TECHNICKÁ UNIVERZITA v LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2008 **Bc. Josef Fokt**

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

V Liberci dne 12.05.2008 Podpis:.....

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3106

Oděvní technologie

Přestupy tepla mezi žehličkou a textilním materiálem při vlhkotepelném tvarování parou

Heat transfers between iron and textile material during dampness-heat vapour shaping

Bc. Josef Fokt

KOD – 794

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Antonín Havelka, Csc.

Rozsah práce:

Počet stran:	99
Počet obrázků:	29
Počet tabulek:	26
Počet grafů:	11
Počet příloh:	9

Bc. Josef Fokt
Vnější 1389
Liberec 30
463 11

doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní, Katedra oděvnictví
Hálkova 6
461 17 Liberec 1

Žádost:

Žádám o prodloužení termínu odevzdání diplomové práce do 12. května 2008

V Liberci dne 07.05.2008

Bc. Josef Fokt

Zadání

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá přestupy tepla při tepelném a vlhkotepelném žehlení textilních materiálů.

Teoretická část popisuje teorii žehlení, vlastnosti vláken, sdílení tepla, měření teploty a termodynamiku par.

Další část diplomové práce je zaměřena na charakteristiku a rozbor měření. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách a zpracovány výpočtem i graficky.

Klíčová slova: přestupy tepla, vlhkotepelné tvarování, žehlení, termočlánky

ANNOATION

The Thesis is studying heat transfers during thermal and dampness-heat ironing of textile materials.

The theoretic part is about theory of ironing, attributes of textile fibres, heat ransfers, temperature measuring and thermodynamic steam.

The next part of the thesis work is concenrated on the characteristic and analysis of experimet. The results of the measurement are written into tabulators, graphs and also equation.

Key words: heat transfers, dampness-heat shaping, ironing, termocouples

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu z kterých jsem čerpal.

V Liberci dne 12.05.2008 .....

Jméno a příjmení

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Antonínu Havelkovi, Csc. za odborné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce. Dále mé poděkování patří všem, kteří mi poskytli cenné informace a rady.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

atd. – a tak dále

tzv. – tak zvaný

mat. – materiál

apod. – a podobně

např. - například

obr. – obrázek

resp. – respektive

tj. – to je

rov. - rovnice

tab. – tabulka

č. – číslo

konst. – konstantní

popř. – popřípadě

PES – polyester

CO – bavlna

WO – vlna

OBSAH

1.Úvod 13

2. Žehlení oděvních výrobků 14

2.1 Ruční žehlení oděvních výrobků 14
2.1.1 Funkční schéma elektroparní žehličky 16
2.2 Strojové žehlení oděvních výrobků 17
2.2.1 Žehlící stroje 17
2.2.2 Žehlící figuríny 19
2.2.3 Dožehlovací stroje 20
2.2.4 Zažehlovače 20
2.3 Vlastnosti materiálů pro vlhkotepelné zpracování 21
2.4 Faktory ovlivňující vlhkotepelné zpracování 21
2.5 Maximální teploty pro jednotlivé druhy materiálů 22

3. Sorpční vlastnosti 22

3.1 Chemické principy sorpce 23
3.2 Fyzikální principy sorpce a bobtnání vlákna 23
3.3 Závislost relativní vlhkosti vláken na relativní vlhkosti vzduchu ... 24
3.4 Využití sorpčních vlastností ve zpracovatelské technologii 26
3.5 Vliv vlhkosti na vlákna 26

4. Termické vlastnosti 27

4.1 Tepelné přechody 27
4.2 Vliv tepla na vlákna a jeho mechanické důsledky 32
4.3 Ustalování tvaru vlákna teplem – fixace 32
4.4 Využití termických vlastností při zpracování vláken 33

5. Teplo 34

5.1 Měrná tepelná kapacita 34
5.2 Teplota 34
5.2.1 Převodní výpočet 35
5.3 Kalorimetrie 35

5.3.1 Kalorimetrická rovnice 36
5.4 Tepelná vodivost 36

6. Sdílení tepla 37

6.1 Vedení tepla 38
6.1.1 Časově stálé vedení tepla 38
6.1.2 Časově stálé vedení tepla rovinnou stěnou 40
6.2 Časově stálý prostup tepla 42
6.2.1 Časově stálý prostup tepla rovinnou stěnou 42
6.3 Sdílení tepla prouděním 44
6.3.1 Hydrodynamická podobnost 45
6.3.2 Termokinetická podobnost 46
6.4 Sdílení tepla sáláním 47
6.4.1 Sdílení tepla sáláním mezi dvěma rovnoběžnými stěnami 49

7. Měření teploty 51

7.1 Senzor teploty 51
7.2 Senzory pro dotykové měření teploty 52
7.2.1 Odporové snímače teploty 52
7.2.2 Polovodičové odporové senzory teploty 54
7.2.3 Termočlánkové termometry 54
7.2.4 Dilatační teploměry 56
7.2.5 Speciální dotykové senzory teploty 58
7.3 Senzory pro bezdotykové měření teploty 58
7.3.1 Zásady a výhody používání bezdotykových teploměrů 59
7.3.2 Elektromagnetické spektrum 59
7.3.3 Vyzařování tělesa při různých teplotách 60

8. Termodynamika par 60

8.1 Odpařování, vypařování, var kapaliny 61
8.2 Děj vypařování 62
8.3 Stavy par 62
8.4 Mezní křivky vodní páry 64
8.5 Průběh výroby páry v T – s diagramu 65
8.6 Mokrá pára 66
8.7 Sytá pára 66
8.8 Přehřátá pára 67

8.9 Tepelné diagramy vodní páry 67
8.9.1 Entropický T – s diagram vodní páry 67
8.9.2 Mollierův i – s diagram vodní páry 69

9. Experimentální část 71

9.1 Popis měření 71
9.2 Přehled použitých materiálů pro experiment 71
9.3 Měření propustnosti vzduchu 73
9.4 Zjištění součinitele tepelné vodivosti λ 74
9.4.1 Tepelný odpor 74
9.4.2 Součinitel tepelné vodivosti 76
9.5 Měření přestupů tepla při tepelném a vlhkotepelném žehlení 77
9.5.1 Postup měření 77
9.5.2 Množství tepla prošlého textilií při tepelném žehlení 90
9.5.3 Množství tepla prošlého textilií při vlhkotepelném žehlení 91
9.5.4 Vyhodnocení výsledků 94

10. Návrh postupu dalšího měření 95

11. Závěr 96

12. Seznam použité literatury 98

13. Seznam příloh 99

1.Úvod

Pod pojmem žehlení se rozumí tepelné nebo vlhkotepelné zpracování oděvního výrobku provedené ručně nebo strojově. Žehlení umožňuje, aby výrobek dočasně podržel požadovaný tvar a vzhled. Významnou charakteristikou jsou kromě užitných vlastností, estetické a módní parametry, které silně ovlivňují obchodní úspěch na trhu. Z těchto důvodů význam vlhkotepelného zpracování oděvů vzrůstá a stává se i měřítkem kvality oděvní výroby.

V teoretické části jsou uvedeny požadavky na žehlení a tvarování plošných textilií pro oděvní účely. Jsou zde také uvedeny termické vlastnosti jednotlivých vláken, způsoby žehlení a jeho parametry. Dále je zde provedena analýza přestupů tepla při tepelném a vlhkotepelném žehlení a způsoby jeho měření.

Cílem experimentální části diplomové práce bylo navrhnout a změřit tepelné přestupy při tepelném a vlhkotepelném žehlení. Měření bylo provedeno u třech druhů materiálu (polyester, bavlna a vlna). Pro tepelné i vlhkotepelné žehlení byla použita žehlička. Při vlhkotepelném žehlení bylo použito spodní odsávání. Jednotlivé teploty byly snímány pomocí dvou termočlánků Ni-Cr. Jeden termočlánek měřil teplotu mezi žehlící deskou žehličky a materiálem a druhý termočlánek mezi dvěma vrstvami materiálu. Nastavená teplota žehličky byla u všech měření shodná a to 150°C. Naměřené teploty byly zaznamenány do paměti měřícího přístroje ALMEMO 2390-5 a následně přeneseny do počítače, kde byly zpracovány do tabulek a grafů.

2. Žehlení oděvních výrobků

Tento druh tvarování oděvních výrobků je původní způsob tvarování. Zatímco starší systémy pracovaly s přímým a nepřímým ohřevem žehlícího tělesa, jsou současná zařízení vyhřívána elektricky nebo párou. Oba způsoby vyhřívání je možno kombinovat.

Ve spojovacím procesu se používá mezioperační žehlení, zatímco ve tvarovacím procesu přichází v úvahu pouze konečné žehlení. Oděvní výrobky se k dosažení konečného vzhledu zpracovávají tepelným a vlhkotepelným žehlením. Způsob zpracování závisí na použitém oděvním materiálu. Tepelně se oděvní výrobky zpracovávají v omezené míře, v současné době zpracovávaný materiál dovoluje přecházet na vlhkotepelné tvarování. [1]

Parametry žehlení: tlak, teplota, čas a vlhkost

2.1 Ruční žehlení oděvních výrobků

Původně se používaly žehličky na tuhé palivo, popř. se žehličky vyhřívaly plynem. Tyto žehličky se již přestaly používat a byly nahrazeny žehličkami a žehlícími tělesy:

- elektrickými
- parními
- elektroparními
- parně elektrickými

Tvar všech žehliček a žehlících těles je přizpůsoben účelu, kterému slouží.

Elektricky vyhřívané žehličky jsou ruční žehlící zařízení, v nichž se elektrická energie mění v energii tepelnou. Základem žehličky je topný článek (odporový drát) navinutý na destičce ze slídy nebo jiného izolačního materiálu a připojený ke dvěma

mosazným páskům. Topný článek má stejný tvar jako žehlící těleso, takže teplo je rozváděno po celé ploše. Topný článek však musí umožňovat rychlejší a intenzivnější vyhřívání přední třetiny žehlícího tělesa. Žehlící plocha musí být vyleštěna a její teplota nesmí být vyšší než 250°C. Maximální teplota závisí na vlastnostech žehleného materiálu, proto je vyhřívání spojeno s regulací teploty. Spodní strana žehlícího tělesa může být opatřena teflonovým nebo keramickým povlakem, který zabrání přilepení žehleného materiálu.

Žehličky vyhřívané párou se používají při tvarovém zpracování materiálu vlněného charakteru. Pára prochází řadou trysek ve spodní části žehlícího tělesa a napařuje zpracovávaný výrobek. Odběr páry se řídí ovládacím ventilem, který je umístěn v blízkosti držadla. Použití těchto žehliček vyžaduje rozvod páry nebo instalaci elektrických vyvíječů páry.

Elektroparní žehličky spojují vlastnosti obou předchozích typů. V komoře, kam se přivádí destilovaná voda, se vytváří pomocí elektrických topných článků pára. Množství páry se upravuje magnetickým nebo elektrickým ventilem, který umožňuje udržovat v žehličce zvýšený objem páry.

Parně elektrické žehličky spojují obě předchozí modifikace žehlících zařízení. Umožňují energetické úspory v závodech, kde jsou instalovány parní rozvody. Do komory žehličky je přivedena méně hodnotná pára, která se v komoře předehřívá, čímž získá patřičnou kvalitu pro žehlení.

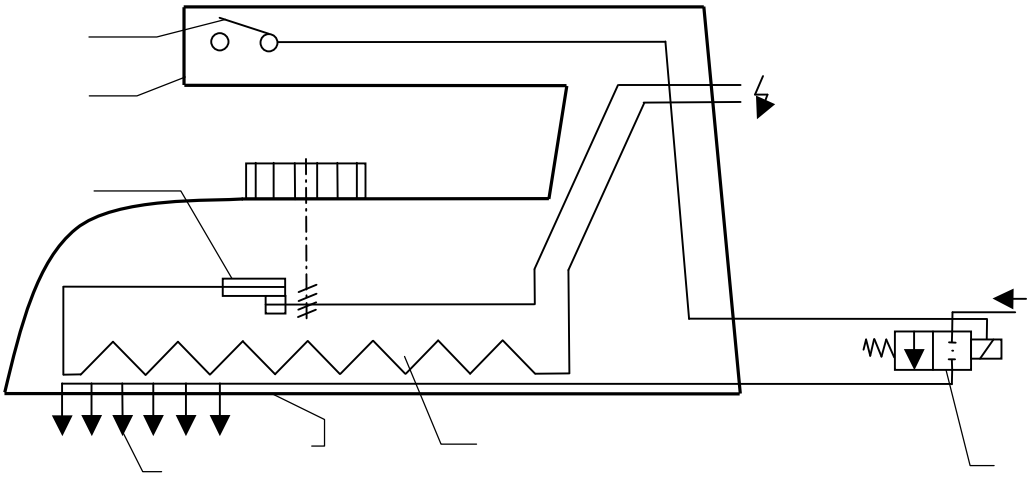
Ruční žehlení bylo zdokonaleno vývojem žehlících prken a stolů, které jsou tvarovány podle požadovaného účelu:

- rovnoploché
- tvarované
- rukávové

Žehlící prkna a stoly mají zabudováno zařízení k instalaci elektroparních žehliček. Jejich základová deska je opatřena odsávacím zařízením, které pracovník

obsluhuje nohou. Některá zařízení mají instalovány rukávníky nebo podobná zařízení, která usnadňují žehlící proces. Vyhřívání je praktikováno elektrickým proudem neb častěji párou. [1]

2.1.1 Funkční schéma elektroparní žehličky



Obr. 2.1 Funkční schéma elektroparní žehličky

Do žehlící desky *1* je zalisovaný topný článek *2*, který kopíruje její tvar a pomocí střídavého jednofázového el. proudu desku zahřeje. Topný článek musí umožňovat rychlejší a intenzivnější vyhřívání přední třetiny žehlícího tělesa. Termostat jednak chrání žehličku před přehřátím a jednak umožňuje nastavení požadované teploty. Termostat pracuje na principu bimetalu *3*, kterým se označuje pásek ze dvou kovů o různých tepelných roztažnostech. Při ohřívání nebo ochlazování dochází k různému rozpínání kovu, to zapříčiní definovatelné prohnutí dvouvrstvého pásku. Do přední části žehličky je přivedena pára *4* z elektrického vyvíječe páry nebo rozvodu páry. Přívod páry je regulován dvoucestným dvoupolohovým *5* rozvaděčem ovládaným solenoidem a pružinou, který je umístěn ve vyvíječi páry. Spínač *6* je umístěn na držadle žehličky *7*. Držadlo se z bezpečnostních důvodů nejčastěji vyrábí z plastů, jelikož plasty špatně vodí teplo.

2.2 Strojové žehlení oděvních výrobků

Trvalo poměrně dlouho než se přistoupilo k mechanizaci žehlícího procesu. Dlouho se používalo tradiční žehlení na žehlících strojích, které byly postupně zdokonalovány. Zdokonalil se přítlak jejích čelistí, který prošel vývojem od mechanického přítlaku k přítlaku hydraulickému a pneumatickému. Zvýšila se bezpečnost žehlících zařízení, kde přítlak je realizován oběma rukama současně.

Byly učiněny pokusy plně automatizovat žehlení, tyto snahy se však neprosadily pro přílišnou hmotnost zařízení a poměrně malou flexibilitu. Prosadila se samostatná skupina strojů pro tvarovací proces, a to pro žehlení košil.

Stroje používané při strojním žehlení:

- žehlící stroje
- žehlící figuríny
- dožehlovací stroje (finišéry)
- zažehlovače

[1]

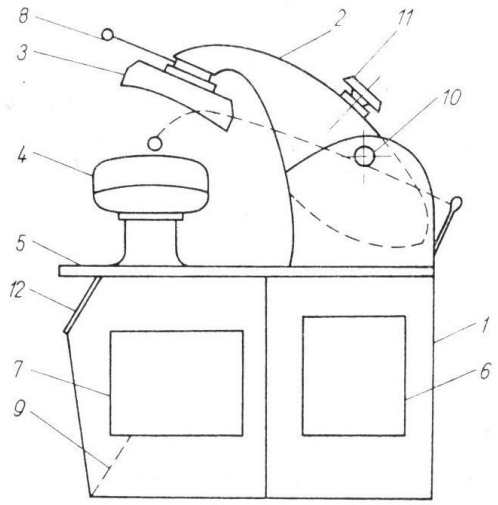
2.2.1 Žehlící stroje

Můžeme je rozdělit na skupiny:

- žehlící stroje se sklopným ramenem
- žehlící stroje karuselové
- žehlící stroje tandemové

Žehlící stroje se sklopným ramenem patří k tradiční konstrukci. Těleso žehlícího stroje *1* má sklopné rameno *2*, které se otáčí podle otočného kloubu *10.* Na konci tohoto ramena je upevněna horní tvarovka *3*, která může mít nejrůznější tvar podle daného výrobního provedení. Na tuto tvarovku přiléhá dolní tvarovka *4*, umístěná na kozlíku. Tvar a umístění kozlíku musí odpovídat pokud možno všem druhům tvarovek, má-li být žehlící stroj soustavně použitelný Obě tvarovky jsou nositelem žehlícího média, převážně přehřáté páry. Pokud není stroj automatizován,

má vrchní tvarovka stroje napařování *8* a dolní tvarovka je uzpůsobena k napařování a nožnímu odsávání *9*. Základová deska *5* slouží k odkládání výrobků. Jestliže je stroj vyhříván ze samostatného zdroje, je zdroj umístěn ve spodní části tělesa žehlícího stroje *7* právě tak jako pohon čelisti *6*. Seřizování přítlaku čelistí se provádí šroubem *11*, který je na žehlícím ramenu stroje. Regulace základních fyzikálních veličin, jako je teplota tvarovek, tlak, který je vyvíjen mezi tvarovkami, doba působení při zahřívání a ochlazování, působení tlaku, je umístěna na panelu *12*.



Obr. 2.2 Žehlící stroj se sklopným ramenem

Žehlící stroje karuselové umožňují snížení prostoru při kolmém tlaku, ovšem za cenu otočného pohybu minimálně o 90° s následným zařazováním žehlících operací. Manipulace s výrobky určenými k žehlení se děje vždy za plného přístupu k dolní tvarovce, na níž může obsluha stroje pracovat bez nebezpečí popálení prstů. Zdvih horní tvarovky může být proto minimální, neboť se děje mimo manipulační prostor. Dosahuje se rovněž časových úspor.

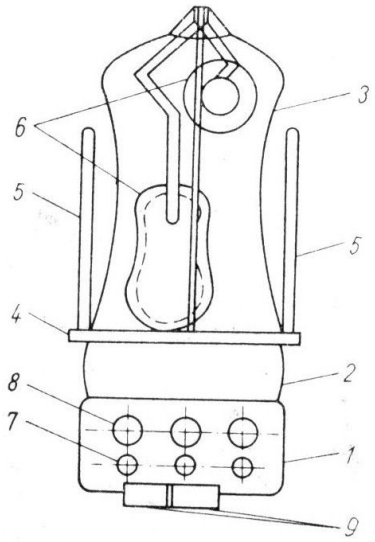
Výhody karuselového systému žehlení jsou:

- materiál je nakládán i odebírán na stejném místě
- obsluha je plně využita
- obsluha není obtěžována teplem od žehlení
- stroj může být obsluhován omezeným počtem osob, podle své konstrukce

Žehlící stroje tandemové se používají pro operace, které vyžadují dvojité zrcadlové formy žehlících strojů. Při levých a pravých operacích na výrobcích je možno levou a pravou stranu oděvního výrobku současně uspořádaně vložit do stroje, čímž vznikne značná časová úspora. Přitom se uplatňuje tzv. tandemový princip, tedy kombinace přesunu části výrobku z levé žehlící stanice na pravou. Pro žehlící stanice pracující na tandemovém principu je výhodnější pneumatický pohon, protože je relativně rychlý a pracuje s omezenějšími silami, je čistý, poněvadž případné netěsnosti jsou bez škodlivých následků pro zpracovávaný výrobek. [1]

2.2.2 Žehlící figuríny

Žehlící agregát 1 ústí do parní komory 2 a je na něm navléknut žehlící pytel 3, zhruba odpovídající rozměrům žehleného výrobku. Jestliže se jedná o rukávový výrobek, je ze základové desky 4 vyveden držák pro žehlení rukávů 5. Nafouknutím páry a vzduchu se žehlící pytel 3 vypne a slouží tak k vnitřnímu žehlení výrobků. Vnější žehlení se provádí pohyblivými přítlačnými čelistmi 6, které jsou otočné o 360° a umožňují postihnout žehlení klenutosti vrchní části výrobku. Na žehlícím agregátu je umístěna regulace fyzikálních veličin 7 a kontrolní přístroje 8, jakož i pedály pro ovládání stroje 9. [1]



Obr. 2.3 Žehlící figurína

2.2.3 Dožehlovací stroje

Jsou konstruovány vesměs jako žehlící tunely umožňující propařování zavěšených oděvních výrobků na poděsném dopravníku. Vyhřívání se děje párou. Stroj je rozdělen na komory. V jedné se výrobek nafukuje a žehlí, v další se ochlazuje. Tyto stroje se v praxi někdy také nazývají žehlící tunely a jsou vhodné pro nepodšívkované výrobky. [1]

2.2.4 Zažehlovače

Vyvinula se především :

- z žehlících stojánků, které sloužily jako přídavná zařízení k parním strojům pro žehlení ramenních partií oděvních výrobků
- ze zažehlovačů a obracečů límců
- ze zažehlovačů a obracečů manžet
- ze zažehlovačů a obracečů pásků

Poslední tři uvedené skupiny jsou založeny na vyhřívacím elektrickém principu, a zejména zažehovače a obraceče límců a manžet dospěly po zdokonalení konstrukce ke značnému principu.

Téměř samostatnou skupinu tvoří soupravy na žehlení košil. Skládají se ze strojů na žehlení :

- přednic
- sedel
- rukávových kuželů
- manžet
- límců

Zejména poslední dvě skupiny strojů se mohou slučovat v jedno ústrojí. Vyhřívání všech těchto strojů je elektrické. [1]

2.3 Vlastnosti materiálů pro vlhkotepelné zpracování

U vlhkotepelného zpracování dochází k protlačování směsi páry a vzduchu za současného působení tlaku a teploty. Pro správné nastavení parametrů žehlení je důležité znát vlastnosti zpracovávaného materiálu a také změny těchto vlastností při působení různých vlivů.

Mezi nejdůležitější vlastnosti pro tepelně tvarovací proces patří:

- *pórovitost* – rychlost pronikání při vlhkotepelném zpracování závisí na množství a velikosti pórů v textilii.
- *prodyšnost* – závisí na tlaku vzduchu, struktuře materiálu, vlhkosti, tloušťce, měrné hmotnosti, počtu vrstev i na tlaku těles při vlhkotepelném zpracování.
- *tvorba lesku a změna barvy* – nastane v důsledku nevhodně zvoleného tlaku.
- *omak a srážlivost* – při žehlení dochází k pevnějšímu omaku a se srážlivostí musíme počítat především u oděvů podšívkovaných a vločkovaných.

2.4 Faktory ovlivňující vlhkotepelné zpracování

Při působení následujících faktorů dojde u vlhkotepelného zpracování k požadované změně tvaru.

Vlhkost – působením vlhkosti dochází k bobtnání vláken, vlhkost proniká do struktury a rozrušuje stávající vazby, což umožňuje snazší tvarování.

Teplota – při působení tepla dochází ke změně struktury látky, které se projevují změnou tvaru a později i změnou fáze.

Tlak – působením tlaku usměrňujeme strukturu materiálu do požadovaného tvaru. Při nesprávně použitém tlaku může dojít k tvorbě nežádoucího lesku.

2.5 Maximální teploty pro jednotlivé druhy materiálů

Při údržbě výrobků je nutné dodržovat předepsané teploty. Špatně zvolenou teplotou může dojít k poškození materiálu.

značení	maximální teplota žehlící desky	materiál
•	110 °C	AC, elastan, PAD, POP
••	150 °C	PES, hedvábí, vl, protein, VS
•••	200 °C	bavlna, len

Tab.2.1. Meze žehlících teplot

3. Sorpční vlastnosti

Sorpce vláken zahrnuje veškerá chování vlákna v přímém styku s prostředím plynným nebo kapalným, resp. vázání plynů nebo kapalin do jeho struktury. Přijímání vlhkosti se může dít buď:

- ireversibilně – nevratný způsob, v případě chemisorpce, kdy se molekuly vody navazují na vodíkové můstky ve struktuře vlákna
- reversibilně – vratný způsob, v případě fyzikální sorpce, kdy se molekuly navazují na sorpční centra vláken slabšími silami (např. Van der Waalsovými) [2]

Voda působí v polymerech především jako plastifikátor snižující teplotu zeskelnění a zvyšující tažnost. Voda ovlivňuje pozitivně elektrickou vodivost a snižuje měrnou hmotnost.

3.1 Chemické principy sorpce

Molekulová struktura vlákna pojme tolik vlhkosti, dokud nebude její množství v rovnovážném stavu s vlhkostí okolního prostředí. Parciální tlaky obou prostředí musí být v rovnováze. [2]

Hydrofilní vlákna – porézní (mají k vodě afinitu), jsou schopna vázat a transportovat vodu. Mezi hydrofilní patří všechna vlákna přírodní a chemická obsahující hydrofilní skupiny.

Hydrofóbní vlákna – neporézní (nemají afinitu k vodě), nemožnost vázání vody specifickými vazbami a nesmáčení povrchu vláken. Voda se u svazků těchto vláken šíří kapilárními silami.

3.2 Fyzikální principy sorpce a bobtnání vlákna

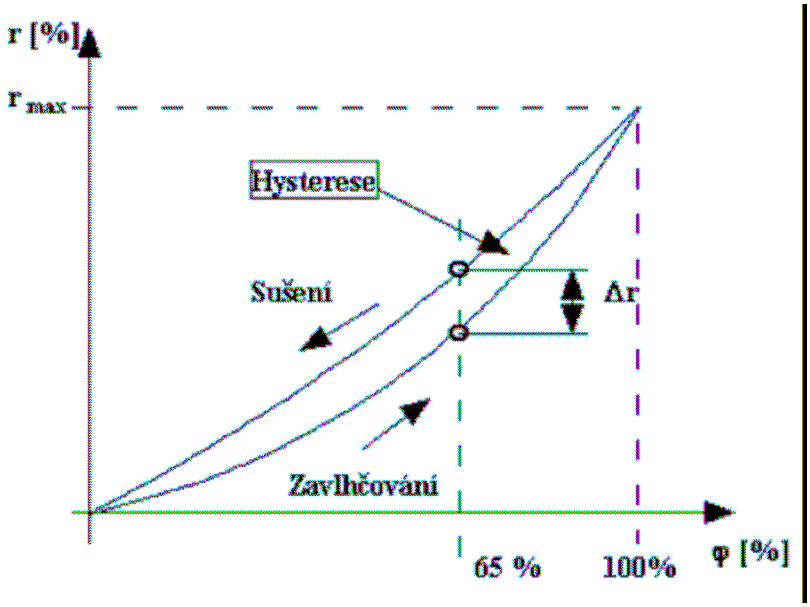
Parciální přetlak vodních par okolí způsobuje, že molekuly difudují do vlákna. Nejprve vejdou ve styk s jeho povrchovým reliéfem a nastává *adsorpce* (usazování na povrchu vláken). Teprve po skončení adsorpce následuje *absorpce* (pronikání do vláken) jako pomalejší proces. [2]

Změna hmotnosti vlákna způsobena přítomností vody, má za následek i změnu jeho tvaru. Amorfní segmenty řetězců se od sebe oddalují, zaujímají větší objem a mění geometrii vlákna (vlákno bobtná). Obecně lze bobtnání vyjádřit jako relativní změnu průměru, plochy příčného řezu, délky a objemu. Vlivem tvorby vodíkových můstků v amorfních oblastech hydrofilních vláken dochází k výraznému příčnému bobtnání. Podélné bobtnání je výrazně nižší, což vede k anizotropii bobtnání.

3.3 Závislost relativní vlhkosti vláken na relativní vlhkosti vzduchu

Vlákna mohou přijímat vodu, resp. vodní páru, ze vzduchu a do vzduchu ji také odevzdávat. Většinou se toto zavlhčování nebo sušení děje při konstantní teplotě. Obsah vody ve vzduchu je dán parciálním tlakem vodních par. Tento parciální tlak vodních par způsobuje, že vodní pára buď proniká tam, kde je parciální tlak vodních par menší, tzn. Do suchého vlákna, nebo se z vlhkého vlákna uvolňuje a odchází do suchého tak, aby byl parciální tlak vodních par vyrovnán.

Sorpční izoterma popisuje vzájemnou výměnu vodních par mezi vlákny a vzduchem při konstantní teplotě. Při uvolňování vody z vlákna do vzduchu dochází ke zpoždění, protože je potřeba přemoci síly, které vodu ve vlákně váží. Tento jev je popisován průběhem závislosti relativní vlhkosti vlákna **r** na relativní vlhkost vzduchu **φ**.



Obr.3.1. Sorpční izoterma

Zpoždění uvolňování vody z vláken vlivem sil, které váží vodu ve struktuře vlákna způsobuje, že křivky nejsou totožné, ale vymezují mezi sebou plochu, které říkáme *hysterese*. Tato plocha je obrazem „ztracené“, neboli disipované energie

(energie se podle zákona o zachování energie nemůže ztratit, ale přeměňuje se, v tomto případě např. v energii tepelnou).

S rostoucí relativní vlhkostí vzduchu **φ** se zvyšuje i relativní vlhkost vlákna **r**, která je dána vztahem:

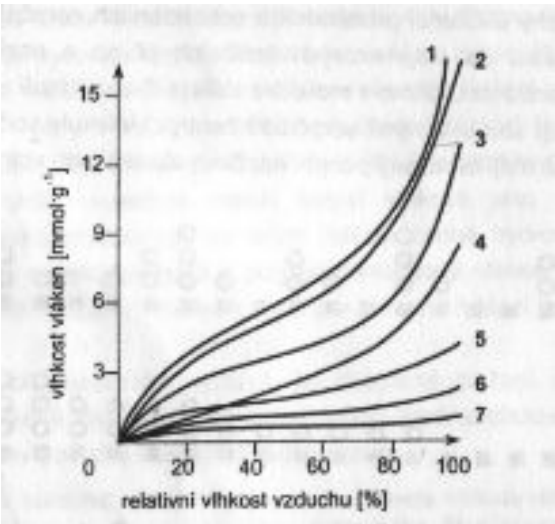
$$r = \frac{m_k - m_s}{m_s} * 10^2 = \frac{m_{H_2O}}{m_s} * 10^2 [\%] \tag{3.1}$$

kde:

r – relativní vlhkost vláken [%]

m_k – hmotnost vláken zavlhčených [g]

m_s – hmotnost vláken suchých [g]



Obr.3.2 Závislost vlhkosti vláken na relativní vlhkosti prostředí pro 1.viskózu, 2.vlnu, 3.bavlnu, 4.acetát, 5.polyamid, 6.polypropylén, 7.polyester

Vlákna z bílkovin vykazují vyšší absorpci než vlákna syntetická. Nižší sorpční schopnost způsobuje horší zpracovatelnost těchto vláken následkem vzniku

elektrostatického náboje a tím nutnost používat aviváž na zlepšení jejich zpracování v délkovou a plošnou textilii. [2]

3.4 Využití sorpčních vlastností ve zpracovatelské technologii

Vlivem vlhkosti mají vlákna vyšší deformační schopnosti a snadněji se přizpůsobí novému tvaru textilního útvaru.

U přírodních vláken vyšší relativní vlhkost vzduchu φ při zpracování způsobí vyšší relativní vlhkost vlákna *r* a tím snížení elektrostatického náboje. U chemických vláken, kde sorpce je značně nízká a zvýšenou vlhkostí se nedají regulovat mechanické vlastnosti, používá se aviváž.

Následkem vniku vody do struktury vlákna dochází k její přestavbě, a každá přestavba struktury má za následek změnu vlastností, zejména geometrický a mechanický. Proto se u plošných textilií aplikuje krátkodobé působení vlhkosti, jež způsobí ustálení tvaru vazební struktury a u volných odstávajících vláken zaujmutí jejich optimálního tvaru, oživení povrchu a posléze fixaci barviv na potištěných textiliích. Textilie současně dostává měkčí omak, vyšší hřejivost a vzroste její užitná hodnota.

Plošné textilie, jež prošly speciálními procesy úprav, mají obvykle oproti původní vlákenné surovině změněny sorpční schopnosti, mnohdy záměrně (hydrofóbní úprava, nemačkavá úprava atd.) s ohledem na to, k čemu je plošná textilie předurčena.

3.5 Vliv vlhkosti na vlákna

Podstatný vliv vlhkosti na textilní vlákna se projevuje víc u vláken hydrofilních než u vláken hydrofobních. Téměř ve všech případech se stoupající vlhkostí stoupá tažnost a klesá pevnost vláken. Výjimku tvoří přírodní celulosová vlákna (zejména lýková) s těsnější strukturou, u kterých dochází vlivem vlhkosti ke

zvýšení hodnoty pevnosti. Je to dané vyšším počtem nových příčných vazeb (H-můstků), daných přítomností vody. Bílkovinná vlákna naopak reagují na přítomnost vody snížením počtu sekundárních vazeb, což má za následek snížení pevnosti vláken. Stejným způsobem reagují i vlákna z regenerované celulosy a estery celulosy. Syntetická vlákna vzhledem k nízké sorpční vlastnosti nevykazují téměř žádnou změnu pevnosti a tažnosti. Obecně platí, čím vyšší stupeň uspořádanosti, tím má přítomnost vody větší vliv na vznik nových vazeb a opačně. [3]

Přestože celulosová vlákna svojí pevnost vlivem vlhkosti zvyšují, používáme při jejich tvarování páru, protože pára zajišťuje efektivnější ohřev a urychluje žehlící proces – zvyšuje se vzájemná pohyblivost vláken (snižují se třecí síly).

4. Termické vlastnosti

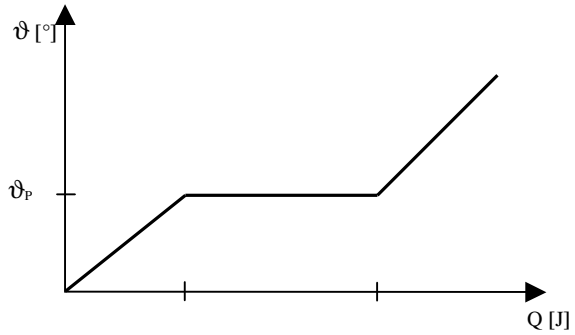
Při působení tepla na vysokomolekulární látku dochází podle fyzikálních zásad ke změně její struktury, které se navenek jeví jako změny tvaru a později jako změny fáze. Podle průběhu změn při působení tepla se polymery dělí na termosety a termoplasty. [2]

- *termoplasty* – plastický, deformovatelný materiál, který si tyto vlastnosti uchovává po zahřátí a opětovném ochlazení. Je to vratný děj (reversibilní). Polyester, polyamid.
- *termosety* – zesíťované polymery, které vytvářejí prostorovou trojrozměrnou síť a materiál se vytvrzuje. Je to děj nevratný (ireversibilní). Epoxidová pryskyřice, bakelit.

4.1 Tepelné přechody

Projevy hmoty při vnějším působení tepla jsou rozdílné podle toho, zda se jedná o nízkomolekulární nebo vysokomolekulární látku.

Molekula *nízkomolekulární* látky, jenž je stavební jednotkou krystalické struktury (mřížky), při ohřevu rozrušuje pouze jeden typ vazeb. Proto je pro ně charakteristické časová prodleva při konstantní teplotě. Kde dochází k rozrušování meziatomových vazeb dodávaným teplem a teprve, když dojde k rozrušení všech vazeb, dojde ke zvýšení teploty (led – voda).



Obr. 4.1 Ohřev nízkomolekulární látky

U *vysokomolekulárních* látek je molekulová struktura složitější. Určujícími faktory pro změnu vlastností při působení tepla je tvar molekul, tuhost řetězců a stupeň krystalinity. Při nízkých teplotách vibrují v polymeru pouze atomy kolem svých rovnovážných poloh, polymer se jeví jako tvrdý a křehký a vykazuje pouze Hookovské elastické deformace. Tento stav se nazývá *skelný*.

Další stav se nazývá *kaučukovitý*, pro který je charakteristické, že při další dodávce tepla se rozkmitají celé amorfní segmenty makromolekul, které se následně přemísťují a dosahují různé konformace molekul. Vykazuje elastické a současně plastické deformace (viskoelastické deformace).

Mezi skelným a kaučukovitým stavem se nachází přechodová oblast, tzv. *teplota zvratu II. řádu* ϑ_{II} (nebo také *Tg teplota zeskelnění*).

Při další dodávce tepla dochází k rozrušování sekundárních vazeb v krystalické oblasti. Dochází k nevratnému posuvu molekul a polymer vykazuje plastickou deformaci, tzv. *plastický* stav.

Mezi kaučukovitým a plastickým stavem je další přechodová oblast při níž dochází k počátku tání krystalitů. Je to tzv. *teplota měknutí* ϑ_M (nebo také T_f *teplota tečení*).

Při rozrušení poslední sekundární vazby, jsou roztaveny všechny krystality a tato teplota je označována jako tzv. *teplota zvratu I. řádu* ϑ_I (nebo také T_T *teplota tání*).

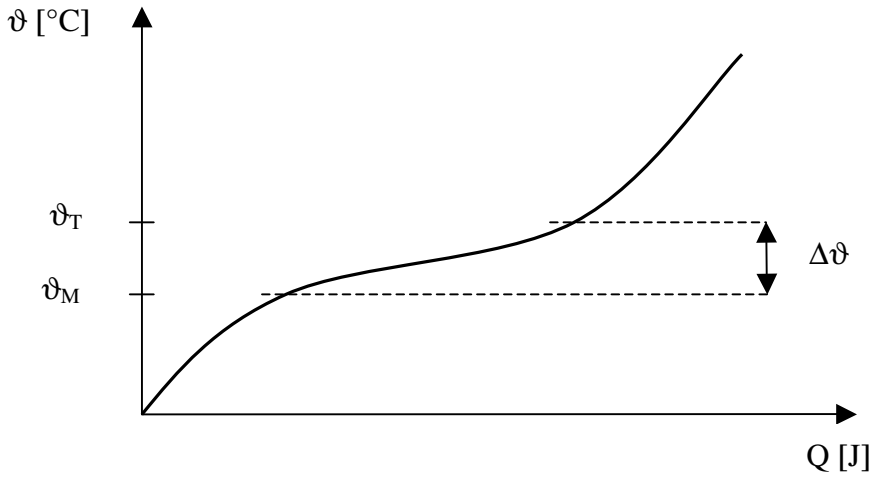
Nejdůležitější jsou pro termoplastická vlákna, jak po stránce identifikační tak i technologické tyto teploty:

teplota zvratu II. řádu ϑ_{II} – nad touto teplotou se provádí dloužení syntetických vláken, žehlení a tvarování oděvů

teplota měknutí ϑ_M – oblast termofixace, ustálení tvaru vláken a plošných textilií, odstranění pnutí

teplota zvratu I. řádu ϑ_I – teplota tání

Grafický průběh ohřevu vysokomolekulárních látek (obr.), následkem popsaných dějů, vykazuje teplotu měknutí a tání jako charakteristické ohyby na křivce ohřevu vlákna.



Obr. 4.2 Ohřev vysokomolekulární látky

Teplotní rozdíl $\Delta\vartheta = \vartheta_T - \vartheta_M$ udává množství krystalického podílu ve vlákně a obvykle se pohybuje v intervalu 15 ÷ 70 °C. Teplota zvratu II. řádu υ_{II} není na křivce odečitatelná (pohlcená tepla jsou velice malá), ale dochází při ní ke změně entalpie ΔH a měrného tepla *c*. Pro přesné určení hodnot těchto veličin se může použít metoda DTA (diferenční termická analýza), pomocí níž se poměrně přesně určí velikosti teplot, při kterých dochází ke strukturálním změnám vlákna. [2]

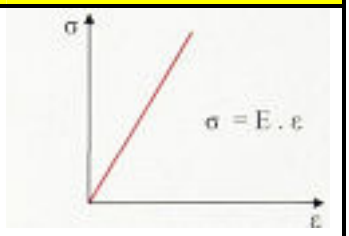
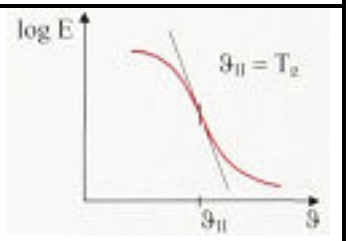
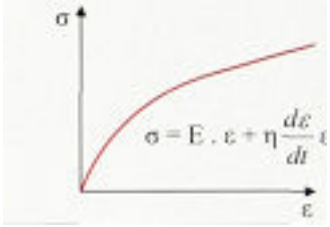
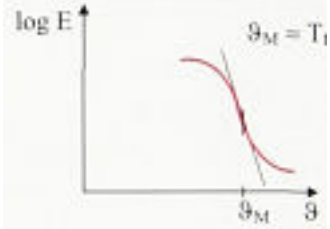
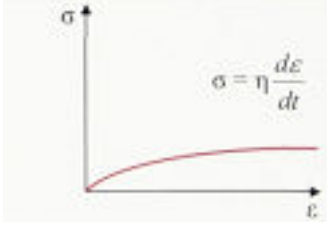
vlákno	ϑ_{II} [°C]	ϑ_M [°C]	ϑ_I [°C]
acetát	180	175 ÷ 205	232
triacetát	105	225	290 ÷ 300
polyamid 6	40	170 ÷ 190	215 ÷ 218
polyamid 6.6	47	235	245 ÷ 255
polyester	80	230 ÷ 240	250 ÷ 260
polypropylén	-10	149 ÷ 160	163 ÷ 175
polyakrylonitril	104	190 ÷ 220	-
polyuretan	-	170	183

Tab. 4.1 Teploty vybraných syntetických vláken

vlákno	účinek tepla
Bavlna	Při 120°C zlehka žloutne Při 150°C hnědne Při 400°C vzplane
Vlna	Při 100°C křehne Při 130°C se rozkládá Při 205°C – 300°C hoří nebo uhelnatí 600°C teplota zápalnosti
Viskóza	Při 150°C ztrácí pevnost Při 175°C – 205°C se rozkládá
Přírodní hedvábí	Při 175°C se rozkládá

Tab. 4.2 Teploty vybraných přírodních vláken

Pro nejjednodušší zjištění teploty tání vlákna se měření provádí na speciálním mikroskopu s výhřevným stolkem.

DODANÉ TEPLO	STAV POLYMERU	TERMODYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA
	Sklovitý stav - tvrdý polymer - vibrace atomů kolem rovnovážných poloh - elastická deformace ε_E	
	Přechodová oblast - teplota zvratu II. řádu ϑ_{II} = teplota skelného přechodu	
	Kaučukovitý stav - přemisťování amorfních segmentů molekul - různé konformace molekul - viskoelastické deformace $\varepsilon_E + \varepsilon_p$	
	Přechodová oblast - počátek tání krystalitů - teplota měknutí = teplota tečení	
	Plastický stav - translační pohyb molekul a jejich nevratná změna - viskózní tok - plastická deformace ε_p	
	Roztavení všech krystalitů, teplota tání	

Tab. 4.3 Celkový přehled působení tepla na vlákna

4.2 Vliv tepla na vlákna a jeho mechanické důsledky

Při působení tepla na vlákna dochází podle fyzikálních zásad ke změně jejich struktury. Teploty zvratu jsou pak výsledkem tohoto vlivu. Je-li vlákno za současného působení tepla upnuto do čelistí s předpětím F_0 a snímána jeho měrná pevnost, jsou registrovány jeho deformační změny. Jsou to především změny v jeho délce, resp. hodnoty f vytvořené zkrácením (kontrakcí) nebo prodloužením (expanzí). [2]

4.3 Ustalování tvaru vlákna teplem – fixace

Uvolnění vnitřního pnutí, krátkodobým zvýšením teploty za účelem odstranění nežádoucího smršťování a ustálení požadovaného tvaru. Fixace se provádí jen u materiálů syntetických nebo směsových. Syntetická termoplastická vlákna vycházejí ze zvlákňovací trysky v lineárním tvaru. Při dalším technologickém zpracování (předení, skaní, pletení, tkaní atd.) se jeho původní lineární tvar mění, ohýbá se podle konstrukce příze, pleteniny, tkaniny atd. a vzniká v něm pnutí.

Proto tvarové stálosti docílíme, odstraněním pnutí z vlákna. Jeho příčinou jsou reakční síly, jež vznikají napínáním sekundárních vazeb, které jsou původně v rovnovážném energetickém stavu. K jejich rozrušení je zapotřebí menšího množství tepla než pro vazby nenapnuté. To se provede ohřevem do úrovně teploty měknutí ϑ_M, kdy se tyto vazby rozruší a tím vymizí pnutí ve vlákně. Vlákno je však potřeba tvarově v této konfiguraci ustálit, proto je náhle ochlazeno za současného vzniku nových vazeb na místech energeticky výhodnějších. Čím je ochlazení rychlejší, tím snadněji nastane fixační efekt. Vzhledem k rozdílné molekulární stavbě a hustotě jednotlivých syntetických vláken, jsou zapotřebí rozdílné způsoby a podmínky fixace.

Aby bylo vlákno stabilní, musí být podmínky fixace takové, že při dalších procesem, kterým bude vlákno vystaveno, nebyla pohyblivost makromolekul větší než při samotné fixaci.

Podle způsobů aplikace rozlišujeme ustalování tvaru do 4 typů:

- *termofixace* – ustalování tvaru suchým teplem
- *termohydrofixace* – ustalování tvaru přehřátou parou
- *hydrofixace* – ustalování tvaru vodní lázní
- *chemofixace* – ustalování tvaru rozrušením sekundárních vazeb chemickou cestou

Při termofixaci dochází zpravidla ke zvýšení krystalinity, tj. ke ztvrdnutí výrobku a zároveň se tím zhorší i jeho omak. Proto je nejvhodnější termohydrofixace, kde se zvyšují omakové vlastnosti výrobku, a u směsových textilií, kde druhá komponenta je sorpce schopná, působí šokový vliv vlhkosti obdobně jako na termoplastická vlákna teplo. Ustálí se tedy tvar obou složek směsi. [2]

4.4 Využití termických vlastností při zpracování vláken

Textilní vlákno v procesu jeho zpracovatelské technologie, počínaje jeho zvlákněním, je vystaveno účinkům tepla a zpravidla též vlhkosti. Obě tyto složky působí v určitém režimu na jeho vlastnosti i na jeho tvar. Dlouhodobým působením tepla však dochází ve vlákně k postupné *termodegradaci* makromolekul, které se projevuje nejprve změnou barvy, dále poklesem pevnosti, zhoršenou relaxací a celkovým poklesem kvality. Proto, aby k tomu nedocházelo, jsou do chemických vláken, do polymeru před zvlákněním, přidávány *termostabilizátory*, jejichž účinkem je tento degradační proces zbrzdit.

Krátkodobé působení teploty a vlhkosti pod ϑ_M je používáno při vlhkotepelném zpracování, kde pomocí těchto vlivů je oděvní textilie tvarována. Dochází k přestavbě sekundárních vazeb a jeho následkem částečně a dočasně ke změně tvaru. [2]

5. Teplo

Teplo je tepelná energie sdělená mezi termodynamickou soustavou a okolím. Teplo je celkovou kinetickou energií neuspořádaného pohybu částic, z nichž se látka skládá. Teplo nezávisí jen na stavu soustavy, ale i na způsobu její reakce s okolím a není tedy veličinou stavovou. Jeho přenos je vyvolán tepelným působením mezi systémem a okolím, jinak řečeno rozdílem teplot systému a okolí, teplotním spádem.

Šíření tepelné energie z jednoho místa na druhé může probíhat vedením, prouděním nebo zářením (sáláním).

Množství tepla obsažené v látce lze určit ze vztahu

$$\Delta Q = m.c.\Delta T \text{ [J]}, \qquad (5.1)$$

kde *m* je hmotnost látky [kg], *c* je měrná tepelná kapacita [$J.kg^{-1}.K^{-1}$] a ΔT je rozdíl počáteční teploty T_1 a koncové teploty T_2 (tzn. $\Delta T = T_2 - T_1$). Znaménko hodnoty tepla nám říká, zda je o teplo přijaté nebo vydané.

5.1 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita (měrné teplo) je množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg o 1 teplotní stupeň (K, °C). Značí se *c* a jednotka je $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

5.2 Teplota

Teplota je intenzivní (nezávisí na množství) stavovou veličinou, která charakterizuje tepelný stav látky. Dodáním tepla se tělesa zahřívají a zvyšuje se jejich teplota. Dodáním stejného množství tepla se různé látky zahřívají rozdílně. Závisí to na tepelných vlastnostech látky a na jejím množství (hmotnosti).

Základní jednotkou je Kelvin [K]. Další používané jednotky jsou stupeň Celsia [°C], stupeň Fehrenheita [°F], stupeň Réaumura [°R] a stupeň Rankina [°R].

U Celsiovi stupnice jsou dva pevné body. Při 0°C dochází k tání ledu a při 100°C k varu vody, v obou případech při stejném tlaku 10^5 Pa.

	Kelvin T_K	Celsius T_C	Fahrenheit T_F	Rankine T_{Ra}	Réaumur T_{Re}
Absolutní nula	0	- 273,15	- 459,67	0	- 218,52

Tab. 5.1 Porovnání teplotních stupnic

5.2.1 Převodní výpočet

$$T_C = T_K - 273{,}15 \tag{5.2}$$

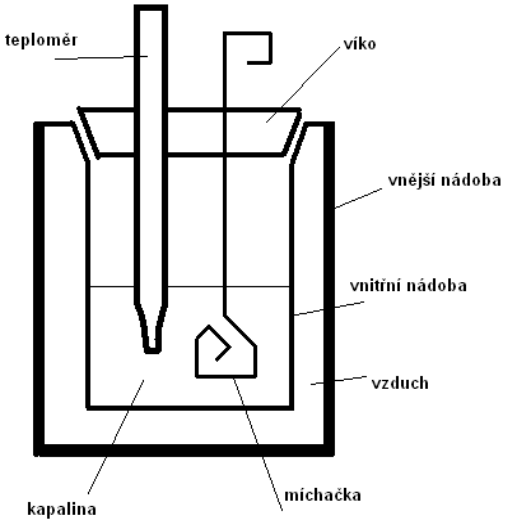
$$T_F = 1{,}8 \,.\, (T_K - 273{,}15) + 32 \tag{5.3}$$

$$T_{Ra} = 1{,}8.\, T_K \tag{5.4}$$

$$T_{Re} = 0{,}8 \,.\, (T_K - 273{,}15) \tag{5.5}$$

5.3 Kalorimetrie

Kalorimetrie je část termiky, která se zabývá měřením tepla. K měření tepla se používá kalorimetr, což je tepelně izolovaná nádoba. Pro různé účely existují různé druhy kalorimetrů.



Obr. 5.2 Kalorimetr

Kalorimetr je zařízení umožňující pokusně provádět tepelnou výměnu mezi tělesy a měřit potřebné tepelné veličiny. Skládá se ze dvou nádobek do sebe vložených. Mezi stěnami nádobek je vzduch, který vnitřní nádobu tepelně izoluje od vnější a od okolí. Každá nádobka se přikrývá víčkem, ve kterém bývají otvory pro teploměr a míchačku. Tepelná kapacita kalorimetru, která ovlivňuje tepelnou výměnu při pokusu, se určuje experimentálně.

5.3.1 Kalorimetrická rovnice

Kalorimetrická rovnice popisuje tepelnou výměnu těles tvořících izolovanou soustavu, pro kterou platí zákon zachování energie. Tedy veškeré teplo, které při výměně jedno těleso odevzdá, druhé těleso přijme. Navíc se předpokládá, že nedochází ke změně druhu energie (tepelná energie se nemůže změnit např. na mechanickou) a také, že látky jsou chemicky netečné, takže nevzniká žádné teplo z chemických reakcí.

Matematicky lze kalorimetrickou rovnici formulovat na základě předpokladu, že teplo Q_1 odevzdané teplejším tělesem chladnějšímu tělesu se rovná teplu Q_2 , které přijme chladnější těleso od teplejšího tělesa, tzn.

$Q_1 = - Q_2$

Jestliže těleso 1 o hmotnosti m_1 s měrnou tepelnou kapacitou c_1 má počáteční teplotu t_1 , těleso 2 o hmotnosti m_2 s měrnou tepelnou kapacitou c_2 má počáteční teplotu t_2 a po vyrovnání teplot mají obě tělesa stejnou teplotu t, přičemž $t_1 > t > t_2$, pak po dosazení za Q_1 a Q_2 dostaneme

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2) \tag{5.6}$$

5.4 Tepelná vodivost

Součinitel se nazývá tepelnou vodivostí. Tepelnou vodivost charakterizujeme jako množství tepla proteklého za jednotku času jednotky plochy při teplotním spádu 1° na jednotku délky.

Tepelná vodivost není určena neproměnnými hodnotami, ale pro stejný materiál je odvislá od velkého počtu činitelů, jako jsou teplota, vlhkost, specifická váha, struktura aj. [4]

6. Sdílení tepla

Sdílení tepla (šíření tepla) je jedním ze způsobů přenosu energie. Teplo se vždy šíří od místa s vyšší teplotou k místu s nižší teplotou. Teplo se prostředím šíří třemi způsoby:

- *vedením* – při vedení (kondukci) se tepelná energie postupně šíří v nepohyblivé hmotě
- *prouděním* – při proudění (konvekci) dochází k přenosu tepla v důsledku proudění a promíchání různě ohřátých částí hmoty
- *zářením* – při tepelném záření (sálání) dochází k vyzařování energie ze zdroje ve formě elektromagnetických vln a jeho následnému pohlcování ozařovaným tělesem

Tepelná energie se může šířit vedením a prouděním pouze v prostředí, které je vyplněno látkou. Příčinou šíření je neustálý pohyb částic hmoty. Vzájemným působením mezi jednotlivými částicemi (např. srážkami) dochází k předáváni kinetické energie a to tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání teplot.

Tepelné záření se svojí povahou odlišuje od vedení a proudění, neboť tepelná energie se může přenášet i v prostoru, který není vyplněn látkou. Důvodem je skutečnost, že sálání představuje elektromagnetické záření, které ke svému přenosu hmotu nepotřebuje.

6.1 Vedení tepla

Vedení tepla je jeden ze způsobů šíření tepla v tělesech, při kterém částice látky v oblasti s vyšší střední kinetickou energií předávají část své pohybové energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím v oblasti s nižší střední kinetickou energií. Částice se přitom nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

Vedení tepla je nejčastější způsob šíření tepla v pevných tělesech, jejichž různé části mají různé teploty. Teplo se vedením šíří také v kapalinách a plynech, kde se však uplatňuje také přenos tepla prouděním.

Rychlost vedení tepla určuje tzv. tepelnou vodivost. Porovnat látky podle tepelné vodivosti umožňuje veličina součinitel tepelné vodivosti.

Tepelná vodivost označuje schopnost látky vést teplo. Představuje rychlost, s jakou se teplo šíří z jedné zahřáté látky do jiných, chladnějších částí. Tepelná vodivost dané látky je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti.

Součinitel tepelné vodivosti je definován jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád. Přitom se předpokládá, že teplo se šíří pouze v jednom směru, např. v desce s rovnoběžnými povrchy. Symbol veličiny je λ a základní jednotka je $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Vedení tepla lze rozdělit :

- *ustálené (stacionární) vedení tepla* – teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa se nemění
- *neustálené (nestacionární) vedení tepla* – teplotní rozdíly mezi jednotlivými částmi tělesa mezi kterými se teplo přenáší se postupně vyrovnávají

6.1.1 Časově stálé vedení tepla

Časově stálé vedení tepla představuje pohyb tepla v tuhé a klidové kapalné nebo plynné fázi hmoty v důsledku konečného rozdílu teploty, který se v čase nemění, tj. při časově stálém teplotním poli.

Izotermická plocha je plocha, jejíž všechny body mají stejnou teplotu. Maximální vzrůst teploty ve směru normály k izotermické ploše se nazývá gradient teploty a je vyjádřen rovnicí

$$gradT = \frac{dT}{dn} = \nabla T \qquad [\ \mathrm{K.m^{-1}}\ ]. \tag{6.1}$$

Teplotní spád je maximální pokles teploty ve směru normály k izotermické ploše

$$-\,gradT = -\frac{dT}{dn} = -\nabla T \qquad [\ \mathrm{K.m^{-1}}\ ]. \tag{6.2}$$

Množství tepla, které projde izotermickou plochou A [m^2] za čas τ [s] v důsledku teplotního spádu na izotermické ploše, vyjadřuje Fourierův zákon

$$Q = -\lambda gradTA\tau \qquad [\ \mathrm{J}\ ]. \tag{6.3}$$

Pro jednotkovou plochu a jednotkový čas dostaneme rovnici hustoty tepelného toku

$$q = \frac{Q}{A\tau} = -\lambda gradT = -\lambda\nabla T \qquad [\ \mathrm{W.m^{-2}}\ ]. \tag{6.4}$$

Součinitel tepelné vodivosti λ [$\mathrm{W.m^{-1}.K^{-1}}$] se u plynné fáze hmoty mění s teplotou a tlakem. U kapalné a tuhé fáze hmoty je možno v běžných technických podmínkách závislosti na tlaku zanedbat. Závislost tepelné vodivosti na teplotě se zjišťuje empericky a je vyjádřena rovnicí

$$\lambda_t = \lambda_0(1 \pm At \pm Bt^2 \pm ...) \qquad [\ \mathrm{W.m^{-1}.K^{-1}}\ ], \tag{6.5}$$

kde λ_0 je tepelná vodivost při teplotě 0°C.

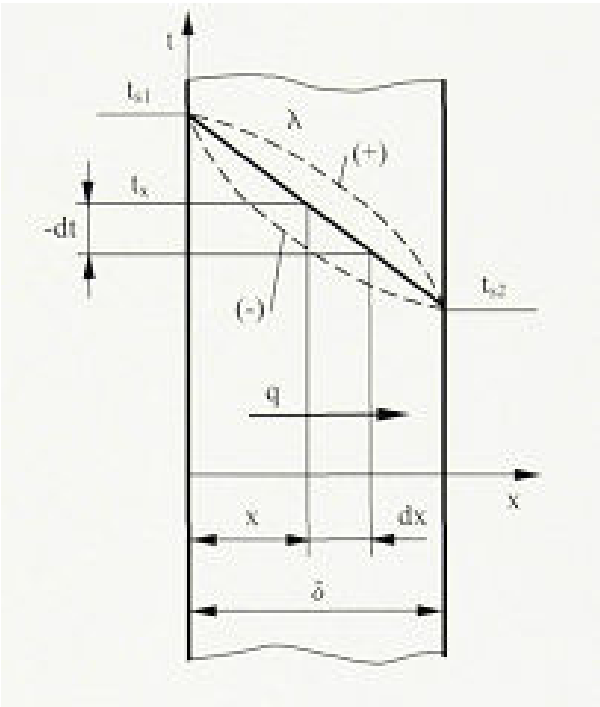
Střední hodnota tepelné vodivosti v rozsahu teplot $t_1 > t_2$ [°C] je

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t2}^{t1} \lambda_t \, dt \qquad [\ \mathrm{W.m^{-1}.K^{-1}}\ ]. \tag{6.6}$$

[5]

6.1.2 Časově stálé vedení tepla rovinnou stěnou

Časově stálé teplotní pole v rovinné neohraničené stěně o tloušťce δ [m] je znázorněn na obr.. Plná čára znázorňuje průběh teploty v rovinné stěně, je-li tepelná vodivost λ ve stěně konstantní. Čárkované čáry vyjadřují časově stálé teplotní pole, jestliže tepelná vodivost s teplotou roste nebo klesá, tj. znaménko plus nebo mínus v rovnici (6.5).



Obr. 6.1 Časově stálé teplotní pole v rovinné neohraničené stěně o tloušťce δ [m] z materiálu s tepelnou vodivostí λ

Pro konstantní tepelnou vodivost λ nebo její střední hodnotu podle rovnice (6.6) plynou z Fourierova zákona (6.4) vztahy pro časově stálé teplotní pole

$$-dt = \frac{q}{\lambda} dx \qquad [°C] \tag{6.7}$$

$$t_x = t_{s1} - \frac{q}{\lambda} x = t_{s1} - \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\delta} x \qquad [°C] \,. \tag{6.8}$$

Integrací Fourierova zákona (rov. 6.4) obdržíme rovnici hustoty tepelného toku rovinnou stěnou v diferenciálním tvaru

$$q = \frac{Q}{A\tau} = -\lambda \frac{dt}{dx} \qquad [\mathrm{W.m^{-2}}] \tag{6.9}$$

a po integraci podle obr. 6.1

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{s1} - t_{s2}) = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\frac{\delta}{\lambda}} \qquad [\mathrm{W.m^{-2}}] \,, \tag{6.10}$$

kde výraz před závorkou vyjadřuje tepelnou propustnost rovinné stěny a jeho převrácená hodnota je tepelný odpor rovinné stěny.

Je-li rovinná stěna složena z počtu *n* vrstev o tloušťkách δ_1 až δ_n, je hustota tepelného toku v důsledku rozdílu teplot na povrchových rovinách složené stěny $t_{s1} > t_{sn+1}$ dána rovnicí

$$q = \frac{t_{s1} - t_{sn+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad [\mathrm{W.m^{-2}}] \,, \tag{6.11}$$

kde výraz ve jmenovateli představuje tepelný odpor rovinné stěny složené z počtu *n* vrstev.

Teplota na styčné rovině například mezi 3. a 4. vrstvou, které počítáme od vrstvy s nejvyšší povrchovou teplotou t_{s1} , je

$$t_{s3,4} = t_{s1} - q\sum_{i=1}^{i=3}\frac{\delta_i}{\lambda_i} = t_{s1} - (t_{s1} - t_{sn+1})\frac{\sum_{i=1}^{i=3}\frac{\delta_i}{\lambda_i}}{\sum_{i=1}^{i=n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad [°C] . \tag{6.12}$$

[5]

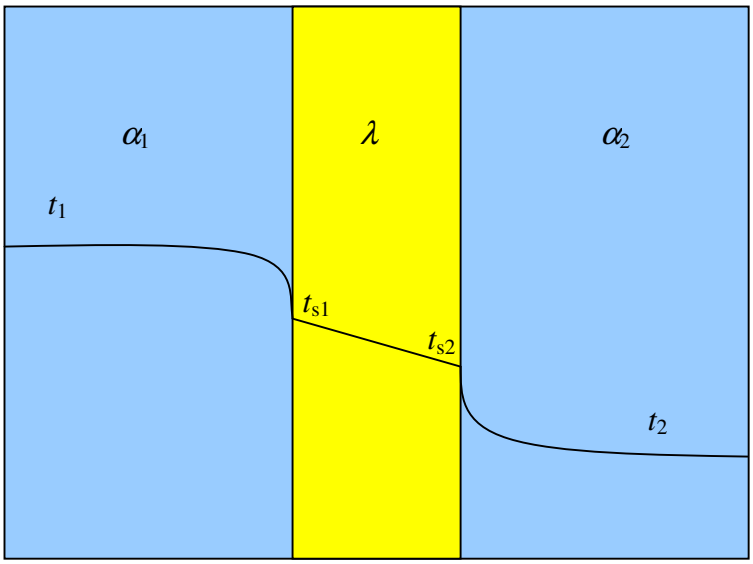
6.2 Časově stálý prostup tepla

Prostup tepla je současný přestup tepla z teplejší tekutiny do stěny, vedení tepla stěnou a přestup tepla ze stěny do chladnější tekutiny. Přestup tepla z tekutiny do stěny nebo ze stěny do tekutiny (konvence) vyjadřuje Newtonova rovnice

$$Q = \alpha(t_s - t)A\tau \qquad [J] , \tag{6.13}$$

kde A [m^2] je teplosměnný povrch stěny o teplotě t_s [°C], jež je ve styku s tekutinou o teplotě $t < t_s$ [°C] po dobu τ[s], α[W.m^{-2}.K^{-1}] je součinitel přestupu tepla.

6.2.1 Časově stálý prostup tepla rovinnou stěnou



Obr. 6.2 Prostup tepla

Je-li součinitel přestupu tepla v teplejší tekutině α_1 a teplotní spád mezi tekutinou a stěnou $t_1 > t_{s1}$ a je-li součinitel přestupu tepla v chladnější tekutině α_2 a teplotní spád mezi stěnou a tekutinou $t_{s2} > t_2$, je množství tepla, které projde z teplejší do chladnější tekutiny za čas τ [s] plochou A [m^2] rovinné stěny jednoduché

$$Q = k(t_1 - t_2)A\tau \qquad [\,\mathrm{J}\,]\,. \tag{6.14}$$

Součinitel prostupu tepla k rovinnou stěnou jednoduchou o tloušťce δ a tepelné vodivosti λ určíme z rovnice

$$k = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1} + \dfrac{\delta}{\lambda} + \dfrac{1}{\alpha_2}} \qquad [\,\mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}}\,]\,. \tag{6.15}$$

Součinitel prostupu tepla k rovinnou stěnou složenou z počtu n vrstev o tloušťkách δ_1 až δ_n a tepelných vodivostech λ_1 až λ_n je dán rovnicí

$$k = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \dfrac{\delta_i}{\lambda_i} + \dfrac{1}{\alpha_2}} \qquad [\,\mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}}\,]\,. \tag{6.16}$$

Převrácená hodnota součinitele prostupu tepla je tepelný odpor při prostupu tepla rovinnou stěnou.

Povrchové teploty stěny plynou z rovnice (rov. 6.13)

$$t_{s1} = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1 A \tau} \qquad [\,°\mathrm{C}\,]\,, \tag{6.17}$$

$$t_{s2} = t_2 - \frac{Q}{\alpha_2 A \tau} \qquad [\,°\mathrm{C}\,]\,, \tag{6.18}$$

kde teplo Q určíme z rovnic (6.14) a (6.15) nebo (6.16).

[5]

6.3 Sdílení tepla prouděním

Konvekce představuje současně sdílení tepla vedením (molekulární transport tepla) a prouděním tekutiny (molární transport tepla). Podíly sdílení tepla vedením a prouděním tekutiny na celkovém transportu tepla jsou různé a záleží především na druhu proudění a termokinetických a hydrodynamických veličinách tekutiny. Matematický popis současného molekulárního a molárního přenosu tepla s uvažováním změny termokinetických a hydrodynamických veličin tekutiny s teplotou, je velmi složitý a pro numerické řešení neupotřebitelný. Proto se případy sdílení tepla konvencí řeší v technické praxi matematicko-experimentálním postupem. Experimentálně zjištěné hodnoty se vyjadřují v bezrozměrném tvaru pomocí kritérií podobnosti, jejichž funkce tvoří kriteriální rovnici, která je matematickým vyjádřením experimentálně sledovaného děje. Teorie podobnosti umožňuje na základě experimentálně zjištěných hodnot v jednom technickém případě řešit výpočtem všechny geometricky, tepelně a hydrodynamicky experimentu podobné děje.

Uvedeným postupem se podstatně zjednoduší výpočet konvekcí sděleného tepla mezi teplosměnnou plochou A [m^2] o teplotě t_s [°C] a tekutinou o teplotě t [°C]. Množství tepla Q [J] sdělené konvekcí v čase τ [s] určíme z Newtonovy rovnice

$$Q = \alpha \vartheta A \tau \qquad [\,\mathrm{J}\,]\,, \tag{6.19}$$

kde α [W.m^{-2}.K^{-1}] je součinitel přestupu tepla a ϑ [K] značí teplotní spád v teplotní mezní vrstvě tekutiny podle rovnice

$$\vartheta = \pm(t_s - t) \qquad [\,\mathrm{K}\,]\,, \tag{6.20}$$

kde znaménko plus značí ohřev a znaménko mínus ochlazování tekutiny.

V součiniteli přestupu tepla α [W.m^{-2}.K^{-1}] je zahrnuta veškerá termokinetická problematika při přestupu tepla mezi teplosměnnou plochou a tekutinou, jako například vlastnosti tekutiny (součinitel tepelné vodivosti, měrná

tepelná kapacita, součinitel tepelné roztažnosti, hustota, kinematická vazkost), tvar systému, rychlost proudění, rozdíl teplot nebo rozdělení teplot u povrchu. [5]

6.3.1 Hydrodynamická podobnost

Vyjadřuje podobnost volného a nuceného proudění tekutiny a vychází z rozboru pohybové rovnice proudění

$$\rho \frac{D\overline{w}}{Dt} = -\nabla p - \left[\nabla . \overline{\overline{\tau}}\right] + \rho \overline{g} \qquad [\ \mathrm{m.s^{-2}}\ ] \tag{6.21}$$

a rovnice kontinuity

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho(\nabla . \overline{w}) \qquad [\ \mathrm{kg.m^{-3}.s^{-1}}\ ]\ . \tag{6.22}$$

Úpravou těchto rovnic dostáváme základní hydrodynamická kritéria:

Reynoldsovo – vyjadřuje poměr setrvačných sil a sil molekulárního tření

$$\mathrm{Re} = \frac{w.l}{\nu} \quad , \tag{6.23}$$

přičemž za určující rozměr l [m] dosazujeme u potrubí a koule průměr D a u rovinné plochy rozměr, který spadá do vektoru rychlosti w [m.s^{-1}]. Symbol ν [m^2.s^{-1}] označuje kinematickou vazkost.

Grashofovo – vyjadřuje poměr sil vztlakových, setrvačných a třecích a je určujícím kritériem pro volné proudění

$$Gr = \gamma \Delta T \frac{g.l^3}{\nu^2} \quad , \tag{6.24}$$

přičemž l [m] značí určující rozměr teplosměnné plochy, tj. rozměr, který spadá do gravitačního zrychlení g [m.s^{-2}] a γ[K^{-1}] objemovou roztažnost tekutiny.

Archimédovo – jako poměr sil vztlakových, setrvačných a třecích při kondenzaci páry

$$Ar = \frac{\rho - \rho''}{\rho} \frac{g.l^3}{\nu^2} \quad , \tag{6.25}$$

kde ρ *a* ρ'' [kg.m^{-3}] značí hustotu kapalné a plynné fáze a ν [m^2.s^{-1}] kinematickou viskozitu kapalné fáze.

Eulerovo – jako poměr tlakových a setrvačných sil při proudění tekutiny

$$Eu = \frac{\Delta p}{g w^2} \quad , \tag{6.26}$$

kde Δp [Pa] označuje podobnost tlakových polí nebo polí tlakových rozdílů v tekutině, která proudí rychlostí w [m.s^{-1}].

[5]

6.3.2 Termokinetická podobnost

Vyjadřuje podobnost přenosu tepla mezi stěnou a proudící tekutinou. Termokinetická podobnost vychází z rozboru energetické rovnice

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -(\nabla.\overline{q}) - p(\nabla.\overline{w}) - (\overline{\overline{\tau}}.\nabla\overline{w}) \tag{6.27}$$

a z rovnice vyjadřující rovnost tepelných toků konvencí a kondukcí v tekutině

$$\alpha \Delta T = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \qquad [\mathrm{W.m^{-2}}] \; . \tag{6.28}$$

Základní termokinetická kritéria jsou:

Nusseltovo – pro poměr přenosu tepla konvekcí a kondukcí v termokinetické mezní vrstvě tekutiny

$$Nu = \frac{\alpha . l}{\lambda} \ , \tag{6.29}$$

kde λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$] označuje tepelnou vodivost, α [$W.m^{-2}.K^{-1}$] je součinitel přestupu tepla a l [m] rozměr.

Pecletovo – vyjadřuje poměr sdílení tepla vedením a prouděním tekutiny

$$Pe = \frac{c . l}{a} \ , \tag{6.30}$$

přičemž a [$m^2.s^{-1}$] je teplotní vodivost a rychlost proudící tekutiny c [$m.s^{-1}$].

Prandtlovo – vyjadřuje fyzikální podobnost tekutin při sdílení

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{a} \ , \tag{6.31}$$

kde a [$m^2.s^{-1}$] je teplotní vodivost a ν [$m^2.s^{-1}$] značí kinematickou viskozitu.

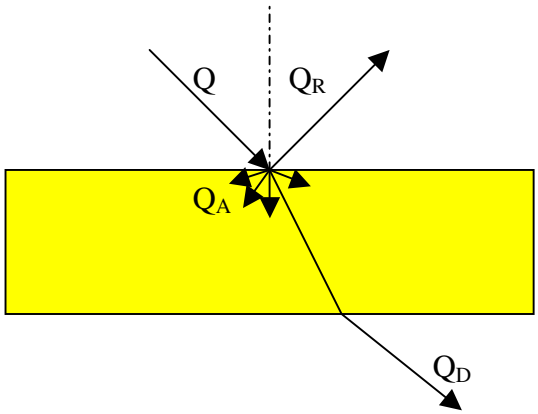
[5]

6.4 Sdílení tepla sáláním

Přenos tepla sáláním (tepelným zářením) není vázán na přítomnost látky mezi tělesy, mezi nimiž dochází k sálání.

Podstatou sálání je elektromagnetické záření o vlnových délkách 0,1 až 1000 μm, které se šíří ve vakuu rychlostí $c = 3.10^8$ [m/s] nebo jiném průteplivém prostředí. Sálání není závislé na teplotě prostředí, kterým prochází, avšak závisí na teplotě

povrchu sálajícího tělesa. Záření při všech vlnových délkách můžeme označit jako základní vlastnost hmotných těles. Každé těleso nepřetržitě vyzařuje zářivou energii. Tato energie se při dopadu na jiné těleso z části odráží, z části tělesem prochází a z části se jím pohlcuje. Energie, která byla tělesem odražena nebo jím prošla, dopadá na okolní tělesa, až je posléze jimi taky pohlcena. Tímto způsobem se celá energie vyzářená určitým tělesem sdělí okolním tělesům. Každé těleso tedy nejen nepřetržitě vyzařuje, ale také nepřetržitě pohlcuje, odráží a propouští zářivou energii. Celý proces má za následek sdílení tepla mezi jednotlivými tělesy. Označujeme ho jako sdílení tepla sáláním. Q_R



Obr. 6.3 Schéma rozdělení dopadající sálavé energie

Je-li Q množství tepla dopadající na těleso, Q_A část tohoto tepla pohlcena tělesem, Q_R část tělesem odražená a Q_D část, jež projde tělesem pak platí

$$Q_A + Q_R + Q_D = Q \ . \quad [\ \mathrm{W}\ ] \tag{6.32}$$

Dělíme-li tuto rovnici množstvím tepla Q, dostaneme

$$\frac{Q_A}{Q} + \frac{Q_R}{Q} + \frac{Q_D}{Q} = \frac{Q}{Q} \ . \tag{6.33}$$

První člen je *poměrná tepelná pohltivost tělesa A*, druhý člen je *poměrná tepelná odrazivost R* a třetí člen je *poměrná průteplivost D*. Platí proto

$$A + R + D = 1 \ . \tag{6.34}$$

Tyto veličiny jsou bezrozměrné a mění se v mezích od 0 do 1. Je-li $A = 1$, pak $R = 0$, $D = 0$ a celá dopadající energie je pohlcena tělesem. Takové těleso se nazývá *dokonale černé*.

Je-li $R = 1$, pak $A = 0$ a $D = 0$ a celá dopadající energie se odráží. Takové těleso se nazývá *dokonale bílé* (leštěný kov).

Je-li $D = 1$, pak $A = 0$ a $R = 0$ a celá dopadající energie prochází tělesem. Takové těleso se nazývá *dokonale průteplivé*.

Dokonale černá, bílá ani průteplivá tělesa se v přírodě nevyskytují. Hodnoty poměrné pohltivosti, odrazivosti a průteplivosti *A, R, D* závisí na vlastnostech tělesa, jeho teplotě a délce vln, které těleso vysílá.

Většina skutečných tuhých těles dopadající zářivou energii jednak pohlcuje a jednak odráží ve smyslu rovnic

$$\begin{aligned} A + R &= 1 \\ D &= 0 \end{aligned} \ . \tag{6.35}$$

Z ideálních těles je nejdůležitější těleso dokonale černé, pro které byly odvozeny základní zákony záření, a to zákon Planckův a zákon Stefan-Boltzmannův. [4]

6.4.1 Sdílení tepla sáláním mezi dvěma rovnoběžnými stěnami

Uvažujeme sdílení tepla sáláním mezi dvěma rovnoběžnými stěnami podle obr. Šedé těleso, jehož stěna má teplotu T, má určitou pohltivost A, o níž platí $0 < A < 1$. Druhá stěna o absolutní teplotě T_0 představuje povrch dokonale černého tělesa,

pro něhož $A_0 = 1$. Jednotka plochy stěny o teplotě T vyzáří v časové jednotce energii E. Tato energie je stěnou dokonale černého tělesa zcela pohlcena. Z úhrnné zářivosti tělesa E_0 která dopadá na šedou stěnu, je část AE_0 stěnou pohlcena, zbytek $(1\text{-}A)E_0$ je odražen zpátky na stěnu černého tělesa a je jím pohlcen. Celkové sdílení tepla mezi stěnou o vyšší teplotě T a stěnou o teplotě nižší T_0 je tudíž

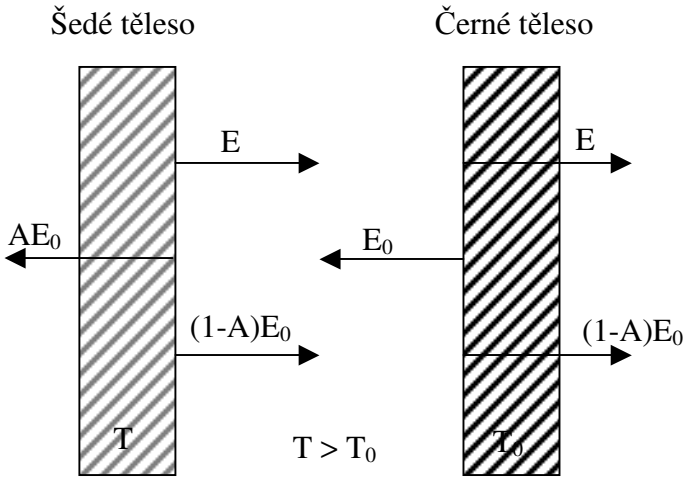
$$E + (1 - A)E_0 - E_0 = E - AE_0 \quad . \tag{6.36}$$

Jestliže jsou teploty obou stěn stejné ($T = T_0$), nesdílí se žádné teplo, takže teplo, které levá stěna pohltí (AE_0), rovná se teplu, které vysálá (E), platí tedy

$$E - AE_0 = 0 \qquad \text{čili} \qquad AE_0 = E \qquad \text{nebo} \qquad \frac{E}{A} = E_0 \ . \tag{6.37}$$

Touto rovnicí je vyjádřen vztah mezi úhrnnou sálavostí tělesa E charakterizovaného A a úhrnnou sálavostí dokonale černého tělesa E_0 při téže teplotě.

[4]



Obr. 6.4 Výměna tepla sáláním mezi dvěma rovnoběžnými stěnami

7. Měření teploty

Teplota je označení pro tepelný stav hmoty. Představuje průměrnou kinetickou energii částic látky. Obor zabývající se měřením teploty se nazývá termometrie.

Základní jednotkou pro měření termodynamické teploty je v soustavě SI kelvín [K], kromě něj existují další stupnice, které používají různý výchozí bod a různé dělení na stupně.

Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly, ke které se lze libovolně přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout. Absolutní nula je označení pro termodynamickou teplotu T = 0K, tj. – 273,15 °C.

Vedle termodynamické teploty se používá ještě Celsiova teplota [°C]. Na Celsiově stupnici jsou stanoveny dva pevné body, bod tání je 0°C a bod varu 100°C (obojí při tlaku vzduchu 1013,25 hPa).

K měření teploty se používají teploměry založené na různých principech.

[7]

7.1 Senzor teploty

Senzor teploty je funkční prvek tvořící vstupní blok měřícího řetězce tj. blok, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem senzor je ekvivalentní pojmu snímač teploty, ale také teplotní čidlo. Stejně tak se jako senzor označuje detektor tepelného záření nebo teploměr.

Základní dělení:

- dle fyzikálního principu
- dle styku s měřeným prostředím

Statické vlastnosti senzorů teploty:

- statická charakteristika
- citlivost
- práh citlivosti
- dynamický rozsah
- reprodukovatelnost
- rozlišitelnost
- přesnost

Dynamické vlastnosti senzorů teploty:

- přechodové charakteristiky senzorů teploty

[7]

7.2 Senzory pro dotykové měření teploty

Při dotykovém měření teploty je nutný přímý dotyk čidla snímače teploty s měřeným objektem.

7.2.1 Odporové snímače teploty

Principem odporových snímačů teploty, je teplotní závislost elektrického odporu určitých kovů na teplotě. Elektrický odpor se s teplotou mění podle určitého vztahu a to

$$R_t = R_0(1+\alpha t) \qquad [\Omega]\ , \tag{7.1}$$

kde R_0 je odpor čidla při 0°C. Tato linearizace se však dá použít jen pro rozsah 0°C – 100°C, pro jiné teploty už není snadné určit teplotní součinitel odporu α [K^{-1}]. Pro teplotní rozsah 0°C – 100°C lze stanovit střední hodnotu teplotního součinitele odporu α takto

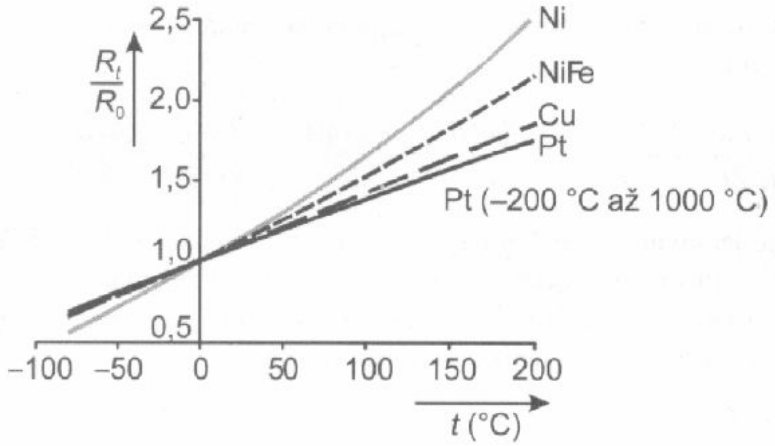
$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} \qquad [\mathrm{K}^{-1}] \,, \tag{7.2}$$

kde R_{100} je odpor čidla při 100°C.

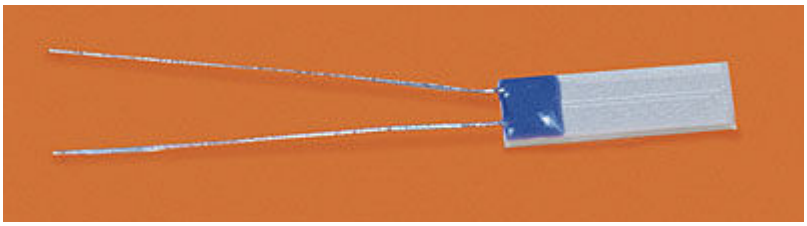
Dalším základním parametrem odporových snímačů teploty je poměr odporu čidla R_{100} a R_0. Tento poměr je vyjádřen vztahem

$$W = \frac{R_{100}}{R_0} \,. \tag{7.3}$$

Nejpoužívanější materiály pro odporová čidla jsou platina, nikl, Balco (Ni-Fe), měď, molybden a pro extrémně nízké teploty od 0,5 [K] slitiny Rh-Fe, Pt-Co aj.. Teplotní závislost některých materiálů je na obr. 7.1. [7]



Obr. 7.1 Teplotní závislost vybraných materiálů



Obr. 7.2 Odporový teploměr

7.2.2 Polovodičové odporové senzory teploty

Polovodičové odporové senzory teploty využívají stejně jako odporové snímače teploty teplotní závislost odporu. U polovodičových senzorů je dominantní závislost koncentrace nosičů náboje na teplotě a můžeme je rozdělit na

- termistory - negastory
  - pozistory
- monokrystalické odporové senzory

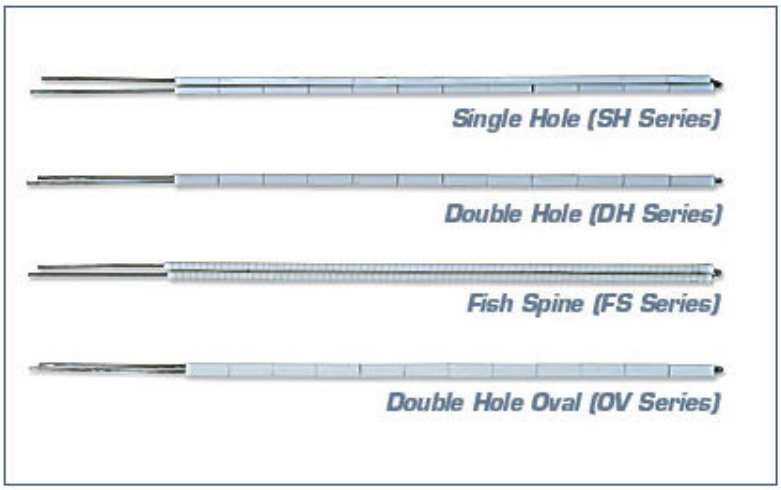
[7]

7.2.3 Termočlánkové termometry

Termočlánkové termometry (termočlánky) pracují na principu Seebeckova jevu, tj. na převodu tepelné energie na elektrickou.

$$U = \alpha(t_1 - t_2) \qquad [\mathrm{V}]\,, \tag{7.4}$$

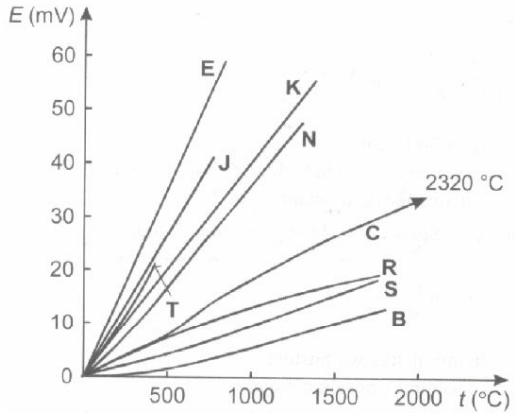
kde α je Seebeckův koeficient.



Obr. 7.3 Termočlánky

Jednotlivé páry termoelektrických materiálů pro výrobu termočlánků jsou ve světě normalizovány. Byly vybrány takové materiály, které zajišťují přijatelnou

nelinearitu závislosti termoelektrického napětí na teplotě, dále odolnost proti vlivu prostředí a dlouhodobou stabilitu. Statické charakteristiky vybraných termočlánků jsou na obr.. Označení jednotlivých článků se dle doporučení IEC provádí velkými písmeny viz tab. 7.5.



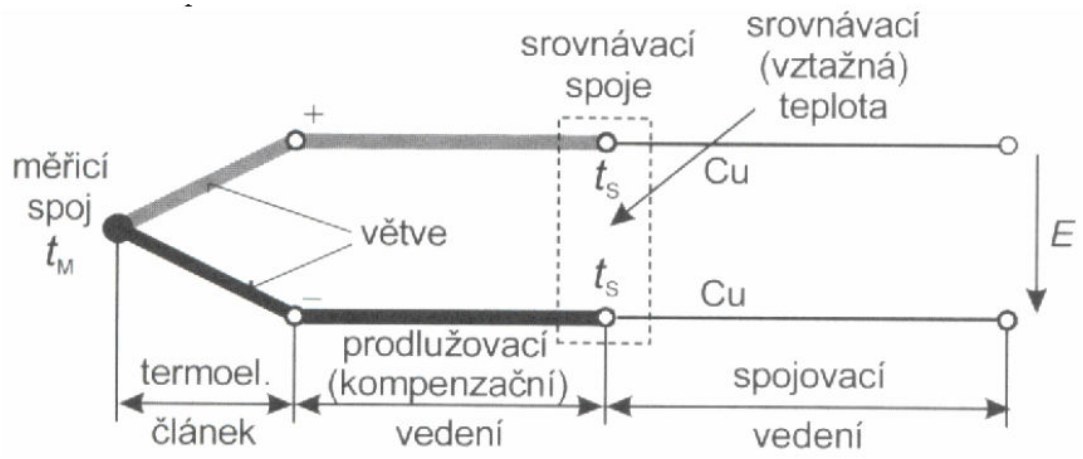
Obr. 7.4 Statické charakteristiky vybraných termočlánků

KÓD	složení	dlouhodobě (°C) přibližné hodnoty	krátkodobě (°C) přibližné hodnoty	přibližná hodnota α (μV/°C) při 100 °C	přibližná hodnota α (μV/°C) při 500 °C	přibližná hodnota α (μV/°C) při 1000 °C
K	NiCr (+) NiAl (–)	0 až +1100	–180 až +1350	42	43	39
T	Cu (+) CuNi (–)	–185 až +300	–250 až +400	46	–	–
J	Fe (+) CuNi (–)	+20 až +700	–180 až +750	54	56	59
N	NiCrSi (+) NiSiMg (–)	0 až +1100	–270 až +1300	30	38	39
E	NiCr (+) CuNi (–)	0 až +800	–40 až +900	68	81	–
R	PtRh13 (+) Pt (–)	0 až +1600	–50 až +1700	8	10	13
S	PtRh10 (+) Pt (–)	0 až +1550	–50 až +1750	8	9	11
B	PtRh30 (+) PtRh6 (–)	+100 až +1000	+100 až +1820	1	5	9
G (W)	W (+) WRh (–)	+20 až +2320	0 až +2600	5	16	21
C (W5)	WRh5 (+) WRh26 (–)	+50 až +1820	+20 až +2300	15	18	18

Tab. 7.1 Tabulka značení a základních vlastností termočlánků

U termočlánků je největším problémem kolísání teploty referenčního konce termočlánku T_{ref}, proto se používají různá zapojení, která se snaží tuto systematickou chybu odstranit.

Základní zapojení termočlánku je na obr, kde však není žádná kompenzace teploty referenčního napětí. [7]



Obr. 7.5 Základní zapojení termočlánku

7.2.4 Dilatační teploměry

Dilatační teploměry jsou založené na teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin a plynů. Dle konstrukce se dilatační teploměry dělí na

Tyčové teploměry – jsou založeny na teplotní délkové roztažnosti dvou konstrukčních dílů z pevných látek, které jsou spolu spojeny jediném místě.

Bimetalické teploměry – u bimetalických snímačů se k měření teploty využívá bimetalový (dvojkovový) pásek složený ze dvou kovů s různými teplotními součiniteli délkové roztažnosti. Při změně teploty se pásek ohýbá a tento pohyb se přenáší na ručičku přístroje.

Obr. 7.6 Bimetalový teploměr

Bimateriálová (dvojmateriálová) čidla – jsou založena na stejném principu jako bimetalická čidla, ale jako materiál se používá kombinace kov (Al) – polovodič (Si).

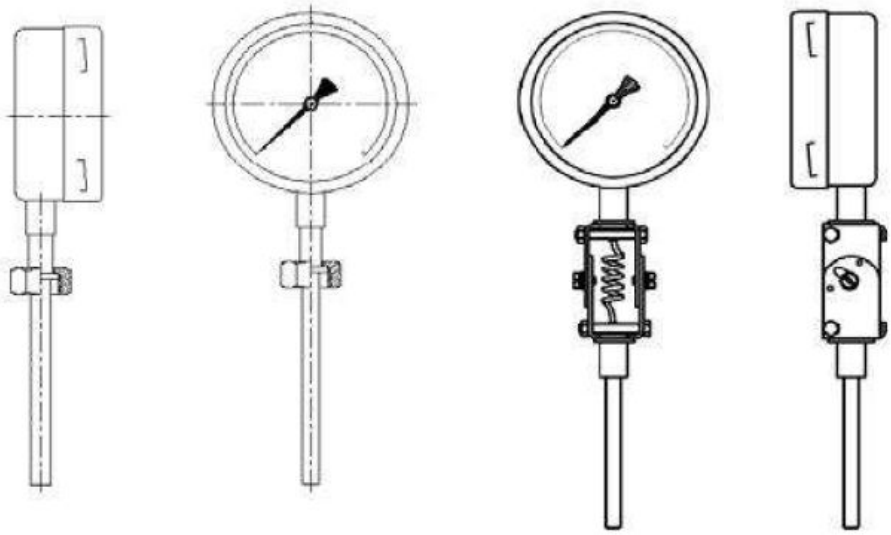
Skleněné teploměry – je to dilatační teploměr založený na teplotní objemové roztažnosti kapaliny ve skle.

Kapalinové tlakové teploměry – princip kapalinového tlakového teploměru je stejný jako u skleněných teploměrů, ale měření objemové roztažnosti se převádí na měření tlaku.

Parní tlakové teploměry – parní teploměr na rozdíl od kapalinového tlakového teploměru je z části naplněn kapalinou a z části sytou párou. Pro vyhodnocení teploty se využívá teplotní závislosti tlaku nasycené páry vhodných kapalin.

Plynové tlakové teploměry – plynový teploměr má teploměrný systém naplněný plynem (dusíkem, heliem) pod tlakem (až 2,5 MPa). Princip je stejný jako u ostatních tlakových teploměrů.

[7]



Obr. 7.7 Plynový teploměr

7.2.5 Speciální dotykové senzory teploty

- akustické teploměry
- krystalové teploměry
- šumové teploměry
- magnetické teploměry
- optické vláknové senzory teploty

7.3 Senzory pro bezdotykové měření teploty

Používá se pro měření vysokých teplot, založené na zákonech tepelného záření (Planckův zákon, Wienův zákon, Stefan-Boltzmannův zákon). Měří záření vysílané tělesy do okolí.

7.3.1 Zásady a výhody používání bezdotykových teploměrů

Měřený objekt musí být pro infračervený teploměr opticky viditelný. Vysoké úrovně kouře nebo prachu snižují přesnost měření. Optická čidla musí být chráněna před prachem a kondenzujícími kapalinami. Je možno měřit pouze povrchovou teplotu, přičemž je nutno brát v úvahu různou emisivitu jednotlivých materiálů.

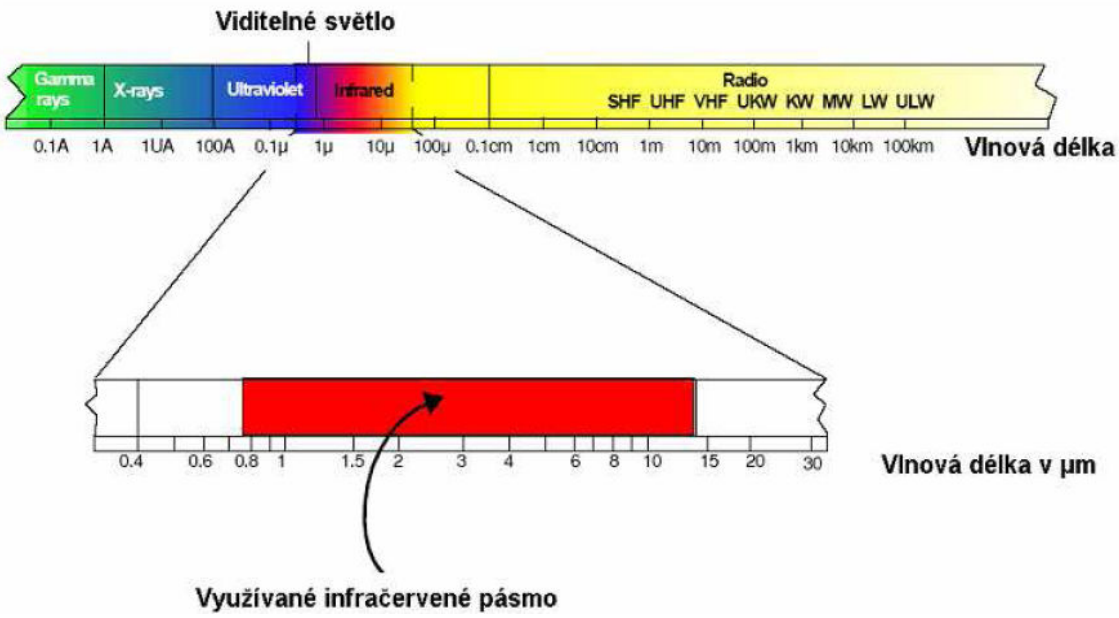
Výhodou je rychlé měření (v milisekundovém rozsahu), šetří se čas a navíc umožňuje uskutečňovat mnohem více měření. Umožňuje měření teploty pohybujících se objektů. Lze bez problémů měřit i velmi vysoké teploty (nad 1300°C). Měření v potravinářství je naprosto hygienické.

[7]

7.3.2 Elektromagnetické spektrum

Pro měřící účely se využívá infračervené pásmo elektromagnetického spektra v rozsahu 0,7 až 14 μm.

[8]

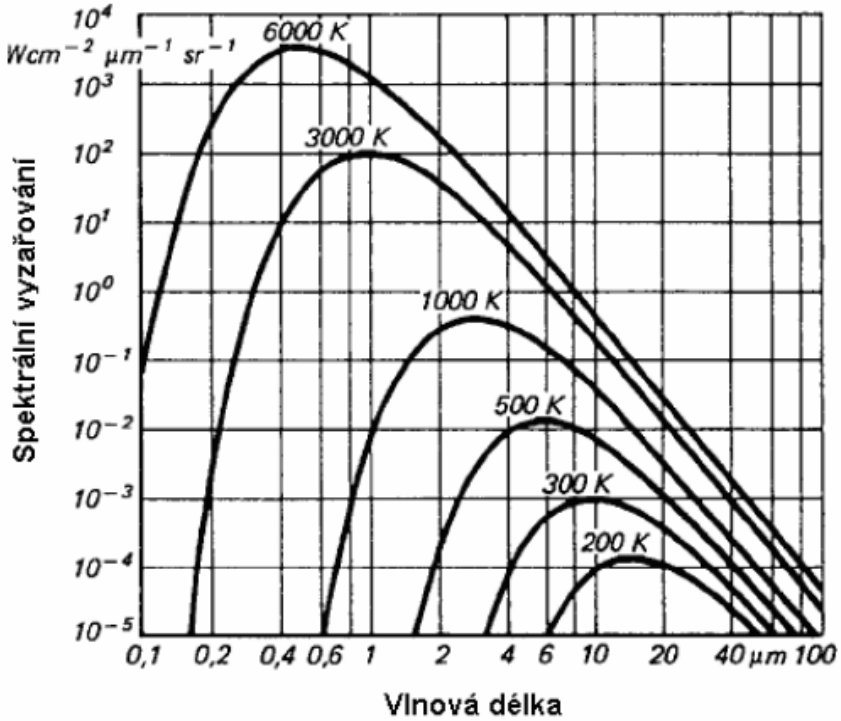


Obr. 7.8 Infračervené pásmo

7.3.3 Vyzařování tělesa při různých teplotách

Tělesa při vysokých teplotách vyzařují ještě i malé množství viditelného záření. Proto je možné vidět předměty při velmi vysokých teplotách (nad 600°C) žhnoucí někde mezi červenou a bílou. Neviditelná část spektra však obsahuje až 100 000 krát více energie. Na tom staví infračervená technologie. Maximum vyzařování se posunuje při růstu teploty směrem ke stále kratším vlnovým délkám.

[7]



Obr. 7.9 Vyzařovací charakteristiky černého tělesa v závislosti na jeho teplotě

8. Termodynamika par

Za normálního rozpětí teplot na naší zemi se mnohé látky vyskytují jen v určitém skupenství. Technickým zásahem dovedeme vytvořit vyšší nebo nižší teploty, než jsou v přírodě, takže např. látky vyskytující se pouze v plynném skupenství zkapalní a ztuhnou nebo pevné látky naopak zkapalní a zplynní. Látky

vyskytující se za normálních teplot v plynném stavu mají kritický bod při nízkých a velmi nízkých teplotách, látky za normálních teplot kapalné mají kritický bod při teplotách vyšších anebo velmi vysokých proti normálním teplotám prostředí.

Reálné plyny, které jsou v technicky užívaném rozsahu teplot již v blízkosti stavu nasycení (pod kritickou teplotou), nazýváme parami. Proto u vody v plynném stavu mluvíme o vodní páře a nikoliv plynu. Do tohoto označení zahrnujeme též vodní páry za vysokých teplot a tlaků, které se již svými vlastnostmi blíží reálným plynům.

U téže látky mezi plyny a parami neexistuje žádná vyhraněná mez, pokud ji nestanovíme sami jednostrannou definicí, jako např., že páry jsou plyny, které se dají zkapalnit izotermickou kompresí. Přechod látky mezi stavem plynů a par z hlediska většiny fyzikálních vlastností je kontinuální. Pouze mez sytosti je hranicí, na které se mění náhle průběh anebo charakter křivek konstantních veličin stavu *p, v* a *T*. [6]

8.1 Odpařování, vypařování, var kapaliny

Přeměna kapaliny v páru jakoukoliv cestou se nazývá obecně *vypařování.* Při vypařování rozeznáváme dva odlišné způsoby tvoření par, a to *odpařování* a *var kapaliny*.

Je-li nad hladinou kapaliny volný prostor, kapalina se na hladině samovolně odpařuje,a to za každé teploty. Toto tvoření par nad hladinou je způsobeno tím, že některé molekuly kapaliny mají mimořádně velkou rychlost, takže svojí kinetickou energii překonají potenciální energií ostatních molekul a uniknou do volného prostoru. Odpoutáním těchto rychlých molekul se sníží úhrnná střední energie molekul kapaliny, takže vlivem odpařování se kapalina ochlazuje.

Rychlost čí intenzita odpařování závisí na druhu kapaliny a na její teplotě. Se stoupající teplotou rychlost odpařování roste. Je-li nad omezeným množstvím kapaliny dostatečně velký prostor, může se kapalina odpařit úplně.

Přivádíme-li kapalině trvale teplo, stoupá její teplota, a tím i rychlost odpařování. Dosáhne-li kapalina teploty, při níž se pára tvoří nejen na jejím povrchu, ale i na stěnách nádoby a uvnitř kapaliny, nastává var kapaliny. Teplota varu je

závislá na tlaku prostředí. Pro daný tlak má každá chemicky čistá látka jednoznačnou teplotu varu. [6]

8.2 Děj vypařování

Dosáhne-li kapalina při daném tlaku teploty varu, její teplota se přivedením dalšího tepla více nezvyšuje. Kapalina se pak vypařuje při téže teplotě a témž tlaku tak dlouho, dokud se zcela nevypaří. V okamžiku, kdy je vypařování skončeno, projeví se přívod tepla páře opět tím, že její teplota stoupá.

Teplo, které bylo přivedeno kapalině od počátku varu do konce vypařování, bylo jako energie spotřebováno k překonání mezimolekulových sil molekul kapaliny. Přivedené teplo, které se neprojevuje stoupáním teploty kapaliny, se nazývá *teplo latentní* (utajené, skryté). Jelikož se toto teplo spotřebuje ke změně skupenství, nazývá se též *teplo skupenské*. Latentní nebo skupenské teplo lze nazývat *teplem výparným*, které se definuje jako množství tepla potřebné k odpaření 1 kp kapaliny zahřáté na teplotu varu při daném tlaku. Množství tepla potřebné k vypařování 1 kp kapaliny při tlaku 760 torr se nazývá *normální výparné teplo*.

Bod varu, tj. teplota vypařování, závisí na tlaku prostředí, v němž se vypařování děje. Při tlaku 760 torr se tato teplota nazývá *normální bod varu*.

Se stoupajícím tlakem se teplota vypařování zvyšuje. Probíhá-li vypařování při stálém tlaku a stálé teplotě, je vypařování děj izotermicko-izobarický. [6]

8.3 Stavy par

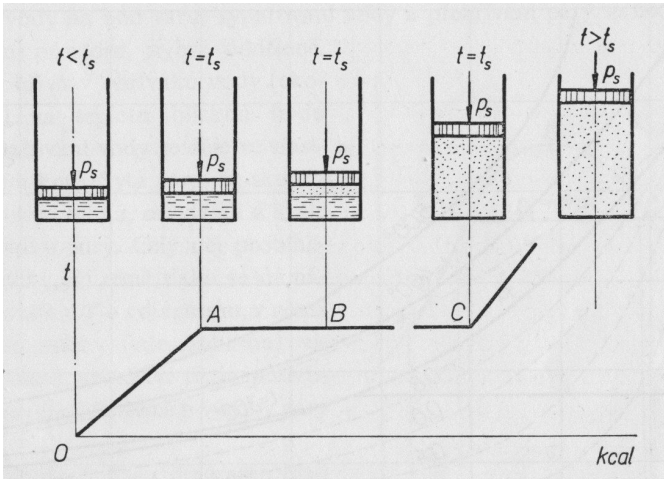
Na obr. 8.1 je znázorněn průběh teploty kapaliny a páry v závislosti na přivedeném teple. Vypařování probíhá při t_s = *konst* a p_s = *konst* mezi body A,C. Teplota páry po úplném vypaření stoupá rychleji než u vody, poněvadž měrné teplo páry je menší než měrné teplo vody.

V okamžiku, kdy počíná vypařování (bod A), má sytá voda měrný objem v' při tlaku p_s a teplotě t_s. Dalším přiváděním tepla se voda vypařuje a celkový objem látky v nádobě roste při nezměněném tlaku p_s a teplotě t_s. Ve stavu B se nachází v nádobě sytá kapalina a sytá pára. Směs obou těchto fází o stejném tlaku p_s a teplotě t_s se nazývá *mokrá pára.* Mokrou párou nazýváme buď stejnorodou směs jemných kapiček syté vody a syté páry, nebo obě skupenství uvažujeme oddělená, avšak ve společném uzavřeném prostoru.

V bodě C, v němž vypařování právě skončilo, v nádobě se nachází pouze pára o měrném objemu v'', v téže teplotě t_s a příslušném tlaku p_s jako má sytá voda a mokrá pára. Pára v tomto stavu se nazývá *sytá pára*. Objemy v' a v'' jsou mezní objemy, které má látka na počátku a na konci vypařování.

Přivádí-li se dále teplo, stoupá teplota páry a pára sytá přechází v *páru přehřátou*.

Zatím co stav syté páry v procesu vypařování při stálém přívodu tepla představuje okamžitý stav, stavy páry mokré a přehřáté tvoří oblasti, v nichž se stavy páry navzájem značně liší. Mokré páry se liší *vlhkostí* a přehřáté páry *stupněm přehřátí*. Čím více přehříváme páru při nepříliš vysokých tlacích, tím více se svými vlastnostmi blíží reálnému, resp. ideálnímu plynu. [6]



Obr. 8.1 Průběh teploty při vypařování v závislosti na přivedeném teple

8.4 Mezní křivky vodní páry

Vynášíme-li v diagramu obr. 8.2 o souřadnicích p a v stavy, při nichž začíná vypařování (body varu) při různých tlacích, a stavy, při nichž vypařování končí, obdržíme tzv. *mezní křivky*.

U vodní páry sledujeme děj, který probíhá z fáze kapalné do fáze plynné. Zkapalňováním technicky důležitých dvouatomových plynů probíhá při teplotách značně nižších, než jsou teploty vyskytující se v přírodě. Var vody a vypařování při atmosférickém nebo vyšším tlaku nastává naopak při vyšších teplotách, než se v přírodě normálně vyskytují.

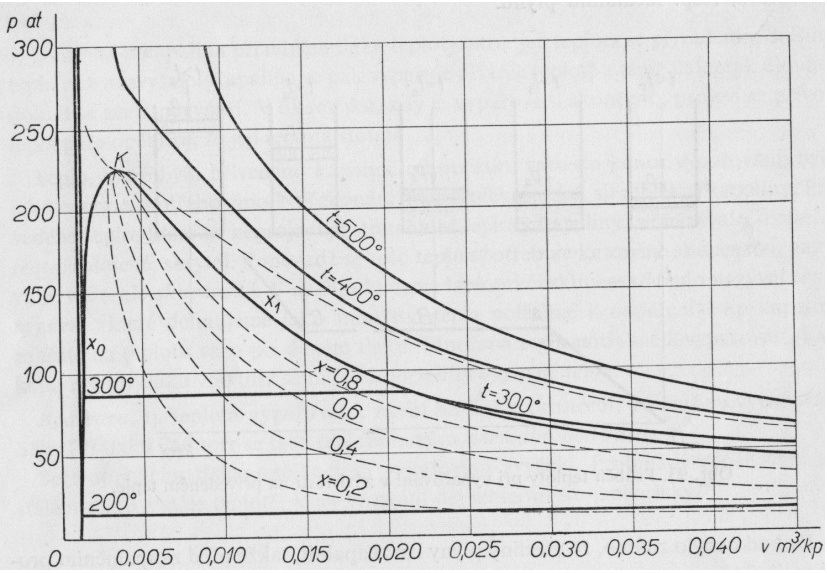
Se stoupajícím tlakem (teplotou) zvětšuje se zpočátku nepatrně měrný objem syté vody v' až do kritického bodu K, v němž má maximální hodnotu. Teplota v bodě K je nejvyšší teplota, které může voda v kapalné fázi dosáhnout. Nazývá se *kritická teplota* a její hodnota je t_k = 374,15°C.

Spojnici bodů varu nazýváme *levou* nebo *dolní mezní křivkou*. Stavy na této mezní křivce představují vodu v sytém stavu neobsahující žádné váhové množství (x) páry, takže $x = 0$. Proto označujeme levou mezní křivku $x = 0$ nebo x_0, někdy též x'.

Spojnice bodů, v nichž je vypařování právě ukončeno (2´´) a vzniká sytá pára má objem v'', tvoří druhou větev mezní křivky, zvanou *pravá* či horní *mezní křivka*. Je to spojnice bodů stavu syté páry, proto se tato mezní křivka nazývá též *mez sytosti*. Na této křivce je všechna voda vypařena, množství páry $x = 1$. Tuto mezní křivku označujeme proto $x = 1$ nebo x_1, po případě x''. Vzhledem k tomu, že na této mezní křivce při opačném pochodu začíná zkapalnění páry, nazývá se též (u reálných plynů) *křivkou kondenzační* obr. 8.3.

Objem syté páry v'' se stoupajícím tlakem (teplotou) se zmenšuje až do kritického bodu K, kde má v'' minimální hodnotu rovnou maximální hodnotě měrného objemu syté vody v'. Je to *kritický objem* (příslušný kritickému bodu) $v_k = v_k' = v_k'' = 0{,}00325$ m^3/kp. Kritický objem vody je více než třikrát vetší než objem syté kapaliny při 0°C a 760 torr.

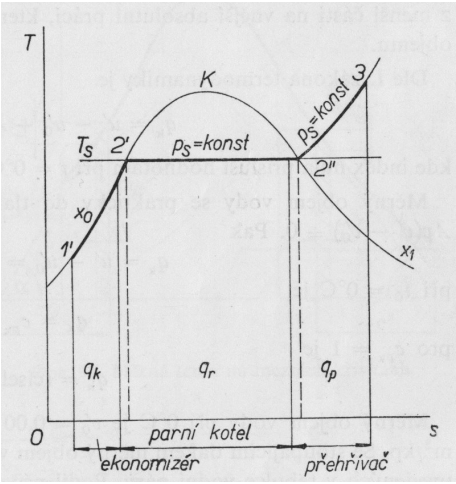
V kritickém bodě má sytá páry nejvyšší možný tlak, tzv. *kritický tlak* p_k = 225,65 at. Vyšší tlak než kritický může mít pouze pára přehřátá. [6]



Obr. 8.2 Diagram vodní páry v souřadnicích p, v

8.5 Průběh výroby páry v T – s diagramu

V T – s diagramu izobary v kapalině probíhají těsně nad levou mezní křivkou, takže je prakticky považujeme za shodné s mezní křivkou. Ohřívání vody probíhá mezi body *1´2´*. Vypařování je znázorněno úsečkou *2´2´´*, znázorňující současně izobaru a izotermu. Od pravé mezní křivky izobara rychle stoupá a má podobný tvar jako izobara u plynů. Plocha pod čarou *1´2´* znázorňuje *kapalinové teplo* q_k. *Výparné teplo* q_r potřebné k vypaření syté kapaliny je dáno plochou pod úsečkou *2´22´´* a *přehřívací teplo* pod křivkou *2´3*. [6]



Obr . 8.3 Průběh výroby páry v T – s diagramu

8.6 Mokrá pára

V oblasti mezi oběma mezními křivkami je směs kapalné a plynné fáze, tj. syté vody a syté páry, která se nazývá mokrá pára.

Stav mokré páry nemůžeme udávat tlakem a teplotou, poněvadž v této oblasti se izotermy s izobarami neprotínají, nýbrž kryjí. Z tohoto důvodu je třeba udávat ještě jednu určovací veličinu. Účelnou veličinou je *měrný obsah páry x*. Je to poměr váhového obsahu syté páry obsažené ve váhové jednotce mokré páry k 1 kg mokré páry.

Na levé mezní křivce je měrný obsah páry $x = 0$, na pravé mezní křivce $x = 1$. Mezi těmito krajními hodnotami obsahuje 1 kg mokré páry x kg páry syté a $(1 - x)$ kg vody. Množství vody (1 – x) se nazývá *vlhkost páry*, množství páry x se nazývá též *suchost páry*. Tepelné a kalorické veličiny různých stavů mokré páry vyjadřujeme příslušnými hodnotami na mezních křivkách a pomocí měrného obsahu páry x. Hodnoty tepelných a kalorických veličin na mezních křivkách odečítáme v parních tabulkách. [6]

8.7 Sytá pára

Stav syté páry je určen jednou termickou veličinou stavu, tlakem nebo teplotou a pravou mezní křivkou. Termické i kalorické veličiny na pravé mezní křivce v'', u'', i'', s'' závisí pouze na teplotě (tlaku).

Teplota syté páry T_s se rovná teplotě varu. Tlak syté páry závisí jen na její teplotě, nikoli na jejím objemu. Zmenšuje-li se objem syté páry, její tlak se nezvýší, nýbrž část páry při stálém tlaku p_s zkapalní. Zvětšujeme-li naopak objem prostoru, ve kterém je kapalina a sytá pára, zvětšením objemu tlak neklesne, nýbrž nastane vypařování vody. Je-li v prostoru pouze sytá pára, tlak páry klesne, ale současně se sytá pára, podle druhu expanze změní buď v páru přehřátou, nebo mokrou. [6]

8.8 Přehřátá pára

Přivádíme-li syté páře teplo při konstantním tlaku p_s, teplota páry rychle stoupá nad teplotu sytosti t_s. Pára, jejíž teplota při témž tlaku p_s je vyšší než teplota syté páry, je pára přehřátá.

Vlastnosti páry při přechodu z oblasti mokré páry do oblasti par přehřátých se mění nespojitě. Teplota přehřáté páry závisí na tlaku a objemu. Vnitřní energie, entalpie, entropie a objem přehřáté páry jsou závislé na tlaku i teplotě.

Pojem přehřátí je třeba chápat jako vzdálenost stavu páry od meze sytosti. [6]

8.9 Tepelné diagramy vodní páry

Tepelné diagramy jsou grafickým znázorněním tabulkových hodnot stavů páry ve vhodně volených souřadnicích. Za souřadnice mohou být zvoleny kterékoliv dvě z tepelných nebo kalorických veličin stavu *p, v, T, u, i, s*. Ve zvoleném systému souřadnic spojujeme stejné hodnoty téhož parametru, čímž obdržíme systémy křivek např. p = konst, v = konst apod.

Různé látky mají rozdílné průběhy na sobě navzájem závislých termických a kalorických veličin, a proto jsou též pro různé látky sestrojeny rozdílné tepelné diagramy.

V technické praxi jsou používané tepelné diagramy buď v souřadnicích *T – s, entropický diagram*, nebo v souřadnicích *i – s, Mollierův entropický diagram.* [6]

8.9.1 Entropický T – s diagram vodní páry

Souřadnicemi tepelného entropického diagramu jsou absolutní teplota *T* [°K] a entropie *s* [J/kg.°K]. V diagramu jsou zakresleny mezní křivky oddělující oblasti vody, mokré a přehřáté páry.

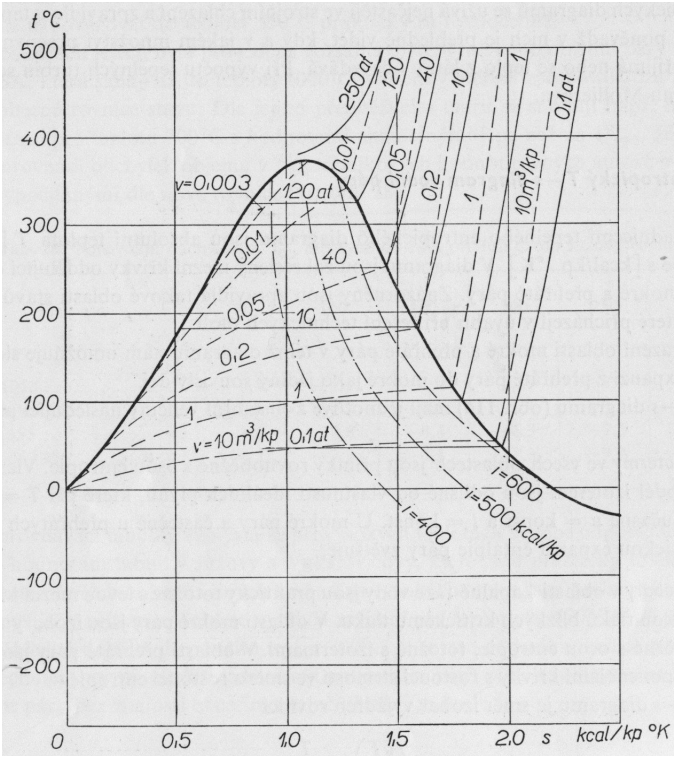
Zobrazení oblasti mokré a přehřáté páry v témž diagramu nám umožňuje sledovat např. expanzi z přehřáté páry do mokré jako jediný souvislý děj.

V T – s diagramu obr. 8.4 mají jednotlivé konstantní veličiny následující průběh:

a) Izotermy – ve všech oblastech jsou přímky rovnoběžné s osou entropie.

b) Izobary v oblasti kapalné fáze vody jsou prakticky totožné s levou mezní křivkou s výjimkou tlaků blízkých kritickému tlaku. V oblasti mokré páry jsou izobary úsečky rovnoběžné s osou entropie, totožné s izotermami. V oblasti přehřáté páry jsou izobary exponenciální křivky s rostoucí strmostí ve směru rostoucí entropie.

c) Izochory v mokré páře jsou křivky s klesající strmostí ve směru rostoucí entropie, respektive ve směru rostoucí suchosti. Na pravé mezní křivce se izochory náhle lomí a stoupají naopak s rostoucí strmostí ve směru rostoucí entropie. Měrný objem s rostoucím tlakem klesá.



Obr. 8.4 T – s diagram vodní páry

d) Adiabaty ve všech oblastech jsou přímky kolmé k ose entropie. Entropické T – s diagramy bývají doplňovány čárami konstantní entalpie

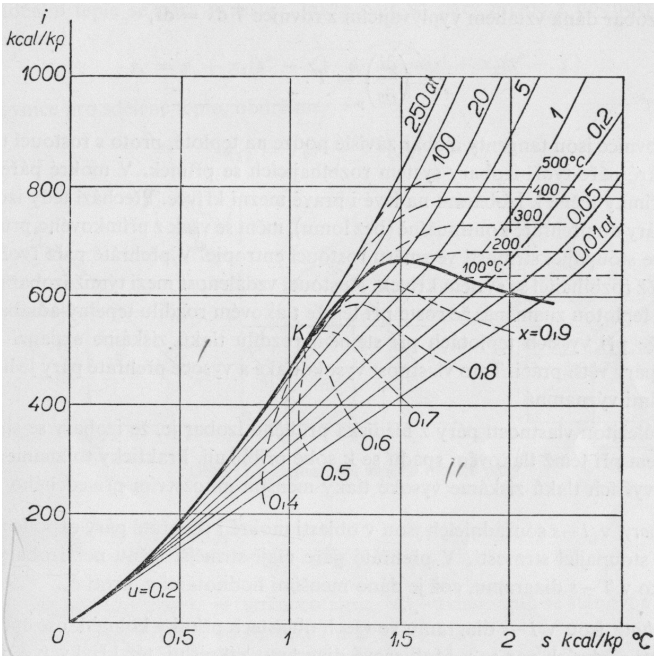
a v mokré páře též čarami $x = konst$, čímž se rozšiřuje jejich význam pro praktické použití. [6]

8.9.2 Mollierův i – s diagram vodní páry

V souřadnicích i – s mohou být graficky zobrazeny vlastnosti i jiných látek, než je vodní pára. Veličiny při teplotě t_0 = 0°C jsou označeny indexem nula (v_0, u_0, i_0), na levé mezní křivce s jednou čárkou (v', i', s'), na pravé mezní křivce se dvěma čárkami (v'', i'', s'') a v oblasti přehřátých par bez indexu.

V i – s diagramu je stav přehřáté páry určen dvěma termickými veličinami stavu, k nimž odečteme v diagramu příslušnou dvojici i, s. Stav mokré páry je určen stejně jako v entropickém diagramu T – s.

Průběhy jednotlivých konstantních termických veličin a způsob užití i – s diagramu jsou jiné, než jak bylo popsáno u T – s diagramu. Konstantní veličiny v i – s diagramu mají tyto průběhy:



Obr. 8.5 i – s diagram vodní páry

a) Izotermy jsou v oblasti mokré páry přímky totožné s příslušnými izobarami. Na mezi sytosti se izotermy náhle lomí a přecházejí obloukem

s klesající strmostí do tvaru vodorovných přímek rovnoběžných s i = konst.

b) Izobary v oblasti kapaliny se kryjí prakticky s levou mezní křivkou. V oblasti mokré páry jsou izobary přímky totožné s izotermami.

c) Izochory v i – s souřadnicích jsou oblasti mokré i přehřáté páry exponenciální křivky se stoupající strmostí. V přehřáté páře mají strmější tečnu než izobary.

d) Adiabaty jsou v i – s diagramu ve všech oblastech přímky kolmé k ose entropie [6]

9. Experimentální část

9.1 Popis měření

Cílem experimentálního měření bylo změřit přestupy tepla při tepelném a vlhkotepelném žehlení.

Pro měření byly použity 3 druhy materiálů:

- 100% PES
- 100% CO
- 100% WO

Při tepelném i vlhkotepelném žehlení byla použita elektroparní žehlička a žehlící stůl. Při měření byly teploty zjištěny pomocí dvou termočlánků typu NiCr. První termočlánek měřil teplotu mezi žehlící deskou a textilním materiálem a zároveň druhý termočlánek měřil teplotu mezi vrstvami textilního materiálu. Naměřené teploty termočlánků byly uloženy do paměti měřícího přístroje ALMEMO 2290-8. Z naměřených hodnot bylo vypočteno množství tepla prošlého textilií.

9.2 Přehled použitých materiálů pro experiment

Materiál č.1

Technologie výroby		Tkanina
Materiálové složení		100% PES
Vazba		Plátnová
Plošná měrná hmotnost		0,196 kg/m^2
Dostava	osnova	230 nití / 10 cm
	útek	230 nití / 10 cm
Tloušťka		0,55 mm

Tab. 9.1 Parametry materiálu č.1

Materiál č.2

Technologie výroby		Tkanina
Materiálové složení		100% CO
Vazba		Plátnová
Plošná měrná hmotnost		0,199 kg/m^2
Dostava	osnova	260 nití / 10 cm
	útek	190 nití / 10 cm
Tloušťka		0,42 mm

Tab. 9.2 Parametry materiálu č.2

Materiál č.3

Technologie výroby		Tkanina
Materiálové složení		100% WO
Vazba		Krepová
Plošná měrná hmotnost		0,211 kg/m^2
Dostava	osnova	170 nití / 10 cm
	útek	150 nití / 10 cm
Tloušťka		0,62 mm

Tab. 9.3 Parametry materiálu č.3

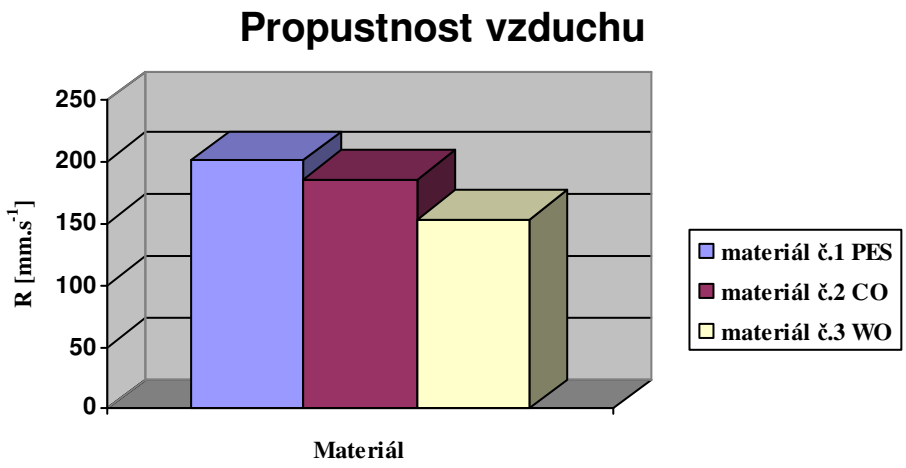
Tloušťka byla naměřená na přístroji DM 100T, naměřené hodnoty viz. příloha. Měření bylo prováděno při klimatických podmínkách: teplota 22,5°C , vlhkost 49,1% .

9.3 Měření propustnosti vzduchu

Propustnost vzduchu byla naměřená na přístroji SDL M021S při tlakovém spádu 100Pa při klimatických podmínkách: teplota 21,53°C , vlhkost 46,6% .

Rychlost průtoku vzduchu q_v [ml/s]			
Č. měření	materiál č.1 PES	materiál č.2 CO	materiál č.3 WO
1	380	355	330
2	395	390	315
3	420	385	310
4	380	385	285
5	395	380	290
6	420	400	285
7	400	370	280
8	415	355	330
9	390	335	325
10	420	360	315
$\overline{q_v}$	401,5	371,5	306,5
v [%]	4,03	5,39	6,44
R [mm.s^{-1}]	200,75	185,75	153,25

Tab. 9.4 Rychlost průtoku vzduchu



Graf 9.1 Výsledky propustnosti vzduchu

Výpočet prodyšnosti R:

$$R = \frac{\overline{q_v}}{A}.10 \qquad [mm.s^{-1}] \qquad (9.1)$$

Kde: $\overline{q_v}$ ..... aritmetický průměr rychlosti průtoku vzduchu v [$ml.s^{-1}$]

A ..... zkoušená plocha textilie [cm^2] A=20 cm^2

9.4 Zjištění součinitele tepelné vodivosti λ

K výpočtu součinitele tepelné vodivosti byly použity hodnoty naměřené na přístroji TOGMETER, měření bylo provedeno při klimatických podmínkách: teplota 22°C, vlhkost 48,5%.

9.4.1 Tepelný odpor

<u>Tepelný odpor zkušebního vzorku měřený metodou se dvěma deskami</u>

$$R_f = \left(\frac{\theta'_2 - \theta'_3}{\theta'_1 - \theta'_2} - \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2} \right) * R_s \qquad (9.2)$$

kde:

R_f .... tepelný odpor zkušebního vzorku [m^2KW^{-1}]

θ'_1 ... teplota zaznamenaná čidlem T1 [°C] se zkušebním vzorkem

θ'_2 ... teplota zaznamenaná čidlem T2 [°C] se zkušebním vzorkem

θ'_3 ... teplota zaznamenaná čidlem T3 [°C] se zkušebním vzorkem

R_s .... tepelný odpor standardu (pro Togmeter KOD 0,112 [m^2KW^{-1}])

θ_1 .... teplota zaznamenaná čidlem T1 [°C] bez zkušebního vzorku

θ_2 .... teplota zaznamenaná čidlem T2 [°C] bez zkušebního vzorku

θ_3 .... teplota zaznamenaná čidlem T3 [°C] bez zkušebního vzorku

Teploty bez zkušebního vzorku [°C]			
číslo měření	θ_1	θ_2	θ_3
1	38,0	32,2	30,8
2	38,0	32,0	30,5
3	37,8	31,8	30,4
Prům. hodnota	37,93	32,0	30,57

Tab. 9.5 Teploty desek bez materiálu

Tepelný odpor pro materiál č.1 PES

Teploty se zkušebním vzorkem PES [°C]			
číslo měření	θ'_1	θ'_2	θ'_3
1	38,0	32,8	31,0
2	38,1	33,0	31,2
Prům. hodnota	38,05	32,9	31,1

Tab. 9.6 Teploty desek s materiálem č.1 PES

$$R_f = \left(\frac{\theta'_2 - \theta'_3}{\theta'_1 - \theta'_2} - \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2}\right) * R_s = \left(\frac{32{,}9 - 31{,}1}{38{,}05 - 32{,}9} - \frac{32{,}0 - 30{,}57}{37{,}93 - 32{,}0}\right) * 0{,}112 = 0{,}012137\left[m^2 KW^{-1}\right]$$

Tepelný odpor pro materiál č.2 CO

Teploty se zkušebním vzorkem CO [°C]			
číslo měření	θ'_1	θ'_2	θ'_3
1	37,5	31,7	29,5
2	37,4	31,7	29,4
Prům. hodnota	37,45	31,7	29,45

Tab. 9.7 Teploty desek s materiálem č.2 CO

$$R_f = \left(\frac{\theta'_2 - \theta'_3}{\theta'_1 - \theta'_2} - \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2}\right) * R_s = \left(\frac{31{,}7 - 29{,}45}{37{,}45 - 31{,}7} - \frac{32{,}0 - 30{,}57}{37{,}93 - 32{,}0}\right) * 0{,}112 = 0{,}016818\left[m^2 KW^{-1}\right]$$

Tepelný odpor pro materiál č.3 WO

Teploty se zkušebním vzorkem WO 2 [°C]			
číslo měření	θ'_1	θ'_2	θ'_3
1	37,7	32,0	29,6
2	37,5	31,8	29,5
Prům. hodnota	37,6	31,9	29,55

Tab. 9.8 Teploty desek s materiálem č.3 WO

$$R_f = \left(\frac{\theta'_2 - \theta'_3}{\theta'_1 - \theta'_2} - \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2} \right) * R_s = \left(\frac{31{,}9 - 29{,}55}{37{,}6 - 31{,}9} - \frac{32{,}0 - 30{,}57}{37{,}93 - 32{,}0} \right) * 0{,}112 = 0{,}019167 \left[m^2 KW^{-1} \right]$$

9.4.2 Součinitel tepelné vodivosti

$$\lambda = \frac{\delta}{R} \left[Wm^{-1} K^{-1} \right] \tag{9.3}$$

kde:

δ ..... tloušťka materiálu [m]

R ..... tepelný odpor [m^2KW^{-1}]

Součinitel tepelné vodivosti pro materiál č.1 PES

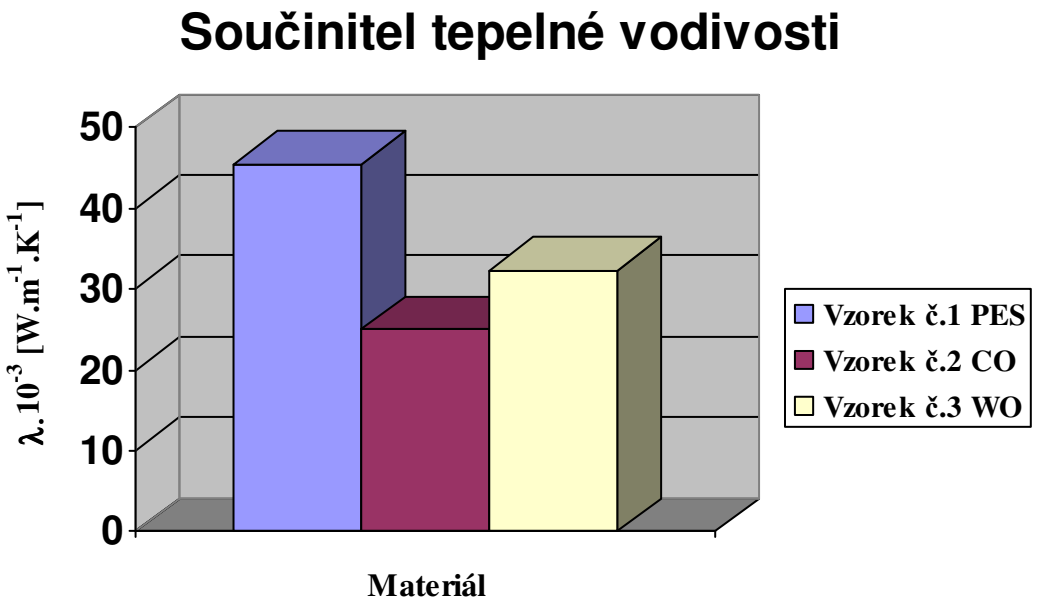
$$\lambda = \frac{\delta}{R} = \frac{0{,}00055}{0{,}012137} = 0{,}04532 \left[Wm^{-1} K^{-1} \right]$$

Součinitel tepelné vodivosti pro materiál č.2 CO

$$\lambda = \frac{\delta}{R} = \frac{0{,}00042}{0{,}016818} = 0{,}02497 \left[Wm^{-1} K^{-1} \right]$$

Součinitel tepelné vodivosti pro materiál č.3 WO

$$\lambda = \frac{\delta}{R} = \frac{0{,}00062}{0{,}019167} = 0{,}03235 \left[Wm^{-1} K^{-1} \right]$$



Graf 9.2 Výsledné hodnoty součinitelů tepelné vodivosti

9.5 Měření přestupů tepla při tepelném a vlhkotepelném žehlení

9.5.1 Postup měření

Z každého druhu textilního materiálu bylo nastříháno 5 vzorků o rozměrech 150 x 500 mm (šířka x délka) zvlášť pro tepelné a zvlášť pro vlhkotepelné žehlení. Rozměr vzorků byl volen tak, aby zakryl celou žehlící plochu.

Simulace byla prováděna pomocí elektroparní žehličky TREVIL Professional a žehlícího stolu PRAKTIK, při vlhkotepelném žehlení bylo navíc použito po celou dobu měření spodní odsávání.

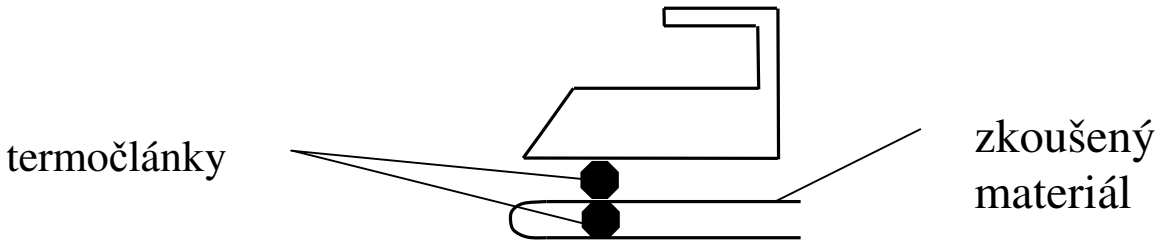
Nastavená teplota byla pro všechny materiály stejná 150°C. První termočlánek se vložil mezi horní a spodní vrstvu zkoušeného materiálu a měřil teplotu t_1. Druhý termočlánek se položil na vrchní plochu zkoušeného materiálu do

stejného místa jako první termočlánek a měřil teplotu t_2 (obr. 8.1). Na takto připravený vzorek byla položena žehlička.

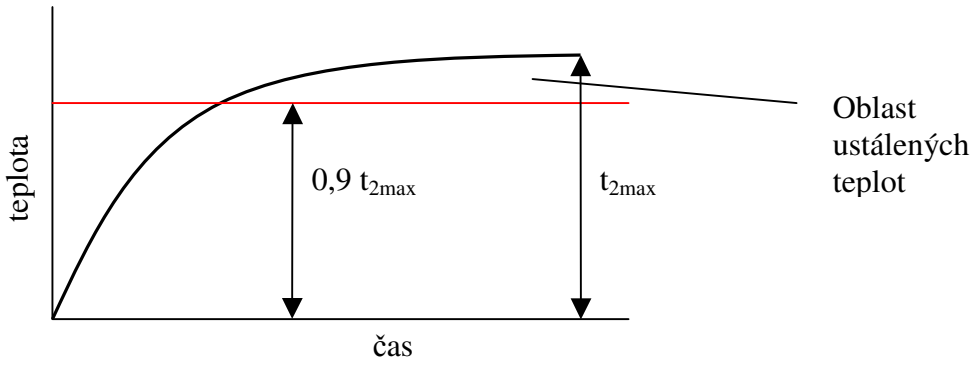
Doba žehlení byla 30 s a teploty snímané pomocí termočlánků se zaznamenávaly v rozmezí 2 s do přístroje ALMEMO 2290-8.

Po ukončení měření byly všechny hodnoty zaznamenané na přístroji ALMEMO 2290-8 přehrány do počítače a dále zpracovány.

Pro výpočet průměrné teploty t_1 a t_2 byly použity pouze ustálené teploty. Oblast ustálených teplot byla zvolena hranice 90% maximální naměřené teploty (obr. 8.2).

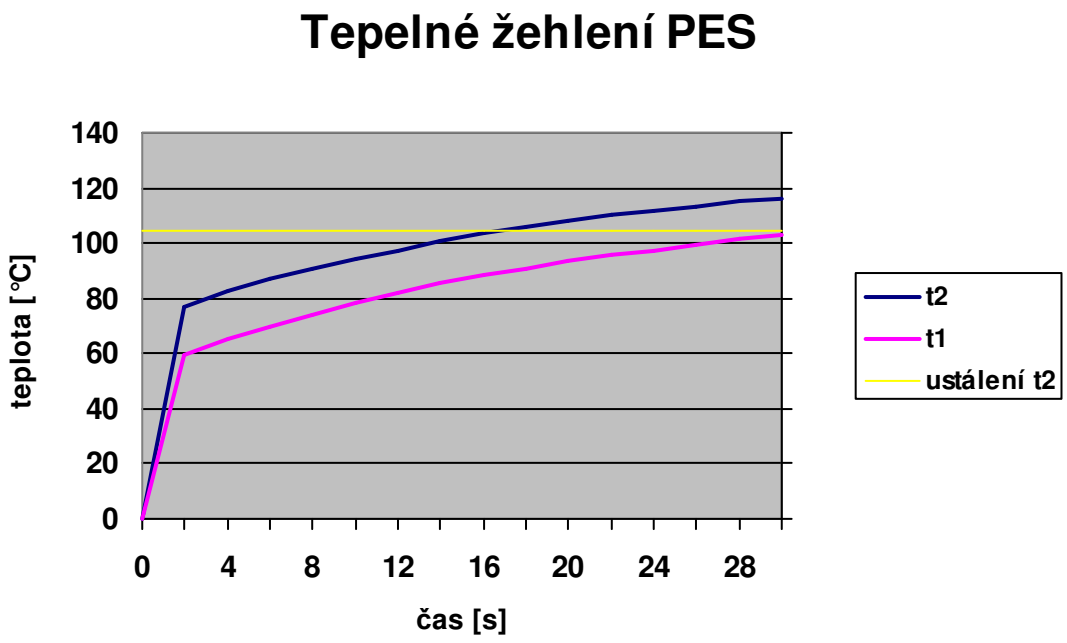


Obr. 9.1 Schéma měření



Obr. 9.2 Ustálení teplot

Měření bylo provedeno při klimatických podmínkách: teplota 22°C, vlhkost 49%.



Graf 9.3 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při tepelném žehlení

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	78,1	54,2	77,7	57,3	76,2	66,4	76,2	57,9	74,7	62,2	76,58	59,60
4	82,5	58,8	82,4	62,4	82,9	72,8	83,6	64,9	81,6	69,3	82,60	65,64
6	86,9	63,3	86,4	67,0	86,4	76,2	88,8	70,1	85,3	73,2	86,76	69,96
8	93,8	70,9	90,0	71,1	89,5	79,4	91,7	73,1	88,7	76,8	90,74	74,26
10	98,7	76,5	95,9	77,8	92,4	82,3	94,4	75,9	91,7	80,0	94,62	78,50
12	101,4	79,7	100,1	82,7	94,9	84,9	96,9	78,5	94,5	83,0	97,56	81,76
14	104,0	82,8	102,5	85,4	99,3	89,5	99,2	80,9	99,1	88,0	100,82	85,32
16	106,3	85,6	104,6	87,9	102,4	92,8	103,0	85,1	102,4	91,6	103,74	88,60
18	108,4	88,1	106,6	90,1	104,2	94,7	105,9	88,2	104,2	93,7	105,86	90,96
20	111,9	92,3	108,4	92,3	105,9	96,5	107,5	90,0	105,9	95,6	107,92	93,34
22	114,6	95,4	111,5	95,8	107,4	98,2	109,0	91,7	107,5	97,3	110,00	95,68
24	116,2	97,1	113,8	98,5	108,9	99,7	110,4	93,3	109	99,0	111,66	97,52
26	117,6	98,8	115,1	100,0	111,4	102,5	111,8	94,8	111,6	101,9	113,50	99,60
28	118,3	100,2	116,3	101,4	113,3	104,6	114,2	97,5	113,6	104,0	115,14	101,54
30	119,2	101,5	117,5	102,7	114,5	105,8	116,1	99,7	114,7	105,4	116,40	103,02

Tab. 9.9 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při tepelném žehlení

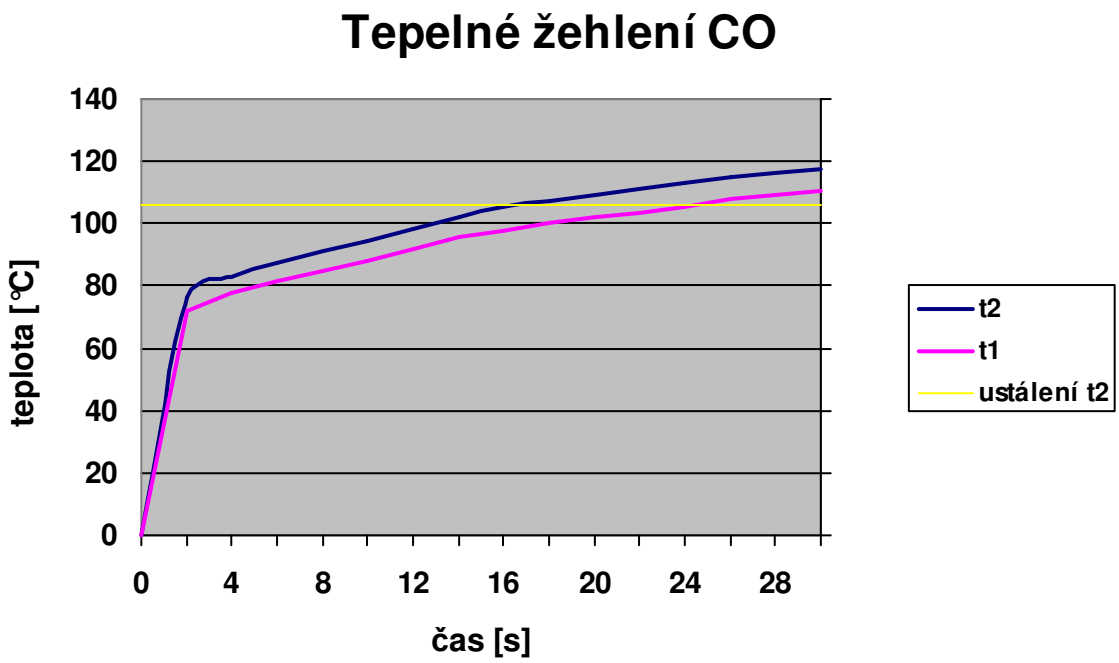
Hodnoty teplot po ustálení [°C]								$\overline{t}$
t_2	105,86	107,92	110,00	111,66	113,50	115,14	116,40	111,50
t_1	90,96	93,34	95,68	97,52	99,60	101,54	103,02	97,38

Tab. 9.10 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při tepelném žehlení po ustálení

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \; ; \; v = \frac{s}{\bar{x}} * 100[\%] \qquad (9.4), (9.5)$$

$\overline{t_2} = 111{,}50°C$; v = 3,44%

$\overline{t_1} = 97{,}38°C$; v = 4,49%



Graf 9.4 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		Průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	75,7	73,7	73,7	70,0	78,1	72,7	77,3	71,5	77,9	72,5	76,54	72,08
4	83,1	80,5	82,9	78,1	85,2	78,3	81,7	75,3	82,8	76,8	83,14	77,80
6	87,4	83,9	87,6	82,5	89,0	81,3	85,6	79,0	87,1	80,6	87,34	81,46
8	92,8	88,5	91,7	86,3	92,3	84,1	89,1	82,3	90,9	84,1	91,36	85,06
10	95,8	90,9	95,4	89,6	95,2	86,5	92,3	85,4	94,3	87,3	94,60	87,94
12	98,3	93,3	98,7	92,7	97,8	88,8	97,8	90,8	99,7	92,7	98,46	91,66
14	100,7	95,3	104,1	97,8	102,1	92,6	101,6	94,7	103,5	96,5	102,40	95,38
16	102,8	97,2	107,8	101,4	105,1	95,3	103,9	97,0	105,6	98,7	105,04	97,92
18	106,3	100,4	110,0	103,4	106,8	96,9	105,9	99,0	107,6	100,7	107,32	100,08
20	108,8	102,8	111,9	105,3	108,3	98,3	107,7	100,9	109,3	102,5	109,20	101,96
22	110,2	104,0	113,7	106,9	109,7	99,6	109,5	102,6	111,0	104,2	110,82	103,46
24	111,5	105,3	115,4	108,5	111,0	100,9	112,5	105,7	113,7	107,1	112,82	105,50
26	112,7	106,4	118,2	111,3	113,3	103,0	114,8	108,0	115,8	109,3	114,96	107,60
28	113,8	107,5	120,4	113,4	115,0	104,7	116,2	109,4	117,1	110,6	116,50	109,12
30	115,8	109,5	121,7	114,7	116,0	105,7	117,5	110,7	118,2	111,8	117,84	110,48

Tab. 9.11 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení

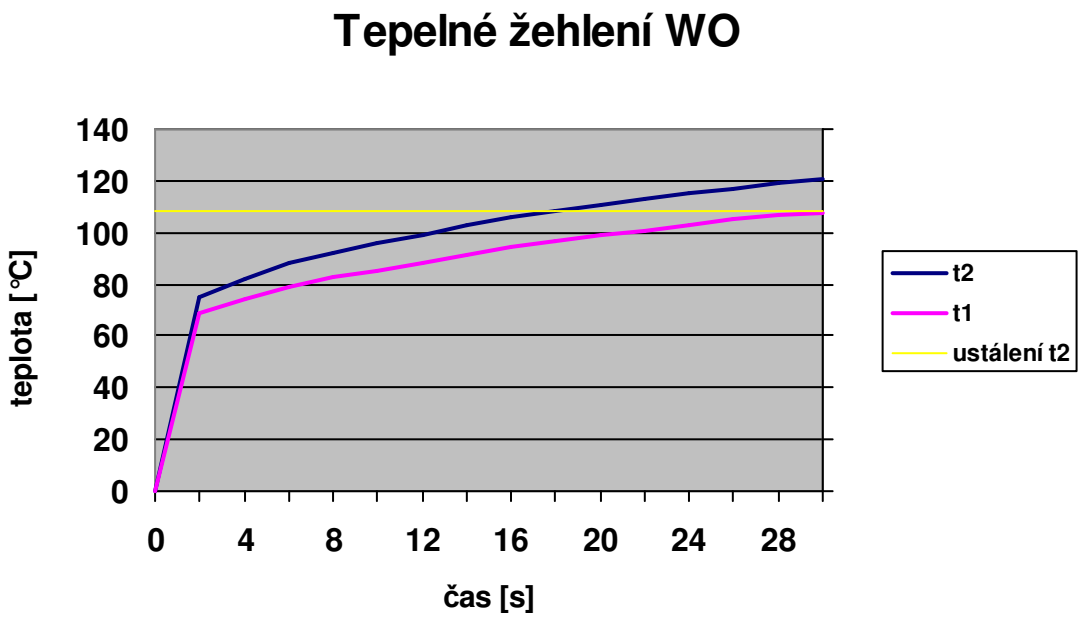
Hodnoty teplot po ustálení [°C]								$\overline{t}$
t2	107,32	109,20	110,82	112,82	114,96	116,50	117,84	112,78
t_1	100,08	101,96	103,46	105,50	107,60	109,12	110,48	105,46

Tab. 9.12 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení po ustálení

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \; ; \; v = \frac{s}{\bar{x}} * 100[\%]$$

$\overline{t_2} = 112{,}78°C$; v = 3,45%

$\overline{t_1} = 105{,}46°C$; v = 3,64%



Graf 9.5 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při tepelném žehlení

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		Průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	75,5	68,4	76,2	69,2	74,7	73,9	73,2	66,3	74,8	66,1	74,88	68,78
4	84,8	76,0	81,1	73,1	83,4	80,5	79,4	70,9	80,0	69,6	81,74	74,02
6	89,4	79,8	85,4	76,7	89,6	85,3	88,1	77,4	87,5	75,2	88,00	78,88
8	93,5	83,3	91,4	81,6	93,0	88,0	92,4	80,8	91,2	78,3	92,30	82,40
10	97,2	86,5	94,7	84,5	96,2	90,7	96,1	83,9	94,5	81,2	95,74	85,36
12	102,3	91,0	97,7	87,1	99,1	93,1	99,6	86,7	97,5	83,8	99,24	88,34
14	105,1	93,5	100,3	89,4	101,8	95,4	104,3	90,8	102,4	88,2	102,78	91,46
16	107,7	95,8	102,8	91,7	105,8	98,8	107,0	93,1	105,9	91,4	105,84	94,16
18	110,1	98,0	106,8	95,4	108,1	100,8	109,4	95,2	107,8	93,3	108,44	96,54
20	112,2	100,1	109,8	98,2	110,2	102,6	111,5	97,3	109,6	95,0	110,66	98,64
22	115,9	103,5	111,4	99,8	112,2	104,4	113,5	99,1	111,2	96,6	112,84	100,68
24	118,4	106,1	112,9	101,2	114,0	106,1	116,8	102,2	112,8	98,1	114,98	102,74
26	119,9	107,4	114,2	102,5	117,2	109,0	119,2	104,5	115,4	100,7	117,18	104,82
28	121,2	108,8	115,5	103,8	119,7	111,2	120,5	105,9	117,4	102,7	118,86	106,48
30	122,4	110,1	117,6	105,9	121,1	112,5	121,8	107,2	118,5	103,8	120,28	107,90

Tab. 9.13 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při tepelném žehlení

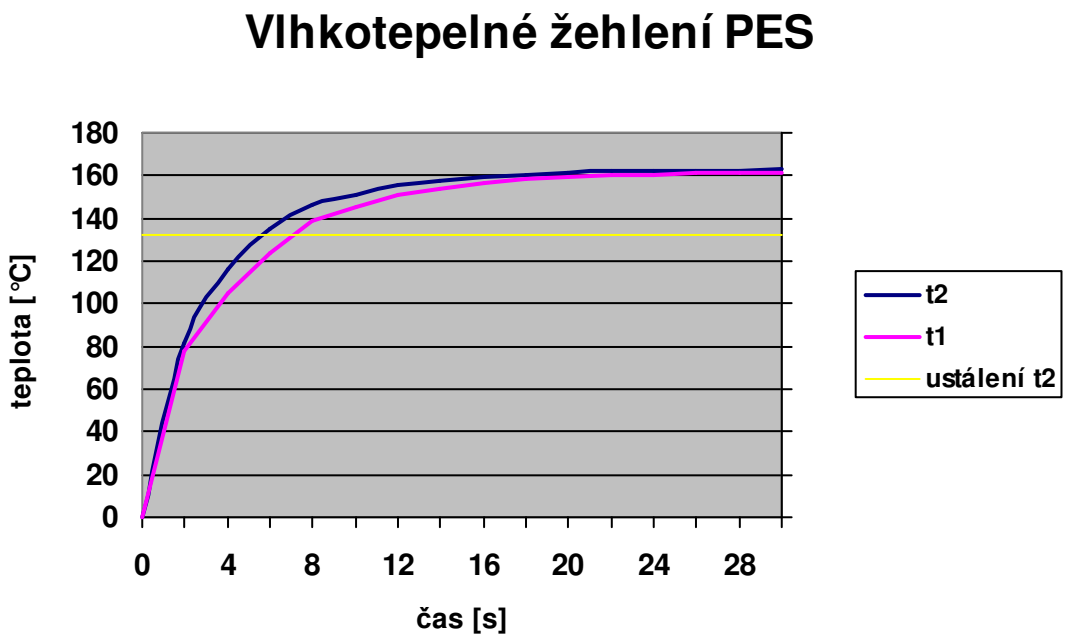
Hodnoty teplot po ustálení [°C]								$\overline{t}$
t2	108,44	110,66	112,84	114,98	117,18	118,86	120,28	114,75
t_1	96,54	98,64	100,68	102,74	104,82	106,48	107,90	102,54

Tab. 9.14 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při tepelném žehlení po ustálení

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \; ; \; v = \frac{s}{\bar{x}} * 100[\%]$$

$\overline{t_2} = 114{,}75°C$; v = 3,79%

$\overline{t_1} = 102{,}54°C$; v = 4,06%



Graf 9.6 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při vlhkotepelném žehlení

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	74,1	74,6	80,5	78,0	97,8	83,5	76,6	76,5	76,9	76,8	81,18	77,88
4	94,6	95,2	141,1	123,9	120,7	109,2	111,3	92,8	112,6	102,0	116,06	104,62
6	122,4	117,3	152,6	140,3	133,4	124,8	129,0	108,5	135,4	127,3	134,56	123,64
8	140,0	134,4	163,7	155,4	145,6	142,2	137,4	119,7	146,7	140,0	146,68	138,34
10	144,8	139,5	166,7	160,4	149,7	148,6	142,3	128,4	153,5	148,7	151,40	145,12
12	147,8	143,1	168,5	163,8	153,0	152,7	147,6	138,4	160,0	158,2	155,38	151,24
14	149,7	145,6	169,5	165,9	156,1	155,1	149,6	142,3	162,3	161,6	157,44	154,10
16	151,5	148,6	170,5	168,0	159,8	158,2	151,3	145,3	164,0	163,8	159,42	156,78
18	152,2	150,0	170,6	168,6	161,7	160,0	152,6	147,6	165,6	165,0	160,54	158,24
20	152,5	150,6	170,5	168,8	162,5	160,8	154,7	150,9	167,5	166,2	161,54	159,46
22	152,7	151,1	170,4	168,8	163,0	161,5	156,0	153,0	168,1	166,7	162,04	160,22
24	152,9	151,4	170,1	168,7	163,5	162,0	156,8	154,1	168,3	166,9	162,32	160,62
26	153,0	151,7	169,9	168,5	163,8	162,4	157,6	155,1	168,4	166,9	162,54	160,92
28	153,2	152,0	169,3	168,1	164,2	163,0	158,2	156,0	168,3	166,8	162,64	161,18
30	153,4	152,3	168,7	167,7	164,4	163,2	158,8	156,7	168,1	166,7	162,68	161,32

Tab. 9.15 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při vlhkotepelném žehlení

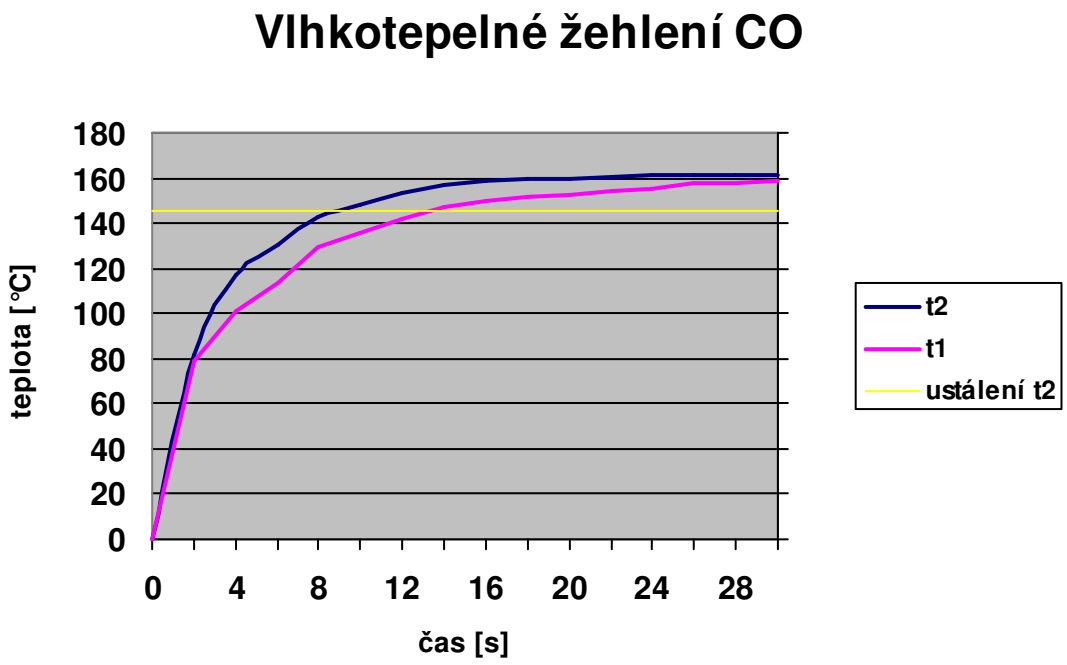
Hodnoty teplot po ustálení [°C]													$\overline{t}$
t_2	146,68	151,40	155,38	157,44	159,42	160,54	161,54	162,04	162,32	162,54	162,64	162,68	158,72
t_1	138,34	145,12	151,24	154,10	156,78	158,24	159,46	160,22	160,62	160,92	161,18	161,32	155,63

Tab 9.16 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při vlhkotepelném žehlení po ustálení

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \; ; \; v = \frac{s}{\bar{x}} * 100[\%]$$

$\overline{t_2} = 158{,}72°C$; v = 3,25%

$\overline{t_1} = 155{,}63°C$; v = 4,71%



Graf 9.7 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	85,7	78,2	76,5	76,9	77,9	79,3	87,5	80,5	80,9	79,3	81,70	78,84
4	114,2	96,2	114,8	97,0	122,9	102,4	129,4	109,0	104,4	100,3	117,14	100,98
6	125,9	110,0	134,7	115,1	131,4	109,2	142,2	120,3	119,3	114,1	130,70	113,74
8	145,2	133,2	144,4	126,7	145,0	124,7	150,7	138,1	129,6	123,6	142,98	129,26
10	148,3	138,1	149,9	135,0	148,8	131,7	156,5	143,4	137,2	130,8	148,14	135,80
12	154,5	145,5	153,5	141,0	151,0	136,3	160,4	147,1	146,1	140,1	153,10	142,00
14	155,9	148,1	156,9	148,1	156,9	144,1	164,7	151,6	150,4	145,0	156,96	147,38
16	157,7	151,4	158,3	151,3	157,5	146,4	166,4	153,8	152,3	147,4	158,44	150,06
18	158,7	153,3	159,2	153,6	158,0	147,9	167,1	154,7	153,7	149,2	159,34	151,74
20	159,2	154,2	159,9	155,4	158,4	149,0	167,5	155,4	154,9	150,7	159,98	152,94
22	159,6	155,1	160,3	156,8	158,8	150,8	167,7	155,9	155,8	152,0	160,44	154,12
24	159,9	155,8	160,8	156,4	158,9	152,0	167,9	156,3	157,3	154,0	160,96	154,90
26	160,3	156,4	160,9	159,2	159,0	152,8	167,8	163,6	158,4	155,4	161,28	157,48
28	161,0	157,5	160,9	159,4	159,1	153,4	167,6	164,6	159,0	156,1	161,52	158,20
30	161,6	158,4	160,8	159,5	159,2	154,0	167,4	165,6	159,5	156,9	161,70	158,88

Tab. 9.17 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při vlhkotepelném žehlení

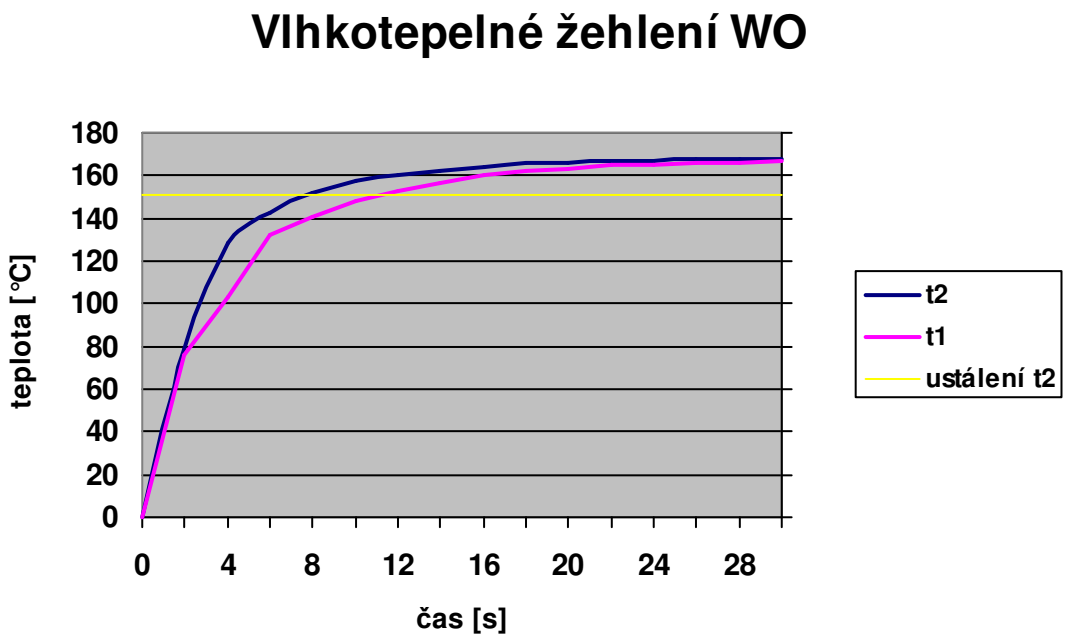
Hodnoty teplot po ustálení [°C]												$\overline{t}$
t_2	148,14	153,10	156,96	158,44	159,34	159,98	160,44	160,96	161,28	161,52	161,70	158,35
t_1	135,80	142,00	147,38	150,06	151,74	152,94	154,12	154,90	157,48	158,20	158,88	151,23

Tab. 9.18 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při vlhkotepelném žehlení po ustálení

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \; ; \; v = \frac{s}{\bar{x}} * 100[\%]$$

$\overline{t_2} = 158{,}35°C$; v = 2,67%

$\overline{t_1} = 151{,}23°C$; v = 4,73%



Graf 9.8 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při vlhkotepelném žehlení

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		Vzorek č.4		vzorek č.5		průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	83,9	76,2	77,3	74,2	77,2	75,3	77,1	75,2	80,1	76,7	79,12	75,52
4	129,8	102,7	129,0	108,0	127,6	105,1	123,9	94,0	133,4	107,4	128,74	103,44
6	144,2	133,6	137,1	126,6	139,8	131,5	144,3	134,9	147,5	132,0	142,58	131,72
8	149,8	134,9	147,5	137,8	153,6	147,3	155,0	144,0	152,8	139,9	151,74	140,78
10	153,8	140,3	158,7	151,2	159,9	155,1	156,8	146,3	156,5	146,0	157,14	147,78
12	156,5	146,2	163,2	157,5	162,5	158,3	162,1	153,4	159,0	150,5	160,66	153,18
14	158,6	150,7	164,9	160,1	164,6	160,7	164,1	156,6	160,9	154,2	162,62	156,46
16	161,4	156,9	166,0	162,0	166,1	162,4	165,6	159,0	163,3	159,0	164,48	159,86
18	163,0	160,5	166,7	163,4	167,3	163,8	166,5	160,9	164,5	161,6	165,60	162,04
20	163,7	161,2	167,2	164,5	168,6	165,5	167,1	162,4	165,1	162,8	166,34	163,28
22	164,3	162,5	167,7	165,8	169,2	166,3	167,8	164,3	165,6	163,8	166,92	164,54
24	164,9	163,6	167,7	166,3	169,4	166,7	168,0	165,3	165,8	164,6	167,16	165,30
26	165,4	164,3	167,7	166,5	169,6	167,0	168,1	165,7	166,1	165,2	167,38	165,74
28	166,6	165,9	167,7	166,7	169,7	167,3	168,0	166,0	166,4	165,5	167,68	166,28
30	167,3	166,3	167,7	166,8	169,7	167,4	167,9	166,2	166,5	165,6	167,82	166,46

Tab. 9.19 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při vlhkotepelném žehlení

Hodnoty teplot po ustálení [°C]													$\bar{t}$
t_2	151,74	157,14	160,66	162,62	164,48	165,60	166,34	166,92	167,16	167,38	167,68	167,82	163,80
t_1	140,78	147,78	153,18	156,46	159,86	162,04	163,28	164,54	165,30	165,74	166,28	166,46	159,31

Tab. 9.20 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při vlhkotepelném žehlení po ustálení

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \;;\; v = \frac{s}{\bar{x}} * 100[\%]$$

$\overline{t_2} = 163{,}80°C$; v = 3,06%

$\overline{t_1} = 159{,}31°C$; v = 5,18%

9.5.2 Množství tepla prošlého textilií při tepelném žehlení

$$Q = \lambda * \frac{\Delta t}{\delta} * S = \lambda * \frac{(t_2 - t_1)}{\delta} * S[W] \qquad (9.6)$$

kde:

Q ..... množství tepla prošlého textilií [W]

λ ..... součinitel tepelné vodivosti [$Wm^{-1}K^{-1}$]

Δt ... rozdíl teplot [°C]

δ ..... tloušťka materiálu [m]

S ..... plocha žehličky 0,0216 [m^2]

Množství tepla při tepelném žehlení pro materiál č.1 PES

$$Q = \lambda * \frac{\Delta t}{\delta} * S = \lambda * \frac{(t_2 - t_1)}{\delta} * S = 0{,}04532 * \frac{(111{,}5 - 97{,}38)}{0{,}00055} * 0{,}0216 = \underline{\underline{25{,}13[W]}}$$

Interval : < 22,75 ; 27,82 > [W]

Množství tepla při tepelném žehlení pro materiál č.2 CO

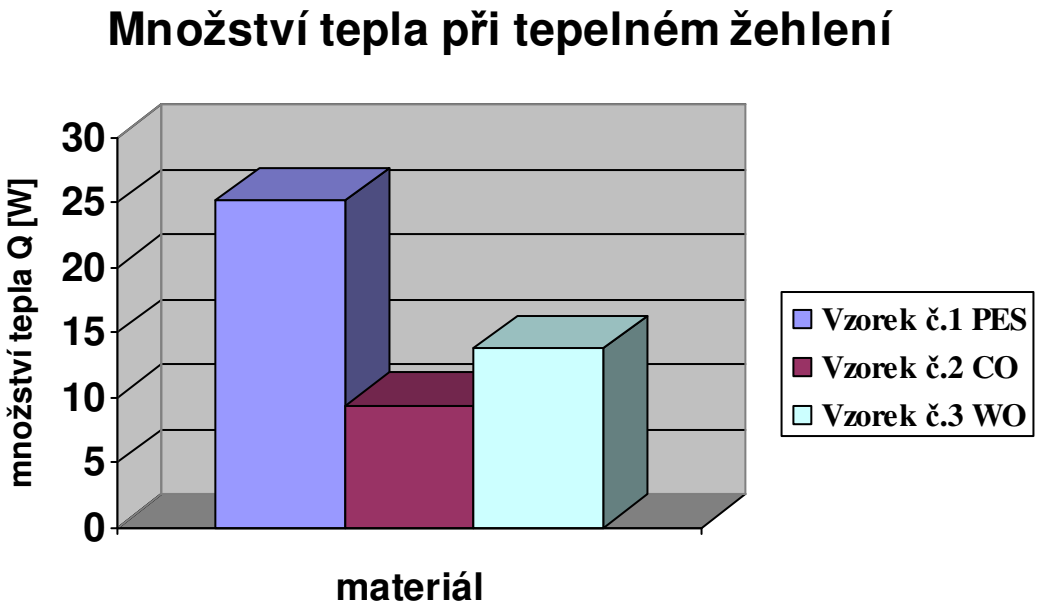
$$Q = \lambda * \frac{\Delta t}{\delta} * S = \lambda * \frac{(t_2 - t_1)}{\delta} * S = 0{,}02497 * \frac{(112{,}78 - 105{,}46)}{0{,}00042} * 0{,}0216 = \underline{\underline{9{,}40[W]}}$$

Interval : < 8,30 ; 10,66 > [W]

Množství při tepelném žehlení pro materiál č.3 WO

$$Q = \lambda * \frac{\Delta t}{\delta} * S = \lambda * \frac{(t_2 - t_1)}{\delta} * S = 0{,}03235 * \frac{(114{,}75 - 102{,}54)}{0{,}00062} * 0{,}0216 = \underline{\underline{13{,}76[W]}}$$

Interval : < 12,48 ; 15,20 > [W]



Graf 9.9 Výsledky prošlého množství tepla při tepelném žehlení

9.5.3 Množství tepla prošlého textilií při vlhkotepelném žehlení

$$Q = Q_p + Q_v [W] \tag{9.7}$$

kde:

Q ..... množství tepla prošlého textilií [W]

Q_p ..... množství tepla prošlého textilií konvekcí [W]

Q_v ..... množství tepla prošlého textilií kondukcí [W]

$$Q_p = \alpha * F * \Delta t = \alpha * F * (t_p - t_t)[W] \quad (9.8)$$

kde:

α ..... součinitel přestupu tepla [$Wm^{-2}K^{-1}$]

F ..... plocha žehličky [m^2]

t_p ..... teplota páry [°C]

t_t ..... teplota textilie [°C]

Q_v - hodnoty byly použity z výpočtů množství tepla pro tepelné žehlení

Množství tepla při vlhkotepelnémtepelném žehlení pro materiál č.1 PES

$$Q_p = \alpha * F * \Delta t = \alpha * F * (t_p - t_t) = 7000 * 0{,}0216 * (158{,}72 - 155{,}63) = \underline{\underline{467{,}21}}[W]$$

$$Q_v = \underline{\underline{25{,}13}}[W]$$

$$Q = Q_v + Q_p = 467{,}21 + 25{,}13 = \underline{\underline{492{,}34}}[W]$$

Interval : < 459,72 ; 525,27 > [W]

Množství tepla při vlhkotepelnémtepelném žehlení pro materiál č.2 CO

$$Q_p = \alpha * F * \Delta t = \alpha * F * (t_p - t_t) = 7000 * 0{,}0216 * (158{,}35 - 151{,}23) = \underline{\underline{1076{,}54}}[W]$$

$$Q_v = \underline{\underline{9{,}40}}[W]$$

$$Q = Q_v + Q_p = 1076{,}54 + 9{,}40 = \underline{\underline{1085{,}94}}[W]$$

Interval : < 1054,60 ; 1117,44 > [W]

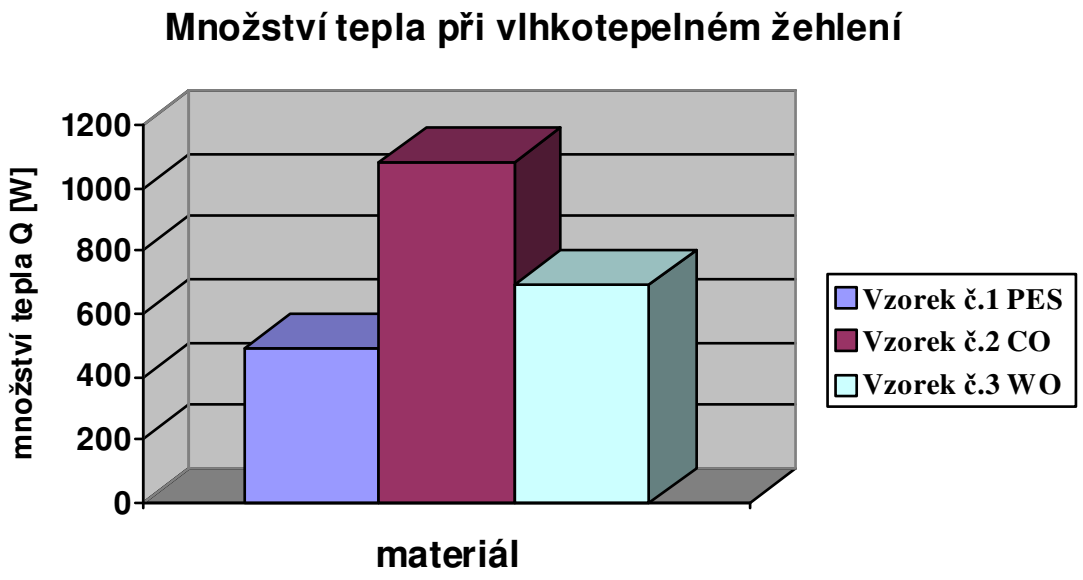
Množství tepla při vlhkotepelnémtepelném žehlení pro materiál č.3 WO

$$Q_p = \alpha * F * \Delta t = \alpha * F * (t_p - t_t) = 7000 * 0{,}0216 * (163{,}80 - 159{,}31) = \underline{\underline{678{,}89}}[W]$$

$$Q_v = \underline{\underline{13{,}76}}[W]$$

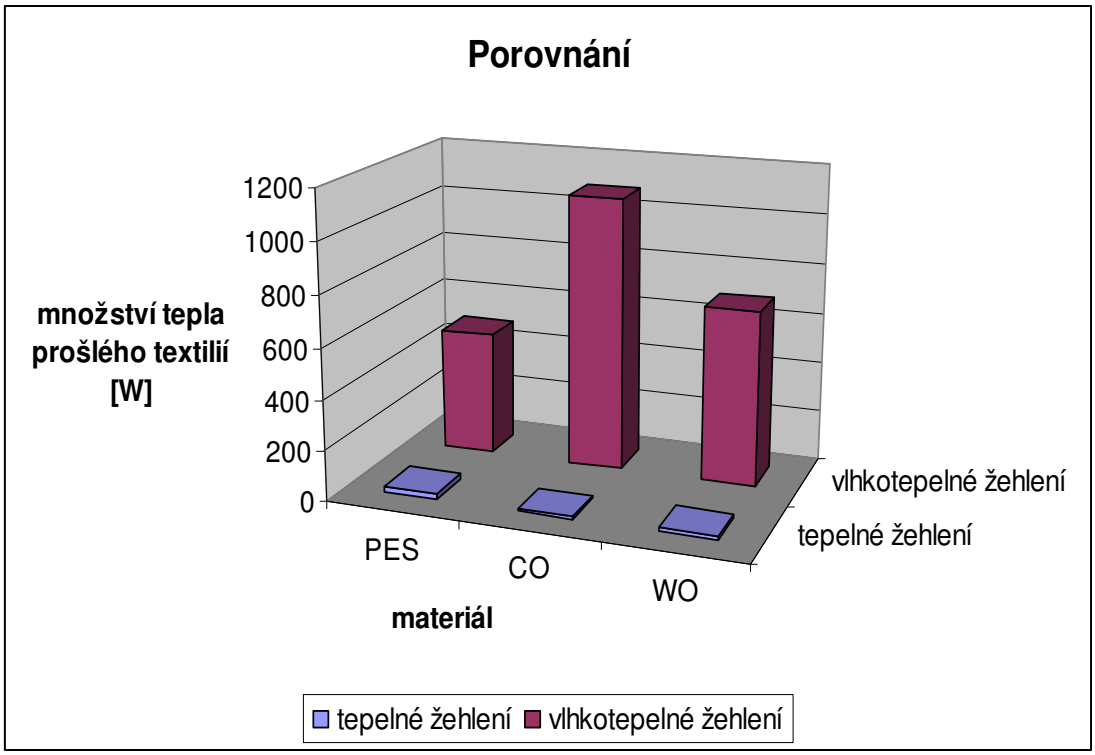
$$Q = Q_v + Q_p = 678{,}89 + 13{,}76 = \underline{\underline{692{,}65}}[W]$$

Interval : < 666,13 ; 724,33 > [W]



Graf 9.10 Výsledky prošlého tepla při vlhkotepelném žehlení

<u>Porovnání množství prošlého tepla textilií při tepelném a vlhkotepelném žehlení</u>



Graf 9.11 Porovnání výsledků množství prošlého tepla při tepelném a vlhkotepelném žehlení

9.5.4 Vyhodnocení výsledků

Množství tepla prošlého textilií se odvíjelo především od toho, zda se jednalo o tepelné nebo vlhkoteplné žehlení. Při vlhkotepelném žehlení bylo množství prošlého tepla několikanásobně větší než při tepelném žehlení. To je zapříčiněno mnoha faktory. Důležitým faktorem při vlhkotepelném žehlení je to, že na materiál působí dva přestupy tepla, a to přestup tepla vedením a prouděním. Narozdíl od tepelného žehlení, kde je přestup tepla konán pouze vedením. Při vlhkotepelném žehlení dochází k botnání vláken, zaplnění vzduchových pórů a struktury materiálu kondenzovanou parou. Takto nasycený pór představuje můstek, kde nic nebrání přenosu tepla. Z tohotu důvodu je vlhkotepelné žehlení vhodnější i pro materiály hydrofóbní.

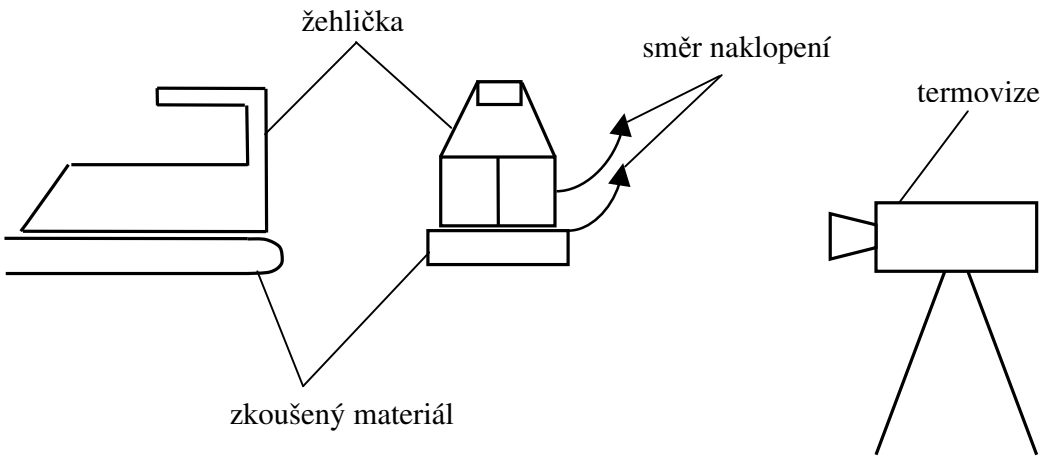
Při tepelném žehlení bylo množství prošlého tepla materiálem závislé především na jeho prodyšnosti, tepelné vodivosti, rozdílu teplot jednotlivých termočlánků, tloušťce materiálu a dalších faktorech. Nejvíce tepla prošlo materiálem č.1 PES, to si vysvětluji tím, že tento materiál měl největší součinitel tepelné vodivosti a v určité míře zde hrála roli i největší prodyšnost. Nejnižší množství prošlého tepla bylo zjištěno u materiálu č. 2 CO, což bylo zapříčiněno nejmenším součinitelem tepelné vodivosti ze všech zkoušených materiálů. Vzhledem k nejmenší tloušťce tohoto materiálu se daly očekávat lepší výsledky. Grafické zobrazení je podobné u všech materiálů. Vždy je teplota t_2 (mezi deskou žehličky a materiálem) vyšší než t_1 (mezi vrstvami materiálu), protože je blíže žehlícímu tělesu.

Při vlhkotepelném žehlení bylo množství tepla materiálem větší u materiálů z hydrofilních vláken. Nejvyšší množství prošlého tepla bylo u materiálu č.2 CO, které bylo nejvíce ovlivněno největším rozdílem ustálených teplot t_2 a t_1. Nejnižší množství prošlého tepla bylo zjištěno u materiálu č.1 PES, kde velikou roli hrál nejmenší rozdíl ustálených teplot t_2 a t_1. Naměření vyšších teplot t_2 a t_1, si vysvětluji tím, že kromě elektrického tepla je zde nosičem tepla i přehřátá pára. Pro určení součinitele přestupu tepla se používají podobnostní rovnice, které se skládají z mnoha členů. Tyto členy nebylo možné naměřit, a proto jsem volil spodní hodnotu součinitele přestupu tepla pro kondenzovanou páru, která je v rozmezí 7000 až 15000 $Wm^{-2}K^{-1}$.

Jelikož nemůže být vypočítané množství prošlého tepla absolutní je u každého výsledku interval, který uvádí minimální a maximální hodnotu množství prošlého tepla. Tento interval se zakládá na odchylkách přístrojů použitých pro získání potřebných dat.

10. Návrh postupu dalšího měření

Dalším vhodným postupem pro měření přestupů tepla by bylo použití termovizní kamery. U každého vzorku materiálu je nutné vytvořit po ustálení teploty žehličky dva snímky. Na prvním snímku by byl zachycen prostor mezi žehlící deskou a materiálem, který vytvoříme naklopením žehličky na bok. Tento proces by byl spojený s možným únikem tepla při naklopení žehličky (zkreslení výsledků). Druhý snímek by zachycoval prostor mezi první a druhou vrstvou textilního materiálu, vytvořený nadzvednutím horní vrstvy měřeného vzorku. I zde může docházet k úniku tepla a s tím souvisejícímu zkreslení výsledků. Termovize by byla umístěna na stativu vždy ve stejné vzdálenosti od měřeného vzorku. Ke zpracování naměřených teplot slouží aplikace MISA v programu Matlab, který je schopen zpracovat složité matice, které jsou výstupem z termokamery. Schéma měření je zobrazeno na obr. 9.1.



Obr. 10.1 Schéma měření pomocí termovize

11. Závěr

Cílem diplomové práce bylo změřit tepelné přestupy při tepelném a vlhkotepelném žehlení textilních materiálů a navrhnout postup dalšího řešení.

Měření bylo prováděno pomocí dvou termočlánků a měřeny byly tři druhy textilních materiálů (PES, CO, WO). Množství prošlého tepla textilií bylo zkoumáno jak při tepelném, tak i vlhkotepelném žehlení. Při vlhkotepelném žehlení bylo použito spodní odsávání. Nastavená teplota 150°C byla pro oba způsoby žehlení i všechny materiály stejná. Na žehlící PRAKTIK stůl byl položen zkoušený materiál, který byl v polovině přehnut a mezi obě vrstvy materiálu se vložil termočlánek, který měřil teplotu t_1 mezi vrstvami. Druhý termočlánek byl položen na vrchní plochu textilního materiálu v úrovní prvního termočlánku a měřil teplotu t_2 mezi žehličkou a textilním materiálem. Naměřené teploty se po 2 sekundách zaznamenávaly do paměti přístroje ALMEMO 2290 - 8. Doba žehlení byla u všech měření stejná, a to 30 sekund. Termočlánky byly vkládány vždy na stejné místo, toho se docílilo označením na žehličce i textilních materiálech. Každé měření bylo prováděno na pěti vzorcích. Z naměřených hodnot termočlánků se po ustálení spočítali průměrné teploty $\overline{t_2}$ a $\overline{t_1}$, které byly použity k dalším výpočtům.

Při tepelném žehlení bylo nutné pro výpočet množství prošlého tepla textilií zjistit hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [$Wm^{-1}K^{-1}$], tloušťky materiálů δ [m], plocha žehličky S [m^2] a rozdíly teplot $\overline{t_2}$ a $\overline{t_1}$ [°C]. Podkladem pro výpočet součinitele tepelné vodivosti byla dama naměřená na přístroji TOGMETR. Tloušťka jednotlivých materiálů byla naměřena na tloušťkoměru DM 100T. Pomocí termočlánků Ni-Cr byly naměřeny teploty t_2 a t_1 a spočítány průměrné teploty $\overline{t_2}$ a $\overline{t_1}$ [°C] z ustálených teplot. Jako oblast ustálených teplot byla zvolena 90% hranice hodnoty t_2.

Při vlhkotepelném žehlení si bylo nutné uvědomit, že zde neprobíhá jen přestup tepla vedením, jako u tepelného žehlení, ale i přestup tepla prouděním. Při

výpočtu byly použity výsledky množství prošlého tepla textilií z tepelného žehlení a k tomu přičteny hodnoty množství prošlého tepla textilií při proudění. Pro proudění bylo nutné zjistit rozdíly teplot $\overline{t_2}$ a $\overline{t_1}$ [°C], plochu žehličky F [m^2] a součinitel přestupu tepla α [$Wm^{-2}K^{-1}$]. Rozdíly teplot $\overline{t_2}$ a $\overline{t_1}$ [°C] byly naměřeny stejným způsobem jako u tepelného žehlení, plocha žehličky byla také stejná. Pro určení součinitele přestupu tepla se používají podobnostní rovnice, které se skládají z mnoha členů. Tyto členy nebylo možné naměřit, a proto jsem volil spodní hodnotu součinitele přestupu tepla pro kondenzovanou páru, která je v rozmezí 7000 až 15000 $Wm^{-2}K^{-1}$.

Po porovnání výsledných hodnot množství prošlého tepla textilií jednotlivých textilií, je patrné že pára usnadňuje mnohem lépe přestup tepla. Množství prošlého tepla při vlhkotepelném žehlení u polyesteru bylo zhruba 19 krát větší než při tepelném žehlení. Tím se potvrdilo, že používání vlhkotepelného žehlení je vhodné i u materiálů hydrofobních.

Pro získání přesnějších výsledků, by bylo vhodné podrobit zkoumání materiály s co nejvíce podobnými parametry a provést větší počet měření. Jako další postup měření navrhuji použití termovizní kamery. Získané výsledky by bylo možné porovnat s měřením pomocí termočlánků.

12. Seznam použité literatury

[1] Motejl V., Stroje a zařízení v oděvní výrobě, SNTL, Praha 1984

[2] Staněk J., Nauka o textilních materiálech, díl 1., část 3 – vlastnosti vláken, VŠST, Liberec 1985

[3] Havelka A., Halasová A., Tepelné a vlhkotepelné tvarování v konfekci, TUL, Liberec 2003

[4] Sýkora K., Základy sdílení tepla, SNTL, Praha 1962

[5] Sazima M., Kmoníček V., Schneller J. a kol., Teplo, SNTL, Praha 1989

[6] Kalčík J., Technická termodynamika, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1963

[7] http:// uai.fme.vutbr.cz-SZZ-2006-BP_Novak.pdf.url

[8] http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm

13. Seznam příloh

1. Naměřené hodnoty rychlosti průtoku vzduchu
2. Naměřené teploty pro výpočet tepelného odporu
3. Naměřené teploty termočlánků
4. Naměřené hodnoty tloušťky materiálů
5. Technické údaje použitých přístrojů a žehliček
6. Rozbor materiálů
7. Seznam grafů
8. Seznam obrázků
9. Seznam tabulek

PŘÍLOHA 1

Rychlost průtoku vzduchu q_v [ml/s]			
Č. měření	materiál č.1 PES	materiál č.2 CO	materiál č.3 WO
1	380	355	330
2	395	390	315
3	420	385	310
4	380	385	285
5	395	380	290
6	420	400	285
7	400	370	280
8	415	355	330
9	390	335	325
10	420	360	315
$\overline{q_v}$	401,5	371,5	306,5

PŘÍLOHA 2

Teploty bez zkušebního vzorku [°C]			
číslo měření	θ_1	θ_2	θ_3
1	38,0	32,2	30,8
2	38,0	32,0	30,5
3	37,8	31,8	30,4
Prům. hodnota	37,93	32,0	30,57

Tepelný odpor pro materiál č.1 PES

Teploty se zkušebním vzorkem PES [°C]			
číslo měření	θ'_1	θ'_2	θ'_3
1	38,0	32,8	31,0
2	38,1	33,0	31,2
Prům. hodnota	38,05	32,9	31,1

Tepelný odpor pro materiál č.2 CO

Teploty se zkušebním vzorkem CO [°C]			
číslo měření	θ'_1	θ'_2	θ'_3
1	37,5	31,7	29,5
2	37,4	31,7	29,4
Prům. hodnota	37,45	31,7	29,45

Tepelný odpor pro materiál č.3 WO

Teploty se zkušebním vzorkem WO 2 [°C]			
číslo měření	θ'_1	θ'_2	θ'_3
1	37,7	32,0	29,6
2	37,5	31,8	29,5
Prům. hodnota	37,6	31,9	29,55

PŘÍLOHA 3

TEPELNÉ ŽEHLENÍ - PES

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	78,1	54,2	77,7	57,3	76,2	66,4	76,2	57,9	74,7	62,2	76,58	59,60
4	82,5	58,8	82,4	62,4	82,9	72,8	83,6	64,9	81,6	69,3	82,60	65,64
6	86,9	63,3	86,4	67,0	86,4	76,2	88,8	70,1	85,3	73,2	86,76	69,96
8	93,8	70,9	90,0	71,1	89,5	79,4	91,7	73,1	88,7	76,8	90,74	74,26
10	98,7	76,5	95,9	77,8	92,4	82,3	94,4	75,9	91,7	80,0	94,62	78,50
12	101,4	79,7	100,1	82,7	94,9	84,9	96,9	78,5	94,5	83,0	97,56	81,76
14	104,0	82,8	102,5	85,4	99,3	89,5	99,2	80,9	99,1	88,0	100,82	85,32
16	106,3	85,6	104,6	87,9	102,4	92,8	103,0	85,1	102,4	91,6	103,74	88,60
18	108,4	88,1	106,6	90,1	104,2	94,7	105,9	88,2	104,2	93,7	105,86	90,96
20	111,9	92,3	108,4	92,3	105,9	96,5	107,5	90,0	105,9	95,6	107,92	93,34
22	114,6	95,4	111,5	95,8	107,4	98,2	109,0	91,7	107,5	97,3	110,00	95,68
24	116,2	97,1	113,8	98,5	108,9	99,7	110,4	93,3	109	99,0	111,66	97,52
26	117,6	98,8	115,1	100,0	111,4	102,5	111,8	94,8	111,6	101,9	113,50	99,60
28	118,3	100,2	116,3	101,4	113,3	104,6	114,2	97,5	113,6	104,0	115,14	101,54
30	119,2	101,5	117,5	102,7	114,5	105,8	116,1	99,7	114,7	105,4	116,40	103,02

TEPELNÉ ŽEHLENÍ - CO

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		Průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	75,7	73,7	73,7	70,0	78,1	72,7	77,3	71,5	77,9	72,5	76,54	72,08
4	83,1	80,5	82,9	78,1	85,2	78,3	81,7	75,3	82,8	76,8	83,14	77,80
6	87,4	83,9	87,6	82,5	89,0	81,3	85,6	79,0	87,1	80,6	87,34	81,46
8	92,8	88,5	91,7	86,3	92,3	84,1	89,1	82,3	90,9	84,1	91,36	85,06
10	95,8	90,9	95,4	89,6	95,2	86,5	92,3	85,4	94,3	87,3	94,60	87,94
12	98,3	93,3	98,7	92,7	97,8	88,8	97,8	90,8	99,7	92,7	98,46	91,66
14	100,7	95,3	104,1	97,8	102,1	92,6	101,6	94,7	103,5	96,5	102,40	95,38
16	102,8	97,2	107,8	101,4	105,1	95,3	103,9	97,0	105,6	98,7	105,04	97,92
18	106,3	100,4	110,0	103,4	106,8	96,9	105,9	99,0	107,6	100,7	107,32	100,08
20	108,8	102,8	111,9	105,3	108,3	98,3	107,7	100,9	109,3	102,5	109,20	101,96
22	110,2	104,0	113,7	106,9	109,7	99,6	109,5	102,6	111,0	104,2	110,82	103,46
24	111,5	105,3	115,4	108,5	111,0	100,9	112,5	105,7	113,7	107,1	112,82	105,50
26	112,7	106,4	118,2	111,3	113,3	103,0	114,8	108,0	115,8	109,3	114,96	107,60
28	113,8	107,5	120,4	113,4	115,0	104,7	116,2	109,4	117,1	110,6	116,50	109,12
30	115,8	109,5	121,7	114,7	116,0	105,7	117,5	110,7	118,2	111,8	117,84	110,48

TEPELNÉ ŽEHLENÍ - WO

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		Průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	75,5	68,4	76,2	69,2	74,7	73,9	73,2	66,3	74,8	66,1	74,88	68,78
4	84,8	76,0	81,1	73,1	83,4	80,5	79,4	70,9	80,0	69,6	81,74	74,02
6	89,4	79,8	85,4	76,7	89,6	85,3	88,1	77,4	87,5	75,2	88,00	78,88
8	93,5	83,3	91,4	81,6	93,0	88,0	92,4	80,8	91,2	78,3	92,30	82,40
10	97,2	86,5	94,7	84,5	96,2	90,7	96,1	83,9	94,5	81,2	95,74	85,36
12	102,3	91,0	97,7	87,1	99,1	93,1	99,6	86,7	97,5	83,8	99,24	88,34
14	105,1	93,5	100,3	89,4	101,8	95,4	104,3	90,8	102,4	88,2	102,78	91,46
16	107,7	95,8	102,8	91,7	105,8	98,8	107,0	93,1	105,9	91,4	105,84	94,16
18	110,1	98,0	106,8	95,4	108,1	100,8	109,4	95,2	107,8	93,3	108,44	96,54
20	112,2	100,1	109,8	98,2	110,2	102,6	111,5	97,3	109,6	95,0	110,66	98,64
22	115,9	103,5	111,4	99,8	112,2	104,4	113,5	99,1	111,2	96,6	112,84	100,68
24	118,4	106,1	112,9	101,2	114,0	106,1	116,8	102,2	112,8	98,1	114,98	102,74
26	119,9	107,4	114,2	102,5	117,2	109,0	119,2	104,5	115,4	100,7	117,18	104,82
28	121,2	108,8	115,5	103,8	119,7	111,2	120,5	105,9	117,4	102,7	118,86	106,48
30	122,4	110,1	117,6	105,9	121,1	112,5	121,8	107,2	118,5	103,8	120,28	107,90

VLHKOTEPELNÉ ŽEHLENÍ - PES

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	74,1	74,6	80,5	78,0	97,8	83,5	76,6	76,5	76,9	76,8	81,18	77,88
4	94,6	95,2	141,1	123,9	120,7	109,2	111,3	92,8	112,6	102,0	116,06	104,62
6	122,4	117,3	152,6	140,3	133,4	124,8	129,0	108,5	135,4	127,3	134,56	123,64
8	140,0	134,4	163,7	155,4	145,6	142,2	137,4	119,7	146,7	140,0	146,68	138,34
10	144,8	139,5	166,7	160,4	149,7	148,6	142,3	128,4	153,5	148,7	151,40	145,12
12	147,8	143,1	168,5	163,8	153,0	152,7	147,6	138,4	160,0	158,2	155,38	151,24
14	149,7	145,6	169,5	165,9	156,1	155,1	149,6	142,3	162,3	161,6	157,44	154,10
16	151,5	148,6	170,5	168,0	159,8	158,2	151,3	145,3	164,0	163,8	159,42	156,78
18	152,2	150,0	170,6	168,6	161,7	160,0	152,6	147,6	165,6	165,0	160,54	158,24
20	152,5	150,6	170,5	168,8	162,5	160,8	154,7	150,9	167,5	166,2	161,54	159,46
22	152,7	151,1	170,4	168,8	163,0	161,5	156,0	153,0	168,1	166,7	162,04	160,22
24	152,9	151,4	170,1	168,7	163,5	162,0	156,8	154,1	168,3	166,9	162,32	160,62
26	153,0	151,7	169,9	168,5	163,8	162,4	157,6	155,1	168,4	166,9	162,54	160,92
28	153,2	152,0	169,3	168,1	164,2	163,0	158,2	156,0	168,3	166,8	162,64	161,18
30	153,4	152,3	168,7	167,7	164,4	163,2	158,8	156,7	168,1	166,7	162,68	161,32

VLHKOTEPELNÉ ŽEHLENÍ - CO

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	85,7	78,2	76,5	76,9	77,9	79,3	87,5	80,5	80,9	79,3	81,70	78,84
4	114,2	96,2	114,8	97,0	122,9	102,4	129,4	109,0	104,4	100,3	117,14	100,98
6	125,9	110,0	134,7	115,1	131,4	109,2	142,2	120,3	119,3	114,1	130,70	113,74
8	145,2	133,2	144,4	126,7	145,0	124,7	150,7	138,1	129,6	123,6	142,98	129,26
10	148,3	138,1	149,9	135,0	148,8	131,7	156,5	143,4	137,2	130,8	148,14	135,80
12	154,5	145,5	153,5	141,0	151,0	136,3	160,4	147,1	146,1	140,1	153,10	142,00
14	155,9	148,1	156,9	148,1	156,9	144,1	164,7	151,6	150,4	145,0	156,96	147,38
16	157,7	151,4	158,3	151,3	157,5	146,4	166,4	153,8	152,3	147,4	158,44	150,06
18	158,7	153,3	159,2	153,6	158,0	147,9	167,1	154,7	153,7	149,2	159,34	151,74
20	159,2	154,2	159,9	155,4	158,4	149,0	167,5	155,4	154,9	150,7	159,98	152,94
22	159,6	155,1	160,3	156,8	158,8	150,8	167,7	155,9	155,8	152,0	160,44	154,12
24	159,9	155,8	160,8	156,4	158,9	152,0	167,9	156,3	157,3	154,0	160,96	154,90
26	160,3	156,4	160,9	159,2	159,0	152,8	167,8	163,6	158,4	155,4	161,28	157,48
28	161,0	157,5	160,9	159,4	159,1	153,4	167,6	164,6	159,0	156,1	161,52	158,20
30	161,6	158,4	160,8	159,5	159,2	154,0	167,4	165,6	159,5	156,9	161,70	158,88

VLHKOTEPELNÉ ŽEHLENÍ - WO

čas [s]	Teploty termočlánků [°C]											
	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1
	vzorek č.1		vzorek č.2		vzorek č.3		vzorek č.4		vzorek č.5		Průměrná hodnota	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	75,5	68,4	76,2	69,2	74,7	73,9	73,2	66,3	74,8	66,1	74,88	68,78
4	84,8	76,0	81,1	73,1	83,4	80,5	79,4	70,9	80,0	69,6	81,74	74,02
6	89,4	79,8	85,4	76,7	89,6	85,3	88,1	77,4	87,5	75,2	88,00	78,88
8	93,5	83,3	91,4	81,6	93,0	88,0	92,4	80,8	91,2	78,3	92,30	82,40
10	97,2	86,5	94,7	84,5	96,2	90,7	96,1	83,9	94,5	81,2	95,74	85,36
12	102,3	91,0	97,7	87,1	99,1	93,1	99,6	86,7	97,5	83,8	99,24	88,34
14	105,1	93,5	100,3	89,4	101,8	95,4	104,3	90,8	102,4	88,2	102,78	91,46
16	107,7	95,8	102,8	91,7	105,8	98,8	107,0	93,1	105,9	91,4	105,84	94,16
18	110,1	98,0	106,8	95,4	108,1	100,8	109,4	95,2	107,8	93,3	108,44	96,54
20	112,2	100,1	109,8	98,2	110,2	102,6	111,5	97,3	109,6	95,0	110,66	98,64
22	115,9	103,5	111,4	99,8	112,2	104,4	113,5	99,1	111,2	96,6	112,84	100,68
24	118,4	106,1	112,9	101,2	114,0	106,1	116,8	102,2	112,8	98,1	114,98	102,74
26	119,9	107,4	114,2	102,5	117,2	109,0	119,2	104,5	115,4	100,7	117,18	104,82
28	121,2	108,8	115,5	103,8	119,7	111,2	120,5	105,9	117,4	102,7	118,86	106,48
30	122,4	110,1	117,6	105,9	121,1	112,5	121,8	107,2	118,5	103,8	120,28	107,90

PŘÍLOHA 4

PŘÍLOHA 5

Tloušťkoměr DM 100 T

Značení vnější stupnice	0,00 – 1,00 mm po 0,01 mm
Značení vnitřní stupnice	0 – 10 mm po 1 mm
Plocha měřící desky (volitelná)	10/25 cm^2
Hmotnost měřící desky a hřídele	50g
Hmotnost zabudovaného závaží	75g
Doplňující závaží (volitelné)	125/375/1125 g
Pracovní napětí	6 V
Speciální měřící tlak	
Pro plochu 10 cm^2	5,0 12,5 25,0 50,0 125,0 Pa/cm^2
Pro plochu 25 cm^2	2,0 5,0 10,0 20,0 50,0 Pa/cm^2
Přesnost	0,01 mm

Termoelektrické snímače teploty

Při měření byly použity izolované termočlánky, typ K - NiCr-Ni, průměr 0,076 mm. Výrobce je OMEGA. Měřící rozsah je od -25 do 480°C. Třída přesnosti je ± 0,1 °C.

Žehlička TREVIL Professional

Elektrický příkon	220 – 240 V / 50 Hz
Elektrický příkon vyvíječe páry	2300 W
Elektrický příkon žehličky	900 W
Obsah vyvíječe páry	5 l
Provozní tlak	2,5 bar
Hmotnost	15 kg

Žehlící stůl 17 PRAKTIK

Elektrický příkon	220 – 240 V / 50 Hz
Hmotnost	85 kg

Přístroj TOGMETER SDL M 259

Přístroj SDL M259- TOGMETER- pro měření tepelného odporu textilií stacionární metodou. Měřící zařízení je vybaveno tepelnými senzory a vyhřívanou deskou řízenou digitálním teploměrem. Přístroj je umístěn v boxu s řízeným prouděním vzduchu.

Přístroj ALMEMO 2290-8

Každý z měřících kanálů je zcela univerzální a lze k němu připojit jakýkoli snímač. Měřená data je možné ukládat do vnitřní paměti ústředny přes sériové rozhraní nebo je analogovým výstupem posílat na libovolné periferní zařízení pro záznam dat, např. PC, tiskárnu nebo zapisovač.

Měřící vstupy: 5 zásuvek pro ALMEMO-konektory

Metoda měření: integrující Dual Slope

Převodník A-D: rozlišení 16 bitů

Měřící výkon: 3 měření za sekundu

Vstupní impedance: 50 MΩ

Impedance zdroje: max. chyba 2 μV/100 Ω

Vlastní kalibrace: automatická korektura nulového bodu a zesilovače

Přesnost systému: ±0,03 % z měřené hodnoty, ± 2 digity

Teplotní posuv: 0,005 %/°C

Jmenovitá teplota: 22 °C ± 2 K

Kompenzace referenčních míst: účinná v rozsahu –30…+100 °C

přesnost ± 0,2 K ± 0,01 K/°C

Mikroprocesor: HD 6303 Y

Paměť: 130 kB (520 kB) zálohovaná baterií

Displej: 6 x 7 segmentů, 2 x 16 segmentů LCD 13 mm

Doba zobrazení: ca. 1,5 s na měřící kanál

Výstupy: 2 ALMEMO-zásuvky

analogový výstup: 0,1 mV/digit (-0,5…2,75 V)

rozhraní V24/RS232: TXD, RXD, DSR,sériová 8 bitová data, kód ASCII, 1 rozběhový a 1 závěrný bit

přenos. výkony: 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 Baud

mezní hodnota: transist. spínač s otevřeným kolektorem

Napájecí napětí: alkali-manganová baterie 9 V

Síťový adaptér 9 V, 50 mA (7-13 V DC)

Spotřeba proudu: ca. 10 mA bez modulů

Kontrola baterie: automatická s optickou výstrahou

Rozměry (délka x šířka x výška): 180 x 85 x 33 mm

Pracovní teplota: -10 … +60 °C

Skladovací teplota: -30 … +60 °C

PŘÍLOHA 6

Materiál č.1

Technologie výroby		Tkanina
Materiálové složení		100% PES
Vazba		Plátnová
Plošná měrná hmotnost		0,196 kg/m^2
Dostava	osnova	230 nití / 10 cm
	útek	230 nití / 10 cm
Tloušťka		0,55 mm

Materiál č.2

Technologie výroby		Tkanina
Materiálové složení		100% CO
Vazba		Plátnová
Plošná měrná hmotnost		0,199 kg/m^2
Dostava	osnova	260 nití / 10 cm
	útek	190 nití / 10 cm
Tloušťka		0,42 mm

Materiál č.3

Technologie výroby		Tkanina
Materiálové složení		100% WO
Vazba		Krepová
Plošná měrná hmotnost		0,211 kg/m^2
Dostava	osnova	170 nití / 10 cm
	útek	150 nití / 10 cm
Tloušťka		0,62 mm

PŘÍLOHA 7

Graf 9.1 Výsledky propustnosti vzduchu

Graf 9.2 Výsledné hodnoty součinitelů tepelné vodivosti

Graf 9.3 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při tepelném žehlení

Graf 9.4 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení

Graf 9.5 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při tepelném žehlení

Graf 9.6 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při vlhkotepelném žehlení

Graf 9.7 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení

Graf 9.8 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při vlhkotepelném žehlení

Graf 9.9 Výsledky prošlého množství tepla při tepelném žehlení

Graf 9.10 Výsledky prošlého tepla při vlhkotepelném žehlení

Graf 9.11 Porovnání výsledků množství prošlého tepla při tepelném a vlhkotepelném žehlení

PŘÍLOHA 8

Obr. 2.1 Funkční schéma elektroparní žehličky

Obr. 2.2 Žehlící stroj se sklopným ramenem

Obr. 2.3 Žehlící figurína

Obr.3.1. Sorpční izoterma

Obr.3.2 Závislost vlhkosti vláken na relativní vlhkosti prostředí pro 1.viskózu, 2.vlnu, 3.bavlnu, 4.acetát, 5.polyamid, 6.polypropylén, 7.polyester

Obr. 4.1 Ohřev nízkomolekulární látky

Obr. 4.2 Ohřev vysokomolekulární látky

Obr. 5.2 Kalorimetr

Obr. 6.1 Časově stálé teplotní pole v rovinné neohraničené stěně o tloušťce δ [m] z materiálu s tepelnou vodivostí λ

Obr. 6.2 Prostup tepla

Obr. 6.3 Schéma rozdělení dopadající sálavé energie

Obr. 6.4 Výměna tepla sáláním mezi dvěma rovnoběžnými stěnami

Obr. 7.1 Teplotní závislost vybraných materiálů

Obr. 7.2 Odporový teploměr

Obr. 7.3 Termočlánky

Obr. 7.4 Statické charakteristiky vybraných termočlánků

Obr. 7.5 Základní zapojení termočlánku

Obr. 7.6 Bimetalový teploměr

Obr. 7.7 Plynový teploměr

Obr. 7.8 Infračervené pásmo

Obr. 7.9 Vyzařovací charakteristiky černého tělesa v závislosti na jeho teplotě

Obr. 8.1 Průběh teploty při vypařování v závislosti na přivedeném teple

Obr. 8.2 Diagram vodní páry v souřadnicích p, v

Obr. 8.3 Průběh výroby páry v T – s diagramu

Obr. 8.4 T – s diagram vodní páry

Obr. 8.5 i – s diagram vodní páry

Obr. 9.1 Schéma měření

Obr. 9.2 Ustálení teplot

Obr. 10.1 Schéma měření pomocí termovize

PŘÍLOHA 9

Tab.2.1. Meze žehlících teplot

Tab. 4.1 Teploty vybraných syntetických vláken

Tab. 4.2 Teploty vybraných přírodních vláken

Tab. 4.3 Celkový přehled působení tepla na vlákna

Tab. 5.1 Porovnání teplotních stupnic

Tab. 7.1 Tabulka značení a základních vlastností termočlánků

Tab. 9.1 Parametry materiálu č.1

Tab. 9.2 Parametry materiálu č.2

Tab. 9.3 Parametry materiálu č.3

Tab. 9.4 Rychlost průtoku vzduchu

Tab. 9.5 Teploty desek bez materiálu

Tab. 9.6 Teploty desek s materiálem č.1 PES

Tab. 9.7 Teploty desek s materiálem č.2 CO

Tab. 9.8 Teploty desek s materiálem č.3 WO

Tab. 9.9 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při tepelném žehlení

Tab. 9.10 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při tepelném žehlení po ustálení

Tab. 9.11 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení

Tab. 9.12 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při tepelném žehlení po ustálení

Tab. 9.13 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při tepelném žehlení

Tab. 9.14 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při tepelném žehlení po ustálení

Tab. 9.15 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při vlhkotepelném žehlení

Tab 9.16 Teploty termočlánků u materiálu č.1 PES při vlhkotepelném žehlení po ustálení

Tab. 9.17 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při vlhkotepelném žehlení

Tab. 9.18 Teploty termočlánků u materiálu č.2 CO při vlhkotepelném žehlení po ustálení

Tab. 9.19 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při vlhkotepelném žehlení

Tab. 9.20 Teploty termočlánků u materiálu č.3 WO při vlhkotepelném žehlení po ustálení