

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
TEXTILNÍ FAKULTA

Obor 3113 – 8

Oděvní technologie

Zaměření: projektování konfekčních výrobků

**Tepelné přestupy při tvarování a žehlení textilních materiálů – analýza
teplotních polí a přestupů při žehlení, měření teplot žehliček a optimalizace
žehlení**

**The heat transfer, which is created during ironing of textile materials –
analysis temperature fields and the heat transfer, measurement
temperatures of iron and optimalization of ironing**

Pavla Adamusová

KOD – 518

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146069423

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

Konzultant: Ing. Jan Urbášek

Rozsah práce:

Počet stran: 78

Počet obrázků: 27

Počet tabulek: 27

Počet příloh: 7

V Liberci 26.5.2003

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro:

Pavlu Adamusovou

obor: 3113-8 Oděvní technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu:

Tepelné přestupy při tvarování a žehlení textilních materiálů – analýza teplotních polí a přestupů při žehlení, měření teplot žehliček a optimalizace žehlení

Zásady pro vypracování:

1. Analýza tepelných přestupů při žehlení.
2. Proveďte měření přestupu tepla při ručním žehlení.
3. Změřte tepelné pole některých vytipovaných žehliček.
4. Výsledky zpracujte do grafů a shrňte do přehledných závěrů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 45 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

- Mayer: Sdílení tepla Skripta TU Liberec 1985

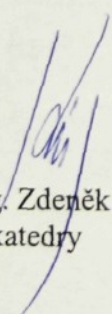
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

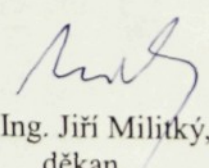
Konzultant: Ing. Jan Urbášek, CSc. - TUL, FS, KEZ

Zadání diplomové práce: 25. 5. 2001

Termín odevzdání diplomové práce: 26. 5. 2003




Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
vedoucí katedry


Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.
děkan

V Liberci dne: 1. 4. 2003

Anotace

Diplomová práce se zabývá měřením tepelných přestupů při žehlení a měřením teplotních polí některých žehliček.

Teoretická část popisuje teorii žehlení, sorpční a termické vlastnosti vláken, teplo, druhy sdílení tepla, termodynamiku par a termoelektrické snímače.

Další část diplomové práce je zaměřená na charakteristiku a rozbor měření. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách a zpracovány výpočtem a graficky.

Annotation

The Thesis is studying measurement the heat transfer, which is created during hand ironing of materials and measurement temperature fields of some iron.

The theoretic part is about theory of ironing, sorptive and thermic attributes of textile fibres, warm, characteristics of heat transfers, thermodynamic steam and thermoelectric sensors.

The next part of the thesis work is concentrated on the characteristics and analysis of experiment. The results of the measurement are written into tabulators, graphs and also equation.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité prameny a literaturu z kterých jsem čerpala.

V Liberci 26.5.2003

Barla Adm.

Jméno a příjmení

Poděkování:

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Antonínovi Havelkovi, Csc. za odborné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce. Dále mé poděkování patří všem, kteří mi poskytli cenné informace a rady.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Žehlení oděvních výrobků.....	10
2.1. Ruční žehlení oděvních výrobků.....	10
2.2. Funkční schéma žehličky.....	10
2.3. Povrch žehlicí desky.....	11
2.4. Cyklus žehlení.....	11
2.5. Vlastnosti materiálů důležité pro vlhkotepelné zpracování.....	11
2.6. Faktory ovlivňující vlhkotepelné zpracování.....	12
2.7. Maximální teploty pro jednotlivé druhy oděvních materiálů.....	13
3. Sorpční vlastnosti vláken.....	14
3.1 Chemické principy sorpčních dějů.....	14
3.2 Fyzikální pochody v jemné struktuře a botnání vlákna.....	14
3.3 Sorpční izoterma.....	15
3.4 Využití sorpčních vlastností ve zpracovatelské technologii a ve výrobku...18	
4. Termické vlastnosti vláken.....	19
4.1 Fyzikální princip působení tepla na vlákno.....	19
4.2 Mechanické důsledky působení tepla na vlákna.....	21
4.3 Ustalování tvaru vlákna teplem.....	22
4.4 Účinek tepla na vlákna z přírodních polymerů.....	22
4.5 Využití termických vlastností při zpracování vláken a ve výrobku.....	23
5. Teplo.....	24
5.1. Měrné teplo.....	24
5.2. Teplota.....	24
5.3. Měření teploty.....	26
6. Sdílení tepla.....	27
6.1. Vedení tepla v tělesech.....	27
6.1.1. Teplota a tepelný tok.....	27
6.1.2. Zákon Fourierův.....	28

6.1.3. Stacionární vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou.....	29
6.2. Sdílení tepla prouděním.....	31
6.3. Sdílení tepla sáláním.....	32
6.3.1. Sdílení tepla zářením mezi černými tělesy.....	35
6.4. Sdílení tepla při žehlení.....	36
7. Termodynamika par.....	37
7.1. Odpařování, var kapaliny.....	37
7.2. Var kapaliny.....	38
7.3. Stavy par.....	38
7.4. Mezní křivky vodní páry.....	39
7.5. Průběh výroby páry v T-s diagramu.....	40
7.6. Mokrá pára.....	41
7.7. Sytá pára.....	42
7.8. Přehřátá pára.....	42
7.9. Tepelné diagramy vodní páry.....	43
7.9.1. Tepelné diagramy vodní páry.....	43
7.9.2. Mollerův i-s diagram vodní páry.....	44
8. Snímače teploty	46
8.1. Termoelektrické snímače.....	47
8.1.1. Kompenzační vedení.....	48
8.1.2. Kompenzace můstková.....	49
8.1.3. Uložení srovnávacích konců do termostatu.....	50
8.1.4. Dvojkovová kompenzace měřícího přístroje.....	50
8.2. Typy termočlánků.....	50
8.3. Chyby termoelektrických snímačů.....	51
9. Experimentální část.....	52
9.1. Měření přestupů tepla při ručním žehlení.....	52
9.1.1. Charakteristika měření.....	52
9.1.2. Postup měření.....	52
9.1.3. Zpracování naměřených dat	53
9.1.4. Výpočet tepelného toku.....	61

9.1.5. Chyba měření.....	62
9.2. Měření teplotního pole některých vytipovaných žehliček.....	63
9.2.1. Charakteristika měření.....	63
9.2.2. Postup měření.....	63
9.2.2.1. Měření teplotního pole.....	63
9.2.2.2. Měření kolísání teploty.....	64
9.2.3. Statistické zpracování naměřených hodnot.....	71
9.2.3.1. Statistické výsledky z měření teplotního pole.....	71
9.2.3.2. Statistické výsledky z měření kolísání teploty.....	72
 10. Vyhodnocení výsledků.....	74
10.1. Přestupy tepla.....	74
10.2. Teplotní pole.....	75
 11. Závěr.....	76
 12. Použitá literatura.....	77
 13. Seznam příloh.....	78

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. V současné době se převážně používá vlhkotepelné zpracování. Jedná se o působení teploty, vlhka (páry) a tlaku na oděvní výrobek po určitý čas.

Základním charakterem pro tvarování textilních vláken je rozlišení typu textilního vlákna (podle struktury), které budeme tvarovat. Proto je potřebné si uvědomit, zda budeme tvarovat plošné textilie (vlákna) ze syntetických nebo přírodních polymerů.

Je důležité si také uvědomit, jaký je vliv tepla a vlhka na vlákna z přírodních polymerů a na vlákna ze syntetických polymerů.

Cílem diplomové práce bylo změřit tepelné přestupy při žehlení a změřit teplotní pole některých žehliček.

Měření tepelných přestupů bylo provedeno u tří druhů oděvních materiálů (bavlny, směsi a vlny). Při žehlení byla použita elektroparní žehlička MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou. Žehlení bylo provedeno tepelné i vlhkotepelné. Teploty u všech měření byly snímány pomocí termočlánků IEC 584, typ K (NiCr-Ni). Jeden termočlánek měřil teplotu mezi žehlicím tělesem a materiálem a zároveň druhý mezi dvěma vrstvami materiálu. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do paměti měřicího přístroje ALMEMO 2290-8. Následně byly přeneseny do počítače a zpracovány do tabulek a grafů.

Měření teplotních polí bylo provedeno u tří žehliček (elektroparní žehličky MODELLO PRATIKA a GRAN DOMINA 121/P a domácí žehlička PHILIPS AZUR 60). Nastavení termostatu bylo na první teplotní stupeň.

V této části experimentu bylo provedeno také měření kolísání teploty v bodě 1. Byly opět použity výše zmíněné tři žehličky. Měření bylo provedeno u průmyslových elektroparních žehliček s teflonovou podložkou (na všechny tři teplotní stupně) a bez teflonové podložky (na první teplotní stupeň). Teploty byly snímány pomocí termočlánku FT A121-1 (NiCr-Ni) typ K. Následně byly zaznamenány 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 žehlicího 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 záleží na použitém oděvním materiálu. *Tepelně* (suchým teplem) se oděvní výrobky zpracovávají v omezené míře, v současné době zpracováváný materiál dovoluje přecházet na *vlhkotepelné* tvarování.

2.1. Ruční žehlení oděvních výrobků

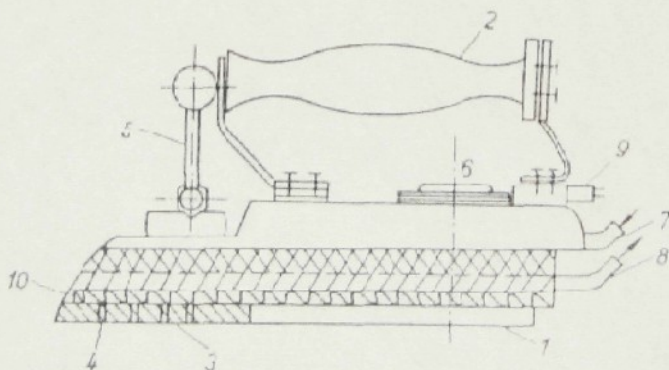
Původně se používaly žehličky na tuhé palivo, popř. se žehličky vyhřívaly plynem. Tyto žehličky se již přestaly používat a byly nahrazeny žehličkami a žehlicími tělesy

- elektrickými
- parními
- elektroparními
- parně elektrickými.

Tvar všech žehliček a žehlicích těles je řešen podle účelu, kterému slouží.

Ruční žehlení bylo zdokonaleno vývojem *žehlicích prken* a *stolů*, které jsou tvarovány podle požadovaného účelu [2].

2.2. Funkční schéma žehličky



Obr.2.1. Funkční schéma žehličky

Těleso žehličky 1 opatřené propařovacími otvory 4 v žehlicí desce 3 vytváří žehlicí komoru, do níž se vhání voda nebo odpadová pára 7, aby se působením vyhřívacího elementu 10 přetvořila na přehřátou páru. Současně se v dolní části komory tvoří kondenzát, který je odváděn potrubím 8 zpět ke zdroji. Z vnější části je veden do komory regulační ventil 6, jímž je bimetalovým regulátorem nastavována teplota tělesa žehličky. Regulátor je opatřen stupnicí, kde jsou vyneseny přípustné hodnoty pro žehlení jednotlivých oděvních materiálů. První třetina žehlicího tělesa bývá vyhřívána intenzivněji, aby bylo vyrovnáváno postupné ochlazování žehlicí desky při žehlení. Pára se na výrobek vypouští z žehlicí komory spouštěčem 5, který je umístěn v dosahu držadla žehličky 2. Pokud se jedná o výhřev elektrickým proudem, je instalován na žehlicím tělese přívod proudu 9. Žehličky tohoto typu mohou být elektrické, elektroparní a parně elektrické. Systém výhřevu zůstává stejný, jak je označeno.

2.3. Povrch žehlicí desky

Povrch žehlicí desky se v současné době vyrábí ze slitin hliníku, nerez oceli, s teflonovým nebo keramickým povlakem[2].

2.4. Cyklus žehlení

Cyklus žehlení spočívá:

1. v zahřátí textilie na požadovanou teplotu a v prosycení vlhkostí
2. ve tvarování pomocí tlaku
3. v ustálení tvaru žehleného materiálu (tj. vysušení a ochlazení).

2.5. Vlastnosti materiálů důležité pro vlhkotepelné zpracování

Pro správné nastavení parametrů žehlení je důležité znát vlastnosti zpracovávaného materiálu, především změny těchto vlastností při působení různých vlivů. Při vlhkotepelném zpracování se jedná o protlačování směsi páry a vzduchu přes oděvní materiál za současného působení teploty a tlaku.

Vlastnosti důležité pro tepelně tvarovací proces je možno shrnout takto:

- *pórovitost* – termické a sorpční vlastnosti (vliv na tvarovatelnost, deformační vlastnosti, rychlost pronikání vlhkosti do materiálu)
- *prodyšnost* (souvisí s prostupem páry, rychlostí prostupu tepla a vlhkosti)

- *obsah vlhkosti* (v materiálu před žehlením)
- *tvorba lesku a změna barvy* (vzniká působením nesprávně nastaveného tlaku, intenzita lesku ovlivňuje také barva – nejcitlivější jsou tmavé odstíny)
- *omak a srážlivost* (žehlením vzniká tvrdší omak, se srážlivostí je nutno počítat především u oděvů vložkovaných a podšívkovaných).

2.6. Faktory ovlivňující vlhkotepelné zpracování

Aby došlo k požadované změně tvaru prostřednictvím vlhkotepelného zpracování, je třeba zajistit působení následujících faktorů:

Teplota

Při jejím působení dochází k rozkmitání molekul, které má za následek fyzikální a poté chemické změny. Více v kapitole 4.

Vlhkost

Působením vlhkosti dochází k botnání, vlhkost proniká do struktury a rozrušuje stávající vazby, což umožňuje snazší tvarování. Více v kapitole 3.

Tlak

Struktura materiálu je usměrňována do požadovaného tvaru mechanickým působením žehlicího tělesa. Při nesprávném nastavení tlaku může dojít ke vzniku lesku (tzv. efekt moaré).

K tomuto nežádoucímu efektu dochází při nevhodně zvoleném vysokém tlaku nebo při použití tělesa s nerovným povrchem.

Nastává deformace přízí v textiliích, zatlačení povrchových vláken do struktury textilie. Dochází k vyhlazení tohoto povrchu, snižování povrchového reliéfu, ke ztenčování textilie, event. ke zplošťování termoplastických vláken při zvlášť vysokém tlaku. Světlo, dopadající na textiliu se v těchto místech zlomí, a to způsobuje lesk. Citlivé na vznik lesku jsou textilie s plastickým povrchem a vlasové textilie.

2.7. Maximální teploty pro jednotlivé druhy oděvních materiálů

Teploty žehlení jsou stanoveny podle druhu použité suroviny, aby nedošlo vlivem nevhodné teploty k jejímu poškození. Meze žehlicích teplot jsou uvedeny v následující tabulce, tab.2.1., která vychází z ČSN 361060 části 3.

Tab.2.1.

Značení	Max. teplota žehl. desky	Materiál, např.
•	110 °C	AC, elastan, PAD, POP
••	150 °C	PES, hedvábí, vl, VS, protein
•••	200 °C	bavlna, len

3. Sorpční vlastnosti vláken

Pod pojmem sorpce vláken zahrnujeme veškerá chování vlákna v interakci s prostředím plynným nebo kapalným, resp. vázání plynů nebo kapalin do jeho struktury. Dynamika tohoto děje může být dvojí:

- 1, *nevratná* – ireversibilní - *nevratný případ* je charakterizován trvalou vazbou plynu či kapaliny na molekulovou strukturu řetězce – chemickou vazbou.
- 2, *vratná* – reversibilní - *vratný způsob* naproti tomu je sice vazba do molekulové struktury, ale je to vazba fyzikální, energeticky chudší, zpravidla na boční skupiny řetězce.

3.1. Chemické principy sorpčních dějů

Vlákno, resp. jeho molekulová struktura, může pojmout tolik vlhkosti až její množství je v rovnovážném stavu s vlhkostí okolního prostředí. Parciální tlaky obou prostředí musí být v rovnováze.

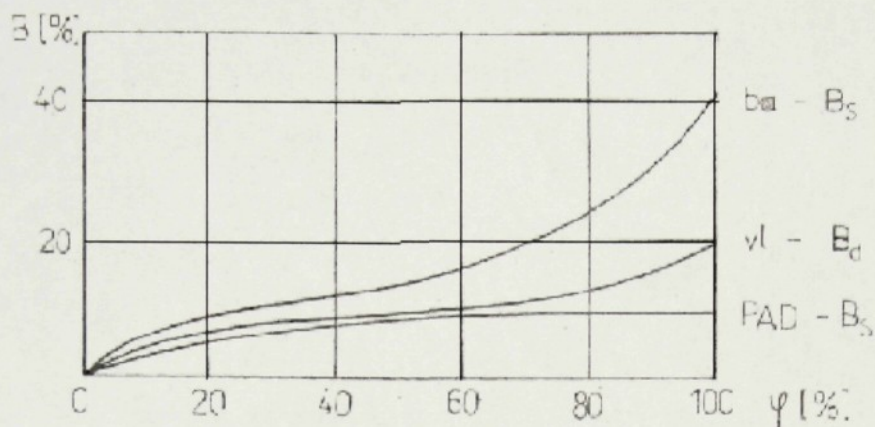
Pokud při relativní vlhkosti vzduchu $\varphi=100\%$ je relativní vlhkost vlákna $r<1\%$, tato vlákna nazýváme *hydroföbní* - tj. prakticky nepřijímají vodu, resp. ji odpuzují, nesmáčeji se atd. Ostatní vlákna - *hydrofilní*- kterých je většina jsou taková, že molekuly vody jsou vázány vodíkovými můstky na hydrofilní skupiny řetězce, jako jsou např. $-\text{OH}$, $-\text{NH}$, $-\text{COO}$, $-\text{CONH}_2$ atd. Znamená to, že afinita (schopnost přijímat) těchto skupin vůči vodě je značná a záleží tudíž na prostorové konfiguraci struktury, aby k navázání vody mohlo dojít.

3.2. Fyzikální pochody v jemné struktuře a botnání vlákna

Parciální přetlak vodních par okolí způsobuje, že molekuly difundují do vlákna. Nejprve vejdou ve styk s jeho povrchovým reliéfem a nastává tzv. *adsorpce* (povrchová kapilární voda). Molekuly vody jsou fyzikálně vázány povrchem vlákna. Teprve po skončené adsorpci následuje *absorpce* jako pomalejší proces, molekuly pronikají do jádra vlákna.

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 botná.

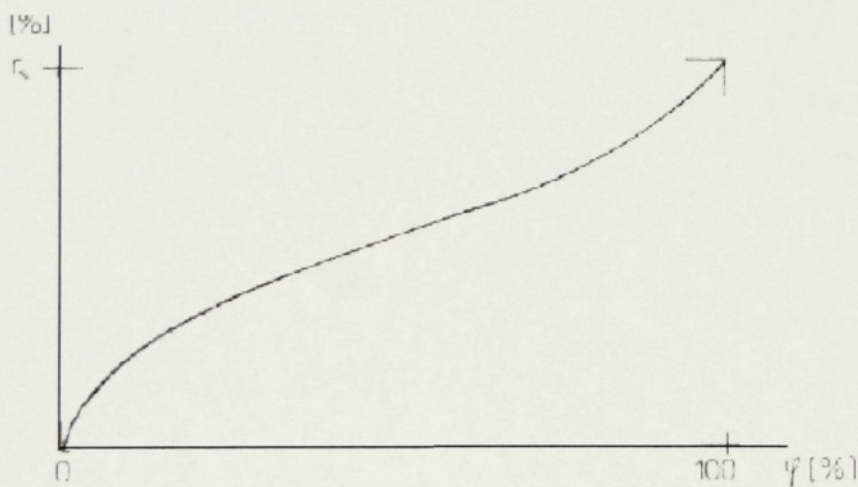
Grafické zobrazení průběhu botnání v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu φ koresponduje s procesem vnikání vody do vlákna (obr.3.1).



Obr.3.1. Průběh botnění v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu

3.3. Sorpční izoterma

Závislost mezi relativní vlhkostí vzduchu φ a relativní vlhkostí vlákna r při konstantní teplotě ϑ vystihuje *sorpční izoterma* (obr.3.2).



Obr. 3.2. Sorpční izoterma

Při rostoucím φ se zvyšuje i relativní vlhkost vlákna r , jež je dána vztahem:

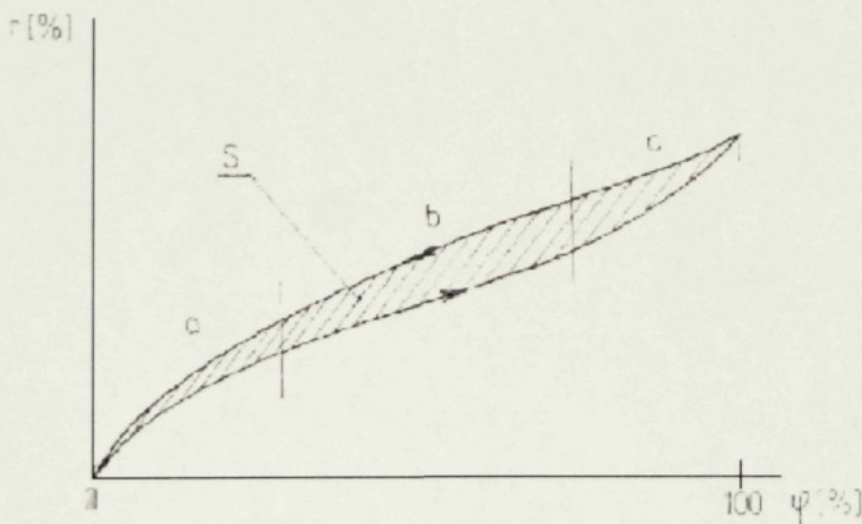
$$r = \frac{m_k - m_s}{m_s} \cdot 100 = \frac{\Delta m}{m_s} \cdot 100 = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.1.)$$

kde

m_k	hmotnost klimatizovaného vlákna	[kg]
m_s	hmotnost suchého vlákna	[kg]
m_{HO}	hmotnost vody	[kg]

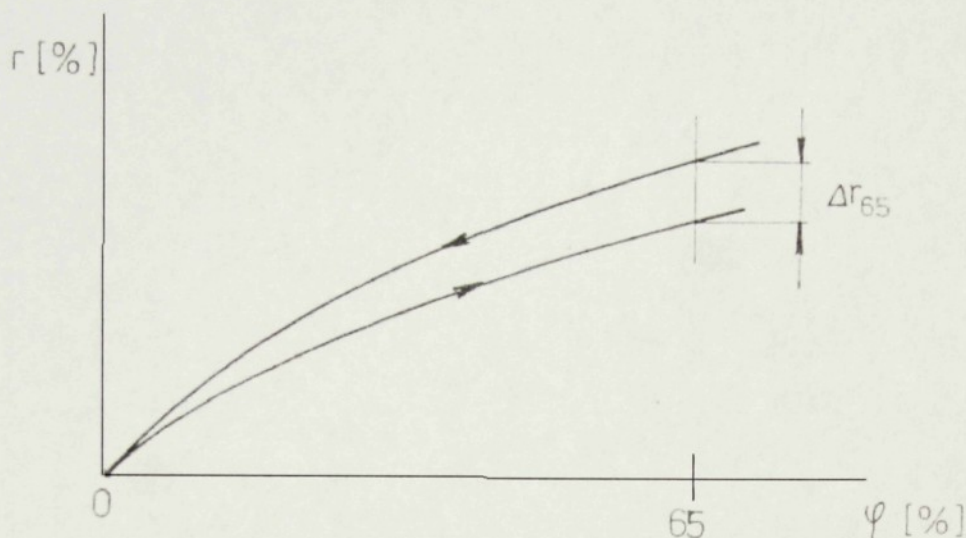
Počátek obecného tvaru křivky vykazuje vyšší strmost r jako následek adsorpce. Po nasycení povrchových vrstev vlákna vodou dochází k transportu molekul vody do jádra vlákna a k vazbě na hydrofilní skupiny. Nárůst r v poslední části křivky představuje vnikání vody do vakuol, kanálků, kapilár-volných objemů ve vlákně-tzv. kapilární kondenzaci. Křivka je též nazývána *absorpční izoterma* a zobrazuje adsorpční a absorpční proces.

Reverze sorpčního děje, *desorpce* je zpětný pochod, kdy snižující se hladina ϕ má za následek rovněž nelineární pokles relativní vlhkosti r . *Desorpční křivka* (obr.3.3) je však za absorpční zpožděna, neboť uvolňování vlhkosti z vlákna počíná unikem kapilární vody, tj. náhlý pokles v počátku děje (část c), teprve pak dochází k transportu molekul vody směrem k povrchu vlákna, což je děj pomalejší (část b) a konečně poslední fáze (část a) je desorpce zbytku vody z povrchu vlákna.



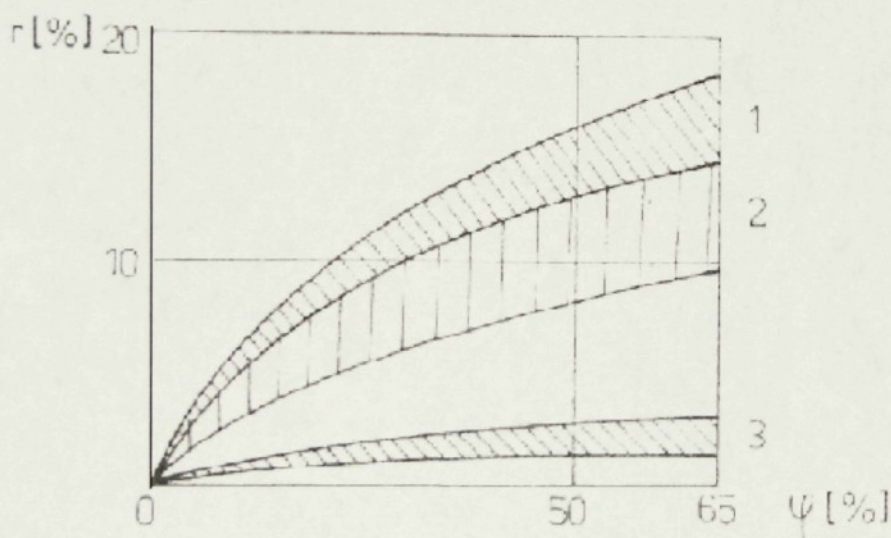
Obr.3.3. Desorpční křivka

Křivky absorpční a desorpční nejsou souhlasné a vytváří mezi sebou tzv. *sorpční hysterezi*. Velikost této plochy S reprezentuje aktivní složky sorpce, hydrofilní skupiny, a s jistou korekcí i velikost amorfnní složky. Při $\phi=65\%$ vzniká tedy zpoždění při desorpci o rozdíl Δr_{65} (obr.3.4), které se u vláken pohybuje zhruba do 3% [1].



Obr.3.4. Zpoždění při desorpci

Průběhy absorpčních izoterm v intervalu $\varphi \langle 0,65 \rangle$ (obr.3.5) rozdělují vlákna do 3 sorpčních skupin.



Obr.3.5. Průběhy absorpčních izoterm

Jsou to:

1. vlákna z bílkovin (vl, ph,...)
2. vlákna z celulózy (ba, ln,...)
3. vlákna syntetická (PES, PAD, PAN,...)

Vlákna z bílkovin vykazují nejvyšší absorpci, vlákna syntetická nejnižší. Právě tato nejnižší sorpční schopnost způsobuje horší zpracovatelnost těchto vláken následkem vzniku elektrostatického náboje a tím nutnost používat aviváží na zlepšení jejich zpracování v délkovou a plošnou textilii [1].

3.4. Využití sorpčních vlastností ve zpracovatelské technologii a ve výrobku

Vlivem vlhkosti jsou vlákna vláčnější, mají vyšší deformační schopnosti a snadnější přizpůsobivost 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 geometrických (tvar vlákna) a mechanických. Proto se u plošných textilií aplikuje krátkodobé působení vlhkosti (páření), 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, nemačková úprava atd.) s ohledem na to, k čemu je plošná textilie předurčena.

4. Termické vlastnosti vláken

Při působení tepla na vysokomolekulární látku, teda i na polymerní vlákno, dochází v ní podle obecných fyzikálních zásad ke změnám struktury, jež se vnějškově projeví jako změny tvaru a později jako změny fáze. Podle probíhajících změn, rozdělujeme polymery do dvou skupin:

-termosety

-termoplasty.

Termosety jsou takové, kde následkem dodávky tepla se struktura následkem neobsazených vazeb ještě zesítuje a polymer vytvrzuje (epoxidová pryskyřice, bakelit, ebonit). Je to děj ireversibilní (nevratný).

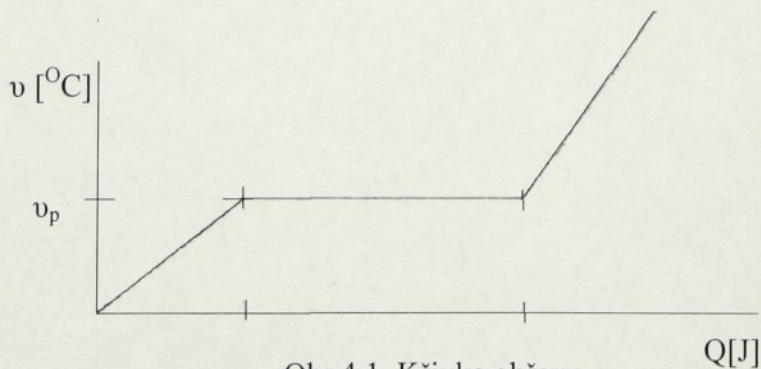
Termoplasty jsou takové polymery, kde následkem dodávky tepla dochází k postupně narůstajícím pohybům makromolekul, polymer měkne a posléze taje. Z této taveniny lze získat za jistých fyzikálních podmínek zpětně tuhý stav. Je to děj reversibilní (vratný). Do této skupiny patří většina vláken, zejména vlákna ze syntetických polymerů, jejichž výrobní postup je založen na tomto principu.

Výjimku tvoří vlákna z celulózy a bílkovin, u kterých následkem dodávky tepla dojde pouze k destrukci struktury.

4.1. Fyzikální princip působení tepla na vlákno

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

Molekula *nízkomolekulární látky*, jež je stavební jednotkou krystalické struktury (mřížky), při ohřevu rozrušuje jen jeden typ vazeb. Z toho důvodu je křivka ohřevu (obr.4.1.) charakteristická prodlevou na konstantní teplotě (v_p teplota přeměny fáze), kdy meziatomové vazby se rozrušují dodávaným teplem a teprve po rozrušení všech dojde ke zvýšení teploty (led-voda).



Obr.4.1. Křivka ohřevu

Vysokomolekulární látky, jejichž molekulová a jemná struktura je mnohem složitější, jako tvar molekul, tuhost řetězců, stupeň krystalinity - jsou určujícími faktory teplotních změn.

Při nízkých teplotách vibrují v polymeru pouze atomy kolem svých rovnovážných poloh. Polymer se jeví jako tvrdý a křehký - vykazuje pouze Hookovské elastické deformace. Stav se nazývá *skelný*.

Při další dodávce tepla se přemísťují celé segmenty amorfních makromolekul a mohou nabývat různých konformací. Stav se nazývá *kaučukovitý*. Vykazuje elastické a současně plastické deformace (viskoelastické deformace).

Mezi sklovitým a kaučukovitým stavem se nachází *přechodová oblast*, tzv. *teplota zvratu II. řádu* ϑ_{II} ($= T_g \dots$ Teplota skelného přechodu), která je obvykle udávána jako střední hodnota, nebo jako interval v rozmezí 1-5 °C.

Další dodávkou tepla dojde již k rozrušování sekundárních vazeb v krystalické oblasti, molekuly mají možnost skluzu, dochází při aplikaci vnější silou k jejich nevratnému posuvu. Polymer vykazuje vysokou plastickou deformaci, je to tzv. *plastický stav*.

Rozrušování prvních vazeb je definováno jako *teplota měknutí* ϑ_M ($= T_f \dots$ teplota tečení). Je to rovněž přechodová oblast.

Rozrušením poslední sekundární vazby (teoreticky) v polymeru jsou roztaveny všechny krystality, a tato teplota je označována jako *teplota zvratu I. řádu* ($\vartheta_T \dots$ teplota tání).

Pro vlákna jsou jak pro identifikační, tak technologickou stránku nejdůležitější:

ϑ_{II} teplota zvratu II. řádu, nad níž se provádí dloužení syntetických vláken, *žehlení* textilních výrobků atd.

ϑ_M teplota měknutí, oblast *termofixace*, ustalování tvaru vláken v délkové a plošné textilií

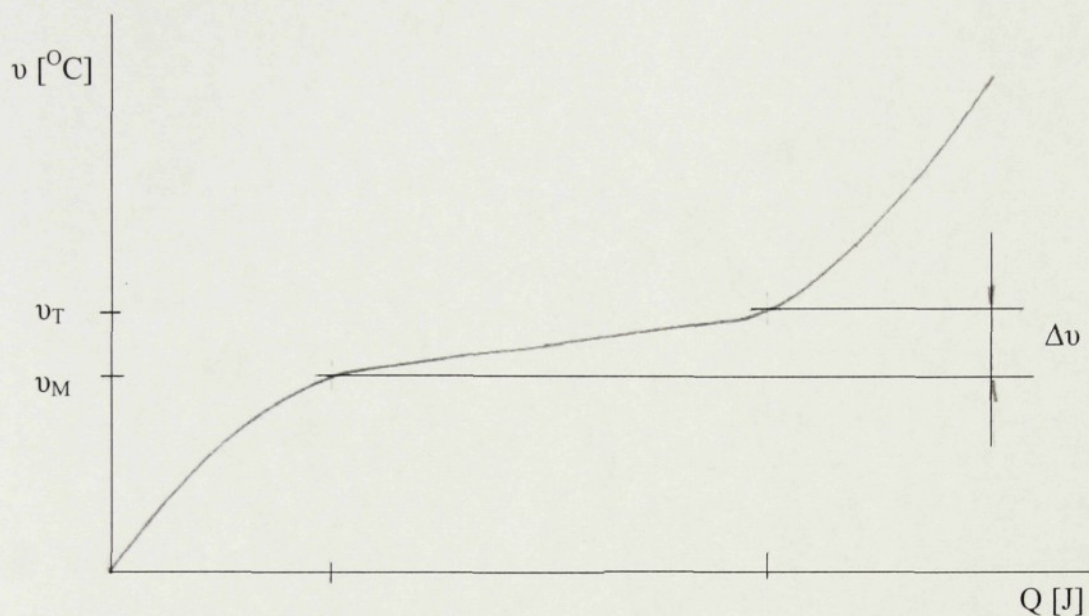
ϑ_T teplota tání

Graficky průběh ohřevu vysokomolekulárních látek, následkem popsanych dějů, vykazuje teplotu měknutí a tání jako charakteristické body křivky (obr.4.2).

Teplotní rozdíl $\Delta\vartheta = \vartheta_T - \vartheta_M$ značí velikost krystalického podílu ve vlákně. Pohybuje se v intervalu $\langle 15, 70 \rangle ^\circ\text{C}$.

Teplota zvratu II. řádu ϑ_{II} však není na křivce ohřevu odečitatelná - pohlcená tepla jsou velmi malá - dochází však u této teploty ke změnám entalpie ΔH a měrného tepla c . To umožňuje

diferenční analýza (DTA), kdy se využívá faktu, že každá strukturálně-chemická změna v látce je provázána změnou teplotní [1].



obr. 4.2. Průběh ohřevu vysokomolekulárních látek

Teploty nejznámějších termoplastických vláken jsou uvedeny v tabulce, tab. 4.1:

Tab.4.1.

$^{\circ}\text{C}$	v_{II}	v_M	v_T
AC	180	175-205	232
AT	105	225	290-300
PAD6	40	170-190	215-218
PAD6.6	47	235	245-255
PES	80	230-240	250-260
POP	-10	149-160	163-175
PAN	104	190-220	235-250
PUR	-	170	183

Nejjednodušší zjištění teploty tání vlákna v_T pro jeho identifikaci se provádí na speciálním mikroskopu s výhřevným stolem. [1].

4.2. Mechanické důsledky působení tepla na vlákna

Při působení tepla na vlákna se jeho účinky projevují především v jeho struktuře. Teploty zvratu jsou pak výsledkem tohoto vlivu. Je-li vlákno za současného působení tepla napnuto do čelistí s předpětím F_0 a snímána jeho měrná pevnost, jsou registrovány jeho deformační

změny. Jsou to změny především v jeho délce, resp. hodnoty f vytvořené zkrácením - kontrakcí nebo jeho prodloužením - expanzí. [1].

4.3. Ustalování tvaru vlákna teplem

Efektu krátkodobého působení vyšší teplotou na vlákno je technologicky využíváno za účelem ustalování jeho tvaru. Syntetická termoplastická vlákna vycházejí ze zvlákňovací trysky v lineárním tvaru. Jakmile však toto vlákno se dále technologicky zpracovává (předení, skaní, tvarování, pletení, tkaní atd.), dostává jeho původně lineární tvar jinou podobu, resp. přizpůsobuje se novým silovým podmínkám a vzniká v něm pnutí.

Aby polotovár či výrobek byl tvarově stálý, je zapotřebí toto pnutí z vlákna odstranit. Jeho příčinou jsou reakční síly, jež vznikají napínáním sekundárních vazeb, které jsou původně v rovnovážném energetickém stavu. Při pohybu molekul se vazby napínají, klesá jejich energetická hladina. 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 - tím vymizí pnutí ve vlákne. Vlákno je však třeba tvarově v této konfiguraci ustálit, proto je náhle ochlazeno za současného vzniku nových vazeb na místech energeticky výhodnějších.

Teplotní režim tohoto ustalovacího procesu probíhá až do ϑ_M [1].

4.4. Účinek tepla na vlákna z přírodních polymerů:

Tab.4.2.

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 až 300 °C hoří nebo uhelnatí při 600 °C teplota zápalnosti
Přírodní hedvábí	při 175 °C rozkládá se
Viskóza	při 150 °C ztrácí pevnost při 175 až 205 °C rozkládá se

4.5. Využití termických vlastností při zpracování vláken a ve výrobku

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 na jeho tvar.

Dlouhodobým působením tepla však dochází 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 tzv. *termostabilizátory*, jejichž účinkem je tento degradační proces brzdit.

Krátkodobé působení teploty a vlhkosti pod ϑ_M je rovněž používáno v oděvní technologii při tzv. vlhkotepelném zpracování, kde pomocí těchto vlivů je oděvní textilie tvarována (vytahována, srážena). Ovládá se tak především mezomorfní podíl struktury, dochází k přestavbě sekundárních vazeb a jeho následkem částečně a dočasně ke změně jeho tvaru. Děje se tak v kaučukovitém stavu polymeru. Účinků tepla je rovněž využíváno při údržbě výrobků, kde teploty žehlení jsou stanoveny podle druhu použité suroviny, aby nedošlo k poškození.

5. Teplo

Teplo je forma energie související s neuspořádaným pohybem částic dané soustavy. Teplo je určené energií (změnou vnitřní energie), kterou při tepelné výměně odevzdává teplejší těleso studenějšímu (sdílení tepla – předávání vnitřní energie).

Množství tepla není stavovou veličinou. Teplo jako fyzikální veličina se značí „ Q “. Hlavní jednotkou je 1 J (joule), což je jednotka práce (energie), $[Q] = [W] = 1 \text{ J}$. Kromě začátečního a konečného stavu závisí na způsobu procesu. Dodáním (vyloučením) tepla se mění teplota tělesa a s ní i ostatní fyzikální vlastnosti (objem, tlak) soustavy.

Teplo se šíří:

- *vedením* (nárazy molekul na sebe - tuhé látky)
- *prouděním* (kromě nárazů molekul i jejich přemísťování – kapalina (plyn))
- *sáláním* (přenos tepla tepelným zářením, prostor mezi zdrojem tepla a tělesem se nezahřívá – může to být buď plyn nebo vakuum) [6].

5.1. Měrné teplo

Měrné teplo (měrná tepelná kapacita) je množství tepla, které je třeba dodat, aby teplota 1 kg látky vzrostla o 1 K (1°C). Veličinu měrné teplo označujeme „ c “. Hlavní jednotkou měrného tepla je 1 joule na 1 kilogram a 1 Kelvin. Měrné teplo závisí na druhu látky a částečně i na teplotě.

Když dodáváme tělesu o hmotnosti „ m “ teplo „ ΔQ “, zvýší se teplota tělesa o přírůstek „ ΔT “ (když se při tom nemění skupenství látky).

Rovnice pro výpočet tepla:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t), \quad (5.1.)$$

kde ΔQ je dodané teplo [J], c je měrná tepelná kapacita [$\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$], m je hmotnost látky [kg], ΔT , Δt je teplotní rozdíl (změna) [K], [$^\circ\text{C}$] [6].

5.2. Teplota

Teplota je míra intenzity tepelného pohybu molekul. Dodáním tepla se tělesa zahřívají, zvětšuje se jejich teplota. Dodáním stejného množství tepla se různé látky zahřívají o jinou teplotu. Závisí to jednak na tepelných vlastnostech látky, jednak na jejich množství (hmotnosti). Základní jednotkou teploty je 1 K (Kelvin). Vedlejší jednotkou teploty je 1°C

(Celsia stupeň). Teplota je fyzikální veličina popisující teplotní stav systému, tělesa. Je veličinou stavovou, intenzivní (nezávisí na množství látky).

Teplota se udává pomocí teplotní stupnice. Aby stupnice byla jednoznačná, musí být definované dva údaje. Prvním údajem je základní bod stupnice a druhým je jednotka teplotního rozdílu (stupeň) [6].

Značení fyzikální veličiny teploty:

- t nebo ν (značení malými písmeny) – Celsiova teplota, jednotka $[^{\circ}\text{C}]$
- T nebo Θ (značení velkými písmeny) – Termodynamická teplota (absolutní), jednotka $[K]$.

Mezi termodynamickou teplotou T vyjádřenou v Kelvinech a teplotou t vyjádřenou ve stupních Celsia platí převodní vztahy:

$$T [K] = t [^{\circ}\text{C}] + 273,15 \quad (5.2.)$$

Pro teplotní rozdíl platí:

$$\Delta t [^{\circ}\text{C}] = \Delta T [K] \quad (5.3.)$$

Teplotní stupeň je v obou stupnicích stejný. Termodynamická teplota nezávisí na teplotě látky.

U Celsiové teploty jsou dva pevné body:

$t = 0^{\circ}\text{C}$... teplota tání ledu při tlaku $p_n = 10^5$ (teplota rovnovážného stavu vody a ledu při normálním tlaku), základní bod stupnice (trojný bod vody),

$t = 100^{\circ}\text{C}$... teplota varu při stejném tlaku (teplota rovnovážného stavu vody a její páry při normálním tlaku).

Teplota je fyzikální veličina popisující teplotní stav systému, tělesa. Je to veličina stavová.

Měření střední kinetické energie tepelných pohybů částic pro jejich nepatrnou velikost není možné, proto měření teploty provádíme na měření jiné veličiny, která vzroste přímo úměrně s energií, která byla dodána tepelnému pohybu (objemová roztažnost látek, termoelektrický jev, změna odporu, atd.) [7].

5.3. Měření teploty

K měření teploty využíváme jakýkoli fyzikální děj, který závisí na teplotě.

Konstrukce teploměru závisí na výšce teploty, její časové přeměně, přesnosti měření a na prostředí v kterém měříme [7].

6. Sdílení tepla

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

Druhý způsob sdílení tepla je *prouděním* (konvekci). Uskutečňuje se tím, že částčky hmoty mění místo v prostoru a přenášejí přitom svoji tepelnou energii. Tento děj se odehrává v proudících tekutinách a je doprovázen současně vedením tepla od jedné částčky k druhé.

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

Komplex všech druhů sdílení tepla se nazývá *prostup tepla*. Příkladem prostupu může být např. topné těleso nebo žehlička.

6.1. Vedení tepla v tělesech

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

6.1.1. Teplota a tepelný tok

Při sdílení tepla vedením je nutno znát vždy dvě veličiny: teploty na rozličných místech tělesa, tedy *teplotní pole* a *tepelné toky*, které vznikají vlivem teplotních spádů mezi různými místy tělesa.

Teplota t se může prostorově i časově měnit, množiny teplot v tělese nazýváme pak *teplotním polem*. Jsou definovány funkcí $t = t(x, y, z, \tau)$, kde x, y, z jsou prostorové souřadnice, τ značí čas. Jestliže se teploty s časem mění, pak se mluví o poli *nestacionárním*. Nemění-li se teploty s časem, je proudění tepla *stacionární*.

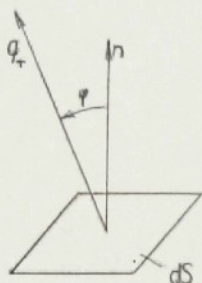
Všechny body tělesa, které mají v určitém okamžiku stejnou teplotu t , spojeny tvoří *izotermickou plochu*.

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

$$dQ_\tau = q_\tau dS. \quad (6.1.)$$

Libovolnou plochou velikosti dS , jejíž normála svírá se směrem tepelného toku úhel φ prochází tepelný tok (obr.6.1).

$$dQ_\tau = q_\tau \cos \varphi dS. \quad (6.2.)$$

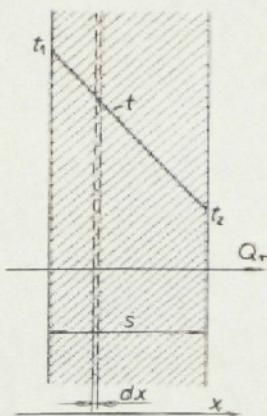


Obr.6.1. Tepelný tok jednotkovou plochou

6.1.2. Zákon Fourierův

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

Jsou-li udržovány povrchy rozměrově velké rovinné desky o tloušťce s na konstantních teplotách t_1 a t_2 , pak protéká kolmo deskou tepelný tok Q_τ ve směru klesající teploty (obr.6.2).



Obr.6.2. K odvození základního zákona vedení tepla

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

$$dQ_\tau = \frac{\lambda}{s} \cdot (t_1 - t_2) \cdot dS \quad (6.3.)$$

V rovnici značí λ součinitel tepelné vodivosti, který je různý pro různé materiály desky.

$$\lambda = f(\text{mat., t, vlhkosti, čistoty, ...})$$

Tepelný tok, který protéká elementem plochy dS libovolné izotermní plochy ve směru normály n k této ploše, je dán vztahem

$$dQ_\tau = -\lambda \cdot dS \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \quad (6.4.)$$

kde $\partial t / \partial n$ značí teplotní gradient ve směru normály k ploše. Teplotní gradient má opačné znaménko než teplotní rozdíl.

Pro měrný tepelný tok bude potom

$$q_\tau = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} = -\lambda \cdot \text{grad} \cdot t. \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (6.5.)$$

6.1.3. Stacionární vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou

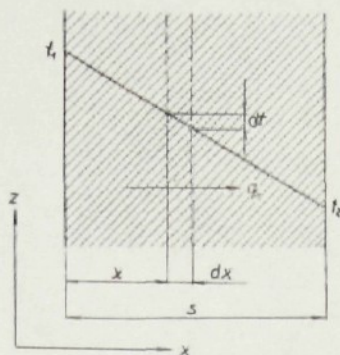
Nejjednodušší případ, který se v teorii vedení tepla vyskytuje je jednorozměrné stacionární vedení tepla rovinnou deskou (stěnou).

Jednorozměrné vedení tepla nastává u nekonečně veliké rovinné desky s konstantními teplotami povrchových ploch (povrchová plocha je plochou izotermickou o určité teplotě t).

Vedení tepla se děje jednoduchou stěnou tloušťky s . Tepelná vodivost λ je stálá. Povrchové plochy stěny jsou udržovány na stálých teplotách t_1 a t_2 . Teplota se mění ve směru s kolmém na rovinu stěny. Proto je teplotní pole jednorozměrné a izotermické plochy jsou roviny kolmé k ose x (obr.6.3).

Vytkněme si ve vzdálenosti x od povrchu vrstvu o tloušťce dx omezenou dvěma izotermickými rovinami. Na základě Fourierova zákona je množství tepla protékající stěnou za 1 sekundu pro 1 m^2 plochy:

$$q_\tau = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (6.6)$$



Obr.6.3. Jednoduchá rovinná stěna

Separací proměnných a integrací v mezích 0-x dostaneme

$$dt = -\frac{q_{\tau}}{\lambda} \cdot dx \quad t = -\frac{q_{\tau}}{\lambda} \cdot x + C. \quad (6.7.) \quad (6.8.)$$

Integrační konstanta c vyplyne z mezní podmínky pro

$$x = 0, t = t_1$$

$$C = t_1 \quad t = -\frac{q_{\tau}}{\lambda} \cdot x + t_1$$

Pro

$$x = s \text{ je } t = t_2, \quad t_2 = -\frac{q_{\tau}}{\lambda} \cdot s + t_1 \quad (6.9)$$

Z této rovnice lze stanovit neznámý tepelný tok q_{τ} :

$$q_{\tau} = \frac{\lambda}{s} \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (6.10)$$

Jak je patrné z rovnice $q_{\tau} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx}$ teplota ve směru tepelného toku klesá podle přímky, pokud součinitel λ je v rozsahu stěny stejný. Jelikož tepelná vodivost λ se s teplotou mění, není tento požadavek nikdy přesně splněn.

Poměr $\frac{\lambda}{s} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$ se nazývá *tepelnou vodivostí stěny*, někdy propustností, a obrácená hodnota $\frac{s}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$ *tepelným odporem stěny*. Množství tepla Q, proteklé rovinnou stěnou o ploše s za dobu τ je

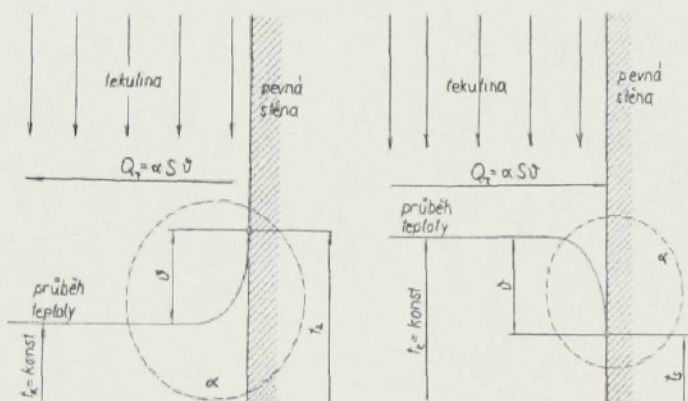
$$Q = q_{\tau} \cdot S \cdot \tau = \frac{\lambda}{s} \cdot (t_1 - t_2) \cdot S \cdot \tau \quad [\text{J}]. \quad (6.11)$$

6.2. Sdílení tepla prouděním

V proudících tekutinách je nutno uvažovat zásadně dva způsoby sdílení tepla: čisté vedení tepla a výměnu tepla přemísťovanými částicemi hmoty (konvekce). Podle fyzikálních vlastností tekutiny a podle druhu proudění může převažovat jeden nebo druhý mechanismus, takže sdílení tepla v proudících tekutinách nelze oddělit od pohybu tekutiny.

Sdílení tepla mezi pevnou stěnou a tekutinou proudící podél této stěny je v podstatě velmi složitý pochod, poněvadž sdílení tepla je přitom značně ovlivňováno hydrodynamickými ději.

Při přestupu tepla z pevné stěny do tekutiny nebo obráceně je účelné zjednodušeně předpokládat rovnoměrné rozložení teploty v tekutině, i když je skutečnost složitější, (obr.6.4).



Obr.6.4. Přestup tepla z pevné stěny do tekutiny a z tekutiny do pevné stěny

Pro popsání přestupů tepla použijeme zákona odvozeného *Newtonem* a vyjádřeného vztahem

$$Q = \alpha S(t_k - t_s) \text{ [W] -ochlazování} \quad (6.12.)$$

$$Q = \alpha S(t_s - t_k) \text{ [W] -ohřívání,} \quad (6.13.)$$

kde t_k značí střední teplotu tekutiny a t_s teplotu stěny.

Velikostí součinitele přestupu tepla α se určují podmínky sdílení tepla z tekutiny na povrch tuhého tělesa nebo naopak.

Součinitel přestupu tepla α závisí na vlastnostech tekutiny, jejím pohybovém stavu, na tvaru povrchu tělesa a nezávisí na materiálu stěn, ze kterých se teplo sdílí. Přestup tepla tedy závisí na mnoha činitelích.

Výzkum ukázal, že součinitel přestupu tepla je složitou funkcí většího počtu proměnných určujících celý pochod a majících vliv na množství sdíleného tepla:

$$\alpha = f(w, t_s, t_k, \lambda, c_p, \rho, \mu, \dots) \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{]}, \quad (6.14)$$

kde značí w rychlost kapaliny [m s^{-1}], t_s teplotu stěny [$^{\circ}\text{C}$], t_k střední teplotu tekutiny [$^{\circ}\text{C}$], λ tepelnou vodivost [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$], c_p měrné teplo [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$], ρ měrnou hmotnost [kg m^{-3}], μ dynamickou viskozitu [Ns m^{-1}].

Zjišťování tvaru složitěho vztahu α provádí se v praxi, nejčastěji experimentálně. Přitom, vzhledem k velkému počtu veličin zde rozhodujících, je zvláště výhodně použít k řešení tohoto problému teorii podobnosti, která používá bezrozměrné proměnné (*Reynoldsovo číslo* $\text{Re} = wL/\nu$, *Pécletovo číslo* $\text{Pe} = wL/a$, *Nusseltovo číslo* $\text{Nu} = \alpha L/\lambda$).

(w = rychlost, L = délka, ν = viskozita, a = vodivost)

Proudící tekutina vytváří na pevné stěně mezní vrstvu, ve které se rychlost proudění snižuje k nulové hodnotě, takže se v ní teplo sdílí jen vedením, pro měrný tepelný tok lze psát

$$q = \alpha \cdot (t_s - t_k) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (6.15.)$$

V rovnici značí n směr normály ke stěně a $-(\partial t / \partial n)$ teplotní spád. Tento vztah má zvláštní význam pro analytický výpočet součinitele přestupu tepla α z teplotního pole.

Předpokládáme-li, že klidná mezní vrstva má konečnou tloušťku δ a teplotní rozdíl je $(t_s - t_k)$, pak dostaneme

$$q_r = \alpha \cdot (t_s - t_k) = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_s - t_k), \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (6.16.)$$

Z čehož $\lambda/\alpha = \delta$

V této mezní vrstvě o tloušťce δ se sdílí teplo pouze vedením (problém měření (a výpočtu) δ z mezní vrstvy).

6.3. Sdílení tepla sáláním

Význam sálání při sdílení tepla nebývá vždy dostatečně oceňován. Množství vyzařené energie stoupá velmi značně s absolutní teplotou tělesa, takže při vyšších teplotách se podíl sálání na celkovém sdílení tepla podstatně zvětšuje.

Další úvahy platí pro tzv. *tepelné záření*, při němž vyzařovaná energie vzniká jen z tepelné energie sálajícího tělesa a absorpcí přijímaná energie se opět mění v teplo. Energie tepelného záření je podobně jako jiné druhy záření přenášena elektromagnetickými vlnami, které se šíří

rychlostí světla, ve vakuu rychlostí c asi 300×10^6 [m . s⁻¹]. Přitom $c = v\lambda$, kde v je kmitočet za s a λ délka vlny v m . Energie záření má kromě vlnového také částicový charakter a je přenášena pohybujícími se částicemi, tzv. fotony. Tepelné záření tvoří jen část elektromagnetického záření, k němuž patří také světelné paprsky, které se liší jen délkou vlny. Jako tepelné záření označujeme obvykle (ne zcela přesně) rozsah infračerveného záření s délkou vlny asi od 0,8 μm do 360 μm . Přehled o spektru elektromagnetického záření je patrný z těchto rozsahů: ultrafialové záření 1,36 $\cdot 10^{-2}$ μm až 0,36 μm , světelné záření 0,36 μm až 0,78 μm , infračervené tepelné záření 0,78 μm až 360 μm , elektrické vlnění 200 μm a větší. Principiálně není žádného rozdílu mezi tepelným a jiným elektromagnetickým zářením, každé záření je spojeno s transportem energie. Také pro tepelné záření platí optické zákony přímočarého šíření rychlosti světla, odrazu a lomu. Šíření zářivé energie nepředpokládá existenci zprostředkující látky. Tím se zásadně rozlišuje od způsobů sdílení tepla vedením a prouděním.

Vznik tepelného záření z tepelné energie označujeme jako *emisi*, přeměnu záření v tepelnou energii jako *absorpci*. Tato přeměna záření v teplo a obráceně je vázána na hmotnost tělesa. Vyzářená energie závisí jen na vlastnostech zářiče, nikoliv na jeho okolí. Vedle teploty zářiče jsou pro emisi důležité také vlastnosti povrchové plochy.

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

Za jednotku sálavé energie se volí 1 joule. Energie Q_τ , kterou vysálá těleso za jednotku času se udává ve [W]. Množství energie jež vysálá povrchová jednotka tělesa v časové jednotce, nazýváme sálavostí tělesa a označujeme písmenem e_τ , takže je

$$e_\tau = Q_\tau / S \quad [Wm^{-2}] \quad (6.17.)$$

Je-li Q_τ množství tepla dopadající na těleso, Q_{τ_A} část tohoto tepla pohlcená tělesem, Q_{τ_R} část tělesem odražená a Q_{τ_D} část, jež projde tělesem (obr.6.5) pak platí:

$$Q_{\tau_A} + Q_{\tau_R} + Q_{\tau_D} = Q_\tau. \quad [W] \quad (6.18.)$$

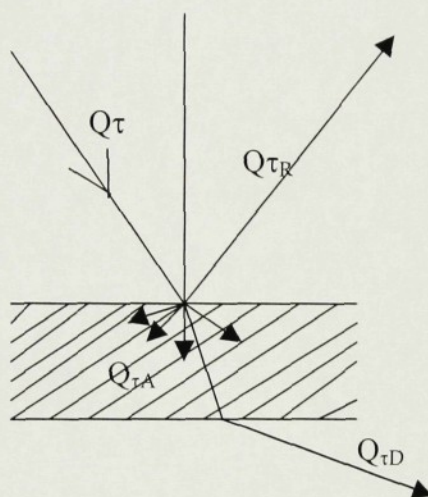
Dělíme tuto rovnici množstvím tepla Q_τ , dostaneme

$$Q_{\tau A} / Q_\tau + Q_{\tau R} / Q_\tau + Q_{\tau D} / Q_\tau = 1 \quad (6.19)$$

První člen je *poměrná tepelná pohltivost* tělesa A nebo součinitel relativní absorpce, druhý člen je *poměrná tepelná odrazivost* R a třetí člen je *poměrná průteplivost* D .

Platí proto:

$$A + R + D = 1 \quad (6.20)$$



Obr.6.5. Schéma rozdělení dopadající zářivé energie

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 nazýváme dokonale *černým*.

Je-li $R=1$, pak $A=0$ a $D=0$ celá dopadající energie se odráží, přitom je-li odraz pravidelný (sleduje zákony geometrické optiky) je takové těleso zrcadlové (leštěný kov), je-li odraz rozptýlený, difúzní, nazýváme takové *těleso bílé*.

Je-li $D=1$, pak $A=0$, $R=0$, celá dopadající energie prochází tělesem. Taková tělesa se nazývají dokonale *průteplivá*, či diatermní.

Dokonale černých, bílých a diatermních těles v přírodě není. Hodnoty poměrné pohltivosti, odrazivosti a průteplivosti A , R , D závisí na vlastnostech tělesa, jeho teplotě a délce vln, které těleso vyzařuje.

Sdílení tepla sáláním popisují zákony jako Kichhoffův, Planckův, Stefanův-Boltzmannův, Lambertův,...[5].

6.3.1. Sdílení tepla zářením mezi černými tělesy

Uvažujeme dvě dokonale černá tělesa 1 a 2 s plochami S_1 a S_2 a teplotami T_1 a T_2 . Z množství vyzářené energie plochou S_1 dopadne obecně jen část na plochu S_2 , právě tak dopadne jen část z celkově vyzářené energie z plochy S_2 na plochu S_1 .

Z plochy S_1 se sdílí ploše S_2 tepelný tok

$$Q_{r1} = \varphi_{12} \cdot S_1 \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \quad [\text{W}] \quad (6.21)$$

a stejně tak z plochy S_2 ploše S_1

$$Q_{r2} = \varphi_{21} \cdot S_2 \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \quad [\text{W}] \quad (6.22)$$

V rovnicích značí φ_{12} podíl z vysálaného množství tepla plochou S_1 , které dopadlo na plochu S_2 a stejně tak φ_{21} podíl z množství tepla vysálaného plochou S_2 , které dopadlo na plochu S_1 . Jsou tedy součinitele φ_{12} , φ_{21} vždy číselně ≤ 1 . Označujeme je jako *součinitele osálení*. První index je vždy vztažen na sálající plochu, druhý index na plochu, která sálání přijímá.

Množství tepla, které v časové jednotce vysílá černá plocha S_1 na plochu S_2 přímým zářením, je dáno rozdílem množství Q_{r1} a Q_{r2} .

$$Q_{r12} = Q_{r1} - Q_{r2} = c_0 \cdot \left[\varphi_{12} S_1 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \varphi_{21} S_2 \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad [\text{W}] \quad (6.23.)$$

V mezním případě, kdy $T_1 = T_2$ je také $Q_{r12} = 0$, z toho vyplývá, že musí platit

$$\varphi_{12} S_1 = \varphi_{21} S_2. \quad (6.24)$$

Při přímém záření platí tedy pro množství tepla sdíleného sáláním mezi černými plochami S_1 a S_2 vztah

$$Q_{r12} = \varphi_{12} S_1 c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \varphi_{21} S_2 c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]. \quad [\text{W}] \quad (6.25)$$

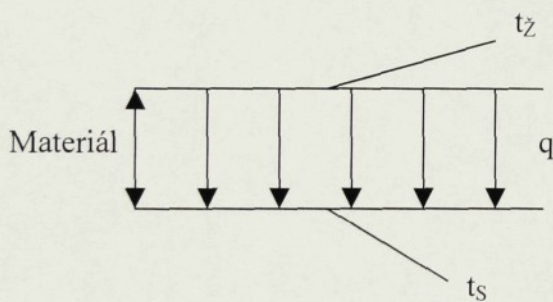
6.4. Sdílení tepla při žehlení

Žehlení je příkladem prostupu. Jedná se o komplex všech druhů sdílení tepla, i když určitý druh je zastoupen více (vedení), jiný méně (proudění) a některý zanedbatelně (sálání).

Jedná se o pole nestacionární, kdy teploty se s časem mění.

Při tepelném zpracování, když se žehlička nepohybuje a teplota dosahuje ustálené teploty můžeme tento děj aproximovat na příkladu prostupu tepla nekonečnou deskou, která je na obou stranách udržována na konstantních teplotách.

Z jedné strany je ohřívána žehličkou – (konstantní teplota t_z) a z druhé strany je ohřívána žehlicím stolem (konstantní teplota t_s). Ten je vyhříván.



Obr.6.6. Sdílení tepla při žehlení na zjednodušeném příkladě nekonečné desky

Sdílení tepla je v tomto případě pouze vedením.

Při vlhkotepelném zpracování můžeme tento děj aproximovat na stejném případě. Sdílení tepla je zde však vedením a prouděním. Konvekce je způsobena prostupem páry.

U vlhkotepelného zpracování v neustáleném stavu zvětšuje tepelný tok kondenzační teplo. Následkem sorpce je uvolněné teplo vyšší a náběh teploty je rychlejší.

V ustáleném stavu při prostupu páry se textilie nahřívá a nastává botnání vláken, zvětšující tepelnou vodivost a celkový tepelný tok.

Při pohybu žehličky má vliv také kondenzace páry, intenzita ohřevu následkem páry v materiálu a jevy sorpčních a termických vlastností materiálu.

7. 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 o 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. Přejít 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 .

7.1. Odpařování, var kapaliny

Při přeměně kapaliny v páru 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 svou kinetickou energii překonají potenciální energii 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 či 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, při níž se pára tvoří nejen na jejím povrchu, ale i na stěnách nádoby a uvnitř kapaliny, nastává *var kapaliny*. [5].

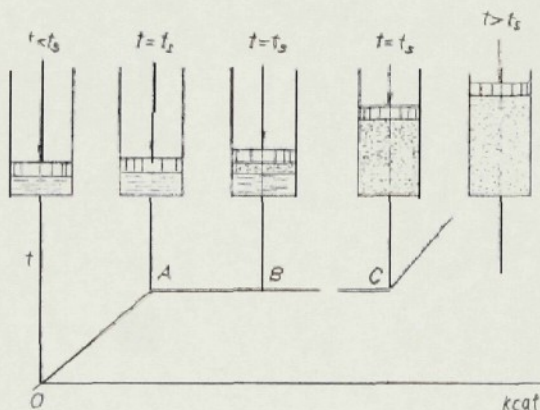
7.2. Var kapaliny

Dosáhne-li kapalina při daném tlaku teploty varu, její teplota se přiváděním dalšího tepla více nezvyšuje. Kapalina se pak vypařuje při téže teplotě a téměř 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 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). Poněvadž se toto teplo spotřebuje ke změně skupenství, nazývá se též *teplo skupenské* nebo *teplo výparné* (je dáno rozdílem entalpií $l_0 = i'' - i'$ [J kg^{-1}]), které definujeme jako množství tepla potřebné k odpaření 1 kg kapaliny zahřáté na teplotu varu při daném tlaku [5].

7.3. Stavy par

Na obr.7.1. je znázorněn průběh teploty kapaliny a páry v závislosti na přivedeném teple.



Obr.7.1. Stavy par

Vypařování probíhá při $t_s = \text{konst.}$ a $p_s = \text{konst.}$ Mezi A, B. Teplota páry po úplném vypaření stoupá rychleji než u vody, poněvadž měrné teplo páry je menší než měrné teplo vody (tepelná kapacita vody).

V okamžiku, kdy začíná 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*. Ve bodě C, v němž vypařování právě skončilo, v nádobě se nachází pouze pára o měrném objemu v'' , téže teplotě t_s a příslušném tlaku p_s , jako má sytá voda a mokrá pára. Pára v tomto stavu se nazývá

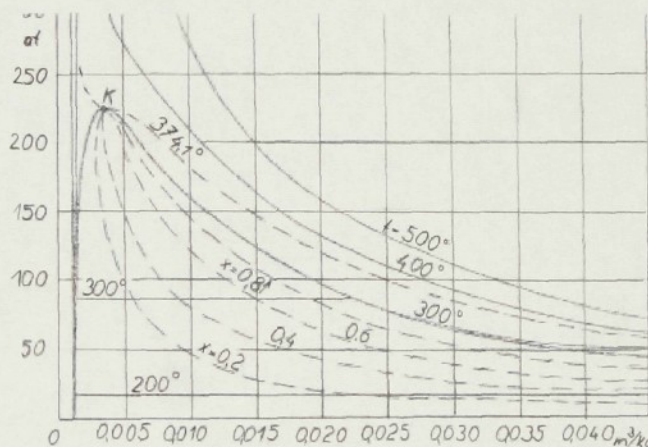
syťá pára. Objemy v' a v'' jsou mezní objemy, které má látka na počátku a na konci vypařování.

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

Zatím co stav syťé 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 různým stupněm přehřátí. Čím více přehříváme páru při nepříliš vysokých tlacích, tím více se svými vlastnostmi blíží reálnému, resp. ideálnímu plynu [5].

7.4. Mezní křivky vodní páry

Vynášíme-li v diagramu o souřadnicích p a v (obr.7.2.) stavy, při nichž začíná vypařování (body varu) při různých tlacích, a stavy, při nichž vypařování končí, obdržíme tzv. *mezní křivky*.



Obr.7.2. Diagram vodní páry v souřadnicích p - v

U vodní páry sledujeme zpravidla děj z fáze kapalně do fáze plynné. Var vody a odpařování 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 syťé vody v' až do kritického bodu K , v němž má maximální hodnotu. Teplota v bodě K je nejvyšší teplota, které může voda v kapalně fázi dosáhnout. Nazývá se *kritická teplota* a její hodnota je $t_k = 374,15^\circ\text{C}$.

Spojnice bodů varů nazýváme *levou nebo dolní mezní křivkou*. Stavy na této mezní křivce představují vodu v sytém stavu neobsahující žádné 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 ($1''$) a vznikla sytá pára má objem v'' , tvoří druhou větev mezní křivky, zvanou *pravá či horní mezní křivka*.

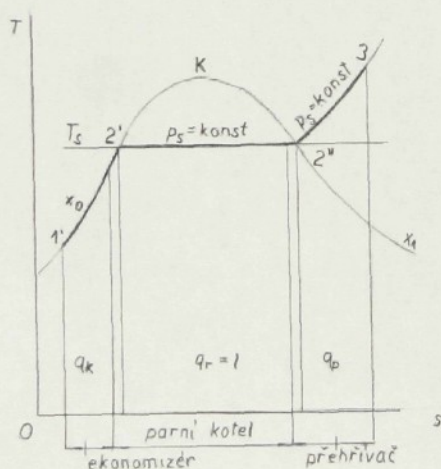
Je to spojnice bodů stavu syté páry, proto se tato mezní křivka nazývá též *mez sytosti*. Na této křivce je všechna voda vypařena, množství páry $x = 1$. Tuto mezní křivku označujeme proto $x = 1$ nebo x_1 , popřípadě x'' . Vzhledem k tomu, že na této mezní křivce při opačném pochodu začíná zkapalnění páry, nazývá se též (u reálných plynů) *křivkou kondenzační*.

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) $v_k = v_k = v_k = 0,00325 \text{ [m}^3/\text{kg]}$.

V kritickém bodě má sytá pára nejvyšší možný tlak, tzv. *kritický tlak* $p_k = 221,29 \text{ baru} = 225,65 \text{ [kp/cm}^2]$. Vyšší tlak než kritický může mít pouze pára přehřátá.

7.5. Průběh výroby páry v T-s diagramu

V T-s diagramu (obr.7.3.) izobary v kapalině probíhají těsně nad levou mezní křivkou, takže je prakticky považujeme za shodné s mezní křivkou.



Obr.7.3. Průběh výroby páry v T-s diagramu

Ohřívání vody probíhá mezi body $1'2'$. Vypařování, stejně jako v $p-v$ diagramu, 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 (množství tepla potřebné k ohřátí jednoho kilogramu vody z dané počáteční teploty t_1 na bod varu t_s při konstantním tlaku p_s). *Výparné teplo* q_r (množství tepla potřebné k odpaření 1 kg vody při daném tlaku) je dáno plochou pod úsečkou 2'2'' a *přehřívací teplo* pod křivkou 2''3.

Výroba páry – nejčastěji se jedná o izobarický děj, $p = k$.

Kapalinové teplo je množství tepla potřebné k ohřátí jednoho kilogramu vody z dané počáteční teploty t_1 na bod varu t_s při konstantním tlaku p_s ,

$$q_k = \int_{t_1}^{t_s} c_{pk} dt \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (7.1.)$$

c_{pk} je měrné teplo kapaliny při konstantním tlaku.

V mezích 0-100 °C můžeme považovat měrné teplo vody za konstantní $c_{pk} = 4186,8 \text{ [J/kg deg]} = 1 \text{ [kcal/kg deg]}$. Pro vyšší teploty vody při vyšších tlacích se určuje měrné teplo c_{vk} pomocí empirických vzorců [5].

Teplo přiváděné vodě se spotřebuje z největší části ke zvýšení její vnitřní energie a z menší části na vnější absolutní práci, kterou koná následkem změny svého objemu.

Podle 1. zákona termodynamiky je

$$q_k = u' - u_0' + p[v' - v_0'] \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (7.2.)$$

kde index nula přísluší hodnotám při $t = 0^\circ\text{C}$.

Měrný objem vody se prakticky do tlaku 30 barů nemění ($v' = v_0'$), takže člen $p(v' - v_0') = 0$.

Pak pro $c_{vk} = c_{pk}$

$$q_k = u' - u_0' = c_{pk}(t - t_0) \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (7.3.)$$

při $t_0 = 0^\circ\text{C}$ je

$$q_k = c_{pk} t \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (7.4.)$$

pro $c_{pk} = 1 \text{ [kcal/kg deg]}$

$$q_k = (\text{čísle ln } e)t \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (7.5.)$$

7.6. Mokrý pára

V oblasti mezi oběma mezními křivkami je směs kapalně 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 hmotnosti syté páry obsažené v 1 kg mokré páry k 1 kg mokré páry.

$$x = \frac{m_{sp}}{m_{mp}} = \frac{m_{sp}}{m_{sp} + m_{sk}} \quad (7.6.)$$

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 veličin na mezních křivkách odečítáme v parních tabulkách nebo parních diagramech [5].

Mokrá pára – var, kondenzace (izobaricko-izotermický děj).

Výparné teplo (kondenzační teplo)

$$l = i'' - i' \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad \text{izobarický děj} \quad (7.7)$$

nebo z II. zákona Termodynamiky

$$l = T(s'' - s') \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad \text{izotermický děj.} \quad (7.8.)$$

7.7. Sytá pára

Stav syté páry je určen jednou termickou veličinou stavu, tlakem nebo teplotou a pravou mezní křivkou. Tepelné 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 [5].

7.8. 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 syté páry závisí pouze na tlaku, na objemu nezávisí. Teplota přehřáté páry závisí na tlaku i objemu.

Pojem *přehřátí* je třeba chápat jako vzdálenost stavu páry od meze sytosti, nikoliv podle absolutní výšky teploty. Sytá i mokrá pára mohou mít vyšší teplotu (při vyšším tlaku) než přehřátá pára (při nižším tlaku). Čím odlišnější je teplota přehřáté páry od teploty t_s syté páry při témž tlaku, tím více se pára blíží svými vlastnostmi plynům [5].

7.9. Tepelné diagramy vodní páry

Tepelné diagramy jsou grafickým znázorněním tabulkových hodnot stavů páry ve vhodně zvolených souřadnicích. Za souřadnice mohou být zvoleny kterékoliv dvě z tepelných 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.

Hodnoty veličin v parních tabulkách jsou vztaženy na jednotku hmotnosti 1 kg , takže veličiny uvedené v tabulkách a vynesené v diagramech mají charakter měrných veličin.

Různé látky mají rozdílné průběhy na sobě navzájem závislých 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*.

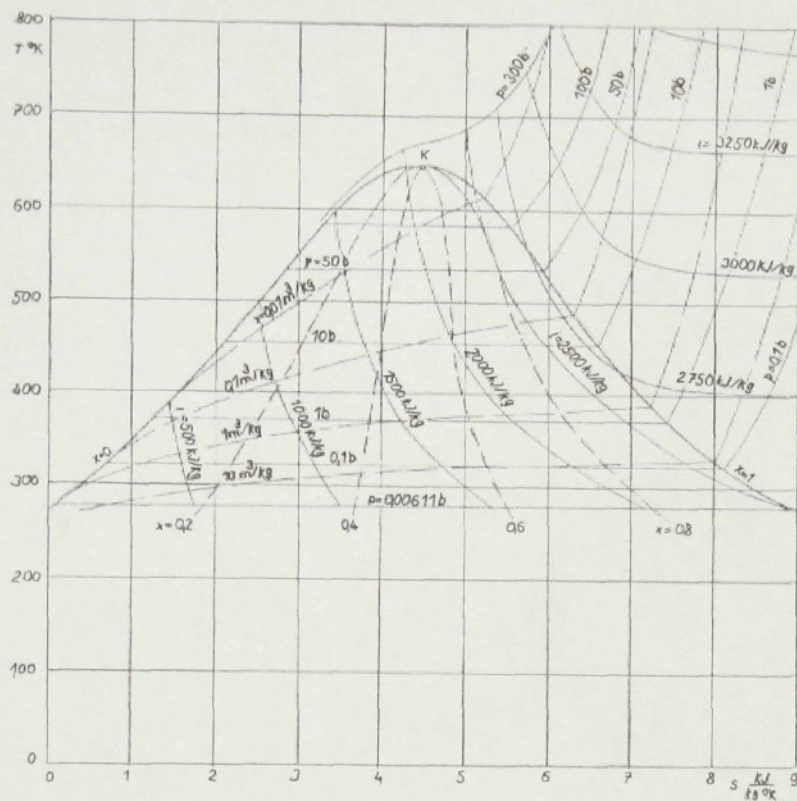
7.9.1. Tepelné diagramy vodní páry

Souřadnicemi tepelného entropického diagramu jsou absolutní teplota T [$^{\circ}\text{K}$] a entropie s [$\text{J/kg } ^{\circ}\text{K}$]. V diagramu jsou mezní křivky oddělující oblasti vody, mokré a přehřáté páry. Znázorněny jsou zpravidla takové oblasti stavů vodní páry, které přicházejí v úvahu při řešení technických úloh (obr.7.4.).

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 mají jednotlivé konstantní veličiny následující průběh:

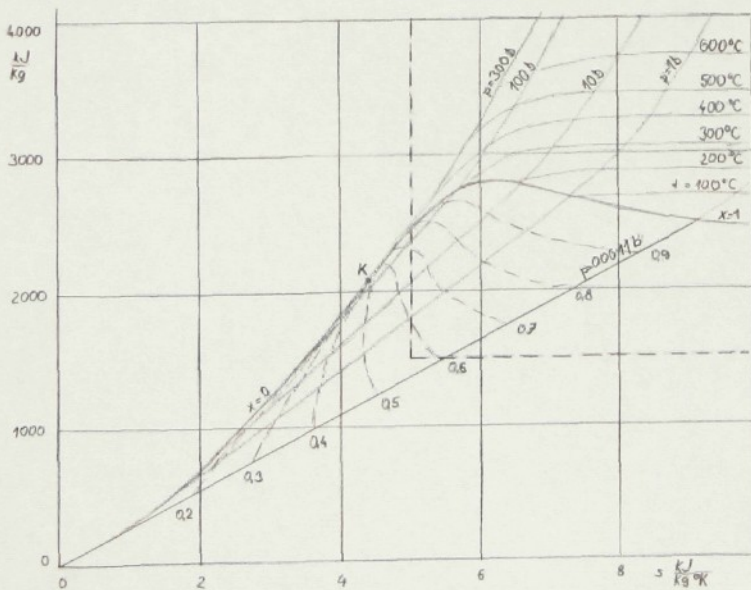
- a, *Izoterm*y ve všech oblastech jsou přímky rovnoběžné s osou entropie
- b, *Izobary* v oblasti kapalně fáze vody jsou prakticky totožné s levou mezní křivkou s výjimkou tlaků blízkých kritickému tlaku
- c, *Izochory* v mokré páře jsou křivky s klesající strmostí ve směru rostoucí entropie, respektive ve směru rostoucí suchosti
- d, *Adiabat*y (vratné izoentropie) ve všech oblastech jsou přímky kolmé k ose entropie.



Obr.7.4. T-s diagram vodní páry

7.9.2. Mollerův i-s diagram vodní páry

Tepelný diagram v souřadnicích i , s (obr.7.5.) navrhl a r. 1906 vydal Mollier, podle něhož se *i-s diagram* nazývá.



Obr.7.5. i-s diagram vodní páry

V souřadnicích i - s mohou být graficky zobrazeny vlastnosti i jiných látek, než je vodní pára. Mollier též navrhl dnes všeobecně užívaná označení veličin v jejich významných stavech. Veličiny při teplotě $t_o = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou označeny indexem nula (v_o, u_o, t_o) na levé mezní křivce s jednou čárkou (v', t', 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.

Průběhy jednotlivých konstantních termických veličin a způsob užití i - s diagramu jsou jiné, než jak bylo popsáno u T - s diagramu [5].

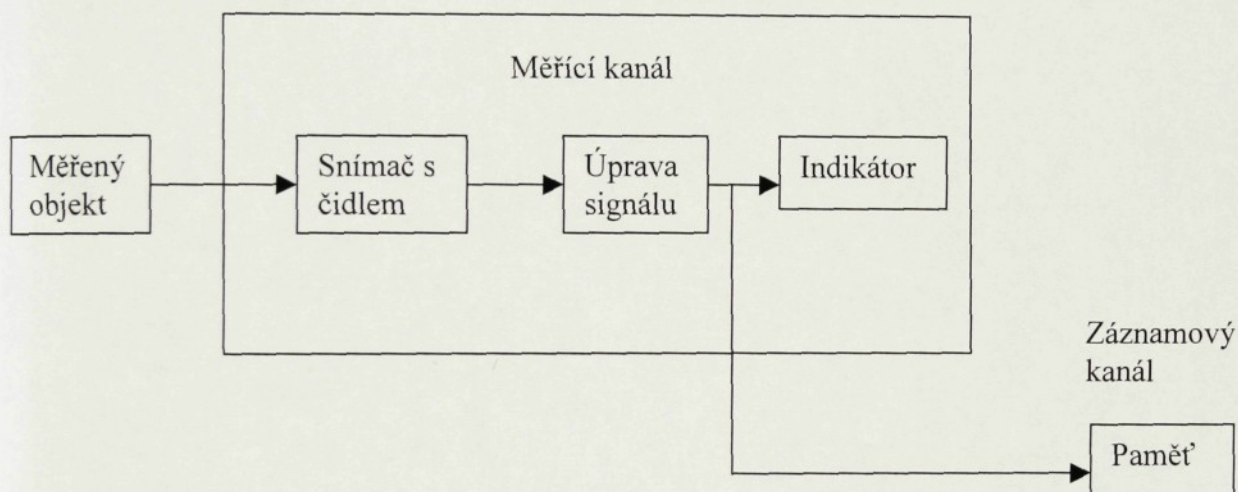
Konstantní veličiny v i - s diagramu mají tyto průběhy:

- a, *Izotermy* jsou v oblasti mokré páry přímky totožné s příslušnými izobarami
- b, *Izobary* v oblasti kapaliny se kryjí prakticky s levou mezní křivkou
- c, *Izochory* v souřadnicích i - s jsou v oblasti mokré i přehřáté páry exponenciální křivky se stoupající strmostí
- d, *Adiabaty* (vratné izoentropy) jsou v i - s diagramu ve všech oblastech přímky kolmé k ose entropie.

8. Snímače teploty

Měření teploty patří mezi častá a důležitá měření v různých oborech. Některé fyzikální procesy jsou doprovázeny zcela určitou teplotou, a proto je měření teploty důležité pro posouzení, zda daný proces probíhá v předepsaných nebo předpokládaných mezích. Pro praxi bylo vyvinuto mnoho snímačů teploty, vhodných pro měření v určitém oboru teplot, v určitém prostředí, pracujících s určitou spolehlivostí apod.

Při měření teploty jako neelektrické veličiny je možné použít uspořádání měřicí soustavy podle obrázku 8.1 [3].



Obr.8.1. Měřicí soustava

Snímač (senzor) je prvek pro sběr informací. Jeho vnitřní částí je čidlo, které převádí vstupní neelektrický signál od měřeného objektu na signál výstupní - elektrický, mechanický, světelný apod.

Blok pro úpravu signálu slouží na úpravu signálu vystupujícího ze snímače na potřebný tvar pro výstupní zařízení. V případě, že tento signál je elektrický, tento blok může obsahovat zesilovače, generátory, filtry apod.

Indikátor zpracovává upravený signál a vyhodnocuje ho. Údaj indikátoru o velikosti měřené veličiny může být analogový nebo číslicový. Paralelně s indikátorem je zapojená *paměť*, která zajišťuje uchování informací po určitou dobu. Bývá realizována různými druhy zapisovačů a pamětí.

Snímače teploty je možné rozdělit podle způsobu měření teploty a fyzikálního principu rozdělit na:

DOTYKOVÉ

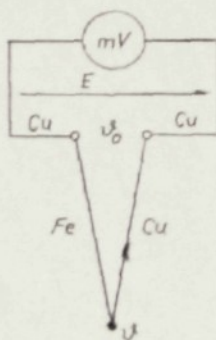
- dilatační (využívají teplotní roztažnost látek)
- termoelektrické (termoelektrický jev)
- odporové (teplotně závislý odpor vodičů a polovodičů)
- rezonanční (teplotně závislý rezonanční kmitočet krystalu)
- speciální (teplotně závislý index lomu kapalných krystalů, bod topení, luminiscence a změna barvy apod.)

BEZDOTYKOVÉ

- pyrometry a zobrazovací metody (teplotní závislost tepelného záření- termoelektrický jev, odpor polovodičů, pyroelektrický jev)

8.1. Termoelektrické snímače

Pevným spojením dvou různých kovů vzniká jednoduchý článek, umožňující měřit teplotu na termoelektrickém principu. Příklad spojení dvou drátů – železného a měděného je na obr.8.2.



Obr.8.2. Měření teploty termoelektrickým termočlánkem

Dolní konce obou drátů jsou svařeny, horní konce pak připojeny na citlivý milivoltmetr.

Je-li dolní konec termoelektrického článku vystaven působení teploty v , objeví se na milivoltmetru termoelektrické napětí E úměrné teplotě. V určitém rozmezí teplot je tato závislost lineární a platí

$$E = a \cdot v \text{ [V, } V/^{\circ}\text{C, } ^{\circ}\text{C]}, \quad (8.1.)$$

kde E je termoelektrické napětí

a konstanta článku

v teplota místa styku.

Připojením měřicího přístroje na termoelektrický článek vzniká však určitá komplikace. Použijeme-li k připojení měřidla měděné vodiče, dostáváme na pravém horním článku spojení $Cu-Cu$, avšak na levém horním konci spojení $Cu-Fe$, což je vlastně další (nežádoucí) termoelektrický článek. Je-li teplota prostředí, ve kterém jsou horní konce článku v_0 , přidává termoelektrický článek $Cu-Fe$ své termoelektrické napětí úměrné teplotě v_0 rovněž do obvodu. Protože obě napětí ($Cu-Fe$ a $Cu-Cu$) působí proti sobě, dostaneme na svorkách měřidla napětí

$$E = av - av_0 = a(v - v_0). \quad [V] \quad (8.2.)$$

Platí proto rovnice ($E = a \cdot v$) jen pro případ, že teplota *srovnávacího konce* (dříve označovaný jako studený konec) je nulová. Dolní konec termoelektrického článku se nazývá *měrný* (dříve tepelný konec) a umísťuje se vždy do prostředí, jehož teplotu zjišťujeme.

Z rovnice ($E = av - av_0 = a(v - v_0)$) vyplývá, že měřicí přístroje budou udávat teplotu měřeného prostředí v přesně jenom tehdy, bude-li teplota srovnávacích konců v_0 nulová nebo alespoň stálá a známá, aby bylo možné ji od teploty v odečíst.

Ke kompenzaci popř. eliminaci napětí srovnávacích konců slouží tyto metody:

- kompenzační vedení
- kompenzace můstková
- uložení srovnávacích konců do termostatu
- dvojkovová kompenzace měřicího přístroje

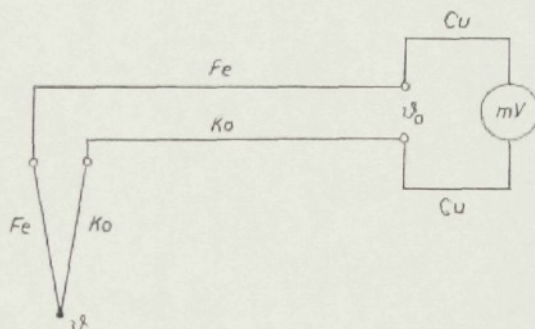
8.1.1. Kompenzační vedení

Srovnávací konce termoelektrického článku jsou v blízkosti prostředí, jehož teplota se měří a jsou proto často vystaveny značné tepelné expozici. Jejich teplota tak může být dosti značná a nestálá. Proto je výhodné prodloužit článek dvojicí drátu, z téhož materiálu, jako je termoelektrický článek. Srovnávací konce se tak přenesou na libovolné místo se stálou nebo jen málo proměnnou teplotou.

Na obr.8.3. je zapojení termoelektrického článku s kompenzačním vedením. Termoelektrický článek $Fe-Ko$ je připojen na měřicí přístroj dálkovým vedením ze železa a konstantanu, takže

na svorkách termoelektrického článku vzniká spojení $Fe-Fe$ a $Ko-Ko$, které nevytváří žádné termoelektrické napětí. Srovnávací konce s teplotou ν_o se tak objeví až v blízkosti měřicího přístroje nebo přímo na jeho svorkách. Dva termoelektrické články, které zde vznikly, totiž $Fe-Cu$ a $Ko-Cu$, dávají při teplotě ν_o takové napětí jako samotné spojení $Fe-Ko$, neboť na vlastnostech třetího kovu (v tomto případě mědi) nezáleží. Je-li teplota srovnávacích konců stálá, např. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ukazuje měřicí přístroj teplotu $\nu-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a proto stačí posunout ručku měřidla o $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (jeho mechanickou nulu).

Název *kompensační vedení* je v praxi vžitý, ačkoli není správný. Použitím tohoto vedení se termoelektrické napětí dané teplotou srovnávacích konců nekompenzuje, pouze se tyto konce oddálí do prostředí s nižší a stálější teplotou [4].

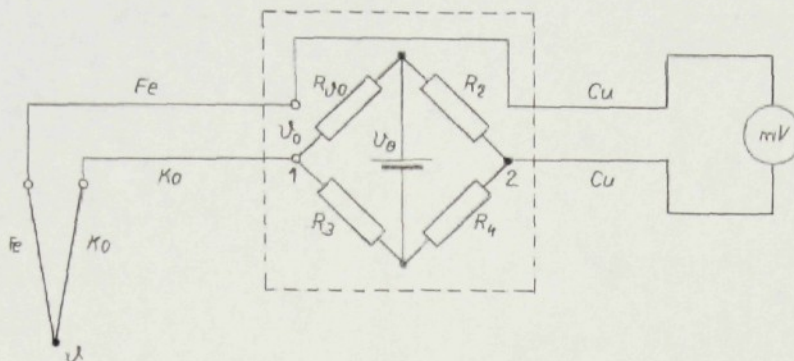


Obr.8.3. Termoelektrický článek s kompenzačním vedením

8.1.2. Kompenzace můstková

Skutečnou kompenzaci vlivu proměnné teploty ν_o na srovnávací konce termoelektrického článku lze provést můstkem podle obr. 8.4. Můstek obsahuje tři teplotně nezávislé odpory R_2 , R_3 , R_4 a teplotně závislý odpor $R\nu_o$. Pro základní teplotu např. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je můstek vyrovnaný a mezi body 1 a 2 není žádné napětí. Zvýší-li se teplota ν_o , zvětší se i odpor teplotně závislého odporu $R\nu_o$, rovnováha můstku se poruší a mezi body 1 a 2 se objeví přídavné napětí.

Protože měřicí přístroj udává napětí $E = a(\nu-\nu_o)$ a s rostoucí teplotou ν_o by se jeho výchylka zmenšovala (bez kompenzace), „přidává“ můstek do obvodu právě takové napětí, aby uvedený pokles nenastal. Milivoltmetr pak správně udává měřenou teplotu ν v rozsahu 0 až $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nevýhodou této kompenzace je potřeba pomocného stejnosměrného zdroje (stabilizovaného) a dále to, že při měření teploty na větším počtu míst musí mít každý termoelektrický článek svou vlastní můstkovou kompenzaci. Termoelektrický článek se připojuje na můstek kompenzačním vedením [4].



Obr.8.4. Termoelektrický článek s můstkovou kompenzací

8.1.3. Uložení srovnávacích konců do termostatu

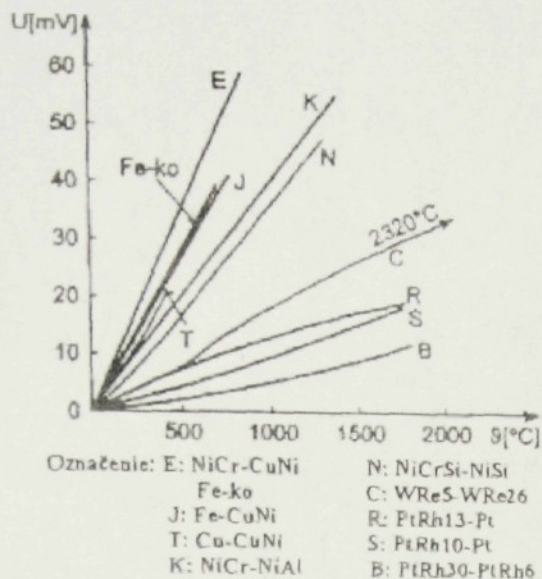
Pomocí většího počtu termoelektrických článků a přepínače měřených míst lze v technických provozech zjišťovat teplotu na několika místech. Při použití většího počtu termoelektrických článků je výhodné stabilizovat teplotu jejich srovnávacích konců na jediném místě - v tzv. termostatu [4].

8.1.4. Dvojkovová kompenzace měřícího přístroje

Jsou-li srovnávací konce termoelektrického článku přímo na svorkách měřícího přístroje, lze kompenzovat vliv proměnné teploty U_0 mechanicky, natáčením ručky měřícího přístroje. K tomu slouží dvojkovová (bimetalická) spirála, která samočinně přestavuje mechanickou nulu přístroje podle změny teploty U_0 . Podmínkou je, aby teplota dvojkovové spirály a srovnávacích konců byla shodná. Takto se provádí kompenzace hlavně u leteckých přístrojů[4].

8.2. Typy termočlánků

Podle kombinace kovů ve větvích termočlánku (čidla) existuje více typů termočlánků určených pro různé teplotní rozsahy. Typy vyráběných termočlánků a jejich teplotní charakteristiky jsou na obr.8.5 [3].



Obr.8.5. Teplotní charakteristiky vybraných typů termočlánků

8.3. Chyby termoelektrických snímačů

1. *Chyba měřicího spoje* – závisí na kvalitě použitého mat. a výrobě spoje. Na přesnost termočlánků působí i stárnutí (uvolňování) vlastních složek odpařováním nebo oxidací) a místní deformace
2. *Chyba srovnávacího spoje* – spoj se udržuje na dohodnuté konstantní teplotě (kap.8.1.1. – 8.1.4.) [3].

9. Experimentální část

9.1. Měření přestupů tepla při ručním žehlení

9.1.1. Charakteristika měření

Cílem experimentu bylo změřit *přestupy tepla* při ručním žehlení. Tzn. zjistit množství tepla, které předá teplejší těleso (žehlička) studenějšímu (oděvní materiál).

Byly měřeny tři druhy materiálů a to:

- 100%ba (bavlna)
- 58%PES 22%vl 20%ln (dále jen směs)
- 97%vl 3%PES (dále jen vlna)

Při žehlení byla použita elektroparní žehlička MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou. Žehlení bylo provedeno u všech vzorků jak tepelné tak i vlhkotepelné. Bylo tak možné ověřit vliv páry na přestup tepla.

U všech měření byly snímány teploty pomocí termočlánků IEC 584, typ K (NiCr-Ni). Jeden termočlánek měřil teplotu mezi žehlicím tělesem a materiálem a zároveň druhý mezi dvěma vrstvami materiálu. Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do paměti měřicího přístroje ALMEMO 2290-8. Následně byly přeneseny do počítače a zpracovány do tabulek a grafů.

9.1.2. Postup měření

Ze tří oděvních materiálů (bavlna, směs, vlna – příloha č.7.) byly nastříhány vzorky o délce 90 mm a šířce 70 mm. Z každého materiálu bylo nastříháno 20 vzorků, 10 pro tepelné a 10 pro vlhkotepelné zpracování.

Při měření byla použita elektroparní žehlička MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou. Povrch žehličky byl ocelovo-nerezový. Nastavená teplota žehličky byla 150°C.

Nejprve byly snímány teploty u tepelného žehlení, pak u vlhkotepelného žehlení.

U každého vzorku byl vytvořen jednoduchý přežehlený záhyb o šířce 20mm. Do přehybu mezi vnitřní plochy vzorku byl vsunutý jeden termočlánek (měřil teplotu t_2), druhý termočlánek (měřil teplotu t_1) byl položený na vrchní straně vzorku, přibližně ve stejném místě jako ten první. Na takto připravený vzorek (s ručním přidržetím termočlánků proti jejich vypadnutí) byla položena vyhřátá žehlička s teflonovou podložkou (obr.9.1.).

Odtud byly snímány teploty obou termočlánků IEC 584, typ K (NiCr-Ni) napojených na měřicí přístroj ALMEMO 2290-8. Měřicí přístroj každé 2s zaznamenával teploty do své paměti. Doba žehlení byla 20s. Po ukončení doby žehlení byly termočlánky odebrány ze vzorku.

9. Experimentální část

9.1. Měření přestupů tepla při ručním žehlení

9.1.1. Charakteristika měření

Cílem experimentu bylo změřit *přestupy tepla* při ručním žehlení. Tzn. zjistit množství tepla, které předá teplejší těleso (žehlička) studenějšímu (oděvní materiál).

Byly měřeny tři druhy materiálů a to:

- 100%ba (bavlna)
- 58%PES 22%vl 20%ln (dále jen směs)
- 97%vl 3%PES (dále jen vlna)

Při žehlení byla použita elektroparní žehlička MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou. Žehlení bylo provedeno u všech vzorků jak tepelné tak i vlhkotepelné. Bylo tak možné ověřit vliv páry na přestup tepla.

U všech měření byly snímány teploty pomocí termočlánků IEC 584, typ K (NiCr-Ni). Jeden termočlánek měřil teplotu mezi žehlicím tělesem a materiálem a zároveň druhý mezi dvěma vrstvami materiálu. Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do paměti měřicího přístroje ALMEMO 2290-8. Následně byly přeneseny do počítače a zpracovány do tabulek a grafů.

9.1.2. Postup měření

Ze tří oděvních materiálů (bavlna, směs, vlna – příloha č.7.) byly nastříhány vzorky o délce 90 mm a šířce 70 mm. Z každého materiálu bylo nastříháno 20 vzorků, 10 pro tepelné a 10 pro vlhkotepelné zpracování.

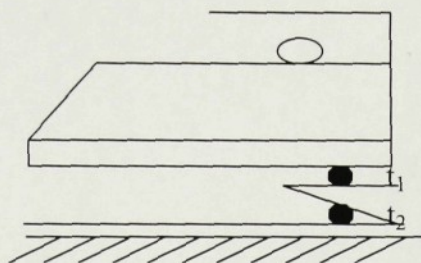
Při měření byla použita elektroparní žehlička MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou. Povrch žehličky byl ocelovo-nerezový. Nastavená teplota žehličky byla 150°C.

Nejprve byly snímány teploty u tepelného žehlení, pak u vlhkotepelného žehlení.

U každého vzorku byl vytvořen jednoduchý přežehlený záhyb o šířce 20mm. Do přehybu mezi vnitřní plochy vzorku byl vsunutý jeden termočlánek (měřil teplotu t_2), druhý termočlánek (měřil teplotu t_1) byl položený na vrchní straně vzorku, přibližně ve stejném místě jako ten první. Na takto připravený vzorek (s ručním přidržením termočlánků proti jejich vypadnutí) byla položena vyhřátá žehlička s teflonovou podložkou (obr.9.1.).

Odtud byly snímány teploty obou termočlánků IEC 584, typ K (NiCr-Ni) napojených na měřicí přístroj ALMEMO 2290-8. Měřicí přístroj každé 2s zaznamenával teploty do své paměti. Doba žehlení byla 20s. Po ukončení doby žehlení byly termočlánky odebrány ze vzorku.

Mezi měřením každého vzorku musel termočlánek vychladnout, aby mohl být použitý pro další měření.



Obr.9.1. Měření přestupu tepla při ručním žehlení

U vlhkotepelného zpracování bylo použito odsávací zařízení žehlícího stolu a to po celou dobu žehlení.

Po skončení všech měření byly naměřené hodnoty - z paměti přístroje ALMEMO 2290-8 převedeny do počítače (příloha 3, tab.3.1 –3.12.). Následně byly zpracovány podle druhu materiálu a způsobu žehlení do tabulek a grafů.

Technické údaje žehličky, termočládků a měřícího přístroje ALMEMA jsou v příloze 6..

9.1.3. Zpracování naměřených dat

U každého vzorku byly naměřeny dvě teploty (t_1 a t_2) ve stejném čase pomocí termočláneků. Teploty byly zaznamenány každé 2s v rozmezí 0-20s (příloha 3, tab.3.1 –3.12).

Z těchto naměřených hodnot u 10 vzorků každého měření byly vypočítány průměrné teploty t_1' a t_2' (tab. 9.1.1. - 9.1.6.). Tyto průměrné teploty byly pak zpracovány graficky (graf 9.1.1. – 9.1.6.).

Průměrné teploty t_1' a t_2' byly vypočítány podle vztahu:

$$t_1' = \frac{\sum_{i=1}^n t_1}{n} \qquad t_2' = \frac{\sum_{i=1}^n t_2}{n}$$

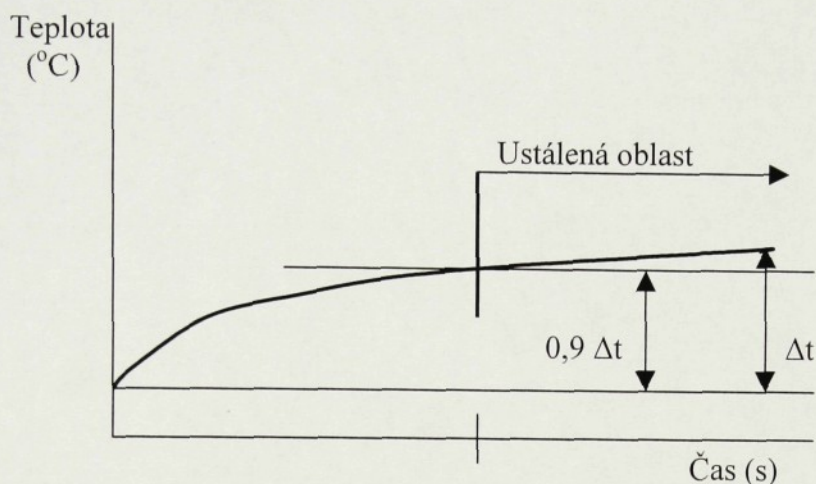
kde:

$\sum_{i=1}^n t_1, \sum_{i=1}^n t_2$ součet teplot 10-ti vzorků zaznamenaných při stejném čase

n.....počet vzorků

Z grafických zobrazení průměrných teplot, u všech druhů materiálů a typu žehlení, bylo nutno vyloučit teploty náběhové.

Oblast ustálení byla určena jako hranice 90% hodnoty Δt (obr.9.2.).



Obr.9.2. Určení ustálené oblasti

Pak byly vypočítány průměrné teploty při ustálení T_1 a T_2 (tab. 9.2.1. – 9.2.6.).

Tyto teploty T_1 a T_2 byly vypočítány ze vztahu:

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^n t'_1}{n}$$

$$T_2 = \frac{\sum_{i=1}^n t'_2}{n}$$

kde:

$\Sigma t'_1, \Sigma t'_2$ součet ustálených teplot, nezapočítávají se teplota náběhové

n počet teplot.

Z těchto průměrných teplot T_1 a T_2 při ustálení byly dále vypočítány rozdíly teplot Δt (tab. 9.2.1. – 9.2.6.).

$$\Delta t = T_1 - T_2$$

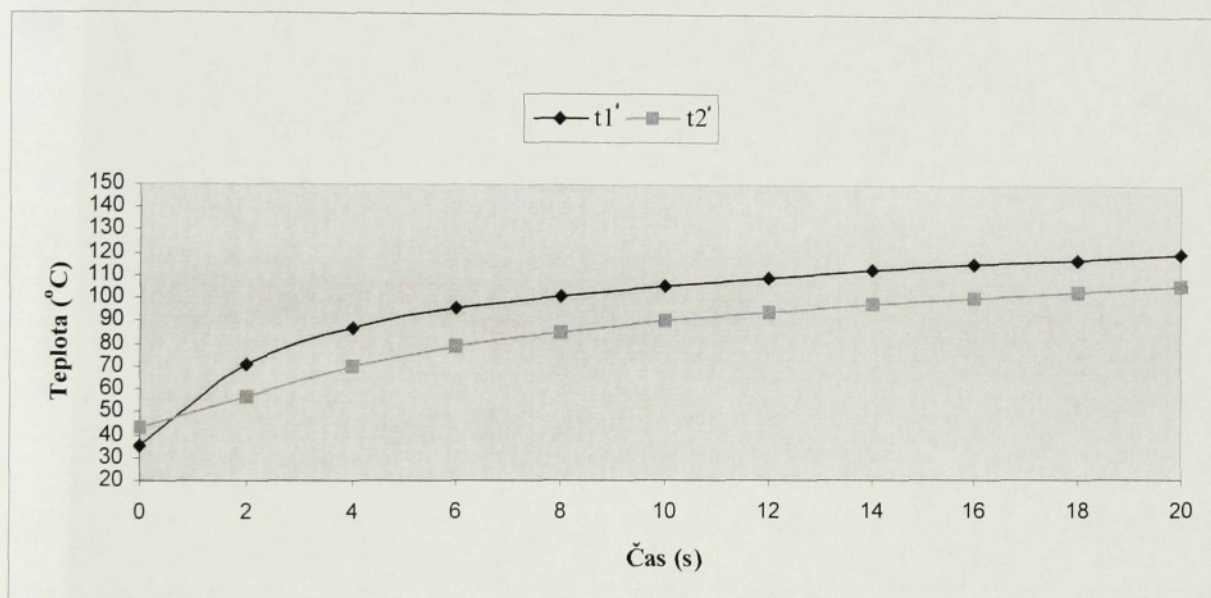
Tyto rozdíly teplot, u každého druhu materiálu a způsobu žehlení, byly potřebné pro výpočet tepelného toku.

100% ba - TZ

Tab.9.1.1. Průměrné teploty t_1' a t_2'

Čas [s]	$t_1' [^{\circ}\text{C}]$	$t_2' [^{\circ}\text{C}]$
0	35,53	43,37
2	70,4	56,2
4	86,74	69,52
6	95,42	78,56
8	101,28	85,07
10	105,68	90,01
12	109,22	93,99
14	112,4	97,5
16	115,07	100,39
18	117,4	102,96
20	119,41	105,18

Graf 9.1.1. Grafické zobrazení průběhu teplot t_1' a t_2'



Rychlost náběhu do ustálení: $v = s / t$ [m/s], $v = 0,0225/14=0,0016$ m/s

Tab.9.2.1. Průměrné teploty T_1 a T_2

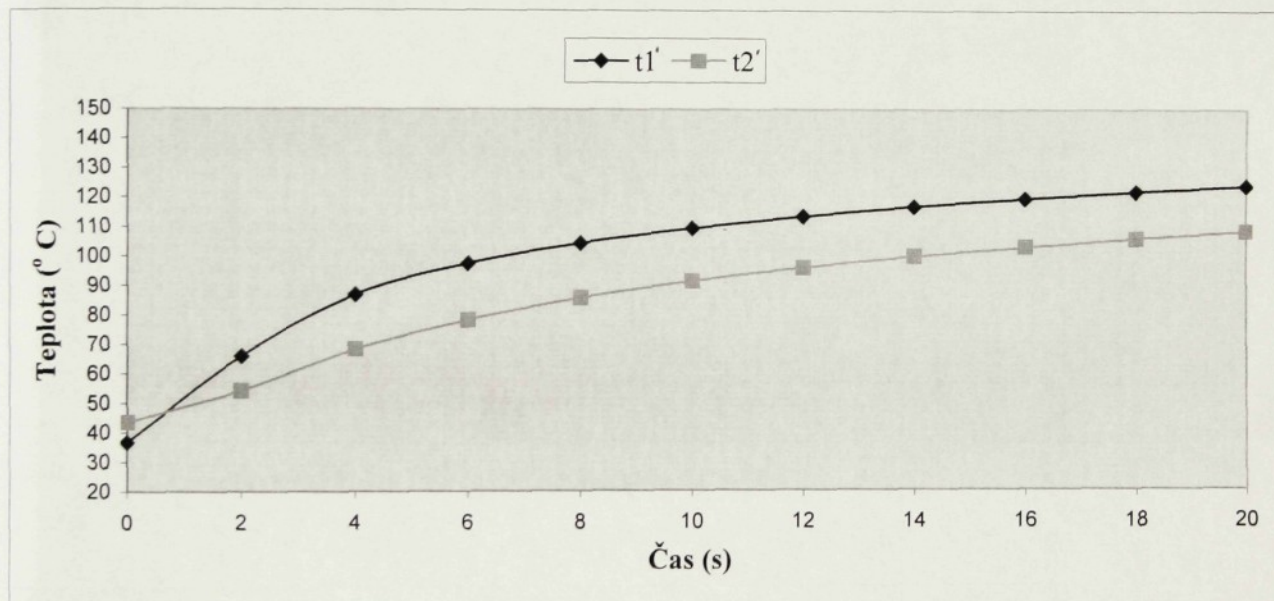
$T_1 = \Sigma t_1' / n$	$T_2 = \Sigma t_2' / n$	
$T_1 = 464,280/4$	$T_2 = 406,030/4$	$\Delta t = T_1 - T_2 = 116,070 - 101,510 = 14,560^{\circ}\text{C}$
$T_1 = 116,070^{\circ}\text{C}$	$T_2 = 101,510^{\circ}\text{C}$	

58% PES, 22% vl, 20% ln - TZ

Tab.9.1.2. Průměrné teploty t_1' a t_2'

Čas [s]	t_1' [°C]	t_2' [°C]
0	36,7	43,55
2	65,99	54,34
4	86,96	68,3
6	97,41	78,22
8	104,31	85,68
10	109,34	91,35
12	113,26	95,86
14	116,56	99,69
16	119,19	102,78
18	121,56	105,59
20	123,6	108,03

Graf 9.1.2. Grafické zobrazení průběhu teplot t_1' a t_2'



Rychlost náběhu do ustálení: $v = s / t$ [m/s], $v = 0,0292/12=0,0024$ m/s

Tab.9.2.2. Průměrné teploty T_1 a T_2

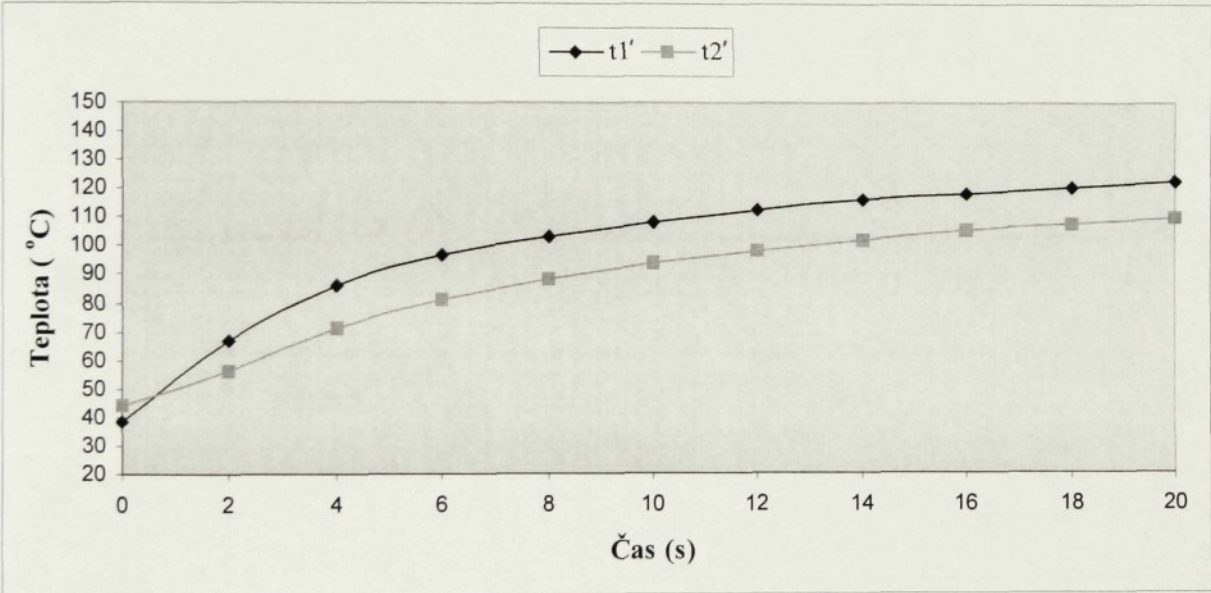
$T_1 = \Sigma t_1' / n$	$T_2 = \Sigma t_2' / n$	
$T_1 = 594,170/5$	$T_2 = 511,950/5$	$\Delta t = T_1 - T_2 = 118,834 - 102,390 = 16,440^\circ\text{C}$
$T_1 = 118,834^\circ\text{C}$	$T_2 = 102,390^\circ\text{C}$	

97% vl, 3% PES - TZ

Tab.9.1.3. Průměrné teploty t_1' a t_2'

Čas [s]	t_1' [°C]	t_2' [°C]
0	38,16	43,92
2	67,21	56,2
4	86,02	70,84
6	96,48	81,09
8	103,31	88,4
10	108,36	93,99
12	112,33	98,37
14	115,63	102,03
16	118,33	105,05
18	120,49	107,56
20	122,46	109,86

Graf 9.1.3. Grafické zobrazení průběhu teplot t_1' a t_2'



Rychlost náběhu do ustálení: $v = s / t$ [m/s], $v = 0,0279/12=0,0023$ m/s

Tab.9.2.3. Průměrné teploty T_1 a T_2

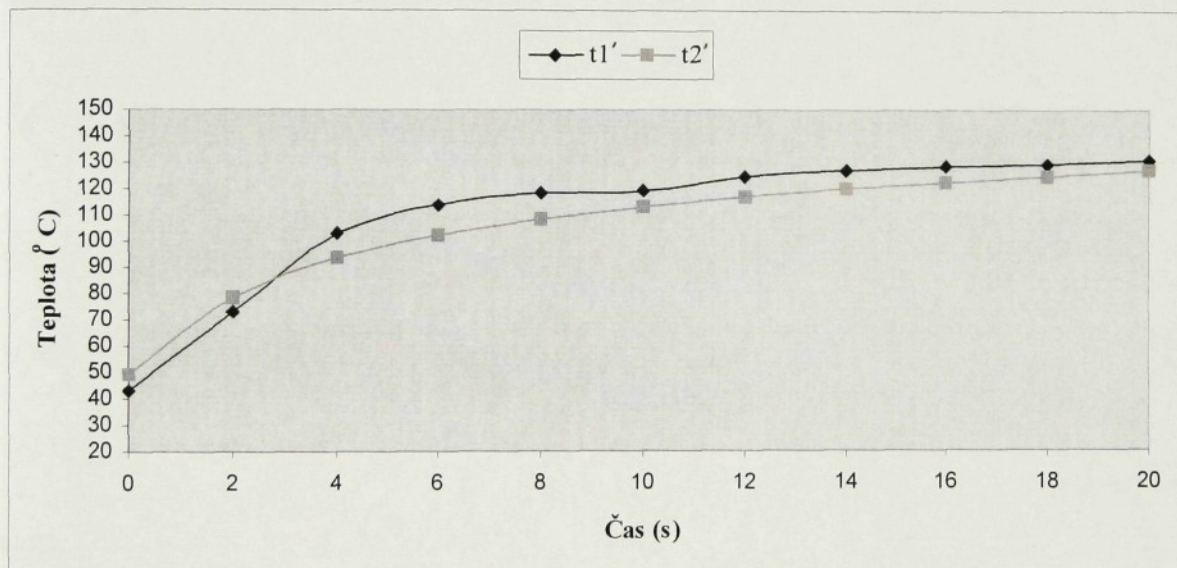
$T_1=\Sigma t_1' / n$	$T_2=\Sigma t_2' / n$	
$T_1=589,240/5$	$T_2=522,870/5$	$\Delta t=T_1-T_2=117,848-104,574=13,274^{\circ}\text{C}$
$T_1=117,848^{\circ}\text{C}$	$T_2=104,574^{\circ}\text{C}$	

100% ba - VTZ

Tab.9.1.4. Průměrné teploty t_1' a t_2'

Čas [s]	t_1' [°C]	t_2' [°C]
0	43,28	49,12
2	72,75	78,61
4	103,32	94,15
6	113,69	102,08
8	118,82	108,65
10	119,48	113,2
12	124,68	116,86
14	126,72	119,77
16	128,28	122,55
18	129,47	124,9
20	130,84	126,87

Graf 9.1.4. Grafické zobrazení průběhu teplot t_1' a t_2'



Rychlost náběhu do ustálení: $v = s / t$ [m/s], $v = 0,0279/10=0,0028$ m/s

Tab.9.2.4. Průměrné teploty T_1 a T_2

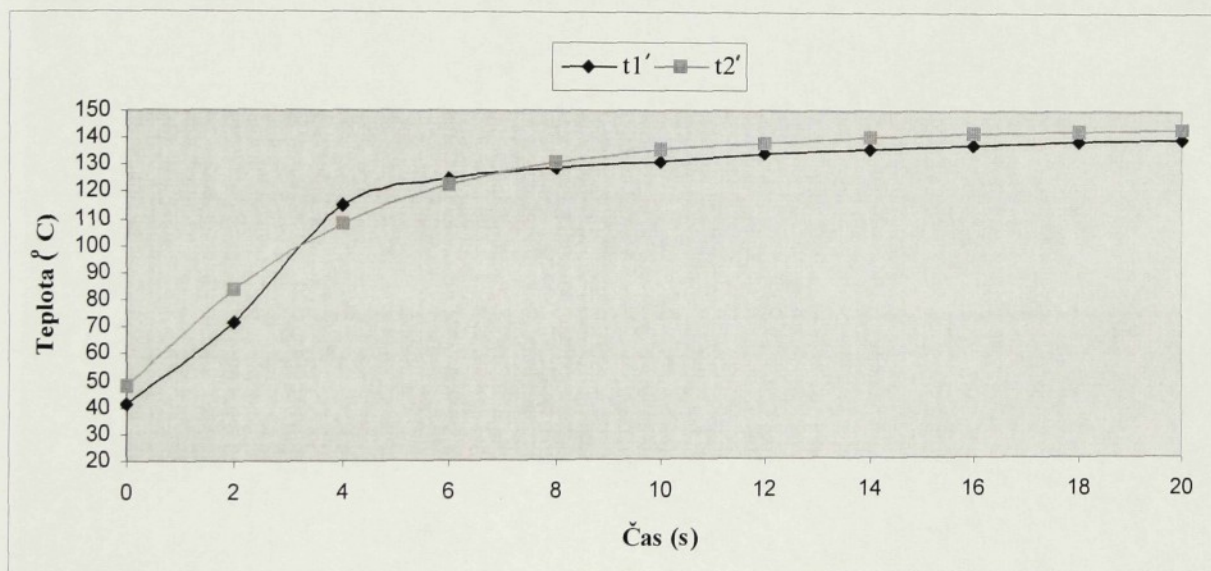
$T_1 = \Sigma t_1' / n$	$T_2 = \Sigma t_2' / n$	
$T_1 = 759,470/6$	$T_2 = 724,150/6$	$\Delta t = T_1 - T_2 = 126,578 - 120,692 = 5,886^\circ\text{C}$
$T_1 = 126,578^\circ\text{C}$	$T_2 = 120,692^\circ\text{C}$	

58% PES, 22% vl, 20% ln - VTZ

Tab.9.1.5. Průměrné teploty t_1' a t_2'

Čas [s]	t_1' [°C]	t_2' [°C]
0	41,4	48,5
2	71,65	83,85
4	114,94	108,05
6	125,04	122,38
8	128,47	130,77
10	131,27	135,37
12	133,79	138,19
14	135,73	140,09
16	137,19	141,39
18	138,54	142,29
20	139,64	142,92

Graf 9.1.5. Grafické zobrazení průběhu teplot t_1' a t_2'



Rychlost náběhu do ustálení: $v = s / t$ [m/s], $v = 0,0306/10=0,0031$ m/s

Tab.9.2.5. Průměrné teploty T_1 a T_2

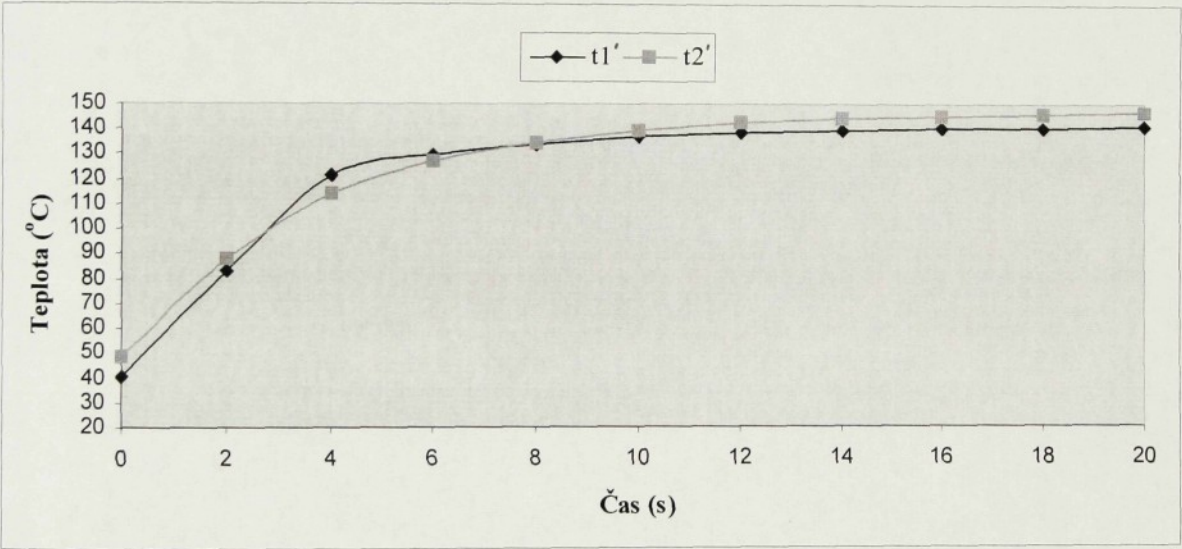
$T_1 = \Sigma t_1' / n$	$T_2 = \Sigma t_2' / n$	
$T_1 = 816,160/6$	$T_2 = 840,250/6$	$\Delta t = T_1 - T_2 = 136,026 - 140,042 = -4,016^\circ\text{C}$
$T_1 = 136,026^\circ\text{C}$	$T_2 = 140,042^\circ\text{C}$	

97% vl, 3% PES - VTZ

Tab.9.1.6. Průměrné teploty t_1' a t_2'

Čas [s]	t_1' [°C]	t_2' [°C]
0	40,35	48,54
2	83,17	88,03
4	121,68	113,75
6	129,62	127,33
8	133,9	134,86
10	136,65	139,54
12	138,33	142,56
14	139,11	144,18
16	139,93	145,43
18	140,53	146,08
20	141,05	146,6

Graf 9.1.6. Grafické zobrazení průběhu teplot t_1' a t_2'



Rychlost náběhu do ustálení: $v = s / t$ [m/s], $v = 0,0297/8=0,0037$ m/s

Tab.9.2.6. Průměrné teploty T_1 a T_2

$T_1=\Sigma t_1' / n$	$T_2=\Sigma t_2' / n$	
$T_1=969,500/7$	$T_2=999,250/7$	$\Delta t=T_1-T_2=138,500-142,750=-4,250^{\circ}\text{C}$
$T_1=138,500^{\circ}\text{C}$	$T_2=142,750^{\circ}\text{C}$	

9.1.4. Výpočet tepelného toku

Tepelný tok byl vypočítaný podle rovnice:

q = λ · ΔT / δ [W·m^-2]

kde:

λ.....součinitel tepelné vodivosti [W m^-1 K^-1]

Δt..... rozdíl teplot T1 a T2 [K]

δ.....tloušťka materiálu [m].

Tepelná vodivost byla měřena na přístroji ALAMBETA, naměřené hodnoty jsou v příloze č.1.. Tloušťka materiálu byla měřena na tloušťkoměru DM 100T, naměřené hodnoty jsou v příloze č.2. Naměřené hodnoty teplot jsou v příloze č.3.. Technické údaje všech použitých přístrojů a žehliček jsou v příloze č.6.

Tab. 9.3. Vypočítaný tepelný tok u tepelného zpracování

100% ba
q = λ · Δt/δ [W · m ⁻²]
q = 0,0429 · (14,560 : 0,000770) = 811,200 W · m ⁻²
q = 811,200 W · m⁻²
58%PES 22% vl 20%ln
q = λ · Δt/δ [W · m ⁻²]
q = 0,0407 · (16,444 : 0,000842) = 794,858 W · m ⁻²
q = 794,858 W · m⁻²
97%vl 3%PES
q = λ · Δt/δ [W · m ⁻²]
q = 0,0357 · (13,274 : 0,000614) = 771,794 W · m ⁻²
q = 771,794 W · m⁻²

Pozn.
Výpočet tepelného toku u VTZ nebyl proveden z důvodu špatného provedení experimentu, kdy nebyl tvar vzorku uzpůsoben rozmístění propařovacích průduchů, více kapitola 10.1 .

9.1.5. Chyba měření

Chyby jednotlivých přístrojů při měření:

- ALAMBETA: $\pm 2 \%$ z naměřené hodnoty
- Tloušťkoměr DM 100T : $\pm 0,01 \text{ mm}$
- ALMEMO 2290-8 : $\pm 0,03 \%$ z naměřené hodnoty
- Termočlánky IEC 584, typ K : $\pm 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Celková chyba je vypočítána podle vztahu:

$$s^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial G(x)}{\partial x_i} \right]^2 \cdot s^2(x_i)$$

kde:

$s(y)$ – směrodatná odchylka výsledku

$s(x_i)$ – směrodatná odchylka měřené veličiny

$y = G(x)$

Např. Celková chyba byla počítána z hodnot daných pro výpočet tepelného toku u 100% bavlny, dvojitý mat., TZ

$$s^2(q) = \left[\frac{\partial \left(\lambda \cdot \frac{\Delta}{\delta} \right)}{\partial \lambda} \right]^2 \cdot s^2(\lambda) + \left[\frac{\partial \left(\lambda \cdot \frac{\Delta}{\delta} \right)}{\partial \Delta} \right]^2 \cdot s^2(\Delta) + \left[\frac{\partial \left(\lambda \cdot \frac{\Delta}{\delta} \right)}{\partial \delta} \right]^2 \cdot s^2(\delta) = \left[\frac{\Delta}{\delta} \right]^2 \cdot s^2(\lambda) + \left[\frac{\lambda}{\delta} \right]^2 \cdot s^2(\Delta) + \left[\lambda \cdot \frac{\Delta}{\delta^2} \right]^2 \cdot s^2(\delta) = \left[\frac{15,277}{0,000770} \right]^2 \cdot (0,0429 \cdot 0,02)^2 + \left[\frac{0,0429}{0,000770} \right]^2 \cdot (15,277 \cdot 0,0003 \cdot 1,5)^2 + \left[0,0429 \cdot \frac{15,277}{0,000770} \right]^2 \cdot (0,00070 \cdot 0,01)^2 = 289,781 + 21,34 + 59,829 = 370,95$$

$$s(q) = \sqrt{370,95} = 19,260 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

tzn.:

-pro daný případ $q = 811,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, celková chyba = $\pm 19,260 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, interval od 791,940 do 830,460 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Plošná hustota tepelného toku: $Q = S \cdot q \text{ [W]}$, pro tento případ $Q = 0,0035 \cdot 811,200 = 2,839 \text{ W}$

Vyjádření celkové chyby výsledů měření v % = $s(q)/q \cdot 100 = 19,260/811,200 \cdot 100 = 2,374\%$.

9.2. Měření teplotního pole některých vytipovaných žehliček

9.2.1. Charakteristika měření

Cílem této části experimentu bylo změřit *teplotní pole* některých žehliček.

K měření byly použity průmyslové elektroparní žehličky MODELLO PRATIKA a GRAN DOMINA 122/P s teflonovou podložkou a domácí žehlička PHILIPS AZUR 60. Povrch žehliček byl ocelovo-nerezový. Nastavení termostatu těchto žehliček bylo na první teplotní stupeň.

V této části experimentu bylo také provedeno měření *kolísání teploty* v jednom bodě (bod 1). Byly opět použity výše zmíněné tři žehličky. Měření bylo provedeno u průmyslových žehliček s teflonovou podložkou (na všechny tři teplotní stupně) a bez teflonové podložky (pouze na první teplotní stupeň).

Teploty byly snímány v obou případech pomocí termočlánku FT A121-1 (NiCr-Ni) typ K. Následně byly hodnoty zaznamenány do tabulek a grafů.

Žehličky byly po celou dobu měření ve svislé poloze a nebyla použita pára.

9.2.2. Postup měření

9.2.2.1. Měření teplotního pole

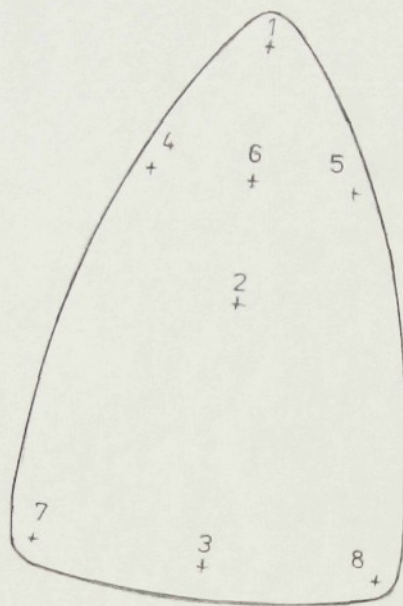
Pro měření bylo stanoveno 8 bodů (obr.9.3.), které byly rovnoměrně rozloženy na žehlicí desce.

Bod 1 byl umístěn na podélnou osu 20 mm od špičky žehlicí desky, bod 3 ležel 20 mm od zadního konce žehlicí desky, bod 2 uprostřed těchto bodů, bod 6 mezi body 1 a 2, a body 4, 5, 7 a 8 byly vzdáleny 10 mm od okraje desky.

Byly použity výše zmíněné žehličky MODELLO PRATIKA a GRAN DOMINA 122/P s teflonovou podložkou a domácí žehlička PHILIPS AZUR 60. Nastavení termostatu bylo na první teplotní stupeň. Žehlička byla měřena ve svislé poloze, bez použití páry.

Začátek měření byl 10 min od zapnutí žehličky na první teplotní stupeň. Byly měřeny teploty bodů 1-8 za pomocí termočlánku FT A121-1 (NiCr-Ni) typ K. Vždy byla zaznamenána nejvyšší teplota každého bodu. Měření se opakovalo 8x. Mezi každým měřením byla 3 min přestávka. Celková doba měření se tak pohybovala cca 60 min. Z těchto naměřených hodnot

(příloha č.4, tab.4.1 –4.3) bylo vyhodnoceno teplotní pole a rozsah kolísání teplot u jednotlivých žehliček (grafy 9.2.1. – 9.2.3. a kap. 10.2.).



Obr. 9.3. Rozložení měřících bodů na žehlicí ploše

Technické údaje použitých žehliček, termočláku a měřícího přístroje ALMEMA jsou v příloze 6..

9.2.2.2 Měření kolísání teploty

Pro měření byl stanoven bod 1. Umístění tohoto bodu bylo stejné jako v předešlém případě. Pro každé nastavení termostatu (první, druhý, třetí teplotní stupeň) bylo měřeno kolísání teploty po dobu 60 min. Začátek měření byl rovněž 10 min od zapnutí žehličky na patřičný teplotní stupeň.

Měření bylo provedeno u tří typů žehliček:

- průmyslová elektroparní žehlička MODELLO PRATIKA (grafy 9.2.4. – 9.2.6. a graf 9.2.13.)
- průmyslová elektroparní žehlička GRAN DOMINA 122/P (grafy 9.2.7. – 9.2.9 a graf 9.2.14.)
- domácí napařovací žehlička PHILIPS AZUR 60 (grafy 9.2.10. – 9.2.12.).

Měření bylo uskutečněno u průmyslových elektroparních žehliček

- s teflonovou podložkou (na všechny tři teplotní stupně)
- bez teflonové podložky (na první teplotní stupeň)

Teploty bodu 1 byly snímány termočlánkem FT A121-1 (NiCr-Ni) typ K, který byl napojen na měřicí přístroj ALMEMO 2290-8 . Ten zaznamenával každých 30 s teploty do své paměti. Tam byly hodnoty uloženy a pak převedeny do počítače a následně zaznamenány do tabulek a grafů (příloha č.5., tab.5.1 –5.11, grafy 9.2.4. –9.2.14.).

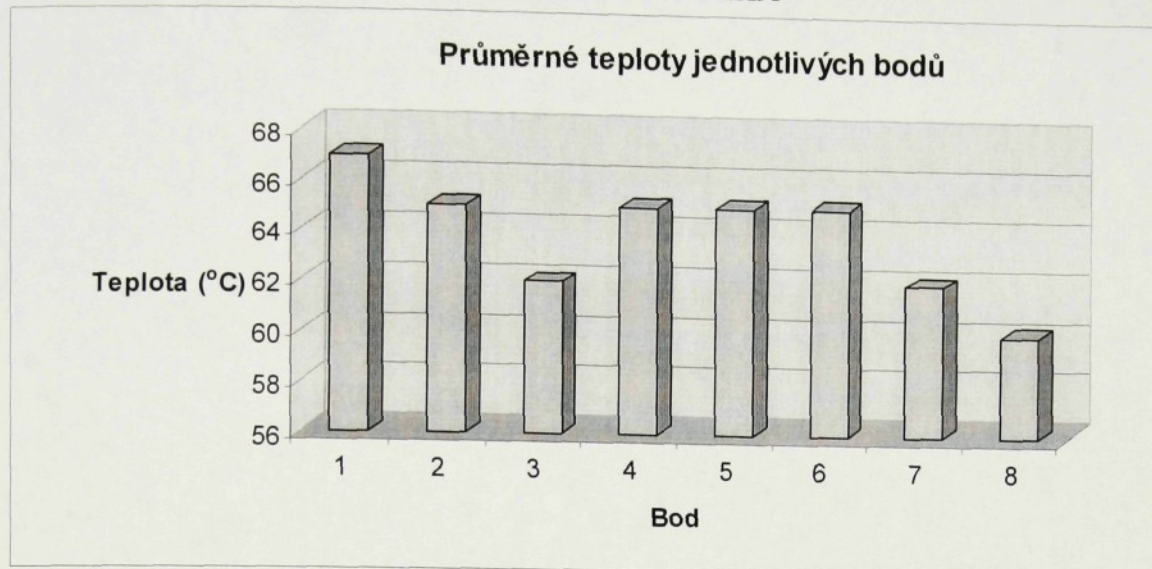
Z těchto naměřených hodnot byly vyhodnoceny průměrné doby 1 cyklu kolísání teplot, kolik tepla ubírala teflonová podložka a zda žehličky překročily normou stanovené max. teploty (kap.10.2.).

Technické údaje použitých žehliček, termočláku a měřicího přístroje ALMEMA jsou v příloze 6..

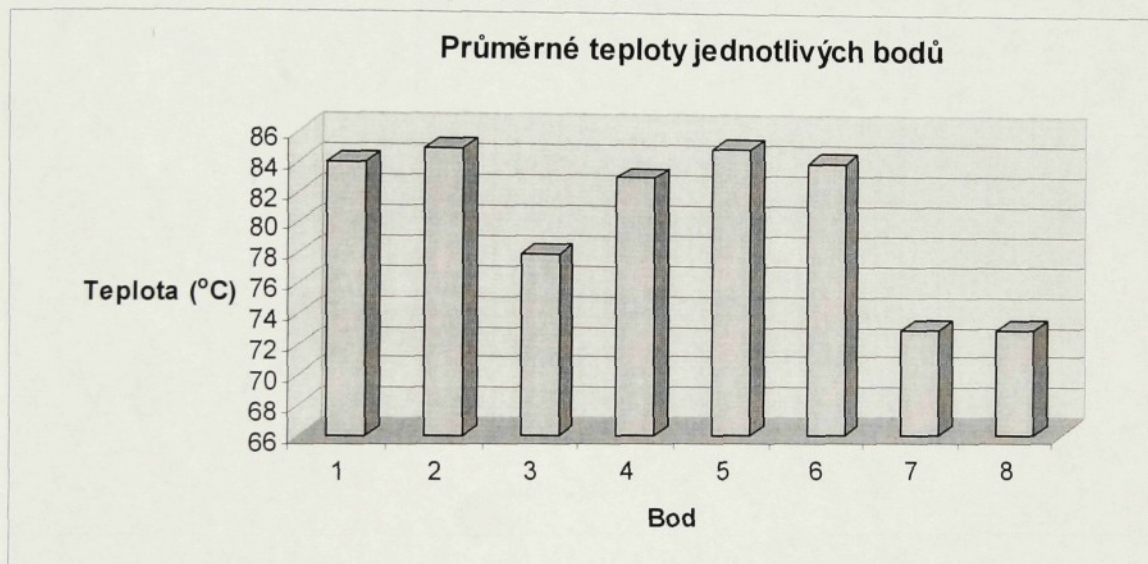
Měření celého experimentu bylo provedeno v šicí dílně na katedře oděvnictví při klimatických podmínkách :

- $T = 23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\varphi = 34\text{ }\%$.

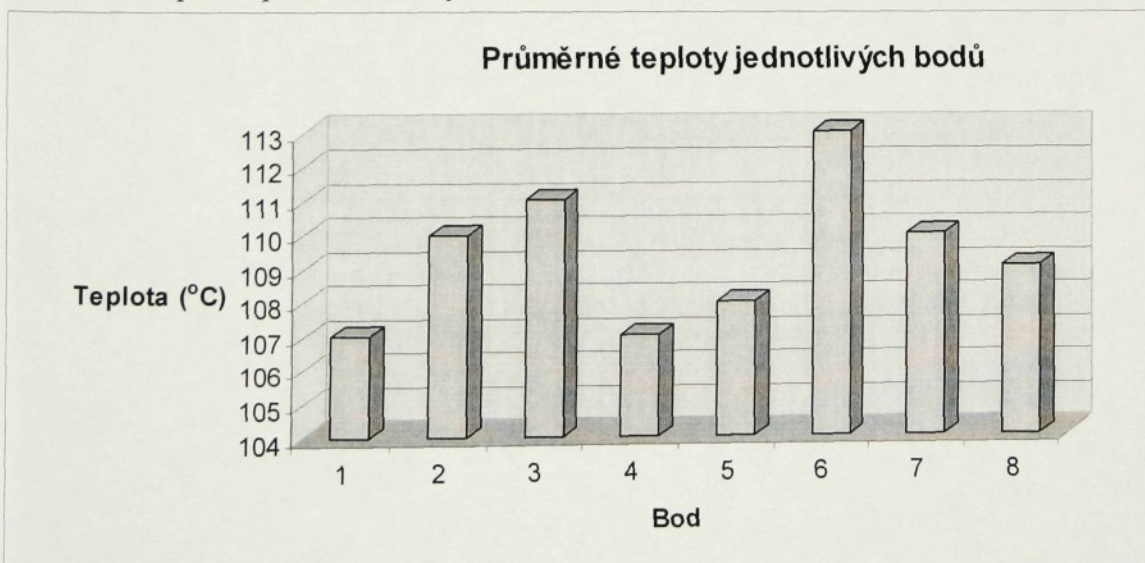
Graf 9.2.1. Teplotní pole u žehličky MODELLO PRATIKA



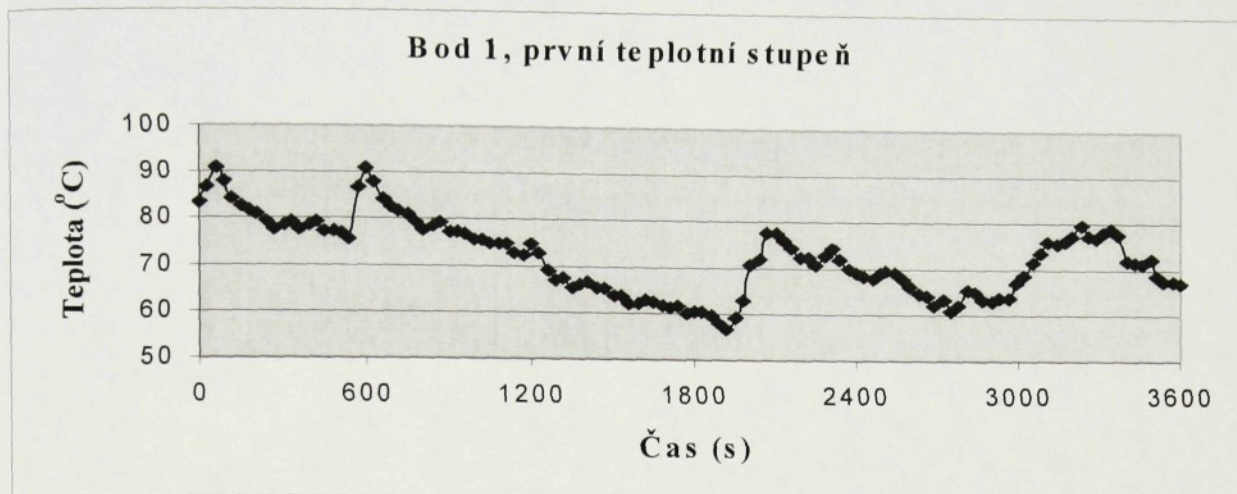
Graf 9.2.2. Teplotní pole u žehličky GRAN DOMINA122/P



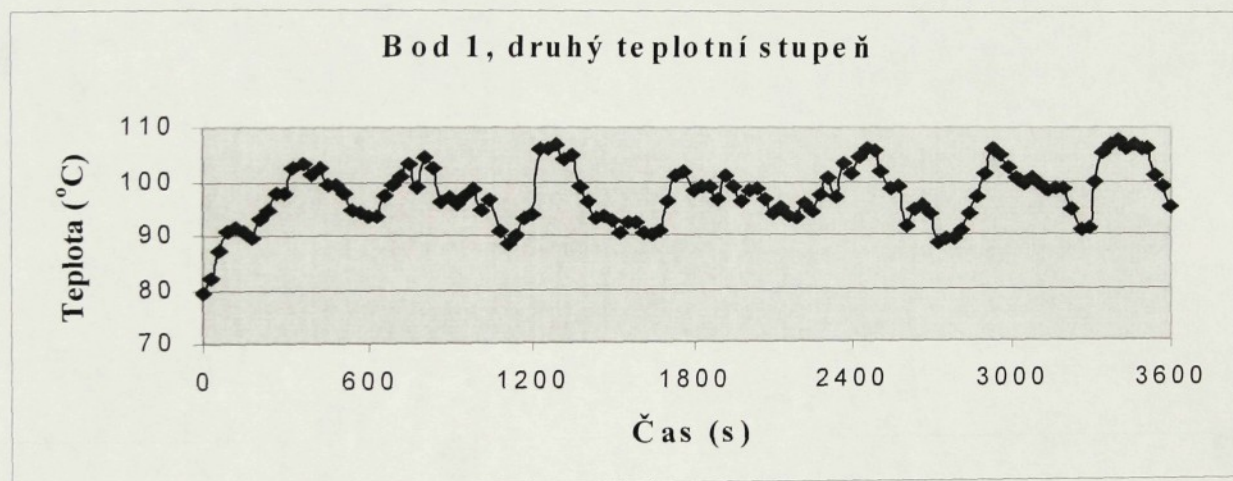
Graf 9.2.3. Teplotní pole u žehličky PHILIPS AZUR 60



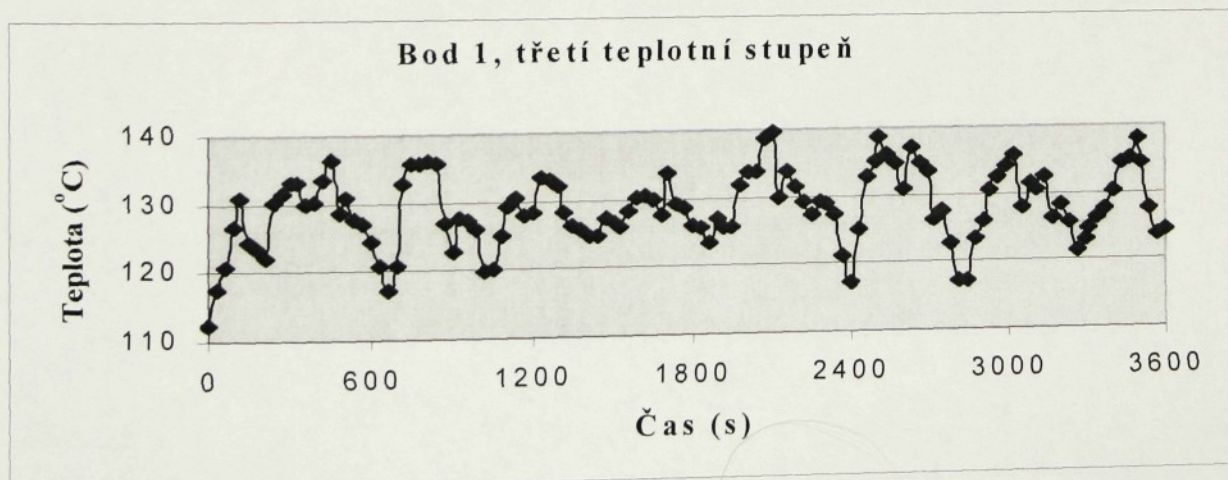
Graf 9.2.4. Kolísání teploty u žehličky MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou



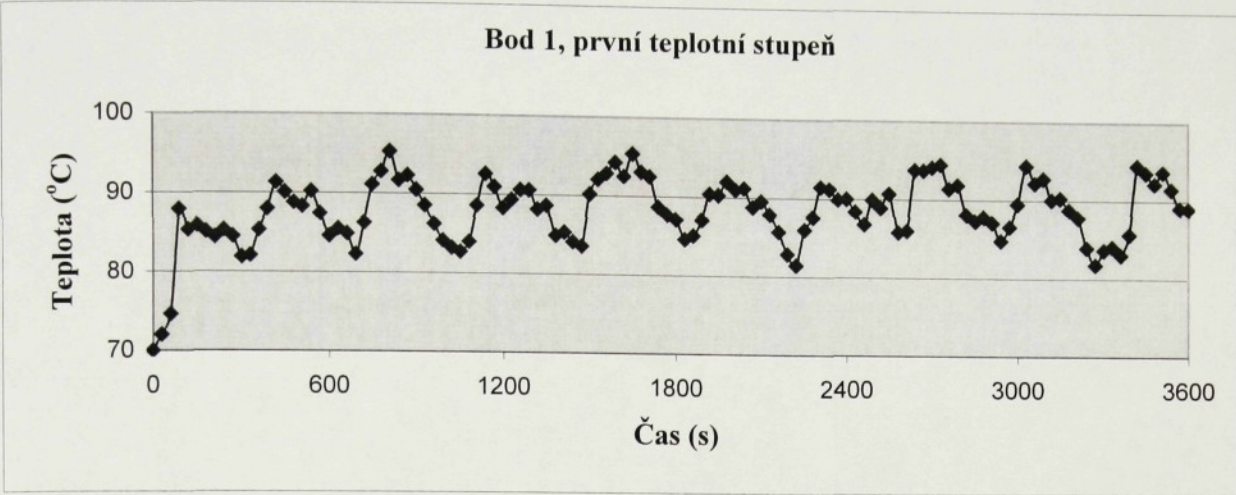
Graf 9.2.5. Kolísání teploty u žehličky MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou



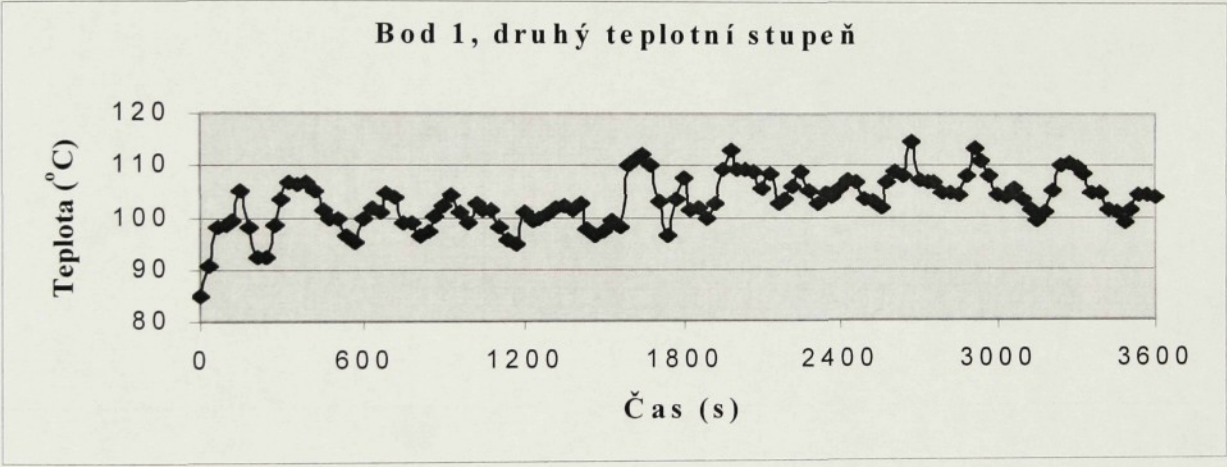
Graf 9.2.6. Kolísání teploty u žehličky MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou



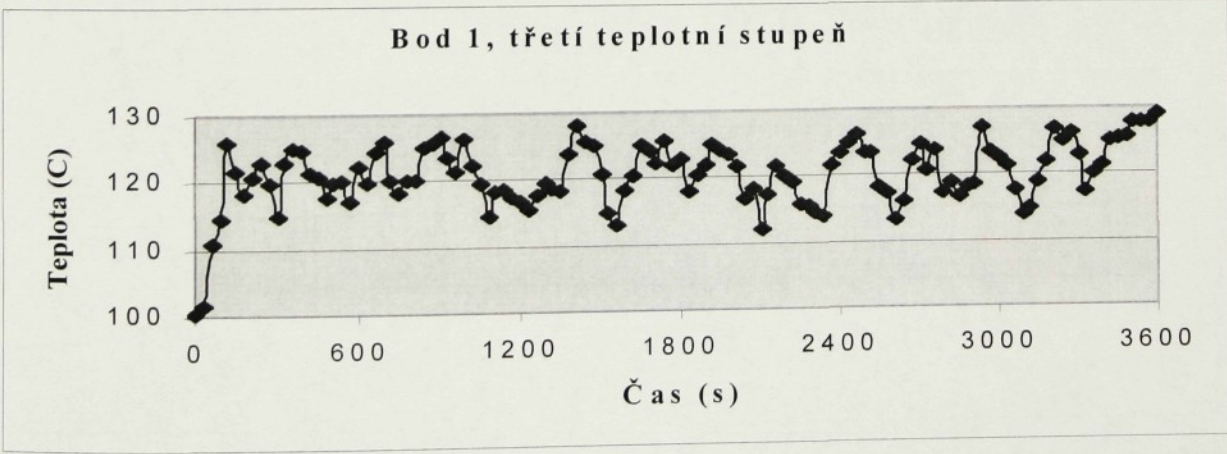
Graf 9.2.7. Kolísání teploty u žehličky GRAN DOMINA 122/P s teflonovou podložkou



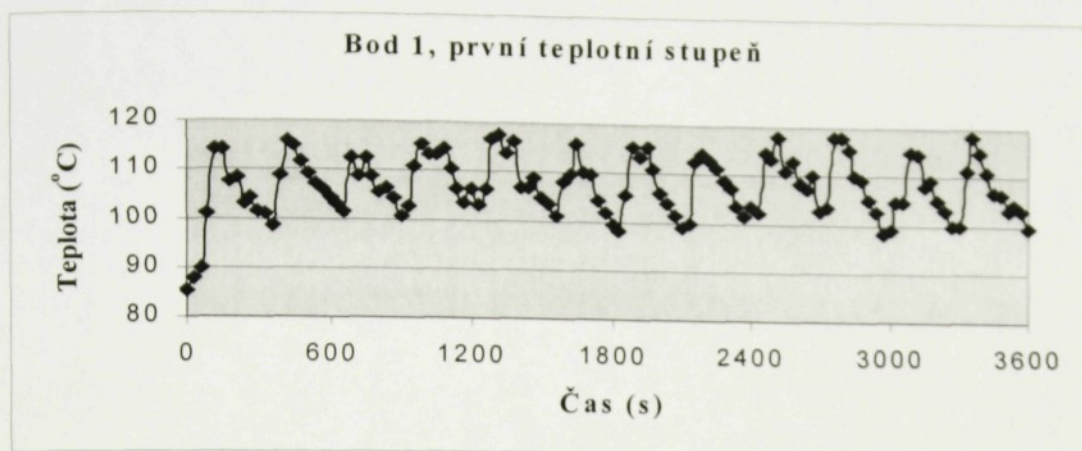
Graf 9.2.8. . Kolísání teploty u žehličky GRAN DOMINA 122/P s teflonovou podložkou



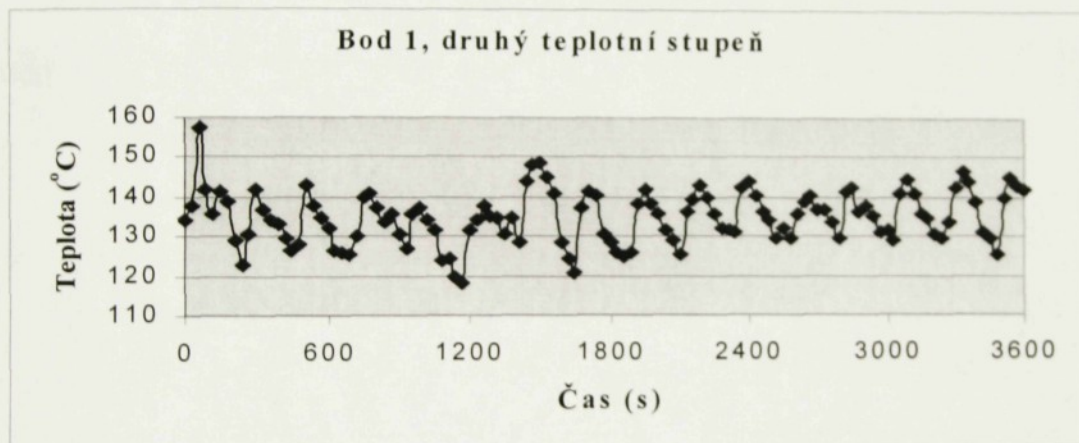
Graf 9.2.9. . Kolísání teploty u žehličky GRAN DOMINA 122/P s teflonovou podložkou



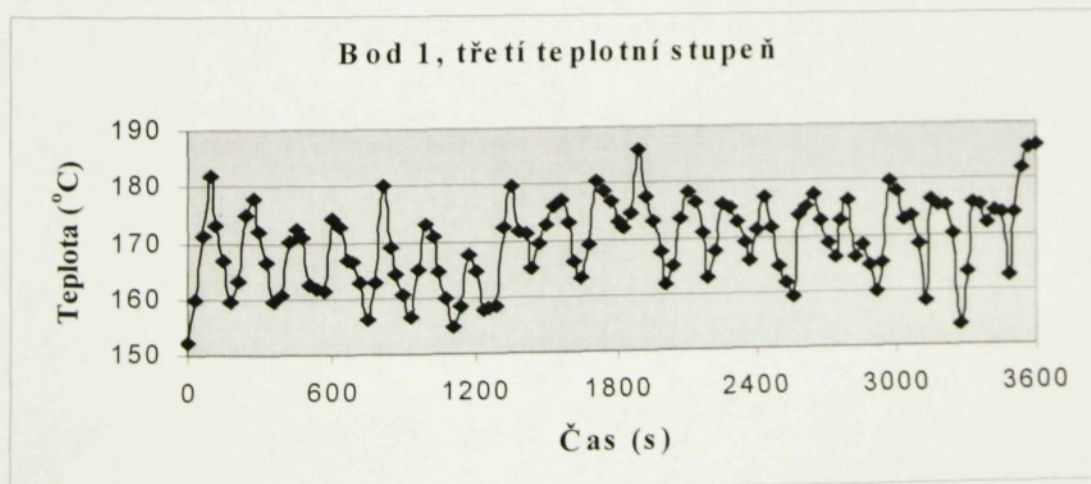
Graf 9.2.10. Kolísání teploty u domácí žehličky PHILIPS AZUR 60



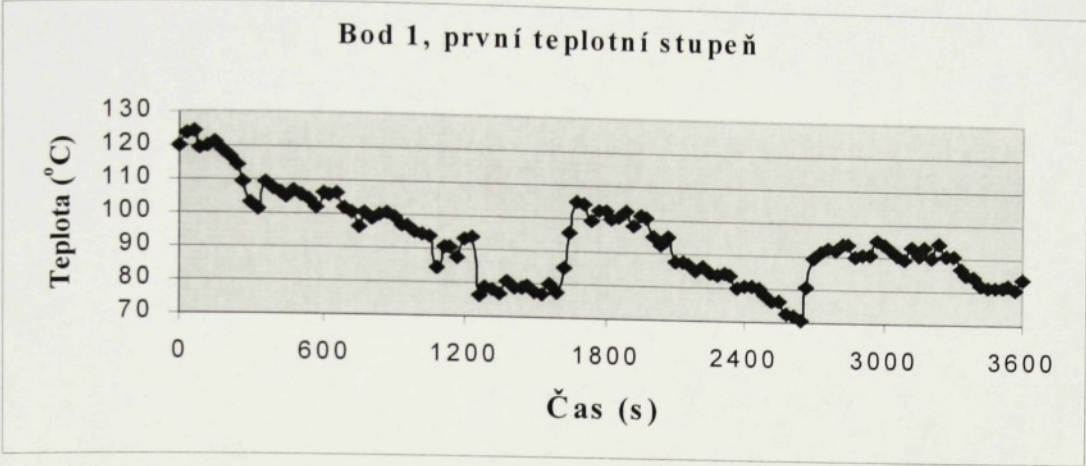
Graf 9.2.11. Kolísání teploty u domácí žehličky PHILIPS AZUR 60



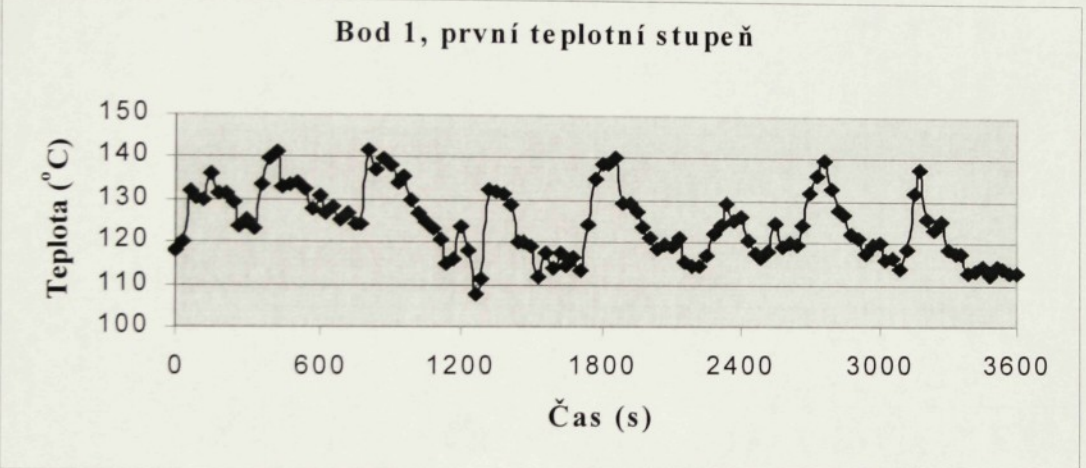
Graf 9.2.12 Kolísání teploty u domácí žehličky PHILIPS AZUR 60



Graf 9.2.13. Kolísání teploty u žehličky MODELLO PRATIKA bez teflonové podložky



Graf 9.2.14. Kolísání teploty u žehličky GRAN DOMINA 122/P bez teflonové podložky



9.2.3. Statistické zpracování naměřených hodnot

Z naměřených hodnot jsem stanovila střední hodnotu, jakožto *aritmetický průměr* T .

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n},$$

kde

n – počet měření

T_i – okamžitá hodnota teploty.

Pro střední hodnotu určuji *95% interval spolehlivosti*,

$$T_{stř} = T \pm 1,96 \cdot \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

směrodatnou odchylku s vypočítanou ze vztahu

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_i - T)^2$$

a *variační koeficient* v

$$v = \frac{s}{T} \cdot 100.$$

9.2.3.1. Statistické výsledky z měření teplotního pole

Průmyslová žehlička-MODELLO PRATIKA (800 WATT, 230 VOLT)

Tab.9.2.3.

Bod	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{stř} [^{\circ}\text{C}]$	67±6	65±7	62±5	65±6	65±5	65±5	62±4	60±3
$s [^{\circ}\text{C}]$	8,766	9,939	7,617	9,019	7,190	7,874	6,424	4,504
$v [\%]$	13,084	15,290	12,285	13,875	11,062	12,114	10,361	7,507

Průmyslová žehlička GRAN DOMINA 122/P (220V 800W)

Tab.9.2.4.

Bod	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{stř} [^{\circ}\text{C}]$	84±4	85±4	78±2	83±4	85±2	84±3	73±2	73±2
$s [^{\circ}\text{C}]$	5,939	5,258	3,420	5,915	2,504	4,422	2,264	3,536
$v [\%]$	7,070	6,186	4,385	7,127	2,946	5,264	3,101	4,844

Domáci žehlička PHILIPS AZUR 60 (1200-1450W, 220-240V≈50-60Hz)

Tab.9.2.5.

Bod	1	2	3	4	5	6	7	8
T _{stř} [°C]	107±5	110±6	111±3	107±6	108±5	113±6	110±6	109±3
s [°C]	7,653	8,618	4,241	8,586	7,671	9,196	5,155	3,871
v [%]	7,152	7,835	3,821	8,024	7,103	8,138	4,686	3,551

Tab.9.2.6. Rozsah kolísání teplot

MODELLO PRATIKA		GRAN DOMINA 122/P		PHILIPS AZUR 60	
Bod	Rozsah kolísání (°C)	Bod	Rozsah kolísání (°C)	Bod	Rozsah kolísání (°C)
1	28	1	17	1	20
2	31	2	15	2	27
3	26	3	10	3	15
4	28	4	13	4	28
5	21	5	7	5	21
6	23	6	14	6	27
7	21	7	8	7	14
8	14	8	11	8	11

9.2.3.1. Statistické výsledky z měření kolísání teploty

Tab.9.2.7.

Průmyslová žehlička MODELLO PRATIKA s teflonovou podložkou			
Teplotní stupeň	T _{stř} [°C]	s [°C]	v [%]
1	72±1	7,791	10,816
2	97±1	5,526	5,675
3	128±1	5,298	4,119

Tab.9.2.8.

Průmyslová žehlička GRAN DOMINA 122/P s teflonovou podložkou			
Teplotní stupeň	T _{stř} [°C]	s [°C]	v [%]
1	88±1	4,259	4,833
2	103±1	4,888	4,743
3	120±2	4,745	3,935

Tab.9.2.9.

Domáci žehlička PHILIPS AZUR 60			
Teplotní stupeň	T _{stř} [°C]	s [°C]	v [%]
1	107±1	6,266	5,838
2	134±1	6,704	4,969
3	169±1	7,289	4,301

Tab.9.2.10.

Průmyslová žehlička MODELLO PRATIKA bez teflonové podložky			
Teplotní stupeň	T _{stř} [°C]	s [°C]	v [%]
1	92±2	12,180	13,110

Tab.9.2.11.

Průmyslová žehlička GRAN DOMINA 122/P bez teflonové podložky			
Teplotní stupeň	T _{stř} [°C]	s [°C]	v [%]
1	124±1	8,132	6,543

Tab. 9.2.12. Průměrné doby 1 cyklu kolísání

MODELLO PRATIKA		GRAN DOMINA 122/P		PHILIPS AZUR 60	
Teplotní stupeň	Čas (min)	Teplotní stupeň	Čas (min)	Teplotní stupeň	Čas (min)
1	15	1	6	1	5
2	9	2	5	2	3,5
3	7	3	5	3	3

10. Vyhodnocení výsledků

10.1. Přestupy tepla

Velikost hodnoty tepelného toku byla závislá na tepelné vodivosti materiálu, rozdílu teplot T_1 a T_2 a tloušťce materiálu. Kromě toho však bylo důležité, zda se jednalo o TZ nebo VTZ. Důležitá byla také struktura materiálu (její prodyšnost související s pórovitostí struktury, složení mat,...).

Hodnoty tepelného toku u TZ vyšly u všech druhů mat. přibližně stejně. Nejvyšší přesto byla hodnota tepelného toku u bavlněného materiálu, nejnižší u vlny.

Nejnižší hodnotu tepelného toku u vlny si vysvětluji především tím, že vlněný vzorek měl nejnižší hodnotu tepelné vodivosti.

Nejnižší hodnota tloušťky mat. a s tím související nejnižší hodnota rozdílu teplot T_1 a T_2 by spíše měly přispět k vyšší hodnotě tepelného toku.

Grafické zobrazení je podobné u všech druhů mat.. Vždy teplota t_1' (mezi žehl. tělesem a mat.) je vyšší než t_2' (mezi vrstvami mat.). Vrchní strana mat. je víc ohřátá, protože je blíže k žehlicímu tělesu.

Jen na začátku je $t_2' > t_1'$. To je způsobeno vyhříváním žehl. stolu, kdy termočlánek, který snímá teplotu t_2 je blíže žehlicímu stolu a je už nahříván před začátkem měření.

Teploty t_1' a t_2' nikdy nevystoupily na nastavenou teplotu 150 °C. Tuto skutečnost si vysvětluji tím, že teflonová podložka ubírá asi 20 °C (z měření kolísání teploty).

Výpočet tepelného toku u VTZ nebyl proveden z důvodu špatného provedení experimentu, kdy nebyl tvar vzorku uzpůsoben rozmístění propařovacích průduchů.

Při mém experimentu tak pára pronikala ve větší míře mimo mat. a (prostup páry) nebyl zajištěn.

Problém taky nastal u zjištění hodnoty tepelné vodivosti vlhkého mat..

Přesto však z grafického zobrazení je patrné, že teploty t_1' a t_2' vystoupily výš než u TZ. To si vysvětluji tím, že kromě elektrického zdroje tepla zde přináší další teplo pára.

Náběh teplot je zde prudší při neustáleném stavu, což je zřejmě způsobeno vlivem kondenzace (zkapalňování). Kondenzační teplo zvětšuje celkový tepelný tok.

Při prostupu páry se textilie nahřívá a při tomto procesu nastává botnění vláken, což usnadňuje přestup tepla. Samozřejmě to taky závisí na množství a průměru pórů textilie.

Nejvyšší dosáhnuté teploty u vlny si vysvětluji tím, že vlna má vyšší hodnotu navlhavosti (asi 2x) než bavlna. Následkem sorpce se uvolňuje teplo, které je taky vyšší.

10.2. Teplotní pole

Střední hodnoty teplot v jednotlivých měřicích bodech jsou vyneseny v grafech.

Teplotní pole je vyjádřeno jako plocha procházející těmito místy.

Z grafického zobrazení vyplývá, že u prům. žehličky MODELLO PRATIKA je nejvyšší teplota ve špičce žehlicí desky, pak na střední části a nejchladnější je zadní část žehlicí plochy. Žehlička GRAN DOMINA má nejteplejší střední část žehlicí plochy, chladnější špičku a nejchladnější zadní část.

Naopak u domácí žehličky PHILIPS AZUR 60 byly nejvyšší teploty zaznamenány ve střední a zadní části žehlicí desky. Špička žehličky byla tak chladnější, což může nepříznivě ovlivňovat kvalitu žehlení v těžce dostupných místech.

Důležitým ukazatelem je i rozsah kolísání teplot. Nejlépe se jevila z tohoto pohledu žehlička GRAN DOMINA 121/P, u které rozpětí kolísání teploty nepřesáhlo 20 °C.

Normou stanovenou max. teplotu překročila pouze žehlička GRAN DOMINA 121/P bez tefl. podložky. Domácí žehlička PHILIPS AZUR 60 se pohybovala blízko pod touto max. teplotou. Obě tyto žehličky byly nastaveny na první teplotní stupeň. Ostatní teplotní stupně (jejich max. hodnoty teplot) žádná žehlička nepřekonala. Střední teploty se pohybovaly hodně pod hranicí normou stanovených teplot.

Bylo také možné ověřit o kolik °C sníží pracovní povrch žehličky teflonová podložka.

Z měření bylo patrné, že teflonová podložka snižovala pracovní povrch žehličky o 20 °C u prům. žehličky MODELLO PRATIKA a víc než o 30 °C u prům. žehličky GRAN DOMINA 121/P.

Průměrné doby 1 cyklu kolísání byly nejnižší u domácí žehličky PHILIPS AZUR 60. U prvního teplotního stupně se doba kolísání pohybovala kolem 5 min., v druhém a třetím stupni kolem 3 min..

Naopak nejvyšší průměrné doby 1 cyklu kolísání byly zaznamenány u prům. žehličky MODELLO PRATIKA. Při nastavení termostatu na první teplotní stupeň se průměrná doba kolísání pohybovala kolem 15 min., v druhém 9 min. a třetím 7 min..

Měření byla citlivá na přítlak termočlánku na žehlicí desku. Pro správné měření by musel být stejný přítlak po celou dobu.

Rozptyl naměřených hodnot je dán částečně i tím, že počátek měření nebyl synchronizován se zapínáním termostatu.

11. Závěr

Cílem diplomové práce bylo změřit tepelné přestupy při žehlení a změřit teplotní pole některých žehliček.

Provedení první části experimentu je popsáno v kapitole 9.1.2..

Měřením bylo zjištěno, že hodnoty tepelného toku u tepelného zpracování vyšly u všech materiálů přibližně stejně.

Nejvyšší přesto byla hodnota tepelného toku u bavlněného materiálu, nejnižší u vlny (kap. 9.1.4. a grafy 9.1.1.- 9.1.3.).

Nejnižší hodnota tepelného toku u vlny byla zřejmě způsobená nejnižší hodnotou tepelné vodivosti.

Výpočet tepelného toku u vlhkotepelného zpracování nebyl proveden z důvodu špatného provedení experimentu (kap.10.1.). Grafické zobrazení teplot u tohoto způsobu žehlení je v grafech 9.1.4. – 9.1.6.. Teploty t_1 a t_2 dosáhly vyšších hodnot než u VTZ, což bylo způsobeno tím, že kromě elektrického zdroje zde přinášela pára další teplo (kap. 10.1.).

Provedení druhé části experimentu je popsáno v kap.9.2.2.

Měřením bylo zjištěno, že nejlepší rozložení teplot na žehlicí ploše má průmyslová elektroparní žehlička MODELLO PRATIKA, kde nejvyšší střední hodnota teploty je ve špičce, pak ve střední části a nejnižší v zadní části žehlicí plochy (graf 9.2.1.).

Z hlediska rozsahu kolísání teploty se jevila nejlépe žehlička GRAN DOMINA 122/P, kde rozpětí kolísání teploty nepřesáhlo 20 °C (tab.9.2.6).

Normou stanovenou maximální teplotu přesáhla jen elektroparní žehlička GRAN DOMINA 122/P bez teflonové podložky při nastavení termostatu na první teplotní stupeň (tab.9.2.7. – 9.2.11.).

Měřením bylo také zjištěno, že teflonová podložka snižuje teplotu pracovního povrchu zhruba o 20 °C u žehličky GRAN DOMINA 122/P a kolem 30 °C u žehličky MODELLO PRATIKA (tab.9.2.7 – 9.2.11.).

Průměrné doby jednoho cyklu kolísání byly nejnižší u domácí žehličky PHILIPS AZUR 60 a naopak nejvyšší u žehličky MODELLO PRATIKA (tab. 9.2.12.).

12. Použitá literatura

- [1] Staněk, J.: Nauka o textilních materiálech, díl I., část 3., Vlastnosti vláken, 1. vyd., Liberec, VŠST, 1985..
- [2] Motejl V.: Stroje a zařízení v oděvní výrobě, SNTL, 1984..
- [3] Vargová H.: Principy snímačů teploty a možnosti ich aplikace v textile, TUL, 2000..
- [4] Krejčí V., Stupka J.: Elektrická měření, SNTL, 1973.
- [5] Kalčík J., Sýkora K.: Technická termomechanika, Academia, 1973.
- [6] Urgošík B.: Fyzika, SNTL, 1987
- [7] Urbášek J.: Termomechanika a mechanika tekutin, TUL, 1990
- [8] Hladík V., Kozel T., Miklas Z.: Textilní materiály, SNTL, 1977
- [9] Blažej A., Šutá Š.: Vlastnosti textilných vlákien
- [10] Středa I., Sazima M., Doubrava J.: Termomechanika, ČVUT, 1992
- [11] Sazima M., Kmoníček V., Schneller J.: Teplo, SNTL, 1989

13. Seznam příloh

1. Naměřené hodnoty tepelné vodivosti
2. Naměřené hodnoty tloušťky materiálu
3. Naměřené hodnoty teplot k tepelným přestupům
4. Naměřené hodnoty teplot k teplotním polím
5. Naměřené hodnoty teplot ke kolísání teploty
6. Technické údaje všech použitých přístrojů a žehliček
7. Rozbor a vzorky materiálu

Seznam zkratek

Obr. – Obrázek

tzv. – tak zvaný

event. – eventuelně

tab. – tabulka

max. – maximální

např. – například

AC – acetát

PAD – polyamid

POP – polypropylen

PES – polyester

vl – vlna

VS – viskóza

resp. – respektive

tj. – to je

atd. – a tak dále

konst. – konstantní

apod. – a podobně

kap. – kapitola

TZ – tepelné zpracování

VTZ – vlhkotepelné zpracování

mat. – materiál

prům. – průmyslová

Příloha 1

Naměřené hodnoty tepelné vodivosti na přístroji ALAMBETA

100% ba	
λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	
$\lambda_1=40,2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{11}=42,5 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_2=43,3 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{12}=43,5 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_3=42,9 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{13}=43,3 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_4=42,3 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{14}=43,7 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_5=42,7 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{15}=43,6 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_6=43,5 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{16}=44,4 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_7=44,4 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{17}=44,5 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_8=41,2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{18}=41,2 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_9=42,7 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{19}=43,1 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_{10}=42,3 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{20}=43,1 \cdot 10^{-3}$
Průměrná hodnota: $\lambda=42,9 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	

Tab. 1.1.

58% PES 22% vl 20%ln	
λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	
$\lambda_1=41,4 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{11}=41,0 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_2=40,1 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{12}=40,4 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_3=40,5 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{13}=41,3 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_4=40,1 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{14}=40,0 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_5=40,7 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{15}=40,2 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_6=40,7 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{16}=41,3 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_7=39,9 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{17}=41,1 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_8=40,7 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{18}=40,8 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_9=41,0 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{19}=41,5 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_{10}=40,3 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{20}=41,6 \cdot 10^{-3}$
Průměrná hodnota: $\lambda=40,7 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	

Tab. 1.2.

97% vl 3% PES	
λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	
$\lambda_1=35,1 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{11}=35,8 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_2=35,2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{12}=35,8 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_3=36,1 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{13}=36,3 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_4=35,5 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{14}=36,1 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_5=35,7 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{15}=36,0 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_6=35,4 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{16}=35,4 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_7=35,2 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{17}=36,5 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_8=35,3 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{18}=36,1 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_9=35,5 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{19}=35,5 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_{10}=35,6 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{20}=35,8 \cdot 10^{-3}$
Průměrná hodnota: $\lambda=35,7 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	

Tab. 1.3.

Příloha 2

Naměřené hodnoty tloušťky materiálu

Tab. 2.1

100% ba – dvojitá vrstva	
δ [mm]	
$\delta_1=0,760$	
$\delta_2=0,780$	
$\delta_3=0,760$	
$\delta_4=0,770$	
$\delta_5=0,780$	
$\delta_6=0,770$	
$\delta_7=0,780$	
$\delta_8=0,770$	
$\delta_9=0,760$	
$\delta_{10}=0,770$	
Průměrná hodnota:	
$\delta=0,770 \text{ mm} = 0,000770 \text{ m}$	

Tab. 2.2

58% PES 22% vl 20% ln – dvojitá vrstva	
δ [mm]	
$\delta_1=0,840$	
$\delta_2=0,840$	
$\delta_3=0,830$	
$\delta_4=0,840$	
$\delta_5=0,850$	
$\delta_6=0,850$	
$\delta_7=0,850$	
$\delta_8=0,840$	
$\delta_9=0,840$	
$\delta_{10}=0,840$	
Průměrná hodnota:	
$\delta=0,842 \text{ mm} = 0,000842 \text{ m}$	

Tab. 2.3

97% vl 3% PES – dvojitá vrstva	
δ [mm]	
$\delta_1=0,610$	
$\delta_2=0,610$	
$\delta_3=0,610$	
$\delta_4=0,610$	
$\delta_5=0,630$	
$\delta_6=0,600$	
$\delta_7=0,610$	
$\delta_8=0,610$	
$\delta_9=0,610$	
$\delta_{10}=0,640$	
Průměrná hodnota:	
$\delta=0,612 \text{ mm} = 0,000612 \text{ m}$	

Příloha 3

Naměřené hodnoty teplot k tepelným přestupům

100% ba – TZ

Tab. 3.1

	1 vzorek		2 vzorek		3 vzorek		4 vzorek		5 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	36,7	44,3	37,2	45	34,4	46,7	38,9	51,4	35,5	44,5
2	78,8	59	81	59,3	51,5	49,7	76,2	66,9	68,4	57
4	92,2	72	94	72,8	78,1	64,1	91	78,3	82,7	68,8
6	99,7	81,1	100,9	81,5	90,3	74,5	99,7	86	90,3	76,6
8	105	87,8	105,8	87,7	97,9	81,7	105,5	91,6	95,4	82,4
10	109,4	93,2	109	91,8	102,8	86,6	110	95,9	99,3	87
12	113	97,5	112,2	95,8	107,4	91,1	113,6	99,5	101,9	90
14	116,1	101,1	114,9	99,1	111,3	95	116,6	102,6	104,6	93,1
16	118,7	104,1	117,1	101,9	114,9	98,3	119,1	105,1	106,9	95,7
18	120,9	106,7	119	104,3	118	101,2	121,3	107,3	108,9	98
20	122,7	108,9	120,8	106,6	120,6	103,6	123,1	109,2	110,8	100,1

Tab. 3.2

	6 vzorek		7 vzorek		8 vzorek		9 vzorek		10 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	33,1	37,8	35,7	45,5	33,3	40,2	35,4	41,1	35,1	37,2
2	67,3	52,9	71	60,5	70,5	52,3	71,8	55	67,5	49,4
4	81,9	65,6	86,5	73,1	87,6	66,3	86,3	67,8	87,1	66,4
6	90,3	73,8	95,5	81,9	96,6	76,1	94,3	76,2	96,6	77,8
8	96	79,5	101,8	88,2	102,7	83,2	99,9	72,4	102,8	86,2
10	100,7	83,9	106,5	93	107,2	88,7	104,2	87,4	107,7	92,6
12	103,9	87	109,8	96,4	111	93,2	107,8	91,6	111,6	97,8
14	107,2	90,1	113,2	99,9	114,2	96,9	110,9	95,1	115	102,1
16	110	92,7	116,1	102,8	116,5	99,5	113,5	98,1	117,9	105,7
18	112,3	95	118,5	105,2	118,9	102,3	115,9	100,8	120,3	108,8
20	114,5	97,1	120,6	107,4	121	104,7	117,7	102,8	122,3	111,4

Směs (58% PES, 22% vl, 20% ln) – TZ

Tab. 3.3

	1 vzorek		2 vzorek		3 vzorek		4 vzorek		5 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	35,2	43,4	34,8	43,8	39,4	44,6	37,3	43,6	37,1	42,4
2	51,6	47	71,2	59	77,4	58,3	80,2	55,9	67,3	52,9
4	75,8	60,4	88,6	73,3	93,7	71,3	98	69,4	87,4	67,5
6	89,5	71,9	98,1	83,3	102,4	80	107,6	78,7	96,1	76,2
8	97,7	79,8	104,6	90,8	108,2	86,3	114,1	85,6	103	83,9
10	103,6	85,6	109,4	96,5	112,7	91,1	119,1	90,9	108,1	89,7
12	108,1	90,2	113,4	101,3	116,4	95	122,9	95,2	112	94,3
14	111,7	94	116,8	105,2	119,4	98,4	126,1	98,7	115,3	98,1
16	114,8	97,2	119,2	108,1	122	101,4	128,8	101,8	117,9	101,3
18	117,4	99,9	121,8	111,2	124,1	103,8	131,3	104,4	120,2	104,1
20	119,6	102,2	124	113,9	126,1	106	133,1	106,7	122,2	106,4

Tab. 3.4

	6 vzorek		7 vzorek		8 vzorek		9 vzorek		10 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	38,6	50,9	36,1	42,8	39,8	41,7	34	44,3	34,7	38
2	52,9	55,4	75,9	62,1	72	53,8	41,6	47,6	69,8	51,4
4	78,6	66,6	92,6	77,2	90,2	68,3	76,8	63,4	87,9	65,6
6	91,7	77,7	102,2	87,5	98	76,8	90,4	74	98,1	76,1
8	99	85,8	108,8	95,1	104,2	84,4	98,5	80,9	105	84,2
10	103,9	91,9	113,8	101	108,7	90,3	103,7	85,9	110,4	90,6
12	107,7	96,8	117,2	105	112,4	95	107,8	89,9	114,7	95,9
14	110,7	100,9	120,6	109,1	115,4	99	11,2	93,1	118,4	100,4
16	113,3	104,4	123,5	112,5	117,9	102,2	113,5	95,4	121	103,5
18	115,5	107,3	125,9	115,5	120	105,1	115,9	97,7	123,7	106,9
20	117,4	109,9	128	118,2	121,8	107,5	117,8	99,7	126	109,8

97% vl, 3% PES – TZ

Tab. 3.5

	1 vzorek		2 vzorek		3 vzorek		4 vzorek		5 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	34,9	41,1	39,4	46,4	36,4	41,4	39,7	47,5	39,3	43,1
2	44,5	45	76,5	62,3	77,6	53,9	74,3	64,4	72,6	59,5
4	83,6	63,5	90,2	73,4	85,5	69,2	91,5	78,7	87,5	71,6
6	98,7	77,4	99,3	82,9	93,4	79,1	100,9	87,5	95,4	79,2
8	107,4	87,2	105,4	90	99,4	86,5	107,1	93,5	100,7	84,5
10	113,5	94,5	109,8	95,4	104	92,3	111,8	98,1	104,7	88,5
12	118,3	100,1	113,2	99,7	107,9	97	115,4	101,7	107,4	91,2
14	121,9	104,7	116	103,3	111,1	100,8	118,4	104,7	110,2	94
16	125	108,5	118,5	106,4	113,8	104	120,8	107,2	112,4	96,2
18	127,6	111,7	120,4	109	116	106,7	122,6	108,9	114,2	98,2
20	129,5	114,1	122,1	111,3	117,9	109	124,4	110,9	115,8	100

Tab. 3.6

	6 vzorek		7 vzorek		8 vzorek		9 vzorek		10 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	39,3	44,4	37,1	46,5	38,3	43,8	37,4	42,4	39,2	42,6
2	57,8	48,4	79,4	64,8	73,7	63	41,9	44,5	73,5	56,2
4	76,9	63,7	90,4	78,3	88,8	77,2	75,4	61,5	90,5	71,3
6	89,1	73,6	100,6	88,7	97,4	86,7	90	74,6	100	81,2
8	97,1	80,5	107,5	96	103,3	93,5	98,6	83,8	106,6	88,5
10	103	85,9	112,7	101,5	107,7	98,8	104,7	90,6	111,7	94,3
12	107,7	90,2	116,8	105,9	111,3	103	109,4	96	115,9	98,9
14	111,7	93,9	120,1	109,4	114,2	106,4	113,3	100,4	119,4	102,7
16	115	97	122,7	112,5	116,7	109,3	116,2	103,6	122,2	105,8
18	117,4	99,4	125	115,2	118,4	111,4	119,1	106,9	124,2	108,2
20	119,9	101,8	127	117,5	120,2	113,6	121,5	109,8	126,3	110,6

	1 vzorek		2 vzorek		3 vzorek		4 vzorek		5 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	39,4	47,3	41,9	47	39	44	44,5	48,9	44,9	43,6
2	40,6	48,4	76,3	62,2	54,5	47,6	74,3	95,8	98,8	97,4
4	71,3	63,8	89,4	75,5	99,5	97,3	102,8	97,8	102,4	98,5
6	90,5	79,9	97,4	83,9	19,5	99,9	109,2	101,4	107,6	101,9
8	100,7	90,3	103,1	90	124,5	109,2	111,8	104,5	112,9	105,6
10	107,3	97,4	107,5	94,6	127,4	113,6	113,7	107,4	116	108,3
12	112,2	102,6	111	98,5	129,8	116,3	115,4	109,2	118,4	110,6
14	116,3	106,9	113,8	101,6	131,6	118,2	116,9	111	119,9	112,1
16	119,6	110,4	115,7	103,9	133,1	119,8	118,2	113	121,4	113,7
18	122,2	113,3	117,7	106,2	134,2	120,8	119,4	115,1	122,4	115,4
20	124,3	115,7	119,4	108,2	135,3	121,9	120,4	116,8	123,9	118,3

Tab. 3.8

	6 vzorek		7 vzorek		8 vzorek		9 vzorek		10 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	48	55,1	46,2	52,6	43,4	50,9	42,2	50	43,3	51,8
2	103,3	97,5	54,5	56,5	63,1	86,6	59,3	97	102,9	97,1
4	116,2	103,7	102,5	98,1	111,5	99,7	110,1	104,5	127,5	102,6
6	121	109,6	113,6	109,3	121,7	109,4	120,8	118,1	135,6	107,4
8	123,8	113,2	118	118	126,1	117,6	126,9	128	140,4	110,1
10	125,9	116,7	121,4	124,5	128,8	122,9	130,6	134,1	143,7	112,5
12	127,4	119,9	122,6	131,5	130,7	127	133,2	137,9	146,1	115,1
14	128,5	122,1	124,2	139,2	130,5	128,4	135,1	140,2	150,4	118
16	129,4	124	126,4	144,7	129,2	133,8	136,7	141,5	153,1	120,7
18	130,2	125,4	128,5	148,2	127,7	139,3	137,9	142,4	154,5	122,9
20	13,7	126,7	130,5	150,5	129,5	142,6	138,9	143	155,5	125

	1 vzorek		2 vzorek		3 vzorek		4 vzorek		5 vzorek	
T [s]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	40,5	51,7	38,3	38,7	36,9	42,8	42,6	49,7	41,3	48,7
2	63	57,5	99,6	98,5	55,6	87,2	97,3	97	48,2	51,2
4	111,3	97,5	110,7	114,8	101,7	108,2	108	120,8	100,3	97,9
6	122,5	105,8	119,1	124,5	111,4	126,9	117,2	134	120,4	117,4
8	127,2	112,2	123,9	130,3	117,5	138,8	122,5	140,9	129,8	128,3
10	129,9	114,8	126,9	134	122	145,7	126	144,1	135,3	134,4
12	132,6	117	129,8	136,7	125,8	149,4	128,9	145,7	139	138,4
14	134,4	118,7	132	138,4	129	151,9	131,1	146,6	141,6	141
16	135	120,5	133,9	139,5	131,8	153,7	132,9	147,2	143,5	142,7
18	136,2	122,1	135,8	140	134,3	155,2	134,3	147,4	144,9	143,7
20	137,5	123,3	137,2	140,5	136,1	156,1	135,9	147,5	146	144,5

Tab. 3.10

T [s]	6 vzorek		7 vzorek		8 vzorek		9 vzorek		10 vzorek	
	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	43,4	56,6	42,2	48,2	42,9	51,5	41,8	46,7	44,1	50,4
2	60,9	87	91,9	96,7	85,2	96,6	55,3	70,3	59,5	96,5
4	130,5	109,1	135,3	113,8	147,9	107,5	101,9	107	101,8	103,9
6	141,3	123,9	138,2	128,7	156,5	124,6	113,6	122,4	110,2	115,6
8	146,5	131,2	134,5	131,5	145,7	138,8	119,6	130,7	117,5	125
10	149,1	135,2	133,3	133,6	144,3	144,9	123,5	135,6	122,4	131,4
12	151	138	134,3	135,3	144,3	147,6	126,3	138,7	125,9	135,1
14	152,1	140,3	135	137,1	144,7	149,2	128,7	140,3	128,7	137,4
16	152,9	141,6	135,4	1,8,3	145,1	150,3	130,4	141,1	131	139
18	153,4	142,6	136	139,2	145,5	150,9	132	141,7	133	140,1
20	153	142,9	136,7	140	145,9	151,5	133,4	142	134,7	140,9

97% vl, 3% PES-VTZ

Tab. 3.11

T [s]	1 vzorek		2 vzorek		3 vzorek		4 vzorek		5 vzorek	
	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	40,7	47,3	44	49,4	34,9	50,3	37,4	47,4	39,6	48,2
2	103	96,9	97,8	96,6	53,9	86,4	99,1	112,9	55,2	56,9
4	131,4	106,7	116,5	106,1	108,4	114,5	113,8	134,2	132,7	100,4
6	138,2	116,7	125,2	118,2	121,3	130,1	120,4	143,7	140	116
8	141,8	122,9	129,8	125,7	127,7	137,1	124,7	148,1	143,5	127,8
10	143,8	127,2	133,3	131,1	131,7	140,9	128	150,6	145,2	135
12	145,1	130	135,7	134,7	134,6	143	130,3	152,3	144,8	140,7
14	145,8	131,9	137,5	137,5	137	144,3	132,3	151,4	146,3	143,8
16	146,3	133,1	139	139,2	138,9	145,3	132,1	151,5	146,5	146
18	146,5	134	140,3	140,3	140,5	145,8	132,7	151,2	146,5	147,3
20	146,6	134,6	141,3	141,2	141,8	146,2	133,4	151,3	146,3	148,2

Tab. 3.12

T [s]	6 vzorek		7 vzorek		8 vzorek		9 vzorek		10 vzorek	
	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]	t1 [°C]	t2 [°C]
0	41,9	48,1	45,4	51,4	39,5	50,3	42,6	51,9	37,5	41,1
2	127,2	104,7	111,6	102,3	69,7	95,1	65,2	83,9	49	44,6
4	146,2	126,5	120,8	124,3	138	112,9	108,3	108,1	100,7	103,8
6	152,2	140,2	124	134,2	147,3	131,8	117,2	118,9	110,4	123,6
8	154,4	146,7	126,8	138,9	152,5	144,2	121	122,1	116,8	135,1
10	156,1	151,4	128,8	141,5	155,4	151,3	123,3	125,1	120,9	141,3
12	157,2	154,4	130,3	142,9	156,8	155,3	125,1	127,8	123,4	144,5
14	157,9	156,4	131,6	143,8	150,2	155,7	126,7	129,9	125,8	147,1
16	158,3	157,8	132,8	144,2	149,6	156,7	127,9	131,6	127,9	148,9
18	158,5	158,8	133,7	144,5	148	156	128,9	132,8	129,7	150,1
20	158,8	159,5	133,7	144,6	147,5	155,5	129,8	133,8	131,3	151,1

Příloha 4

Naměřené hodnoty teplot k teplotním polím

Průmyslová žehlička-MODELLO PRATIKA (800 WATT, 230 VOLT)

Tab. 4.1

Bod	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]
1	85	71	63	70	64	60	63	57
2	85	71	58	71	61	60	62	54
3	78	65	58	62	59	59	59	52
4	85	67	57	67	59	64	60	59
5	79	70	58	64	58	62	62	70
6	80	70	57	63	57	62	59	68
7	74	64	56	64	58	62	53	64
8	67	61	58	60	53	62	54	61

Průmyslová žehlička GRAN DOMINA 122/P (220V 800W)

Tab. 4.2

Bod	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]
1	94	77	86	91	79	84	82	80
2	89	92	80	89	83	81	77	87
3	81	84	77	79	78	74	74	80
4	78	89	79	90	78	76	86	89
5	86	89	82	83	87	84	82	84
6	91	86	87	86	81	82	81	77
7	73	75	73	77	73	73	74	69
8	76	70	71	75	73	78	72	67

Domácí žehlička PHILIPS AZUR 60 (1200-1450W, 220-240V≈50-60Hz)

Tab. 4.3

Bod	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]	t [°C]
1	119	114	99	107	105	99	13	100
2	112	113	124	103	107	119	108	97
3	111	111	118	103	108	113	110	111
4	97	101	112	125	105	106	102	108
5	115	102	111	118	97	108	101	115
6	121	95	110	117	122	108	121	110
7	106	112	103	106	117	112	115	105
8	112	114	103	108	108	108	113	105

Příloha 5

Příloha 6

ALAMBETA

Technická data

(Přístroj ALAMBETA je určen k měření termofyzikálních parametrů textilií případně jiných netextilních materiálů. Naměřené hodnoty jsou vhodné k posouzení tepelně izolačních i tepelně vodivostních vlastností a teplo-studené složky omaku hodnocené látky.)

Rozměry přístroje	200 x 500 x 300 mm
Hmotnost	20kg
Optimální tloušťka vzorku	0,5 - 10 mm
Rozměry vzorku	min. 100 x 100 mm
Provozní podmínky	teplota 18 – 23 °C
	Relativní vlhkost 10 – 80 %
	Napájení 220V ± 10%, 48 – 52 Hz
	Vnější el. a magnet. pole zanedbatelné
	Poloha přístroje vodorovná ($\pm 5^\circ$)
	Vztažná plocha hlavice činí 1 dm ²
Přesnost	± 2 % z naměřené hodnoty

Tloušťkoměr DM 100T

Technická data

Značení vnější stupnice	0,00-1,00 mm po 0,01mm					
Značení vnitřní stupnice	0-10 mm po 1mm					
Plocha měřicí desky (volitelná)	10/25cm ²					
Hmotnost měřicí desky (a hřídele)	50g					
Hmotnost zabudovaného závaží	75g					
Doplňující závaží (volitelné)	125/375/1125g					
Pracovní napětí	6V					
Spec. měřicí 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					

ALMEMO 2290-8

Technická data

Měřicí vstupy:	5 zásuvek pro ALMEMO-konektory
Metoda Měření:	integrující Dual Slope
Převodník A-D:	rozlišení 16 bitů
Měřicí výkon:	3 měření za sekundu
Vstupní impedance:	50 MΩ
Impedance zdroje:	max. chyba 2μV/100Ω
Vlastní kalibrace:	automatická korektura nulového bodu a zesilovače
Přesnost systému:	±0,03% z měřené hodnoty, ±2digity
Teplotní posuv:	0,005%/°C
Jmenovitá teplota:	22 °C ±2K
Kompenzace referenčních míst	účinná v rozsahu -30.....100 °C přesnost ±0,2 K ± 0,01K/°C
Mikroprocesor:	HD 6303Y
Paměť:	130 kB (520 kB) zálohovaná baterií
Displej:	6x7 segmentů, 2x16 segmentů VCD 13mm 2almemo zásuvky analogový výstup: 0,1mV/digit (-0,5....2,75 V) rozhraní V24/RS232: TXD, RXD, DSR seriová 8bitová 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-mangová baterie 9v síťový adaptér 9V, 50MA (7-13 V DC)
Spotřeba proudu:	ca. 10 mA bez modulů
Kontrola baterie:	automatická s optickou výstrahou
Rozměry:	180x85x33 mm
Pracovní teplota:	-10.....+60 °C
Skladovací teplota:	-30.....+60 °C

Termoelektrické snímače

Technická data

Použité termočlánky k tepelným přestupům:

Při měření byly použity dva termočlánky IEC 584, typ K (NiCr-Ni). Výrobce je ALMEMO.

Rozsah je od -200 do 1300 °C, rozdělen po 100 °C. Průměr termočládku je 0,5 mm.

Třída přesnosti je $\pm 1,5$ °C.

Použitý termočlánek k měření teploty na žehlicí ploše:

Při měření byl použit termočlánek FT A121-1 (NiCr-Ni) typ K pro měření povrchové teploty s hrotem. Výrobce ALMEMO. Rozsah je od -200 do 1370 °C.

Třída přesnosti je 0,05 % z naměřené hodnoty.

Průmyslová žehlička MODELLO PRATIKA

Technická data

Elektrický příkon	220-240V/50Hz
Tlak	2,5 bar
Příkon vyvíječe páry	1500W
Příkon žehličky	800W
Obsah vyvíječe	5l

Průmyslová žehlička GRAN DOMINA 122/P

Technická data

Elektrický přívod	220V/50Hz
Tlak	2,5 bar
Příkon vyvíječe páry	1500W
Příkon žehličky	800W
Obsah vyvíječe	5l
Pracovní náplň	4,5l
Rozměry	300 x 550 x 1100 mm
Netto	23 kg
Brutto (s obalem, kartonem)	25kg
Rozměry kartonu	750 x 350 x 450 mm

Domáci žehlička PHILIPS AZUR 60

Technická data

Elektrický příkon

220-240V/50-60Hz

Příkon žehličky

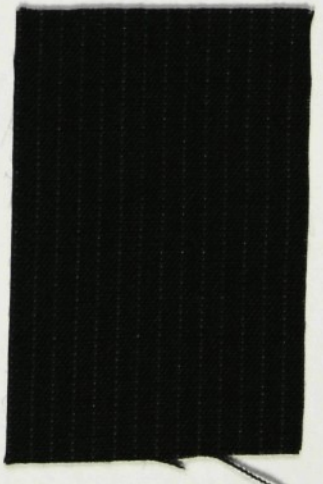
1200-1450W

Příloha 7

Rozbor materiálu

100% ba		
Podle technologie výroby:	Tkanina	
Vazba:	Atlas	
Dostava osnovy na 1 cm:	28 nití	
Dostava útku na 1 cm:	30 nití	
Tloušťka materiálu:	0,000374 m = 0,374 mm	
Typ podle použité suroviny:	Bavlnářská	
Plošná měrná hmotnost:	0,190 kg · m ⁻²	
Použití:	Ubrusy	

58% PES 22% vl 20% ln		
Podle technologie výroby:	Tkanina	
Vazba:	Plátno	
Dostava osnovy na 1 cm:	22 nití	
Dostava útku na 1 cm:	25 nití	
Tloušťka materiálu:	0,000411 m = 0,411 mm	
Typ podle použité suroviny:	Syntetická	
Plošná měrná hmotnost:	0,190 kg · m ⁻²	
Použití:	Saka, sukně	

97 %vl 3% PES		
Podle technologie výroby:	Tkanina	
Vazba:	Plátno	
Dostava osnovy na 1 cm:	21 nití	
Dostava útku na 1 cm:	30 nití	
Tloušťka materiálu:	0,000290 m = 0,290 mm	
Typ podle použité suroviny:	Vlnářská	
Plošná měrná hmotnost:	0,144 kg · m ⁻²	
Použití:	Kalhoty, sukně	