regulace

V rámci automatické regulace je nutno zajistit funkce, nezbytné pro chod VZT zařízení. Viz popis v odstavci 3.12.7 Měření a regulace.

3.12.9 Protipožární opatření

V zásadě budou do vzduchovodů procházejících požárně dělící konstrukcí vřazeny požární klapky. Celý prostor prodejny tvoří jeden požární úsek. Strojovna VZT je samostatným požární úsekem. Požární klapky budou umístěny právě v této strojovně v požárně dělící. Požární klapky budou v provedení s mechanickým ovládním s tepelnou tavnou pojistkou a signalizací polohy.

3.12.10 Ochrana proti hluku a vibracím

Do rozvodných tras potrubí budou vloženy tlumiče hluku do všech přírodních větví větracího vzduchu a do výtlačných tras odpadního vzduchu (exteriér).

Veškeré stoje, v kterých vznikají vibrace, budou pružně uloženy. Veškeré vzduchovody napojeny na VZT jednotky napojeny přes tlumící vložky.

3.12.11 Izolace a nátěry

Jsou navrženy izolace tepelné a proti kondenzaci vzdušné vlhkosti. Jako tepelná izolace budou použity desky z minerální vlny, hydrofobizované, s hliníkovou folií a s minimálním součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,38 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Jako izolace proti kondenzaci vzdušné vlhkosti budou použity role ze syntetického kaučuku s uzavřenou strukturou buněk, s polepem hliníkovou fólií vyztuženou skelným vláknem se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,036 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťky 32 mm.

Tepelnou izolací bude opatřeno přírodní potrubí zařízení č. 1. Izolací proti kondenzaci vzdušné vlhkosti budou opatřena všechna potrubí spojená s exteriérem. Tepelnou izolací budou také izolovány pružné manžety VZT jednotek. Ostatní potrubí izolováno nebude.

Zařízení bude povrchově opatřeno povrchovou úpravou už z výroby. Pozinkované potrubí ve vnitřním prostředí již nebude dále upravováno, ve vnějším prostředí bude opatřeno lakem.

3.12.12 Závěr

Výsledkem projektu je zpracování dokumentace pro stavební povolení Prodejny potravin v Třebíči. Byla navržena čtyři VZT zařízení pro větrání prodejny, zázemí zaměstnanců a eliminaci tepelné zátěže v prodejně. Zařízení pro prodejnu bude pokrývat tepelnou ztrátu, zátěž prostoru a nechtěné pronikání venkovního vzduchu do prodejny.

Zařízení vzduchotechniky je navrženo tak, aby při řádném provozu a dodržení podmínek provozu neohrožovalo zdraví. Vzduchotechnické zařízení je navrženo v souladu hygienickými, bezpečnostními a protipožárními předpisy a vyhláškami platné na území České republiky.

Přílohy technické zprávy

Tabulka 39 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 1

Tabulka 40 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 2

Tabulka 41 Tabulka výkonů zařízení č. 1 a 2

Tabulka 42 Tabulka výkonů zařízení č. 3 a 4

Obrázek 41 Funkční schéma zařízení č. 1

Obrázek 42 Funkční schéma zařízení č. 2

Tabulka 39 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 1

		Zadané hodnoty						Vypočtené hodnoty											
		Místnost			Léto		Zima		Tepelná bilance			Přívod			Odvod				
Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha	Světla výška	Objem	Počet osob	Dávka vzduchu na osobu	Teplota v interiéru	Relativní vlhkost	Teplota v interiéru	Relativní vlhkost	Vodní zisky	Tepelné zisky	Tepelná ztráta	Čerstvý vzduch	Přívod	Léto	Zima	Dosažená výměna	Odvod
		A_{pdl} (m ²)	S.V. (m)	V_m (m ³)	(-)	(m ³ h ⁻¹)	t_i (°C)	ϕ_i (%)	t_i (°C)	ϕ_i (%)	M_w (g·h ⁻¹)	Q_L (W)	Q_Z (W)	V_e (m ³ h ⁻¹)	V_p (m ³ h ⁻¹)	t_{pl} (°C)	t_{pz} (h ⁻¹)	n (h ⁻¹)	V_o (m ³ h ⁻¹)
Zařízení č. 1 - Vzduchotechnika prodejny																			
101	Vstup	25,4	3,4	86,4	-	Větrání řešeno přirozeně	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
102	Prodejna	924	3,4	1342	185	25	24	50	20	40	24 056	35 293	18 540	5 175	5 600	17	20	4,17	5 750
		-	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	5	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
103	Kancelář	17,6	3,4	59,8	3	50	24	50	20	40	-	-	-	150	150	17	20	2,51	-
104	Skład	136	3,81	517	-	Neřešeno tímto projektem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
													Σ	5 750				Σ	5 750

Tabulka 40 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 2

		Zadané hodnoty										Vypočtené hodnoty																
Číslo místnosti	Název místnosti	Místnost					Léto		Zima			Tepelná bilance			Přívod			Odvod										
		Plocha (m ²)	S.V. (m)	Objem (m ³)	Počet osob (-)	Dávka vzduchu na osobu (m ³ h ⁻¹)	n (h ⁻¹)	Teplota v interiéru (°C)	φ _i (%)	Relativní vlhkost	Teplota v interiéru (°C)	φ _i (%)	Relativní vlhkost	Vodní zisky M _w (g·h ⁻¹)	Tepelné zisky Q _L (W)	Tepelná ztráta Q _Z (W)	Čerstvý vzduch V _e (m ³ h ⁻¹)	V _p (m ³ h ⁻¹)	t _{pl} (°C)	t _{pZ} (°C)	n (h ⁻¹)	Dosažená výměna	V _o (m ³ h ⁻¹)					
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců																												
201	Schodiště	6,4	3,0	19,2	-	-	0,5	27	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
202	Úklid	2,0	3,0	6	-	-	0,5	27	50	15	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
203	Chodba	12,4	3,0	37,2	-	-	0,5	27	50	15	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
204	Kuchyně	18,1	3,0	54,3	9	30	1,5	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	270	270	-	-	-	-	-	-	-	-	80
205	Chodba - šatna ženy	3,6	3,0	10,8	-	-	0,5	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
206	Šatna - ženy	34,9	3,0	105	15	20	0,5	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	300	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	WC - ženy	7,0	3,0	21	-	-	2-20	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160
208	Sprchy - ženy	8,5	3,0	25,5	-	-	4-10	27	50	24	40	-	-	-	-	-	-	-	220	220	-	-	-	-	-	-	-	420
209	Chodba - šatna muž	1,9	3,0	5,7	-	-	0,5	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	Šatna - muži	9,3	3,0	27,9	8	20	0,5	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	160	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
211	WC - muži	6,8	3,0	20,4	-	-	2-20	27	50	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105
212	Sprchy - muži	3,8	3,0	11,4	-	-	4-10	27	50	24	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210
213	Plynová kotlina	10,1	3,7	37,4	-	-	0,5	-	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
214	Strojovna chlazení	25,2	3,7	93,2	-	-	0,5	-	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
215	Strojovna VZT	27,6	3,7	102	-	-	0,5	-	50	10	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
													Σ	1000						Σ	1000							

Tabulka 41 Tabulka výkonů zařízení č. 1 a 2

Zařízení č. / Pozice	Ventilátor		Elektrická energie			Ohřev			Chlazení			Vlhčení					
	Množství vzduchu (m ³ ·h ⁻¹)	Externí tlak (Pa)	P (kW)	I (A)	U/f (V/Hz)	Teplotní spád (°C)	Q _t (kW)	m _t (m ³ ·h ⁻¹)	Δp _t (kPa)	Teplotní spád (°C)	Q _{ch} (kW)	m _{ch} (m ³ ·h ⁻¹)	Průtok chladicí vody	Δp _{ch} (kPa)	Q _{par} (kg·h ⁻¹)	Množství kondenzátu (kg·h ⁻¹)	Hladina akustického tlaku L _{WA} (dB(A))
Zařízení č. 1 - Vzduchotechnika prodejny																	
1.	Vzduchotechnická jednotka REMAK AeroMaster XP 13 ; 5 750 m ³ ·h ⁻¹																
1.06	Deskový rekuperátor XPMZ 13/BP (REK+81-CXS)																
1.07	Vodní ohřivač XPNC 13/4R, 4 řady; 6/4"																
1.08	Přímý výparník XPNF 13/2RF, 2 řady																
1.10	Ventilátor XPVP 450-2,2/14 (IE2)																
1.11	Ventilátor XPVP 450-2,2/14 (IE2)																
1.12	Kondenzační jednotka Sinclair ASE-96AH; chladiivo R410A																
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců																	
Vzduchotechnická jednotka Systemair Topvex FC02 HWL-L-CAV ; 1 000 m ³ ·h ⁻¹																	
2.01	Protiproudý rekuperátor																
	Vodní ohřivač																
	Přívodní ventilátor																
	Odvodní ventilátor																
	1 000	143	0,52			60/29	1,4	0,039	0,392								
	1 000	190	0,52														
																	68

Tabulka 42 Tabulka výkonů zařízení č. 3 a 4

Zařízení č. / Police	Ventilátor		Elektrická energie			Ohřev				Chlazení			Vlhčení		
	Množství vzduchu ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Externí tlak (Pa)	P (kW)	I (A)	U/f (V/Hz)	t_1/t_2 (°C)	Q_t (kW)	m_t ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Δp_t (kPa)	t_1/t_2 (°C)	Chladicí výkon Q_{ch} (kW)	Průtok chladicí vody m_{ch} ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Tlaková ztráta Δp_{ch} (kPa)	Parní výkon Q_{par} ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	Množství kondenzátu m_c ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
	V				Napětí/ frekvence	Teplovní spád	Topný výkon	Průtok topné vody	Tlaková ztráta výměniku			Průtok chladicí vody	Tlaková ztráta výměniku		Hladina akustického tlaku L_{WA} (dB(A))
Zařízení č. 3 - Chlazení prodejny															
3.01	710		0,036		230/50		6,3			5,6					41
3.02	13 000	80	11,34		400/50		45			40					61
Zařízení č. 4 - Dvěřní clony															
4.01	4600		1,14	4,9	230/80	60/40	32,6								60,5

3.13 TECHNICKÁ SPECIFIKACE

D.1.4.02 TECHNICKÁ SPECIFIKACE

PRODEJNA POTRAVIN

SO 01 PRODEJNA POTRAVIN

Třebíč

D.1.4 TECHNIKA PROSTŘEDÍ STAVEB

VZDUCHOTECHNIKA

Zařízení č. 1 - Vzduchotechnika prodejny			
Pozice	Popis	MJ	množství
1.	Vzduchotechnická jednotka REMAK AeroMaster XP 13 ; 5 750 m ³ /h; řídicí systém VCS; ZT: protiproudý výměník; hmotnost 1 446 kg; 4,40kW 3x400V+N+PE 50Hz, 18 A;	kpl	1
1.01	Tlumicí vložka DV 915x865 mm	ks	3
1.02	Tlumicí vložka DV 865x450 mm	ks	1
1.03	Klapka LK 915-865	ks	2
1.04	Filtr XPNH 13/7 ECOD, kapsový, F7, přívod	ks	1
1.05	Filtr XPNH 13/4 ECOD, kapsový, G4, odvod	ks	1
1.06	Deskový rekuperátor XPMZ 13/BP (REK+81-CXS)	ks	1
1.07	Vodní ohřívač XPNC 13/4R, 4 řady, výkon 26,9 kW, teplotní spád 60/40°C, připojení 1 1/2" , průtok 1,17 m ³ /h, tlaková ztráta 0,2 kPa	ks	1
1.08	Přímý výparník kondenzátor XPNF 13/2RF, 2 řady, výkon 23,2 kW, teplota vypařování 6 °C, připojení Cu 22/16 mm, tlaková ztráta 9,4 kPa, hmotnostní průtok 558 kg/h	ks	1
1.09	Eliminátor Klapek XPNU 13	ks	1
1.10	Ventilátor XPVP 450-2,2/J4 (IE2) - přívod; AC motor; výkon 2,2 kW, el. příkon 1,82 kW, 4,76A, 3NPE 400 V, 50 Hz	ks	1
1.11	Ventilátor XPVP 450-2,2/J4 (IE2) - odvod; AC motor; výkon 2,2 kW, el. příkon 1,67 kW, 4,76A, 3NPE 400 V, 50 Hz	ks	1
1.12	Venkovní kondenzační jednotka Sinclair ASE-96AH se vzduchem chlazeným kondenzátorem, 1255x 908x 700 mm (š x v x h) , výkon 28,1 kW, max. el. příkon 14,4 kW, 23,7A, 380-415V/50Hz, chladiivo R410A, 187 kg	ks	1
1.13	Požární klapka MANDÍK PKTM 90-C/ 800x450-.11, provedení s mechanickým ovládáním s tepelnou tavnou pojistkou a signalizací polohy, požární odolnost EIS 90	ks	2
1.14	Kulisový tlumič hluku GKK 100x 800x 1000 . 3 ; rozměr 1000x 800x 1000mm (š x v x h) , 5x kulisa 100x 800x 1000mm, 100 mm mezerou, provedení s náběhem i výběhem	ks	1
1.15	Protidešťová žaluzie PDZM 70 1000 x 1250-.102, šířka 70 mm, se sítím proti hmyzu	ks	1
1.16	Střešní čtyřhraná hlavice s žebry Lindab LHR S 600 600, volná plocha 0,72 m ²	ks	1
1.17	Regulační klapka kruhová MANDÍK RKKM 160 S -.01	ks	1
1.18	Regulační klapka kruhová MANDÍK RKKM 200 S -.01	ks	14
1.19	Regulační klapka kruhová MANDÍK RKKM 250 S -.01	ks	9
1.20	Vířivá vyústka VVKR-A-S-600-8-W, Plenum box PB-VVK-S-600-S-H-D1 s horizontálním přívodem	ks	1
1.21	Vířivá vyústka VVKR-A-S-600-32-W, Plenum box PB-VVK-S-600-200-S-H-D1 s horizontálním přívodem	ks	14
1.22	Vířivá vyústka VVKR-A-S-600-32-R, Plenum box PB-VVK-S-600-250-E-H-D1 s horizontálním přívodem	ks	7

1.23	Akumulační odsávací zákryt KUBUS 1000x 465 x 1250 (š x v x h) s hrdlem ø250mm	ks	2
1.24	Dveřní mřížka Systemair NOVA-D-1-600x300-UR2; volná plocha $A_v=0,048\text{m}^2$	ks	1
	Ohebné Al laminátová hadice SONOFLEX MI s tepelnou a hlukovou izolací z vrstvy ekologické nezářivé minerální vaty tloušťky 25 mm, 16 kg/m^3 , parozábrana – zpevněný Al laminát		
	φ 160	bm	1
	φ 200	bm	14
	φ 250	bm	9
	Spiro potrubí z pozinkovaného plechu sk. I, třída těsnosti D, včetně tvarovek		
	φ 160 mm / 6 % tvarovek	bm	5
	φ 200 mm / 10 % tvarovek	bm	26
	φ 225 mm / 8 % tvarovek	bm	7
	φ 250 mm / 18 % tvarovek	bm	24
	φ 280 mm / 6 % tvarovek	bm	7
	φ 315 mm / 7 % tvarovek	bm	6
	φ 355 mm / 9 % tvarovek	bm	24
	φ 400 mm / 10 % tvarovek	bm	17
	Čtyřhrané potrubí z pozinkovaného plechu sk. I, třída těsnosti D, včetně		
	do obvodu 5600 mm / 43 % tvarovek	bm	1
	do obvodu 4460 mm / 43 % tvarovek	bm	7
	do obvodu 3500 mm / 96 % tvarovek	bm	6
	do obvodu 2630 mm / 20 % tvarovek	bm	50
	do obvodu 1890 mm / 6 % tvarovek	bm	6
	Tepelná izolace vzduchotechnického potrubí - Desky Techrock 60 ALS z kamenné vlny (minerální plsti) pojená organickou pryskyřicí, hydrofobizovaná v celém objemu, s polepem hliníkovou fólií se skleněnou mřížkou (ALS). Tloušťka hliníkové fólie je 18 – 22 μm .; tloušťka 40 mm; objemová hmotnost $60\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; součinitel tep. vodivosti $\lambda=0,035\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	m^2	125
	Tepelná izolace vzduchotechnického potrubí pro kondenzaci vzdušné vlhkosti - role Armaflex Duck ALU ze syntetického kaučuku s uzavřenou strukturou buněk, s polepem hliníkovou fólií vyztuženou skelným vláknem ; tloušťka 32mm; součinitel tep. vodivosti $\lambda=0,036\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	m^2	31

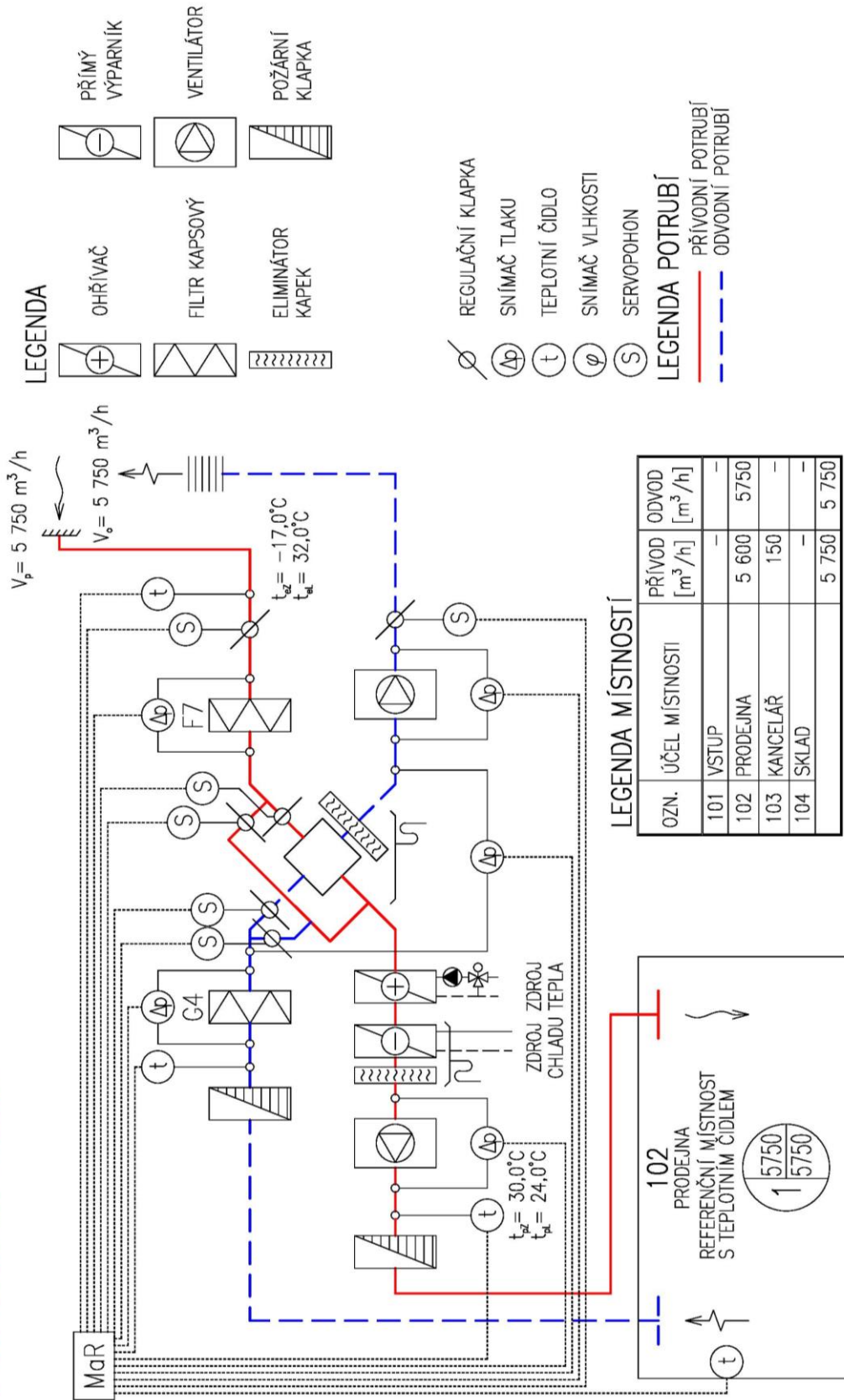
Zařízení č. 2 - Nucené větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců

Pozice	Popis	MJ	množství
2.1	Vzduchotechnická jednotka Systemair Topvex FC02 HWL-L-CAV ; levý model; 1720 x 350 x 2101 mm (š x v x h); 1000 m^3/h ; hmotnost 270 kg; řídicí systém Access; řízení dle konstantního průtoku CAV; ZTZ: deskový protiproudý rekuperátor; EC motory; 0,52 kW; 230V; 50Hz; 10 A; IP 23; Vodní ohřivač: výkon 1,4kW, teplotní spád 60/29°C, průtok 0,039 m^3/h , tlaková ztráta 0,3924kPa, přípojení 1/2; přívodní filtr F7; odvodní filtr M5;	kpl	1
2.02	Uzavírací klapka se servopohonem EFD/S 250-24V	ks	2
2.03	Kruhový tlumič hluku GD 250-1000.0 firmy Greif-akustika, s.r.o., vnitřní průměr 250 mm, vnější průměr 450, délka 1000 mm, délka nátrubku 50 mm	ks	4
2.04	Protidešťová žaluzie MANDÍK PDZM 560x500 70-.102 se sítím proti hmyzu; $A_v=$ 0,0959 m^2	ks	2
2.05	Regulační klapka kruhová MANDÍK RKKM 80 S -.01	ks	3
2.06	Regulační klapka kruhová MANDÍK RKKM 100 S -.01	ks	7
2.07	Regulační klapka kruhová MANDÍK RKKM 125 S -.01	ks	11
2.08	Regulační klapka kruhová MANDÍK RKKM 160 S -.01	ks	2

2.09	Talířový ventil MANDÍK TVPM 100 pro přívod vzduhu	ks	3
2.10	Talířový ventil MANDÍK TVPM 125 pro přívod vzduhu	ks	5
2.11	Talířový ventil MANDÍK TVPM 160 pro přívod vzduhu	ks	2
2.12	Talířový ventil MANDÍK TVOM 80 pro odvod vzduhu	ks	3
2.13	Talířový ventil MANDÍK TVOM 100 pro odvod vzduhu	ks	4
2.14	Talířový ventil MANDÍK TVOM 125 pro odvod vzduhu	ks	7
2.15	Dveřní mřížka Systemair NOVA-D-1-400x150-UR2; volná plocha $A_v=0,015\text{m}^2$	ks	4
2.16	Dveřní mřížka Systemair NOVA-D-1-500x300-UR2; volná plocha $A_v=0,04\text{m}^2$	ks	2
2.17	Dveřní mřížka Systemair NOVA-D-1-500x400-UR2; volná plocha $A_v=0,055\text{m}^2$	ks	3
2.18	Dveřní mřížka Systemair NOVA-D-1-600x150-UR2; volná plocha $A_v=0,023\text{m}^2$	ks	1
2.19	Dveřní mřížka Systemair NOVA-D-1-600x200-UR2; volná plocha $A_v=0,031\text{m}^2$	ks	1
2.20	Dveřní mřížka Systemair NOVA-D-1-600x400-UR2; volná plocha $A_v=0,066\text{m}^2$	ks	1
2.21	Stěnová mřížka NOVA-L-1-1-200x150; $A_v=0,012\text{m}^2$	ks	1
	Ohebné Al laminátová hadice SONOFLEX MI s tepelnou a hlukovou izolací z vrstvy ekologické nedráždivé minerální vaty tloušťky 25 mm, 16 kg/m^3 , parozábrana – zpevněný Al laminát		
	φ 80	bm	3
	φ 100	bm	7
	φ 125	bm	11
	φ 160	bm	2
	Spiro potrubí z pozinkovaného plechu sk. I, třída těsnosti C, včetně tvarovek		
	φ 80 / 7 % tvarovek	bm	4
	φ 100 / 14 % tvarovek	bm	5
	φ 125 / 16 % tvarovek	bm	14
	φ 160 / 16 % tvarovek	bm	31
	φ 180 / 19 % tvarovek	bm	10
	φ 200 / 9 % tvarovek	bm	4
	φ 225 / 33 % tvarovek	bm	5
	φ 250 / 30 % tvarovek	bm	9
	tvarovek		
	do obvodu 1500 mm / 100 % tvarovek	bm	1
	Tepelná izolace vzduchotechnického potrubí pro kondenzaci vzdušné vlhkosti - role Armaflex Duck ALU ze syntetického kaučuku s uzavřenou strukturou buněk, s polepem hliníkovou fólií vyztuženou skelným vláknem ; tloušťka 32mm; součinitel tep. vodivosti $\lambda=0,036\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	m^2	6
Zařízení č. 3 - Chlazení prodejny			
Pozice	Popis	MJ	množství
3.01	Vnitřní kazetová jednotka FUJITSU AUXB18GALH, výkon 5,6 kW, el. příkon 36W, 230V/50Hz, 41 dB, 17kg,	ks	7
3.02	Venkovní kondenzační jednotka FUJITSU AJY126GALH, chladicí systém V-II, výkon 40kW, 1240x 1690x 765 mm (š x v x h), max. el. příkon 11,53 kW, 400V/50Hz, chladivo R410A, 60dB, 296 kg	ks	1
Zařízení č. 4 - Dveřní clony			
Pozice	Popis	MJ	množství
4.01	Vzduchová dveřní clona s vodním ohřevem FRICO PA 3525WL, délka 2,5m, průtok vzduchu 2200/4600 m^3/h (min./max.); ohříváč 32,6 kW (60/40°C, +18°C); 42,5/60,5dB; 1140W, 230V, 1,9A, 95kg	ks	2

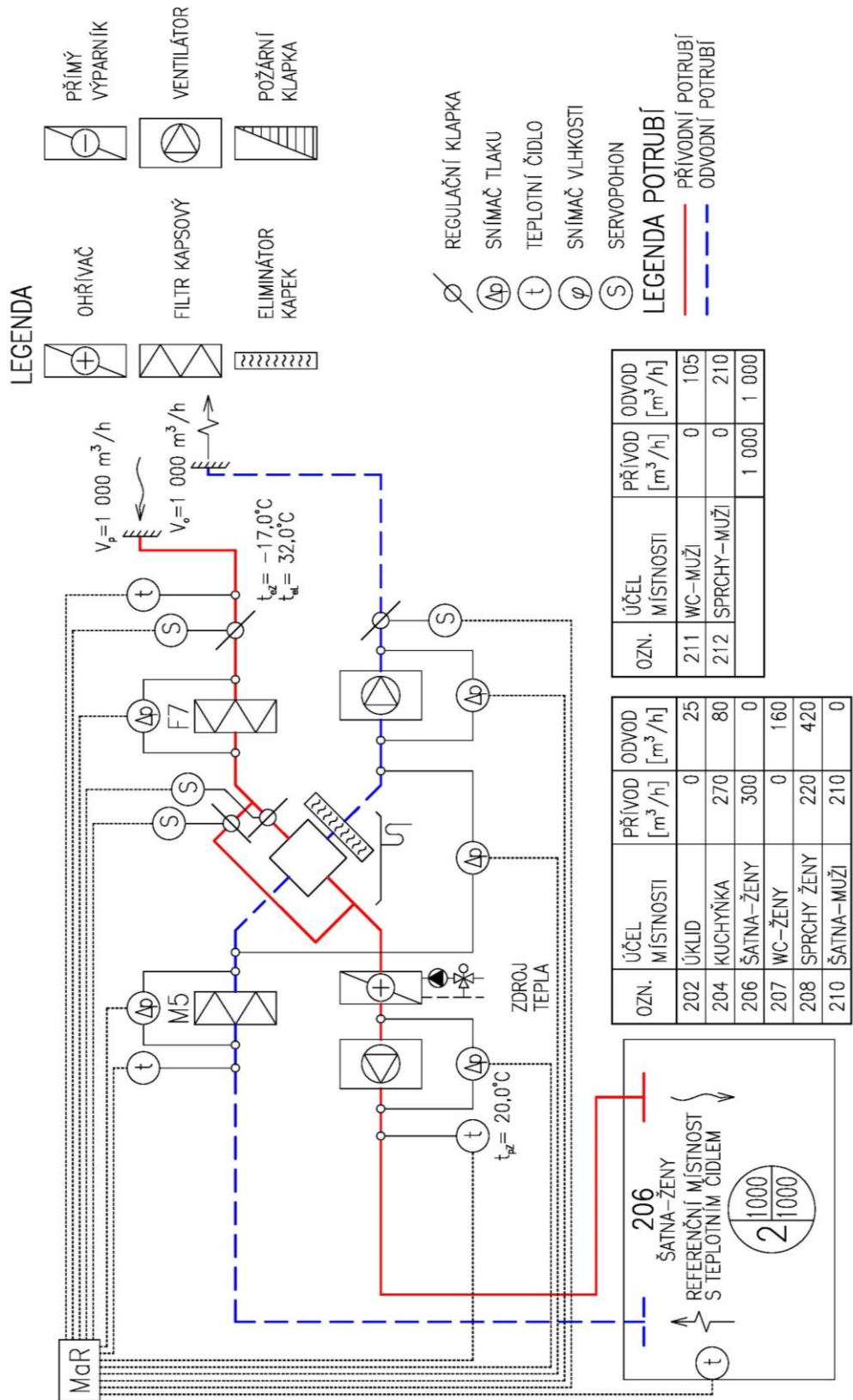
3.14 Funkční schémata

FUNKČNÍ SCHÉMA VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY Č. 1 VZDUCHOTECHNIKA PRODEJNY



Obrázek 41 Funkční schéma zařízení č. 1

FUNKČNÍ SCHÉMA VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY Č. 2 NUCENÉ VĚTRÁNÍ ŠATEN A HYGIENICKÉHO ZÁEMÍ ZAMĚŠTNANCŮ



Obrázek 42 Funkční schéma zařízení č. 2

4 ZÁVĚR

V teoretické části bylo zjištěno, že součinitel tepelné vodivosti λ se stanovuje ve stacionárním i nestacionárním teplotním stavu a některé konkrétní metody jsou popsány v normách. Nejčastějšími metodami jsou vystavení vzorku prostředím s odlišnými teplotami se sledováním množství energie, která projde přes vzorek, a nestacionární metoda horkého drátu. Byl prozkoumán trh s materiály pro 3D tisk, kde jsme zjistili, že pro RepRap tiskárny se používají termoplasty s nejčastějším zastoupením PLA, ABS a PETG. Pro speciální použití se dají využít kompozitní materiály např. s příměsí kovů, dřeva a uhlíkových vláken. V průmyslovém odvětví se aplikují kovy ve formě prášku, které se vytvrzují laserem.

Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ bylo uskutečňováno vložením vzorku mezi dvě prostředí s odlišnou teplotou. Rozdíl teplot tvořila mraznička a interiér. Vzorkem byla destička o rozměru 100 x 100 x 3 mm vytištěná na 3D tiskárně z materiálu PLA, ABS a PETG. Z obou povrchů destičky byly snímány teploty a tepelný tok procházející destičkou. Výpočet byl proveden vyjádřením součinitele λ z Fourierova zákona.

Výsledný součinitel tepelné vodivosti λ pro tyto tři materiály námi použitou metodou se výrazně od sebe neliší. Pohyboval se v rozmezí $\lambda = 0,11-0,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Pro PETG byl metodou horkého drátu součinitel roven $\lambda = 0,533 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Metody se od sebe liší zhruba o 4 desetiny. Metodě horkého drátu přikládáme větší důvěru, protože byla provedena v laboratorních podmínkách.

V neposlední řadě byla navržena vzduchotechnika pro prodejnu potravin s přívodem vzduchu v místě trvanlivého zboží a s odvodem u chladících zařízeních a nad čerstvými potravinami. Pro větrání šaten a hygienického zázemí zaměstnanců bylo zvoleno podtlakové větrání s přívodem vzduchu do šaten a denní místnosti.

5 POUŽITÉ ZDROJE

1. **Jícha, Miroslav.** *Přenos tepla a látky*. Brno : Vysoké učení technické, 1989. ISBN 80-214-1062-0.
2. **Pokorný, Marek.** Vedení tepla. *ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb*. [Online] 10. 11 2006. [Citace: 20. 12 2018.] http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2_Vedeni_tepla.pdf.
3. **Šikula, Ondřej.** Termomechanika. *Vedení tepla [přednáška]*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov, 25. 9 2018.
4. **Thermal Conductivity of common Materials and Gases.** *Engineering ToolBox*. [Online] 2003. [Citace: 20. 12 2018.] https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html.
5. **Thermoplastics.** *MakeItFrom.com*. [Online] 2009. [Citace: 18. 12 2018.] <https://www.makeitfrom.com/material-group/Thermoplastic>.
6. **Zach, Jiří.** Stanovení součinitele tepelné vodivosti [přednáška]. *Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců*. [Online] 1. 2015. [Citace: 21. 12 2018.] <https://slideplayer.cz/slide/12210517/>.
7. **ČSN 72 7012-1** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 1: Společná ustanovení. Praha : ÚNMZ, 1994.
8. **ČSN 72 7012-2** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 2: Metoda chráněné teplé desky. Praha : ÚNMZ, 1994.
9. **ČSN 72 7012-3** Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku. Praha : ÚNMZ, 1994.
10. **Hot Wire Methods for the Thermal Conductivity Measurement.** *Thermophysical Laboratory*. [Online] [Citace: 22. 12 2018.] http://www.tpl.fpv.ukf.sk/engl_vers/hot_wire.htm.
11. **Wikipedia contributors.** Thermal conductivity measurement. *In Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Online] 14. 7. 2018. [Citace: 22. 12. 2018.] https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity_measurement.
12. **Průša, Josef a Průša, Michal.** Základy 3D tisku. *Prusa3D*. [Online] 15. 12. 2014. [Citace: 9. 10. 2018.] <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>.
13. **Prusa i3 MK3.** *Prusa3D*. [Online] 2018. [Citace: 14. 10. 2018.] https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/2018/02/MK3_ORANGE_3SHEETS_02.jpg.
14. **3D TISK, PRINCIPY, TECHNOLOGIE.** *ABC3D*. [Online] [Citace: 24. 12. 2018.] <https://www.abc3d.cz/o-3d-tisku-neprehlednete/115-3d-tisk-principy-technologie>.

- 15. 3DXTECH.** 3DXMAX® ASA, 3D Filament, 1kg. [Online] [Citace: 25. 12. 2018.] https://cdn11.bigcommerce.com/s-4b4qda9b/images/stencil/1280x1280/products/255/1921/ASA-Product__00235.1522850265.jpg?c=2&imbyypass=on&imbyypass=on.
- 16. Jak probíhá výroba filamentu neboli tiskové struny?** Feltl, Tomáš. 3-4, 2015, e-mole.cz. ISSN 2336-5714.
- 17. Rohringer, Sean.** The Ultimate Filament Guide 2018 3D Printer Filament Guide – All You Need to Know. *All3DP*. [Online] 2. 9 2018. [Citace: 25. 12. 2018.] <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>.
- 18. Průvodce materiály.** *Prusa3D*. [Online] PRUSA RESEARCH. [Citace: 25. 12. 2018.] <https://www.prusa3d.cz/materialy/>.
- 19. Materials Guide.** *SIMPLIFY3D*. [Online] [Citace: 27. 12. 2018.] <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>.
- 20. PVA.** *SIMPLIFY3D*. [Online] [Citace: 27. 12. 2018.] <https://www.simplify3d.com/wp-content/uploads/2018/01/3D-Printed-PVA-Filament.jpg>.
- 21. Biome Bioplastics launches new material for 3D printing.** *Biome Bioplastics*. [Online] 30. 9. 2014. [Citace: 27. 12. 2018.] <http://biomebioplastics.com/biome-bioplastics-launches-new-material-for-3d-printing/>.
- 22. Filament Properties Table.** *SIMPLIFY3D*. [Online] [Citace: 27. 12. 2018.] <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/?highlight=carbon-fiber-filled>.
- 23. What is the best type of plastic for my 3D printing application?** *3D Matter*. [Online] 8. 7. 2016. [Citace: 28. 12. 2018.] <https://my3dmatter.com/what-is-the-best-type-of-plastic-for-my-3d-printing-application/>.
- 24. Císař, Dominik.** K čemu slouží nastavení perimeters? *Josef Průša*. [Online] 18. 12. 2015. [Citace: 28. 12. 2018.] <https://josefprusa.cz/k-cemu-slouzi-nastaveni-perimeters/>.
- 25. Chvalina, Tomáš.** 7 věcí, které ovlivňují kvalitu tisku. *Josef Průša*. [Online] 13. 8. 2018. [Citace: 28. 12. 2018.] <https://josefprusa.cz/7-veci-ktere-ovlivnuji-kvalitu-tisku/>.
- 26. Zuza, Mikolaš.** Vše o tryskách s různým průměrem. *Josef Průša*. [Online] 29. 5. 2018. [Citace: 28. 12. 2018.] <https://josefprusa.cz/vse-o-tryskach-s-ruznym-prumerem/>.
- 27. 3D tisk kovů.** *Materialise*. [Online] [Citace: 28. 12. 2018.] <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/3d-tisk-kovu>.

- 28. Obel, Max.** 2018 3D Printing Materials Guide – All You Need to Know. *All3DP*. [Online] 1. 7. 2018. [Citace: 28. 12. 2018.] <https://all3dp.com/1/3d-printing-materials-guide-3d-printer-material/>.
- 29. Rozdíl mezi ABS,PLA, PETG.** *MATERIALPRO 3D*. [Online] 20. 7 2017. [Citace: 18. 11 2018.] <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>.
- 30. Katalog produktů.** *AHLBORN*. [Online] [Citace: 18. 12. 2018.] <https://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/flash-listovaci-katalog/katalog.html>.
- 31. Flaata, Tiffany, Michna, Gregory J. a Letcher, Todd.** *ResearchGate*. *Thermal Conductivity Testing Apparatus for 3D Printed Materials*. [Online] 7 2017. [Citace: 18. 12 2018.] https://www.researchgate.net/publication/319333950_Thermal_Conductivity_Testing_Apparatus_for_3D_Printed_Materials.
- 32. ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov.** Praha : ÚNMZ, 2011.
- 33. ČSN EN 12 831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění.** Praha : ÚNMZ, 2018.
- 34. Rubinová, Olga, Rubina, Aleš a Tesař, Zdeněk.** Teruna v 1.5b. *TECHNIKA BUDOV*. [Online] 2010. [Citace: 16. 5. 2017.] <http://www.technikabudov.cz/software/>.
- 35. ČSN 73 0548** Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha : ÚNMZ, 1986.
- 36. Vyhláška č. 6/2003 Sb.** *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb*. 16. 12. 2002.
- 37. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.** *Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. 2007. ve znění Nařízení vlády č. 246/2018 Sb.
- 38. AeroCAD.** *REMAK*. [Online] [Citace: 24. 11 2018.] <https://www.remak.eu/cs/aerocad>.
- 39. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.** *Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. 24. 8. 2011.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

- ABS – Akrylonitrile butadiene styrene
- ASA – akrylonitrile styrene akrylate
- č. u. – číslo úseku
- HIPS – high impact polystyrene
 - l – délka (m)
- PC – polykarbonát
- PETG – polyethylene terephthalate glycol
- PLA – polyatic acid (kyselina polymléčná)
- PP – polypropylene
- PVA – polyvinyl alcohol
- s. v. – světlá výška
 - š – šířka (m)
- TPE – thermoplastic elastomer
- TPU – thermoplastic polyurethane
- ZZT – zpětné získávání tepla

Fyzikální veličiny

- A – účinná plocha (m^2)
- c – měrná tepelná kapacita ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
- d – průměr potrubí (mm), tloušťka stěny/vzorku (m)
- h – měrná entalpie ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)
- k – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
- L – hladina akustického tlaku (dB)
- m – hmotnostní průtok ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)
- n – násobnost výměny vzduchu (h^{-1})
- p – tlak (Pa)
- P – jmenovitý elektrický příkon (W)
- q – měrný tepelný tok ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- Q – tepelná ztráta/zisk (W), tepelný tok (W), teplo (J)
- R – měrná tlaková ztráty ($\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$)
- S – plocha (m^2)
- t – čas (s), teplota ($^{\circ}\text{C}$)
- T – teplota (K)
- U – součinitel prostupu tepla ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)
- v – rychlost ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
- V – objemový průtok ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$); ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
- x – měrná vlhkost ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
- Z – tlaková ztráta místními odpory (Pa)

- α – součinitel přestupu tepla ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)
- λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

ξ součinitel vřazených odporů (-)
 ρ – hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
 η účinnost (-)
 Θ teplota ($^{\circ}\text{C}$, K)
 φ – relativní vlhkost (%)

Indexy

A – bod A
B – bod B
c – škodliviny
cd – chladná strana
cond – conductivity
d – měřicí deska
e exteriér
ext externí
hd – teplá strana
i – interiér
int interiér
k konstrukce
l letní
L letní
m – místnost
mrz – mraznička
o – odvodní / odpadní
p – přívod
pdl – podlaha
str střecha
t teplotní
u nevytápěný prostor
v vzduch
w teplonosná látka
w okno
x ve směru x
z znehodnocený
Z – zimní
 Δ – rozdíl

7 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obrázek 1 Průběh tepelného toku rovinnou stěnou	17
Obrázek 2 Schéma metody chráněné teplé desky [6]	19
Obrázek 3 Schéma metody měřidla tepelného toku [6]	19
Obrázek 4 Schématický pohled na vzorek [10]	20
Obrázek 5 3D tiskárna PRUSA i3 MK3 – popis [13]	21
Obrázek 6 Filamenty [15]	22
Obrázek 7 Výtisk s podpůrnou konstrukcí PVA [20]	25
Obrázek 8 Dřevěný kompozit	25
Obrázek 9 Zjednodušený přehled základních vlastností [23]	29
Obrázek 10 Základní charakteristiky PLA [23]	30
Obrázek 11 Základní charakteristiky ABS [23]	30
Obrázek 12 Základní charakteristiky PET [23]	30
Obrázek 13 Základní charakteristiky Nylon [23]	30
Obrázek 14 Základní charakteristiky TPU [23]	30
Obrázek 15 Základní charakteristiky Polykarbonát [23]	30
Obrázek 16 Porovnání 2 a 5 vláken ve stěně pláště [24]	31
Obrázek 17 Kroucení objektů [25]	31
Obrázek 18 Závislost výšky vrstvy na detailu [26]	32
Obrázek 19 Rázová houževnatost [26]	32
Obrázek 20 3D výrobky z titanu [28]	33
Obrázek 21 Stereolitografie [28]	33
Obrázek 22 Vzorek – destička 100 x 100 x 3 mm	36
Obrázek 23 Otvor pro zkoumanou destičku	37
Obrázek 24 Měřicí ústředna ALMENO 2890-9	38
Obrázek 25 Snímač tepelného toku ALMENO FQA020C	38
Obrázek 26 Termodrát	38
Obrázek 27 Umístění čidel u varianty č. 1	39
Obrázek 28 Rozmístění čidel varianta č. 2	40
Obrázek 29 Vzorek PETG	42
Obrázek 30 Měření s překrytím fólií	48
Obrázek 31 Zapojení čidel u ABS	48
Obrázek 32 Námraza	53
Obrázek 33 Výška námrazy	53
Obrázek 34 Kladení vrstev	54
Obrázek 35 Vzorek PETG 80 x 80 x 30 mm	54
Obrázek 36 Rozdělení na funkční celky	61
Obrázek 37 Veličiny použité v tabulkách distribučních elementů	67
Obrázek 38 Zařízení č. 1 – vzduchotechnická jednotka XP13	71
Obrázek 39 VZT jednotka TOPVEX FC02	71
Obrázek 40 H-x diagram zařízení č. 1	73

Obrázek 41 Funkční schéma zařízení č. 1	96
Obrázek 42 Funkční schéma zařízení č. 2	97

Tabulky

Tabulka 1 Součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) vybraných materiálů při 25 °C [4]	18
Tabulka 2 Součinitel tepelné vodivosti vybraných termoplastů [5]	18
Tabulka 3 Rozdělní materiálů [19]	27
Tabulka 4 Vlastnosti základních materiálů pro 3D tik [22]	28
Tabulka 5 Část tabulky z měření PETG varianta č. 1	43
Tabulka 6 Část tabulky z měření PETG varianta č. 2	45
Tabulka 7 Teploty na povrchu testované destičky PETG	47
Tabulka 8 Rozdílný tepelný tok při stejných teplotách	47
Tabulka 9 Výsledky ABS	48
Tabulka 10 Výsledky PLA	49
Tabulka 11 Výsledná tepelná vodivost	50
Tabulka 12 Přehled všech výsledků	50
Tabulka 13 Naměření hodnoty vzorku PETG 80 x 80 x 30 mm	55
Tabulka 14 Výsledky testu ze Statní university v Jizní Dakotě [31]	56
Tabulka 15 Shrnutí součinitelů tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) ze všech metod	56
Tabulka 16 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů	62
Tabulka 17 Porovnání průtoků vzduchu v závislosti na škodlivinách u zařízení č. 1	63
Tabulka 18 Dávky větracího vzduchu na osobu	64
Tabulka 19 Množství odváděného vzduchu pro hygienické zařízení	64
Tabulka 20 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 1	65
Tabulka 21 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 2	66
Tabulka 22 Rychlost proudění vzduchu v obytné zóně	67
Tabulka 23 Koncové distribuční elementy zařízení č. 1 a 2	68
Tabulka 24 Koncové distribuční elementy zařízení č. 2 – pokračování	69
Tabulka 25 Stručná tabulka s externí tlakovou ztrátou pro návrh VZT jednotek	70
Tabulka 26 Výpočtové parametry vzduchu zařízení č. 1	72
Tabulka 27 Maximální hladina akustického tlaku LWA	74
Tabulka 28 Přehled hladiny akustického tlaku LWA a použitých tlumičů	74
Tabulka 29 Parametry vnějšího vzduchu	77
Tabulka 30 Rychlost proudění vzduchu v obytné zóně	77
Tabulka 31 Maximální hladina akustického tlaku	78
Tabulka 32 Tabulka místností	78
Tabulka 33 Předpokládaná obsazenost prodejny	79
Tabulka 34 Součinitel prostupu tepla konstrukcí	79
Tabulka 35 Dávky větracího vzduchu na osobu	81
Tabulka 36 Množství odváděného vzduchu pro hygienické zařízení	81
Tabulka 37 Tabulka vstupních parametrů pro výpočet tepelné zátěže	81
Tabulka 38 Tabulka výsledků tepelné zátěže	82
Tabulka 39 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 1	89
Tabulka 40 Tabulka průtoku vzduchu zařízení č. 2	90

Tabulka 41 Tabulka výkonů zařízení č. 1 a 2	91
Tabulka 42 Tabulka výkonů zařízení č. 3 a 4	92

Grafy

Graf 1 Průběh teplot a tepelného toku, ABS – varianta č. 1, s chybami	42
Graf 2 Průběh teplot a tepelného toku, PETG – varianta č. 1	44
Graf 3 Průběh součinitele tepelné vodivosti λ , PETG – varianta č. 1	44
Graf 4 Průběh teplot a tepelného toku, PETG – varianta č. 2, výsek 1 hodiny	46
Graf 5 Průběh součinitele tepelné vodivosti λ , PETG – varianta č. 2, výsek 1 hodiny	46
Graf 6 Průběh teplot PLA - 0,35 mm	49
Graf 7 Průběh tepelného toku a teploty v mrazničce a v interiéru PLA - 0,35 mm	49
Graf 8 Průběh součinitele tepelné vodivosti PLA – 0,35 mm	50
Graf 9 Průběh vodivosti PLA, ABS, PETG	51
Graf 10 Průběh součinitele tepelné vodivosti λ PETG 80x80x30 mm	55

SEZNAM PŘÍLOH

A. Výkresy

ČÍSLO VÝKRESU	NÁZEV VÝKRESU
D.1.4.03	PŮDORYS 1NP
D.1.4.04	PŮDORYS 2NP
D.1.4.05	PŮDORYS STŘECHY
D.1.4.06	ŘEZ A-A', ŘEZ B-B', ŘEZ C-C'
D.1.4.07	ŘEZ D-D', ŘEZ E-E', ŘEZ F-F'