Návrh sendvičové vrstvy s optimálním tepelným odporem pro interiérní aplikace

Bc. Josef Měrka

Diplomová práce
2010

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav fyziky a mater. inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Josef MĚRKA**
Osobní číslo:	**T08744**
Studijní program:	**N 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor:	**Materiálové inženýrství**
Téma práce:	**Návrh sendvičové vrstvy s optimálním tepelným odporem pro interiérní aplikace**

Zásady pro vypracování:

1. **Rešerše na téma: tepelné vlastnosti materiálů, tepelný odpor, tepelná a teplotní vodivost. Materiály na bázi celulózy – charakteristika a jejich aplikace v tepelně-izolačních řešeních.**
2. **Experimentální stanovení tepelných vlastností vybraných materiálů.**
3. **Experimentální a numerické stanovení tepelných vlastností kombinací těchto materiálů s použitím sendvičového uspořádání.**
4. **Stanovení velikosti a distribuce pórů vybraných materiálů.**
5. **Návrh nejvhodnější kombinace vybraných materiálů s ohledem na tepelně-izolační vlastnosti a interiérní použití.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. **Jícha M. : Přenos tepla a látky. FSI VUT v Brně (2001).**
2. **Kulhánek F.: Stavební fyzika II. Stavební tepelná technika. ČVUT Praha (2006).**
3. **Gebhart, B. Heat Conduction and Mass Difussion. University Texas at Austin (1993).**
4. **Bird, B.R., Stewart, E.W., Lightfoot N.E. Přenosové jevy -- sdílení hybnosti, energie a hmoty. Academia (1968).**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dušan Fojtů, Ph.D.**
Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2010**

Ve Zlíně dne 15. února 2010

L.S.

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan

Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Měrka Josef Obor: Materiálové inženýrství

P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby [1)];
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 [2)];
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 18.5.2010

[1] *zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:*

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

[2] *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

[3] *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Byl naměřen a vyhodnocen koeficient tepelné vodivosti vybraných materiálů na bázi celulózy, konkrétně materiálů překližka, dřevotříska, javorové dřevo, smrkové dřevo, korek a papírový karton. Také byl u těchto materiálů vyhodnocen koeficient teplotní vodivosti a tepelný odpor. Byla vyhodnocena pórovitost vybraných materiálů na bázi celulózy a její vliv na tepelné vlastnosti měřených materiálů. Byla navržena nevhodnější kombinace vybraných materiálů s ohledem na tepelně-izolační vlastnosti sendvičové vrstvy pro interní použití s korelací na akusticko-izolační vlastnosti vybraných materiálů na bázi celulózy.

Klíčová slova:

Koeficient tepelné vodivosti, teplotní vodivost, tepelný odpor, pórovitost, překližka, dřevotříska, javorové dřevo, smrkové dřevo, korek, papírový karton, celulóza

ABSTRACT

Coefficient of thermal conductivity of the selected materials on cellulose base was measured and evaluated. Concretely materials plywood, chipboard, maple wood, spruce wood, cork and paper board were confronted. Coefficient of thermal diffusivity and thermal resistance for measured materials were evaluated too. Porosity of the measured materials was evaluated and its influence on thermal properties of the measured materials was solved. The best combination with respect to thermal insulating properties of the sandwich layer for interior using was designed. Acoustic insulating properties of the measured materials were corelated too.

Keywords:

Coefficient of thermal conductivity, thermal diffusivity, thermal resistance, porosity, plywood, chipboard, maple wood, spruce wood, cork, paper board, cellulose

"Kdo čeká celý život na jednu kometu, tomu každou noc uniká obloha plná hvězd. A kdo se jí dočká, tomu už nikdy hvězdy nebudou stačit."

Zdeňka Ortová

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Dušanovi Fojtů, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, citlivý přístup, připomínky a cenné rady, které mi poskytoval v průběhu vypracování bakalářské práce.

Chci zde také poděkovat své rodině a všem mým známým, kteří mi byli při řešení problémů týkajících se této práce nějakým způsobem nápomocni.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD **10**

I TEORETICKÁ ČÁST **11**

1 TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ **12**

1.1 SDÍLENÍ TEPLA 12

1.1.1 Sdílení tepla vedením 12

1.2 TEPELNÁ VODIVOST 15

1.2.1 Tepelná vodivost kovů 16

1.2.2 Tepelná vodivost kapalin 17

1.2.3 Tepelná vodivost plynů 17

1.2.4 Tepelná vodivost stavebních a izolačních hmot 18

1.3 TEPELNÝ ODPOR 20

1.4 NESTACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA 20

1.4.1 Součinitel teplotní vodivosti 21

2 TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY **22**

2.1 TEPELNÉ VLASTNOSTI DŘEVA 22

2.1.1 Teplotní roztažnost 22

2.1.2 Měrná tepelná kapacita 23

2.1.3 Vedení tepla 25

2.1.3.1 Vliv faktorů na difúzi tepla ve dřevě 26

3 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY **28**

3.1 CELULÓZA 28

3.2 DŘEVOTŘÍSKA 29

3.2.1 Využití dřevotřískových desek 29

3.3 JAVOROVÉ DŘEVO 29

3.4 PŘEKLIŽKA 30

3.5 SMRKOVÉ DŘEVO 31

3.6 KOREK 32

3.7 PAPÍROVÝ KARTON 33

II PRAKTICKÁ ČÁST **34**

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE **35**

5 MĚŘENÍ KOEFICIENTU TEPELNÉ VODIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY **36**

5.1 NESTACIONÁRNÍ MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI 36

5.1.1 Matematický model měření 37

5.2 SOFTWARE THERMACON 39
5.3 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MĚŘENÝCH VZORKŮ 39
5.3.1 Příprava a rozměry vzorků 39
5.3.2 Stanovení základních fyzikálních parametrů vybraných materiálů 41
5.4 VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY 42
5.5 VÝPOČET TEPELNÉHO ODPORU VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY 43
5.6 VÝPOČET TEPLOTNÍ VODIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY 44
5.7 TEPELNÁ VODIVOST, TEPELNÝ ODPOR A TEPLOTNÍ VODIVOST VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY 44
5.8 MĚŘENÍ PÓROVITOSTI 45
5.8.1 Výpočtová metoda 45
5.9 DISTRIBUCE A VELIKOST PÓRŮ 46
5.9.1 Příprava vzorků 46
5.1 FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULOSY 49
DISKUZE 51
ZÁVĚR 53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 56
SEZNAM OBRÁZKŮ 57
SEZNAM TABULEK 58
SEZNAM PŘÍLOH 59

ÚVOD

Znalost tepelných vlastností materiálů na bázi celulózy patří mezi jeden z nejdůležitějších faktorů při volbě vhodného materiálů zejména v nejrůznějších stavebních řešeních, kdy optimální hodnota tepelné vodivosti a tepelného odporu použitého materiálu vede ke správné volbě při hledání kompromisu mezi dostatečnými tepelně-izolačními podmínkami a tloušťkou vrstvy.

V minulosti byla zohledňována tloušťka vrstvy pouze v omezeném měřítku, což vedlo buď k plýtvání použitého materiálu, nebo k neoptimálnímu energetickému řešení. V posledních letech se legislativa nejen České republiky, ale také celé Evropské Unie posunula ve směru hledání nákladově nízkoenergetických řešení s ohledem na celoroční spotřebu tepelné energie v budovách. U materiálů na bázi celulózy jsou velmi důležitými vlastnostmi také zápalná teplota a teplota hoření, které přímo souvisí s tepelnými vlastnostmi materiálů na bázi celulózy.

Tepelná vodivost tedy vypovídá o materiálu to, jak rychle je schopen použitý materiál vést tepelnou energii, tedy čím má materiál vyšší koeficient tepelné vodivosti, tím lépe vede teplo a tím se stává horším izolantem. Tepelný odpor, který je nepřímo úměrný tepelné vodivosti, naopak představuje vlastnost materiálu, která popisuje, jak velký odpor klade materiál přenosu tepla při dané tloušťce.

Pro měření a vyhodnocení těchto tepelných vlastností byly vybrány materiály překližka, dřevotříska, javorové dřevo, smrkové dřevo, korek a papírový karton. Jedná se o materiály nejběžněji požívané ve stavebním průmyslu, tedy jedná se o dřevo tvrdé i měkké, dřevo v kompozitním i lisovaném tvaru, a také speciální formy – papírový karton, který se v různých formách používá jako dekorační prvek nebo tapeta, a korek, který je využíván pro dekorativní účely, nebo jako podlažní vrstva mající význam při eliminaci kročejového hluku.

V drtivé většině stavebních řešení při aplikaci měřených materiálů se jedná o sendvičové uložení, kdy s ohledem na použití je vrchní vrstvou buď materiál mající dobré mechanické vlastnosti a tedy sloužící jako krycí vrstva, nebo je vrchní vrstvou materiál určený k dekorativním účelům. Při měření a vyhodnocení byl brán zřetel na tento fakt a proto byly uvažovány kombinaci materiálů pouze s ohledem na reálné použití v praxi.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

Materiály mají nejrozmanitější vlastnosti, které jsou dány především jejich chemickým složením a strukturou. Pro posouzení jejich použitelnosti v technické praxi je obvyklé dělení vlastností na fyzikální, mechanické, chemické a technologické. Mezi fyzikální řadíme právě i tepelné vlastnosti materiálů. Tepelné vlastnosti materiálů se charakterizují pomocí materiálových konstant, jako jsou měrná tepelná kapacita, tepelná vodivost, teplotní vodivost, tepelný odpor a tepelná roztažnost. Na základě parametrů poté rozdělujeme materiály na tepelné vodiče či izolanty. Teoretickým popisem se zabývá termodynamika materiálů. Ta se stala důležitou součástí materiálových a jim příbuzných disciplín. Je to rozsáhlý vědní obor, který vychází z poznatků fyziky, chemie, fyzikální chemie, obecné termodynamiky a statické mechaniky. Jejím základem a principem je popis mechanismů sdílení tepla. [1].

1.1 Sdílení tepla

První způsob je sdílení tepla vedením (kondukcí). Vyznačuje se tím, že je vázáno na látku, takže se vedení tepla může dít jen mezi zcela bezprostředně sousedícími částicemi hmoty.

Druhý způsob sdílení tepla je prouděním (konvekcí). Uskutečňuje se tím, že částečky hmoty mění místo v prostoru a přenášejí přitom svoji tepelnou energii. Tento děj se odehrává v proudících tekutinách a je doprovázen současně vedením tepla od jedné částečky k druhé, poněvadž v proudící látce neexistuje teplotní rovnováha.

Třetí způsob je sdílení tepla sáláním. Sálání (tepelné záření) je v podstatě elektromagnetické vlnění v určitém rozsahu vlnových délek. Sálání mezi dvěma tělesy je velmi složitým procesem, který sestává z vyzařování, pohlcování a propouštění zářivé energie. Část tepelné energie tělesa se mění v zářivou energii, která prochází prostorem a při dopadu na druhé těleso se zcela nebo částečně opět mění v teplo. Sálání se uskutečňuje i tehdy, když prostor mezi oběma tělesy není vyplněn žádnou látkou.

1.1.1 Sdílení tepla vedením

Sdílení tepla vedením v pevných tělesech je transportem tepelné energie ve směru klesající teploty; děje se tedy mezi bezprostředně sousedícími částicemi tělesa. V plynech a kapalinách připojuje se k tomuto sdílení tepla vedením též sdílení tepla prouděním a u látek částečně propouštějících zářivou energii sdílení tepla sáláním.

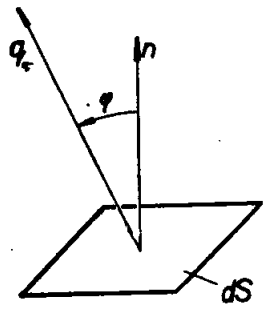
Početní řešení sdílení tepla vedením je založeno na dvou empiricky ověřených zákonech. Na základním zákonu vedení tepla, který vyjadřuje závislost mezi tepelnými toky a teplotními spády, a na zákonu zachování energie, aplikovaném na tepelné jevy. Z těchto dvou zákonu je možno odvodit parciální diferenciální rovnice pro rozdělení teplot v tělesech. Řešení problémů vedení tepla může být potom převedeno na řešení diferenciálních rovnic s přihlédnutím k počátečním a okrajovým podmínkám na povrchu tělesa. K tomu je možno v podstatě použít tří cest: a) nalézt analytické řešení diferenciálních rovnic, b) použít přibližných počtářských nebo grafických metod, c) řešit problémy vedení tepla experimentálně pomocí modelové nebo analogové metody.

Každá z těchto cest má své zvláštní výhody, ale má také určité těžkosti a je nutno případ od případu volit nejvhodnější způsob řešení daných úloh. Analytické řešení sdílení tepla vedením je výhodné tím, že získáme závislost teplotních polí na všech parametrech.

Numerické nebo grafické přibližné metody se dají použít ve zvláštním případě, má-li se řešit jednotlivý speciální problém vedení tepla a není-li třeba brát zřetel na změny parametrů. Tyto přibližné metody jsou sice poměrně jednoduché, ale zdlouhavé při provádění. Stávají se nevýhodnými, je-li nutno uvažovat změny parametrů, poněvadž pro každou jejich změnu je nutno celé řešení opakovat. Jedině při použití počítačů je možno s těmito způsoby vystačit.

Metody tepelných modelů se dají použít při řešení problémů sdílení tepla vedením jen zřídka, poněvadž se pracuje většinou se zmenšenými modely. Základní určující veličiny, teploty a tepelné toky se dají jen velmi obtížně měřit. Pak jsou výhodnější analogové metody a pro vedení tepla zvláště analogie elektrické vodivosti, jelikož se elektrické veličiny dají snadno a přesně měřit. Elektrické analogové metody jsou výhodné tehdy, jestliže se mají řešit takové problémy vedení tepla, při nichž má být vyšetřován vliv změn parametrů.

Při sdílení tepla vedením je nutno znát vždy dvě veličiny: teploty na rozličných místech tělesa, tedy teplotní pole a tepelné toky, které vznikají vlivem teplotních spádů mezi různými místy tělesa. Teplota t se může prostorově i časově měnit; množiny teplot v tělese nazýváme pak teplotním polem. Jsou definovány funkcí $t = t(x, y, Z, \tau)$, kde x, y, z jsou prostorové souřadnice, τ značí čas. Jestliže se teploty s časem mění, pak se mluví o poli nestacionárním. Nemění-li se teploty s časem, je vedení tepla stacionární. Všechny body tělesa, které mají v určitém okamžiku stejnou teplotu t, spojeny tvoří izotermickou plochu.



Obr. 1. Tepelný tok jednotkovou plochou

Vzniknou-li v tělese teplotní rozdíly, pak se teplo transportuje podle druhého zákona termodynamiky, podle kterého teplo přechází samo o sobě z teploty vyšší na teplotu nižší. Množství tepla transportované v časové jednotce nazýváme tepelným tokem Q_τ .Tepelný tok, který prochází plochou o jednotkové velikosti, stojící kolmo ke směru toku, označuje se jako měrný tok q_t a platí:

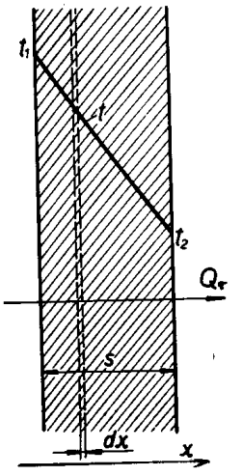
$$dQ_\tau = q_\tau \cdot dS \tag{1}$$

Libovolnou plochou velikosti dS, jejíž normála svírá se směrem tepelného toku úhel φ prochází tepelný tok:

$$dQ_\tau = q_\tau \cdot \cos\varphi \cdot dS \tag{2}$$

Při řešení problémů vedení tepla vyšetřujeme v tělese teplotní pole a tepelné toky v prostorové závislosti u stacionárních dějů, a u dějů nestacionárních pak také v časové závislosti. Závislost mezi oběma veličinami lze podle zkušenosti vyjádřit zákonem Fourierovým, který bývá také označován jako základní zákon vedení tepla. Vyplývá z experimentálně zjištěných skutečností.

Jsou-li udržovány povrchy rozměrově velké rovinné desky o tloušťce δ na konstantních teplotách t_1 a t_2, pak protéká kolmo deskou tepelný tok Q, ve směru klesající teploty (Obr. 2).



Obr. 2. Schematické znázornění průběhu teploty

Uprostřed velké homogenní a izotropní desky proudí teplo jen kolmo k povrchovým plochám a lze proto vyjádřit velikost tepelného toku dQ_τ, procházejícího elementem plochy dS povrchu desky, vztahem:

$$dQ_\tau = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2)dS \tag{3}$$

V rovnici značí λ součinitel tepelné vodivosti, který je různý pro různé materiály desky. Jak bude dále ukázáno, je při izotropních a homogenních látkách změna teplotního spádu z teploty t_1 na t_2 lineární. Izotermy jsou přitom rovnoběžné plochy s oběma povrchovými plochami desky.

1.2 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost [$W \cdot m^{-1} \cdot k^{-1}$] je v tepelné technice nejfrekventovanější vlastností stavebních látek. Tepelná vodivost je fyzikálním parametrem látky, který závisí na chemickém složení, vlhkosti, tlaku, teplotě a také hustotě zkoumané látky. Vyjadřuje schopnost látky vést teplo. Tepelná vodivost daného materiálu je hustota tepelného toku při jednotném teplotním gradientu. Teplotní gradient (spád) je teplotní rozdíl, připadající na jednotkovou vzdálenost (1m):

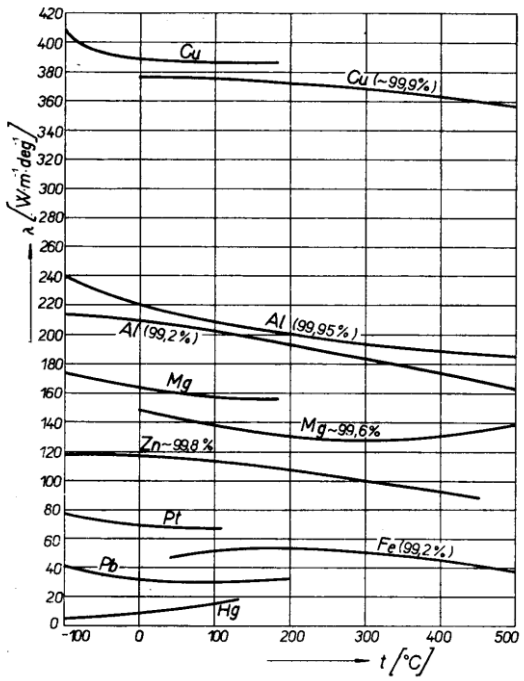
$$\frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ (obecně grad T)} \tag{4}$$

kde ΔT je teplotní rozdíl v K nebo °C připadající na vzdálenost Δx

Čisté kovy mají velmi vysoké součinitele λ (teplotě 20 °C = 403 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, zatím co plyny mají mimořádně nízké hodnoty např. vzduch při 20 °C λ = 0,025 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

1.2.1 Tepelná vodivost kovů

Tepelná vodivost kovů je velká a je přibližně úměrná jejich elektrické vodivosti. Zajímavou skutečností je, že legované kovy vedou teplo podstatně hůře, než kovy čisté, z nichž jsou složeny. Velikost tepelné vodivosti některých kovů v závislosti na teplotě je patrná z obr. 3.



Obr. 3. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě u některých kovů

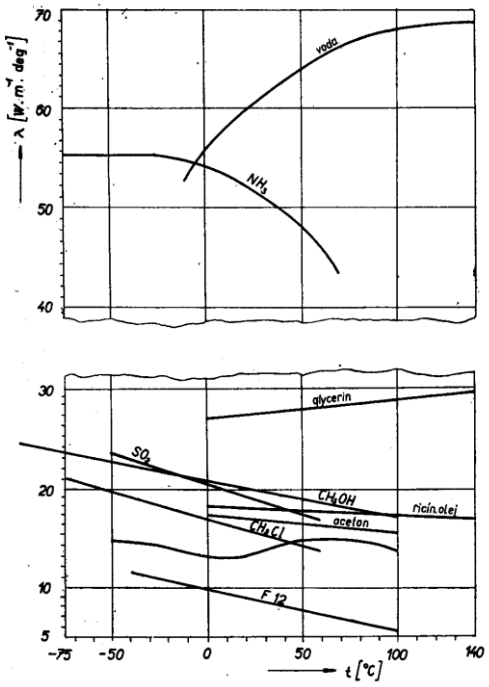
Mimořádný vliv na vedení tepla má i malý obsah nečistot, jak ukazují tyto příklady:

1. čistá měď: λ = 403 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
2. měď se stopami arsenu: λ = 142 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).
3. obchodní měď: λ = 349 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

Velmi podstatný vliv na vodivost železa má např. i procentuální obsah uhlíku, což je poznatek v technické praxi velmi důležitý.

1.2.2 Tepelná vodivost kapalin

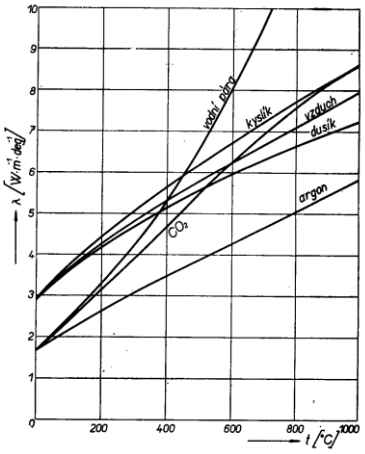
Tepelná vodivost kapalin bývá v mezích $\lambda = 0{,}09$ až $0{,}7\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Se zvětšující se teplotou λ klesá s výjimkou vody a bezvodého glycerínu. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě u některých kapalin je znázorněna na obr. 4.



Obr. 4. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě u kapalin

1.2.3 Tepelná vodivost plynů

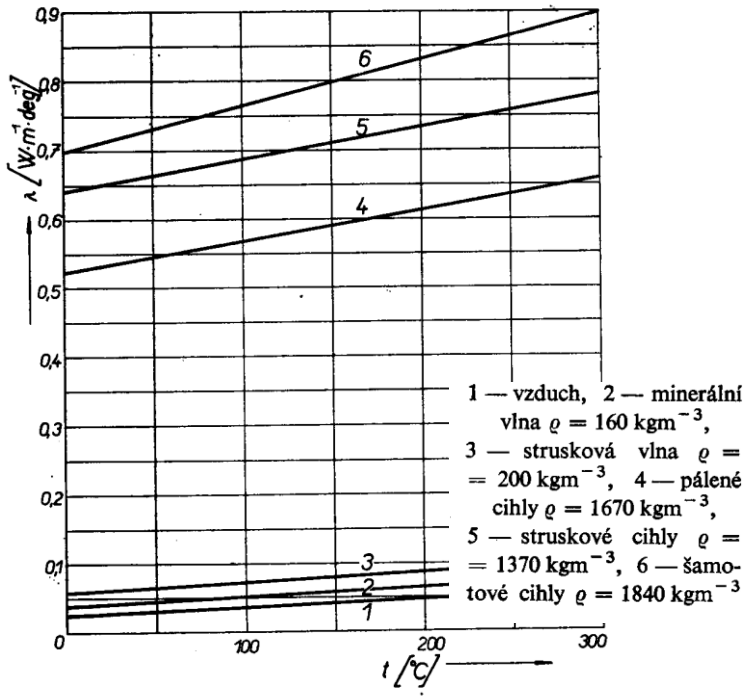
Plyny jsou ze všech látek nejméně tepelně vodivé. Platí obecně, že těžší plyny mají menší tepelnou vodivost. Pro tepelnou vodivost směsi plynů neplatí jednoduché směšovací pravidlo, nýbrž jsou mnohem složitější závislosti. Hodnoty λ pro plyny jsou uvedeny na obr. 5.



Obr. 5. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě některých plynů

1.2.4 Tepelná vodivost stavebních a izolačních hmot

Většina izolačních a stavebních hmot nejsou homogenní látky. Tyto látky mají póry, které jsou vyplněny vzduchem, ve vlhkém stavu vodou nebo vodní parou. Nelze tedy dobře mluvit o vodivosti, poněvadž také konvekce a velmi často i sálání ovlivňuje sdílení tepla v pórech. Významný vliv na vedení tepla má rozdílnost struktury tělesa. Tělesa stejného chemického složení, ale rozdílné struktury vedou teplo velmi rozdílně.



Obr. 6. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě u izolačních hmot

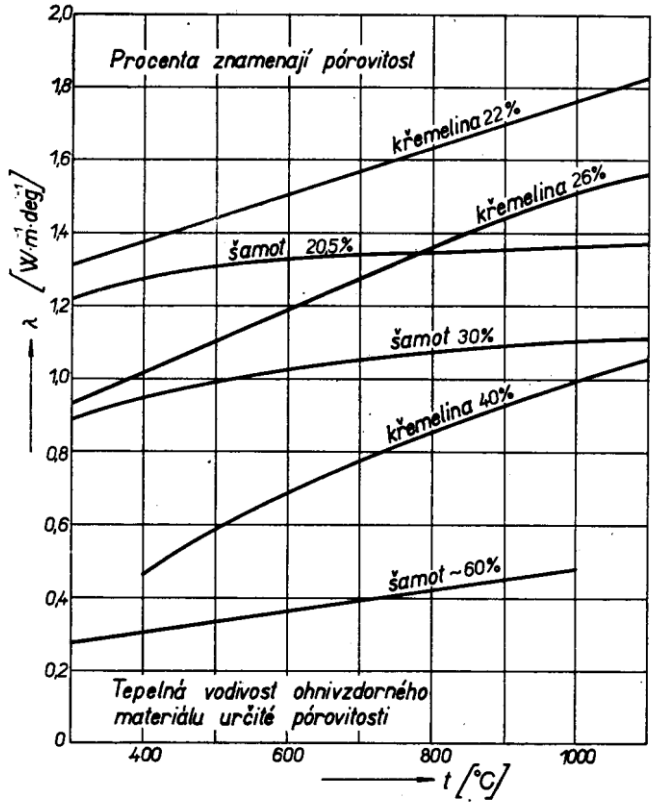
Zajímavé je vedení tepla ve vlhkých tělesech. Součinitel tepelné vodivosti nejprve pomalu roste až do stavu přirozené vlhkosti látky a potom náhle vzroste na hodnotu větší než nejlépe vodivá látka ve směsi, jak je uvedeno v těchto příkladech:

Cihla suchá: λ = 0,35 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, vlhká λ = 1,05 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$,

písek: suchý λ = 0,33 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, vlhký λ = 1,14 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ a voda λ = 0,597 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Izolační schopnost porézních látek je způsobena vzduchem uzavřeným v pórech. Tepelná vodivost stoupá s teplotou stejně jako u vzduchu.

Obr. 6 a 7 ukazuje, jak závisí součinitel tepelné vodivosti λ na teplotě u některých izolačních a ohnivzdorných hmot.



Obr. 7. Závislost tep. vod. λ na teplotě ohnivzdorného materiálu určité pórovitosti

Závislost tepelné vodivosti na jiných fyzikálních veličinách si ukážeme při popisu tepelných vlastností materiálů na bázi celulózy. [2]

1.3 Tepelný odpor

R – tepelný odpor je fyzikální veličina, která vyjadřuje tepelně-izolační vlastnosti konstrukce. Je přímo závislá na tloušťce konstrukce (d) a na součiniteli tepelné vodivosti. Při dosahování co nejvyšší hodnoty R je cílem, aby tloušťka konstrukce byla co největší a hodnota λ při jednotlivých materiálech konstrukce co nejnižší. Tepelný odpor R vyjadřuje odpor $1m^2$ konstrukce proti prostupu tepelné energie při rozdílu teplot 1 °K. Při vícevrstvých konstrukcích se jednotlivé tepelné odpory sčítají. Tepelný odpor stavební konstrukce se vypočítává jako průměrná hodnota z jednotlivých tepelných odporů částí stavební konstrukce včetně tepelných mostů.

$$R = \frac{d_j}{\lambda_j} \tag{5}$$

kde d_j je tloušťka materiálů a λ je koeficient tepelné vodivosti.[3,10]

1.4 Nestacionární vedení tepla

V technické praxi se vyskytují často problémy, při nichž se teplota v určitém místě uvažovaného tělesa mění s časem. Tyto děje se nazývají nestacionární a lze je popsat diferenciální rovnicí nestacionárního vedení tepla s příslušnými okrajovými podmínkami.

V tuhém tělese, ve kterém se teplo vede pouze ve směru osy x (teplota je funkcí času a pouze jediné souřadnice x - jednorozměrné teplotové pole) považujme fyzikální parametry λ, ρ a C za konstanty. Průběh teploty není přímkový a z desky o tloušťce dx vyříznuté z tělesa vystupuje v místě x tepelný tok:

$$-\lambda \cdot S \frac{\partial t}{\partial x} \tag{6}$$

který se obecně liší od tepelného toku:

$$-\lambda \cdot S\left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx\right) \tag{7}$$

vstupujícího na místě (x + dx) do desky. Přebytek tepla:

$$\lambda \cdot S \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx \tag{8}$$

potom zvyšuje teplotu elementu desky v čase dτ podle rovnice:

$$c \cdot \rho \cdot S \cdot dx \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \cdot S \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx \tag{9}$$

nebo:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \tag{10}$$

kde $\alpha = \frac{\lambda}{c\rho}$ (m2s-1) je součinitel teplotní vodivosti.

1.4.1 Součinitel teplotní vodivosti

Teplotní vodivost (tepelná difuzivita) je významná z hlediska fyzikálního, protože vyjadřuje tepelné vlastnosti soustavy. Udává rychlost změny teploty tělesa a rychlost změny jeho tepelného obsahu. Součinitel teplotní vodivosti je fyzikální veličinou každé látky a charakterizuje vlastně rychlost změny teplotního pole tělesa při změně povrchové podmínky. Čím je hodnota α větší, tím rychleji se změna teploty na povrchu projeví na změně teploty uvnitř tělesa. Maximální hodnoty součinitele teplotní vodivosti mají kovy, minimální hodnoty vykazují plyny.[4]

Koeficient teplotní vodivosti je popsán vztahem:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \tag{11}$$

kde λ je koeficient tepelné vodivosti, ρ je hustota a c_p – měrná tepelná kapacita

2 TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY

2.1 Tepelné vlastnosti dřeva

Tepelné vlastnosti dřeva nás zajímají nejčastěji při řešení praktických problémů spojených se sušením dřeva a využitím tepelně-izolačních vlastností dřeva. Zajímá nás například, kolik je třeba dodat tepla systému dřevo — voda, aby se ohřál na požadovanou teplotu, a dále jaká je teplota v daném bodě tělesa a daném čase. Méně se již setkáváme s otázkami změn rozměrů tělesa spojených se změnou teploty.

2.1.1 Teplotní roztažnost

Zvyšování teploty tělesa způsobuje zvyšování energie jeho molekul, a v konečném důsledku i zvětšení rozměrů tělesa. Teplotní roztažnost je charakterizována koeficientem teplotní roztažnosti α_l, který je definován podobně jako koeficient bobtnání či sesýchání podílem změny nového rozměru a rozměru původního při lineární závislosti na teplotě

$$\alpha = \frac{l_T - l_0}{l_0 \Delta T} \tag{12}$$

α - koeficient teplotní roztažnosti (K-1), l_0- počáteční rozměr (m), l_T- rozměr po změně teploty ΔT (m).

Koeficient teplotní roztažnosti α vyjadřuje změnu jednotkové délky dřeva při jeho ohřátí o 1°K. V důsledku anizotropie dřeva jsou poměry α_i v jednotlivých směrech podobné jako u bobtnání či sesýchání, $\alpha_T : \alpha_R : \alpha_L = 15 : 10 : 1$, ale hodnoty jsou zhruba 10^4 krát menší. S ohledem na takto nízké hodnoty koeficientu teplotní roztažnosti α můžeme teplotní rozměrové změny dřeva ve srovnání s vlhkostními zanedbat. Výjimkou jsou technologické procesy zpracování dřeva lisováním, kde je změna teploty výrazně vyšší než změna vlhkosti a kde teplotní změny rozměrů jsou porovnatelné s vlhkostními.

Lineární rozměr tělesa při změně teploty o ΔT je možné vypočítat podle rovnice:

$$l_T = l_0 + l_0 \alpha_i \Delta T = l_0 (1 + \alpha_i \Delta T) \tag{13}$$

Koeficient teplotní roztažnosti α_i závisí na druhu dřeva a jeho hustotě. Podle empirických rovnic α_i (12) ve směru napříč a ve směru vláken vypočteme (Tab. 1):

Tab. 1. Hodnoty koeficientu teplotní roztažnosti dřeva

		Koeficient teplotní roztažnosti	
Druh dřeva	**Hustota ρ_0**	**$10^{-6} \cdot \alpha_T$ (K^{-1})**	**$10^{-6} \cdot \alpha_l$ (K^{-1})**
	($kg.m^{-3}$)	**napříč vlákny**	**ve směru vláken**
smrk	420	34,6	3,5
jedle	400	31,6	3,9
douglaska	510	45	3,5
javor	630	37,6	4,2
bříza	610	39,4	3,6
dub	680	42,3	3,4

2.1.2 Měrná tepelná kapacita

Dřevo, stejně jako každá jiná látka, je schopno teplo akumulovat. Veličinou této vlastnosti je měrná tepelná kapacita *c*. Tato veličina udává množství tepla, které je nutné na ohřátí jednotkové hmotnosti dřeva o 1°K:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \tag{14}$$

Kde c je měrná tepelná kapacita ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), Q - množství tepla (J), m - hmotnost tělesa (kg), ΔT- rozdíl teplot (°K)

Hmotnost absolutně suchého tělesa je hmotností dřevní substance, proto *c* nezávisí na druhu dřeva ani na hustotě. Pro absolutně suché dřevo při teplotě 0°C je průměrná hodnota měrné tepelné kapacity udávána 1,45 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$. Závisí na teplotě a vlhkosti dřeva. Závis-

lost měrné tepelné kapacity c_0 (kJ·kg^{-1}·K^{-1}) na teplotě při w = 0% je v literatuře vyjadřována rovnicemi:

$$c_0 = 1{,}571 + 0{,}00277 \cdot T \tag{15}$$

$$c_O = 1{,}117 + 0{,}00487 \cdot T \tag{16}$$

kde T je absolutní teplota tělesa (°K).

Hodnota průměrné měrné tepelné kapacity pro interval 0 - 100°C je podle rovnice (15) a (16) c_0 = 1,36 až 1,71 kJ·kg^{-1}·K^{-1}. Měrné teplo vlhkého dřeva c_w se určuje z měrného tepla suchého dřeva a vody pomocí směšovacího pravidla:

$$c_w = \frac{c_0 + w_{cv}}{1 + w} \tag{17}$$

kde c_0 - měrné teplo suchého dřeva (c_0 = 1,45 kJ·kg^{-1}·K^{-1}), c_v - měrné teplo vody (c_v = 4,182 kJ·kg^{-1}·K^{-1}), w - absolutní vlhkost dřeva.

Tab. 2. Vliv druhu dřeva a vlhkosti dřeva na měrné teplo

Druh dřeva	**Měrná tepelná kapacita dřeva *c* (kJ.kg^{-1}.K^{-1}) při vlhkosti dřeva *w***					
	0%	5%	10%	20%	30%	100%
smrk	1,35	1,51	1,63	1,80	2,18	2,80
borovice	1,41	1,54	1,66	1,87	2,33	2,80
dub	1,45	1,59	1,67	1,91	2,37	2,79
buk	1,46	1,60	1,71	1,92	2,41	2,83

Změna vlhkosti dřeva v rozsahu vody vázané se podle termodynamiky sorpce projevuje také změnami tepla. Základem je výpočet diferenciálního tepla sorpce, který můžeme aplikovat i na výpočet měrného tepla vlhkého dřeva. Celkové teplo nutné na změnu teploty

vlhkého dřeva zjistíme jako součet tepel potřebných na ohřátí suchého dřeva a vody. Při vlhkosti nad *MH* klesá vliv hustoty dřeva a měrné teplo c_w nevykazuje významnějších rozdílů mezi různými druhy dřev (Tab. 2).

2.1.3 Vedení tepla

Vedení tepla ve dřevě popisujeme I. Fourierovým zákonem, který je obdobou Darcyho a I. Fickova zákona pro popsání pohybu vody ve dřevě. Nejdůležitějším tvarem I. Fourierova zákona je rovnice v integrálním tvaru:

$$\frac{Q}{S \cdot t} = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{18}$$

kde Q je množství tepla (J), S – plocha tělesa (m^2), t – čas (s), ΔT – teplotní rozdíl v koncích tělesa (°K), Δx – vzdálenost rozdílných teplot (m) a λ – koeficient tepelné vodivosti ($w \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

Dřevo – zvláště ve směru napříč vláken je relativně dobrým tepelným izolátorem. Na dobrých tepelně-izolačních vlastnostech dřeva se podílí jeho značná pórovitost, a výsledkem je např. značná odolnost konstrukčních dřevěných prvků vůči ohni. Dlouhá doba potřebná ke změně teploty v objemu dřeva společně s měrným teplem činí ze dřeva ideální materiál pro tlusté obvodové zdi.

Tepelná vodivost dřeva závisí do značné míry na hustotě a vlhkosti dřeva. MacLean (1941) navrhl empirickou rovnici pro stanovení λ v příčném směru ve tvaru:

$$\lambda_{kolmo} = \rho_k (0{,}217 + a \cdot w) + 0{,}024 \cdot P_w \tag{19}$$

ρk - konvenční hustota ($kg.m^{-3}$), w - vlhkost dřeva (%), Pw - pórovitost (%) a - koeficient $a = 0{,}0040$ pro $w < 40\%$ a $a = 0{,}0055$ pro $w > 40\%$.

Tepelná vodivost ve směru vláken je podle téhož autora ve vztahu k λ_{kolmo}:

$$\lambda_{podel} = 2{,}5 \cdot \lambda_{kolmo} \tag{20}$$

Rovnice (19) reprezentuje stejný model vodivých cest, s jakým bylo uvažováno při vedení tepla vody ve dřevě. Jedná se o tři paralelní cesty napříč buňkou, z nichž na rozdíl od vlhkostní vodivosti nemůžeme u tepelné vodivosti žádnou pominout:

$$\frac{1}{g_T} = \frac{1}{g_1} + \frac{1}{g_2 + g_3} \tag{21}$$

kde gT - vodivost tepla v příčném směru, g1 - vodivost tepla přes buněčnou stěnu kolmou na směr tepelného toku, g_2 - vodivost tepla přes lumen g_3 - vodivost tepla přes buněčnou stěnu rovnoběžnou se směrem tepelného toku. Výsledná rovnice tepelné vodivosti v příčném směru má tvar:

$$\frac{1}{\lambda_T} = \frac{\left(1-\sqrt{P_w}\right)}{\lambda_{T_{BS}}} + \frac{\sqrt{P_w}}{\left(1-\sqrt{P_w}\right)\cdot \lambda_{T_{BS}} + \lambda_{vzduch}\sqrt{P_w}} \tag{22}$$

a ve směru podélném

$$\lambda_L = \lambda_{L_{BS}}\left(1-P_w\right) + \lambda_{vzduch}\cdot P_w \tag{23}$$

2.1.3.1 Vliv faktorů na difúzi tepla ve dřevě

Vedení tepla ve dřevě ovlivňuje mnoho faktorů, největší vliv však mají anatomická stavba dřeva, hustota a vlhkost dřeva. Vliv anatomické struktury dřeva vyjádřený anizotropií se projevuje rozdílnou tepelnou a teplotní vodivostí v podélném a příčném směru. Na rozdíl od pohybu vody ve dřevě se přenos tepla ve směru a napříč vláken tolik neliší a v podélném směru je 1,5 - 2,5 krát větší než ve směru příčném. Vysvětlení lze hledat v orientaci fibril v buněčné stěně, která kromě S_2 vrstvy není příliš jednoznačná. Hodnoty koeficientu teplotní vodivosti a se ve směru radiálním a tangenciálním příliš neliší, rozdíl (±15%) vzniká pouze u koeficientu tepelné vodivosti λ a to u dřev s vícevrstevnými dřeňovými paprsky (dub, buk), kde $\lambda_R > \lambda_T$ a u jehličnanů s vysokým procentem letního dřeva (modřín).

Vliv hustoty na tepelnou a teplotní vodivost je zcela odlišný. Se zvyšující se hustotou tepelná vodivost □ roste, ale teplotní vodivost a naopak klesá. Rozdílný průběh závislostí je dán rozdílnými hodnotami tepelné a teplotní vodivosti vzduchu a dřevní substance. Průměrná hodnota koeficientu tepelné vodivosti dřevní substance λ_s = 0,600 W·m^{-1}.K^{-1}, $\lambda_{vzduchu}$ = 0,026 W·m^{-1}.K^{-1}. S rostoucí hustotou dřeva roste podíl dřevní substance a klesá podíl

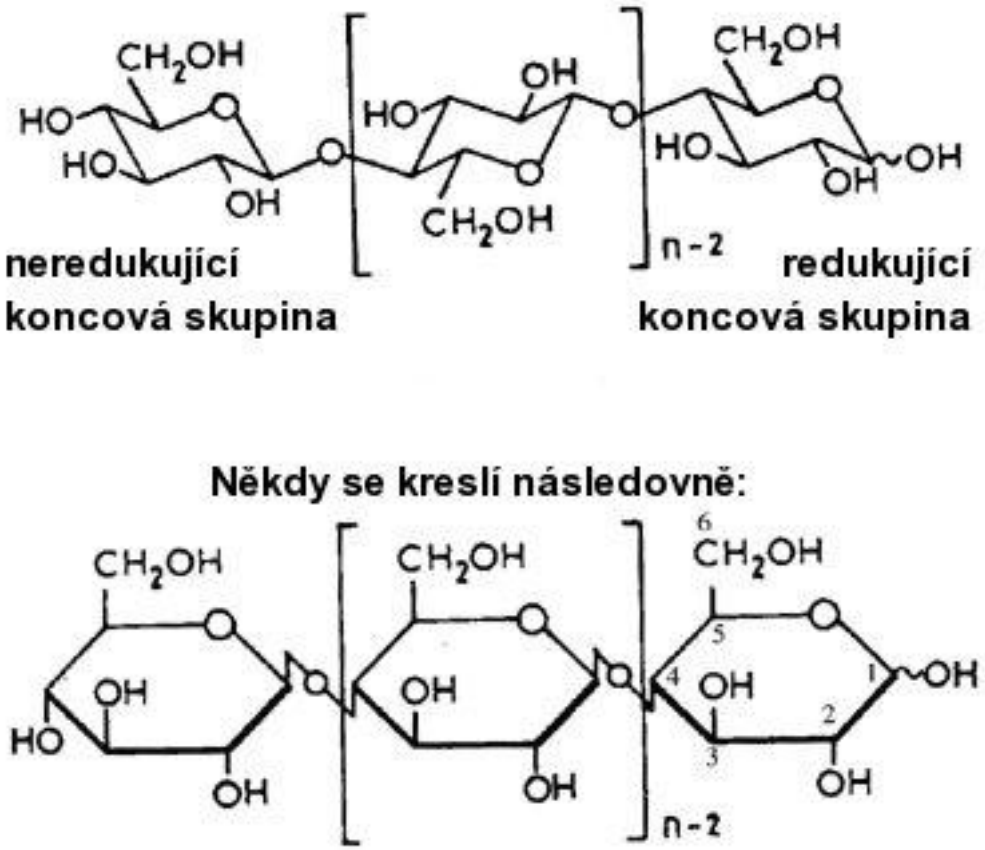
vzduchu v daném objemu dřeva a tím i zákonitě roste tepelná vodivost λ. Teplotní vodivost vzduchu je až 100x větší než teplotní vodivost dřevní substance (suchý vzduch je téměř dokonalý tepelný izolant), proto je i závislost na hustotě dřeva opačná.

Závislost tepelné a teplotní vodivosti na vlhkosti dřeva u obou veličin je obdobný jako při závislosti na hustotě, v případě tepelné vodivosti λ roste, u teplotní vodivosti α naopak klesá. Teplotní vodivost α klesá zvláště nad mezí hygroskopicity, teplotní vodivost vody je mnohem nižší než vzduchu (cca 150x). Závislost teplotní vodivosti α na vlhkosti do MH je složitější a souvisí s bobtnáním dřeva a malou změnou hustoty vlhkého dřeva do MH.[5].

3 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY

3.1 Celulóza

Celulosa, mimo chemii podle PČP celulóza, starším názvem též buničina, je polysacharid sestávající z beta-glukosy. Jednotlivé glukosové jednotky jsou spojené vazbou β 1,4 a tvoří dlouhé, nerozvětvené řetězce, které jsou zcela nerozpustné ve vodě. Celulosa je hlavní stavební látkou rostlinných primárních buněčných stěn a spolu s ligninem se podílí na stavbě sekundárních buněčných stěn; celulosa je nejrozšířenějším biopolymerem na zemském povrchu, ročně jí vzniká až 1,5×109 tun. [6]



Obr. 8 Vzorec celulózy

3.2 Dřevotříska

Dřevotřísková deska (dřevotříska) se vyrábí slisováním dřevěných třísek a pojiva. Vznikne tak hodnotný stavební materiál. Dnes vyráběné dřevotřískové desky jsou kvalitní, pro jejich výrobu se používá dřevo z lesní probírky a zbytky průmyslového dřeva. Tím je dosaženo zvyšování smysluplného využití surovin, a také se získá náhrada za vysoce hodnotnou surovinu - dřevo.

3.2.1 Využití dřevotřískových desek

Dřevotřískové desky (TD) se uplatňují ve výrobě nábytku, ve stavebnictví, ve výrobě dopravních prostředků, obalů, v drobné řemeslnické výrobě atd. Pro použití v nábytkářství se volí TD podle toho, jde-li o nosné, obkládací nebo samostatné dílce, podle způsobu dodatečné povrchové úpravy apod. K mechanickému zpracování jsou určeny nástroje běžné v dřevo-zpracovávajícím průmyslu; výhodné jsou ocelové nástroje s chromovanými břity anebo s břity z tvrdých kovů. Obvyklé řezné rychlosti jsou při řezání a frézování 40 až 80 m S-I a při vrtání 1 až 6 m S-I. Ohýbání TD je možné do poloměru 200 mm po jednostranném nařezání plochy desky na vzdálenost 8 až 12 mm a šířce řezu 2 až 2,5 mm. TD se vzájemně spojují lepením pomocí hmoždinek, nebo na pero a drážku. Hrany a úzké plochy se chrání plněním pórů a pružnými nátěry, nalepováním dýh, fólií, dřevěných lišt a profilů z plastů a kovů. V nábytkářství se uplatňují TD v široké míře ve výrobě zařízení obývacích pokojů, ložnic, kuchyní, kancelářských místností a vestavěného nábytku. Pro vnitřní vybavení ve stavebnictví jsou vhodné třískové desky (např. na podlahy, resp. jako podložky různých podlahovin). V prostředí, kde by se mohla vlhkost zvýšit, se musí volit TD lepené vodovzdorným lepidlem, např. PF. Podobně se TD používají i na obložení stropů. Stoupající odbyt zaznamenávají TD jako konstrukční desky na chaty a zemědělské stavby a též na betonová bednění.

3.3 Javorové dřevo

Dřevo tvrdé, dosti těžké, ohebné, pružné, méně štípatelné, venku málo trvanlivé. Výborně se zpracuje, zejména moří a leští. Váha čerstvého dřeva činí 880 – 940 kg. Dřevo suché váží 660 – 770 kg.

Používá se v pilařské výrobě zejména na fošny 50 mm a prkna 25 mm, dýhové výřezy (od 35 cm) a výřezy na loupání. V nábytkářství se jedná o vzácnou dřevinu: většinou dýhovaný nábytek, možnost napodobení jakékoliv dřeviny (neboť se výborně moří, napouští, probarvuje). Výroba dýh. Soustružnictví. Řezbářství. Nejdůležitější dřevina na kuchyňská zařízení, okrasné předměty apod. Letectví. Karosářství. Kolářské dříví (součástky vozů, saně atd.). Dřevěné řemenice. Částečně stavba strojů. Resonanční dříví (piana, housle, a jiné). Různé předměty: hračky, násady, nádoby, pažby, měrky, kopyta, formy, kasety, krabice, svěráky, -hřeby, zátky) dýmky, rámy, knoflíky, měřítka a jiné. Jako speciální užiti např.: vrtule k letadlům.

3.4 Překližka

Překližky jsou překližované desky vyrobené ze tří nebo více vrstev loupaných nebo krájených dýh. Dýhy se ihned po opuštění dýhárenských strojů suší, vyspravují, přiřezávají, třídí a různě upravují pro další spojování. Vybrané a upravené dýhy procházejí mezi válci, které na ně nanesou potřebnou vrstvu lepidla a poté se kladou do svazků, při čemž se dbá, aby po obou stranách střední dýhy byly postranní dýhy, co do směru vláken a zastoupení jednotlivých druhů dřeva souměrně sestaveny. Takto upravené svazky klížených dýh se kladou do lisu, kde se slepují různým tlakem, při různé teplotě a po různě dlouhou dobu, jak toho vyžaduje povaha použitého lepidla a dřeviny. Vlastnosti překližek závisí na druhu dřevin, množství a tloušťce jednotlivých vrstev, souměrném uspořádání dýh v překližce, na povaze lepidla, způsobu klížení, výrobě atd. Tahová a tlaková pevnost ve směru vláken je proti přírodnímu dřevu snížena. Všechny ostatní vlastnosti s nepatrnými výjimkami projevují zlepšení a hlavně vyrovnání hodnot, pokud se týče rovnoběžného a kolmého směru k vláknům. Proti masivnímu přírodnímu dřevu mají překližky tyto přednosti:

Bobtnání (nebo sesychání) ve směru příčném k vláknům je u překližek 10 až 20 krát menší než u dřeva surového, neboť velké příčné bobtnání přirozeného dřeva je brzděno v překližkách nepatrným podélným bobtnáním sousedních příčných vrstev, takže se nemůže projevit. Proto překližky téměř nepracují a účinkem vlhka nemění ani svůj tvar, ani objem.

Tahová pevnost napříč k vláknům je u překližek asi 12 krát větší než u dřeva surového a je proto ve všech směrech téměř stejná, kdežto u surového dřeva poměr mezi tahovou pevností ve směru vláken a příčně k vláknům je asi 25:1 proto mají překližky ve všech směrech pevnost téměř stejnou.

Upotřebení překližek stále stoupá, a to jak při výrobě nábytku, tak i při architektonické výzdobě domů, ve stavebním truhlářství, při stavbě automobilů, letadel, lodí, slévačských modelů atd. Z překližek se zhotovují na doutníky a cigarety, podnosy, radiové aparáty, piana atd. Jako příklad přednosti překližek před ostatními materiály se uvádí použití překližek pro betonové bednění. Proti přírodnímu dřevu mají překližky tyto výhody: hřebíky bednění ne- štípou, spoje překližek jsou dokonalejší, přilnavost betonu k překližkám je nepatrná a rozebrání betonového bednění je rychlejší a snazší. Odbedněná betonová plocha po překližkách je hladká a pravidelná, takže může odpadnout další její opracování. Překližky se snadno ohýbají a hodí se proto lépe než přírodní dřevo pro bednění oblouků, kleneb, kopulí a zborcených ploch. Také plechy se nevyrovnávají překližkám, které jsou lehčí, nerezavějí a dají se snáze spojovat. Omítka i malba (lapač prachu) pokojů mohou být nahrazeny překližkami, které šetří práci a zdraví.

3.5 Smrkové dřevo

Dřevo měkké, v celkové klasifikaci až velmi měkké, poměrně lehké, dlouhovlákné, s pryskyřicí, při tom velmi pružné i pevné, za sucha velmi dobře štípatelné, dobře se hobluje, moří, klíží, natírá, málo sesychá a bortí. V suchu velmi trvanlivé, venku málo trvanlivé. Váha čerstvého dřeva je 740 – 850 kg. V praxi 800 kg, na vzduchu vyschlé 480 – 510 kg.

Smrk má ze všech dřevin nejširší upotřebení (výborné technické vlastnosti, velmi dobrá zpracovatelnost, možnost obstarání i ve větších množstvích, úměrné ceny). Nejdůležitější surovina pro pily (v pilařské kulatině připadá celkový podíl na manipulaci měkkou okrouhle 80%, na tvrdou listnáče 20 %. V "měkké manipulaci" činí podíl smrku asi 61 %. Dále na latě a lišty. Značný podíl připadá zejména na palubky (na podlahy 25, 30 mm, 10, 13, 15 cm, s drážkou a lištou), další sortimenty hoblovaného zboží (např. obkládačky 20 mm atd.), jakož i řezivo na překližkové středy. Podklady. Proklady (k uskladnění řeziva).

Ve stavebnictví všechny druhy stavebního dříví, různé dimense, hlavně pro stavby nadzemní. Sloupy, vazné trámy, hranoly, vzpěry, příčky, krokve, hranolky, polštáře, zárubně ostatní řezivo. Jsou to zejména: celé krovové konstrukce, střešní bednění, laťování pod lepenkové krytiny, podbíjení říms, stropy, pavlače, balkony, atd. Konstrukce mostů. Ve vodních stavbách skříňové konstrukce (upevňování břehů), stavidla a brlení (částečně), lávky, rampy, schody atd. Surovina pro průmysl celulózový (smrk dává jemná a dlouhá vlákna na tlustém konci). Výroba dřevoviny (pololátky k výrobě papíru - v brusírnách). V

dýhárenské kulatině: dýhové výřezy. V truhlářství stavebním: okna vnitřní, okenice, dveřeje, obklady, dveře, lišty, obkládání stěn; stropy, schodiště, vrata a jiné. V truhlářství nábytkovém: především překližky (laťovky atd.), kuchyňský nábytek, jiný jednoduchý nábytek (barvený, lakovaný). Materiál k poddýhování. Výroba beden, bednových přířezů a jiných obalů (od jakostního jemnořezu až po obalové bedny z nahnilého řeziva). Muniční bedny. Košíky a bedny na balení ovoce a zeleniny.

3.6 Korek

Korek je přírodní produkt. Každá buňka obsahuje plyn podobný vzduchu, stěny buněk jsou tvořeny celulózou, suberinem a voskem. Suberin spolu s voskem způsobuje, že korek nepropouští ani tekutiny, ani plyny. Složení korku:

Suberin (45%) – hlavní komponent buněčných stěn působící pružnost korku

Lignin (27%) – pojící sloučenina

Polysaccharides (12%) – komponent buněčných stěn určující texturu korku

Tannins (6%) – polyfenylenová sloučenina určující barvu korku

Ceroids (5%) – hydrofobní sloučenina zajišťující nepropustnost korku

Minerální voda, glycerin, a ostatní prvky představují 4%.

Korkové buňky jsou drobné, pentagonální nebo hexagonální hranoly.

Vlastnosti korku vyplývají přirozeně z jeho struktury a chemického složení buněčných membrán. Je třeba připomenout, že v alveolární struktuře korku obsahuje každý centimetr kubický 30 až 42 miliónů buněk. Skutečnost, že korkové pletivo obsahuje 89,7 % plynných látek, způsobuje, že je jeho hustota velice malá, řádově 0,12 až 0,20 – údaj, který vyjadřuje velký nepoměr mezi objemem a váhou této suroviny. Přítomnost korkoviny (složitá směs mastných kyselin a těžkých organických alkoholů) umožňuje, aby korkové pletivo nepropouštělo tekutiny a plyny. Tento fakt způsobuje, že korek netrouchniví, a proto je považován za nejlepší uzávěr, který existuje. K tomu, aby byl ještě účinnější, přispívá přítomnost tříselných látek a nedostatečné množství albuminových látek. Proto může být korkové pletivo považováno za látku nepodléhající hnilobě, která se při působení vlhkosti nemění. Kusy korku byly ponořeny do vody po mnoho století, aniž by shnily. Další vlastností korku, pro nějž je stále cennějším, jsou jeho vynikající izolační vlastnosti (tedy špatná vodi-

vost) hlediska tepelného, zvukového i vibračního. Je způsobena tím, že se plynný prvek nachází v miniaturních hermeticky uzavřených přepážkách. Ty jsou zase mezi sebou odděleny látkou, která není nasákavá a má malou specifickou váhu. Z toho pak plyne, že korek má ze všech přírodních látek největší izolační schopnost**.** Všechny tyto nepopiratelné vlastnosti spolu s jeho špatnou vodivostí ať již tepla nebo zvuku činí z korku látku, která je čím dál více používána v pokročilé stavební technice ve všech typech budov (nemocnice, optiky, university, knihovny, laboratoře, dětská zařízení jako školky apod., všechny budovy a místnosti, kde je požadována kvalitní tepelná nebo zvuková izolace).

3.7 Papírový karton

Základem hmoty papíru, kartonu a lepenek jsou vlákniny, různé druhy buničin, polobuničin a dřevovin. Naše papíry se označují podle vláknitého složení následovně: bezdřevé, které mají 100% bělené buničiny nebo nejvýše 50% bílé dřevoviny a dřevité, které obsahují asi 35% nebělené buničiny a 65% bílé dřevoviny.

Fyzikální vlastnosti papíru

Plošná hmotnost - jeden z nejdůležitějších ukazatelů a charakteristická vlastnost papíru, kartonu a lepenky. Je to hmotnost 1 m^2 užitého materiálu. Vyjadřuje se v jednotce g/m2. Má přímý vliv na všechny ostatní fyzikální vlastnosti papíru. Zjišťuje se na kvadratických vahách.

Papíry - od 8 do 120 g/m^2

Kartony - od 200 do 350g/m^2

Lepenky - do 4500 g/m^2

Pórovitost a prodyšnost - nepostradatelná vlastnost tiskových a psacích papírů a kartonů. Ovlivňuje absorbční a tepelné vlastnosti. Velmi pórovité jsou papíry určené k impregnaci. Opakem pórovitosti je hustota papíru.

Použití je velmi rozmanité, především v logistice, obalové technice apod. [7,8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je návrh sendvičové vrstvy s optimálním tepelným odporem pro interiérové aplikace.

Pro měření a vyhodnocení těchto tepelných vlastností byly vybrány materiály překližka, dřevotříska, javorové dřevo, smrkové dřevo, korek a papírový karton. Tyto materiály byly vybrány, protože se jedná o materiály nejběžněji požívané ve stavebním průmyslu, tedy jedná se o dřevo tvrdé i měkké, dřevo v kompozitním i lisovaném tvaru, a také speciální formy – papírový karton, který se v různých formách používá jako dekorační prvek nebo tapeta, a korek, který je využíván pro dekorativní účely, nebo jako podlažní vrstva mající význam při eliminaci kročejového hluku.

Na zařízení podle Fitche, sloužícího ke stanovování koeficientu tepelné vodivosti nestacionární metodou bude naměřena závislost teploty na čase při ochlazování vzorku. Z této závislosti budou následně vyhodnoceny potřebné statistické parametry pomocí software ThermaCon a bude vyhodnocen pro každý měřený materiál koeficient tepelné vodivosti.

Dále bude vyhodnocen koeficient teplotní vodivosti a tepelný odpor. Získané veličiny budou korelovány s porozitou měřených materiálů.

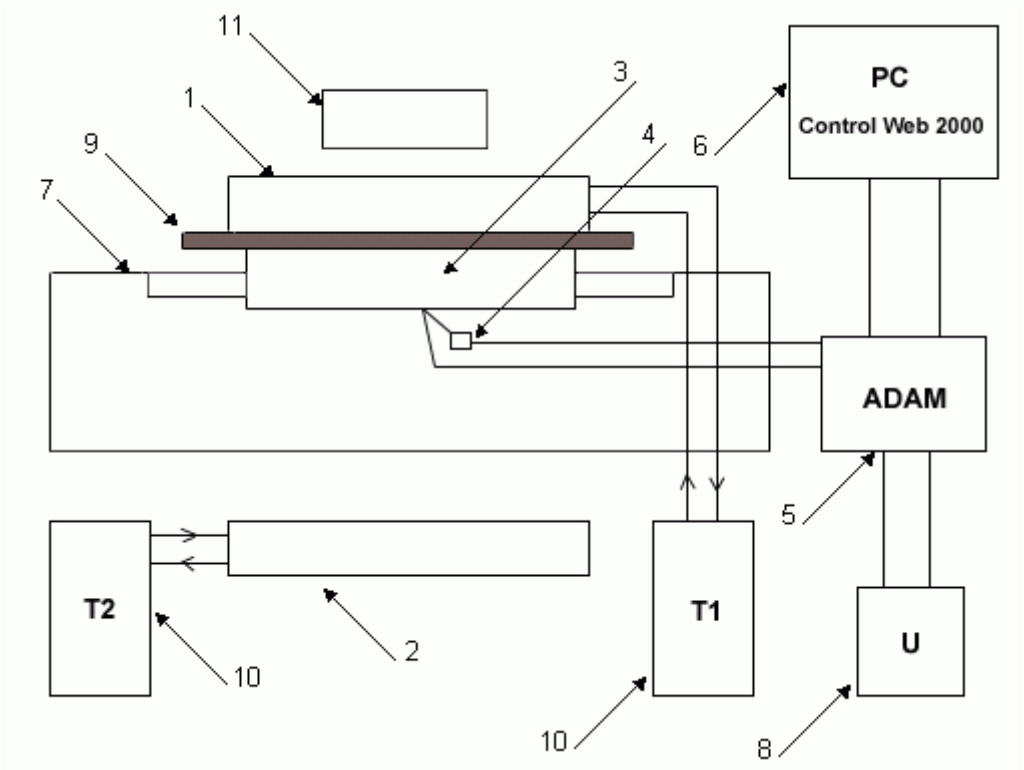
Na základě získaných výsledků bude navržena optimální kombinace vybraných materiálů s ohledem nejenom na tepelně-izolační vlastnosti, ale také na akusticko-izolační vlastnosti studovaných materiálů na bázi celulózy.

5 MĚŘENÍ KOEFICIENTU TEPELNÉ VODIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZY

5.1 Nestacionární měření tepelné vodivosti

V současné praxi se začínají postupně uplatňovat metody založené na neustáleném toku tepla mající řadu výhod. Mezi tyto výhody patří především krátká doba měření, jednoduchost postupu a měřícího zařízení.

U nestacionárního vedení tepla se teplota v určitém místě mění s časem. V praxi se nejčastěji setkáme s případem, kdy je teplo vedeno pouze v jednom směru. Teplota je tedy funkcí času a pouze jediné souřadnice.



Obr. 9. Blokové schéma měřící aparatury

Princip měřícího zařízení je následující. Měřený vzorek 9 je vložen mezi mosazný válec 1, který je temperován na teplotu t_1, a mosazný měřící válec 3, na který je připojen termočlánek typu měď-konstantan 4. Po vytemperování vzorku na teplotu t_2 je odejmut mosazný válec 1 a je přiložen mosazný válec 2, který je temperován na teplotu t_1. Současně je spuštěno snímání teploty pomocí upraveného modulu Control Web 2000 na osobním počítači 6, který data převádí převodním systémem ADAM 5 přes komunikační port do osobního počítače 6. Měřená teplota postupně roste směrem k ustálené teplotě t_2 a snímání dat je ukončeno. Získaný soubor obsahuje závislost času na teplotě. Dále je možno spustit vyhodnocení tohoto souboru pomocí programu NeReg02 na osobním počítači 6 nebo pokračovat v měření dalších vzorků. Součástí měřícího zařízení jsou také termostaty 10, udržující teploty t_1 a t_2, stabilizovaný stejnosměrný zdroj 8, izolační kryt měřícího válce 7 a závaží 11. Část 7 slouží k tepelné izolaci měřícího válce 3, a také k zabránění tepelných ztrát do okolí. [9]

5.1.1 Matematický model měření

Pro odvození matematického modelu popisující závislost teploty měřícího válečku na čase vycházíme z následující bilance tepla.

$$-K\frac{dt}{d\tau} = \frac{S\lambda\left(t-t_1\right)}{\delta} + B\left(t-t_1\right) \qquad (24)$$

$$0 < \tau < \infty$$

$$t(0) = t_2 = 35°C$$

kde K - tepelná kapacita měřícího válečku ($J.K^{-1}$)

S - plocha vzorku (m^2)

λ - tepelná vodivost ($W.m^{-1}.K^{-1}$)

t - snímaná teplota měřícího válečku (°C)

t_1 - teplota temperační desky 1 (°C)

t_2 - počáteční teplota měřícího válečku (°C)

δ - tloušťka vzorku (m)

B - koeficient tepelných ztrát ($J.s^{-1}.K^{-1}$)

τ - čas (s)

pro *B* platí:

$$B = \alpha \cdot S_z \tag{25}$$

kde α - je koeficient přestupu tepla ($W.m^{-2}.K^{-1}$)

S_z - plocha, na níž dochází ke ztrátám (m^2)

Pravá strana rovnice (25) představuje tok tepla přes hmotu vzorku bloku 1 do měřícího válečku. Zde jsou započítány i ztráty tepla vzniklé přirozeným prouděním vzduchu kolem měřícího přístroje.

Levá strana rovnice (25) představuje akumulaci tepla v měřícím válečku.

Řešením rovnice (25) dostaneme:

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) \cdot \exp\left(-(A_1 + A_2) \cdot \tau\right) \tag{26}$$

kde pro A_1 a A_2 platí vztahy:

$$A_1 = \frac{S\lambda}{\delta K} \tag{27}$$

$$A_2 = \frac{B}{K} \tag{28}$$

$$A_3 = A_1 + A_2 \tag{29}$$

kde parametr A_2 vyjadřuje tepelné ztráty do okolí a pro námi používanou měřící aparaturu v daných laboratorních podmínkách $A_2 = 263 \,.\, 10^{-6}\ s^{-1}$

Vyhodnocení se provádí podle matematického modelu:

$$t = a_1 + a_2 \cdot \exp(a_3.\tau) \tag{30}$$

a parametry a_1, a_2, a_3 se vyhodnocují nelineární regresí. Tepelná vodivost se pak získá podle plochy a tloušťky vzorku z parametru a_3.

Obecně lze konstatovat, že měření tepelné vodivosti nestacionární metodou je vzhledem k metodám stacionárním časově méně náročné a tím se tyto metody stávají více prakticky využitelnými.

5.2 Software ThermaCon

Software ThermaCon umožňuje na základě naměřených dat vyhodnotit parametr a_3 a další statistické údaje nutné pro výpočet koeficientu tepelné vodivosti dle matematického modelu (viz. kapitola 4.1.1). Tento software také ověřuje správnost měření pomocí závislosti teploty na čase a závislosti reziduálního rozptylu na teplotě. Software ThermaCon umožňuje vyhodnocení průběhu měření z pohledu grafické analýzy reziduí.

5.3 Fyzikální vlastnosti měřených vzorků

5.3.1 Příprava a rozměry vzorků

Vzorky byly vyrobeny pomocí soustruhu u firmy Václav Skýpala, Valašské Meziříčí, kdy požadovaný průměr vzorku pro měření byl 90 mm.

Obr. 10. Materiál překližka

Obr. 11. Materiál dřevotříska

Obr. 12. Materiál smrkové dřevo

Obr. 13. Materiál javorové dřevo

Obr. 14. Materiál korek

Obr. 15. Materiál papírový karton

5.3.2 Stanovení základních fyzikálních parametrů vybraných materiálů

Z rozměrů vzorků vybraných materiálů na bázi celulózy (Tab. 3) byl vypočítán objem a hustota těchto materiálů. Průměr byl u všech vzorků stejný, a to 9 cm.

Tab. 3. Tloušťka, objem, hmotnost a hustota měřených vzorků

	h[cm]	**V[cm^3]**	**m[g]**	**ρ[g/cm^3]**
Překližka	0,49	31,85	21,905	0,688
Dřevotříska	0,58	37,7	26,273	0,697
Javor	0,81	52,65	41,055	0,78
Smrk	0,81	52,65	36,674	0,697
Korek	0,34	22,1	6,57	0,297
Karton	0,37	24,05	2,887	0,12

5.4 Výpočet tepelné vodivosti vybraných materiálů na bázi celulózy

Vzorky vybraných materiálů na bázi celulózy byly proměřeny na zařízení podle Fitche. Grafické závislosti teploty na čase vždy jednoho vzorku každého měřeného materiálu jsou uvedeny v přílohách P I - PVI. Z této závislosti byly pomocí programu NeReg02 nelineární regresí Gauss-Newtonovou metodou vyhodnoceny parametry A_1, A_2, *a* A_3 nutné pro výpočet tepelné vodivosti těchto materiálů.

Jako příklad výpočtu je uvedeno vyhodnocení koeficientu tepelné vodivosti jednoho měřeného vzorku – smrku. Pomocí software ThermaCon byl vyhodnocen parametr A_3:

$A_3 = -0{,}000554\ s^{-1}$

$A_2 = 0{,}000263\ s^{-1}$

$K = 317{,}5\ (J.K^{-1})$

$S = 6{,}5 \cdot 10^{-3}\ m^2$

$\delta = 8{,}1 \cdot 10^{-3}\ m$

Pro výpočet koeficientu tepelné vodivosti je potřeba stanovit parametr A_1 (29):

$A_1 = -A_3 - A_2 = -0{,}000554 - 0{,}000263 = -0{,}000817\ s^{-1}$

Dále je pak možné vyhodnotit koeficient tepelné vodivosti (27):

$$\lambda = \frac{A_1 \cdot \delta \cdot K}{S} = \frac{0{,}000817 \cdot 0{,}0081 \cdot 317{,}5}{0{,}0065} = 0{,}3232\ W.m^{-1}.K^{-1}$$

δ tloušťka vzorku (m)

λ tepelná vodivost (W. m^{-1}. K^{-1})

a_3 parametr nelineární regrese (s^{-1})

A_2 tepelné ztráty do okolí (s^{-1})

K tepelná kapacita měřícího válečku ($J.K^{-1}$)

S plocha měřícího válečku (m^2)

Tepelná vodivost u každého vzorku byla měřena celkem 3x a z nich vypočtená průměrná hodnota (Tab. 4).

Tab. 4. Naměřené hodnoty λ a průměrná hodnota λØ

	λ_1 [W.m^{-1}.K^{-1}]	λ_2 [W.m^{-1}.K^{-1}]	λ_3 [W.m^{-1}.K^{-1}]	λØ
Překližka	0,266	0,259	0,261	0,262
Dřevotříska	0,260	0,243	0,258	0,254
Javor	0,329	0,328	0,328	0,328
Smrk	0,323	0,330	0,356	0,336
Korek	0,133	0,137	0,141	0,137
Karton	0,144	0,143	0,147	0,144

5.5 Výpočet tepelného odporu vybraných materiálů na bázi celulózy

Jako příklad výpočtu a vyhodnocení koeficientu tepelného odporu je uveden stejný vzorek smrku.

$\delta = 8{,}1 \cdot 10^{-3}$ m

$\lambda = 0{,}3232$ W.m^{-1}.K^{-1}

Hodnota tepelného odporu lze stanovit (5):

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0{,}0081}{0{,}3232} = 0{,}0251\ m^2.\ K.\ W^{-1}$$

λ tepelná vodivost vybraného vzorku (W.m^{-1}.K^{-1})

R tepelný odpor (m^2. K. W^{-1})

δ tloušťka vzorku (m)

5.6 Výpočet teplotní vodivosti vybraných materiálů na bázi celulózy

Teplotní vodivost jsme zjistili uvedeným výpočtem z tepelné vodivosti λ měrného tepla *c* a hustoty ρ □ měřené látky. Měrná tepelná kapacita vybraných materiálů byla zjištěna z dostupných zdrojů. Jako příklad výpočtu a vyhodnocení koeficientu teplotní vodivosti je uveden stejný vzorek smrkového dřeva.

λ = 0,3232 $W.m^{-1}.K^{-1}$

ρ = 697 $kg.m^{-3}$

c = 1,63 $kJ.kg^{-1}.K^{-1}$

Hodnota teplotní vodivosti lze stanovit (11):

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = \frac{0,3232}{697 \cdot 1,63} = 2,84 \cdot 10^{-4} \ m^2.s^{-1}$$

a teplotní vodivost ($m^2.s^{-1}$)

λ tepelná vodivost vybraného vzorku ($W.m^{-1}.K^{-1}$)

ρ hustota měřeného vzorků ($kg.m^{-3}$)

c měrná tepelná kapacita ($kJ.kg^{-1}.K^{-}$)

5.7 Tepelná vodivost, tepelný odpor a teplotní vodivost vybraných materiálů na bázi celulózy

Výsledné hodnoty tepelných vlastností vybraných materiálů na bázi celulózy - koeficientu tepelné vodivosti, koeficientu teplotní vodivost a tepelného odporu lze nalézt v Tab. 5.

Tab. 5. Koeficient tepelné vodivosti, tepelný odpor a teplotní vodivost materiálů

Materiál	λ	R	a
	(W.m^{-1}.K^{-1})	**(m^2.K.W^{-1})**	**(m^2.s^{-1})**
překližka	0,262	0,0187	0,000135
dřevotříska	0,254	0,0228	0,000145
Javor	0,328	0,0246	0,000219
Smrk	0,336	0,0251	0,000284
Korek	0,137	0,0248	0,000000219
karton	0,144	0,0257	0,00000113

5.8 Měření pórovitosti

5.8.1 Výpočtová metoda

V tomto případě byla pórovitost stanovena výpočtovou metodou na základě měrné hmotnosti, tedy hustoty měřených vzorků a jejich hodnoty (Tab. 6). Tato metoda závisí na znalosti hustoty materiálu, tj. hustoty před vytvrzením a hustoty po vytvrzení. Poměr těchto rozdílných hustot s následujícím přepočtem na obj. % udává podíl pevně fáze materiálu. Rozdílem zjistíme podíl plynné fáze. Výpočet pórovitosti výpočtovou metodou lze formulovat jako:

$$P = 100 - \left(\frac{\rho_v}{\rho_n} * 100 \right) \text{ (\%)} \qquad (30)$$

kde P je pórovitost (%), ρ_v je hustota měřených vzorků (kg.m^{-3}), ρ_n je hustota dřevní hmoty (kg.m^{-3}).

Příklad výpočtu pórovitosti pro smrk:

ρ_v = 697 kg.m^{-3}

ρ_n = 1500 kg.m^{-3}

$$P = 100 - \frac{\rho_v}{\rho_n} * 100 = 100 - \frac{697}{1500} * 100 = 100 - 46{,}4 = 53{,}6 \ \ \%$$

P pórovitost (%)

ρ_v hustota smrku (kg.m^{-3})

ρ_n hustota dřevní hmoty (kg.m^{-3})

Tab. 6. Pórovitost měřených materiálů

Materiál	**Procento pevné fáze vzorku**	**Pórovitost vzorku**
	%	**%**
Překližka	0,46	0,54
Dřevotříska	0,46	0,54
Javor	0,52	0,48
Smrk	0,46	0,54
Korek	0,20	0,80
Karton	0,08	0,92

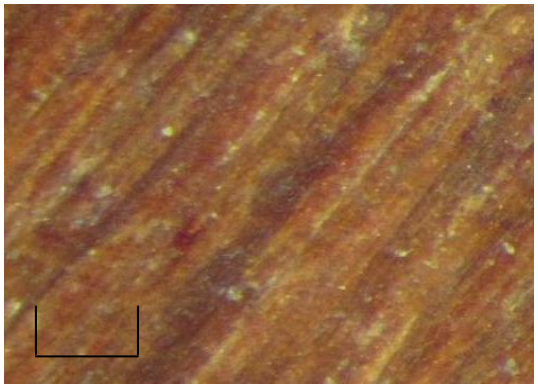
Na základě výsledků lze říci, že nejvyšší pórovitost vykazují materiály papírový karton a korek, zatímco nejnižší pórovitosti dosahuje materiál javorové dřevo.

5.9 Distribuce a velikost pórů

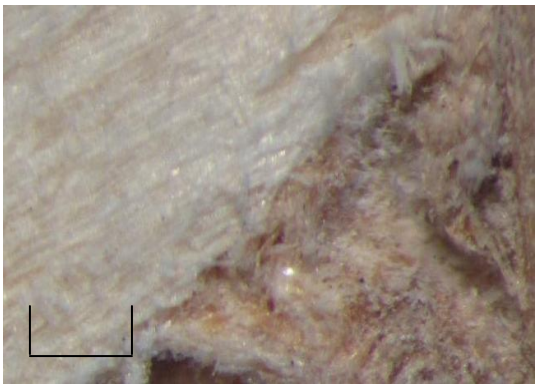
5.9.1 Příprava vzorků

Vzorky byly vyřezány z jednotlivých typů měřených materiálů pomocí žiletky ve tvaru kvádru s důrazem na minimální šířku. Pomocí mikroskopu byly vzorky vyfoceny se 40 násobným zvětšením.

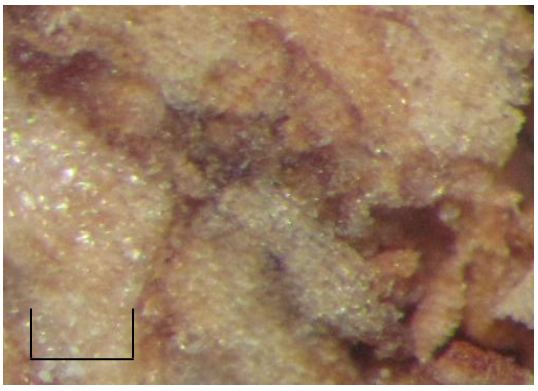
Pro ukázku je zde náhled na jednotlivé vzorky pod mikroskopem. Měřítko uvedené v levém dolním rohu fotek je 0,5 mm, rozměry jedné fotky jsou 2,61x 1,95 mm.



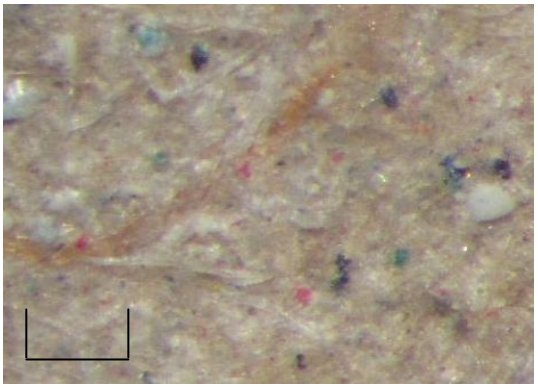
Obr. 16. Materiál javorové dřevo – 40-ti násobné zvětšení



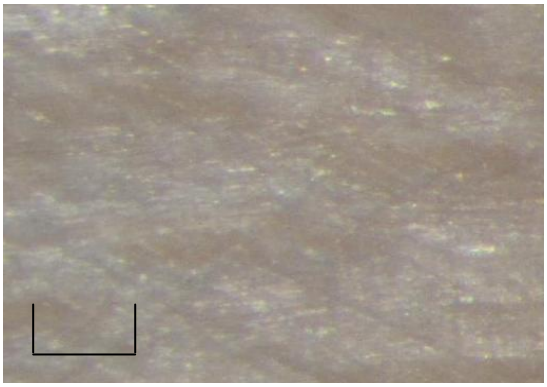
Obr. 17. Materiál dřevotříska – 40-ti násobné zvětšení



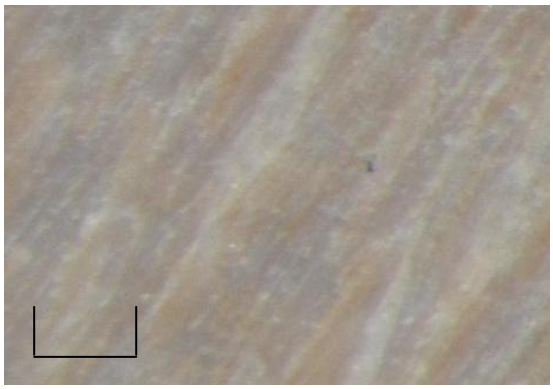
Obr. 18. Materiál korek – 40-ti násobné zvětšení



Obr. 19. Materiál papírový karton – 40-ti násobné zvětšení



Obr. 20. Materiál překližka – 40-ti násobné zvětšení



Obr. 21. Materiál smrkové dřevo – 40-ti násobné zvětšení

Jak lze vidět na obrázcích Obr. 16 – Obr. 21, i při 40 násobném zvětšení nelze u materiálů smrkové dřevo, překližka, javorové dřevo a dřevotříska určit distribuci a velikost pórů. Pouze u materiálu papírový karton a korek by bylo možné distribuci a velikost pórů určit, ale na základě výsledků v kapitole 5.8.1 není nutné tyto výpočty provádět, jelikož hodnoty porozit jsou uvedeny v Tab. 6.

5.1 Frekvenční závislosti koeficientu zvukové pohltivosti vybraných materiálů na bázi celulosy

Měření koeficientu zvukové pohltivosti bylo provedeno na dvoumikrofonové impedanční trubici Brüel & Kjaer typ 4206 a výsledkem tohoto měření byly textové soubory obsahující naměřené závislosti. Takto získaná data byla zpracována pomocí programu Microsoft Excel 2003. Pro vyhodnocení akustických vlastností měřených materiálů byla uvažována frekvenční oblast 100 – 6400 Hz.

Z naměřených dat pro materiál smrkové dřevo lze konstatovat, že tento materiál dosahoval nejvyšší hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti α_{max} = 0,2989 při frekvenci 2130 Hz a hodnoty koeficientu redukce zvuku NRC = 0,1172. Materiál bukové dřevo vykazoval nejvyšší hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti α_{max} = 0,2564 při frekvenci 2100 Hz a hodnoty koeficientu redukce zvuku NRC = 0,0853. Materiál kartonový papír dosahoval nejvyšší hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti α_{max} = 0,2716 při frekvenci 5740 Hz a hodnoty koeficientu redukce zvuku NRC = 0,0444. Materiál korek vykazoval nejvyšší hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti α_{max} = 0,1182 při frekvenci 5740 Hz a hodnoty koeficientu redukce zvuku NRC = 0,0358. Materiál dřevotříska dosahoval nejvyšší hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti α_{max} = 0,1858 při frekvenci 1080 Hz a hodnoty koeficientu redukce zvuku NRC = 0,1196.

Pro porovnání výsledků jsou naměřené závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci pro všechny měřené materiály uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7. Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku měřených materiálů

Materiál	**α_{max} [-]**	**NRC [-]**
Smrkové dřevo	0,2989	0,1172
Bukové dřevo	0,2564	0,0853
Kartonový papír	0,2716	0,0444
Korek	0,1182	0,0358
Dřevotříska	0,1858	0,1196

Na základě naměřených hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku lze konstatovat, že ze všech měřených materiálů má nejlepší akustické vlastnosti, co se týká pohlcení hluku a zamezení jeho odražení zpět do místnosti, materiál smrkové dřevo.

Přibližně stejné hodnoty obou koeficientů vykazoval materiál dubové dřevo. Oba tyto materiály představují ekonomicky dostupné alternativy mnohem dražších, ale také lépe tlumících materiálů (plastových nebo na bázi minerálů).

Ze závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci lze u materiálu kartonový papír sledovat, že tento materiál lépe pohlcuje zvuk při vyšších frekvencích a hůře u frekvencí nižších.

Trend téže závislosti u materiálu dřevotříska se příliš nemění, proto tento materiál pohlcuje hluk u všech významných frekvencí téměř stejně.

Ze všech měřených materiálů má nejhorší akustické vlastnosti materiál korek, který spíše akustickou energii odráží zpět do místnosti.

Je potřeba také říci, že měřené materiály ve srovnání s jinými materiály (na plastové bázi, nebo minerální bázi) vykazují maximální hodnotu koeficientu zvukové pohltivosti pod 0,3, což znamená, že obecně jsou tyto materiály špatně pohlcující akustickou energii.

Studované materiály nepatří v běžné praxi mezi typicky akusticko-izolační, ale spíše se používají jako krycí vrstva jiných materiálů. Významným aspektem při aplikaci materiálů na bázi celulózy je jejich recyklovatelnost, snadná dostupnost, ekonomický faktor a dobrá opracovatelnost. [11]

DISKUZE

Na základě naměřených hodnot všechny sledované materiály jsou z hlediska tepelně-izolačních vlastností průměrnými izolanty.

Na základě výsledků naměřených hodnot tepelných vlastností vyplývá, že nejlepší tepelně-izolačním materiálem ze všech vybraných materiálů je korek spolu s materiálem papírový karton. Materiály překližka a dřevotříska vykazují vyšší hodnoty koeficientu tepelné izolace, tedy vedou lépe tepelnou energii než materiály předchozí. Javorové a smrkové dřevo jsou ze všech měřených materiálů na bázi celulózy nejhoršími tepelnými izolanty.

Hodnoty tepelného odporu se u měřených materiálů významně neliší, kromě kompozitního materiálu překližka, který má nejmenší tepelný odpor, tedy nejméně odporuje v šíření tepelné energie.

Vedle koeficientu tepelné vodivosti byla studována i korelace s jiným významným fyzikálním parametrem a tím je koeficient redukce hluku. Špatné tepelné vodiče, jakými jsou korek i papírový karton, mají z měřených materiálů nejnižší hodnoty koeficientů redukce hluku. Naopak smrkové dřevo i javorové dřevo vedou poměrně dobře teplo a naopak smrkové dřevo spolu s dřevotřískou významně redukují odraženou akustickou energii zpět do místnosti na rozdíl od ostatních měřených materiálů na bázi celulózy.

Oba koeficienty, tedy koeficient tepelné vodivosti i koeficient redukce hluku, jsou ovlivněny strukturálním složením materiálu. Z toho hlediska jsou významnými parametry hustota a pórovitost.

Hustotu vzorků můžeme rovněž rozdělit do 3 skupin. Vysokou hustotu vykazují javorové a smrkové dřevo. Nízkou hustotu naproti tomu mají vzorky korek a papírový karton. Překližka a dřevotříska měly hustoty mezi těmito skupinami. Pórovitost měřených materiálů je nepřímo úměrná jejich hustotě, protože materiál při vyšší pórovitosti obsahuje více vzduchu. Pórovitost kartonu a papírového korku dosahuje 92, respektive 80 %. Naproti tomu materiály smrkové dřevo a javorové dřevo jsou méně pórovité.

Vypovídající hodnotu má i tepelný odpor. Ten je přímo úměrný tloušťce vzorku. Tloušťka vzorků byla stanovena tak, aby byla výsledná hodnota tepelného odporu podobná u všech materiálů. Chceme-li dosáhnout hodnot tepelného odporu u materiálů s vyšší tepelnou vodivostí, musíme zvolit podstatně větší tloušťku oproti materiálům s nízkou hodnotou koefi-

cientu tepelné vodivosti. Zde ale kromě tepelně-izolační charakteristiky musíme brát v potaz i ekonomické hledisko.

Poslední sledovanou veličinou byla teplotní vodivost. Zde se u měřených materiálů projevily velké odchylky vlivem různých hodnot měrných tepelných kapacit. Nejvyšší hodnota byla vypočítána pro materiál karton a korek. U těchto materiálů sledujeme tedy nejpomalejší průběh vyrovnání teplot na jednotku plochy. Je to opět způsobeno značnou pórovitostí těchto materiálů. Nejrychleji ke srovnání teplot by došlo u materiálů překližka a dřevotříska. Významnou roli lze zde přičíst pojivu a lepidlu.

Ze všech uvedených výsledků lze vyhodnotit, že tepelně-izolační vlastnosti jsou závislé na hodnotě pórovitosti materiálů, tedy obsahu vzduchu v materiálu. Tepelně-izolační vlastnosti se zlepšují jednak s obsahem vzduchu, rostoucí tloušťkou vrstvy a se snižující se hustotou materiálu. Zajímavý je ovšem poznatek, že materiály smrkové dřevo a javorové dřevo mají vyšší koeficient tepelné vodivosti než dřevotříska a překližka, ovšem vykazují stejné hodnoty pórovitosti. Toto lze vysvětlit obsahem pojiva a lepidel, které zlepšují jejich tepelně-izolační vlastnosti.

Pro samotný návrh ideální tepelně-izolační sendvičové vrstvy bychom volili materiál korek a papírový karton. Půjde-li nám převážně i zvukově-izolační vlastnosti, jeví se jako nejlepší kombinací smrkové dřevo s dřevotřískou. Tloušťku volíme s ohledem na požadovanou hodnotu tepelného odporu s přihlédnutím na konkrétní technické aplikace.

Pro stavební průmysl, kde se měřené materiály nejvíce vyskytují v nejrůznějších aplikacích, je možné vyhodnotit nejlepším materiál s ohledem na kompromis mezi tepelně-izolačními a akusticko-izolačními vlastnostmi s významným ekonomickým faktorem materiál dřevotřísku.

Uveďme zde pro ujasnění, že všechny výše zmíněné veličiny u těchto materiálů jsou velmi závislé na vlhkosti. Cílem této práce bylo navrhnout nejlepší kombinaci, ovšem s přihlédnutím na použití v běžné praxi, tedy i za běžných hodnot vlhkosti těchto materiálů.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá tepelnými a zvukovými vlastnostmi materiálů na bázi celulózy.

V teoretické části je popsán mechanismus přenosu tepla konvekcí a zářením. Hlavní důraz zde byl kladen na teoretický popis sdílení tepla vedením. Je zde zpracována problematika vedení tepla v pevných, kapalných i plynných látkách. Jsou zde ukázány závislosti koeficientu tepelné vodivosti na teplotě u všech stavů látek. Je zde shrnut popis vedení tepla pro tepelně-izolační látky. Další část se zabývá pojmy tepelný odpor, teplotní vodivost a procesem nestacionárního vedení tepla

Další část navazuje na teoretický úvod a jsou zde detailně popsány tepelné vlastnosti materiálů na bázi celulózy. Hovoří se zde o tepelné vodivosti, tepelné roztažnosti, měrné tepelné kapacitě a o faktorech, jež tyto charakteristiky ovlivňují.

Dále jsou zmíněny vlastnosti a použití měřených materiálů na bázi celulózy. Konkrétně se jedná o materiály překližka, dřevotříska, javorové a smrkové dřevo, korek a papírový karton. Tyto materiály vybrány s ohledem na konkrétní a nejčastější aplikace v interiérovém a stavebním průmyslu, kde je na tyto materiály kladen požadavek tepelně-izolační a zvukově-izolační.

V praktické části je popsána metoda měření koeficientu tepelné vodivosti při použití pomocného softwaru ThermaCon. Dále pak výroba a fyzikální vlastnosti vzorků včetně fotodokumentace. U měřených materiálů byl naměřen a vyhodnocen koeficient tepelné vodivosti a vypočten koeficient teplotní vodivosti a tepelný odpor. Dále byla na základě hustot stanovena pórovitost těchto vybraných materiálů.

Na základě výsledků je poté navrženo sendvičové uspořádání těchto materiálů pro ideální tepelně-izolační a zvukově-izolační použití.

Pro samotný návrh ideální tepelně-izolační sendvičové vrstvy bychom volili materiál korek a papírový karton. Půjde-li nám převážně i zvukově-izolační vlastnosti, jeví se jako nejlepší kombinací smrkové dřevo s dřevotřískou. Tloušťku volíme s ohledem na požadovanou hodnotu tepelného odporu s přihlédnutím na konkrétní technické aplikace.

Pro stavební průmysl, kde se měřené materiály nejvíce vyskytují v nejrůznějších aplikacích, je možné vyhodnotit nejlepším materiál s ohledem na kompromis mezi tepelně-

izolačními a akusticko-izolačními vlastnostmi s významným ekonomickým faktorem materiál dřevotřísku.

Tato práce je malým příspěvkem pro optimalizaci stávajících a navrhování nových řešení, při použitích kladoucích důraz na tepelné a zvukové vlastnosti ve všech technologicko-zpracovatelských aplikacích.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. : Cerm, 2003. 505 s. ISBN 8072041932

[2] KALČÍK, Josef; SÝKORA, Karel. Technická termo-mechanika. Praha: Academia Praha, 1973., 536 s.

[3] VAVERKA, Jiří; CHYBÍK, Josef; MRLÍK, František. Stavební fyzika 2. VUT v Brně: Vutium, 2000. 423 s. ISBN 80-214-1649-1.

[4] Kulhánek F.: Stavební fyzika II. Stavební tepelná technika, ČVUT Praha 2006

[5] Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, ústav nauky o dřevě, [online], dostupné z WWW: <http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/49>

[6] *Wikipedie, otevřená encyklopedie* – „celulóza“, [cit. 2008-05-15], [on-line], Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Celul%C3%B3za>

[7] LYSÝ, František. Nauka o dřevě. Praha 1954: Státní nakl. technické literatury

[8] Dřevo centrum - komplexní informace o dřevě a jeho použití, [online], dostupné z WWW: < http://drevo.celyden.cz/charakteristiky-drevin/>

[9] Fojtů D. : Vyhodnocení měření tepelné vodivosti. Diplomová práce FT UTB 2002, 64 stran.

[10] Stavebnictví a interiér, stavební technika, [online], dostupné z WWW:

<http://www.stavebnictvi3000.cz/vypocty/tepelny-odpor-zdiva/>

[11] Fojtů D. : Vyhodnocení měření tepelné vodivosti. Diplomová práce FT UTB 2002, 64 stran.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\dot{q}$	Měrný tepelný tok ($W.m^{-2}$)
S	Plocha (m^2)
Q	Tepelný tok (W)
T	Teplota (K)
α	Součinitel přestupu tepla ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
ΔT	Gradient teploty
E	Zářivý tok
λ	Součinitel tepelné vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
R	Tepelný odpor ($m^2.K.W^{-1}$)
U	Součinitel prostupu tepla ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
c	Měrná tepelná kapacita ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
a	Součinitel teplotní vodivosti ($m^2.s^{-1}$)
P	Pórovitost (%)
ρ	Hustota ($kg.m^{-3}$)
δ	Tloušťka vzorku (m)
B	Koeficient tepelných ztrát ($J.s^{-1}.K^{-1}$)
τ	Čas (s)
a_3	Parametr nelineární regrese (s^{-1})
K	Tepelná kapacita měřícího válečku ($J.K^{-1}$)
t_1,t_2	Povrchové teploty materiálu nebo stěny (°C)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Tepelný tok jednotkovou plochou 14
Obr. 2. Schematické znázornění průběhu teploty 15
Obr. 3. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě u některých kovů 16
Obr. 4. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě u kapalin 17
Obr. 5. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě některých plynů 18
Obr. 6. Závislost tepelné vodivosti λ na teplotě u izolačních hmot 18
Obr. 7. Závislost tep. vod. λ na teplotě ohnivzdorného materiálu určité pórovitosti 19
Obr. 8 Vzorec celulózy 28
Obr. 9. Blokové schéma měřící aparatury 36
Obr. 10. Materiál překližka 39
Obr. 11. Materiál dřevotříska 40
Obr. 12. Materiál smrkové dřevo 40
Obr. 13. Materiál javorové dřevo 40
Obr. 14. Materiál korek 41
Obr. 15. Materiál papírový karton 41
Obr. 16. Materiál javorové dřevo – 40-ti násobné zvětšení 47
Obr. 17. Materiál dřevotříska – 40-ti násobné zvětšení 47
Obr. 18. Materiál korek – 40-ti násobné zvětšení 47
Obr. 19. Materiál papírový karton – 40-ti násobné zvětšení 48
Obr. 20. Materiál překližka – 40-ti násobné zvětšení 48
Obr. 21. Materiál smrkové dřevo – 40-ti násobné zvětšení 48

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Hodnoty koeficientu teplotní roztažnosti dřeva 23
Tab. 2. Vliv druhu dřeva a vlhkosti dřeva na měrné teplo 24
Tab. 3. Tloušťka, objem, hmotnost a hustota měřených vzorků 41
Tab. 4. Naměřené hodnoty λ a průměrná hodnota λØ 43
Tab. 5. Koeficient tepelné vodivosti, tepelný odpor a teplotní vodivost materiálů 45
Tab. 6. Pórovitost měřených materiálů 46
Tab. 7. Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku měřených materiálů 49

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO MATERIÁL DŘEVOTŘÍSKA

PŘÍLOHA P II: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO MATERIÁL PAPÍROVÝ KOREK

PŘÍLOHA P III: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO PAPÍROVÝ KARTON

PŘÍLOHA P IV: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO SMRKOVÉ DŘEVO

PŘÍLOHA P V: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO MATERIÁL PŘEKLIŽKA

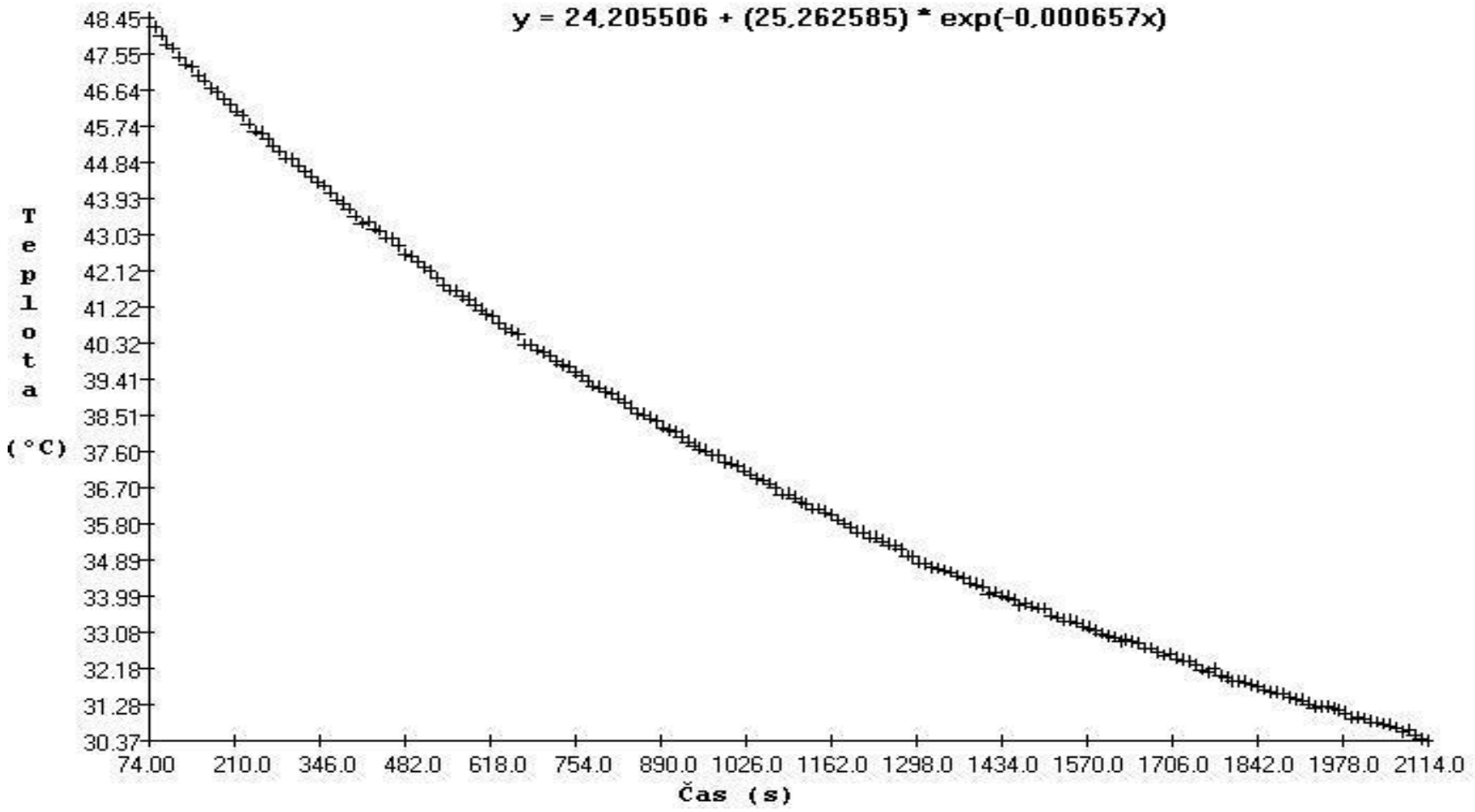
PŘÍLOHA P VI: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO JAVOROVÉ DŘEVO

PŘÍLOHA P VII: ZÁVISLOST TEPELNÉ VODIVOSTI λ NA HUSTOTĚ

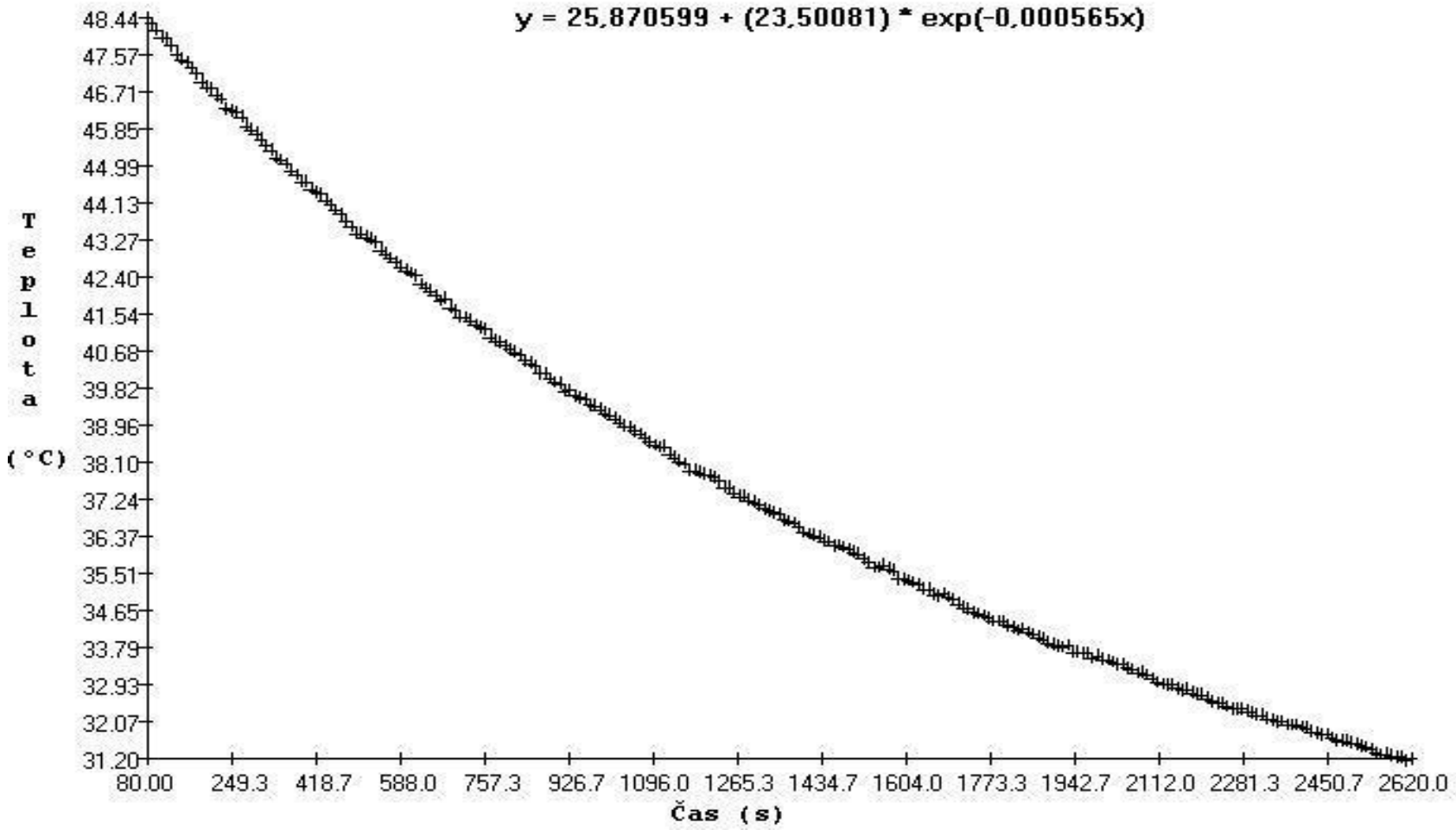
PŘÍLOHA P VIII: ZÁVISLOST TEPELNÉHO ODPORU R NA HUSTOTĚ

PŘÍLOHA P IX: ZÁVISLOST TEPLOTNÍ VODIVOSTI a NA HUSTOTĚ

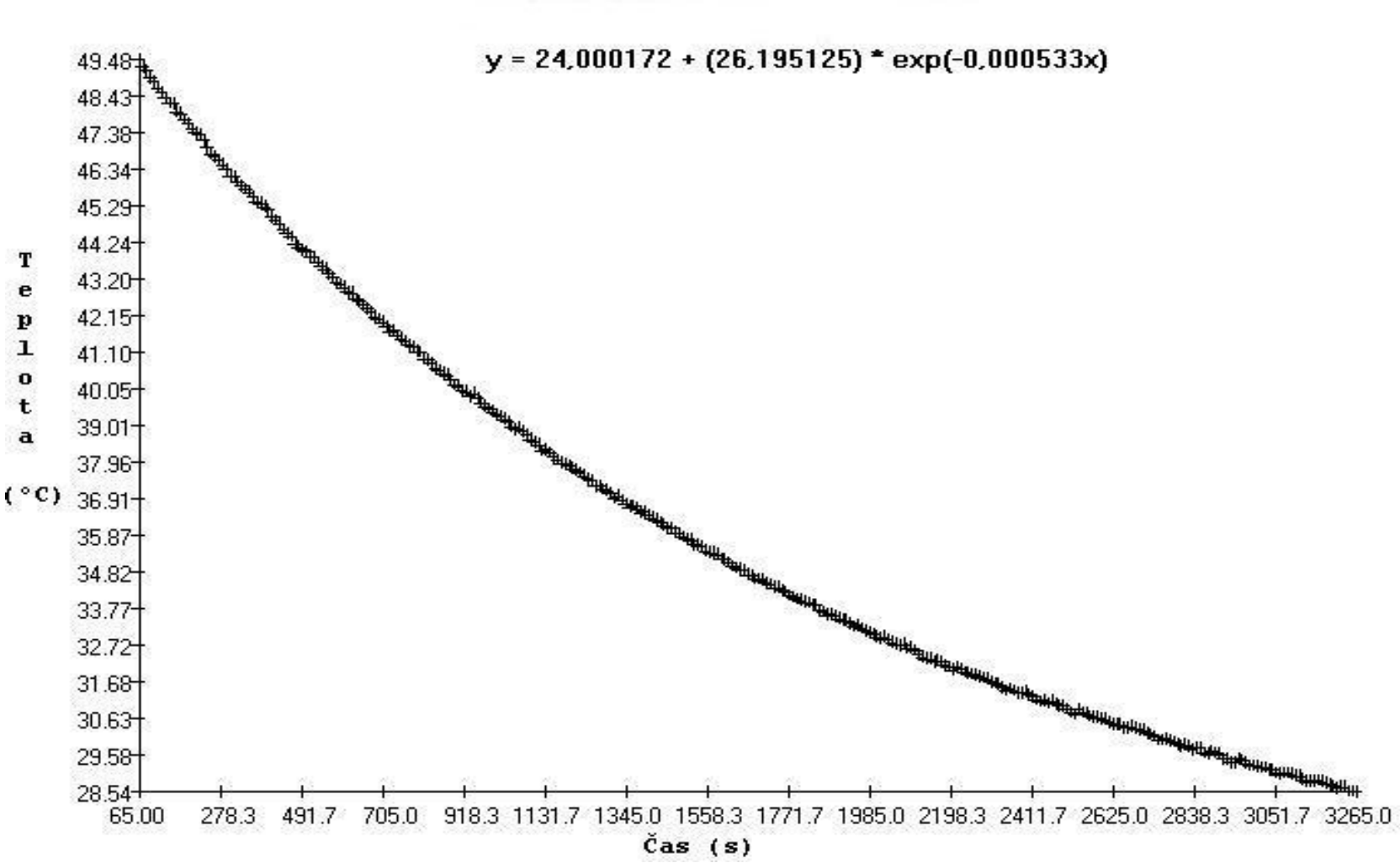
PŘÍLOHA P I: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO MATERIÁL DŘEVOTŘÍSKA



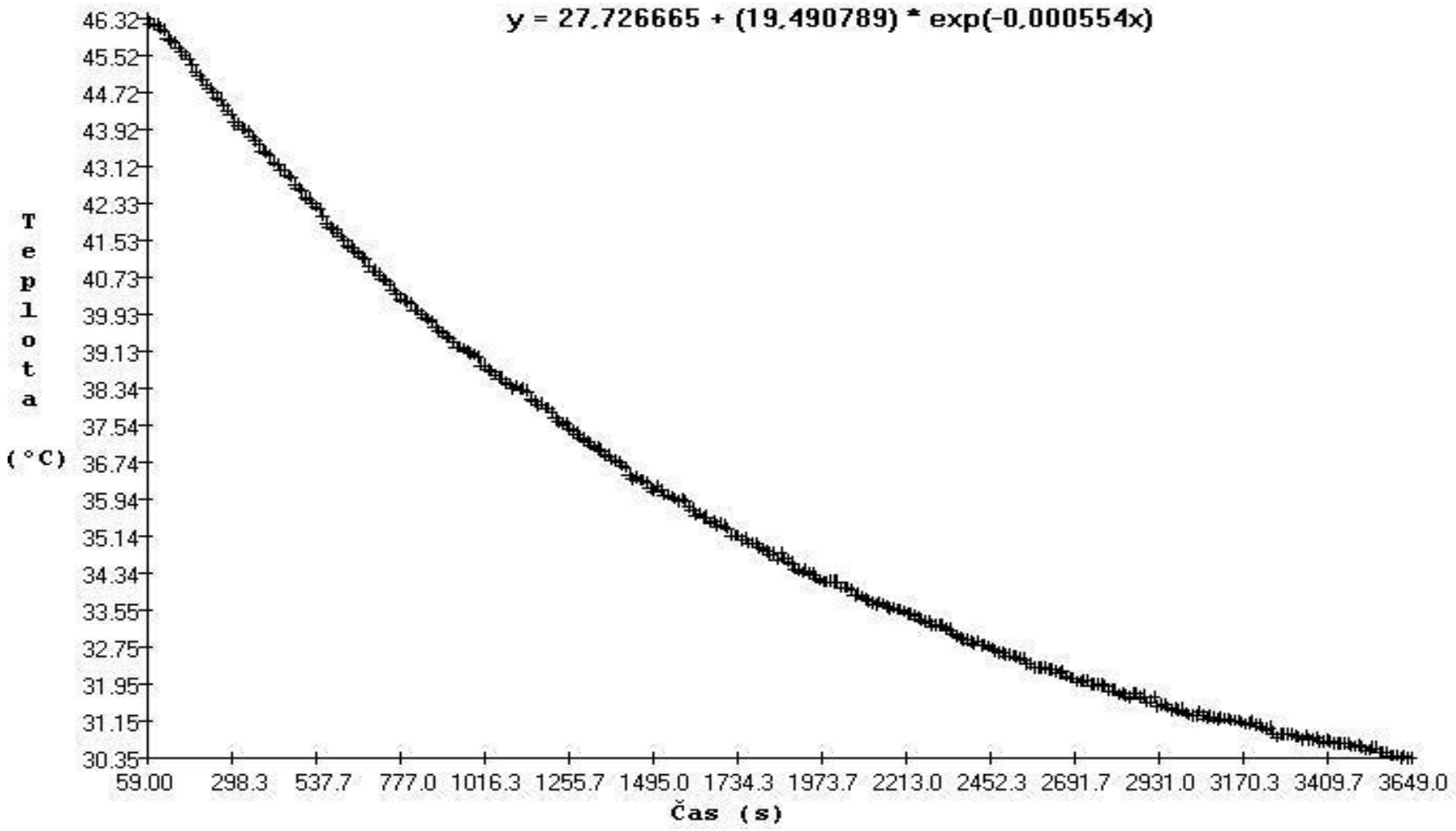
PŘÍLOHA P II: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO MATERIÁL PAPÍROVÝ KOREK



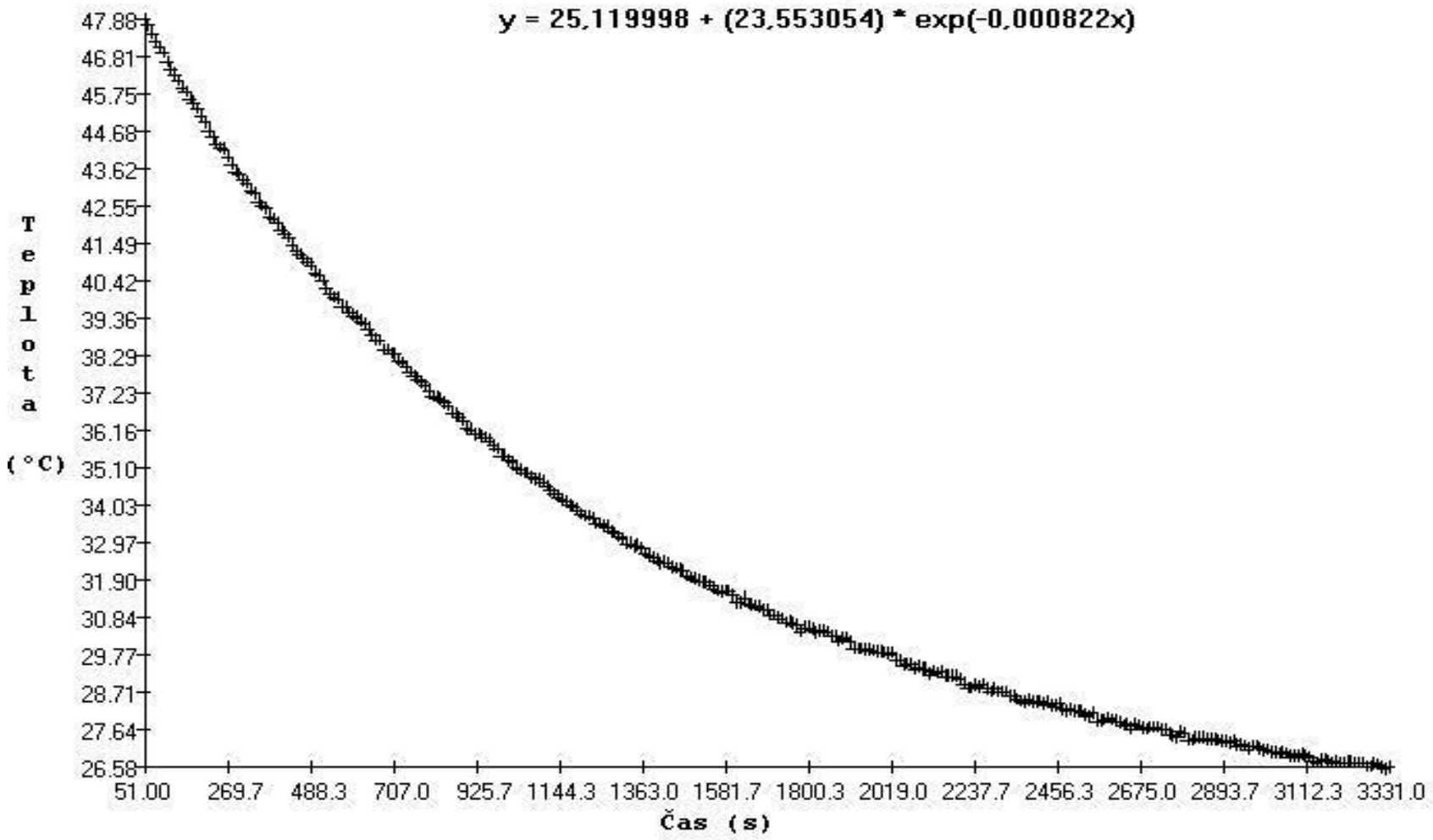
PŘÍLOHA P III: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO PAPÍROVÝ KARTON



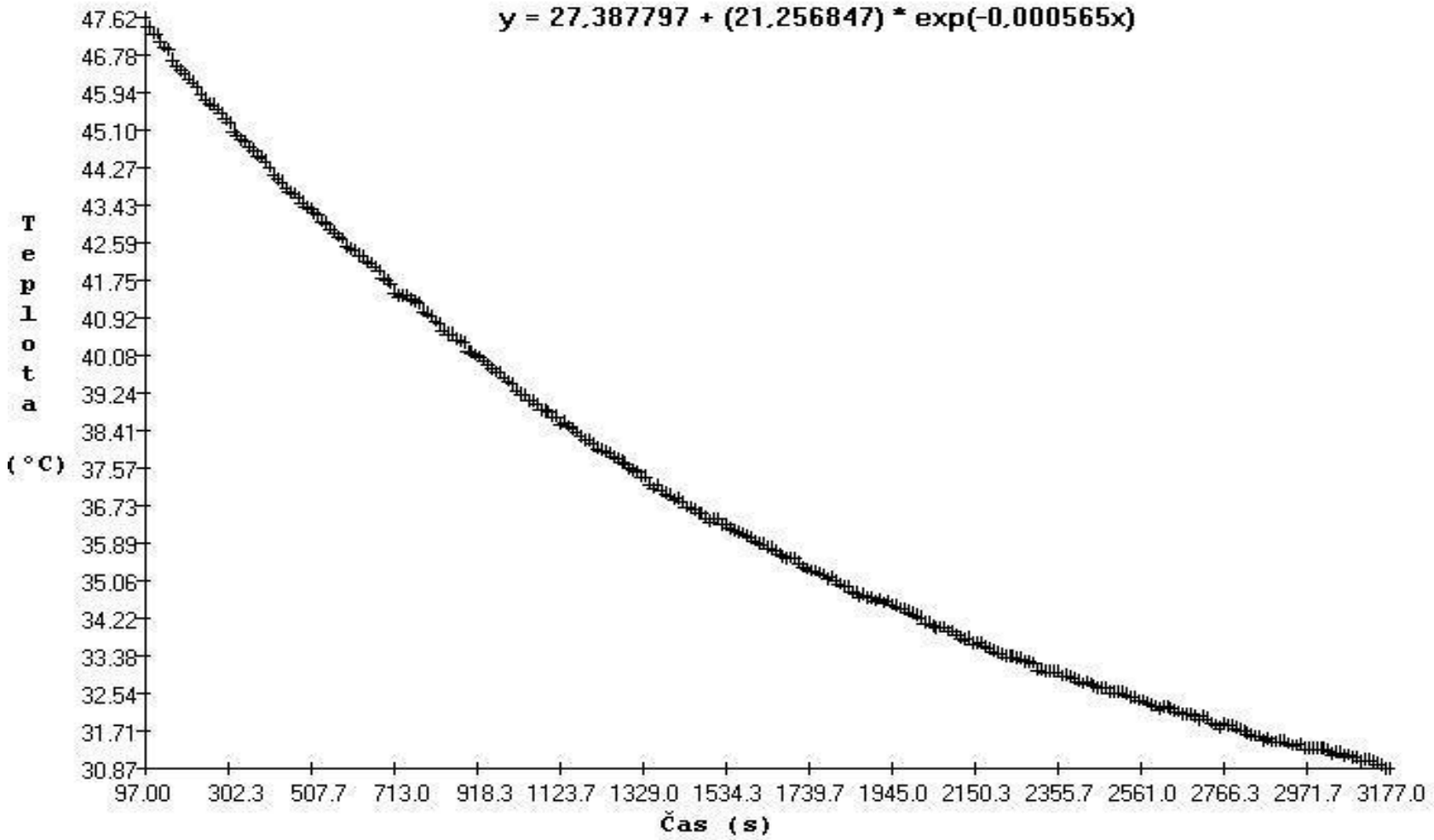
PŘÍLOHA P IV: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO SMRKOVÉ DŘEVO



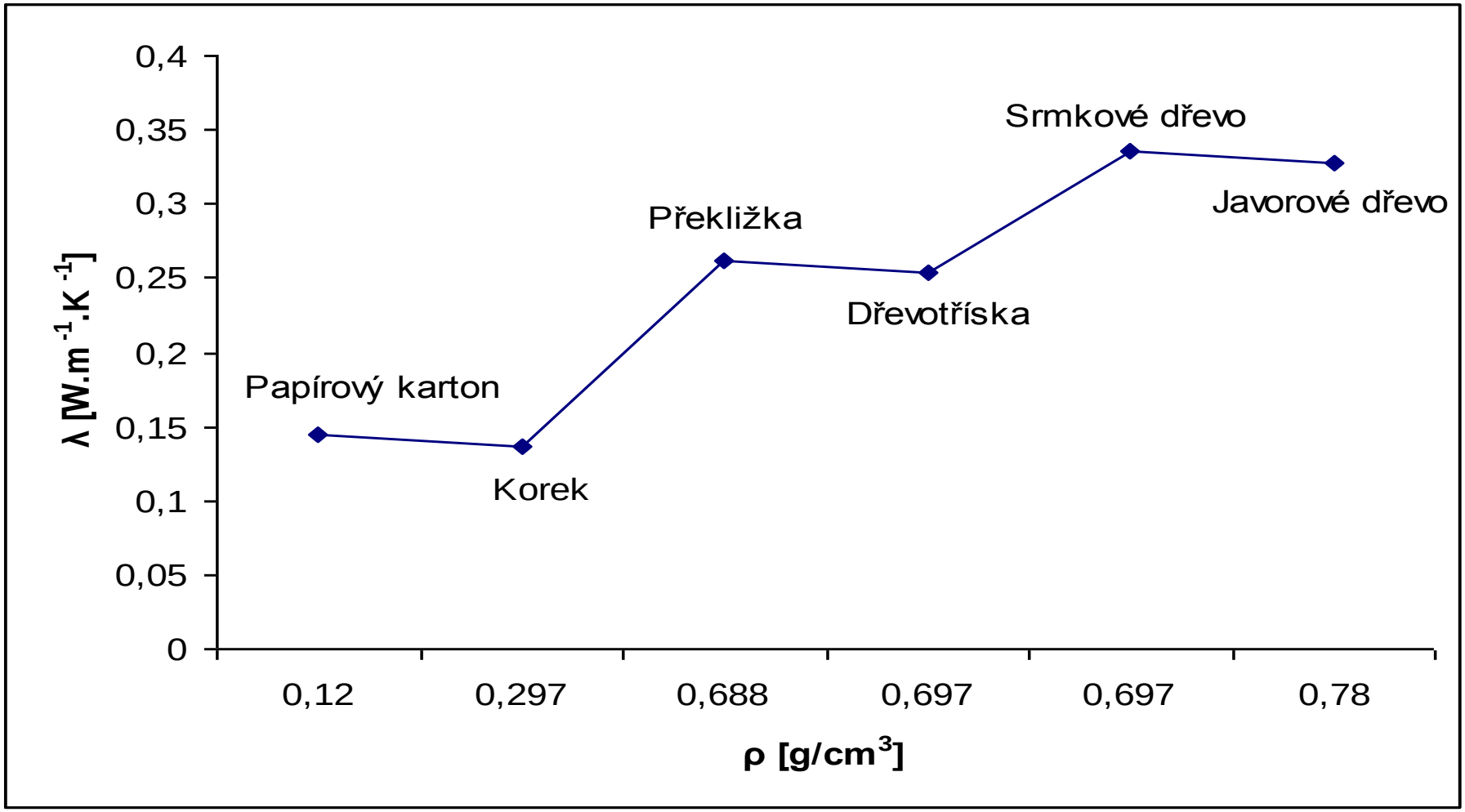
PŘÍLOHA P V: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO MATERIÁL PŘEKLIŽKA



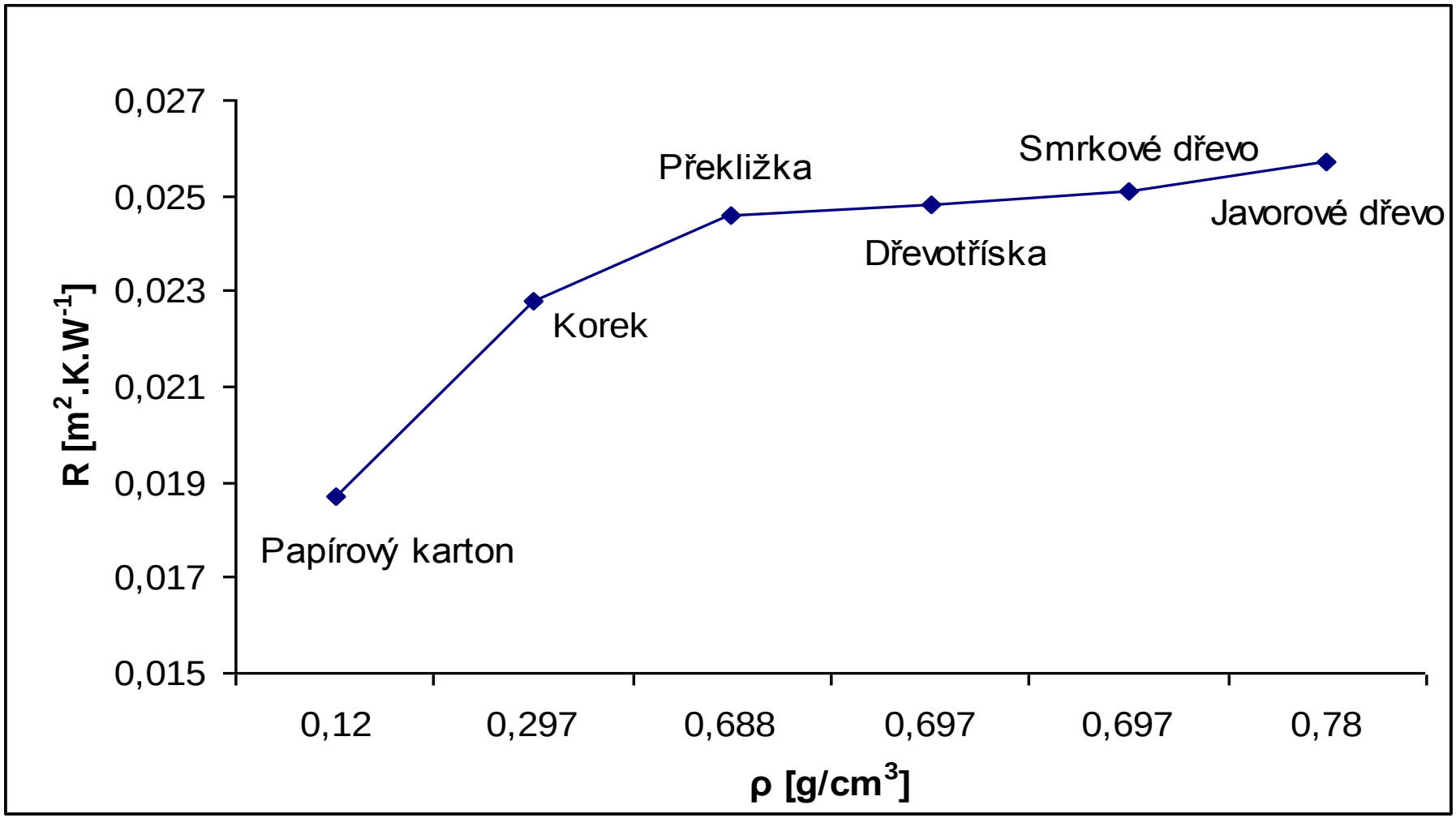
PŘÍLOHA P VI: ZÁVISTOST TEPLOTY NA ČASE PRO JAVOROVÉ DŘEVO



PŘÍLOHA P VII: ZÁVISLOST TEPELNÉ VODIVOSTI λ NA HUSTOTĚ



PŘÍLOHA P VIII: ZÁVISLOST TEPELNÉHO ODPORU R NA HUSTOTĚ



PŘÍLOHA P IX: ZÁVISLOST TEPLOTNÍ VODIVOSTI a NA HUSTOTĚ