

Měření tepelné vodivosti polymerních materiálů

Bc.Křenková Petra

Diplomová práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petra KŘENKOVÁ**

Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Technologie a management**

Téma práce: **Měření tepelné vodivosti polymerních materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. **Metody měření tepelné vodivosti**
2. **Závislost tepelné vodivosti polymerních materiálů na jejich vlhkosti**
3. **Měření tepelné vodivosti nestacionární metodou podle Fitche**
4. **Diskuse naměřených výsledků**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Zachová, B.: Studium tepelně izolačních vlastností obuvnických materiálů. Disertační práce, fakulta technologická, UTB ve Zlíně, Zlín 2006.
2. Kuneš, J.: Modelování tepelných procesů. SNTL, Praha 1989.
3. Míka, V.: Základy chemického inženýrství. SNTL, Praha 1981.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Antonín Blaha, CSc.**
Ústav inženýrství polymerů


Datum zadání diplomové práce: **11. února 2008**

Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2008**

Ve Zlíně dne 11. února 2008


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




Ing. Roman Čermák, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato diplomová práce se zaměřuje na studium tepelně izolačních vlastností přírodních polymerních materiálů. Pozornost je soustředěna na závislost tepelné vodivosti na vlhkosti usňových materiálů sloužících na výrobu svršku obuvi. Jsou popsány metody měření tepelné vodivosti plošných polymerních materiálů. Na základě naměřených a vypočítaných hodnot měřených vzorků lze ukázat závislost tepelné vodivosti na hustotě materiálu a jeho zbotnání. K určení výsledné tepelné vodivosti kompozitního materiálu jsou používány matematické modely závislosti tepelné vodivosti na složení a struktuře kompozitu.

Klíčová slova: tepelná vodivost, vlhkost, hustota, zbotnání, matematické modely, Fitchův přístroj, přírodní kompozitní materiál

ABSTRACT

Abstrakt anglicky

This thesis focuses on the study of heat-insulating properties of natural polymeric materials. It's fixated on dependence of thermal conductivity on moisture of leather used for production of vamps.

Methods for measuring of thermal conductivity of sheet polymeric materials are described here. Dependence of thermal conductivity on density and swelling of the material can be demonstrated through measured and calculated values of samples. Mathematical models proving dependence of the thermal conductivity on composition and structure of the composite are used for determination of final thermal conductivity of the composite material.

Keywords: thermal conductivity, moisture, density, swell up, mathematical models, Fitch's device, natural composite material

Dovolte, abych poděkovala především vedoucímu mojí diplomové práce Doc. Ing. Antonínu Blahovi, CSc za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval při zadání a vypracování diplomové práce. Dále svému bratrově Mgr. Liboru Zezulkoví a Pavlovi Vojtěškovi za konkrétní rady a doporučení. Děkuji i všem ostatním, kteří se mnou měli dostatek trpělivosti.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uvedena jako spoluautorka.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 20. 05. 2008

.....

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 MECHANISMY SDÍLENÍ TEPLA	10
1.1 SDÍLENÍ TEPLA VEDENÍM (KONDUKČÍ):	10
1.2 SDÍLENÍ TEPLA PROUDĚNÍM.....	11
1.3 SDÍLENÍ TEPLA SÁLÁNÍM	11
2 ZÁKLADNÍ POJMY V MECHANISMECH SDÍLENÍ TEPLA	13
2.1 MĚRNÉ TEPLO	13
2.2 FOURIERŮV ZÁKON	14
2.3 TEPELNÁ VODIVOST	14
2.4 TEPLOTNÍ VODIVOST	15
2.5 TEPELNÝ ODPOR	15
2.6 ZÁVISLOST TEPELNÉ VODIVOSTI MATERIÁLŮ NA JEJICH HUSTOTĚ	16
2.7 KOMFORT PŘI NOŠENÍ OBUVI.....	16
2.7.1 Mikroklima v obuvi	17
2.7.2 Teplotní poměry v obuvi	17
2.7.3 Vlhkostní poměry v obuvi	17
2.7.4 Teplotně – vlhkostní poměry v obuvi	19
2.7.5 Sdílení tepla v obuvi	19
3 KOMPOZITY	21
3.1 MATRICE	21
3.2 VÝZTUŽ	22
3.3 DĚLENÍ KOMPOZITŮ	22
3.3.1 Částicové kompozity	23
3.3.2 Vlákňové kompozity.....	23
3.3.3 Technologie výroby kompozitů a jejich použití	24
3.4 VÝPOČET EFEKTIVNÍ TEPELNÉ VODIVOSTI	24
4 KŮŽE	26
4.1 KŮŽE A USEŇ	27
4.2 HISTOLOGICKÁ STAVBA KŮŽÍ.....	28
4.2.1 Struktura kůže.....	30
4.2.2 Chemické složení kůže	30
4.3 HOVĚZINY	31
4.3.1 Teorie činění	34
4.3.2 Chromočinění	34
4.3.3 Štípání.....	35
4.4 VODA V USNÍ	36
5 MATEMATICKÉ MODELÝ	38
5.1.1 Nepřímé matematické modelování	38

5.1.2	Přímé matematické modelování	38
5.1.3	Modely sloužící k odhadnutí tepelné vodivosti pro kompozity plněné vlákny	39
6	ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI.....	40
6.1	STACIONÁRNÍ MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI	40
6.1.1	Přístroj podle Bocka	40
6.1.2	Deskový přístroj podle Poensgena.....	43
6.2	NESTACIONÁRNÍ MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI	43
6.2.1	Měření na přístroji podle Fitcha	44
6.2.2	Měření na přístroji Alambeta.....	45
7	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	47
II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
8	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	49
8.1	PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ A POUŽITÍ POMŮCKY	49
8.2	MĚŘENÉ MATERIÁLY	49
8.3	METODY MĚŘENÍ	50
8.3.1	Měření hmotnosti.....	50
8.3.2	Měření tloušťky vzorku	50
8.3.3	Měření tepelné vodivosti nestacionární metodou	51
8.3.3.1	Popis měřícího zařízení	51
8.3.4	Měřící software	53
8.3.5	Princip měření.....	53
8.3.6	Výpočet tepelné vodivosti pomocí programu NeReg02.....	55
8.3.7	Matematický model měření na Fitchově přístroji.....	57
8.3.8	Matematické modely vedení tepla obuvnických materiálů v závislosti na vlhkosti	58
8.3.9	Matematické modely vedení tepla pro měřené vzorky hovězinové štípenky	60
8.3.9.1	Přímé matematické modelování pro vzorky hovězinové štípenky.....	60
8.3.9.2	Nepřímé matematické modelování pro vzorky hovězinové štípenky	62
8.4	VLASTNÍ MĚŘENÍ	64
8.4.1	Příprava vzorků.....	64
8.4.2	Podmínky měření.....	64
8.4.3	Měření slepého pokusu	65
8.4.4	Naměřené a vypočítané hodnoty pro vzorek č. 1	66
8.4.4.1	Závislost hustoty, zbotnění a vlhkosti na tepelné vodivosti pro vzorek č. 1	68
8.4.5	Vyhodnocení matematického modelu pro vzorek č.1	70
8.4.6	Komplexně naměřený vzorek hovězinové štípenky č. 2	73
8.4.6.1	Závislost hustoty, zbotnění a vlhkosti na tepelné vodivosti pro vzorek č. 2	74
8.4.7	Vyhodnocení matematického modelu pro vzorek č. 2	76
	DISKUZE.....	79
	ZÁVĚR.....	82
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	88
	SEZNAM TABULEK	89

ÚVOD

Mezi přírodní kompozitní materiály se řadí přírodní polymerní materiály, které se používají pro výrobu svršků obuvi. Přírodní svrškové usně se vyznačují vlastnostmi, které se zatím nepodařilo zcela napodobit. Na svršky obuvi se nejčastěji používají usně z hovězího dobytka, čili hověžiny.

Úkolem obuvi je, aby byla zdravotně nezávadná, pohodlná, cenově dostupná, moderní. Všechny tyto faktory můžeme shrnout pod pojmem kvalitní obuv. Kvalita obuvi je ovlivňována materiálem, který pro výrobu použijeme. V současnosti je k dispozici velké množství přírodních, ale i syntetických materiálů. Přírodní materiály - usně, symbolizují vysoký standard z hlediska zdravotního, fyzikálního i módního. Usně mají oproti syntetickým materiálům lepší vlastnosti pro vytvoření nezávadného mikroklimatu. Dále mají lepší fyzikálně- mechanické vlastnosti.

Tepelně izolační vlastnosti obuvi mají vliv na volbu materiálu při konstrukci obuvi. Izolační vlastnosti obuvi závisí na její struktuře, tloušťce materiálu a počtu vrstev. Tepelně izolační vlastnosti se nejčastěji hodnotí podle koeficientu tepelné vodivosti. Tepelná vodivost je jednou z fyzikálních vlastností látek a charakterizuje schopnost látky vést teplo.

Tepelná vodivost je měřena za ustáleného (stacionárního) nebo neustáleného (nestacionárního) stavu.

Diplomová práce pojednává o měření tepelné vodivosti přírodního kompozitu - usně, nestacionární metodou.

Tato práce se zaměřuje na studium tepelně izolačních vlastností svrškových obuvnických materiálů měřením tepelné vodivosti při laboratorních podmínkách a s přibývajícím vlhkostí.

Důležité je pochopit závislost tepelné vodivosti materiálů na jejich hustotě, když se mění jejich vlhkost. Tuto závislost je potom možné vyhodnotit pomocí přímého matematického modelování.

Důležité je prezentovat data v takové formě, aby šla v budoucnu vyjádřit souvislost také podle nepřímého matematického modelování tak, aby se určil pohled na vzájemné působení struktury a tepelné vodivosti materiálu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MECHANISMY SDÍLENÍ TEPLA

Mechanismy sdílení tepla jsou:

- vedením (kondukcí)
- prouděním (konvekcí)
- sáláním (radiací)

1.1 Sdílení tepla vedením (kondukcí):

Vedení tepla je šíření mechanických forem energie mikroskopického pohybu částic hmoty. Vyskytuje se zejména u pevných těles, pokud v nich existuje rozdíl teplot, čili teplotní gradient, ale také u tekutin (kapalin a plynů) za předpokladu, že je můžeme makroskopicky uvažovat v klidu. Molekuly a elektrony mají v místě s vyšší teplotou vyšší kinetickou energii než v místě s nižší teplotou. Nakolik se kinetická energie přenáší z molekuly na molekulu a nebo z elektronu na elektron, závisí tento proces do vysoké míry na vlastnostech prostředí, ve kterém se teplo vede [1].

Vedení tepla se týká pevných, kapalných a také plynných látek. Snižování tlaku v plynech vede k oddalování molekul a ke zvyšování odporu proti vedení tepla. Plyny, nejvíce při nízkém tlaku, jsou špatnými vodiči tepla. Také některé pevné látky jsou špatnými vodiči tepla, proto se používají k tepelné izolaci zařízení. Volné a vysoce pohyblivé elektrony kovových jejich pohyblivostí dochází k přenosu energie také pohybem tekutiny.

Tepelná vodivost λ je vlastnost, která se vyskytuje při řešení problémů sdílení tepla. Zákon, který definuje tepelnou vodivost plynu, kapalin nebo pevných látek, se nazývá Fourierův zákon vedení tepla [3].

1.2 Sdílení tepla prouděním

Při proudění tekutin je teplo přenášeno kombinací: vedením od částice k částici a dále mechanickým přemístováním jednotlivých částic. Intenzita předávání tepla konvekcí závisí na charakteru proudění tekutin.

Proudění tekutin při sdílení tepla je buď volné, nebo nucené. Volné proudění je vyvoláno pouze rozdílem hustot (vlivem rozdílu teplot) u teplosměnné plochy (plochy tepelné výměny) a jádra tekutiny. Je-li tekutina v systému „donucena“ k toku kolem teplosměnné plochy jinak než pouze rozdílem teplot (např. rozdílem koncentrací, rozdílem tlaků, nebo samospádem v trubce) jde o tzv. nucenou konvekci [1,2].

Z jádra tekutiny se energie na rozhraní s laminární podvrstvou přenáší nejen vedením tepla, ale především pohybem tekutiny. Turbulentní fluktuace rychlostí v jádru tekutin zvyšují intenzitu přenosu energie. V laminární podvrstvě se přenáší energie pouze ve formě vedení tepla. Celý tento mechanismus se nazývá sdílení tepla prouděním.

Povaha děje bývá většinou tak složitá, že pro něj nejsou teoreticky odvozené rovnice a jsme odkázáni na vztahy vzniklé vyhodnocením pokusných údajů. Významná jsou bezrozměrná kritéria např. Péceletovo, které udává poměr konvekčního a konduktivního přenosu tepla při proudění tekutin [3].

1.3 Sdílení tepla sáláním

Tímto způsobem se teplo sdílí jako elektromagnetické vlnění. Není potřeba hmotné prostředí, ale je podmíněno existencí rozdílu teplot. Elektromagnetické vlny přijímá a vysílá každé těleso. Tento děj bývá označován jako tok tepla. V tělese, které vyzařuje (emitor), dojde k přeměně vnitřní energie na radiační. Opačný proces nastává u druhého tělesa, které pohlcuje (absorbuje) část radiační energie, která dopadne na jeho povrch a přemění ji na vnitřní energii (absorbovaná radiační energie). Aby k tomuto přenosu radiační energie z jednoho tělesa na druhé těleso mohlo dojít, musí být mezi dvěma tělesy prostředí, které propouští záření. Takové prostředí se označuje jako transparentní [4].

Celkový tok zářivé energie na těleso E může být z části odražen jako tok E_r (reflexe), z části pohlcen jako tok E_a (absorpce) a zčásti propuštěn jako tok E_t (transparence).

$$E = E_r + E_a + E_t \quad (1)$$

Podílem z celkové zářivé energie jsou určeny relativní míry jednotlivých toků. Sdílením tepla sáláním se využívá při vysokoteplotních procesech, například při vysokoteplotních procesech. Velmi často převažuje jeden mechanismus nad ostatními. Potom můžeme při výpočtech brát v úvahu jen dominantní mechanismus a ostatní zanedbat. Pokud není možné předpokládat, že dominantní je pouze jeden proces, musíme uvažovat o složeném sdílení tepla [3,6].

2 ZÁKLADNÍ POJMY V MECHANISMECH SDÍLENÍ TEPLA

Pokud budeme charakterizovat tepelné vlastnosti, je nutné zmínit materiálové konstanty jako je měrné teplo, tepelná vodivost, teplotní vodivost, měrné teplo, tepelný odpor.

Mechanismus sdílení tepla vedením je popsán Fourierovým zákonem, z něho dále pochopíme definici tepelné vodivosti materiálů, která je důležitým parametrem při posuzování vlastností látek [6].

2.1 Měrné teplo

Měrné teplo c při teplotě t je množství tepla dQ v Joulech, kterým se teplota hmoty zvýší o 1°C , vztaženo na jednotku hmoty m (1 kg).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (2)$$

Vzhledem k tomu, že se měrné teplo mění s teplotou, uvádí se, pro jaký rozsah teplot naměřená hodnota platí. U plastických hmot, které podržují určité procento vlhkosti, je nutno vzorky nejdříve vysušit.

Měření měrného tepla se provádí pomocí kalorimetru. Kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba, do které vložíme zkoumanou látku a této látce dodáme známé množství tepla dQ . Pokud nedojde při dodání tepla v kalorimetru k žádanému jinému ději, (tím jsou myšleny fázové přeměny a chemické reakce) než k postupnému oteplování zkoumané látky, je možno ze vztahu (2) vyjádřit měrné teplo c .

Vztah (2) popisuje ideální případ,[5]. kdy všechno teplo dQ přechází na látku, kterou zkoumáme při kalorimetrickém měření. Jistou část tepla spotřebuje prostředí nacházející se okolo kalorimetru, protože tepelná izolace kalorimetru není zcela ideálně adiabatická. Další část tepla, jež bylo přivedeno na kalorimetru, je spotřebována na ohřev jeho součástí tj. míchadlo, teploměr, nádoba [1,6].

Spotřebované množství tepla na ohřev kalorimetru nejlépe vystihneme pomocí tepelné kapacity kalorimetru. Označujeme ji K ($\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$).

Tepelná kapacita je určena podmínkami, ve kterých se soustava nachází v okamžiku, kdy její dodávané teplo dále závisí na typu látek v soustavě a na její hmotě. Přesnost měření tepelné kapacity při použití kvalitních přístrojů je 0,05% [13,24].

2.2 Fourierův zákon

Základním kvantitativním vztahem pro sdílení tepla vedením je Fourierův zákon vedení tepla

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \nabla T \quad (3),$$

kde \mathbf{q} je vektor hustoty tepelného toku ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$)

∇T - gradient teploty ($\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$)

λ - tepelná vodivost ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

∇ - Hamiltonův operátor

Jedná se o trojrozměrný tvar Fourierova zákona. Říká, že vektor hustoty tepelného toku \mathbf{q} je úměrný gradientu teploty ∇T [3,13].

2.3 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost λ je vlastnost, která se vyskytuje ve většině problémů sdílení tepla. Tepelná vodivost je jednou z fyzikálních vlastností látek. Charakterizuje schopnost látky vést teplo. Lze ji chápat jako množství tepla, které projde za časovou jednotku jednotkovou plochou při jednotkovém teplotním spádu [3,4]. Je definována Fourierovým zákonem (3).

- tepelná vodivost látek závisí na těchto faktorech:
 - na struktuře látek
 - měrné hmotnosti
 - tlaku
 - vlhkosti
 - elektrickém a magnetickém poli
 - teplotě

S rostoucí teplotou teplotní vodivost klesá. Tepelná vodivost různých materiálů se značně liší. Nejvyšší tepelnou vodivost mají kovy, čehož se využívá při topení nebo chlazení [10,7] – od cca 300 W/m.K, pro měď až po nikl – 15 W/m.K. Tepelná vodivost stavebních materiálů a keramiky je relativně nízká – od 0,3 do 2 W/m [8]. Polymery všeobecně vykazují ještě nižší tepelnou vodivost ležící v intervalu 0,2 – 0,4 W/m.K [2]. Klidný vzduch při teplotě 20 °C má tepelnou vodivost 0,026 W/m.K, zatímco tepelná vodivost vody je 0,6 W/m.K, tj. asi 25x vyšší [2,3].

2.4 Teplotní vodivost

Teplotní vodivost je významná z hlediska fyzikálního, protože vyjadřuje tepelné vlastnosti soustavy. Udává rychlost změny teploty tělesa a rychlost změny jeho tepelného obsahu. V čitateli rovnice (4) se nachází tepelná vodivost λ a ve jmenovateli součin tepla $c \cdot \rho$. Ten představuje tepelnou kapacitu jednotkového objemu látky [6,13].

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (4)$$

kde a je součinitel teplotní vodivosti

λ - tepelná vodivost (W. m⁻¹.K⁻¹)

c - měrné teplo

ρ - hustota měřené látky (kg.m⁻³)

2.5 Tepelný odpor

Tepelný odpor materiálu je schopnost materiálu zadržet teplo, tedy vyjadřuje schopnost materiálu tepelně izolovat dvě prostředí. Tepelný odpor je závislý na tloušťce materiálu a tepelné vodivosti. Je dán podílem tloušťky vzorku a tepelné vodivosti. Udává se v jednotkách m².K/W, má rozměr m²K/W. Udává jak velká plocha je nutná k přenosu tepla o hodnotě 1 watt při rozdílu teploty 1 kelvin [7,27].

2.6 Závislost tepelné vodivosti materiálů na jejich hustotě

Hustota materiálů se počítá podle vzorce

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Kde ρ je hustota materiálu [kg/m^3]

m - hmotnost materiálu (kg) , zjišťujeme ji vážením

V - objem materiálu (m^3)

Hustotu materiálu můžeme brát jako kritérium při porovnávání tepelné vodivosti. Materiály s tepelnou vodivostí v rozmezí od 0,03 do 0,08 W/mK vykazují přibližně lineárně rostoucí trend [8,11].

Materiály s nízkou hustotou, tzn. lehké, mají tepelnou vodivost kolem 0,04 W/mK. Materiály s vyšší hustotou, tzn. těžší, mají tepelnou vodivost kolem hodnoty 0,08 W/mK.

S rostoucí hustotou tepelná vodivost materiálu roste. To znamená, že čím má materiál vyšší hustotu, tím je horším izolátorem tepla [13].

Dobrymi tepelnými izolátory jsou tedy vrchové hověziny s nízkou hustotou. Za horší izolátory lze považovat materiály s vyšší hustotou, tedy některé druhy hovězin, ségl nebo úplet [15].

2.7 Komfort při nošení obuvi

Při nakupování a obouvání obuvi chceme mít komfort pro svoje nohy. Tento pojem je ale problematické definovat, protože každý z nás má o komfortu jinou představu. Pro někoho je na prvním místě pohodlí, jiní preferují vzhled boty. Snad nejpečlivěji vybírají boty maminky pro své děti. Dětská obuv musí splňovat přísná kritéria. Vše je kontrolováno příslušnými úřady .

Z výzkumu veřejného mínění vyplývá, že nejdůležitějšími faktory komfortu při nošení obuvi jsou pohodlí, ochrana před nástrahami okolního prostředí, ochrana před chladem, horkem, hrubými a drsnými povrchy a nízká hmotnost obuvi. V obuvi by neměl

vznikat diskomfort působením tlaku, omezování pohybu, nedostatečná tepelná izolace, nedostatečná sorpce vlhkosti a prodyšnost [11,16].

2.7.1 Mikroklima v obuvi

Závažnou příčinou diskomfortu obutí, je problém mikroklimatu v nošené obuvi, především v obuvi uzavřených střihů, který je možno definovat ve smyslu teplotních a vlhkostních poměrů ve vnitřním prostoru obuvi [15].

2.7.2 Teplotní poměry v obuvi

Přirozená teplota povrchu nohy je na různých místech nohy různá. Nejnižší teplotu má oblast paty a prstů, nejvyšší nártní část nohy. V obuvi se však v závislosti na venkovní teplotě a materiálu svršku může zvýšit až na 50°C, přičemž pocit pohodlí v obuvi se při teplotě nad 35°C ztrácí. Optimální teplota v obuvi je zajištěna obvykle v teplotním pásmu od 20°C do 34°C. Pro optimální teplotní komfort pro nohu se uvádí rozsah teplot od 28°C do 32°C. Na základě studia teplotního režimu nohou bylo zjištěno, že pokles teploty nohou pod 20°C lze hodnotit již jako tepelný diskomfort. Subjektivní pocit chladu na nohou až při teplotách nižších než 20°C souvisí s menším počtem chladových receptorů a receptorů na teplo na nohou ve srovnání s jinými částmi těla např. obličejem. [11, 16].

Výdejem a tvorbou tepla je zajištěna stálost tělesné teploty. Výdej tepla označujeme jako fyzikální termoregulaci a tvorbu tepla jako chemickou termoregulaci. Výdej tepla závisí na spádu teploty- teplotním gradientem mezi kůží a zevním prostředím. Zvětšením nebo zmenšením přívodu teplé krve z vnitřku těla do kůže zvětší nebo zmenší organismus tepelný spád mezi kůží a zevním prostředím [15,17].

Tepelné záření je podstatný faktor pro výdej tělesného tepla při klidu, zatímco při vyšší teplotě okolí nebo při tělesné práci má větší význam pro termoregulaci vypařování potu. Při odvodu tepla z obuvi je převažujícím mechanismem přestup tepla vedením, který se uskutečňuje spíše svrškem obuvi, než jejími spodkovými dílci, které vzhledem k větší tloušťce a svému složení vykazují větší tepelný odpor [20].

2.7.3 Vlhkostní poměry v obuvi

Abychom mohli stanovit hygienické vlastnosti nošené obuvi, je nutno znát průměrnou produkci potu nohou. Tyto hodnoty jsou 3 g/h pro celou plochu jedné obuté

nohy za vyloučení fyzické námahy, dále 5 g/h při mírné fyzické námaze a 15 g/h při zvýšené fyzické námaze (tj. množství jedné polévkové lžice). Vylučování vody pokožkou lidského těla se děje dvěma způsoby- senzibilním a nesenzibilním pocením. Nesenzibilním pocením označujeme prostou difúzi. Jedná se o část vlhkosti, kterou vyloučí organismus. Probíhá nepřetržitě a jeho charakteristickým znakem je, že pokožka lidského těla zůstává na omak suchá [11,19].

Senzibilní pocení se projevuje při fyzické námaze a psychické zátěži a to hlavně na dlaních, ploskách chodidel, částečně v podpažních jamkách [18].

Hlavním zdrojem vlhkosti v botě je ploska nohy. Všeobecně se předpokládá, že relativní vlhkost uvnitř obuvi se blíží 100 %. Měřením relativní vlhkosti v obuvi při subjektivním hodnocení pocitu přílišné vlhkosti a tepla se potvrdilo, že pokud relativní vlhkost nepřesahuje 90% pak je možno ještě tuto hodnotu považovat z hlediska komfortu za přijatelnou. [16,17].

Za správné mikroklima v obuvi odpovídají v podstatě tři základní faktory:

- *hydrofilní vlastnosti materiálů* – sorpce.- je považována za nejdůležitější mechanismus ve smyslu odstraňování vlhkosti z vnitřního prostoru obuté nohy. Tímto mechanismem lze z obuvi odstranit až 50% vlhkosti. Pro udržení svěžesti nohou je nutné udržovat nohy v co nejsušším prostředí. Dobrý svrškový materiál tedy musí být schopen absorbovat vlhkost (pot) [18].
- *tepelně- izolační vlastnosti materiálů* mají vliv na volbu materiálu při konstrukci výrobku.
- *prodyšnost* (propustnost materiálu pro vzduch, plyny a vodní páru) se může uplatňovat u svrškových a podšívkových materiálů. Jedná se o volné propouštění vlhkosti volnými prostory pórů v materiálu, čímž se odstraní 10 – 15% vlhkosti z obuvi.

2.7.4 Teplotně – vlhkostní poměry v obuvi

Sdílení tepla a vlhkosti v obuvi jsou jevy, které nelze od sebe oddělit. Je nutné uvažovat o jejich současném působení. Obutá noha je prakticky permanentním zdrojem vlhkosti a tepla, které musí být přijatelnou rychlostí z obuvi odváděny, pokud nechceme, aby docházelo k nepříjemným pocitům a zdravotním komplikacím. Menší schopnost materiálů transportovat vlhkost vylučovanou obutou nohou má za následek nárůst relativní vlhkosti ve vnitřním prostoru nošené obuvi.[18,21].

Při nižších teplotách okolí může nárůst relativní vlhkosti snadno vyústit v kondenzaci vlhkosti v porézní struktuře materiálů vnitřního vybavení obuvi i materiálů svrškových. Tím dojde i k prudkému nárůstu tepelné vodivosti materiálu, který uživatel obvykle pociťuje jako subjektivní pocit chladu. Dlouhodobé zvýšení tepelné vodivosti nad přijatelnou mez vede k podchlazení obuté nohy a k poškození dolních končetin. [19].

Při vysokých teplotách a relativní vlhkosti v nošené obuvi naopak pociťují uživatelé pálení nohou[8,11].. Za takových podmínek ve vnitřním prostoru obuvi rohovitá vrstva pokožky přebotnává a stimuluje růst mikroorganismů, které běžně vegetují na pokožce lidského těla.

Vedle nepříjemného subjektivního pocitu diskomfortu tento stav může vést ke vzniku nejrůznějších plísňových onemocnění nohou a noha se stává náchylnější k tvorbě puchýřů, oděrek a zatěžuje krevní oběh [19,21].

2.7.5 Sdílení tepla v obuvi

Tepelná ochrana poskytovaná obuví je doprovázena ztrátami tepla způsobenými vedením přes podešev, prouděním a sáláním z povrchu obuvi, prouděním způsobeným ventilací otvory, stejně jako vypařováním skrz materiál a otvory viz. obr.1. Toto uvádějí Berquist a Holmér. [32]



Obr 1 Sdílení tepla v obuvi

Časopis World Footwear uvádí, že při odvodu tepla z obuvi je převažujícím mechanismem sdílení tepla vedením, který se uskutečňuje spíše svrškem obuvi, než jejími spodkovými dílci, které vzhledem k větší tloušťce a svému složení vykazují větší tepelný odpor.

Izolační vlastnosti obuvi závisí na její struktuře, tloušťce materiálu a počtu vrstev. Izolace obuvi může být snížena pokud se vrstvy začnou hýbat. Vlhký materiál může snížit izolační vlastnosti obuvi [22].

3 KOMPOZITY

Materiál, který se nazývá kompozit, je složen ze dvou nebo více složek (fází). Fáze je geometricky oddělená fyzikálně stejnorodá část soustavy, která má od svého okolí odlišné fyzikální a chemické vlastnosti. Vytváří geometricky ohraničené oblasti. Složka neboli příměs může být v daném objemu materiálu plynule rozptýlena. Spojité fázi budeme tedy říkat matrice. Nespojité (diskontinuální) fáze bývá obvykle tvrdší a pevnější než spojitá fáze a nazývá se vyztužení nebo vyztužovací materiál. Může se vyskytovat ve formě částic, vláken, atd. [14,25].

K tomu, aby materiál mohl být nazýván kompozitem je potřebné, aby podíl výtzuže byl větší než 5%, výtzuž musí být tužší a pevnější v tahu než matrice. Kovy obsahují jednotlivé složky, které mají téměř identické vlastnosti, proto nepovažujeme kovovou slitinu za kompozit. Od slitin kovů se liší kompozity tím, že jejich jednotlivé složky vložené (vmísené) do systému si ponechávají své vlastnosti, z nichž se uplatní hlavně jejich přednosti (fyzikální, mechanické, chemické) a získají se materiály s vlastnostmi, jež nemohou být dosaženy kteroukoliv složkou (fází) samostatně [25,31].

Polymery obsahující z cenových důvodů plniva a malá množství příměsí jsou sice složenými materiály, ale nesmí být pokládány za kompozity. Jejich fyzikální vlastnosti nejsou podstatně ovlivněny těmito příměsemi.

Kompozity mohou být lehké a přitom si zachovat pevnost a tuhost. K tomu přistupuje vyšší houževnatost, tepelná odolnost, rozměrová stálost, odolnost proti oděru. Vlastnosti kompozitu jsou tedy silně ovlivňovány vlastnostmi materiálových složek, jejich distribucí a interakcí mezi nimi [25,28].

3.1 Matrice

Obecnou funkcí matrice je přenos vnějšího zatížení na vyztužující fázi. Je požadováno, aby byla dobrá soudržnost matrice s materiálem vyztužující fáze. Tímto je myšlena dokonalá smáčivost bez chemické reakce na mezifázovém povrchu matrice a výtzuže [28,31].

Ve srovnání s vyztužující fází má matrice zpravidla nižší pevnostní vlastnosti a větší plasticitu. Spojuje jednotlivé částice výtzuže a chrání je před vnějšími vlivy. Zabraňuje také křehkosti materiálu a jeho snadné porušitelnosti. Kompozitní materiály lze vyrobit z

různých materiálových skupin- kovů, polymerů, keramiky a jiných anorganických materiálů.

3.2 Výztuž

Výztuž musí mít vysokou pevnost a modul pružnosti E asi o řád vyšší než modul matrice, malou deformaci do lomu (1- 2%) při vysokém podílu pružné deformace. Vyztužující fáze přenáší velkou část vnějšího zatížení. Pevnostní chování kompozitu je závislé na koncentraci, tvaru a orientaci výztuže [9].

Koncentrace představuje objemovou část výztuže a udává se v objemovém podílu nebo hmotnostním podílu. Objemový podíl je výhodnější při teoretických úvahách a hmotnostní podíl při přípravě a výrobě kompozitů [24].

Vyztužující fáze obsahuje částice o různém tvaru. Ten ovlivňuje vlastnosti a použití kompozitních materiálů. Tvar částice vyztužující fáze je buď téměř kulatý (přáškovaná forma výztuže) nebo může být válcový (vlákna). Velikost a distribuce výztuže řídí texturu kompozitu a s objemovým podílem určují také mezifázový povrch, který má důležitou úlohu při zajišťování rozsahu vzájemného působení mezi výztužemi a maticí na zpevnění.

3.3 Dělení kompozitů

Kompozity můžeme dělit dle typu matrice nebo také dle typu výztuže. Dle typu matrice se kompozity dělí na dva základní typy, a to na termoplasty a reaktoplasty. [25].

Mezi termoplasty patří polystyren, polypropylen, polyetylén, polykarbonát, polyetylentereftalát a další. Termoplastické matrice převládají u kompozitů jejichž výztuž tvoří částice.

Mezi reaktoplasty řadíme nenasyčené polyestery, epoxidy, melaminy, fenol formaldehydové pryskyřice. Samotná matrice kompozitu může tedy být z epoxidové pryskyřice, polypropylene, kovu, případně keramiky. Cílem kompozitů s polymerní maticí je především vysoká pevnost.

Dle typu výztuže dělíme kompozity na partikulové (částicové) a vláknové [31].

3.3.1 Částicové kompozity

Částice je definována jako nevláknový útvar a nemá žádný dlouhý rozměr, udává se její průměr. Částice nejsou při zlepšování lomové odolnosti příliš účinné, avšak částice kaučukovité povahy zlepšují v křehkých polymerních matricích odolnost lomu. Typy částic: keramické, kovové, anorganické. Částice mohou být orientované a neorientované. Částice jsou tedy účinné při zlepšování tuhosti kompozitu, ale nenabízejí možnost podstatného zvýšení tahové pevnosti [27].

Anorganická plniva snižují hořlavost, zvyšují tuhost a nejdůležitější vlastností je, že redukují náklady, aniž by bylo nutné obětovat některé jiné žádoucí vlastnosti.

3.3.2 Vlákňové kompozity

Kompozity vyztužené vlákny se nazývají vlákňové kompozity. Důležitým parametrem je štíhlostní poměr. Je to vztah mezi maximální délkou L a minimálním průměrem plniva D .

- $L/D = 1$ - jde o symetrické částice (sférické, kubické, elipsoid)
- $1 < L/D < 1000$ - krátká vlákna a vločky
- $L/D > 1000$ - dlouhá vlákna [31].

Pevnost poškozují zvláště vady ve tvaru trhlin, vlhkost plniva, Matrice spojuje vlákna dohromady, slouží k přenosu namáhání do vláken a chrání je proti narušení okolím a poškození při zpracování. Důležitou vlastností je schopnost materiálu blokovat vznik a růst trhlin ve struktuře. U polymerních materiálů je příčinou vysoké pevnosti a tuhosti orientace molekulární struktury. Nejdůležitější vyztužovací vlákno je z E - skla, protože je poměrně levné.

V hybridních kompozitech se kombinuje společná matrice s vyztužujícími elementy různého typu- různé druhy vláken nebo vlákna a částice. Spojitá vlákna v jednovrstvém kompozitu mohou být všechna uspořádána v jednom směru a tak vytvořen jednosměrový kompozit. Takové kompozity se vyrábějí rovnoběžným ukládáním vláken a jejich prosycením pryskyřičným materiálem. Vlákňové kompozity mohou být jednovrstvé a

vícevrstvé. Jednovrstvé jsou dlouhovlákné nebo krátkovlákné. Vícevrstvé jsou lamináty. Existují hybridy, které obsahují více plniv [31].

3.3.3 Technologie výroby kompozitů a jejich použití

Podmínky, které je potřeba zaručit při výrobě kompozitních dílů:

- dobré spojení výtzuže s matricí
- rovnoměrné uložení vyztužujících fází v objemu
- u vláknových kompozitů možnost uložení vrstev s libovolnou orientací vláken

Kompozity se mohou vyrábět různými technologiemi. Lisováním a válcováním za tepla, plasmovými nástřiky, práškovou metodou, rotačním litím, púltruží [23,25].

Použití kompozitů je široké. Výrobky z kompozitních materiálů nalezneme ve strojírenství, automobilovém průmyslu, textilním průmyslu, stavebnictví. Příklad kompozitního materiálu využívaného ve strojírenství je např.aPA66 se skleněnými sekanými vlákny, kdy výrobkem jsou ložiska a ozubená kola [31].

O kompozitech hovořím v této práci proto, že vzorek, který je zvolen pro měření ,je přírodní kompozit. Jedná se o svrškový obuvnický materiál a složky tohoto kompozitu jsou : usňová hmota, voda a vzduch. Tento materiál je využíván v obuvnickém a galanterním průmyslu.

3.4 Výpočet efektivní tepelné vodivosti

Polymery jsou často vyráběny s přidavkem různých druhů plniv a aditiv obsažených ve finálním produktu, čímž jsou zlepšeny fyzikální vlastnosti. Plniva mohou být ve formě vláken nebo částic jednotně distribuovaných v polymerní matrici materiálu. Mnoho vlastností vláknitých kompozitních materiálů jsou silně závislé na vlastnostech vláken, a to jak na mikrostrukturních parametrech, tak na poloměru vláken, distribuci délky vláken, objemové frakci vláken a uspořádání vláken [27,28].

Je zřejmé, že termofyzikální vlastnosti vlákných plněných kompozitů jsou anisotropní, kromě velmi krátkých, náhodně distribuovaných vláken, zatímco termofyzikální vlastnosti částic plněných kompozity jsou isotropní. Pokud vlákna nejsou orientované, stávají se polymery

dobrymi teplotními izolátory, jejich tepelná vodivost se pohybuje v rozmezí 0,14 až 0,60 W.m⁻¹.K⁻¹, což je zároveň hlavní nevýhodou čistých polymerních materiálů, (0,15 W.m⁻¹.K⁻¹ pro PVC až po 0,44 W.m⁻¹.K⁻¹ pro HDPE). Zpravidla platí, že plniva mají tepelnou vodivost o několik řádů vyšší než matrice kompozitu. Nehledě na zlepšení mechanických vlastností, hlavní role plniv spočívá ve zvýšení přenosu tepla [7].

Stanovení efektivních vlastností kompozitních materiálů má velký význam pro další uplatnění v dalších aplikacích. Zde se nachází dost teoretických metod sloužících k předpovězení efektivní teplotní vodivosti kompozitu. Každá z těchto metod má jisté předpoklady, které mohou být aplikovatelné pro jisté specifické případy a rozsahy. Je tady nezbytné mít experimentální data pro každý typ kompozitního materiálu [2].

4 KŮŽE

Makromolekulární sloučeniny - polymery vznikají z monomerů polyreakcemi. Navzájem se váží chemickými vazbami. Makromolekuly polymerů obsahují stovky, tisíce až miliony atomů. V důsledku toho vznikají molekuly velkých rozměrů – makromolekuly. Složení makromolekul není náhodné, základní jednotky, které se podílejí na výstavbě polymerního řetězce, se mnohonásobně pravidelně opakují. Stavební jednotkou je mer. Je to část makromolekuly [2,27,28].

Tvorba polymerních řetězců a zvyšování počtů atomů v makromolekulárních sloučeninách umožňuje vznik nových kvalitativních vlastností polymerních systémů, které se nevyskytují v nízkomolekulárních sloučeninách. Jde o růst viskozity, povrchové jevy, mechanicko- chemické vlastnosti, konfirmační transformace aj.

Polymery můžeme rozdělit do několika skupin. Kritéria dle kterých je dělíme, jsou různá. Pro moji diplomovou práci je důležité dělení polymerů na základě původu :

- přírodní polymery - ty jsou organické (biopolymery) a anorganické
- polysyntetické - na bázi přírodních makromolekulárních látek
- syntetické - na bázi syntetických makromolekulárních látek

Dále se polymery mohou dělit na základě chemického složení, podle způsobu vzniku makromolekuly, podle tvaru makromolekuly, podle chování za zvýšené teploty, podle velikosti molekulové koheze, podle charakteru hlavního řetězce makromolekuly [24].

Biopolymery se tvoří analogicky jako syntetické polymery z biologických monomerů jako základních stavebních jednotek a to polymerací biochemickými reakcemi. Biopolymery tvoří v biologických soustavách komplexní systém, který umožňuje existenci životních procesů. Biopolymery jsou strukturně velmi komplikované a složením velmi rozmanité skupiny polymerních organických látek. Vlastnosti biopolymerů jsou dané chemickým složením, makromolekulovou strukturou, konformací, nadmolekulovou strukturou a komplexností molekulové stavby [2,27].

Prostorové uspořádání řetězců, makromolekul i nadmolekulových struktur podmiňuje biologické funkce polymerů v živých organismech, ale určuje i mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti technických přírodních surovin při průmyslovém zpracování.

Biopolymery můžeme všeobecně charakterizovat jako makromolekulární sloučeniny:

- s kompaktní, organizovanou strukturou, periodicky se opakující uspořádání ve směru polymerního řetězce
- uspořádání není strnulé a stabilní, ale má vysoký stupeň adaptace na vnější vlivy
- zachovávají si trojrozměrnou strukturu v tuhém stavu i v roztoku

Technicky významné biopolymery, které se používají jako suroviny, polovýrobky nebo hotové výrobky v kožařském, obuvnickém a galantním průmyslu jsou vláknité bílkoviny (kolagen, kreatin, fibrin), polysacharidy (celulóza, škrob, hemicelulózy), benzenové polymery (lignin, třísloviny) a polyizopreny (přírodní kaučuk) [24].

4.1 Kůže a usně

Kůže zabitých zvířat byly odedávna důležitým materiálem, který člověk používal na výrobu předmětů denní potřeby. Potvrzují to archeologické nálezy z nejstarších historických období. Přestože surová kůže brzy zahnívá a ve vysušeném stavu je zase tvrdá a křehká,

a tedy nevhodná pro zhotovení oděvů nebo jiných výrobků, musíme předpokládat, že již ve velmi dávné době lidé ovládali některé způsoby činění [29,30].

Koželužství je totiž jedním z nejstarších řemesel. Již v pravěku lidé dovedli upravovat stažené kůže ulovených zvířat, aby si z nich upravili primitivní oděvy. Nejstarší nalezené vyčiněné zvířecí kůže máme ze staroegyptských hrobů. Přestože jsou již 5000 let staré, jsou dosud zachovalé. Usně z této doby byly původně vyčiňovány lusky babulu (druh akácie), který dodnes roste v povodí Nilu. Později bylo v Orientě objeveno činění hlinitými solemi, při němž se původně používala voda z malých jezírek, která jsou v pouštích v okolí Egypta a obsahují roztok síranu draselno - hlinitého. Barvení usní vynalezli Fénicičané. Používali výtažky barevných součástí rostlin nebo živočichů. Za římských dob byly koželužské procesy značně zdokonaleny. Ve zříceninách Pompejí byla dokonce nalezena

téměř zachovalá koželužna. I když byly nástroje tehdejších koželuhů velmi primitivní, některé se podobaly dnešním [10,30].

Vývoj zpracování kůže byl velmi dlouhý. Postupně se dozvídáme o objevování a následném požívání různých metod, které slouží k úpravě materiálů tak, aby se prodloužila trvanlivost a zlepšily se vlastnosti materiálů. Nejpodstatnějším vynálezem v koželužství byl objev metod zásaditého odstraňování chlupů. Došlo k němu ve středověku, asi ve XIII. století. V té době vznikaly koželužské cechy, které původně sdružovaly jak koželuhy, tak i řemeslníky zpracovávající usně [10,30].

Dále postupně vznikaly další metody zpracovávání kůží. Při tvorbě kvalitní obuvi, případně oblečení nemůžeme hovořit jenom o správném výběru zpracování kůže. Musíme dbát také na dobrý výběr materiálu. Surová kůže je složitý útvar, její převedení na useň je proto technologicky velmi náročné. Useň je chemickými procesy a mechanickými operacemi přeměněná kůže [28].

Podle druhu a původu suroviny se určuje vhodnost pro využití suroviny na výrobu příslušného druhu usně. Je to způsobeno rozdílnou histologickou stavbou kůže a také odlišnostmi v chemickém složení.

4.2 Histologická stavba kůží

Kůže všech živočichů se skládá ze tří vrstev:

- pokožky
- škáry
- podkožního vaziva.

Pokožka je vnější a nejtenčí část kůže. Skládá se z buněk, které se stále množí a směrem k povrchu kůže se zplošťují, při tom schnou a rohovatějí. Buňky pokožky se nevyvíjí stejnou rychlostí. Každá buňka žije a stárne jinak, takže v pokožce jsou vedle sebe buňky v různém stupni svého vývoje. Tloušťka pokožky v průměru zaujímá 1 % z celkové tloušťky kůže. Podle druhu zvířat je však značně rozdílná [29].

Všeobecně platí, že tenčí a jemnější pokožku mají kůže zvířat, která mají jemnější a hustší srst. Nejtlustší je pokožka na holých místech. Při koželužském opracování se

pokožka spolu s chlupy, štětinami a ostatními vedlejšími útvary pokožky odstraňuje. Chlupy jsou svými kořínky zasazeny poměrně hluboko ve škáře a po jejich odstranění zůstávají na líci kůže různé prohlubeniny, které jsou součástí lícové kresby. Kresba je tím výraznější, čím jsou chlupy tlustší a hlouběji zasazeny ve škáře. Lícová kresba je jedním z charakteristických znaků, podle nichž se určují druhy usní.

Škára je vnitřní a nejtlustší část kůže a tvoří 70 až 95 % z celkové tloušťky kůže. Ze škáry se dalším zpracováním vyrábí useň. Škára tvoří vláknité pletivo (vazivo), tak hustě propletené, že se na řezu kůží jeví jako jednotný celek. Vazivo škáry je z převážné části tvořeno vlákny obsahujícími bílkovinu, zvanou kolagen. Proto bývá nazýváno kolagenové vazivo škáry. Hustota vláknité spleti určuje pevnost a tažnost usní. Čím je vláknitá spleť hustší, tím je pevnější a méně tažná. Rozdíly v hustotě se projevují nejen podle toho, z jakých druhů zvířat kůže pochází, ale záleží i na stáří, pohlaví, způsobu života, odrůdě a podnebí. Rozdíly v hustotě jsou i na jednotlivých kůžích [29].

Například místa ve hřbetní části (kruponu) obsahují pletivo nejhustší, proto vykazují největší pevnost a nejmenší tažnost. V okrajových částech (břišních částech) je pletivo značně řidší a tím se pevnost v tahu snižuje a tažnost zvyšuje. Nejnížší pevnost vykazují slabiny. Na pevnost vláken hotové usně má vliv také způsob činění při koželužském zpracování. Na průřezu škárou lze rozeznat dvě vrstvy: horní vrstva se v koželužství nazývá papilární, dolní vrstva je retikulární. Rozhraní mezi oběma vrstvami tvoří myšlená čára spojující jednotlivých vlasových kořínků a papily. Kolem nich jsou rozloženy buňky mazové, potní žlázy a krevní žilky, které při špatném konzervování kůže podléhají snadno hnilobě. Vzájemný poměr tlouštěk papilární a retikulární vrstvy je rozdílný. U hovězin je to např. 1:4. Je-li vzájemný poměr příznivější pro vrstvu retikulární (u hověziny), je kůže vhodnější pro výrobu pevné, houževnaté usně [10,29].

Podkožní vazivo tvoří nejspodnější část kůže. Skládá se z hrubých vláken a blan, které tvoří spojení kůže s tělem živočicha. V podkožním vazivu se u některých zvířat ukládá tuk, který prostupuje do škáry. Tuk tvoří někdy tlustou a souvislou vrstvu a je pružným spojením mezi kůží a vlastním tělem zvířete. Při koželužském zpracování se podkožní vazivo odstraňuje.

4.2.1 Struktura kůže

Mikroskopická struktura kůže není ve všech částech její plochy stejná. Nejhodnotnější částí kůže je krupon. Je tvořen rovnoměrně propleteným hustým pletivem a vyznačuje se stejnoměrnou tloušťkou. Z celkové plochy kůže zaujímá krupon asi 50%. Krupon je po obou stranách ohraničen tzv. boky - krajinami, které jsou řidší, měkčí a tenčí než krupon. Nejméně stejnoměrnou částí je vaz. Někdy bývá značně tlustý, jindy nedosahuje ani tloušťky kruponu [29,30].

4.2.2 Chemické složení kůže

Kůže živočichů se skládá z vody, tukových a minerálních látek a bílkovin. Poměr těchto složek je uveden v tabulce.

Tab. 1. Látkové složení kůže

Složka	Zastoupení v % hm
Voda	50 - 70 %
Minerální látky	0,25 - 0,65
Bílkoviny	33- 35
Tukovité látky	0,5 -30

Tyto uvedené hodnoty odpovídají surové kůži po stažení ze zvířete. Podle toho o jaký druh kůže se jedná, mění se i tyto hodnoty. Nejdůležitější součástí kůži jsou z koželužského hlediska bílkoviny, kterých sušina v holině obsahuje asi 95%. Vytvářejí vlastní kožní hmotu, která se zpracovává na useň [10,11]. V koželužské chemii se vláknité (fibrilární) bílkoviny označují jako kolagen, retikulin a elastin. Nejdůležitější částí vláknité bílkoviny kůže je kolagen. Surová kůže obsahuje 30 až 32% sušiny kolagenových vláken. Kolagenová vlákna tvoří asi 90% vláknité hmoty. Kolagenová vláknitá spleť je ve studené vodě nerozpustná. Kolagen obsahuje velké množství glycinu. Kromě kolagenu se ve struktuře nachází také retikulin [10,22].

Retikulin je bílkovina podobná kolagenu. Jeho jemná vlákna obalují vlákna kolagenu a tukové buňky a vytváří lesklý povrch škáry. Elastin je bílkovina ve vodě nerozpustná. Vytváří jemnou síťovou strukturu, zejména v líci. Za vlhka je tato bílkovina pružná, po uschnutí rohovatí. V kůži se dále nachází kromě popsaných vláknitých bílkovin také nevláknité bílkoviny. Za nejdůležitější považujeme keratin. Tvoří podstatnou část buněk pokožky a všech jejích útvarů, hlavně rohoviny chlupů. Je to bílkovina nerozpustná ve vodě. Rozpouští se účinkem koncentrovaných kyselin a zásad a dále podléhá změnám. Toho se využívá v praxi k uvolňování chlupů [10,29].

4.3 Hověziny

Zvířecí kůže jsou pro zpracování na usně útvarem velmi složitým a značně různorodým. Rozdílné složení je dáno druhem zvířete, z něhož kůže pochází, rasou, chovem, pohlavím, podnebím, zdravotním stavem, stářím, způsobem výživy a podobně. Hovězinové usně jsou nejdůležitější ze svrškových usní zpracovávaných v obuvnickém průmyslu. Vyrábí se z kůží jalovic, volů, krav a býků. Jsou jadrné, plné a hutné, mají jemný líc. Tyto vlastnosti však ovlivňuje mnoho činitelů. Jejich cennou vlastností je velká plocha umožňující dokonalejší využití. Druhy svrškových hovězinových usní: [10,11,30]

- *hovězinový box hladký a tlačенý* se vyrábí z hovězí kůže, vyčiňuje chromitými solemi a podbarvuje dehtovými barvivy. Lícová strana se upravuje kaseinovými nebo kaseinopryskyřičnými barvami. Vyrábí se v půlkách nebo celých usních v tloušťce 0,7 až 2,2 mm. Tlačенý box bývá přetříslený, k jeho výrobě se používá podřadnější kůže.
- *hovězinový box z krajů a vazů* se vyčiňuje a upravuje se jako box z celých hovězin. Usně z krajin se vyrábějí v tloušťce 0,8 až 1,4 mm. Usně z vazů 1,2 až 2,2mm.
- *hovězinový velur (huntingcalf)* se vyrábí z hovězí kůže, vyčiňuje chromitými solemi a vybarvuje dehtovými barvami. Rub usně se upravuje broušením, česáním, a egalizačními stříky. Vyrábí se v tloušťkách od 1,2 do 1,8mm.
- *hovězinový velur štípenkový* vyčiňuje se a upravuje stejně jako hovězinový velur, vyrábí se v tloušťkách od 1,0 do 1,8 mm. Používá se na výrobu méně jakostní druhu obuvi.

- *hovězinový nubuk* se vyrábí z hovězí kůže, vyčiňuje chromitými solemi a podbarvuje dehtovými barvami. Lícová strana usně se upravuje jemným broušením a egalizací barvy krycími prášky. Bílý nubuk se vyčiňuje chromitými solemi a syntanem s formaldehydem. Používá se na výrobu svršků letní obuvi v tloušťkách 0,8 až 1,2 mm, 1,3 až 1,5 mm, 1,6 až 1,8 mm a 1,9 až 2,2 mm.
- *hovězinový elk* se vyrábí z hovězí kůže, vyčiňuje chromitými solemi a podbarvuje dehtovými barvami. Lícová strana usně se upravuje kaseinoprskyřičnými barvami a 8 krát kadeří do kříže, takže na povrchu líce vzniká charakteristický obrazec.
- *hovězina mazaná lícová* se vyčiňuje směsí přirozených třísliv se syntany a silně maže. Používá se na svršky speciální a pracovní obuvi. Vyrábí se v tloušťce 1,8 až 2,4 mm, v barvě přírodní nebo se barví – nejčastěji černě. Lícová strana je buď hladá nebo tlačená.
- *hovězina mazaná rubní* se vyrábí stejně jako hovězina mazaná lícová. Rubová strana se upravuje mydlenkou a vyhlazuje.
- *hovězina mazaná chromotříselná* se vyrábí stejně jako hovězina mazaná lícová, předčiňuje se však chromitými solemi a dočiňuje směsí rostlinných třísliv a syntanů.
- *hovězinový waterproof* se vyrábí z hovězí kůže, vyčiňuje chromitými solemi, podbarvuje dehtovými barvivy a silně maže. Líc usně je buď přirozený nebo uměle tlačěný. Vyrábí se v tloušťce 1,8 až 2,5 mm v barvě mahagonové a černé. Používá se na svršky sportovní, lovecké a speciální obuvi. Tento materiál vyniká svojí vysokou pevností, poddajností, nepronikavostí a trvanlivostí [28,29].

Úprava usní je velmi důležitou složkou koželužství. Usně pouze vyčiněné se většinou nehodí k přímému použití. Většina usní, především chromitých, obsahujících málo činiv, zasychá nebo po činění rohovitě, a proto jich bez úpravy nelze použít [29].

Tab.2. Postupy práce při úpravě usní

Mechanicky upravuju tvar a povrch usní	Tepelná a fyzikálně chemická úprava usní	Apretování usní		
<p>Příprava usní stejnosměrnějších vlastností:</p> <ul style="list-style-type: none"> - kruponování, - zestejnosměrnění tloušťky kožišťipání - zestejnosměrnění obsahu vlhkosti usně zaležením, lisováním 	<p>Obsoušení a sušení</p>			
<p>Mechanická úprava líce usně:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vyrážení - vypalování a broušení líce - žehlení usní - leštění po apretování - kadeření ke konci úprav - lisování umělého líce 	<p>Fyzikálně chemické úpravy:</p> <ul style="list-style-type: none"> - neutralizace - barvení usní - mazání - impregnace 	<p>Apretace:</p> <ul style="list-style-type: none"> - průhlednými bezbarvými nebo zbarvenými úpravami - neprůhlednými krycími barvami - lakování - kombinování výše uvedených postupů 		
<p>Mechanické změkčování usní</p>				
<p>Mechanická úprava rubu usní</p>				
<p>Slepování usní</p>				
<p>Zhušťování usní:</p> <ul style="list-style-type: none"> - válení - vyklepávání 				

Blíže definuji hovězinovou štípenku. Jedná se o useň, která se používá na podšívkové dílce v obuvi. Hovězinová podšívka štípenková se vyrábí ze štípenky holiny hovězin různé velikosti. Vyčiněna je chromitými solemi.

4.3.1 Teorie činění

Činění je složitá chemicko - mechanická operace, při které dochází k přeměně kůže na useň. Useň po tomto procesu vykazuje markantně odlišné vlastnosti oproti nezpracované kůži. Je odolnější proti vodě, nepodléhá hnilobě, má zvýšenou chemickou odolnost a mechanické vlastnosti vykazují trvalejší charakter [29,30].

Vázání činiva na kožní vlákno je složitý proces. Způsob vázání zatím není s konečnou platností vysvětlena. Z poznatků, které máme zatím k dispozici víme, že činěním se nahrazuje koloidně vázaná voda vyčiňujícími látkami. Dochází k odbourávání vláknů a současně se váže činivo. Kolagen s navázanými činivými látkami je vlastně useň. Může se napsat tato rovnice:



Proces činění je podle chronologického průběhu rozdělen do dvou etap. V prvním stupni procesu dochází k difúzi vyčiňující látky do mikropapilárního systému a ve druhém stupni dochází k interakci s funkčními skupinami kolagenu. Podle způsobu činění získávají usně specifické vlastnosti potřebné pro zpracování v konfekční výrobě [10,29].

4.3.2 Chromočinění

Tento způsob činění patří mezi nejrozšířenější. Vyčiňující vlastnosti mají pouze hydroxy sloučeniny trojvazného chromu, které jsou rozpustné ve vodě. Normální soli a roztoky těchto solí vyčiňovací schopnost nemají. Tuto schopnost získají až když se převedou na bazickou sůl.

Vlastní proces činění probíhá na polypeptidických řetězcích kolagenu. Toto činění nastane tak, že volné karboxylové skupiny kolagenu vstupují jako acido- komplexy do chromitého komplexu [10].

Chromočiňení má mnoho předností :

- krátká doba činění
- velmi dobré vázaná činiva - oxid chromitý vázaný na kolagen - možno odstranit za velmi problematických okolností
- odolnost proti varu - výhodné z hlediska použití
- usně se dobře barví a mažou
- odolnost proti světlu
- dobrá odolnost proti chemikáliím
- dobrá tažnost - vhodné na svršky obuvi
- dobrá odolnost proti oděru [10,30].

4.3.3 Štípání

Zvířecí kůže i opracovaná holina má ve své ploše nestejnou tloušťku. Hromadná strojní výroba koženého zboží v konfekčních závodech vyžaduje, aby zpracované usně měly po celé ploše stejnou tloušťku. Proto je třeba vhodnou úpravou dosáhnout požadovaného stupně jejich plošné egalizace (vyrovnání) i za cenu zvýšení výrobních nákladů a ztrát kožní hmoty a také celkového snížení pevnosti hotových usní. Tloušťku lze egalizovat v holině, po činění (v usni) nebo i po výseku dílců v konfekční výrobě [29,30].

Hospodárné je egalizování tloušťky kůže štípáním v holině. Předností tohoto způsobu je:

- poměrně rychlá úprava celé holiny na stejnou tloušťku (lícová holina)
- kvalitnější a rychlejší vyčiňování, protože holina je tenčí a otevřená kožní hmota je přístupnější účinkům použitých chemikálií a přípravků
- dobré zhodnocení suroviny, protože z jedné kůže lze vyrobit dvě i více usní
- levnější vyčiňování

Štípáním se vyrovná v celé ploše tloušťka holiny tím, že všechny nerovnosti přecházejí do její rubové části a vzniká rubová štípenka.

Výsledek štípaní závisí na stupni zbobtnání holiny. Zpravidla postačí k potřebnému zbobtnání krátkodobé ponoření holin do studené vody. V holině se štípou téměř všechny druhy svrškových obuvnických usní [30].

4.4 Voda v usni

Obdobně jako v kůži, také v usni se vyskytuje voda v různých formách, z nichž každá má specifický vliv na výsledné vlastnosti usně. Je pochopitelné, že odstraněním vody různým způsobem vázané mohou vzniknout také různé nároky na potřebnou energii a bude různě ovlivněna i kvalita usně. Rozlišujeme vodu:

- *vodu hydratační* - je chemicky vázána přímo na kožní bílkoviny a nebo je součástí molekul chemických složek usní. Její případné odstranění má vliv na rozměrové vlastnosti usně a hlavně na stabilizaci chemických vazeb, což souvisí s dokončením chemických procesů. K odstranění hydratační je zapotřebí velkého množství energie, v procesu sušení odchází z usně až v poslední fázi. Množství této vody v usni činěním stoupá.
- *vodu kapilární* - vyplňující kapilární prostory mezi vlákny. Zde je udržována fyzikálními silami, a to tím pevněji, čím menší je průměr kapilár. Ovlivňuje fyzikálně mechanické vlastnosti usní, zejména jejich pružnost, tažnost, plastičnost. Obsah kapilární vody v usušené usni závisí na vlhkosti okolního prostředí- souvisí s hydrokopicitou usně.
- *vodu absorbovanou* - zaplňuje velké póry usně, neváže se na vlákno a zásadně neovlivňuje charakter usně. Lze ji odstranit již mechanickým způsobem. Vyskytuje se na povrchu usně a ve velkých mezivláknitých prostorách. Obvykle je považována za druh vody kapilární.

Z hlediska druhů sil udržujících vodu v usni můžeme rozlišovat vodu vázanou chemickými silami a vodu vázanou fyzikálními silami: kapilární a absorpční. Nejpevněji vázaná voda je vázána chemickými silami, zatímco absorpční síly jsou již tak slabé, že vodu odstraníme již vymačkáním rukou [24].

Vlhkost usušených vláknitých materiálů, mezi něž patří také useň, nebývá stálá, ale kolísá podle vlhkosti okolního vzduchu. Takový materiál v suchém prostředí vysychá a ve vlhkém zase navlhá. Tato vlastnost se nazývá hygroskopicitá a její mechanismus je záležitostí kapilární vody. Tím, že je useň hydroskopická, je obuv z usní daleko příjemnější než obuv vyrobená z jiných materiálů [24,29].

Přirozená regulace vlhkosti usní je součástí jedné z nejdůležitějších předností těchto obuvnických materiálů, kterou nazýváme komfort obouvání.

5 MATEMATICKÉ MODELY

Matematické modely slouží k teoretickému odhadu tepelné vodivosti. Existují dva základní přístupy při modelování technologických procesů a to tzv. přímé a nepřímé modelování. Jednou ze základních otázek stojících před řešitelem je, jak má modelové zařízení konstruovat, tj. do jaké míry má být model podobný skutečnému zařízení a do jaké míry záleží na této podobnosti [9,13].

5.1.1 Nepřímé matematické modelování

U nepřímého modelování se zaměřujeme na získání matematických modelů, které umožní popsat zpracovatelský proces nebo zařízení na základě vlastností elementárních dějů, to je fyzikálně chemických pochodů, transportních jevů apod. Postup vychází z vysoce abstrahovaných dat, to je z dat nezávislých na použitém experimentálním zařízení a jeho režimu, to znamená, že se experimentální model může při tomto způsobu modelování velmi podstatně lišit od skutečného zařízení [10,13]

Sára sestavil fyzikálně matematický model sdílení tepla v obuvi zahrnující nohu- (ponožku) . botu- okolí. Model respektuje vazbu mezi sdílením vlhkosti tepla způsobenou vývojem tepla při sorpci a vlivem teploty na sorpční rovnováhu. Tento model je lineární, byl sestaven asi před 25 lety a byl řešen pomocí tehdy dostupných možností. Je však příliš komplikovaný a jeho praktické využití velmi náročné. Bylo by vhodné daný model zjednodušit a řešit jej numericky pomocí dnešních technických možností [13].

5.1.2 Přímé matematické modelování

U přímého modelování zvolíme experimentální postup v laboratoři nebo v poloprovozu tak, aby bez matematické analýzy fyzikálních popř. fyzikálně chemických pochodů mohla být dána přímá odpověď na to, jak se bude chovat provozní zařízení.

V tomto případě se snažíme provést experiment tak, aby vztah mezi laboratoří a procesem v provozu byl co nejbezprostřednější a aby návrh režimu provozního zařízení nevyžadoval vysokou abstrakci.

Marcinkowska a Žuk se zabývali přímým matematickým modelováním. Vyvinuli přístroj Hy-tester, který simuluje měření transportu vlhkosti v obuvi v podmínkách podobných jejímu nošení [11].

U matematických modelů vycházíme z vlastností jednotlivých složek kompozitních materiálů. Nejjednoduššími modely jsou sériový a paralelní model, podle toho, jestli jsou komponenty uspořádány v plochách sériově nebo paralelně k teplotnímu toku.

5.1.3 Modely sloužící k odhadnutí tepelné vodivosti pro kompozity plněné vlákny

Nejjednoduššími modely jsou sériový a paralelní model, podle toho, zda jsou komponenty uspořádány v plochách sériově nebo paralelně k teplotnímu toku. Tyto dva modely dávají horní a dolní mez efektivní teplotní vodivosti.

$$\text{Pro sériový model:} \quad \lambda_c = \frac{\lambda_m \cdot \lambda_f}{\lambda_m \cdot \varepsilon + \lambda_f \cdot (1 - \varepsilon)} \quad (7)$$

$$\text{Pro paralelní model:} \quad \lambda_c = \varepsilon \cdot \lambda_f + (1 - \varepsilon) \cdot \lambda_m \quad (8)$$

Kde λ_c , λ_m , a λ_f jsou v tomto pořadí teplotní vodivosti kompozitu, polymerní matrice a plnicího materiálu, a ε je objemová část plniva.

Dalším z vodivostních modelů je geometrický hlavní model

$$\lambda_c = \lambda_f^\varepsilon \cdot \lambda_m^{(1-\varepsilon)} \quad (9)$$

Kde λ_c , λ_m , a λ_f jsou v tomto pořadí teplotní vodivosti kompozitu, polymerní matrice a plnicího materiálu [21].

Toto jsou tři nejzákladnější vztahy.

6 ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI

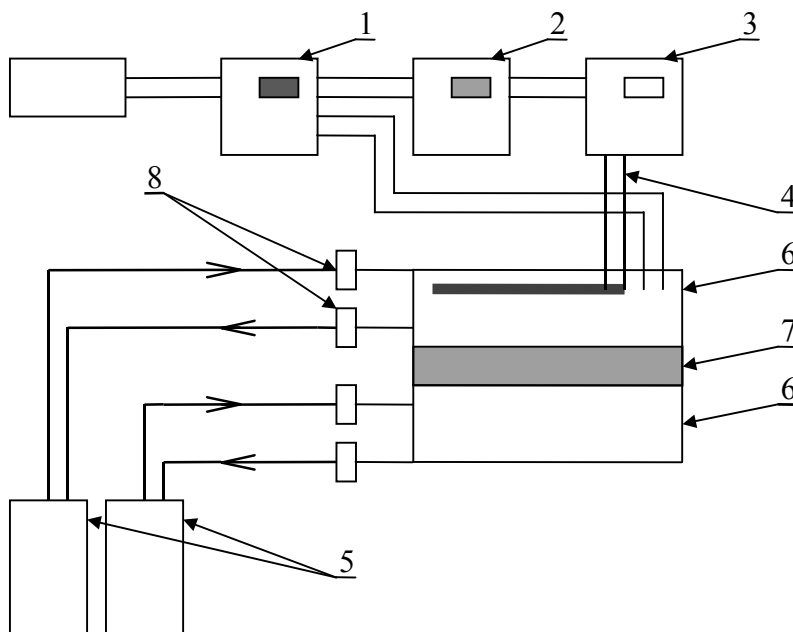
Měřit tepelnou vodivost můžeme několika způsoby. Tyto způsoby jsou určeny především tepelným režimem, v němž se dané měření uskutečňuje. Nejčastěji se měření provádí ve stacionárním nebo nestacionárním režimu. Pro oba způsoby bylo v praxi vypracováno několik konkrétních metod, které se úspěšně používají v praxi. Obecně lze říci, že pro materiály dobře tepelně vodivé postačují stacionární metody měření a pro tepelné izolanty jsou vhodnější metody nestacionární [5,9,12].

6.1 Stacionární měření tepelné vodivosti

Při stacionárním vedení tepla, není teplota funkcí času, ale jen souřadnic. Nejjednodušší případ, který se v teorii vedení tepla vyskytuje, je jednorozměrné stacionární vedení tepla rovinou deskou.

6.1.1 Přístroj podle Bocka

Při stacionárním měření koeficientu tepelné vodivosti se obvykle používá komerčně vyráběný přístroj podle Bocka.



Obr. 2. Přístroj podle Bocka

- 1 - motorový kompenzátor
- 2 - wattmetr
- 3 - 12 stupňový přepínač topení
- 4 - topení
- 5 - termostaty
- 6 - topné desky
- 7 - zkušební deska
- 8 - odporové teploměry

Podstata měření při této metodě je v tom, že se zkušební těleso vloží mezi dvě temperované desky přístroje. Za ustáleného stavu teplot obou desek, z nichž horní má teplotu o 5°C až 10°C vyšší než deska dolní, se měří kolmý průtok tepla zkušebním tělesem o známé tloušťce [9].

Zkušební zařízení se skládá ze dvou rovnoběžně položených desek. Konstantní teplota obou desek je udržována pomocí kapaliny čerpané z termostatu nebo přímo regulací odporového topení v kovovém bloku. Přesnost regulace teploty musí být minimálně $\pm 0,1^\circ\text{C}$ při rozdílu teplot obou desek 10°C. Uprostřed horní desky je umístěna menší kruhová tepelně odizolovaná deska, která je opatřena topnou spirálou [9].

Je spojena s okolní termostatovou částí diferenciálním termočlánkem, který zapíná okruh topné spirály tak, aby difference teplot obou částí byla menší než 0,05°C v ustáleném stavu. Elektrický příkon topné spirály tvoří tepelný tok přes zkušební těleso do spodní chladnější vrstvy.

Elektrický příkon se měří pomocí watt-metru a je možno jej měnit v několika stupních. Stupeň příkonu nutno nastavit tak, aby regulace byla symetrická. To znamená, že interval zapnutí a vypnutí topení musí být stejně dlouhý [12].

Zkušební tělesa jsou kruhového tvaru o průměru nejméně o 20 mm větším než je průměr měrné desky. Úpravě plochy zkušebních těles musí být věnována co největší pozornost. Plochy zkušebních těles musí být rovné, hladké a planparalelní. Odchylka od paralelnosti ploch zkušebních těles nesmí být větší než 2 % při zachování co nejdokonalejší rovnosti a hladkosti.

Postup zkoušky je ten, že se mezi dokonale očištěné desky přístroje vloží zkušební těleso a mikrometrem se změří jeho tloušťka s přesností na 0,01 mm.

Mezi zkušebním tělesem a přístrojem nesmějí být vzduchové bubliny. Nejsou-li plochy zkušebního tělesa i přes veškerou péči rovné a hladké, doporučuje se použít vhodné kapaliny k vyplnění vzduchových vrstev (olej, glycerin nebo jiná kapalina, ve které za dané teploty zkušební těleso nebotná) [12].

Na deskách přístroje se nastaví požadované zkušební teploty tak, aby jejich rozdíl byl od 5°C do 10°C.

Po uvedení přístroje do chodu a dosažení ustáleného stavu (přibližně za jednu hodinu) se odečítají po 15 minutových intervalech údaje watt-metru a teploměrů horní a dolní desky přístroje. Teploty se měří nejlépe odporovými teploměry, které mají přesnost $\pm 0,05^\circ\text{C}$. Oba teploměry jsou zapojeny v sérii a měří se celkový odpor, který udává přímo průměrnou teplotu desky. Tímto způsobem se měření stalo citlivější a umožňuje tak měření poměrně tenkých vrstev.

Intenzita tepelného toku q je dána vztahem:

$$q = E \frac{N}{\tau} \quad (10)$$

kde E je konstanta přístroje odpovídající jednotlivým stupňům příkonu topení

N - spotřeba elektrické energie ve Wh

τ - čas v hodinách

Tepelná vodivost λ se vypočítá ze vztahu:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{\Delta t - q \cdot k} \quad (11)$$

kde q je intenzita tepelného toku ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

δ - průměrná tloušťka zkušebního tělesa (m)

Δt - teplotní spád, rozdíl teplot horní a dolní desky ($^\circ\text{C}$)

k - konstanta přístroje zahrnující přestupy tepla na zkušebních tělesech a teploměrech (1) [12,24].

6.1.2 Deskový přístroj podle Poensgena

Tento přístroj je určen na měření tepelné vodivosti vzorků ve tvaru desek, a to jak z vláknitých materiálů tak sypkých materiálů. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších metod měření tepelné vodivosti při stacionárních podmínkách [9].

Mezi vyhřívanou a chlazenou deskou přístroje je vytvořeno tepelné pole se souběžnými proudnicemi, které přechází kolmo zkoušenou deskou. Podstatou zkoušky je šíření tepelného toku a rozdílů povrchových teplot vzorků za ustáleného tepelného stavu. Ze zjištěných hodnot, měrné plochy a tloušťky zkoušeného vzorku se vypočítá tepelná vodivost.

Vlastní přístroj je složený z výhřevné desky a dvou chladících desek. Výhřevná deska obsahuje elektrickou výhřevnou mřížku, oboustranně krytou elektricky izolačními deskami a povrchovými deskami z hliníkového nebo měděného plechu. Měřený vzorek se vkládá na vnější plochu výhřevné desky [9,10].

Na vnějších plochách vzorků jsou uloženy dvě chladící desky, které jsou chlazené protékající vodou. Požadovaná teplota vody se může nastavit zapojením výměňkové nádržky nebo použitím termostatu, který upraví vodu na požadovanou teplotu automaticky.

Povrchové teplo zkoušeného vzorku na výhřevné desce a chladících deskách se měří termočlánky. Na každé ploše je nejméně pět termočlánků s koncovými měděnými destičkami na teplém konci článku.

Nevýhodou stacionárních měřících metod je časová náročnost měření a nutnost stanovit tepelnou vodivost jen suchých materiálů. V tomto případě se pak přesnost měření pohybuje kolem 1 %. S růstem obsahu vlhkosti v měřeném materiálu se přesnost měření zhoršuje [27].

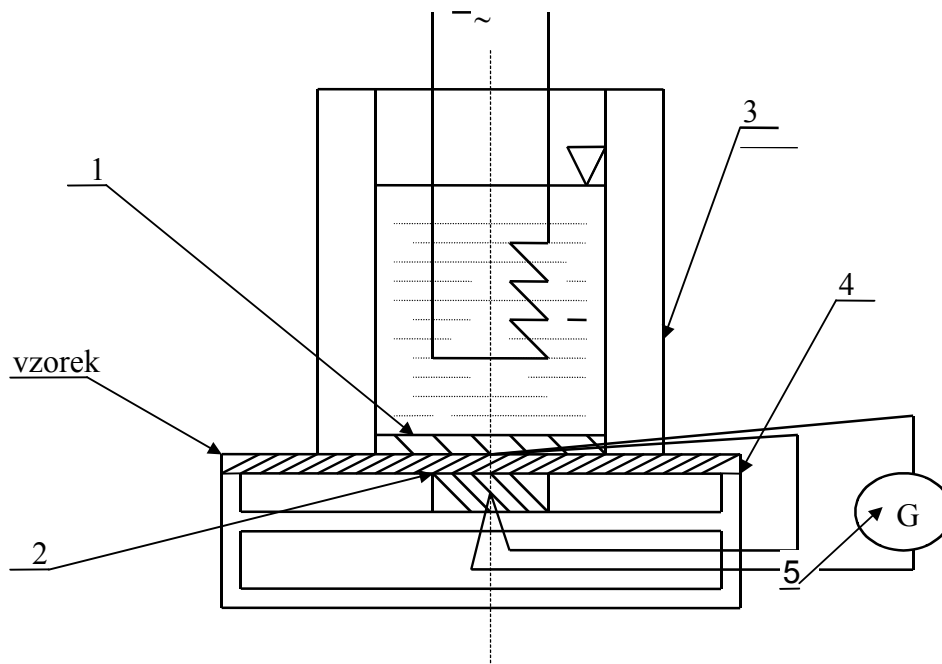
6.2 Nestacionární měření tepelné vodivosti

V současné praxi se začínají postupně uplatňovat metody založené na neustáleném toku tepla. Mezi výhody tohoto způsobu měření patří především krátká doba měření, jednoduchost postupu a měřícího zařízení i možnost určení důležitého vlivu vlhkosti vzorků izolačních materiálů na jejich tepelnou vodivost.

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 [8,9].

6.2.1 Měření na přístroji podle Fitche

K měření tepelné vodivosti nestacionární metodou se používá přístroje podle Fitche. Zařízení je zobrazeno na obr.3. Tohoto přístroje se používá především k měření tepelné vodivosti izolačních materiálů, pryží, usňových materiálů.



Obr. 3. Schéma Fitchova přístroje

- 1 - měděná deska
- 2 - měděný váleček s rovnými čelními plochami a termočlánky
- 3 - dno horní nádoby
- 4 - krabice
- 5 - galvanometr

Přístroj se skládá v podstatě ze dvou částí, z měděné desky 1 a měděného válečku 2 s rovnými čelními plochami, v nichž jsou zabudovány termočlánky měď-konstantan. Měděná deska tvoří dno horní nádoby 3, v níž se udržuje stálá teplota, např. vroucí vodou. Měděný váleček je izolován v krabici 4. Termočlánky Cu-Ko jsou zapojeny jako diferenciální a jejich

údaj registruje galvanometr 5. Mezi měděnou desku 1 stálé teploty a válečkem 2, jehož teplota se s časem mění, se při měření vkládá vzorek materiálu ve tvaru desky malé tloušťky s [28].

Teplo se sdílí vedením do spodního válečku zkoušeným vzorkem, jehož tepelná vodivost je λ .

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. Přesnost této metody je 5%. Chyba této metody se zvyšuje s velikostí ztrát, tj. s tepelnou vodivostí vzorku [26,27].

6.2.2 Měření na přístroji Alambeta

Přístroj Alambeta vyvinutý Hesem a Doležalem, je poloautomatickým počítačem řízený stroj, který měří mimo jiné tepelnou vodivost plošných textilií. Je koncipován pro tloušťku materiálů od 0,5 do 8,0 mm. Při splnění této podmínky tloušťky lze na tomto přístroji měřit i jiné materiály. Přístroj je schopen vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů. Celá měřící procedura, včetně měření tepelné vodivosti λ , tloušťky vzorku, tepelného odporu R a statistického zpracování výsledků trvá průměrně 3- 5 minut [11,26].

Princip tohoto přístroje spočívá v aplikaci systému na přímé měření tepelného toku připevněného k povrchu kovového bloku s konstantní teplotou, která se liší od teploty vzorku. Po zahájení měření hlavice se zmiňovaným měřícím systémem poklesne a dotkne se povrchu měřeného vzorku, který je umístěn na základně přístroje pod měřící hlavou, která je vytápěna odporovou topnou vložkou o příkonu cca 1W. V tomto okamžiku se povrchová teplota vzorku náhle změní a počítač začne zaznamenávat průběh tepelného toku.

Současně je pomocí závaží nastaven přítlak 200 Pa dle ČSN 80 0844, pomocí kterého fotoelektrický senzor měří tloušťku vzorku. Zjištění první dráhy probíhá během automatické přípravy měřiče, kdy se hlavice spustí přímo na základnu bez vzorku. Po zvednutí hlavice do horní polohy se vloží měřený vzorek a hlavice se opět spustí [11,12].

Po výměně vzorků může následovat další měření již bez přípravné fáze, neboť délka první dráhy je uložena v paměti počítače. Všechna data jsou zpracována podle programu, který zahrnuje matematický model charakterizující nestacionární teplotní pole v tenké desce vystavené různým okrajovým podmínkám.

Měřené a vyhodnocené veličiny jsou zobrazeny na displeji se značkou a hodnotou veličiny. Ke znázornění indikace a upozornění obsluhy napomáhá zvuková signalizace a luminiscenční diody indikující režim statického zpracování výsledků.

Měřená data samostatně zpracovává počítač. Pro statické zpracování je minimální počet měření 3 a maximální počet 20. Vypočítá se aritmetický průměr z jednotlivých měření, variační koeficient pro 95% hladině spolehlivosti. Hodnoty se zobrazí na displeji [11].

7 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tepelně izolační vlastnosti materiálů mají vliv na volbu materiálů při konstrukci obuvi, ochranných pomůcek, oděvů. Pro výrobu těchto produktů se využívá hověžinová useň. Jedná se o tříslložkový kompozitní materiál.

Tepelně izolační vlastnosti se nejčastěji hodnotí podle koeficientu tepelné vodivosti. Tepelná vodivost závisí hlavně na struktuře materiálu, na teplotě, tlaku a na obsahu vlhkosti.

Tepelnou vodivost lze odhadnout pomocí matematických modelů ze znalosti složení usně a vodivosti složek. Tyto modely lze rozdělit na empirické a modely vycházející ze znalosti struktury a vlastností jednotlivých složek.

Cílem této práce je změřit tepelnou vodivost materiálu v závislosti na jeho vlhkosti. Přičemž vlhkost materiálu vyvolává změnu jeho tloušťky a jeho hustoty.

Ze získaných výsledků doporučit vhodný matematický model pro určení tepelné vodivosti materiálu v závislosti na vlhkosti reprezentovanou hustotou materiálu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Měření probíhá na Fitchově přístroji. Jedná se o zařízení, které je vyrobeno na Fakultě technologické UTB ve Zlíně – Ústav inženýrství polymerů.

8.1 Přístrojové vybavení a použití pomůcky

- 2 vodní termostaty
- sušárna
- běžné laboratorní pomůcky
- tloušťkoměr- DM 100 Gi pro textilie a ostatní materiály
- váhy
- exikátor
- měřicí zařízení
- snímač ADAM 4018
- převodník ADAM 4520
- ControlWeb2000
- termočlánek J (FeKo)
- PC
- program NEREG02- vyhodnocovací program
- program MAREG- vyhodnocovací program

8.2 Měřené materiály

Měřeným materiálem je hovězinová štípenka (STEITZ SEWRA) – VELUR

Jedná se o tříslůžkový kompozitní materiál jehož složky jsou : usňová hmota, voda, vzduch.

8.3 Metody měření

Všechna měření probíhají v laboratoři při teplotě okolního vzduchu 24 - 26 °C.

8.3.1 Měření hmotnosti

Hmotnost vzorků měřím na digitálních váhách, které jsou k dispozici v laboratoři.

8.3.2 Měření tloušťky vzorku

Tloušťka vzorků je měřena na přístroji DM 100 Gi pro textilie a ostatní materiály. Přístroj slouží k určení tloušťky plochých materiálů a z toho odvozených hodnot. Technická data uvedená pro různé přístroje odpovídají normě TGL a DIN.

Tloušťku vzorků měřím vždy 10 krát na různých místech celé plochy a z těchto hodnot tvořím aritmetický průměr. Tloušťka je měřena pod přtlakem 5 kPa. Toto vyplývá z technických dat pro DM 100 Gi.

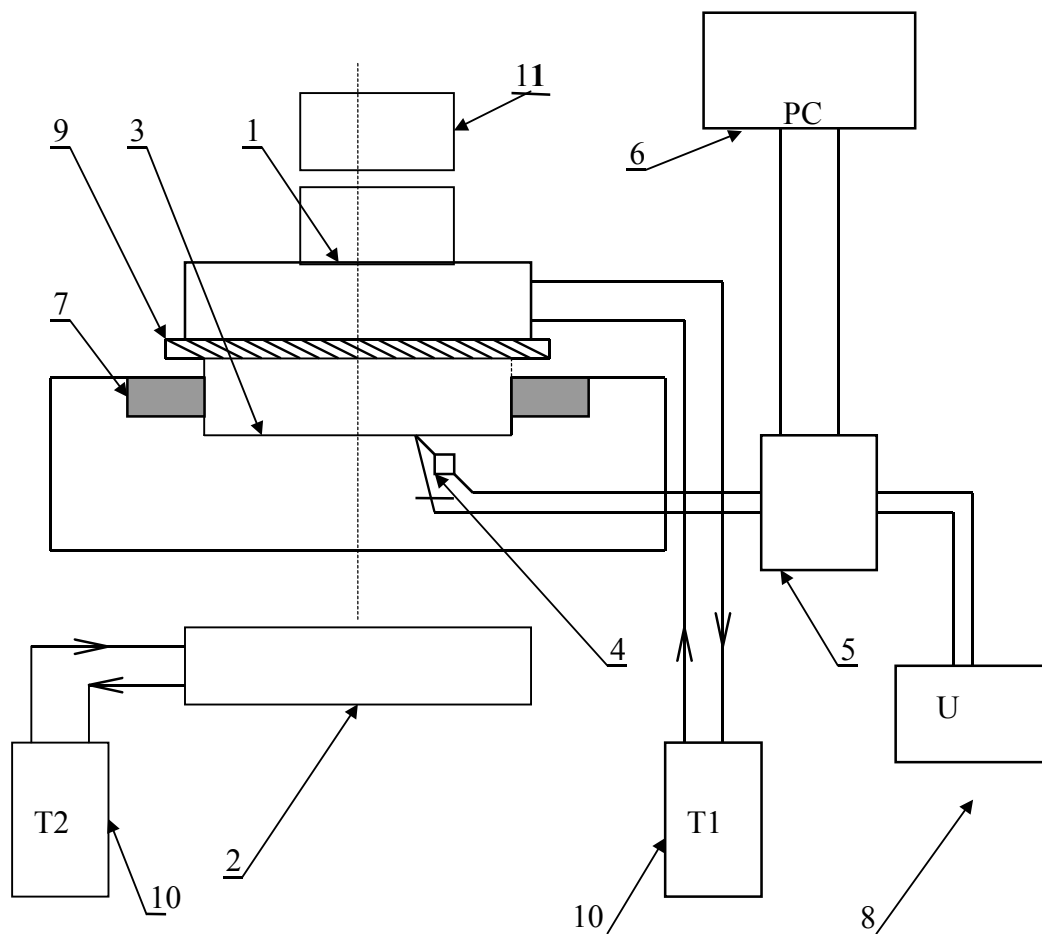


Obr4. Tloušťkoměr DM 100 Gi

8.3.3 Měření tepelné vodivosti nestacionární metodou

8.3.3.1 Popis měřicího zařízení

Pro měření tepelné vodivosti byla sestrojena aparatura vlastní konstrukce podle Fitcha. Blokové schéma měřicí aparatury je zobrazeno na obr. 5. [10].



Obr.5. Blokové schéma měřicí aparatury

- 1 - temperanční válec na teplotě t_1
- 2.- temperanční válec na teplotě t_2
- 3 - mosazný měřicí váleček
- 4- termočlánek typu J (železo - konstantan)
- 5- zesilovač
- 6- osobní počítač, ControlWeb 2000
- 7- kryt měřicího válce
- 8- stejnosměrný zdroj napětí
- 9- měřený vzorek
- 10- termostaty
- 11- závaží



Obr.6. Foto Fitchova přístroje

Mezi hlavní části patří blok 1, kterým je temperovaný mosazný válec 1. Válec 1 je v průběhu celého experimentu temperována na konstantní teplotu t_1 . Obdobným způsobem se do aparatury zapojí i blok 2, tvořený druhým mosazným válcem 2. Válec 2 je také temperován na stálou teplotu v průběhu celého měření a to na teplotu t_2 . Pro udržení konstantních teplot byly využité dva nezávisle pracující termostaty T1, T2, příslušící válcům 1,2.

Pozornost musíme věnovat měřicímu válečku 3, který je tepelně izolovaný pomocí přesně tvarovaného materiálu vyrobeného z lehčeného PUR 7. Pro přesné snímání teploty na povrchu měřeného vzorku je k měřicímu válečku připojený senzor 4 a dále zesilovač 5, který je napájený jednosměrným napětím ze stabilizovaného zdroje 8.

Signál vyvedený ze zesilovače je vedený na port v osobním počítači a vyhodnocování informací vykonává program ControlWeb 2000, který snímá teplotu. Metoda vzorkování je nastavena na 10 sekund.

Teplotní vodivost je stanovena podle ČSN 640142 použitím vodních termostatů pomocí mosazného měřicího zařízení.

8.3.4 Měřicí software

Všechny údaje zachycené čidlem byly konvertované A/D převodníkem do formy digitálních hodnot. Tok dat byl sekvenčně vyhodnocený programem ControlWeb 2000. Tepelná vodivost byla následovně vyhodnocena systémem NeReg02.

8.3.5 Princip měření

Celý proces měření hodnot je periodický. Na základě podmínek, které byly předem stanoveny, byly určité veličiny zachovány v průběhu celého měření a pro každé měření. Jedná se o nastavení termostatů na stejnou teplotu, zapojení převodníků. Termostaty byly využívány na temperování mosazných válců, které měly stejnou teplotu v průběhu celého experimentu.

Postup měření je následující:

- *Temperování mosazných válců* spočívá v zapnutí termostatu a překontrolování kapacitního média (voda). V průběhu temperance je důležité sledovat průběžnou teplotu na teploměrech. Temperance se v našem případě vyhodnotí jako ukončená, když termostat s vyšší teplotou, dosáhl 50°C a termostat s nižší teplotou 25°C .

- *Zapnutí celého zařízení* se provede až po spuštění měřicího softwaru ControlWeb2000. Na displeji je možné velmi přehledně sledovat teplotní stav na měřících válcích a tedy i na teplotním čidle.
- *Temperace* na vyšší teplotu byla uskutečněna po vložení mosazného válce na měřicí váleček. Proces temperance je v reálném čase kontrolovaný programem ControlWeb2000.
- *Vložení vzorku* je velmi významnou částí experimentu. Po vytemperování na požadovanou teplotu 50°C se ohřívací váleček odstraní z měřicího válečku. Místo něj se položí měřený vzorek, na který se položí mosazný válec temperovaný termostatem na teplotu 25°C. Pro dokonalejší styk ploch jednotlivých komponentů a pro vyvození požadovaného tlaku na měřený vzorek se na mosazný válec ještě položí izolační materiál z lehčeného PS a závaží.
- *Měření* nastává ihned po výměně mosazných válců. Teplo přestupuje z vyhřátého měřicího válečku do chladnějšího válce skrze měřený vzorek. Tento přestup tepla je sensorován a změny jsou vysílány přes převodník a zesilovač do počítače, kde tyto změny zaznamenává program ControlWeb2000. Celá počítačová aplikace popisuje situaci na měřicím čidle a podává nám informace o tom, kdy má být ukončeno snímání dat a tím ukončeno měření vzorku.
- *Ukončení měření* nastává v momentě, kdy teplota zobrazená v PC ukazuje teplotu přibližně 25°C. Pokud jsme si před měřením stanovili, že teplotní interval pro měření a vyhodnocování je od 47°C do 27°C, stačí do vyhodnocovacího programu vybrat pouze hodnoty z tohoto teplotního intervalu.
- *Ukládání dat* bylo v průběhu měření zajištěno pomocí programu NeReg02 do souborů typu *.dbf. Jedná se o typ souboru, který je možné uložit do PC a dále potom kdykoliv vyhodnotit.

8.3.6 Výpočet tepelné vodivosti pomocí programu NeReg02

Výpočet tepelné vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) byl proveden pomocí softwaru NeReg02. V tomto programu si označím hodnoty v teplotním intervalu mnou předem stanoveném, se kterými budu dále pracovat a vyhodnocovat. Jak jsem již výše zmiňovala, tento interval je od 47°C do 27°C pro všechna moje měření. Dále zadám do programu tloušťku příslušného vzorku, tepelnou kapacitu měřícího válečku a plochu vzorku. Tepelnou vodivost mi potom program na základě těchto zadaných hodnot sám vypočítá.

Vztah pro výpočet tepelné vodivosti byl zadán přímo v programu NeReg02. Pro úplnost uvádím tento vztah:

$$\lambda = \frac{c \cdot \delta \cdot K}{S} \quad (12)$$

$$\text{kde } c = a_{3s} - a_3 \quad (13)$$

c - rozdíl mezi naměřeným a slepým pokusem (s^{-1})

a_{3s} - parametr vyhodnocený slepým pokusem (s^{-1})

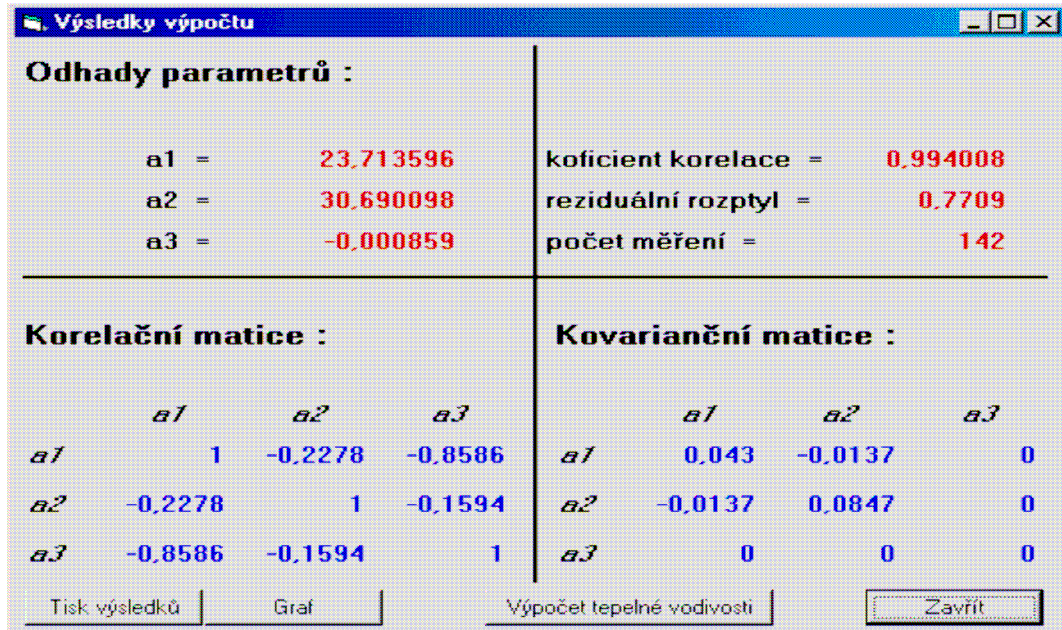
a_3 - parametr vyhodnocený nelineární regresí (s^{-1})

δ - tloušťka vzorku (m)

K - tepelná kapacita měřeného válečku ($\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$)

S - plocha vzorku (m^2)

Po vypočítání a zaznamenání těchto hodnot byly soubory archivovány a vymazány kvůli dalšímu měření. Po těchto krocích se celý proces opakuje a my můžeme měřit další vzorek.



Obr.7. Obrazovka zobrazující výsledky

Výpočet tepelné vodivosti

K = (J.K⁻¹)

S = (m²)

δ = (m)

a3 = (s⁻¹)

a2 = (s⁻¹)

a1 = a3 - a2

$$\lambda = \frac{a1 \cdot \delta \cdot K}{S} \quad -1$$

λ = ... (W.m.K⁻¹)

Vypočítat Zavřít

K - tepelná kapacita měřícího válečku
 S - plocha vzorku
 δ - tloušťka vzorku
 λ - tepelná vodivost
 a3 - parametr vyhodnocený nelineární regresí
 a2 - parametr vyhodnocený slepým pokusem

Obr.8 Obrazovka zobrazující výpočet tepelné vodivosti

Takto vypadá obrazovka počítače při vyhodnocování dat. Dosazením hodnot tepelné kapacity měřícího válečku, plochy vzorku a tloušťky vzorku, získáme příslušnou hodnotu tepelné vodivosti pro měřený vzorek.

8.3.7 Matematický model měření na Fitchově přístroji

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

$$-K_1 \frac{dt}{d\tau} = \frac{S \lambda (t - t_1)}{\delta} + B (t - t_1) \quad 0 < \tau < \tau_m \quad (14)$$

$$t(0) = t_2 = 53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

kde K_1 je tepelná kapacita měřícího válečku (J.K^{-1})

- S - plocha vzorku (m^2)
- λ - tepelná vodivost ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- t - snímaná teplota měřícího válečku ($^\circ\text{C}$)
- t_1 - teplota temperační desky (1) ($^\circ\text{C}$)
- t_2 - počáteční teplota měřícího válečku ($^\circ\text{C}$)
- δ - tloušťka vzorku (m)
- B - koeficient tepelných ztrát ($\text{J.K}^{-1}.\text{s}^{-1}$)
- τ - čas (s)

pro B platí:

$$B = \alpha \cdot S_z \quad (15)$$

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

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

Pravá strana rovnice (14) 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 (14) představuje akumulaci tepla v měřícím válečku prezentovanou jako jeho časovou změnu teploty [21].

Rovnice (14) je homogenní diferenciální rovnice prvního řádu. Jejím řešením je rovnice (16):

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) \cdot \exp(-(A_1 + A_2) \cdot \tau) \quad (16)$$

kde pro A_1 a A_2 platí vztahy:

$$A_1 = \frac{S\lambda}{\delta K_1} \quad (17)$$

$$A_2 = \frac{B}{K_1} \quad (18)$$

$$A_3 = A_1 + A_2$$

Kde parametr A_2 vyjadřuje tepelné ztráty do okolí. Vyhodnocení naměřených dat závislosti teploty t a měřicího tělíska na čase τ se provádí podle matematického modelu, kde parametry a_1 , a_2 , a_3 , se určí nelineární regresí

$$t = a_1 + a_2 \cdot \exp(a_3 \tau) \quad (19)$$

jenž odpovídá rovnici

$$a_3 = -(A_1 + A_2) = -A_3 \quad (20)$$

Tepelná vodivost se pak získá z parametru a_3 .

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

8.3.8 Matematické modely vedení tepla obuvnických materiálů v závislosti na vlhkosti

Svrškové obuvnické materiály, jejichž typickým představitelem je svršková useň, jsou přírodními materiály a tohoto důvodu se jedná o materiál nehomogenní. Hlavní strukturu usně tvoří propletená vlákna kolagenu, která jsou různě uspořádána v papilární retikulární vrstvě.

Vzhledem k nehomogenitě materiálu a vláknité struktuře bychom mohli zvolit model paralelního zapojení, který je zároveň odhadem maximální tepelné vodivosti takového usňového kompozitu.

Složky kompozitu:

A - usňová hmota

B - voda

C - vzduch

Efektivní tepelná vodivost λ_c je podle paralelního modelu dána vztahem

$$\lambda_c = \varepsilon_A \cdot \lambda_A + \varepsilon_B \cdot \lambda_B + \varepsilon_C \cdot \lambda_C \quad (21)$$

Kde $\varepsilon_{A,B,C}$ jsou objemové zlomky složek,

$\lambda_{A,B,C}$ jsou tepelné vodivosti složek.

Měřené vzorky mají plochu S , hmotnost suchého vzorku zjistíme sušením při 105°C do konstantní hmotnosti m_0 a tloušťky s_0 .

Z těchto měření lze pak určit objemové zlomky složek.

$$\varepsilon_A = \frac{m_0}{\rho_A \cdot S \cdot s} \quad (22)$$

$$\varepsilon_B = \frac{m - m_0}{\rho_B \cdot S \cdot s} \quad (23)$$

$$\varepsilon_C = 1 - (\varepsilon_A + \varepsilon_B) \quad (24)$$

Kde $\rho_{A,B,C}$ jsou hustoty čistých složek, které lze zjistit v tabulkách.

s – tloušťka vzorku (mm)

Když zavedeme hustotu suché usně ρ_0 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

$$\rho_0 = \frac{m_0}{S \cdot s_0} \quad (25)$$

$$b = \frac{s}{s_0} \quad (26)$$

kde $1-b$ je relativní zbotnáním, b je zbotnání, vyjádříme relativní vlhkost X

$$X = \frac{m - m_0}{m_0} \quad (27)$$

Potom můžeme dosadit do rovnice (21). a získáme vztah:

$$\lambda_e = \frac{\rho_0}{\rho_A} \cdot b \cdot \lambda_A + \frac{\rho_0}{\rho_B} \cdot (X+1-b) \cdot \lambda_B + \left[1 - \left(\frac{\rho_0}{\rho_A} \cdot b + \frac{\rho_0}{\rho_C} \cdot (X+1-b) \right) \right] \cdot \lambda_C \quad (28)$$

Souvislost naměřených dat λ_{em} a vypočtených hodnot λ_{ev} se určí regresí podle rovnice

$$\lambda_{ev} = k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \quad (29)$$

Regresí se určují i parametry modelu k_1 a k_2 .

8.3.9 Matematické modely vedení tepla pro měřené vzorky hovězinové štípenky

Lze navrhnout matematické modely, které budou vhodné pro měřené vzorky a budou vypovídat o struktuře vláken vzorku.

8.3.9.1 Přímé matematické modelování pro vzorky hovězinové štípenky

Pro metodu přímého matematického modelování zvolíme závislost tepelné vodivosti na hustotě.

$$\lambda_{ev}^i = a_0 + a_1 \frac{(\rho^i - \rho_0)}{\rho_0} + a_2 \left(\frac{(\rho^i - \rho_0)}{\rho_0} \right)^2, \quad (30)$$

kde parametr $a_0 = \lambda_0$

a_1, a_2 - parametry vyhodnocené regresí

ρ_0 - hustota suché usně ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

ρ^i - hustota usně při určité hodnotě relativní vlhkosti X^i ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

λ_0 - tepelná vodivost suché usně, při hustotě ρ_0 (W/mK)

Souvislost naměřených dat λ_{em} a vypočtených hodnot λ_{ev} se určí regresí podle rovnice

$$\sum_{i=1}^m (\lambda_{em}^i - \lambda_{ev}^i)^2 = \min_{a_1, a_2} S(a_1, a_2) \quad (31)$$

Důležitým vztahem pro pochopení souvislosti vyjadřování tepelné vodivosti v závislosti na hustotě je:

$$X^i = \frac{m^i - m_0}{m} = \frac{\rho^i \cdot b^i}{\rho_0} - 1, \quad (32)$$

kde X^i - je relativní vlhkost (1)

i - - index měření

m^i - hmotnost vzorku (kg)

m_0 - hmotnost suchého vzorku (kg)

ρ^i - hustota vzorku při určité hodnotě relativní vlhkosti ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

ρ_0 - hustota suchého vzorku ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

b^i - zbotnání vzorku (1) – vyjádřeno z rovnice (26)

Dále používáme závislosti:

$$\rho^i = \frac{m^i}{S \cdot s^i}, \quad (33)$$

kde S je plocha vzorku (m^2)

s^i - tloušťka vzorku (m)

m^i - hmotnost vzorku (kg)

Pro vyhodnocení mnou naměřených a vypočítaných hodnot jsem zvolila metodu přímého matematického modelování.

8.3.9.2 Nepřímé matematické modelování pro vzorky hovězínové štípenky

Pro metodu nepřímého matematického modelování se vychází z parametrů:

m_0 - hmotnost suchého vzorku (kg)

m^i - hmotnost vzorku (kg)

X^i - relativní vlhkost (1)

s_0 - tloušťka suchého vzorku (m)

s^i - tloušťka vzorku (m)

λ_0 - tepelná vodivost suchého vzorku (W/m.K)

λ_i - tepelná vodivost vzorku (W/m.K)

$\varepsilon_{A,B,C}$ - objemové zlomky složek – vypočítáme ze vztahů (22,23,24)

b^i - zbotnění (1)

Tyto hodnoty musíme měřením zjistit a dopočítat. Dále se pro nepřímé matematické modelování vychází z hodnot, které jsou již známé - tabulkové hodnoty.

Jedná se o $\rho_{A,B,C}$ hustoty čistých složek a $\lambda_{A,B,C}$ tepelné vodivosti složek kompozitu.

Kde A je usňová hmota

B - voda

C - vzduch

Tab. 3. Tabulkové hodnoty hustoty a tepelné vodivosti pro složky usně

složka	$\rho(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	λ (W/mK)
A	1200	0,140
B	996	0,618
C	1,127	0,026

Hodnoty jsou uváděny pro teplotu 30°C.

Vyjádříme vztahy pro paralelní a sériový matematický model vedení tepla v závislosti na vlhkosti.

Paralelní model :

$$\lambda_p^i = \lambda_A \cdot \varepsilon_A^i + \lambda_B \cdot \varepsilon_B^i + \lambda_C \cdot \varepsilon_C^i \quad (34)$$

Kde $\varepsilon_{A,B,C}$ jsou objemové zlomky složek, které řešíme z naměřených veličin dle vztahů (22,23,24), $\lambda_{A,B,C}$ jsou tepelné vodivosti složek

Sériový model:

$$\lambda_s^i = \left(\frac{\varepsilon_A^i}{\lambda_A} + \frac{\varepsilon_B^i}{\lambda_B} + \frac{\varepsilon_C^i}{\lambda_C} \right)^{-1} \quad (35)$$

Potom platí vztah

$$\lambda_{ev}^i = k \cdot \lambda_p^i + (1 - k) \lambda_s^i \quad (36)$$

Závislost mezi měřenými a vypočítanými hodnotami vyjadřuje vztah

$$\sum_{i=1}^m (\lambda_{em}^i - \lambda_{ev}^i)^2 = S_{\min}(k) \quad (37)$$

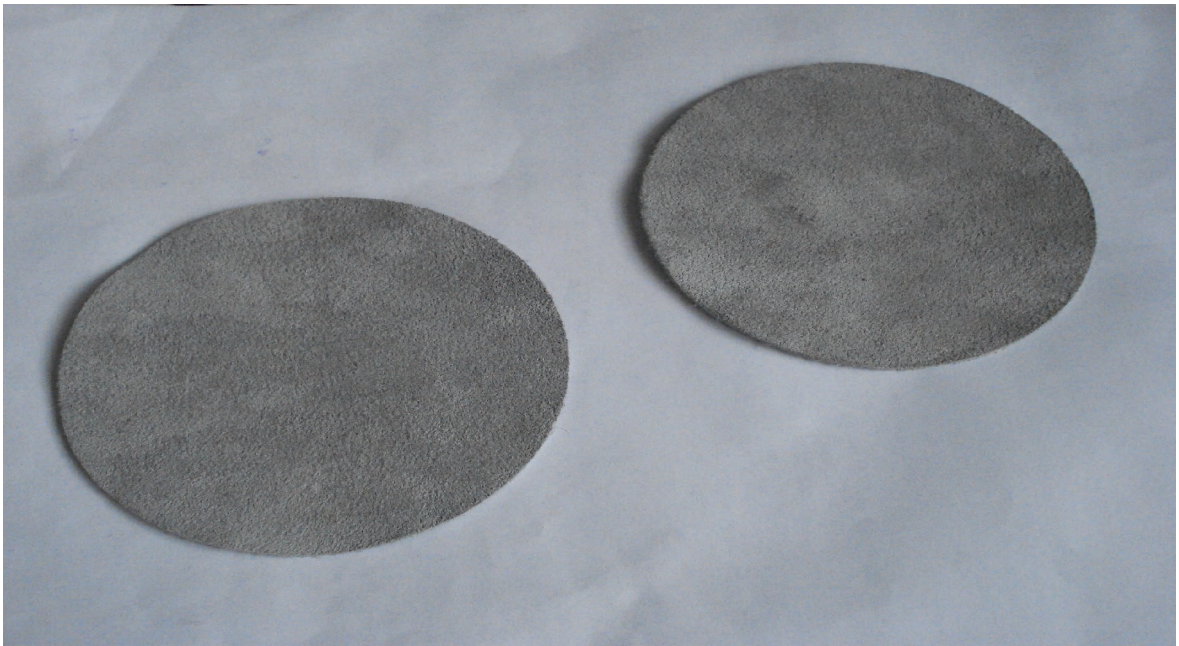
Kde se regresí vyhodnotí parametr k .

Tento vztah pro vyhodnocení tepelné vodivosti usní je převzat z literatury a já ho po konzultaci s Doc. Ing. Antonínem Blahou, CSc. navrhuji pro toto vyhodnocení.

8.4 Vlastní měření

8.4.1 Příprava vzorků

Pro měření jsem použila 2 vzorky hovězinové štípenky. Vzorky byly vyseknuty pomocí kruhového nože o průměru 90 mm. Vzorky měly přibližně stejnou tloušťku.



Obr.9. Vzorky hovězinové štípenky za laboratorních podmínek při tloušťce s_0

Pro každé i -té měření tepelné vodivosti jsem vzorek zvažila, tloušťkoměrem jsem změřila tloušťku při určité vlhkosti vzorku a mohla jsem měřit jeho tepelnou vodivost na Fitchově přístroji.

8.4.2 Podmínky měření

Vzorky byly měřeny za laboratorních podmínek. Teplota laboratoře byla udržována na 26°C . Součástí aparatury Fitchova přístroje je měřicí váleček, jehož tepelná kapacita je $K = 317,5 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ a je určena jeho hmotností a měrnou kapacitou mosazi. Plocha měřicího válečku je $S = 6,362 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Tyto hodnoty jsou konstantní, zadávám je do programu NeReg pro výpočet tepelné vodivosti. Přítlačný tlak, kterým působil mosazný měřicí váleček na měřený vzorek je 5kPa..Toto zatížení jsem volila proto, aby podmínky pro měření tloušťky vzorků na přístroji DM 100 Gi a tepelné vodivosti na Fitchově přístroji, byly shodné.

Jako závaží pro měření tepelné vodivosti jsem použila PET lahev s destilovanou vodou o hmotnosti 2 271 g. Hmotnost přítlačného válce je 908 g. Z těchto údajů jsem tedy byla schopna vypočítat potřebný tlak.

Měření probíhalo při ochlazování měřicího válečku z 50°C na 25°C. K vyhodnocování teplotní závislosti je dále brán teplotní interval 47°C až 27 °C.

8.4.3 Měření slepého pokusu

Pro eliminaci vlivu ztrát vzniklých přirozeným prouděním vzduchu kolem měřicího přístroje byl změřen slepý pokus (slepý pokus : místo vzorku se při měření použije izolační materiál). Celé zařízení je konstruováno tak, aby ztráty byly co nejmenší. Proto je také nastavení teploty t_1 (teplota temperační desky) koncipováno tak, aby se tato teplota pohybovala v oblasti teploty, která je srovnatelná s okolní teplotou v laboratoři.

Měřeným materiálem byl lehčený polystyren ve tvaru vzorku. Pro měření slepého pokusu byl vybrán vzhledem ke své dostupnosti a snadné zpracovatelnosti jako izolační materiál polystyren o udávané tepelné vodivosti:

$$\lambda = 0,04 \text{ až } 0,05 \text{ W/mK}$$

$$\text{Odhad } A_1 = 0$$

$$\text{Ztráty zařízení vyjádřené parametrem } A_2 = 0,000263 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Tepelná kapacita měřicího válečku : } K = 317,5 \text{ JK}^{-1}$$

$$\text{Plocha měřicího válečku } S = 6,362 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

8.4.4 Naměřené a vypočítané hodnoty pro vzorek č. 1

Pro vzorek hovězinové štípenky č. 1 měřím hmotnost, tloušťku, tepelnou vodivost.

Hustotu vzorku, zbotnání a relativní vlhkost jsou hodnoty, které mohu ze zjištěných parametrů vypočítat dle vztahů v kapitole č.7.3.9 .

Tab.4. Vzorek č. 1

<i>index měření i</i>	<i>m (g)</i>	<i>s (mm)</i>	<i>λ (Wm⁻¹K⁻¹)</i>	<i>ρ (kg.m⁻³)</i>	<i>b (l)</i>	<i>X (l)</i>
0	5,259	1,510	0,0650	548	1,000	0,000
1	5,514	1,530	0,0650	567	1,013	0,048
2	5,860	1,547	0,0647	596	1,025	0,114
3	6,428	1,560	0,0850	648	1,033	0,222
4	6,950	1,603	0,1015	682	1,062	0,321
5	7,154	1,648	0,1064	682	1,091	0,360
6	7,404	1,678	0,1135	694	1,111	0,408
7	7,854	1,680	0,1197	735	1,112	0,493
8	8,384	1,688	0,1506	781	1,118	0,594
9	8,863	1,735	0,1679	803	1,149	0,685
10	9,009	1,746	0,1679	811	1,156	0,713
11	9,557	1,750	0,2109	858	1,159	0,817
12	10,170	1,800	0,2755	888	1,192	0,934

- m. - hmotnost vzorku (g)
- s - tloušťka vzorku (mm)
- λ - tepelná vodivost ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$)
- ρ - hustota vzorku ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
- b - zbotnění vzorku (1)
- X - relativní vlhkost vzorku (1)

Hodnoty tepelné vodivosti u vzorku č. 1 se pohybují v rozmezí 0,0650 do 0,2755 W/mK. Hodnoty hustoty se pohybují od 548 do 888 kg m^{-3} . Hodnoty vlhkosti usně se pohybují od 0,000 do 0,934 což vypovídá o tom, že vzorek byl měřen při různých hodnotách relativní vlhkosti. Tato hodnota ukazuje, jak jsou složky usňového kompozitu spolu v rovnováze. Čas měření je v intervalu 17,5minut do 45 minut.

Uvedené hodnoty budu dále dosazovat do matematických modelů. Vyjádřím, jak na sobě tyto parametry závisí.

8.4.4.1 Závislost hustoty, zbotnění a vlhkosti na tepelné vodivosti pro vzorek č. 1

Z grafů můžeme pozorovat průběh měření. Sledování závislostí v grafech slouží především k tomu, abychom se podívali, jestli nedošlo v průběhu měření k hrubé chybě.

Toto lze zjistit, protože dle dostupných informací víme, jaký by závislosti měly mít průběh.



Obr.10. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na zbotnění b pro vzorek č.1



Obr.11. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na hustotě ρ pro vzorek č. 1



Obr.12. Graf závislosti tepelné vodivosti λ relativní vlhkosti X pro vzorek č. 1

Dle obr. 10. vidíme, že u vzorku č. 1 tepelná vodivost v závislosti na zbotnění roste. Na obr. 11. sledujeme, že tepelná vodivost roste i v závislosti na hustotě vzorku. Čím má materiál vyšší hustotu, tím je horším izolátorem tepla.

Tepelná vodivost roste v závislosti na relativní vlhkosti vzorku, jak pozorujeme na obr. 12. Jak jsem již zmiňovala v kapitole 7.3.9 dle rovnice (32) existuje přímá souvislost mezi relativní vlhkostí materiálu a hustotou a zbotněním.

Předpoklad o hustotě jako kritériu při vyjadřování závislosti tepelné vodivosti na vlhkosti se potvrdil.

8.4.5 Vyhodnocení matematického modelu pro vzorek č.1

Pro vyhodnocení naměřených a vypočítaných hodnot jsem zvolila metodu přímého matematického modelování. Regresí pomocí programu MAREG byla vyhodnocena souvislost mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami tepelné vodivosti v závislosti na hustotě dle rovnice (30). Pro regresní analýzu dosazuji do programu MAREG hodnoty hustoty a tepelné vodivosti z tabulky .4. od měření $i=3$.

Do programu MAREG zadám rovnici závislosti tepelné vodivosti na hustotě vzorku, jak uvádím výše ve vztahu (30). Regresní funkce, kterou přímo dosazuji do programu MAREG je ve tvaru:

$$\lambda = 0,065 + a_1 \cdot (\rho - 547,5) / 547,5 + a_2 \cdot ((\rho - 547,5) / 547,5)^2 \quad (38)$$

Kde hodnota 0,065 je hodnota tepelné vodivosti λ_0 suché usně

ρ - hustota usně dle tabulky č. 4 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

547,5 - hodnota hustoty suché usně ρ_0 (v tabulce 4. hodnota 548)

Výsledkem regresní analýzy pomocí programu MAREG jsou data:

Koeficient korelace :	0,984
Počet stupňů volnosti:	7
Hladina významnosti:	90%
Reziduální rozptyl:	0,000144
Intervaly spolehlivosti:	90 %

Výsledkem jsou také odhady regresních parametrů a_1 , a_2 .

$a_1 = 0,01188$, interval spolehlivosti je $\langle -0,0583758 \rangle - \langle 0,0821556 \rangle$,

$a_2 = 0,47442$, interval spolehlivosti je $\langle -0,332509 \rangle - \langle 0,616336 \rangle$,

Dalším výstupem vyhodnocení programu MAREG pomocí nelineární regrese jsou hodnoty vypočítané tepelné vodivosti, které vidíme na obr.13.

```

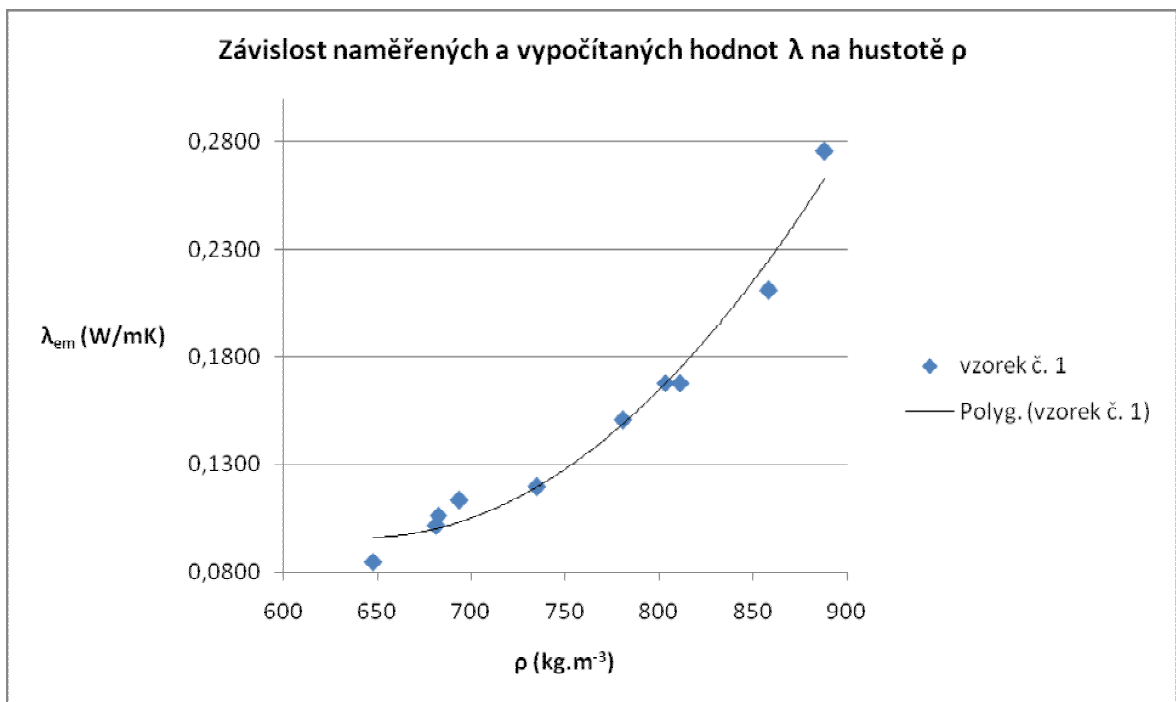
Vstupni soubor      :      pe Pocet mereni      : 10
Koeficient korelace :   0.983527 Pocet stupnu volnosti : 7
F test P(korel.#0) :   0.999994 Hladina vyznamnosti   : 90%
Residualni rozptyl : 0.000143884 Intervaly spolehlivosti: 90%
Hodnoty merenych velicin:
Mereni c. Namereno Vypocteno(na krivce) Interval spolehlivosti
1      0.085   0.0831681 < 0.0748148> - < 0.0915215>
2      0.1015  0.0965522 < 0.0873328> - < 0.105772>
3      0.1064  0.0970013 < 0.08777> - < 0.106233>
4      0.1136  0.10215 < 0.0928354> - < 0.111464>
5      0.1197  0.124713 < 0.115747> - < 0.13368>
6      0.1506  0.155604 < 0.147457> - < 0.16375>
7      0.1679  0.173867 < 0.165639> - < 0.182095>
8      0.168   0.180612 < 0.172171> - < 0.189054>
9      0.2109  0.222328 < 0.210379> - < 0.234277>
10     0.2755  0.255892 < 0.239248> - < 0.272537>
Prohlizeni souboru↑↓ PgUp PgDn CtrlHome CtrlEndPohyb kurzoru Enter,Esc Konec

```

Obr. 13 Grafický výstup vyhodnocení dat z programu MAREG

Sloupec naměřených hodnot obsahuje data tepelné vodivosti, jejichž zdroj je v tabulce č. 4. Sloupec vypočtených hodnot tepelné vodivosti (na křivce) obsahuje data, která jsou vypočtena programem MAREG dle rovnice (38).

Graficky lze znázornit závislosti naměřených a vypočítaných hodnot tepelné vodivosti v závislosti na hustotě vzorku.



Obr. 14. Závislost naměřených a vypočítaných hodnot tepelné vodivosti λ na hustotě ρ

Tepelná vodivost mnou naměřená, je srovnatelná s teoretickým modelem.

Na základě znalosti parametrů a_1 , a_2 lze podle rovnice (30) odhadnout tepelnou vodivost jiné hovězinové štípenky, než je měřený vzorek, aniž by se muselo provádět měření tepelné vodivosti, což je přínosem této diplomové práce.

8.4.6 Komplexně naměřený vzorek hovězinové štípenky č. 2

Tab.5. Vzorek č. 2

<i>měření</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	λ	ρ	<i>b</i>	<i>X</i>
<i>i</i>	(g)	(mm)	($Wm^{-1}K^{-1}$)	($kg.m^{-3}$)	(l)	(l)
0	5,086	1,400	0,0660	571	1,000	0,000
1	5,344	1,408	0,0747	597	1,006	0,051
2	6,035	1,465	0,0847	648	1,046	0,187
3	6,920	1,517	0,1243	717	1,084	0,361
4	7,005	1,526	0,1140	722	1,090	0,377
5	7,665	1,560	0,1389	772	1,114	0,507
6	7,991	1,560	0,1425	805	1,114	0,571
7	8,424	1,576	0,1570	840	1,126	0,656
8	8,734	1,609	0,1664	853	1,149	0,717
9	9,156	1,620	0,1750	889	1,157	0,800
10	9,836	1,685	0,2278	918	1,204	0,934
11	11,726	1,618	0,3390	1139	1,156	1,306

m - hmotnost vzorku (g)

s - tloušťka vzorku (mm)

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

ρ - hustota vzorku ($kg.m^{-3}$)

b - zbotnění vzorku (l)

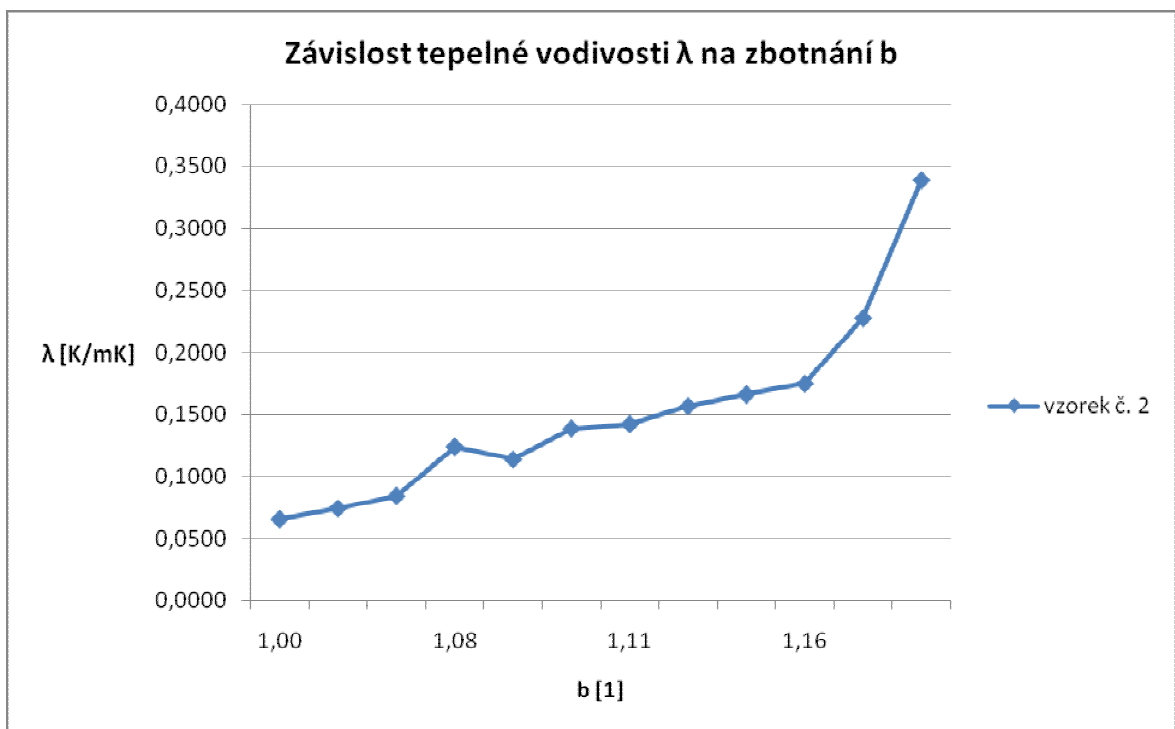
X - relativní vlhkost vzorku (l)

Hodnoty tepelné vodivosti u vzorku č. 2 se pohybují v rozmezí 0,0660 do 0,3390 W/mK. Hodnoty hustoty se pohybují od 571 do 1139 kg m⁻³. Hodnoty relativní vlhkosti usně se pohybují od 0,000 do 1,306. Čas měření je v intervalu 17,5minut do 45 minut.

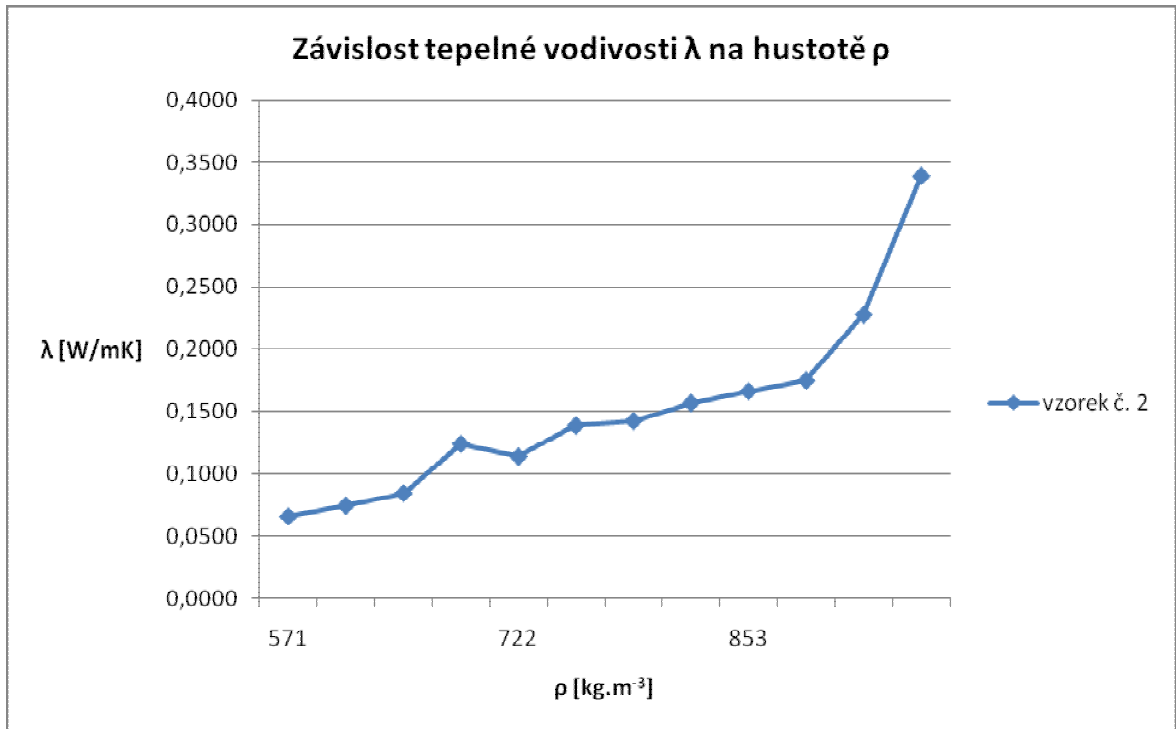
Tyto hodnoty budu dále dosazovat do matematických modelů. Vyjádřím závislost mnou naměřených a vypočítaných hodnot.

8.4.6.1 Závislost hustoty, zbotnění a vlhkosti na tepelné vodivosti pro vzorek č. 2

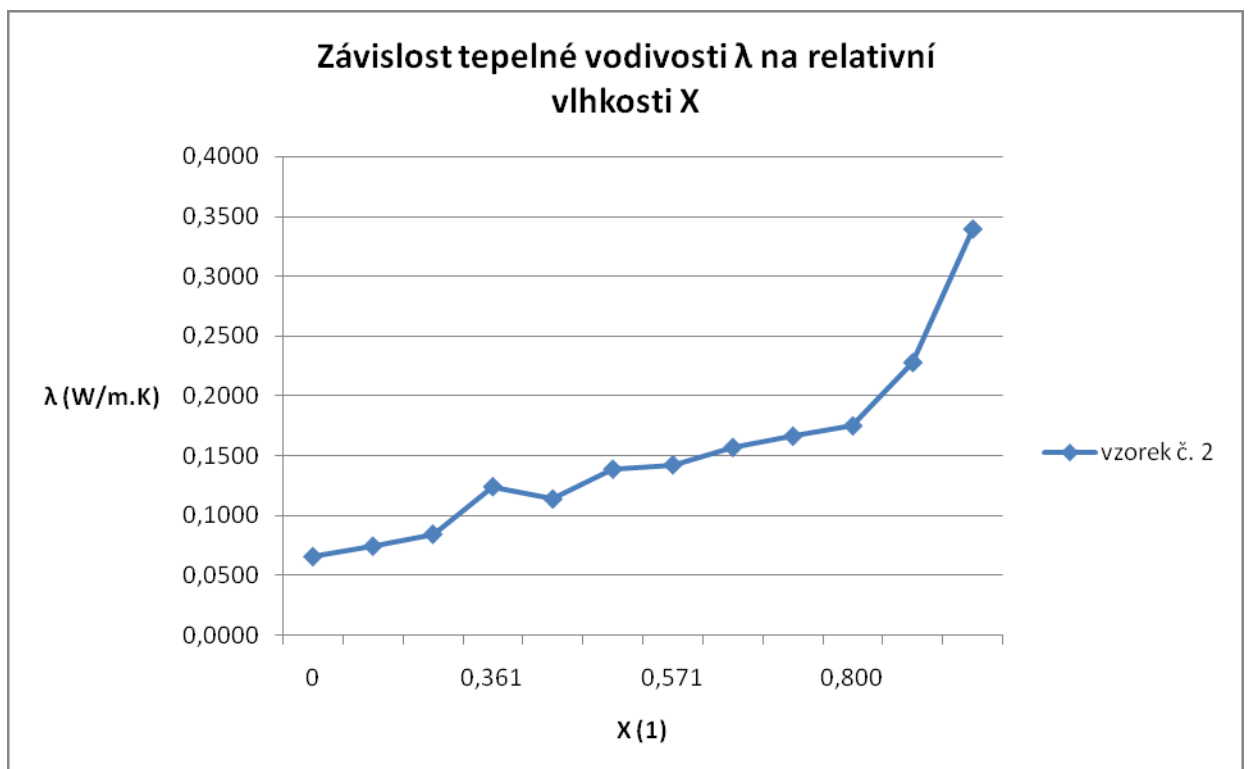
Z níže uvedených grafů můžeme pozorovat průběh měření. Sledování závislostí v grafech slouží především k tomu, abychom vyloučili hrubé chyby, které by mohly vzniknout v průběhu měření.



Obr. 15. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na zbotnění b pro vzorek č.2



Obr. 16. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na hustotě ρ pro vzorek č. 2



Obr.17. Graf závislosti tepelné vodivosti λ relativní vlhkosti X pro vzorek č. 2

Dle dostupných informací víme, jaké by závislosti měly mít průběh. Na obr. 15. vidíme, že u vzorku č. 2 tepelná vodivost v závislosti na zbotnění roste. Na obr. 16. sledujeme, že tepelná vodivost roste v závislosti na hustotě vzorku a jeho vlhkosti viz. obr. 17.

8.4.7 Vyhodnocení matematického modelu pro vzorek č. 2

Pro vyhodnocení naměřených a vypočítaných hodnot jsem zvolila metodu přímého matematického modelování jako u vzorku č. 1. Regresí pomocí programu MAREG byla rovněž vyhodnocena závislost naměřených a vypočítaných hodnot tepelné vodivosti v závislosti na hustotě vzorku.

Pro regresní analýzu dosazují do programu MAREG hodnoty hustoty a tepelné vodivosti z tabulky 5. od měření $i = 2$.

Do programu MAREG zadám rovnici (30). Rovnice, kterou přímo dosazují do programu MAREG je ve tvaru:

$$\lambda = 0,066 + a_1 \cdot (\rho - 571,1) / 571,1 + a_2 \cdot ((\rho - 571,1) / 571,1)^2 \quad (39)$$

Kde hodnota 0,066 je hodnota tepelné vodivosti λ_0 suché usně

ρ - hustota usně dle tabulky č. 4 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

571,1 - hodnota hustoty suché usně ρ_0 (v tabulce č. 5 hodnota 571)

Výsledkem regresní analýzy pomocí programu MAREG jsou data:

Koeficient korelace : 0,989

Počet stupňů volnosti: 7

Hladina významnosti: 90%

Reziduální rozptyl: 0,000144

Intervaly spolehlivosti: 90 %

Výsledkem jsou také odhady regresních parametrů a_1 , a_2 .

$a_1 = 0,1510$ interval spolehlivosti je $\langle 0,110734 \rangle - \langle 0,191216 \rangle$,

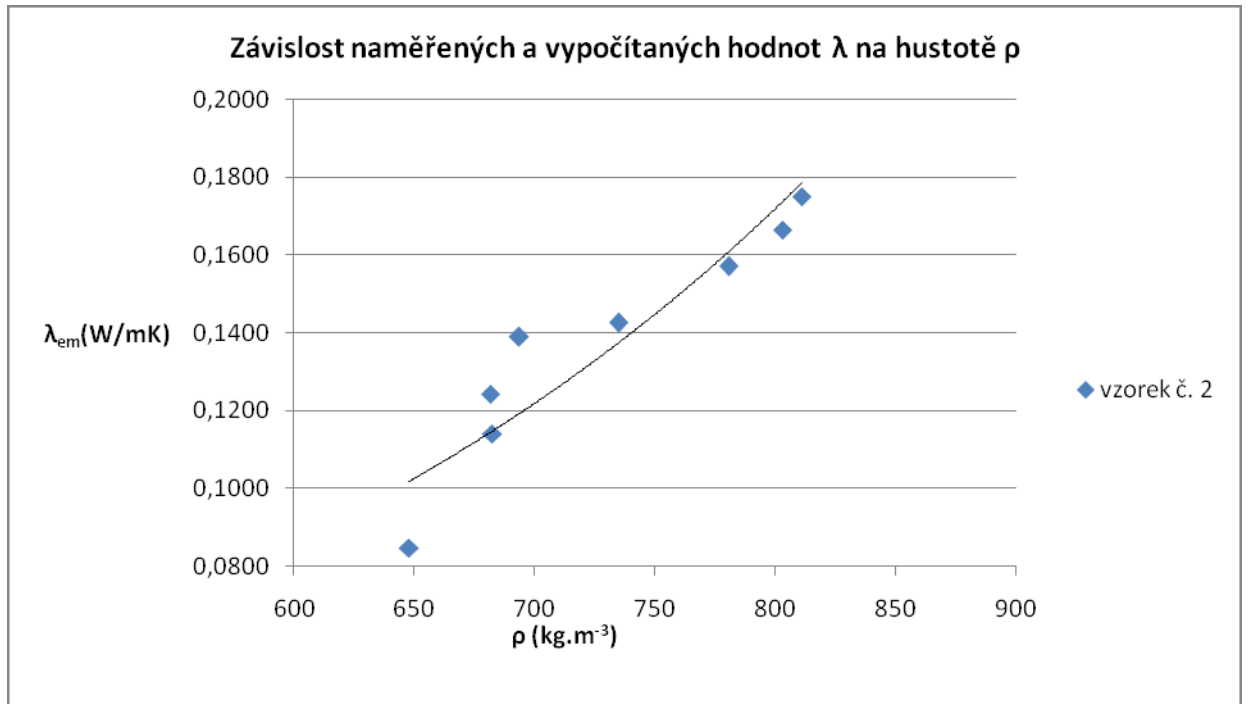
$a_2 = 0,4744$, interval spolehlivosti je $\langle 0,0706522 \rangle - \langle 0,180995 \rangle$

Výstupem vyhodnocení programu MAREG pomocí nelineární regrese jsou hodnoty, které vidíme na obr.18. Jedná se o vypočítané hodnoty tepelné vodivosti.

Vstupni soubor	:	petra3	Pocet mereni	:	10
Koeficient korelace	:	0.988542	Pocet stupnu volnosti	:	7
F test P(korel.#0)	:	0.999998	Hladina vyznamnosti	:	90%
Residualni rozptyl	:	0.000150515	Intervaly spolehlivosti:	:	90%
Hodnoty merenych velicin:					
Mereni c.	Namereno	Vypocteno(na krivce)	Interval spolehlivosti		
1	0.0847	0.0886105	< 0.0841109>	-	< 0.0931101>
2	0.1243	0.112782	< 0.105741>	-	< 0.119823>
3	0.114	0.114676	< 0.107502>	-	< 0.12185>
4	0.1389	0.13468	< 0.126516>	-	< 0.142843>
5	0.1425	0.148939	< 0.140416>	-	< 0.157462>
6	0.157	0.16498	< 0.156256>	-	< 0.173705>
7	0.1664	0.171179	< 0.162407>	-	< 0.179952>
8	0.175	0.189026	< 0.180116>	-	< 0.197937>

Obr. 18. Grafický výstup vyhodnocení dat z programu MAREG

Graficky lze pozorovat závislost mnou naměřených hodnot tepelných vodivostí vzorku a hodnot tepelných vodivostí, které jsem získala vyhodnocením programu MAREG, na hustotě vzorku.



Obr. 19. Závislost naměřených a vypočítaných hodnot tepelné vodivosti λ na hustotě ρ

Tepelná vodivost mnou naměřená je srovnatelná s teoretickým modelem tak jako u vzorku č. 1. Platí zde totéž jako pro vzorek č. 1. Na základě znalosti parametrů a_1 , a_2 lze podle rovnice (30) odhadnout tepelnou vodivost jiné hověžinové štípenky, než je měřený vzorek, aniž by se muselo provádět měření tepelné vodivosti.

DISKUZE

Tato diplomová práce se zabývá studiem závislosti tepelné vodivosti na vlhkosti pro hovězinovou štípenku, což je přírodní kompozitní materiál. Tepelnou vodivost kompozitů lze stanovit několika způsoby. Přehled je uveden v teoretické části diplomové práce.

Tepelnou vodivost materiálů lze určit způsobem experimentálním i výpočtem efektivní tepelné vodivosti podle teoretických modelů, které jsou také uvedeny v teoretické části diplomové práce.

Pro experimentální stanovení tepelné vodivosti jsme vybrali nestacionární způsob měření. Tento způsob poskytuje několik výhod oproti stacionárním metodám měření. Jedná se zejména o malou časovou náročnost. Dále tato metoda nevyžaduje dokonale ustálený stav a je vhodná pro materiály s nízkou tepelnou vodivostí. Právě polymerní materiály se touto vlastností vyznačují.

Pro experiment byly dodány 2 vzorky hovězinové štípenky. U těchto vzorků jsem měřila tloušťku na přístroji DM 100 Gi při různých hodnotách jejich relativní vlhkosti.

Měření tepelné vodivosti probíhalo na experimentálním zařízení sestaveném podle Fitche. Mnou naměřené a vypočítané hodnoty pro vzorek č. 1 a vzorek č. 2 jsou uvedeny v tabulkách 4 a 5. Měření tloušťky a tepelné vodivosti muselo probíhat pod stejným zatížením. Toto zatížení bylo 5 kPa. Změřila jsem 2 vzorky hovězinové štípenky vždy při různých hodnotách vlhkosti tohoto vzorku. Vzorek číslo 1 jsem měřila celkem 13 krát, vzorek č. 2 jsem měřila 12 krát.

Pro vzorek č. 1 se hodnoty veličin pohybují v rozmezí:

- hmotnost od 5,259 do 10,170 g
- tloušťka od 1,510 do 1,800 mm
- tepelná vodivost od 0,0650 do 0,2755 W/m.K
- hustota od 548 do 888 kg.m⁻³
- zbotnání od 1,000 do 1,192
- relativní vlhkost od 0,000 do 0,934

Pro vzorek č. 2 se hodnoty veličin pohybují v rozmezí:

- hmotnost od 5,086 do 11,726 g
- tloušťka od 1,400 do 1,618 mm
- tepelná vodivost od 0,0660 do 0,3390 W/m.K
- hustota od 571 do 1139 kg.m⁻³
- zbotnění od 1,000 do 1,156
- relativní vlhkost od 0,000 do 1,306

Z grafů na obr. 10,11,12 pro vzorek č. 1 a obr. 15,16,17 pro vzorek č. 2, můžeme sledovat požadované závislosti a zároveň uvidíme, zda jsme se v průběhu měření nedopustili hrubých chyb. Sledování těchto grafů má informativní charakter. Významným parametrem z hlediska posuzování závislosti tepelné vodivosti na vlhkosti materiálu je hustota.

Provedla jsem vyhodnocení závislosti tepelné vodivosti na hustotě dvouparametrovým empirickým modelem. Závislost naměřených a vypočítaných hodnot tepelných vodivostí na hustotě lze pozorovat na obr. 14, 19.

Výstupem celého vyhodnocení je získání parametrů a_1 , a_2 , které mohou být dále využity pro zjištění tepelné vodivosti doposud neměřených vzorků z hovězinové štičky. Zjišťování by probíhalo na základě dat uvedených v tabulce č. 6.

vzorek č.	a_1	a_2	m_0 (g)	s_0 (mm)	λ_0 (W/m.K)	ρ_0 (kg.m ⁻³)
1	0,0188	0,4744	5,259	1,510	0,0650	548
2	0,1510	0,4744	5,086	1,400	0,0660	571

Tab.6. Přehled důležitých hodnot pro vzorky č. 1 a 2

Vzhledem k přesnosti měření lze říci, že je zde dostatečně dobrý souhlas mezi hodnotami naměřenými a hodnotami vypočtenými, které jsem vyhodnotila podle dvouparametrového empirického modelu.

Zpracování naměřených dat dle modelů vycházejících z vlastností jednotlivých složek kompozitu (tj. dle nepřímého modelování) jsem neprováděla. Mnou naměřená a prezentovaná data je možno podrobit této analýze.

Zdá se, že přímý model dobře vystihuje situaci. Na druhé straně vyhodnocení dle nepřímého modelu by mohlo poněkud lépe ukázat souvislosti mezi strukturou a tepelnou vodivostí měřeného kompozitu.

ZÁVĚR

Diplomová práce obsahuje rešerži na téma tepelná vodivost polymerních materiálu. Pozornost je soustředěna na závislost tepelné vodivosti na vlhkosti usňových materiálů sloužících na výrobu svršku obuvi. Jsou popsány metody měření tepelné vodivosti plošných polymerních materiálů. Pozornost je dále soustředěna na matematické modely závislosti tepelné vodivosti na složení a struktuře kompozitu.

Byla měřena tepelná vodivost hovězinové štípenky pomocí Fitchova přístroje. Měření byla prováděna v rozsahu od nulové vlhkosti až do 130% vlhkosti vody v usni.

Vyhodnocení dat bylo provedeno v programu NeReg a MAREG. Regresí byla zpracována závislost tepelné vodivosti na hustotě. Data jsem vyhodnotila pomocí dvouparametrového empirického modelu, což odpovídá metodě přímého matematického modelování.

Z vyhodnocení dat vyplývá, že vzhledem k přesnosti měření tepelné vodivosti, je odhad tepelné vodivosti uvedeného modelu dostatečně přesný.

Prezentovaná data jsou uvedena v takové formě, že lze provést i nepřímé matematické modelování. Výsledkem takovéto analýzy, by mohlo být hlubší pochopení souvislostí mezi strukturou materiálu a jeho tepelnou vodivostí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ptáček, L. *Nauka o materiálu II*. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 2002. ISBN 80-7204-248-3
- [2] Jančář, J. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2003
- [3] Míka, V. *Základy chemického inženýrství*. SNTL, Praha, 1981
- [4] Bird, B. – Steward, E. W. – Lightfoot, N. E.: *Přenosové jevy*. Nakladatelství ČSAV, Praha 1988.
- [5] Malina, T.: *Měření tepelné vodivosti přírodních a syntetických materiálů nestacionární metodou*. Fakulta technologická, VUT Brno, Zlín 1998.
- [6] Kutaleladze, S. S. – Borišanskij, V. M.: *Příručka sdílení tepla*. SNTL, 1. vydání, Praha 1962.
- [7] Nožička, J. *Sdílení tepla*. Skriptum. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 1997. 238 s. ISBN 80-01-00599-8.
- [8] Květoň, K. *Měření tepelné vodivosti obuvnických materiálů nestacionární metodou*. *Kožářství*, 1973, č. 9, s. 256-259.
- [9] Brzobohatý, P. *Měření tepelné a teplotní vodivosti kompozitů nestacionární metodou*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická se sídlem ve Zlíně, Zlín, 2002.
- [10] Horák, R. *Tepelně izolační vlastnosti usňových materiálů svršku*. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín, 2005.
- [11] Zachová, B.: *Studium tepelně izolačních vlastností obuvnických materiálů*. Disertační práce, fakulta technologická, UTB ve Zlíně, Zlín 2006
- [12] Ondráš, J.: *Nestacionární metody měření tepelné vodivosti*. Diplomová práce, fakulta technologická, VUT Brno, Gottwaldov 1983
- [13] Neužil, L.-Míka, V.: *Chemické inženýrství I B. Ediční středisko VŠCHT*, Praha 1992]

- [14] Tavman, I.J. – Akinei, H.: *Transverse thermal conductivity of fiber reinforced polymer composites*. Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 27, No. 2, 253-261, 2000.
- [15] Hes, L. *Základy návrhu a hodnocení textilií a oděvů s požadovaným komfortem*.: Studijní text. Technická univerzita Liberec, Fakulta textilní. Liberec, 2005. 15
- [16] Hes, L., Sluka, P.: *Úvod do komfortu textilií*. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Liberec, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0.
- [17] ČSN IEC 721-2-1 (038900) Klasifikace podmínek prostředí. Část 2: Podmínky vyskytující se v přírodě. Teplota a vlhkost vzduchu.
- [18] Murárová, A. Fyziológia odievania I. Tepelná regulácia človeka. *Vlákna a textil*, 2001, roč. 8, s. 48-49.
- [19] Langmaier, F. *Hygiena a komfort obuté nohy*. In Sborník přednášek ze semináře ke zdravotně nezávadnému obouvání, konaného 11.-13. 10. 1988 v Luhačovicích. Gottwaldov: Obuvnický průmysl - SVIT, s. p. Gottwaldov, 1989, s. 158-170.
- [20] Marcinkowska, E.: *Jak badać, mierzyć i oceniać właściwości higieniczne materiałów?* In Innowacyjne i ekologiczne materiały i technologie dla przemysłu obuwniczego i innych branż przemysłu lekkiego. Krakow 2004. s. 36-44. ISBN 83-918133-7-1.
- [21] Zachová, B. – Blaha, A. – Hlaváček, P. – Horák, R.: *Tepelně izolační vlastnosti usňových materiálů svršku obuvi*. 52. konference chemického a procesního inženýrství, CHISA 2005, 17. - 20. října 2005, ČSCH, Srní, Šumava, 2005.
- [22] Langmaier, F., Mládek, M. *Studie mikroklimatu obuvi*. *Kožařství*, 1979, roč. 23, č. 4, s. 96-101.

- [23] Šesták, J., Rieger, F. *Přenos hybnosti, tepla a hmoty*. Skriptum. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 1998. 299 s. ISBN 80-01-01715-X.
- [24] Meissner, B., Zilvar, V., *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [25] Chodák, I., Omastova, M., Pointeck, J. *Relation between electrical and mechanical properties of conducting polymer composites*. Journal of Applied Polymer Science, 2001, Vol. 82, p. 1903-1906.
- [26] Matoušková, K., Blaha, A. *Měření tepelné vodivosti izolačních materiálů nestacionární metodou*. In: 52. konference chemického a procesního inženýrství CHISA 2005, Srní na Šumavě, 2005.
- [27] Holzmuller, W., Altenburg, K., *Fyzika polymerů*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1962.
- [28] AN. Materiály. [online]. [cit. 15. května 2008]. Dostupný na <<http://www.sewerout.cz/materialy.php?PHPSESSID=2f9584c5541aff06480c3ffc46021bd6>
- [29] Masner, L: *Úprava usní*. SNTL, Praha, 1962
- [30] Kadlec, S., Pančoška, V., *Zkoušení obuvnických materiálů*, SNTL, Praha 1964]
- [31] Mráz, P., Talácko J., *Konstrukce strojů s kompozitními materiály*, Nakladatelství ČVUT, Praha 2006]+
- [32] Bergquist, K., Holmér, I. A method for dynamic measurement of the resistance to dry heat exchange by footwear. *Elsevier Science, Applied Ergonomics*, 1997, vol. 28, no. 5/6, p. 383-388.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	-	teplotní vodivost ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
c	-	měrné teplo ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
E	-	modul pružnosti (MPa)
E	-	energie (J)
D	-	průměr (m)
L	-	délka (m)
K	-	tepelná kapacita kalorimetru ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)
m	-	hmotnost (kg)
Q	-	teplo (J)
\vec{q}	-	vektor plošné hustoty tepelného toku ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
ρ	-	hustota ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
λ	-	tepelná vodivost ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
λ_c	-	tepelná vodivost kompozitu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
λ_0	-	tepelná vodivost při teplotě t_0 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
∇	-	Hamiltonův operátor (m^{-1})
A_1, A_2	-	výsledné odhady programu Nereg02 (s^{-1})
a_1, a_3	-	výsledné odhady programu Nereg02 (s^{-1})
a	-	teplotní vodivost ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
K	-	tepelná kapacita měřícího válečku ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)
q	-	intenzita tepelného toku ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
S	-	plocha vzorku (m^2)
t_1	-	teplota temperační desky 1 ($^{\circ}\text{C}$)
t_2	-	teplota temperační desky 2 ($^{\circ}\text{C}$)
s	-	tloušťka vzorku (m)

λ_0	- tepelná vodivost při teplotě t_0 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
ρ	- hustota vzorku ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
ρ_0	- hustota suchého vzorku ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
i	- index měření
b	zbotnění (1)
λ_{ev}	tepelná vodivost vzorku vypočítaná ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
λ_{em}	tepelná vodivost vzorku naměřená ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1. Sdílení tepla v obuvi	20
Obr. 2. Přístroj podle Bocka	40
Obr. 3. Schéma Fitchova přístroje	44
Obr. 4. Tloušťkoměr DM 100 Gi	50
Obr. 5. Blokové schéma měřící aparatury	51
Obr. 6. Foto Fitchova přístroje	52
Obr. 7. Obrazovka zobrazující výsledky	56
Obr. 8. Obrazovka zobrazující výpočet tepelné vodivosti	56
Obr. 9. Vzorčky hovězinové štípenky za laboratorních podmínek při tloušťce s_0	64
Obr. 10. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na zbotnání b pro vzorek č.1	68
Obr. 11. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na hustotě ρ pro vzorek č. 1	68
Obr. 12. Graf závislosti tepelné vodivosti λ relativní vlhkosti X pro vzorek č. 1	69
Obr. 13. Grafický výstup vyhodnocení dat z programu MAREG 36	71
Obr. 14. Závislost vypočítaných a naměřených hodnot tepelné vodivosti λ	72
Obr. 15. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na zbotnání b pro vzorek č.2	74
Obr. 16.. Graf závislosti tepelné vodivosti λ na hustotě ρ pro vzorek č. 2	75
Obr. 17 . Graf závislosti tepelné vodivosti λ relativní vlhkosti X pro vzorek č. 2	75
Obr. 18. Grafický výstup vyhodnocení dat z programu MAREG	77
Obr. 19. Závislost vypočítaných a naměřených hodnot tepelné vodivosti λ	78

SEZNAM TABULEK

Tab.1. Látkové složení kůže.....	30
Tab.2. Postupy práce při úpravě usní.....	33
Tab.3. Tabulkové hodnoty hustoty a tepelné vodivosti pro složky usně.....	62
Tab.4. Vzorek č. 1.....	66
Tab.5. Vzorek č. 2.....	73
Tab.6. Přehled důležitých hodnot pro vzorky č.1 a 2.....	81

