

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-21-8

Výrobní stroje a zařízení

Zaměření: Sklářské a keramické stroje

Katedra sklářství a keramiky

Vliv materiálu sklářské formy na kolísání
její pracovní teploty

IVAN HRADECKÝ

DP - 144/88

Obhájen 1988

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jaroslav Belda CSc., VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Jan Skrbek, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	83
Počet příloh	6
Počet tabulek	16
Počet obrázků	33
Počet výkresů	0

Vysoká škola: strojn^í a textiln^í..... Fakulta: strojn^í.....

Katedra: sklářských a keramických strojů Školní rok: 1987/88.....

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Ivana Hradeckého.....
obor 23-21-B Stroje a zařízení pro chemický, potravinářský a spotřební průmysl

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Vliv materiálu sklářské formy na kolísání její pracovní teploty.

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s výpočty teplotního pole v rovinné sklářské formě při lisování skla.
2. Srovnajte výpočet zvýšení teploty sklářské formy ΔT na jejím povrchu a 1 a 4 mm pod jejím povrchem při styku žhavé skloviny C 1 s odstupňované teplotě $T_s = 800, 900, 1000^\circ \text{C}$ se sklářskou formou odstupňované teploty $T_f = 300, 400, 500^\circ \text{C}$ z niklu ČSN 423403.00, oceli 11375.0, oceli ČSN 17255 a šedé litiny ON 71 0511.
3. Výsledky srovnajte graficky, přičemž grafické záznamy průběhu ΔT pro uvedená odstupňování v závislosti na T_s a T_f proveďte pomocí mikropočítače.
4. Proveďte kritiku stávajícího měřícího zařízení a navrhněte opatření pro jeho zdokonalení.
5. Proveďte technickoekonomické zhodnocení.

.....
.....
.....
.....
.....

Rozsah grafických prací: 50 stran textu včetně obrázků a grafických

Rozsah průvodní zprávy: záznamů

Seznam odborné literatury:

Smrček, A.: Strojní tvarování skla. SNTL, Praha, 1981

Belda, J.: Žkušební zařízení na hodnocení materiálu sklářských forem. In: Sborník prací VŠST v Liberci 1983, s. 329-337

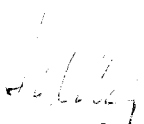
Belda, J.: Hodnocení tepelných vlastností sklářských forem. In: Sborník prací VŠST v Liberci 1987 (v tisku).

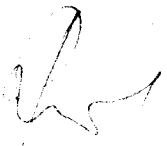
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jaroslav Belda, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 1.10. 1987

Termín odevzdání diplomové práce: 10.5. 1987

L. S.


Doc. Ing. Jaroslav Belda, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 1.10. 1987

M í s t o p ř í s e ž n ě p r o h l á š ě n í

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 10.5.1988

Jou Hradský
.....

Seznam použitých zkratk a symbolů

c - měrné teplo

λ - tepelná vodivost

ρ - měrná hmotnost

t - čas

a - měrná teplotní vodivost

T - teplota

α - koeficient přestupu tepla

E_f - tepelná akumulární schopnost formy

E_s - tepelná akumulární schopnost skla

t_f - teplota formy

t_s - teplota skla

LTS - limitní teplota styku

RAM - paměť s libovolným přístupem,
umožňuje čtení i zápis

O B S A H

1. Úvod
2. Výpočty teplotního pole v rovinné sklářské formě
 - 2.1. Řešení parciální diferenciální rovnice vedení tepla za neustáleného stavu pro neomezenou desku
 - 2.1.1. Analytické řešení
 - 2.1.2. Metoda elementárních bilancí
 - 2.1.3. Matematický model
3. Údaje o materiálu forem
 - 3.1. Závislost tepelné vodivosti a měrného tepla zadaných formových materiálů na teplotě
 - 3.1.1. Údaje o sklovině C1
 - 3.2. Přepočet tloušťky formy pro matematický model
4. Výpočet teplotního pole ve formě
 - 4.1. Diskuse k výsledkům získaným metodou elementárních bilancí
5. Experimentální část
 - 5.1.1. Zkušební zařízení na srovnávací hodnocení tepelných vlastností materiálů sklářských forem
 - 5.1.2. Popis zkušebního zařízení a jeho funkce
 - 5.1.3. Experimentální lis
 - 5.1.4. Ovládací a měřicí část
 - 5.1.5. Popis přípravy srovnávacích měření
 - 5.1.6. Parametry měření
 - 5.1.7. Metodika vyhodnocování srovnávacího měření
 - 5.1.8. Provedená konkrétní měření tepelných vlastností materiálů sklářských forem
 - 5.1.8.1. Porovnání naměřených hodnot
 - 5.1.9. Porovnání naměřených hodnot s hodnotami získanými výpočtem
 - 5.1.9.1. Porovnání s výpočty získanými na podkladě literárních údajů/1/
6. Diskuse o správnosti uváděných literárních údajů

- 6.1. Tepelná vodivost oceli ČSN 11 373
- 6.2. Tepelná vodivost čistého niklu a niklu ČSN 423403.00
- 6.3. Šedá litina ON 71 05 11
- 6.4. Shrnutí
- 6.5. Údaje o materiálu forem pro výpočet V2
7. Kritika stávajícího měřicího zařízení
 - 7.1. Přesnost měření
 - 7.2. Návrh na zdokonalení měřicí části systému
 - 7.2.1. Otázka použitého záznamového zařízení
8. Návrh nového způsobu vyhodnocování srovnávacích měření
 - 8.1. Popis měřicího systému s mikropočítačem SAPI-1
 - 8.2. Deska převodníku
 - 8.3. Programová obsluha navrženého měřicího systému
 - 8.3.1. Popis programu ve strojovém kódu
 - 8.3.2. Popis programu v BASICu
 - 8.4. Délka měřicího intervalu
 - 8.5. Přesnost navrženého měřicího systému
 - 8.6. Zhodnocení navrženého měřicího systému
 - 8.7. Program pro grafické znázornění prostorového grafu ΔT
9. Technickoekonomické zhodnocení
 - 9.1. Technickoekonomické zhodnocení výpočtů teplotních polí ve formě
 - 9.2. Technickoekonomické zhodnocení výsledků měření na zkušebním zařízení na KSK v Liberci
 - 9.3. Technickoekonomické zhodnocení navržené inovace měřicí části systému pro hodnocení tepelných vlastností materiálů sklářských forem

1. Úvod

Dnešní doba je poznamenána prudkým rozvojem zavádění a využívání výpočetní techniky. V poslední době dochází především k zavádění mikropočítačových systémů. Tyto systémy skýtají dosud nebývalé možnosti využití ve vědě, průmyslu, zemědělství, školství i v domácnosti. Mikropočítače dnes zdomácněly v rukou studentů i pracovníků netechnických oborů. Mikroprocesor může dnes řídit složité technologické operace, ovládat rozmanitá regulační zařízení, zpracovávat soubory dat atd. Tyto výhody se výrazně projeví zejména tam, kde až dosud výpočetní techniku nebylo možné použít ať už z ekonomických důvodů nebo proto, že dostupné počítače byly příliš veliké.

Zavádění mikropočítačů věnuje naše společnost prvořadou pozornost. XVII. sjezd KSČ schválil zprávu o hlavních směrech hospodářského a sociálního vývoje v letech 1986 - 1990, které ukládají našemu národnímu hospodářství velmi náročné a v mnohém i nové úkoly. Jsou zaměřovány tak, aby výkonnost naší ekonomiky dosáhla postupně úrovně srovnatelné s průmyslově vyspělými zeměmi světa. Jednou z možností zvýšení produktivity

práce a zvýšení technické úrovně výroby je právě zavádění elektroniky - a to především mikroelektroniky. K jejímu využití je však třeba mít ji nejen k dispozici, ale také ji dokonale ovládat. Proto by se měly znalosti z výpočetní techniky stát nezbytnou součástí vzdělání jako součást přípravy mladých lidí na budoucí profesní činnost.

Záměrem této práce je ukázat na široké možnosti využití výpočetní techniky , a to jak při zpracovávání technických výpočtů, tak i jejího praktického využití , v tomto případě jako řídicího a ovládacího prvku v měřicím systému.

2. Výpočty teplotního pole v rovinné sklářské formě

Předmětem této práce je, mimo jiné, experimentální ověření matematického modelu nestacionárních teplotních polí v jednoduché kovové formě pro lisování skleněných destiček. Kovové sklářské formy mají, ve srovnání se sklářskými formami zhotovenými ze dřeva, doposud běžně používanými při ručním vyfukování skleněných předmětů, dvojí funkci :

1. Udílí tvarovanému sklu požadovaný tvar.

2. Odvádí z tvarovaného předmětu teplo

Zatímco při tvarování skla do forem zhotoveného ze dřeva se teplo odebírané tvarovanému sklu odvádí vodní parou/ dřevěné formy se máčí ve vodě a teplo z tvarovaného předmětu se odvádí ve formě výparného tepla vody /, kovová forma musí teploodebírané z tvarovaného předmětu nejprve akumulovat ve své hmotě , a pak ho předává svým povrchem do okolí. Nejčastěji používaným chladicím médiem pro chlazení kovových forem je ventilátorový vzduch, méně často voda.

Proces odvodu tepla z tvarovaného skla do kovové formy, a z povrchu formy do okolí, je složitý nestacionární pochod sdílení tepla. Tento pochod lze matematicky popsat diferenciální rovnicí pro vedení tepla za neustáleného stavu, známé

ve tvaru :
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) ; \quad \alpha = \frac{\lambda \cdot c}{\rho} \quad (1)$$

kde je

t - čas, T-teplota, α -měrná teplotní vodivost, x,y,z -souřadnice bodu, v němž v čase t se počítá teplota T, c -měrné teplo, λ -tepelná vodivost, ρ -měrná hmotnost. Analytické řešení této nelineární parciální diferenciální rovnice druhého řádu, parabolického typu je známé pro případ vedení tepla v jednom směru,

tedy pro rovnici :
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

Při řešení dvourozměrné, popřípadě třírozměrné úlohy, se obvykle používají numerické metody a jejich aplikace pro samočinné počítače. Z numerických metod jmenujme jako příklad metodu sítí, metodu střídavých směrů, metodu konečných prvků a metodu konečných diferencí. Jmenované metody, vyjma metody konečných prvků, nelze obvykle s dostatečnou přesností aplikovat pro řešení úloh, kdy fyzikální vlastnosti materiálu jsou závislé na teplotě, což platí i o metodě analytické. Pro řešení úloh, jedno- rozměrné, dvourozměrné i třírozměrné je s výhodou použitelná metoda elementárních bilancí vyvinutá sovětským akademikem A. P. Vaničevem.

Ve většině případů lze řešit úlohu výměny tepla za neustálého stavu mezi tvarovaným sklem a formou pouze s použitím řady zjednodušujících předpokladů a s převedením úlohy na jedno- rozměrnou úlohu pro neomezenou desku.

Pro řešení parabolické diferenciální rovnice vedení tepla za neustálého stavu je třeba zadat počáteční a okrajové, neboli hraniční podmínky řešené úlohy.

Jako počáteční podmínku pro řešení dané úlohy je třeba vždy zadat počáteční rozložení teplot v tvarovaném skle a ve formě, v čase $t=0$.

Jako hraniční podmínky, /na styku sklo-forma/, lze zadat :

1. Teplotu na ploše styku sklo-forma, jako funkci času

pro $t > t_0$, /podmínka Dirichletova/ :

$$T_p = f_1(t) \quad T_p \quad \text{..teplota na styčné ploše sklo-forma}$$

/hraniční podmínka I.druhu/

2. Velikost měrného tepelného toku přes rozhraní sklo-forma

jako funkci času a teploty pro libovolný čas $t > t_0$

/ Podmínka Neumannova/ :

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=+0} = q = f_2(t)$$

/ hraniční podmínka II.druhu /

3. Podmínky přestupu tepla ze skla do formy a teplotu skla a formy jako funkci času pro $t > t_0$,

/podmínka Fourierova / :
$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=+0} = \alpha \cdot (T_0 - T_{x=+0})$$

kde T_0 je teplota okolního prostředí a $T_{x=+0}$ je teplota na povrchu tělesa v bodě $x=+0$, α - koeficient přestupu tepla

/ Hraniční podmínka III. druhu /

4. Povrch tělesa je vystaven působení jiného tělesa, s nímž je v přímém styku. Dotyk na povrchu obou těles je tak dokonalý, že teplota dotýkajících se bodů obou těles je stejná. Tato podmínka vyjadřuje rovnost tepelných toků na rozhraní dvou těles / I a II / :

$$-\lambda_I \cdot \frac{\partial T_I}{\partial x_I} \Big|_{x=+0} = -\lambda_{II} \cdot \frac{\partial T_{II}}{\partial x_{II}} \Big|_{x=-0}$$

/ hraniční podmínka IV. druhu /

Při řešení parabolické diferenciální rovnice vedení tepla za neustáleného stavu ze skla do rovinné formy a při výpočtu teplotního pole ve formě bude použito současně hraniční podmínky prvního a čtvrtého druhu.

2.1! Řešení parciální diferenciální rovnice vedení tepla za neustáleného stavu pro neomezenou desku

Nadále se budeme zabývat těmito metodami řešení :

1. Analytické řešení
2. Metoda elementárních bilancí

2.1.1. Analytické řešení

V literatuře /4/, /5/ jsou popsána dvě řešení parciální diferenciální rovnice vedení tepla za neustáleného stavu, například neomezenou deskou, s použitím hraniční podmínky I. druhu, použitelná i pro případ současného užití hraničních podmínek I. a IV. druhu.

Rovnice

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

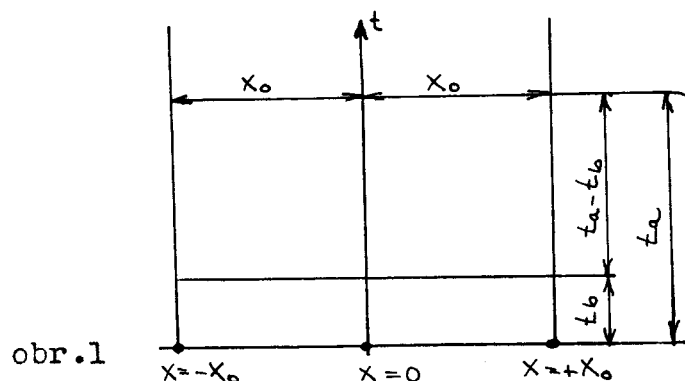
má s použitím podmínek / názorně viz obr.1/

a/ $t = t_a$, $x = +x_0$, $x = -x_0$

b/ $t = t_b$, $\tau = 0$

c/ $t = t_a$, $\tau = \infty$

d/ $-\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=+x_0} = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=-x_0} = 0$



Takto zadaná úloha má řešení ve tvaru nekonečné řady :

$$\frac{t - t_a}{t_a - t_b} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-2) \cdot (-1)^k}{[(2k-1)/2] \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[\exp - \left[(2k-1) \cdot (\pi/2) \right]^2 \cdot \frac{a \cdot \tau}{x_0^2} \right] \cdot \cos \left[(2k-1) \cdot (\pi/2) \cdot (x/x_0) \right] \right\} \quad (3)$$

a odtud teplota t počítána na souřadnici x v čase τ je :

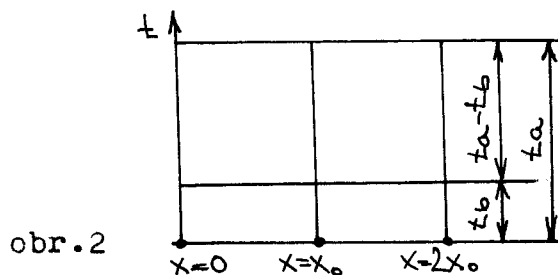
$t = t_a + (t_b - t_a) \cdot M$, kde M je výraz na pravé straně rovnice (3)

při následujícím zadání podmínek řešení /viz obr.2/

$t = t_a$, $x = 0$, $x = 2x_0$

$t = t_b$, $\tau = 0$

$t = t_a$, $\tau = \infty$



obdržíme totožné řešení pro teplotu t na souřadnici x v čase τ ,

ale s funkcí sinus :

$$t = t_a + (t_b - t_a) \cdot M' \quad , M' \text{ je výraz na pravé straně rovnice (4)}$$

$$\text{kde } M' = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{(2k-1) \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[\text{EXP} - \left[(2k-1) \cdot \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \right] \cdot \frac{a \cdot \tau}{x_0^2} \right] \cdot \sin \left[(2k-1) \cdot \left(\frac{\pi}{2} \right) \cdot \left(\frac{x}{x_0} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

Je-li $dQ = (t - t_b) \cdot \rho \cdot c_p \cdot A \cdot dx$ a je-li $A = 1 \text{ m}^2$, je integrál

$$\int_{x=0}^{x=2x_0} (t - t_b) \cdot \rho \cdot c_p \cdot dx$$

, množství tepla předané za

čas τ mezi deskou a mediem a označí-li se toto teplo Q , bude

$$Q = 2x_0 \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_a - t_b) \cdot \left\{ 1 - \frac{\rho}{\pi^2} \cdot \left[\text{EXP} - \left[\left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{a \cdot \tau}{x_0^2} \right) \right] \right] + \right. \\ \left. + \frac{1}{9} \cdot \left[\text{EXP} - \left[9 \cdot \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{a \cdot \tau}{x_0^2} \right) \right] \right] + \frac{1}{25} \cdot \left[\text{EXP} - \left[25 \cdot \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{a \cdot \tau}{x_0^2} \right) \right] \right] + \dots \right\} \quad (5)$$

Obě výše uvedená řešení diferenciální rovnice vedení tepla neomezenou deskou za neustáleného stavu lze snadno naprogramovat pro samočinný počítač, s jehož užitím je možno počítat přesně i ekonomicky.

2.1.2. Metoda elementárních bilancí

Protože diferenciální rovnice vedení tepla dávají řešení pouze pro tělesa jednoduchých geometrických tvarů a to při ne příliš složitých počátečních a okrajových podmínkách, a dále za předpokladu, že závislost fyzikálních vlastností materiálu na teplotě není příliš výrazná, lze analytickou teorii vedení tepla aplikovat pro technické výpočty pouze v omezeném rozsahu.

Fyzikální vlastnosti materiálů, obzvlášť pak tepelná vodivost a měrné teplo se mění s teplotou dosti citelně. Pokusy analytické teorie postihnout závislost fyzikálních parametrů na teplotě vedou k dosti složité diferenciální rovnici:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] + \frac{1}{c \cdot \rho} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial t} \cdot \left[\left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^2 \right] \quad [K]$$

Řešení této rovnice by mohlo být základem pro technické výpočty. Pro tento účel vypracoval sovětský akademik A.P. Vaničev metodu takzvané elementární rovnováhy, nebo taky jinak metodu elementárních bilancí.

Podstata metody spočívá v rozdělení tělesa na konečný počet elementárních geometrických útvarů dostatečně malých, takže u každého z nich lze předpokládat s jistou nepřesností platnost lineárního zákona změny teploty. Pravoúhlý rovnoběžnostěn s hranami $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, je vhodným elementárním útvarem pro tento účel. Každý **boh** elementárního rovnoběžnostěnu tvoří výpočtový bod. Teplota každého výpočtového bodu má dva indexy, podle místa a podle času.

Pro dostatečně malé rovnoběžnostěny jsou v porovnání s rozměry tělesa uvažovány tyto zjednodušující předpoklady :

1. Izotermické plochy uvnitř každého elementu jsou paralelní ekvidistantní roviny.

2. Střední hodnota tepelného toku, který prochází po dobu $\Delta \tau$

určitým povrchem, je úměrná teplotnímu gradientu na počátku časového intervalu $\Delta\tau$.

3. Zvětšení tepelného obsahu elementu je úměrné přírůstku teploty ve středu elementu.

Za těchto předpokladů byla s použitím Fourierova zákona pro vedení tepla odvozena rovnice tepelné bilance zvoleného elementu o hranách $\Delta x, \Delta y, \Delta z$.

Z bilanční rovnice byl odvozen algoritmus pro výpočet teploty v čase $\tau + \Delta\tau$. Třírozměrné řešení úlohy, včetně její početní aplikace je uvedeno v literatuře /2/, /3/, /4/.

Michejev /2/ uvádí pro výpočet teploty v tělese pro teplotu v čase $\tau + \Delta\tau$ tento vzorec :

$$t_{\tau+\Delta\tau} = R(t) \cdot t + \frac{W_x (t_{x-\Delta x}) \cdot t_{x-\Delta x}}{N(t)} + \frac{W_x (t_{x+\Delta x}) \cdot t_{x+\Delta x}}{N(t)} +$$

$$+ \frac{W_y (t_{y-\Delta y}) \cdot t_{y-\Delta y}}{N(t)} + \frac{W_y (t_{y+\Delta y}) \cdot t_{y+\Delta y}}{N(t)} +$$

$$+ \frac{W_z (t_{z-\Delta z}) \cdot t_{z-\Delta z}}{N(t)} + \frac{W_z (t_{z+\Delta z}) \cdot t_{z+\Delta z}}{N(t)}$$

kde $W_x(t) = \frac{\Delta\tau}{\rho \cdot \Delta x^2} \cdot (A + B \cdot t/2)$; $R(t) = 1 - 2 \cdot \left[\frac{W_x(t) + W_y(t) + W_z(t)}{N(t)} \right]$

$W_y(t) = \frac{\Delta\tau}{\rho \cdot \Delta y^2} \cdot (A + B \cdot t/2)$; $N(t) = (C + D \cdot t)$

$W_z(t) = \frac{\Delta\tau}{\rho \cdot \Delta z^2} \cdot (A + B \cdot t/2)$; $\bar{c}_p = C + D \cdot t$; $\lambda = A + B \cdot t$

Při jednorozměrné úloze se rovnice redukuje na tvar :

$$t_{\tau+\Delta\tau} = R(t) \cdot t + \frac{W_x (t_{x-\Delta x}) \cdot t_{x-\Delta x}}{N(t)} + \frac{W_x (t_{x+\Delta x}) \cdot t_{x+\Delta x}}{N(t)} \quad [K] (6)$$

kde $R(t) = 1 - 2 \cdot \frac{w(t)}{N(t)}$, pro jednorozměrnou úlohu, kdy neomezená deska je ochlazována nebo ohřívána symetricky oběma stranami. Pro případ, že je deska ohřívána, případně chlazená jednostranně, počítá se s deskou dvojnásobné tloušťky, protože deska je symetrická podle osy kolmé na normálu k teplosměnnému povrchu. Veličina $N(t) = (C + D \cdot t)$.

Délka časového kroku se počítá ze vztahu :

$$\Delta\tau_{max} = \frac{(C + D \cdot t_{max})}{(2A + B \cdot t_{max}) \cdot \left(\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2} \right)} \quad [\text{sec}] \quad (7)$$

Tentýž výpočet se opakuje také pro předpokládanou nejnižší teplotu a volí se menší hodnota časového kroku $\Delta\tau$.

Zadává-li se okrajová podmínka jako funkce času, pak je třeba v každém časovém kroku provádět kontrolní výpočet délky časového kroku $\Delta\tau$. V případě výpočtu výměny tepla mezi sklem a formou a konsekventních teplotních polí ve skle a ve formě, se zadává jako hraniční podmínka v každém časovém kroku limitní teplota styku /dále jako LTS/, počítaná z průměrných teplot skla a formy, podle Coennena z rovnice :

$$T = \frac{E_f \cdot t_f + E_s \cdot t_s}{E_f + E_s} \quad [K] \quad (8)$$

kde je E_f - tepelná akumulací schopnost formy

E_s - tepelná akumulací schopnost skla

t_f - teplota formy [K]

t_s - teplota skla [K]

a dále

$$E_f = \sqrt{\lambda_f \cdot c_{pf} \cdot \rho_f} \quad [J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{(1/2)}]$$

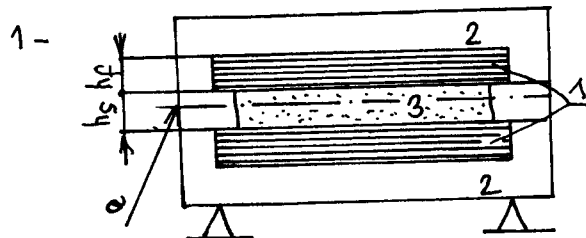
$$E_s = \sqrt{\lambda_s \cdot c_{ps} \cdot \rho_s} \quad [J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3} \cdot s^{(1/2)}]$$

Při výpočtu limitní teploty styku mezi sklem a formou by měla být použita pravá měrná tepla materiálů. Protože však hodnoty pravých měrných tepel jsou obtížně zjistitelné, počítá se obvykle se středním měrným teplem za stálého tlaku.

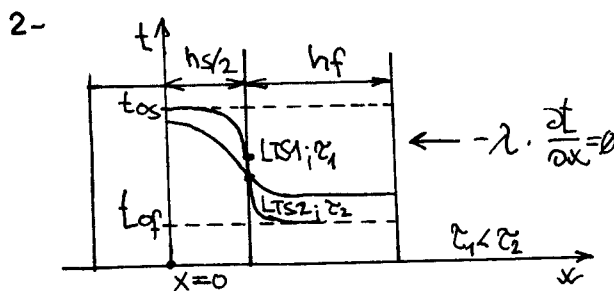
S použitím metody elementárních bilancí lze uskutečnit výpočet teplotních polí ve skle a ve formě buď souběžně nebo separátně. Uvedenou metodou /viz program č.1/ byly pak na základě sestrojeného matematického modelu /kap.2.1.3/ provedeny konkrétní výpočty teplotních polí pro zadané formové materiály nikl ČSN 423 403.00, ocel ČSN 11373, šedou litinu ON 71 05 11, ocel ČSN 17 255, a to pro definované hloubky pod povrchem líce formy 1,2,4mm a definované teploty formy 300,400,500 °C a teploty skloviny C1 800,900, 1000°C.

2.1.3. Matematický model

a/Přestup tepla mezi sklem a formou zhotovenou z kovového materiálu při lisování skleněné destičky pomocí zařízení dle níže uvedeného schematu 1, lze popsat jednoduchým matematickým modelem, podle schematu 2 :



- 1-kovová forma
- 2-tepelná izolace
- 3-tvarované sklo



$$h_s = \text{konst}$$

$$h_f = \text{konst}$$

$$t_s = t_{os} , t_f = t_{of}, \tau = 0$$

$$t_s = t_f , \tau \rightarrow \infty$$

b/Dále se uvažuje platnost následujících předpokladů :

1. Úloha vedení tepla ze skla do formy je symetrická dle osy o .
2. Množství tepla Δq_i předané za dobu $\Delta \tau$, 1m^2 plochy styku sklo-forma, pro niž se uvažuje hraniční podmínka IV. druhu, je :

$$\Delta q_i = \Delta q_s = \Delta q_f$$

Δq_s - teplo předané 1m^2 skleněné desky za dobu $\Delta \tau$, jednomu m^2 plochy [J]

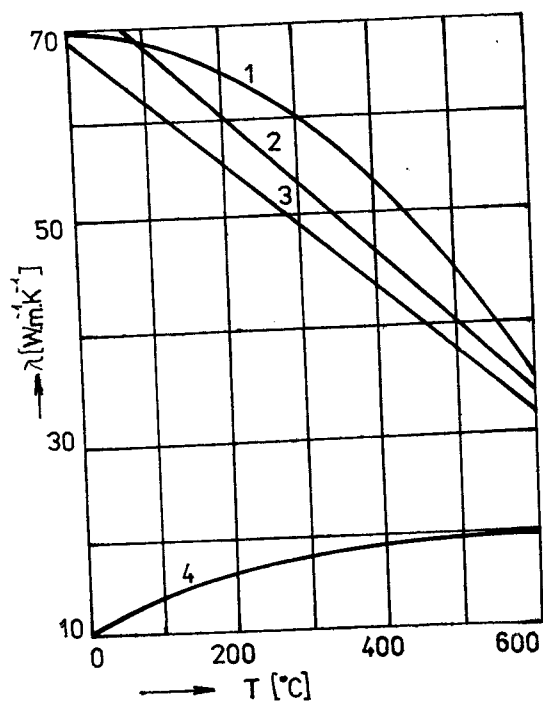
Δq_f - teplo přijaté 1m^2 povrchu styku sklo - forma formou za čas $\Delta \tau$. [J]

3. Protože forma je dokonale tepelně izolovaná, spotřebuje se veškeré teplo předávané sklem do formy na její oteplení.
4. K absolutnímu vyrovnání teplot skla a formy dojde v čase $\tau \rightarrow \infty$. Tento předpoklad se zavádí proto, aby byla splněna jedna z podmínek analytického řešení diferenciální rovnice (2).

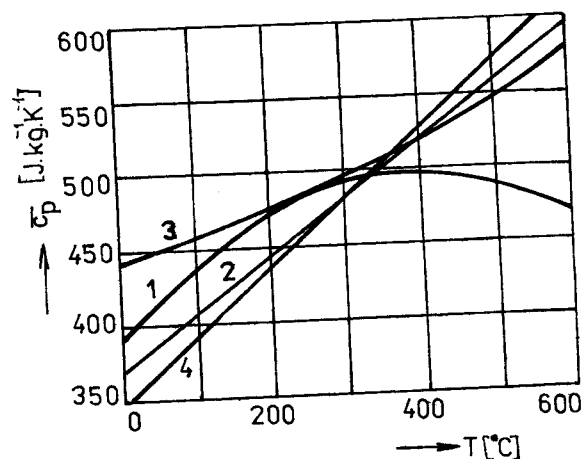
3. Údaje o materiálu forem

3.1. Závislost tepelné vodivosti a měrného tepla zadaných formových materiálů na teplotě

Pro výpočet teplotních polí metodou element. bilan-
cí je třeba u jednotlivých formových materiálů znát prů-
běhy jejich tepelných vodivosti λ a měrných tepla \bar{c}_p v zá-
vislosti na teplotě. V tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny konstan-
ty A a B, pomocí kterých lze sledovat průběhy λ i \bar{c}_p jako
funkci teploty. K těmto konstantám se dospělo následujícím
způsobem: Z obr.3 a obr.4, na kterých jsou zobrazeny požado-
vané závislosti/1/, postupně vybereme potřebné křivky a v
úseku teplot 300-600°C je budeme linearizovat. Pak je již
bude možno jednoduše matematicky vyjádřit jako $\lambda = f/T/$ a
 $\bar{c}_p = f/T/$, a to pomocí rovnice přímky.



obr.3[1]



obr.4[1]

- 1- čistý nikl
- 2- šedá litina
- 3- nelegovaná ocel
- 4- ocel ČSN 17 255

Vezměme například závislost $\lambda = f/T$ náležící nelegované oceli. Vidíme, že je to v celém úseku teplot $0-600^{\circ}\text{C}$ v podstatě závislost přímková, takže rovnicí této závislosti lze vyjádřit pro celý úsek „najednou“. Rovnici přímky vyjádříme ve tvaru

$$Y = k \cdot x + q$$

kde

$$k = \frac{\lambda / 0^{\circ}\text{C} - \lambda / 600^{\circ}\text{C}}{600 - 0}$$

celou rovnicí vyjádříme pak ve tvaru

$$\lambda = A_1 + A_2 \cdot t \quad \text{a obdobně}$$

$$\bar{c}_p = B_1 + B_2 \cdot t$$

kde

$$k = A_2 / B_2, \quad q = A_1 / B_1, \quad x = t / ^{\circ}\text{C},$$

$$Y = \lambda / c_p$$

Tímto postupem dostaneme potřebné závislosti $\lambda = f/T$, $\bar{c}_p = f/T$, které ukládáme do dat v programu č. 1, řádek 5020.

Je-li průběh křivky takový, že zabráňuje linearizaci v úseku $300 - 600,0^{\circ}\text{C}$ /potřebný pro daný případ/ najednou, provede se linearizace křivky postupně po úsecích, po 100°C - což vzhledem k charakteru jejich průběhu je, co se týče přesnosti aproximace, pro daný účel zcela dostačující.

Pozn.: Linearizace daných průběhů $\lambda(\bar{c}_p) = f/T$ v oblasti teplot 300 až 600°C byla zvolena vzhledem k zadaným hodnotám teplot forem $/300, 400, 500^{\circ}\text{C}/$.

T [K]	A1				A2			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
300	90	58,76	19,7	59	-0,0933	-0,0306	0,0018	-0,0475
400	90	58,76	19,7	59	-0,0933	-0,0306	0,0018	-0,0475
500	90	58,76	19,7	59	-0,0933	-0,0306	0,0018	-0,0475
600	90	58,76	19,7	59	-0,0933	-0,0306	0,0018	-0,0475
700	90	58,76	19,7	59	-0,0933	-0,0306	0,0018	-0,0475

Tab.1

T [K]	B1				B2			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
300 až	440,0	419,0	460,0	420,0	0,15	0,218	0,0743	0,3
400 až	440,0	419,0	460,0	420,0	0,15	0,218	0,0743	0,3
500 až	500,0	419,0	460,0	420,0	0,0000*	0,208	0,0743	0,3
600 až	561,25	419,0	460,0	420,0	-0,1225	0,218	0,0743	0,3
700 až	561,25	419,0	460,0	420,0	-0,1225	0,218	0,0743	0,3

Tab.2

A1, A2 - konstanty pro výpočet tepelné vodivosti jako funkce teploty : $\lambda = A_1 + A_2 \cdot t$

B1, B2 - konstanty pro výpočet měrného tepla \bar{c}_p jako funkce teploty : $\bar{c}_p = B_1 + B_2 \cdot t$

Materiál	Označení	měrná hmotnost [Kg.m ⁻³]
M1	čistý nikl-ČSN 423 403.00	8900
M2	ocel - ČSN 11373.00	7840
M3	leg. ocel - ČSN 17255	7900
M4	šedá litina-ON 71 05 11	7150

* Pozn. : při výpočtu na počítači bylo třeba zadat do dat 0,004, protože při zadání hodnoty 0,00 hlásil Počítač ERROR 56.

3.1.1 Údaje o sklovině Cl

1. Chemické složení :		měrná hmotnost : $\rho_{20} = 2520 \text{ Kg.m}^{-3}$
SiO_2	70,06 % hmoth.	$\rho_{500} = 2490 \text{ Kg.m}^{-3}$
Al_2O_3	0,0	
Fe_2O_3	0,0	
CaO	2,4	
B_2O_3	0,8	
MgO	1,5	
PbO	6,3	
Na_2O	5,8	
K_2O	12,0	
Sb_2O_3	0,25	
As_2O_3	0,25	

2. Pro měrné teplo byla vypočtena z jeho chemického složení závislost na teplotě podle Sharp-Ginthera:

$$\bar{c}_{p/0-t} = \frac{1,852 \cdot t + 802,03}{0,00146 \cdot t + 1} \quad [\text{J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

3. Za předpokladu lineární závislosti na teplotě, byla z uvedených hodnot ρ_{20} a ρ_{500} stanovena rovnice závislosti

$$\rho = (\rho) t :$$

$$\rho_t = 2518,7 - 0,0625 \cdot t \quad [\text{Kg.m}^{-3}]$$

4. Pro dané složení skla Cl a uvažovanou tloušťku skleněné vrstvy cca 0,004m, se uvažuje následující závislost tepelné vodivosti λ_s na teplotě :

$$\lambda_s = 1,06 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot t \quad [\text{W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

3.2. Přepočet tloušťky formy pro matematický model

V daném případě bereme v úvahu, že se na pokusném zařízení lisovala destička tlustá cca 0,004m z dávky skla C1 o hmotnosti 0,030 Kg, mezi dvěma kruhovými kovovými formami, o průměru 0,090m a o tloušťce 0,020m.

Pro hustotu skleněné desky $2,5 \text{ g.cm}^{-3}$ vyjde při uvažovaném tvaru desky jako válce jeho průměr :

$$d_s = (0,030 \cdot 4 / 2500 \cdot 0,004 \cdot \pi)^{0,5} = 0,0618\text{m}, \text{ tj. cca } 62\text{mm}.$$

Plošný obsah podstavy válce pak je :

$$f_s = \pi \cdot 0,25 \cdot 0,0618^2 = 0,003\text{m}^2$$

Pro válcovou formu o průměru 0,090m vyjde její plošný obsah

$$f_f = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,09^2 = 0,0063671\text{m}^2$$

Protože se při lisování skleněné destičky 4mm tlusté ohřívá celá hmota formy o průměru 0,09m, je třeba při výpočtu teplotního pole ve formě tuto skutečnost zohlednit následujícím přepočtem tloušťky stěny formy, /tj. výšky válce, který by měla forma válcového tvaru, při stejné podstavě, jako skleněná destička, tj. 61,8mm/ :

Poměr plošných obsahů podstav skleněné desky a formy je

$$\frac{f_s}{f_f} = \frac{0,003}{0,0063671} = 0,47157019$$

a přepočtená tloušťka formy pak bude

$$h_f' = \frac{V_f}{f_s} = \frac{f_f \cdot h_f}{f_s} = \frac{0,02}{0,47157019} = \underline{\underline{0,0424115 \text{ m}}}$$

4. Výpočet teplotního pole ve formě

S použitím matematického modelu schematicky znázorněného na str.18 a rovnice/6/ byl vypracován program č.1 pro výpočet teplotního pole ve formě metpdou elementárních bilancí. Pomocí tohoto programu byly vypočteny dle platného zadání velikosti hodnot nárůstů teplot ve formách po styku sklovina-forma v lisovacím cyklu. Z vypočtených hodnot byla vybrána maxima nárůstů teplot pro jednotlivé formové materiály - ta jsou předmětem našeho zájmu, a tyto hodnoty byly pak tabelovány /tab.3,4,5,6/ a vyneseny do grafu /obr.5/.

Údaje o DATech programu č.1:

řádky 5000,5010 - zde se zadávají konstanty ze vzorců uvedených na str. 22/údaje o sklovině/

řádek 5020 - zde se zadávají konstanty A_1, A_2, B_1, B_2 a ζ - viz str. 21 /údaje o materiálu forem/

tab. 3

Mater.		čistý nikl			/M1/
T_f	T_s	ΔT_f	Hl. /mm/		
/°C/	/°C/		4	2	1
300	800	/°C/	20,435	29,175	38,073
400			15,808	23,316	31,603
500			11,710	17,201	25,374
300	900		24,875	33,481	46,620
400			20,002	26,311	40,261
500			15,747	20,009	34,418
300	1000		29,372	39,278	55,382
400			24,241	33,156	49,136
500			19,205	28,402	43,671

Mater.		ocel ČSN 11373			/M2/
T_f	T_s	ΔT_f	Hl. /mm/		
/°C/	/°C/		4	2	1
300	800	/°C/	23,223	34,123	43,415
400			17,807	26,985	30,498
500			12,180	20,731	25,360
300	900		28,375	39,263	53,097
400			22,652	32,667	43,645
500			17,360	25,681	34,502
300	1000		33,640	47,079	63,152
400			27,607	38,927	53,570
500			22,032	33,263	43,928

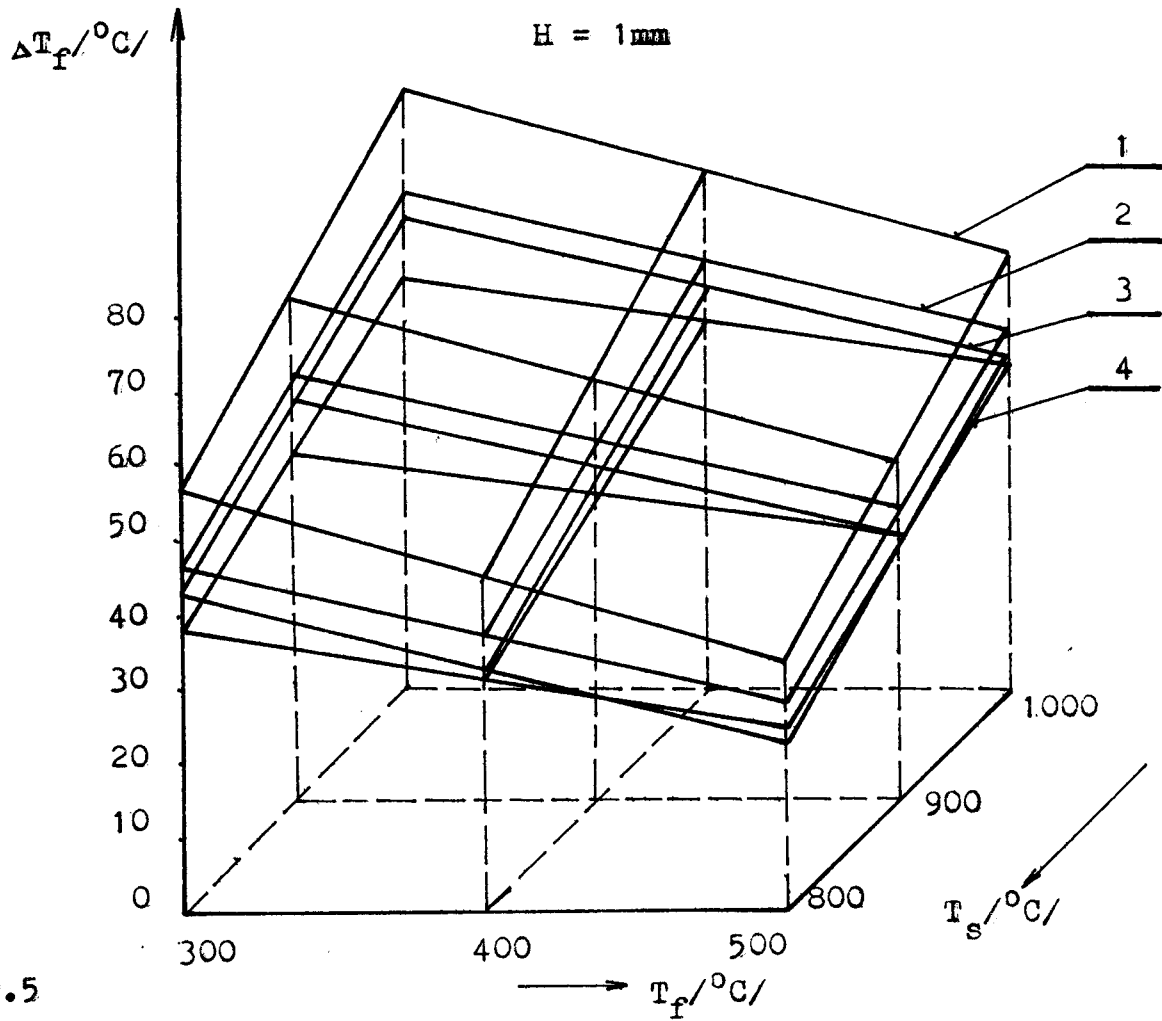
tab. 4

tab. 5

Mater.		ocel ČSN 17255 /M3/			
T_f /°C/	T_s /°C/	ΔT_f /°C/	Hl. /mm/		
			4	2	1
300	800	ΔT_f /°C/	19,373	23,971	55,494
400			15,484	19,403	43,931
500			11,400	14,069	32,617
300	900		23,457	29,981	68,058
400			19,142	26,038	56,103
500			15,077	19,679	44,414
300	1000		27,590	37,094	80,288
400			23,332	32,009	68,644
500			19,085	25,732	56,587

Mater.		šedá litina ON 71 05 11 /M4/			
T_f /°C/	T_s /°C/	ΔT_f /°C/	Hl. /mm/		
			4	2	1
300	800	ΔT_f /°C/	23,400	36,159	46,136
400			17,455	28,823	36,845
500			12,081	22,325	27,711
300	900		28,472	42,177	56,457
400			22,087	36,001	47,250
500			16,201	29,138	38,010
300	1000		33,415	48,748	66,610
400			26,300	43,396	56,502
500			20,100	35,021	47,800

tab. 6



obr.5

- 1 - ocel ČSN 17 255
- 2 - šedá litina ON 71 05 11
- 3 - ocel ČSN 11 373
- 4 - nikl ČSN 423 403.00

4.1. Diskuse k získaným výsledkům metodou elementárních bilancí

Při hodnocení výpočtem získaných výsledků je třeba si uvědomit, které faktory mohou apriorně limitovat přesnost a tím také použitelnost vypočtených hodnot. V daném případě byly při výpočtu použity materiálové konstanty formových materiálů získané exaktními měřeními, a to jak měrné teplo, měrná hmotnost, tak i tepelná vodivost. V případě skloviny C1 byly její materiálové konstanty vypočteny z jejího chemického složení. V souvislosti se sklem, jakožto transparentním materiálem, je třeba mít vždy na paměti, že jeho efektivní tepelná vodivost je funkcí nejen jeho chemického složení a teploty, ale i tloušťky vrstvy skla, pokud tato je větší než 0,006m. Protože radiační složka tepelné vodivosti se uplatňuje u vrstev skla silnějších než 0,006m citelně již od teploty 700°C, je problematické řešení jakýchkoliv úloh, v nichž je jmenovaná veličina obsažena, pokud není přesně známa funkce teplotní závislosti $\lambda_{ef} = f(T)$. Protože v našem případě byl výpočet uskutečněn pro tloušťku vrstvy skla 0,004m, lze v daném případě považovat podmínky výpočtu teplotních polí, jejichž výsledky jsou uvedeny v tab. 3,4,5,6,11, za regulérní. Při aplikaci jmenovaných výsledků je však vždy nutno respektovat omezující podmínku, danou tloušťkou vrstvy skla 0,006m. Konkrétně, získané výsledky lze regulérně aplikovat na proces lisování skla, kde tloušťka vrstvy/stěny/ výlisku není větší než 0,006m.

5. Experimentální část

5.1. Zkušební zařízení na srovnávací hodnocení tepelných vlastností materiálu sklářských lisovacích forem

Na katedře sklářských a keramických strojů VŠST v LIBerci bylo navrženo, vyrobeno a provozně vyzkoušeno měřící zařízení/6/ na srovnávací hodnocení tepelných vlastností kovových materiálů sklářských forem při proměnných parametrech lisování skla. Dovoluje hodnotit zejména z pohledu odvodu tepla ze skloviny do formy, vlivu materiálu a drsnosti líce formy na jakost povrchu skleněných výlisků.

Zkušební zařízení tím dává možnost levného a objektivního posuzování vlastností materiálů sklářských forem a odstraňuje tak drahé, subjektivní a mnohdy na různých pracovištích rozporná hodnocení.

5.1.2. Popis zkušebního zařízení a jeho funkce

Zkušební zařízení na srovnávací hodnocení tepelných vlastností materiálu sklářských forem sestává ze tří hlavních částí. Jsou to:

- experimentální lis
- programová skříň A 002/vlastní výroby/
- čtyřkřivkový zapisovač KUTESCH Recorder, typ 175

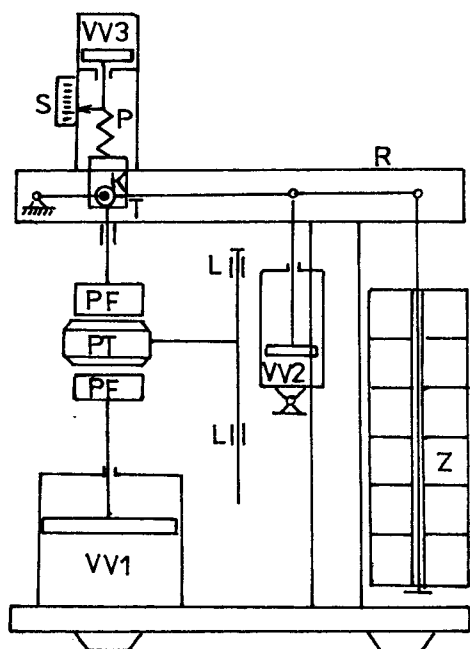
K dalším částem měřícího zařízení patří laboratorní elektrická pec s elektronickou regulací teploty a elektrické ploténkové misky pro předehřátí dávky skla a ochlazení výlisků.

5.1.3. Experimentální lis

Jedná se o poloautomatický mechanicko-pneumatický lis. Jeho schéma je znázorněno na obr. 2A.

Sestává z rámu R, na němž jsou uchyceny:

- pákový mechanismus PM, který závažím Z, odstupňované volitelné hmotnosti vyvozuje přes kladku K a třmen T na horizontální plochu lisovací formu PLF danou lisovací silou;



obr. 2A

R	-	rám
PM	-	pákový mechanismus
Z	-	závaží
PF	-	plochá forma
PT	-	předehřivací těleso
L	-	ložisko
VV1	-	vzduchový válec
VV2	-	--- " ---
VV3	-	--- " ---
P	-	pružina
T	-	třmen
K	-	kladka

- vzduchový válec VV1 sloužící k přitlačení předehřivacího tělesa PT na horní a spodní PLF v předehřivací poloze a při měření vytvoření podpory v podobě spodní ploché lisovací formy v horní poloze pístu válce VV1, tj. v lisovací poloze, kdy je předehřivací těleso odsunuto pomocí držáku D v ložiskách L o 90° mimo lisovací polohu;
- předehřivací těleso PT, sestávající ze dvou elektrických odporových vařičových plotének navzájem pružně spojených tak, aby bylo zajištěno jejich plošné dosednutí na obě ploché lisovací formy k zajištění dobrého přestupu tepla;
- vzduchový válec VV2, který ovládá počátek a konec působení lisovací síly závažím Z. Pro případ vyvození vyšší lisovací síly, než může vyvinout největší volitelné závaží, může vzduchový válec VV2, navíc při zavedení tlakového vzduchu nad píst, pracovat jako posilovač lisovací síly, což

lze před proběhnutím automatického lisovacího cyklu /ALC/ zajistit sepnutím vypínače v programové skříni.

Technická data :

lisovací síla - bez posilovače: 500 - 4000 N

lisovací síla - s posilovačem : 4000 - 8000 N

teplota předehřátí forem PLF: 20 až 600 C

tlakový vzduch: 0,6 MPa

časové rozpětí ALC: 0 až 20 s

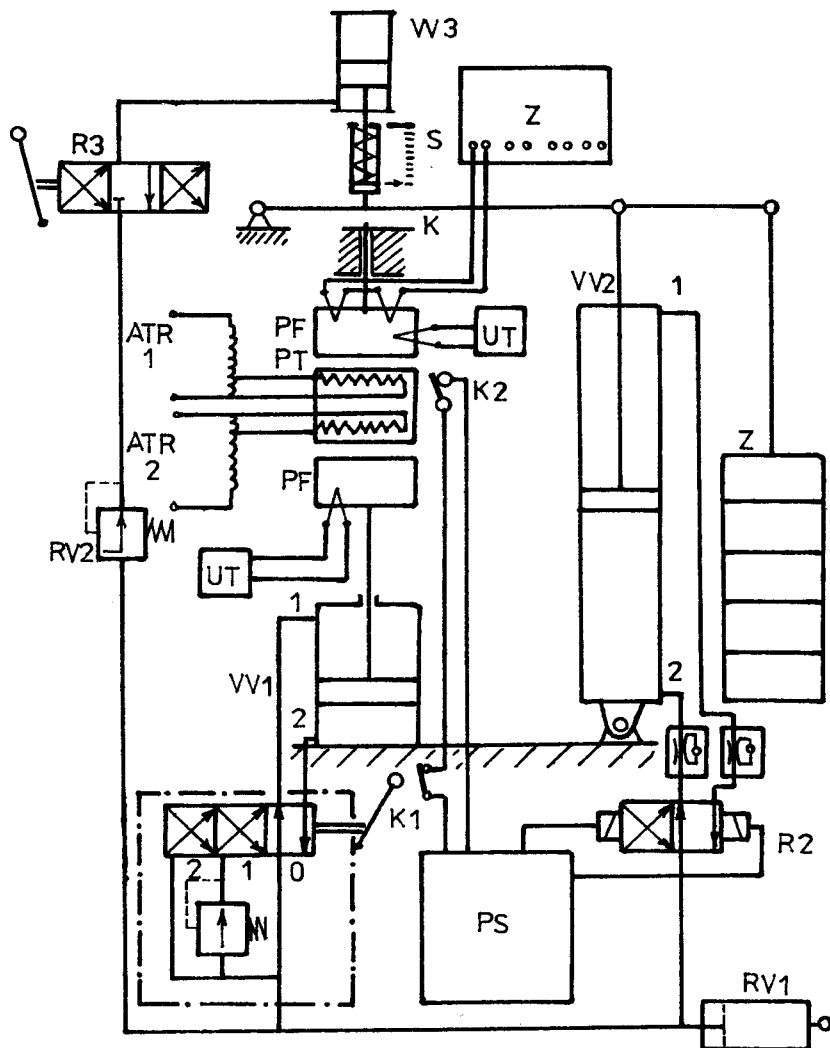
5.1.4. Ovládací a měřicí část

Byla navržena tak, aby umožňovala 3 základní funkce.

- Automaticky regulovaný ohřev plochých lisovacích forem elektrickým odporovým předehřívacím tělesem
- Vlastní lisování skloviny dané teploty mezi plochými lisovacími formami, předehřátými na požadovanou teplotu po určité době zvolenou lisovací silou.
- Měření změny teploty ploché lisovací formy v různých hloubkách od rozhraní sklovina - forma v závislosti na teplotě skloviny, teplotě předehřátí plochých lisovacích forem, lisovací síle a době lisování.

Funkce ovládací a měřicí části měřicího zařízení je znázorněna jako blokové schéma na obr. 30 .

Tlakový vzduch je k měřicímu zařízení přiváděn přes filtr a redukční ventil RV1. Při zapnutí programové skříně PS , která sestává ze stykače, relé, časového relé, regulátoru teploty, je rozvaděč R2 nastaven tak, že tlakový vzduch je přiváděn přes elektromagnetický ventil V2, roz-



Obr. 30

R1, R2, R3 - rozvaděče
 VV1, VV2, VS3 - vzduch. válce
 RV1, RV2 - redukční ventily
 PS - program. skříň typ A 002

K1, K2 - mikrospínače
 ATR - autotransformátor
 Z - zapisovač
 UT - ukazatel teploty

kovým vzduchem nad horní plochu pístu vzduchového válce VV2. Doba lisování je dána časem nastaveným na časovém relé, zabudovaném v programové skříní PS a to v okamžiku sepnutí mikrospínače K1. Čas lisovacího cyklu je vizuálně kontrolován na elektronických stopkách ES a vývodem od časového relé v programové skříní PS. Po skončení automatického lisovacího cyklu je programovou skříní dán impuls na přestavení rozváděče R2 do původní polohy a píst vzduchového válce VV2 se přesune do horní polohy 1. Závaží Z je tak vzduchovým válcem VV2 nadzvednuto a vyřazeno z funkce. Měřicí zařízení je po odejmutí výlisku opět připraveno k temperování plochých lisovacích forem a dalšímu měření.

2.1.5. Popis přípravy srovnávacího měření

K porovnání tepelných vlastností materiálu sklářských lisovacích forem se vyrobí z příslušných materiálů vždy spodní a horní plochá lisovací forma, přičemž horní plochá lisovací forma je hlavním předmětem měření. Její velikost a vrtání otvorů pro zabudování termočlánků je na obr. 34 a tab. 16 .

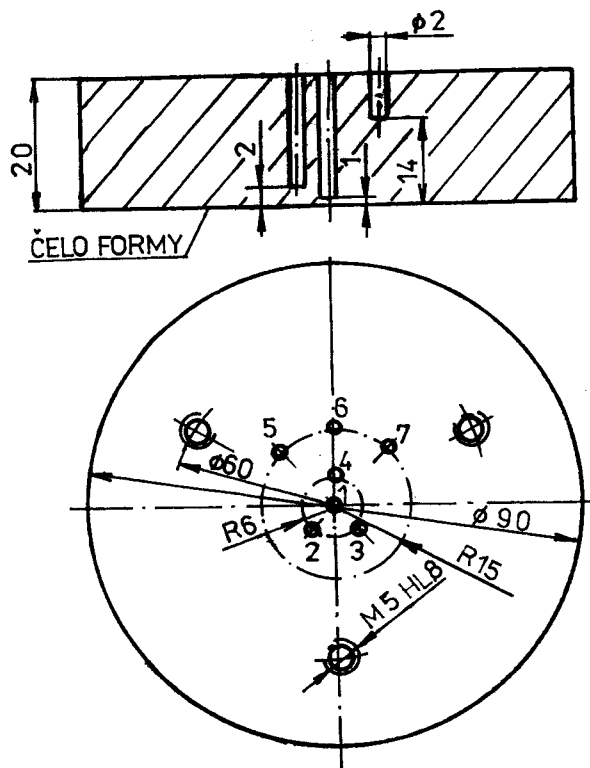
Podle obr. 34 a tab. 16 jsou v místě 1, 2 a 3 přivařeny výbojem laboratorní kondenzátorové svářečky teplé spoje termočlánků Fe-Ko. Všechny termočlánky mají průměr 0,1 mm. Odpovídající studené spoje těchto termočlánků jsou stejným způsobem přivařeny v místech 5, 6, 7, tj. v hloubce, kde je již teplota ploché lisovací formy v souvislosti s automatickým lisovacím cyklem prakticky shodná s teplotou jejího předehřátí. Termočlánek přivařený v místě č. 4 slouží k regulaci ohřevu předehřívacího tělesa PT k docílení žádané teploty předehřátí plochých lisovacích forem.

váděče R2 na stranu 2 vzduchového válce VV2 a píst se přesune do polohy 1. Tím je závaží Z nadzvednuto a forma PLF nezatížena. Po zavedení předehřívacího tělesa mezi ploché lisovací formy je pákou z ručně ovládaného rozváděče R1 přiveden redukovany tlakový vzduch na stranu 2 vzduchového válce VV1. Tím je spodní plochá lisovací forma jemně přitlačena na předehřívací těleso, se kterým se posouvá dále asi o 10 mm, až se přitlačí na horní plochou lisovací formu. Umožňuje to podle obr. posuvné otočné uložení držáku D v ložiskách L. Regulace požadované teploty horní ploché lisovací formy je prováděna regulátorem teploty RT, řízeného přivařeným termočlánkem T1 z Ni-NiCr. Kontrola spodní lisovací formy se provádí rovněž k ní přivařeným termočlánkem T2 pomocí ukazatele teploty z UT.

Po skončeném předehřátí plochých lisovacích forem na žádanou teplotu se provede vlastní lisování dávky skloviny následujícím postupem:

Pomocí rozváděče R1 se přesunutím páky P do polohy 1 přivede tlakový vzduch na stranu 1 vzduchového válce VV1. Jeho píst sjede do polohy 2 a tím i spodní plochá lisovací forma do spodní, tj. dávkovací polohy. Předehřívací těleso PT je ručně odsunuto mimo lisovací prostor pomocí otočného držáku D asi o 90°. Na spodní plochou lisovací formu je ručně vložena dávka skloviny. Otočením páky P rozváděče R1 do polohy 2 je do části 2 vzduchového válce VV1 vpuštěn tlaková vzduch. Po zdvihu spodní plocha lisovací formy do horní lisovací polohy je narážkou sepnut mikrospínač K1. Tím se zapojí programová skříň PS, která přepne rozváděč R2 do polohy, kde podle předchozí předvolby v programové skříni nastane pomocí pákového mechanismu PM lisování dávky skloviny závažím Z, event. s posilovací silou, vyvozenou tla-

Jeho studený spoj je na rozdíl od termočlánků č. 1, 2, 3 umístěný mimo plochou lisovací formu termostatu s teplotou 0°C. Ve stejné hloubce jako v místě č. 4 je kontrolně sledována teplota spodní ploché lisovací formy.

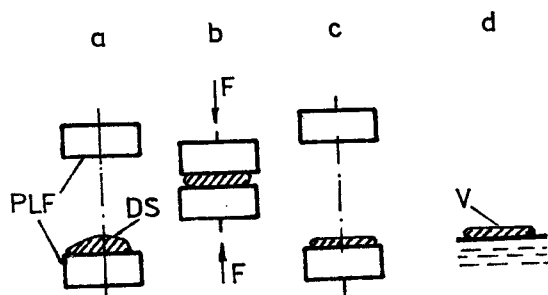


Místo	1	2	3	4	5	6	7
H /mm/	1	2	4	14		14	

TAB. 16 místo měření teploty ve vzdálenosti H od čela horní ploché lisovací formy

Obr. 34 - Horní plochá lisovací forma

Vlastní průběh lisování je znázorněn na obr. 32 .



- a - dávkování
- b - lisování
- c - odnímání výlisku
- d - chlazení

Obr. 32 - Průběh lisování

- PLF - Ploché lisovací formy
- DS - Dávka skloviny
- V - Konečný výlisek

5.1.6. Parametry měření

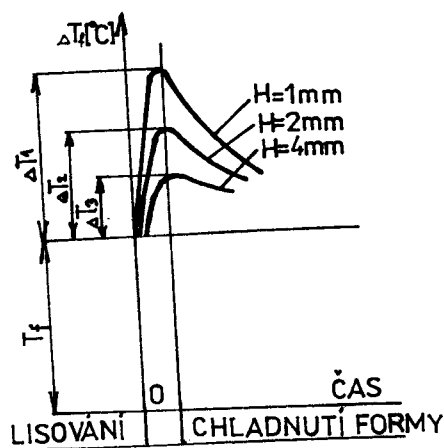
- Hmotnost dávky skloviny jakosti C1-30 g.
- Teplota dávky skloviny $T_s = 800, 900$ a 1000 °C.
- Teplota plochých lisovacích forem $T_f = 300, 400$ a 500 °C.
- Lisovací síla $F = 1\ 500$ N.
- Měření nárůstu teploty na horní ploché lisovací formě ΔT_f v hloubce od styku se sklovinou $H = 1; 2$ a 4 mm.
- Automatický lisovací cyklus - 5 s.

5.1.7. Metodika vyhodnocení srovnávacího měření

Souhrn záznamů z křivkového zapisovače časových nárůstů teplot v odstupňovaných hloubkách H_1, H_2 a H_3 od rozhraní sklovina - plochá lisovací forma je na obr. 33.

Ze záznamu byla odečtena maxima přírůstu teplot $\Delta T_1, \Delta T_2$ a ΔT_3 . Tato maxima naběhnou pro sledované hloubky 1, 2 a 4 mm ve velmi malém časovém rozmezí, což je pro daný účel zanedbatelné.

Maxima nárůstu teploty vzniklých u měřených formových materiálů byla v závislosti na teplotách T_s a T_f vynesena do prostorových grafů, a ty pro jednotlivé formové materiály kvalitativně z pohledu tepelných vlastností porovnány.



Obr. 33 - Znárodnění překresleného záznamu z křivkového zapisovače

5.1.8. Provedená konkrétní měření tepelných vlastností materiálů sklářských forem

Na popsaném zkušebním zařízení pro hodnocení vlastností materiálů sklářských lisovacích forem byla provedena měření těchto materiálů :

- 1/ ... ocel ČSN 11 373 /16/
- 2/ ... šedá litina ON 71 05 11
- 3/ ... nikl ČSN 423 403.00 /16/
- 4/ ... ocel ČSN 17 255 /16/

Výsledky získanými při měření tepelných vlastností těchto materiálů se budeme dále zabývat.

5.1.8:1. Porovnání naměřených hodnot

Při porovnání výsledků měření s literárními údaji /1/ tepelných vodivostí a měrných tepel materiálů používaných na sklářské formy je podle obr. 3 a obr. 4 tepelná vodivost čistého niklu v oblasti provozních teplot 300 - 500°C cca o 10% vyšší než u šedé litiny /tř.B/ a cca o 20% vyšší než u nelegované oceli. Z porovnání z obr. 10 je však zřejmé, že odvod tepla z niklu použitého na niklové formy je nižší než z formy vyrobené z nízkouhlíkaté oceli i než formy zhotovené z šedé litiny, z čehož lze soudit, že tepelná vodivost měřeného niklu ČSN 423 403.00 je nižší než oceli ČSN 11 373 i šedé litiny ON 71 05 11, což je v rozporu s literárními údaji běžně používanými v praxi.

Naměřené hodnoty u jednotlivých materiálů po odečtení ze zápisu čtyřkřivkového zapisovače /17/ byly zpracovány do tabulek a nárůst teplot v definovaných hloubkách pod lícem formy ΔT_f pro zadané teploty T_s a teploty formy T_f byly vyneseny do prostorových grafů, viz obr. č. 6, 7, 8, 9 a tab. 7, 8, 9, 10. Na obr. 10 je znázorněno vzájemné porovnání naměřených teplot u jednotlivých materiálů v hloubce 1 mm pod povrchem líce formy.

5.1.9. Porovnání naměřených hodnot s hodnotami získanými výpočtem

5.1.9.1. Porovnání s výpočty získanými na podkladě literárních údajů /1/

Na obr. 11, 12, 13, 14 jsou graficky porovnány hodnoty, k nimž se došlo výpočtem dle metody elementárních bilancí // výpočtem /V1// a měřením. Z grafů lze vidět, že zde jsou poměrně velké rozdíly mezi naměřenými hodnotami a hodnotami vypočtenými, což se dá tvrdit zejména o oceli ČSN 11 373, niklu ČSN 423 403.00 a šedé litině ON 710511. Takto vzniklé disproporce není možno přičítat na vrub chybám, vzniklým až již při měření nebo při výpočtu, proto budou vzniklé nesrovnalosti v dalších odstavcích podrobeny ve sporných bodech rozboru a analýze.

tab. 7

Mater.		ocel ČSN 11 373			
T_f	T_s	ΔT_f	Hl. /mm/		
/°C/	/°C/				
			4	2	1
300	800		/°C/	13	20
400		8		15	21
500		6		10	17
300	900	21		29	32
400		18		24	26
500		15		20	23
300	1000	24		33	39
400		21		27	32
500		18		25	27

Mater.		šedá litina ON 71 05 11			
T_f	T_s	ΔT_f	Hl. /mm/		
/°C/	/°C/				
			4	2	1
300	800		/°C/	16	23
400		13		18	27
500		10		14	20
300	900	22		30	41
400		19		25	36
500		16		21	26
300	1000	25		35	48
400		22		29	43
500		19		26	35

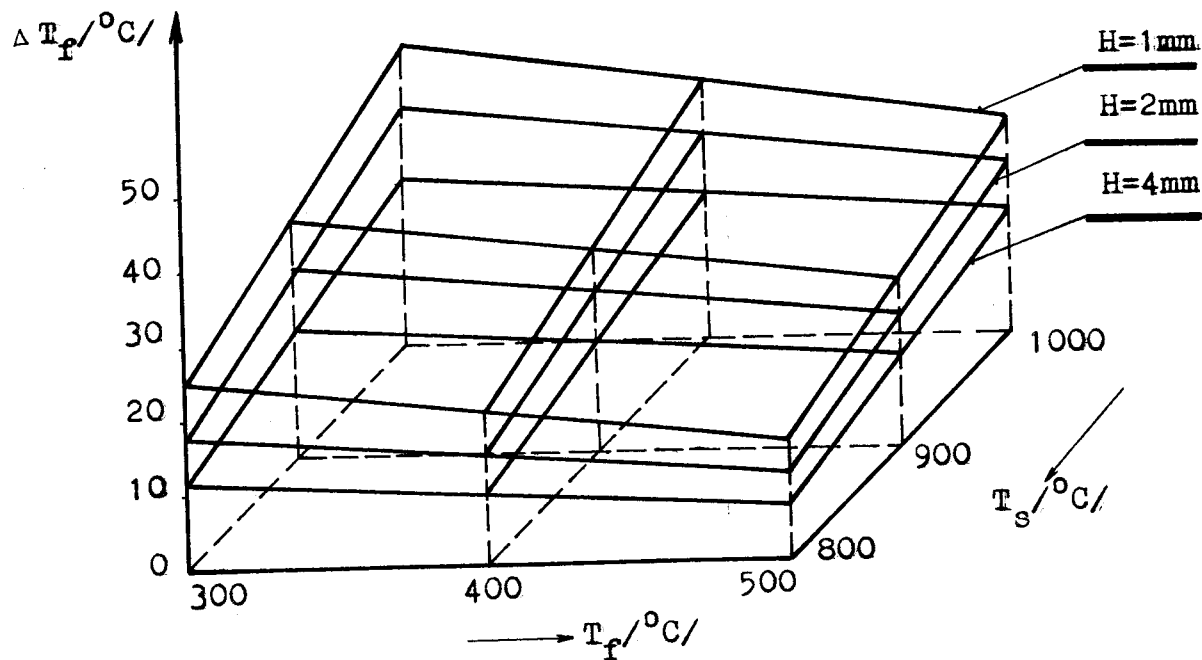
tab. 8

tab. 9

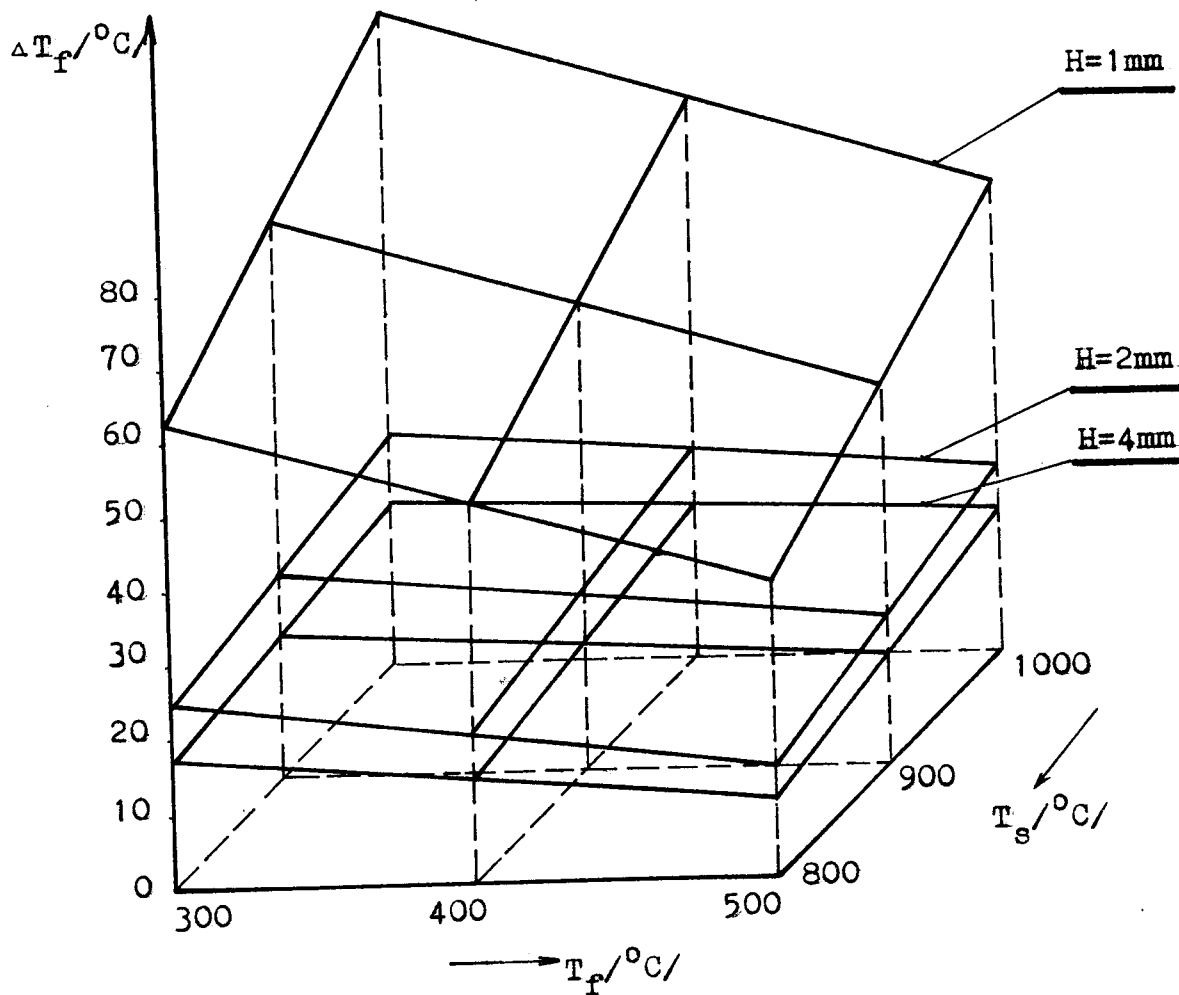
Mater. nikel ČSN 423 403. 00					
T_f /°C/	T_s /°C/	ΔT_f /°C/	Hl. /mm/		
			4	2	1
300 400 500	800	ΔT_f /°C/	29	35	47
			22	29	38
			17	22	29
300 400 500	900		35	41	56
			28	34	48
			21	27	38
300 400 500	1000		39	46	65
			34	41	56
			28	35	47

Mater. ocel ČSN 17 255					
T_f /°C/	T_s /°C/	ΔT_f /°C/	Hl. /mm/		
			4	2	1
300 400 500	800	ΔT_f /°C/	18	25	63
			14	19	52
			11	15	40
300 400 500	900		22	29	76
			19	24	60
			16	21	49
300 400 500	1000		22	31	88
			21	29	74
			19	25	63

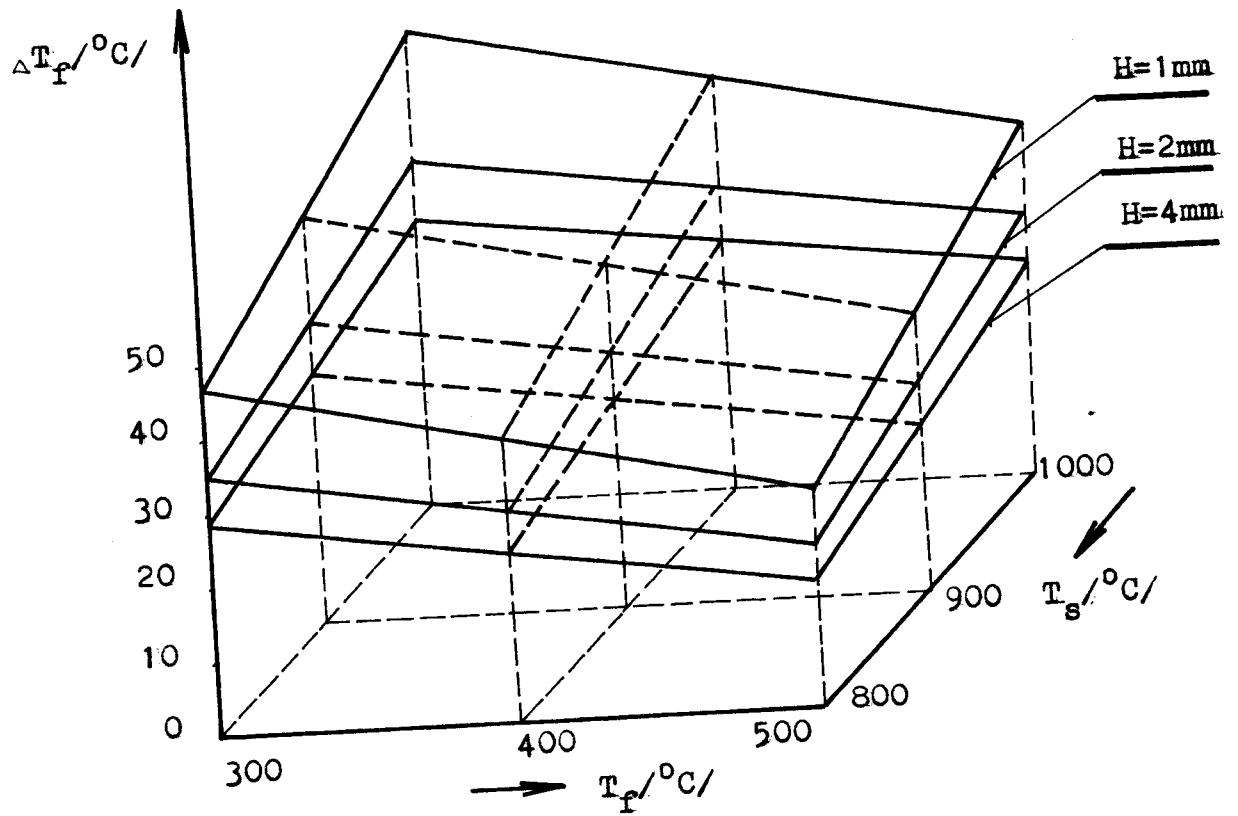
tab. 10



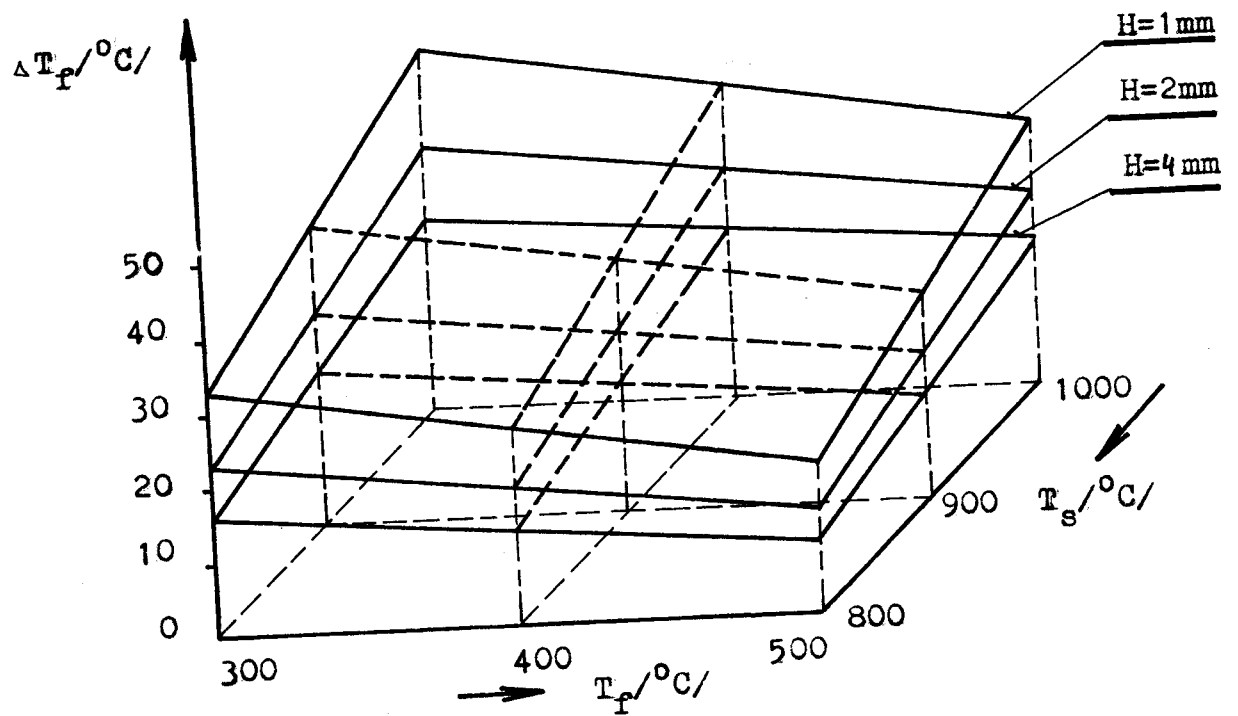
obr.6 ocel ČSN 11 373



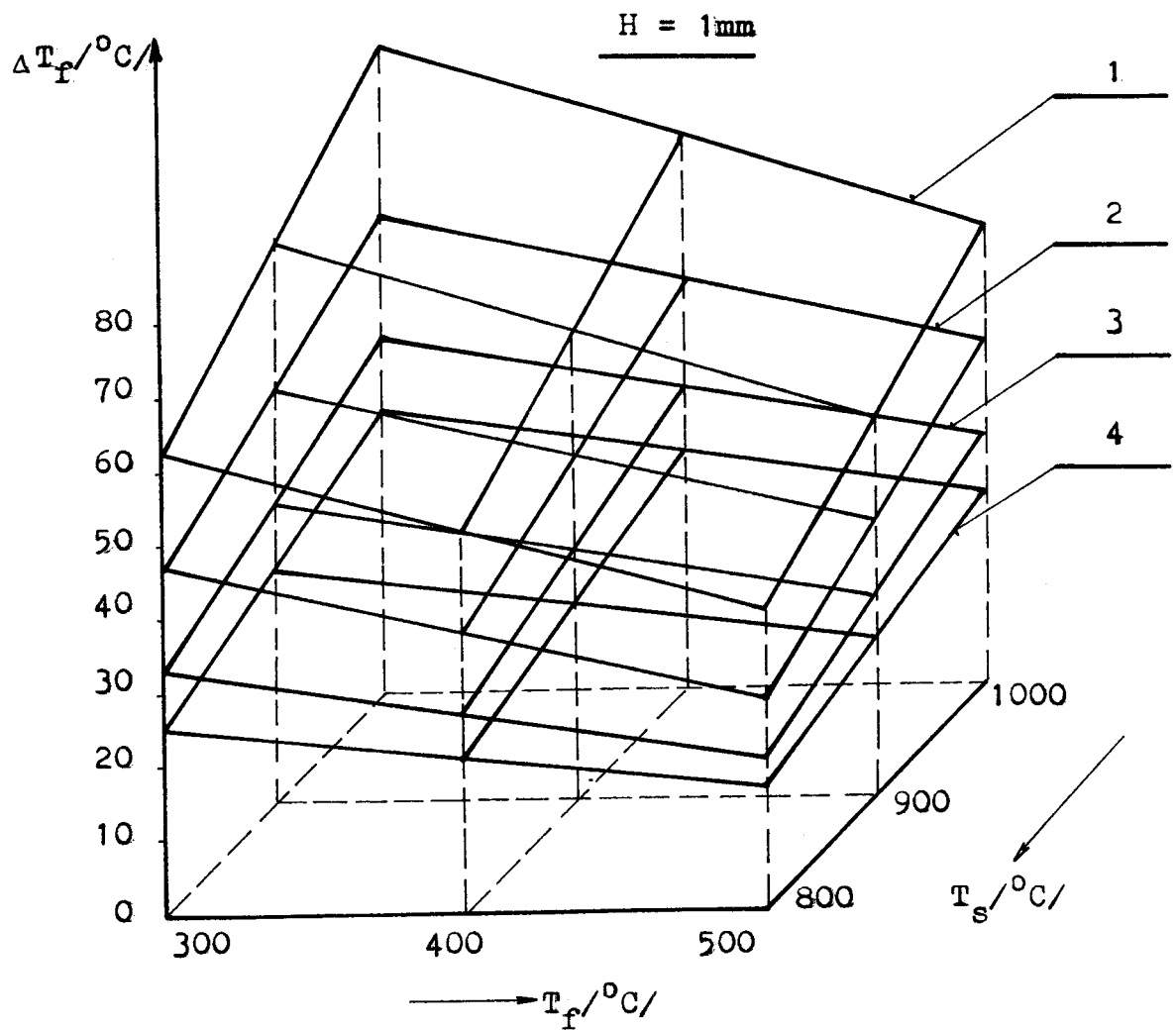
obr.7 ocel ČSN 17 255



obr.8 nikl ČSN 423 403.00

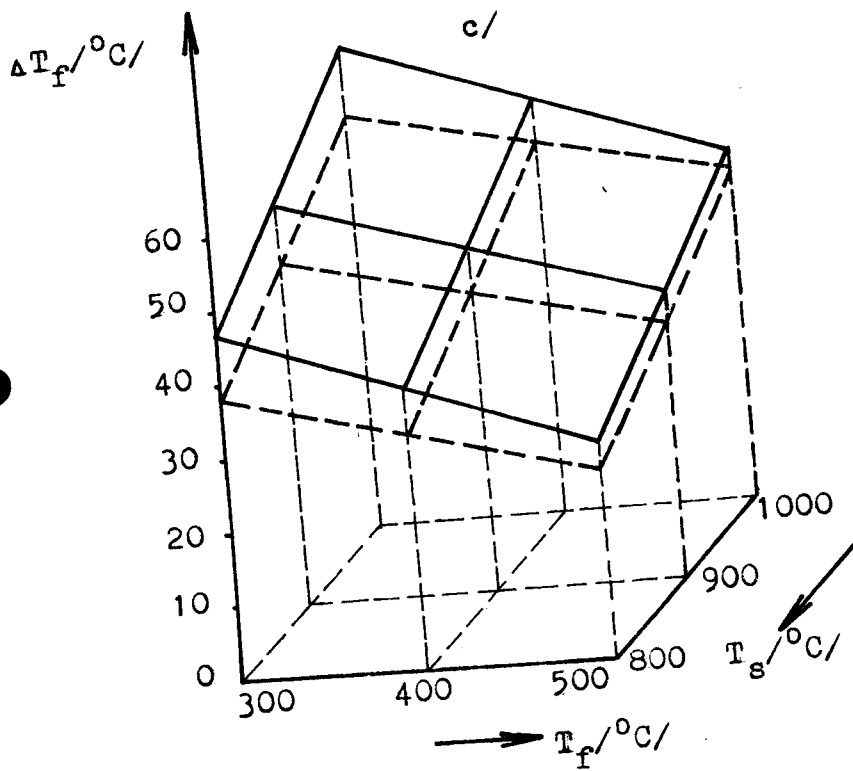
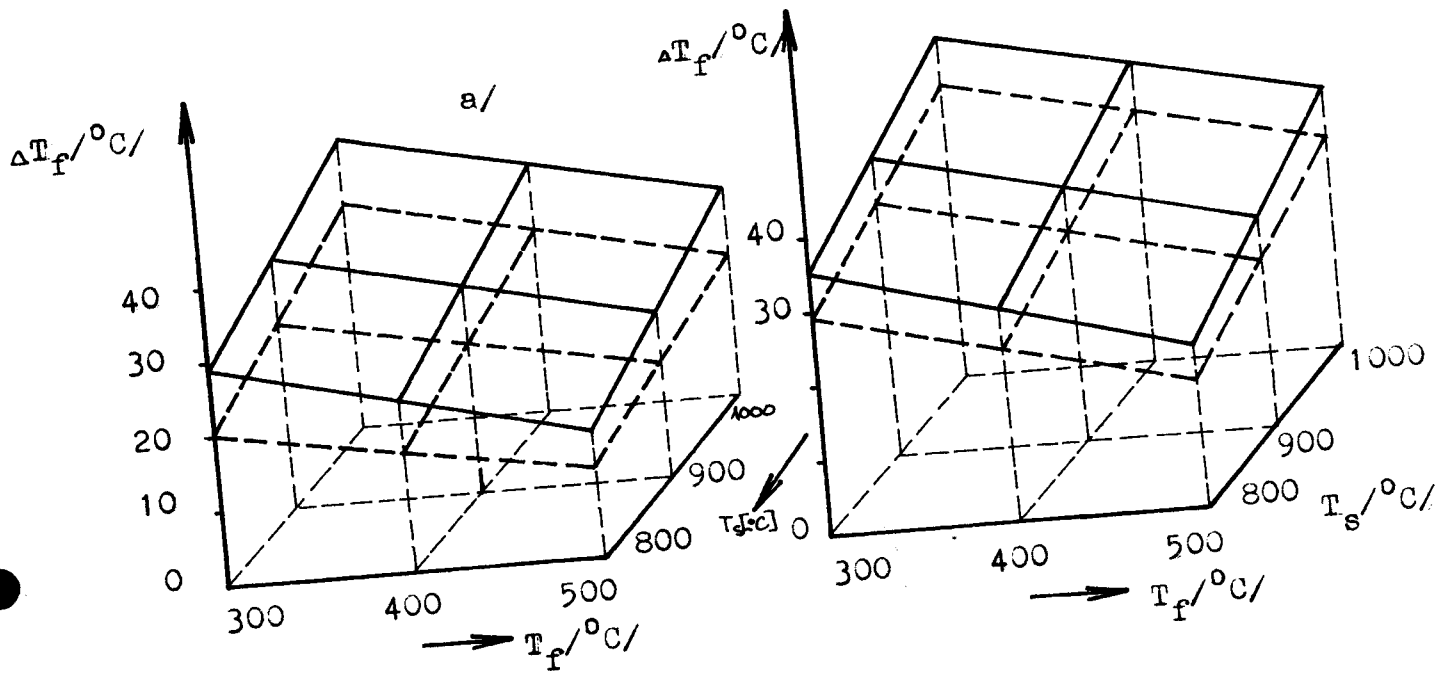


obr.9 šedá litina ON 71 05 11



obr. 10

- 1 - ocel ČSN 17 255
- 2 - nikel ČSN 423 403.00
- 3 - šedá litina ON 71 05 11
- 4 - ocel ČSN 11 373



a/ - H=4mm

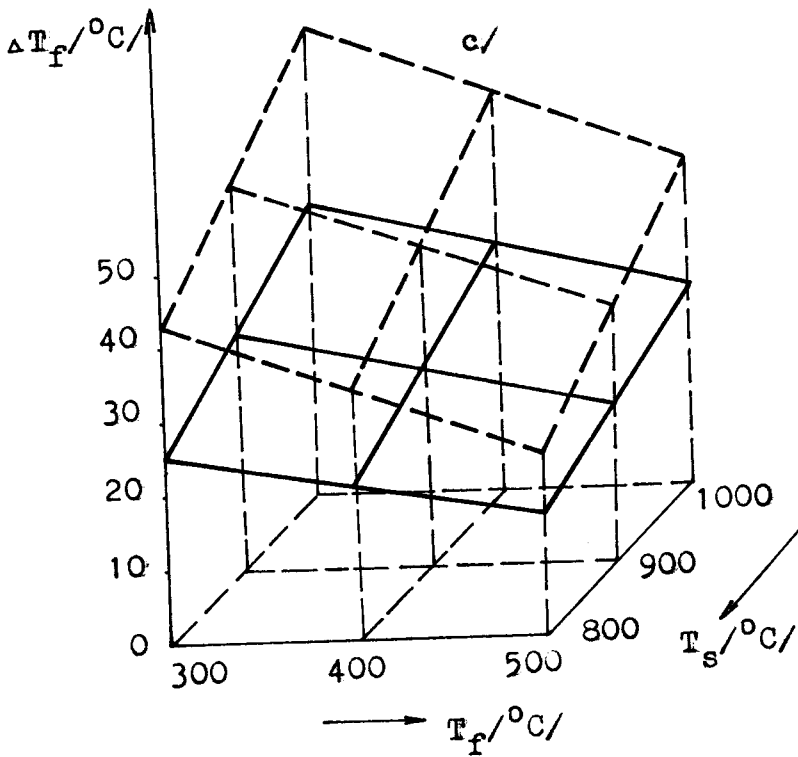
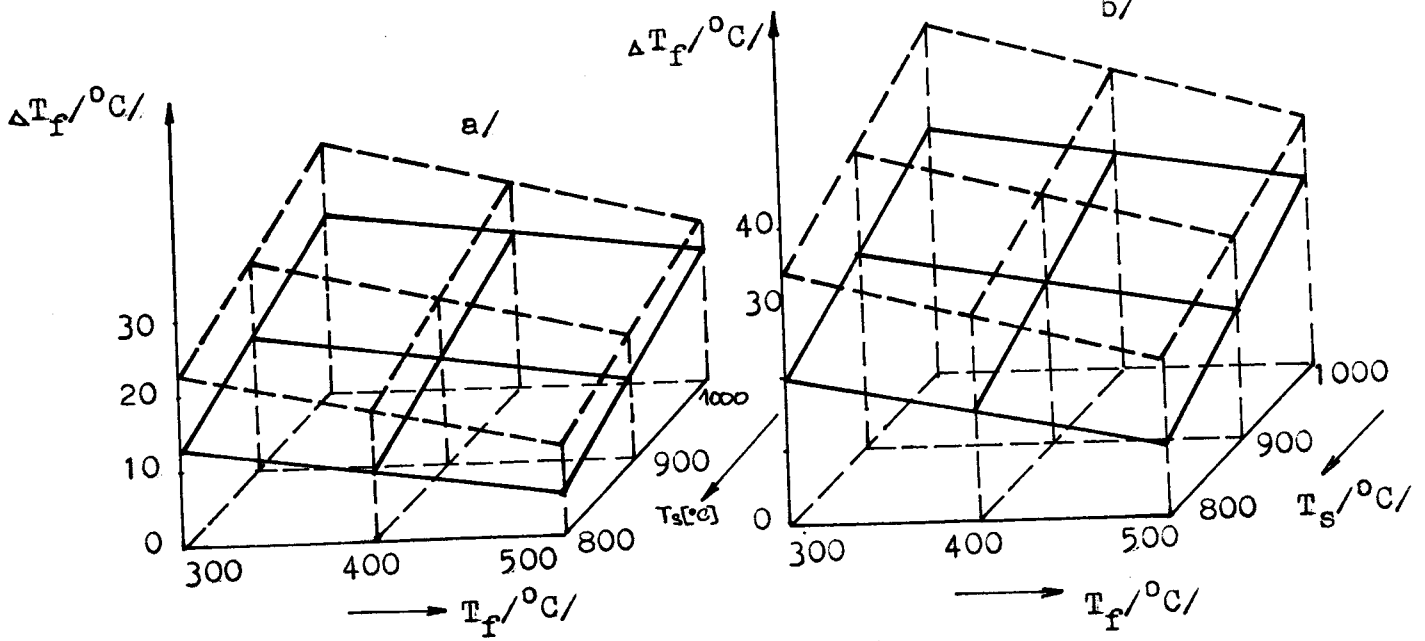
b/ - H=2mm

c/ - H=1mm

— naměř. hodnoty/16/

--- vypočt. hodnoty/V1/

obr.11 nikel ČSN 423 403.00



a/ - H=4mm

b/ - H=2mm

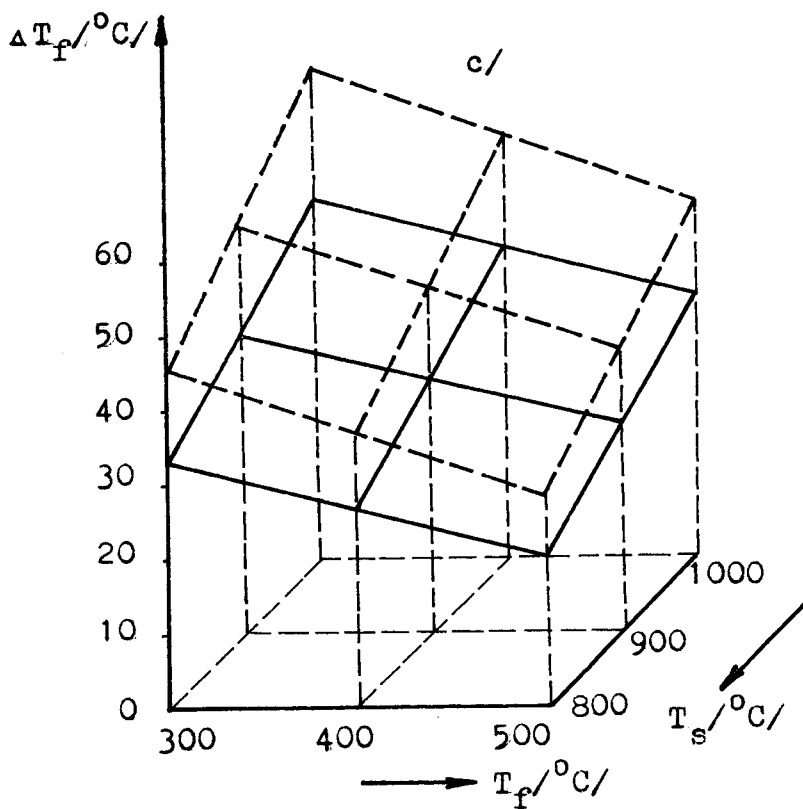
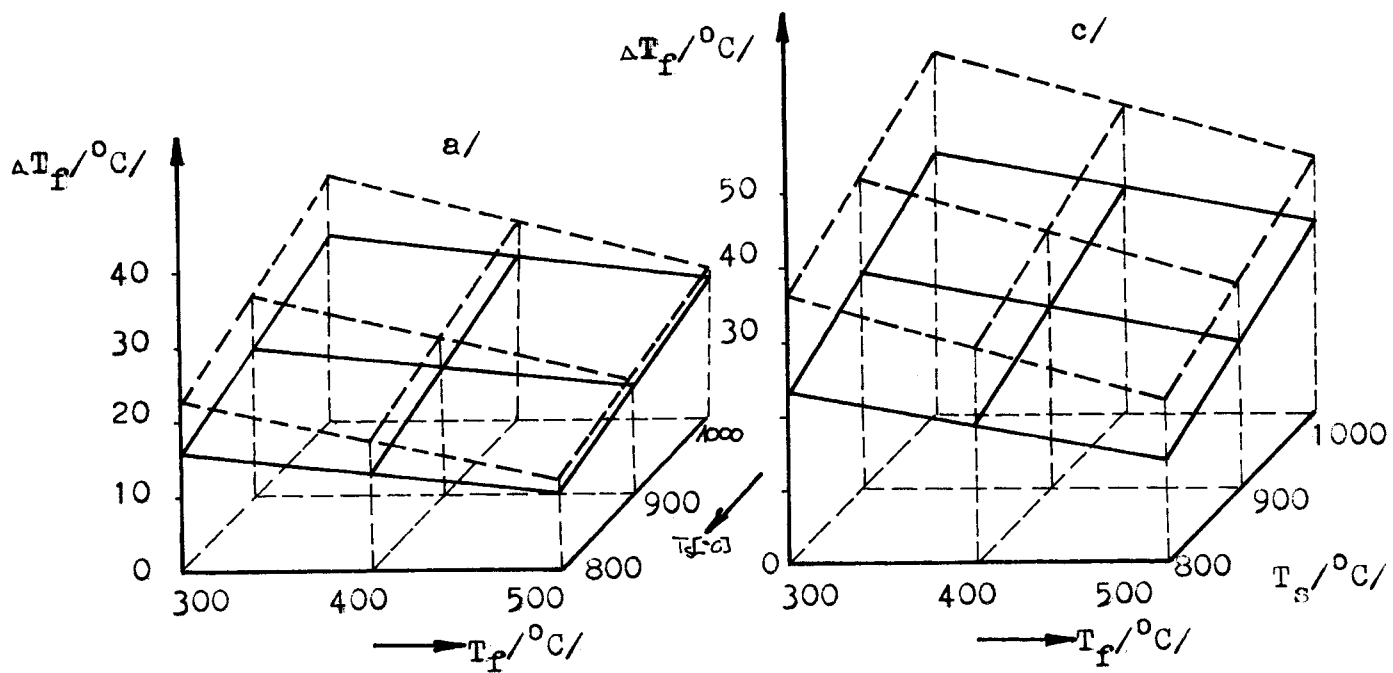
c/ - H=1mm

— naměř. hodnoty /16/

- - - vypočt. hodnoty /11/

obr. 12

ocel ČSN 11 373



a/ - $H=4\text{mm}$

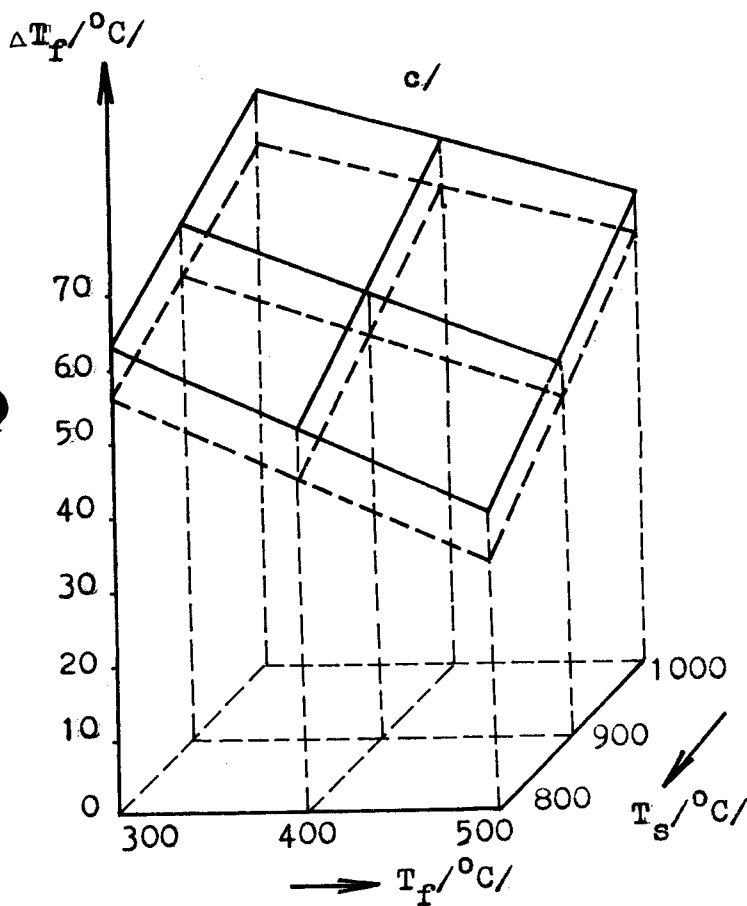
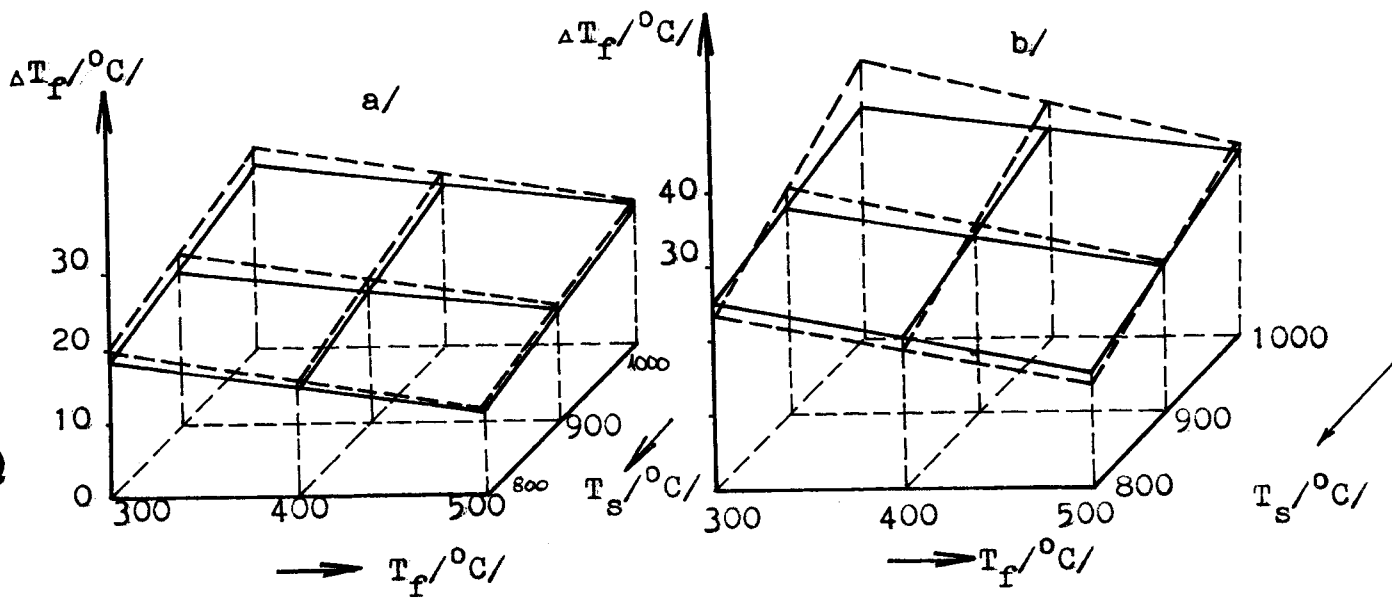
b/ - $H=2\text{mm}$

c/ - $H=1\text{mm}$

----- vypočt. hodnoty/W1/

———— naměř. hodnoty

obr. 13 šedá litina ON 71 05 11



a/ - H=4mm

b/ - H=2mm

c/ - H=1mm

— naměř. hodnoty/16/

--- vypočt. hodnoty/V1/

obr.14 ocel ČSN 17 255

6. Diskuse o správnosti uváděných literárních údajů

Hlavním bodem této diskuse bude objasnit si pravděpodobnou příčinu vzniku nesrovnalostí mezi hodnotami naměřenými a vypočtenými. Podle úvah, dle kterých se dospělo z měřených hodnot k názoru, že tepelné vodivosti měřených materiálů nesouhlasí s údaji uváděnými literaturou/1/, bude se tedy dále zabývat blíže touto fyzikální veličinou.

Tepelná vodivost dle/1/ je ze sledovaných materiálů na sklářské formy největší u čistého niklu, menší tepelnou vodivost má nelegovaná ocel, dále následuje šedá litina a pak ocel ČSN 17 255. Avšak z naměřených hodnot plyne, že nejmenší nárůst teplot a tudíž největší tepelná vodivost byla zjištěna u materiálu z oceli ČSN 11 373, za ní následovala šedá litina a pak teprve nikl ČSN 423 403.00. Nejmenší tepelná vodivost byla zjištěna u oceli ČSN 17255. Podle měřených hodnot vycházejí tedy velikosti tepelných vodivostí v porovnání s tepelnými vodivostmi uváděnými/1/ takto :

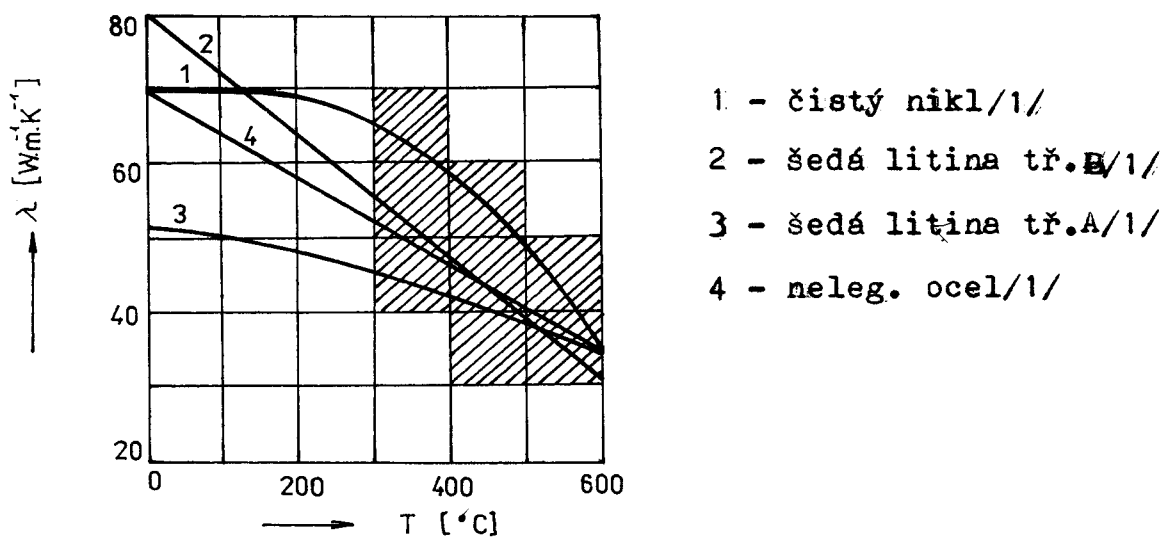
MATERIÁL	POŘADÍ PODLE VELIKOSTI λ	
	DLE VÝSL. MĚŘENÍ	DLE LIT./1/
ocel ČSN 11 373	1. /16/	3.
šedá litina ON 71 05 11	2.	2.
nikl/porovnání čistého niklu a niklu ČSN 423403.00/	3. /16/	1.
ocel ČSN 17 255	4. /16/	4.

Vezmeme-li v potaz, že i u šedé litiny, jejíž pořadí je v obou případech stejné, docházelo k velkým rozdílům /až 38%/ mezi naměřenými a vypočtenými teplotami, budeme se dále zabývat rozбором tepelných vodivostí niklu ČSN 423 403.00, oceli ČSN 11 373 a šedé litiny ON 71 05 11.

Na obr.15 je znázorněna šrafovaná oblast, ve které docházelo k rozporům mezi hodnotami λ získanými na podkladě běžně používaných literárních údajů a hodnotami získanými na základě provedených měření. Podle rozboru tepelných vodivostí se pak přistoupilo ke komplexnímu rozboru tepelných vodivostí jednotlivých formových materiálů v tomto pořadí :

- 1/ ... ocel ČSN 11 373
- 2/ ... nikl ČSN 423 403.00
- 3/ ... šedá litina ON 71 05 11

obr. 15



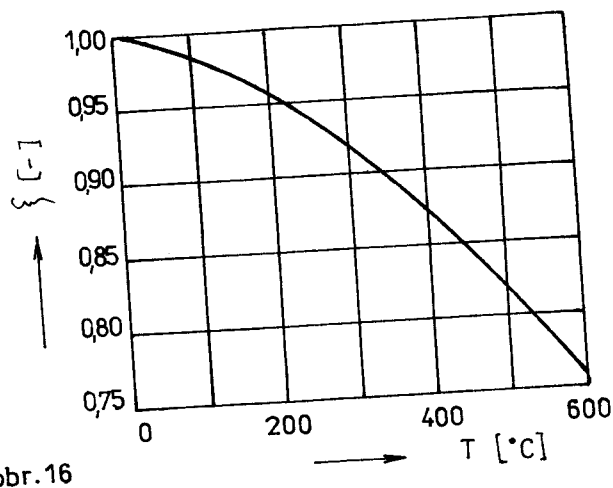
6.1. Tepelná vodivost oceli ČSN 11 373

Literaturou/1/ je udáván průběh tepelné vodivosti oceli ČSN 11 373 viz obr.17. Pro kontrolu správnosti byl proveden výpočet λ podle chem. složení oceli dle/14/. Pro uhlíkové oceli lze tepelnou vodivost vypočítat na základě jednoduchých empirických vztahů. Při obsahu uhlíku pod 0,4%, což zahrnuje i ocel ČSN 11 373, platí vztah pro λ při 0°C :

$$\lambda_0 = \frac{419}{5,74 + 2,43 \cdot C + 5,09 \cdot Si + 2,46 \cdot Mn} \quad [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (11)$$

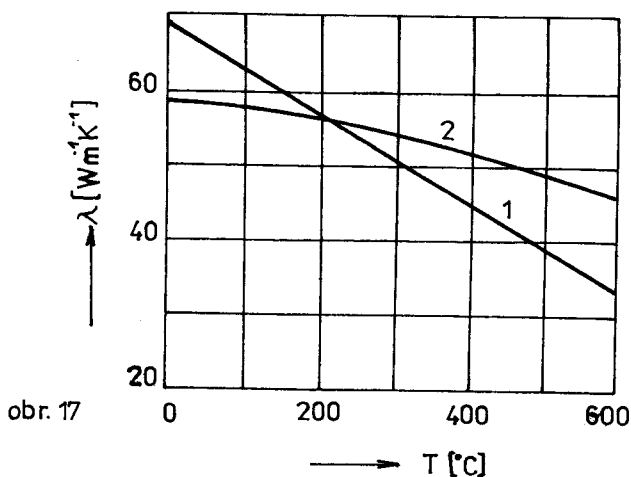
Závislost takto vypočtené tepelné vodivosti na teplotě lze vypočítat zavedením korekčního součinitele ξ , viz obr.16 .

$$\lambda = \xi \cdot \lambda_0 \quad [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$$



obr.16

Přepočítané hodnoty tepelné vodivosti podle chemického složení v závislosti na teplotě jsou vyneseny na obr.17 .



obr. 17

chem. složení oceli
ČSN 11 373 :

C = 0,17%

Si = 0,023%

Mn = 0,32%

1 - průběh dle/1/

2 - přepočtený
průběh dle/14/

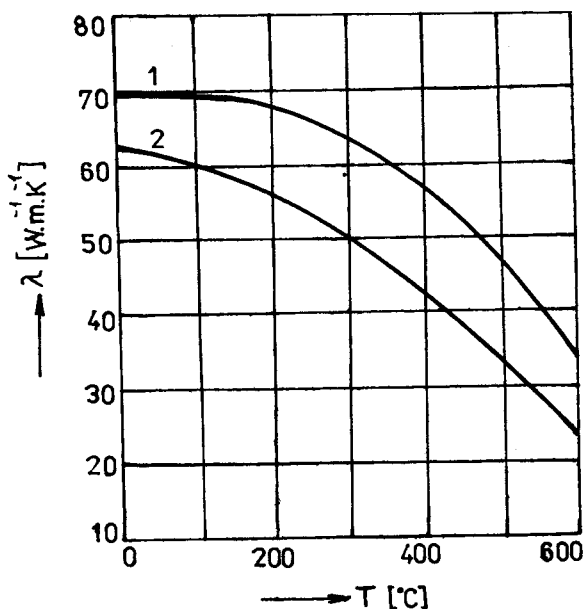
Po odečtu z grafu lze zjistit, že hodnota přepočítané λ má při teplotě 300°C o $3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ /cca 6%/ vyšší hodnotu než λ dle/1/, při teplotě 600°C již o $11 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ /34%/ vyšší hodnotu než průběh λ uváděný/1/. Přepočítané údaje se tedy, jak vidět, neshodují s údaji/1/, k čemuž budeme dále přihlížet.

6.2. Tepelná vodivost čistého niklu a niklu ČSN 423403.00

Na základě rozporů lit. údajů velikosti λ dle/1/ a/16/ je třeba λ niklu přesně definovat, neboť podle/15/ je tepelná vodivost technicky používaného niklu oproti λ nejčistšího niklu značně nižší. λ nejčistšího niklu je/15/ uváděna co do velikosti své hodnoty při 0°C jako $91,27 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. λ niklu používaného v technické praxi při 0°C pak pouze $62,75 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Pro srovnání s/1/, kde se uvádí λ čistého niklu $69,5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ /při 0°C /, jsou tedy vidět roz-

díly, ke kterým patrně došlo měřeními λ u niklu s různým stupněm znečištění.

Protože výpočty nárůstu teplot ve formě, u kterých byly brány údaje o λ niklu z/1/, se značně rozcházely s hodnotami naměřenými /dosahovaly nižších hodnot/, se dospělo k závěru, že λ niklu ČSN 423 403.00, ze kterého byla vyrobena lisovací forma použitá při měřeních provedených na KSK v Liberci, je při 0°C nižší než 69,5 W·m⁻¹·K⁻¹. Dále se bude tedy uvažovat, že jeho λ při 0°C je dle/15/ 62,75 W·m⁻¹·K⁻¹ a její průběh v závislosti na teplotě bude viz obr.18. Znamená to tedy, že průběh závislosti bude svým tvarem podobný, ale počátek tohoto průběhu bude umístěn do oblasti $\lambda_0 = 62,75 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.



- 1 - čistý nikl/1/
- 2 - tech. nikl/15/

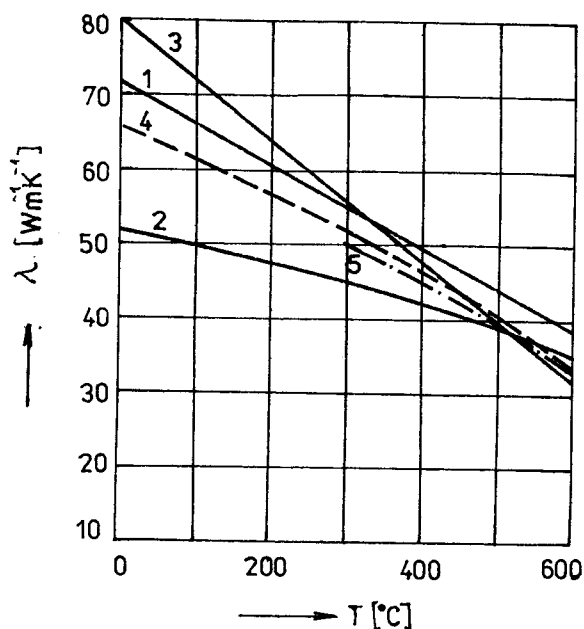
obr.18

6.3 Šedá litina ON 71.05.11

Tuto šedou litinu lze rozdělit podle její mikrostruktury na feritickou jemnozrnnou - tř.A a feritickou hrubozrnnou - tř.B. V případě formy z šedé litiny použité při měřeních na KSK se na základě jejího metalografického výbrusu zjistilo, že se jedná o litinu feritickou, která se svým složením blíží litině třídy B. I v tomto případě vyvstala tedy potřeba upřesnit průběh její $\lambda = f/T$, který by pak odpovídajícím způsobem byl adekvátní vůči měřeným hodnotám.

Dříve než se tímto problémem budeme zabývat, věnujme pozornost průběhu závislosti $\lambda = f/T$ šedé litiny tř.B, viz obr. 13 /1/. Z grafu lze vidět, že λ_0 tohoto průběhu má velikost $80 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Porovnáme-li ji s λ_0 čistého železa /1/, /14/, která činí $72 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$, zjistíme, že λ_0 šedé litiny tř.B je o $8 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ vyšší. Vezmeme-li nyní v úvahu, že šedá litina obsahuje z důležitých složek, které ovlivňují její tepelnou vodivost, mimo ferit, jehož $\lambda = 72 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$, i temperový uhlík, jehož $\lambda = 15 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$, dojdeme k závěru, že λ šedé litiny musí ve skutečnosti být nižší než u čistého železa. Lit./18/ uvádí, že nejvyšší hodnota tepelné vodivosti dosažitelné u litiny činí $66 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$, a to u litiny vyžítané, s feritickografitickou strukturou, což je o $14 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ méně, než uvádí /1/. Protože celý průběh sledované $\lambda = f(T)$ lit. /18/ neuvádí, budeme dále vycházet z jediného známého údaje, který je k dispozici, a to $\lambda_0 /66 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}/$. Samotný průběh

závislosti $\lambda = f/T$ šedé litiny třídy B můžeme tedy provést pouze odhadem, a to podle průběhu závislosti $\lambda = f/T$ šedé litiny třídy A /1/, viz obr.19. Odhad hledaného průběhu $\lambda = f/T$ je na obr. 19 znázorněn přerušovanou čarou.



- 1 - čistě železo/14/
- 2 - šedá litina tř.A/1/
- 3 - šedá litina tř.B/1/
- 4 - šedá litina vyžíhaná s feriticko-grafitickou strukturou/18/
- 5 - šedá litina použ. na KSK v Liberci /ON 71 05 11/

obr.19

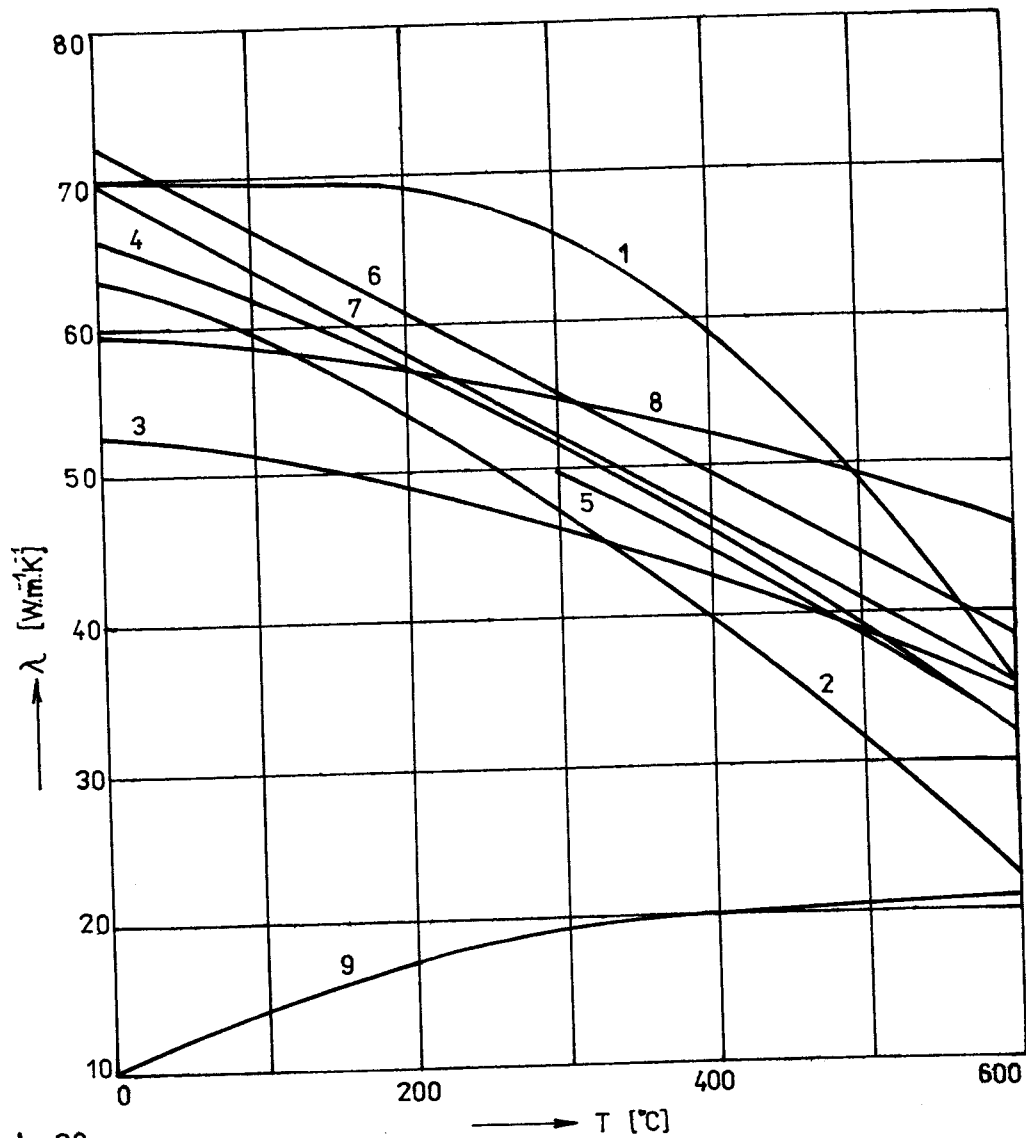
Nyní lze již tedy přibližně definovat oblast, kde se bude nacházet $\lambda = f/T$ šedé litiny použité při měřeních na KSK v Liberci. Tato oblast bude vymezena průběhy $\lambda = f/T$ šedé litiny tř.A/1/ a litiny vyžíhané s feriticko-grafitickou strukturou/18/. Průběh závislosti $\lambda = f/T$ litiny ON 71 05 11 použ. na KSK byl na základě charakteru její mikrostruktury navržen tak, aby se blížil průběhu $\lambda = f/T$

litiny dle/18/ a je na obr.19 v oblasti teplot 300 - 600°C znázorněn čerchovanou čarou. Po provedení druhého srovnávacího výpočtu V/2/ metodou elementárních bilancí /viz kap. 6.4./, který s navrženou závislostí tepelné vodivosti na teplotě šedé litiny ON 71 05 11 pracoval, se ukázalo, že navržený průběh uvedené závislosti $\lambda = f/T$ odpovídá vcelku výsledkům získaných při měřeních na KSK, čímž se potvrdila správnost provedené úvahy.

6.4. Shrnutí

V závěru této diskuse přistupme ke shrnutí dosavadních poznatků. Bylo zjištěno, že tepelné vodivosti se po přepočtu více či méně odlišují od literárních údajů /1/.

Protože mimo materiál z oceli ČSN 11 373 nebylo možno přesně určit průběhy tepelné vodivosti jako funkce teploty u niklu ČSN 423 403.00 ani u šedé litiny ON 71 05 11, byly tyto provedeny na základě výsledků, k nimž se dospělo měřením/16/ a komplexním rozborem. Na obr.20 jsou znázorněny průběhy $\lambda = f/T$ použitých formových materiálů jak dle/1/, tak i upravené a přepočtené dle /14/,/15/,/16/,/18/.



obr. 20

- 1- čistý nikl /1/
- 2- nikl ČSN 423 403.00/16/
- 3- šedá litina tř.A /1/
- 4- vyžíhaná feritickografitická litina /18/
- 5- šedá litina ON 71 05 11
- 6- čisté železo /14/
- 7- nelegovaná ocel /1/
- 8- ocel ČSN 11 373 /14/
- 9- ocel ČSN 17 255

Po provedených přepočtech a úpravách průběhů tepelných vodivostí vyvstává nyní otázka, zda výsledky, ke kterým se rozbohem došlo, jsou objektivní a odpovídají daným skutečnostem.

Z tohoto důvodu byl proveden druhý výpočet pomocí matematického modelu, který pracoval již s přepočtenými hodnotami tepelných vodivostí. Tento výpočet následně potvrdil /viz tab.11/ správnost přepočtených a upravených průběhů tepelných vodivostí, jak u niklu, tak i u oceli ČSN 11 373 a šedé litiny. Ve srovnávací tabulce /tab.11/ je provedeno porovnání naměřených hodnot s hodnotami vypočtenými jednak podle údajů/1/, tak i podle upravených průběhů λ /14/,/15/. V prostorových grafech jsou uvedena srovnání výsledků měření s výsledky vypočtenými na základě přepočítaných hodnot λ , viz obr. 21, 22, 23. Z uvedených grafů lze tedy usuzovat, že přepočtené a upravené průběhy tepelných vodivostí sledovaných formových materiálů se blíží více skutečnosti než udávané literární údaje/1/.

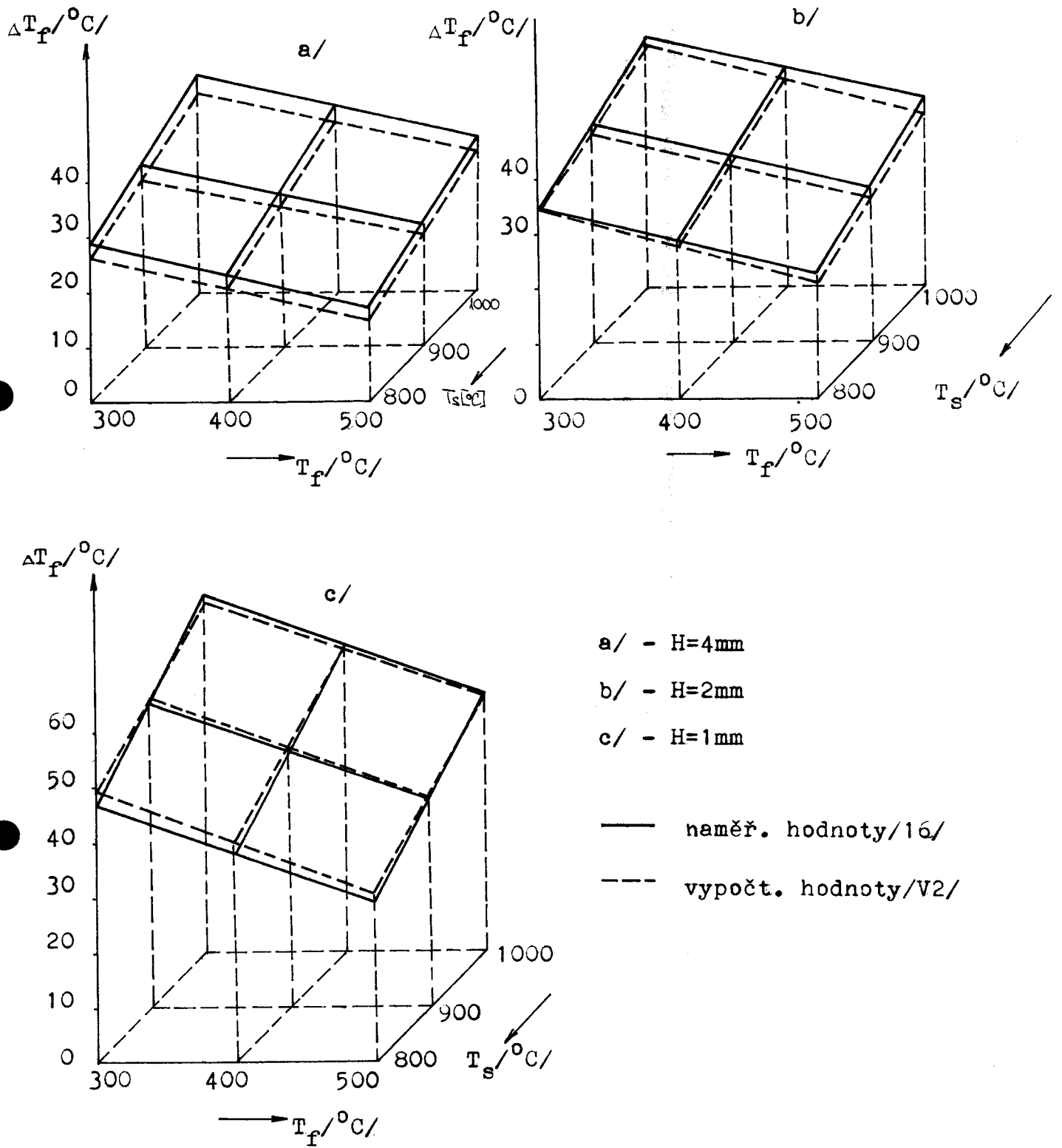
Z tabulky 11 lze získat přehled jak o hodnotách ΔT_p , ke kterým se došlo oběma výpočty/V1 a V2/, tak o hodnotách měřených. Odchyšky ve $^{\circ}\text{C}$ od naměřených hodnot jsou u výpočtů označeny indexy $\Delta V1$ a $\Delta V2$. U výpočtu V2, který pracoval s přepočtenými hodnotami λ se ukázaly být odchyšky od naměřených hodnot cca o 50% menší než u výpočtu V1, který pracoval s hodnotami λ převzatých z běžných

literárních údajů. Pro srovnání je zde uvedeno v tab.12 porovnání celkových odchylek v °C, ke kterým došlo u obou výpočtů, vůči naměřeným hodnotám.

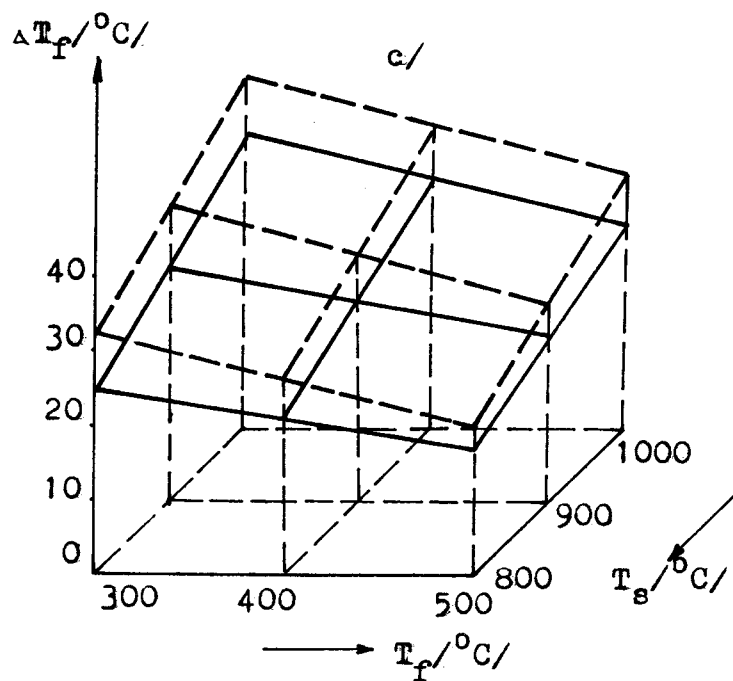
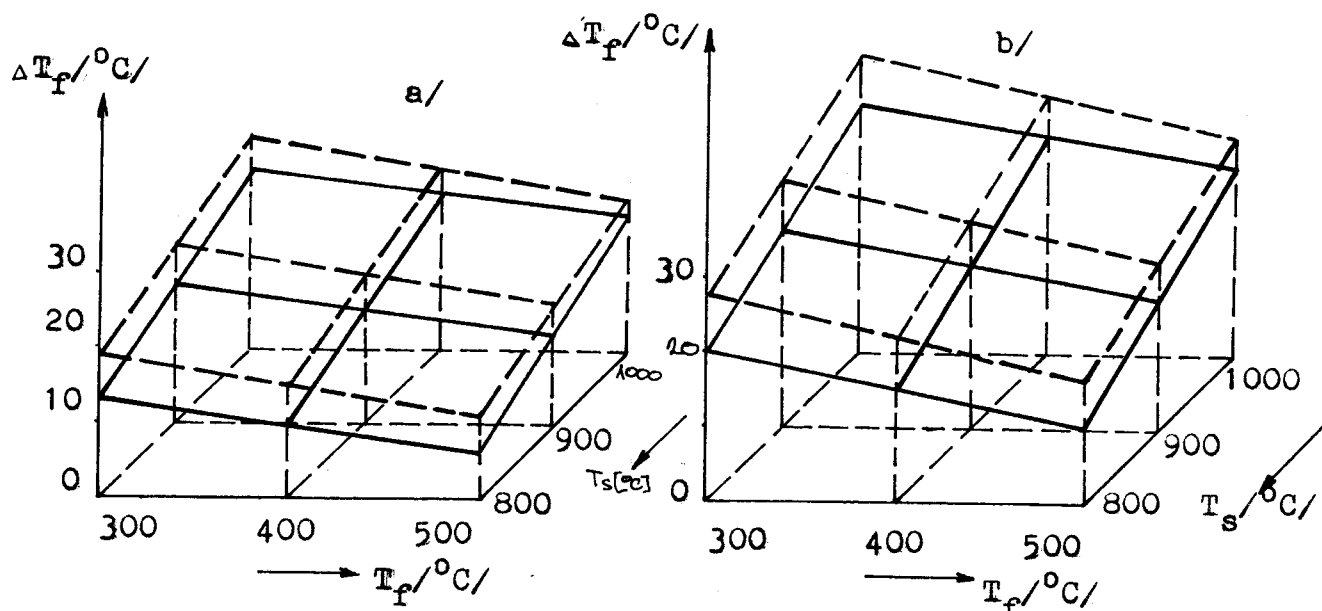
U oceli 17 255 nebyl proveden druhý výpočet, neboť tepelná vodivost uváděná v/1/, se kterou pracoval výpočet V/1/, odpovídala vcelku výsledkům měření. Je to pravděpodobně tím, že ocel ČSN 17 255 se používá v širokém rozsahu na konstrukce pracující za tepla. Proto asi byla mnohokrát a tím objektivně naměřena.

tab.12

MATERIÁL	CELK. ODCHYLKA OD MĚŘ. HODNOT/°C/	
	ΔV / dle/1//	ΔV / dle/14//15//16/,
ocel ČSN 11 373	14,5	5,2
ocel ČSN 17 255	3,2	-
nikl ČSN 423 403.00	7,2	1,7
šedá litina ON 710511	9,3	4,3



obr. 21 nikel ČSN 423 403.00



a/ - H=4mm

b/ - H=2mm

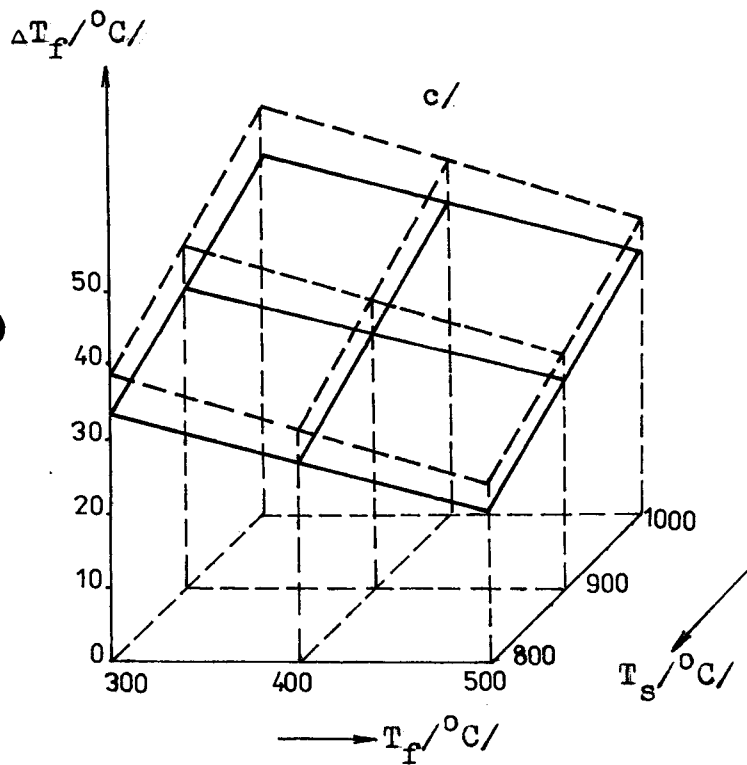
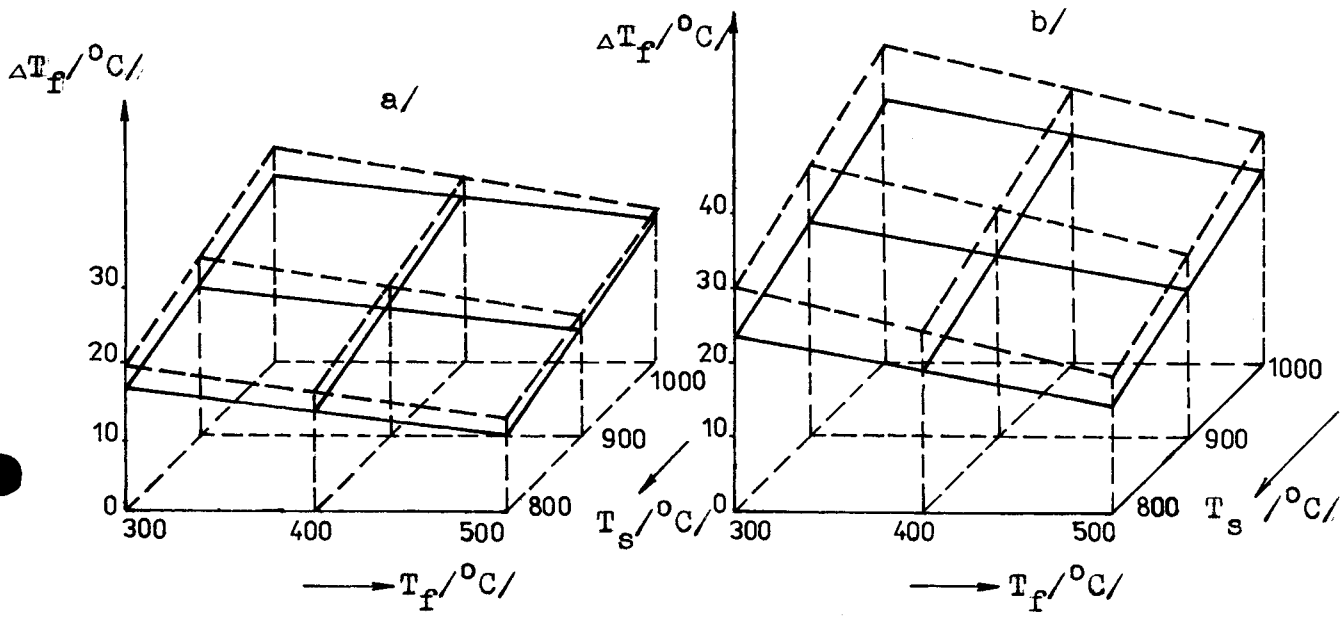
c/ - H=1mm

— naměř. hodnoty /16/

- - - vypočt. hodnoty /V2/

obr. 22

ocel ČSN 11 373



a/ - H=4mm
 b/ - H=2mm
 c/ - H=1mm
 — naměř. hodnoty
 --- vypočt. hodnoty/V2/

obr.23 šedá litina ON 71 05 11

Materiál	$T_s, T_f / ^\circ C /$		800/300			800/400			800/500			900/3	
	Hl. /mm/	ΔT_p / $^\circ C$ /	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2
ocel ČSN 11 373	M		13	20	25	8	15	21	6	10	17	21	29
	V1		23	34	43	18	27	31	12	21	25	28	39
	$\Delta V1$		+10	+14	+18	+10	+12	+10	+6	+11	+8	+7	+10
	V2		20	28	33	15	22	27	11	17	20	24	31
	$\Delta V2$		+7	+8	+8	+7	+7	+6	+5	+7	+3	+3	+4
šedá litina ON 71 05 11	M		10	23	33	13	18	27	10	14	20	22	30
	V1		23	36	46	18	29	37	12	22	28	28	42
	$\Delta V1$		+7	+13	+13	+5	+11	+10	+2	+8	+8	+6	+12
	V2		19	30	39	16	24	32	12	18	24	24	33
	$\Delta V2$		+3	+7	+6	+3	+6	+5	+2	+4	+4	+2	+6
níkl ČSN 423403.00	M		29	35	47	22	29	38	17	22	29	35	44
	V1		20	29	38	16	23	32	12	17	25	25	33
	$\Delta V1$		-9	-6	-9	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-10	-8
	V2		26	35	49	21	28	40	15	21	30	30	44
	$\Delta V2$		-3	0	+2	-1	-1	+2	-2	-1	+1	-5	-1
ocel ČSN 17 255	M		18	25	63	14	19	52	11	15	40	22	2
	V1		19	24	56	15	19	44	11	14	33	23	3
	$\Delta V1$		+1	-1	-7	+1	0	-8	0	-1	-7	+1	+1

tab. 11

- M - naměřené hodnoty
- V1 - vypočtené hodnoty dle /1/
- V2 - vypočtené hodnoty dle /14/, /15/, /18/
- $\Delta V1, \Delta V2$ - odchylky vypočtených hodnot od naměřených / $^\circ C$ /

00	900/400			900/500			1000/300			1000/400			1000/500			
	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1	4	2	1
1	32	18	24	26	15	20	23	24	33	39	21	27	32	18	25	27
2	53	23	33	44	17	26	35	34	47	63	28	39	54	22	33	44
3	+19	+5	+9	+18	+2	+6	+12	+10	+13	+27	+7	+12	+22	+4	+8	+17
4	40	20	27	33	15	22	27	28	40	47	24	34	40	20	29	34
5	+8	+2	+3	+7	0	+2	+4	+4	+7	+8	+3	+7	+8	+2	+4	+7
6	41	19	25	36	16	21	26	25	35	48	22	29	43	19	26	35
7	57	22	36	47	16	29	38	33	49	66	26	43	56	20	35	48
8	+16	+3	+11	+11	0	+8	+12	+8	+14	+18	+4	+14	+13	+1	+9	+13
9	47	21	29	39	15	24	32	29	43	55	25	37	48	21	31	40
0	+6	+2	+4	+3	-1	+3	+6	+4	+8	+7	+3	+8	+5	+2	+5	+5
1	56	28	34	48	21	27	38	39	46	65	34	41	56	28	35	47
2	47	20	26	40	16	20	34	30	39	55	24	33	49	19	28	44
3	-9	-8	-8	-8	-5	-7	-4	-9	-7	-10	-10	-8	-7	-9	-7	-3
4	57	25	34	48	20	27	39	36	44	64	31	38	55	25	31	46
5	+1	-3	0	0	-1	0	+1	-3	-2	-1	-3	-3	-1	-3	-4	-1
6	76	19	24	60	16	21	49	22	31	88	21	29	74	19	25	63
7	68	19	26	56	15	20	44	28	37	80	23	32	69	19	26	57
8	-8	0	+2	-4	-1	-1	-5	+6	+6	-8	+2	+3	-5	0	+1	-6

6.5. Údaje o materiálu forem pro výpočet V/2/

Výpočet V/2/ pracoval s přepočtenými hodnotami $\lambda = f/T/$ zadanych formových materiálů. V tab.13 jsou uvedeny konstanty A1,A2 příslušející přepočteným průběhům jednotlivých závislostí $\lambda = f/T/$. Tyto byly vypočteny z těchto průběhů :

ocel ČSN 11 373 - obr.17, průběh č.2

nikl ČSN 423 403.00 - obr.18, průběh č.2

šedá litina ON 71 05 11 - obr.19, průběh č.5

Způsob výpočtu konstant A1,A2 je uveden na str. 19 a 20. Konstanty B1,B2 pro výpočet závislosti $\bar{c}_p = f/T/$ zůstávají nezměněny.

tab.13

T /°C/	A1			A2		
	M1	M2	M4	M1	M2	M4
300	76	59,4	68,6	-0,0867	-0,02283	-0,061
400	76	59,4	68,6	-0,0867	-0,02283	-0,061
500	76	59,4	68,6	-0,0867	-0,02283	-0,061
600	76	59,4	68,6	-0,0867	-0,02283	-0,061

M1 - nikl ČSN 423 403.00

M2 - ocel ČSN 11 373

M4 - šedá litina ON 71 05 11

7. Kritika stávajícího měřicího zařízení

7.1. Přesnost měření

Při měření na zkušebním zařízení pro hodnocení tepelných vlastností sklářských lisovacích forem je důležitým faktorem otázka přesnosti měření, která se při bližším zkoumání dá rozdělit do dvou základních bodů :

- 1/ Vznik nepřesností daných vlastním měřicím systémem. Chyby při měření, jejichž příčinou byly tyto nepřesnosti budeme dále nazývat jako chyby konstantní.
- 2/ Nepřesnosti zapříčiněné subjektivními faktory při měření. Tyto chyby mohou být co do velikosti proměnné. Takto vzniklé chyby se částečně eliminovaly několikerým opakováním měření.

ad1/

- a/přesnost nastavené teploty v peci
- b/přesnost definované hloubky pod povrchem líce formy.
/presnost ovlivněná vývrtem otvoru/
- c/instalace termočlánku
- d/ovlivnění tvaru teplotního pole ve formě vývrtem
- e/přesnost použitého zapisovače

ad2/

- a/ doba potřebná k přenášení žhavé skloviny až do okamžiku počátku vlastního lisování

- tato doba činila v průměru 4 sekundy. Teplo odevzdané sklovinou za tuto dobu do okolí již určitým způsobem ovlivňuje přesnost dalšího měření.

b/ délka časového intervalu temperování dávky skloviny

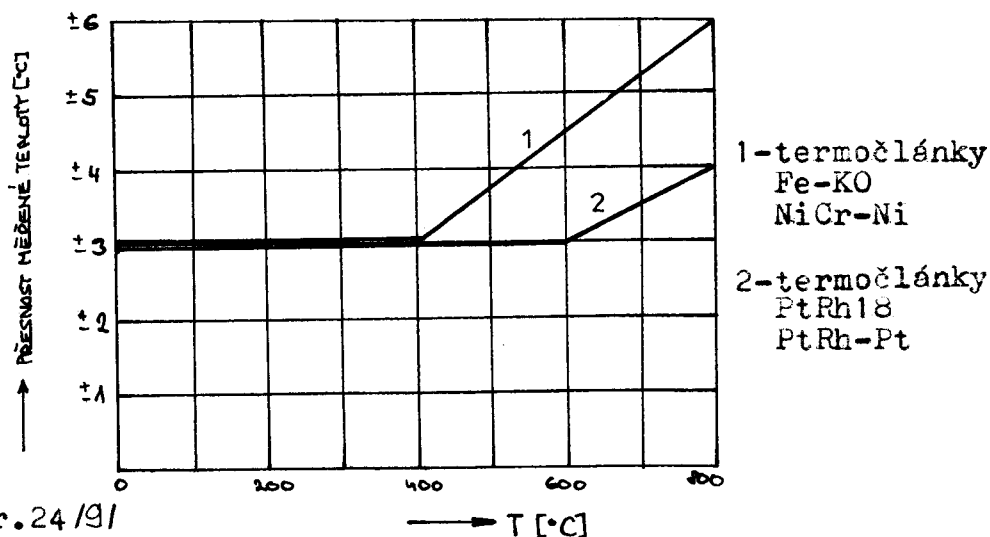
- tato se ukázala být poměrně důležitou, zejména při nižších nastavených teplotách v peci. U temperování dávky skloviny na teplotu $T_3=800^{\circ}\text{C}$ po dobu 15min a následně proběhlém lisovacím cyklu zapisovač zaznamenal o 6°C menší nárůsty teplot ve formě než při lisovacím cyklu, před kterým se sklovina temperovala po dobu 30min, což se potvrdilo několikerým opakováním měření. Při temperování skloviny na teploty 900°C a 1000°C postačovalo v průměru 5 až 10 minut k dokonalému nateperování na požadovanou teplotu.

c/ kolísání nastavené teploty formy

- po odejmutí topného tělesa odevzdává forma po dobu cca 4 sekundy teplo do okolí. Toto je způsobeno přenosem skloviny z pece na povrch spodní lisovací formy.

d/ přesnost použitého termočlánku

- závisí na teplotě, viz obr.24/9/ .



obr.24/9/

Celkem tedy přesnost měření ovlivňuje 9 faktorů, nehledě na chyby, které může způsobit samotný pracovník, například chybným odečtem naměřených hodnot ze záznamového pásu zapisovače.

7.2. Návrh na zdokonalení měřicí části systému

7.2.1. Otázka použitého záznamového zařízení

Každý měřicí systém sestává z určitého počtu prvků, které tvoří daný celek. Důležitým prvkem v daném řetězci se pak jeví zařízení, jehož pomocí se dovídáme o výsledcích, ke kterým jsme měřením dospěli. V našem případě je to čtyřkřivkový zapisovač/17/. Rozeberme si nyní v krátkosti funkci a princip činnosti tohoto přístroje: Na vstup zapisovače přivádíme napětí termočlánků. Tato napětí jsou zesílena stejnosměrným zesilovačem a přivádí se pak na servosystémy, které zajišťují pohyb pisátek v rovině kolmé vůči směru ^{pohybu} záznamového papírového pásu. Z toho pak odečítáme hodnoty naměřených napětí.

Pro další práci s naměřenými výsledky je pak tedy třeba učinit tyto úkony :

- Odečíst velikosti hodnot ΔT_f ze záznamového pásu
- přepočítat zaznamenané hodnoty ΔT_f v mV pomocí převodních tabulek na odpovídající hodnoty ve $^{\circ}\text{C}$
- Dále je třeba ΔT_f zpracovat do formy tabulek nebo grafů

Jak je vidět, operace, které je třeba provést, abychom dosáhli konečného efektu, tj. získání tabulky naměřených hodnot nebo grafického zobrazení, ze kterých lze dělat celkovou bilanci provedených měření, jsou poměrně časově náročné. Z tohoto důvodu vyvstal návrh na inovaci měřicí části daného systému. Úkolem tohoto by pak bylo potřebné operace, počínaje měřením a celkovým vyhodnocením měření konče, provádět zautomatizovaně a s větší přesností. Přistoupilo se tedy k návrhu systému, jehož měřicí a záznamová část by byla řízena počítačem.

8. Návrh nového způsobu vyhodnocování srovnávacích měření

Za účelem přesnějšího způsobu vyhodnocování výsledků srovnávacích měření byla provedena rekonstrukce u měřícího zařízení - čtyřkřivkový zapisovač KUTESCH byl nahrazen novým měřícím systémem s použitím mikropočítače SAPI - 1.

8.1. Popis měřícího systému s mikropočítačem SAPI-1

Vlastní měřící systém tvoří po rekonstrukci tři prvky.

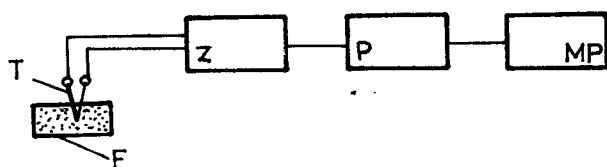
Jsou to: mikropočítač SAPI-1 /10/

stejnoseměrný zesilovač Z-35 /43/

analogově-digitální převodník /dále A/D převodník/.

Napětí z termočlánku je přivedeno na vstup stejnosměrného zesilovače, který jej zesílí na úroveň potřebnou pro další zpracování A/D převodníkem. Převodník převádí analogové signály do digitální formy a ty se ukládají do paměťových buněk počítače. Vlastní mikropočítač zde plní současně dvě funkce: obsluhuje a řídí činnost A/D převodníku a zároveň zaznamenává do paměti naměřené údaje. Po ukončení měření se naměřené hodnoty zobrazí na monitoru v tabulkové formě a lze je uložit buď do vnější paměti /disketa nebo mgf kazeta/ nebo je nechat přímo vytisknout na tiskárně. **Obecné schéma měřícího zařízení viz obr.25.**

Výhodou tohoto nově navrženého měřícího systému je vysoká přesnost měření a možnost velmi přesného sledování průběhu změn teplot uvnitř formy v závislosti na čase.



F - forma
T - termočlánek
P - A/D převodník
Z - zesilovač
MP - mikropočítač

Obr.25 - Obecné schéma zapojení měř. systému

8.2. Deska převodníku

Deska převodníku slouží pro převod analogového napětí z výstupu stejnosměrných zesilovačů na číslicový tvar a následný přenos do mikropočítače.

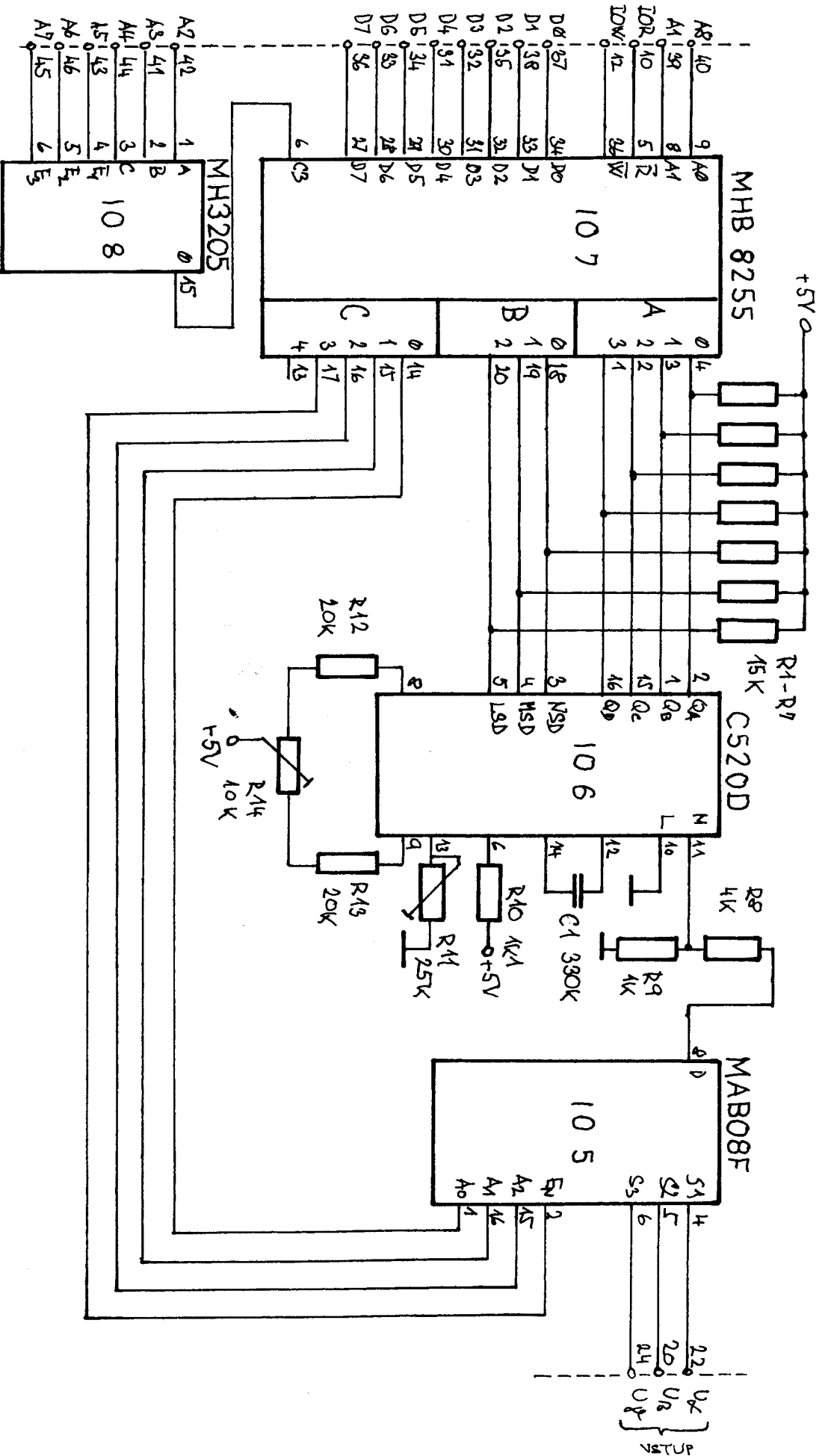
Celý převodník je konstruován jako zásuvná deska mikropočítače SAPI-1 a je adresován jako vstupní brána. podrobné zapojení je uvedeno na obr.26 . Tuto desku lze však použít po úpravě konektoru i pro jiné druhy mikropočítačů.

Deska převodníku je osazena těmito integrovanými obvody :

- analogový multiplexor MAB 08F /IO5/
- převodník A/D C520D /IO6/ , /11/
- programovatelný obvod pro paralelní vstup/výstup
MHB 8255 /IO7/
- binární dekodér jedné z osmi MH 3205 /IO8/

Multiplexor /IO5/ po stisknutí klávesy RUN/CR/ vybere podle adresy z obvodu MHB 8255 /IO7/ napětí U_A , které se po průchodu odporovým děličem 5,5:1 přivede na vstup A/D převodníku /IO6/. Přebodník ve spolupráci s programovatelným obvodem MHB 8255 převede napětí na jednotlivá čísla a uloží je do paměťových buněk. Potom multiplexor na podnět z IO7 vybere napětí U_B a provede se totéž. Multiplexor MAB 08F lze v daném případě využít pro snímání až sedmi různých vstupních napětí. - adresace jednotlivých vstupů multiplexoru MAB 08F se provádí portem C programovatelné paralelní brány MHB 8255. /8/

Obt. 26/12/



8.3. Programová obsluha navrženého měřicího systému

Programovou obsluhou navrženého měřicího systému se zabývá program č.2 . Tento program byl sestaven v jazyku BASIC a jeho dílčí částí je podprogram ve strojovém kódu. Podprogram /viz příloha 1/ zajišťuje chod desky převodníku a ukládání naměřených dat do paměti. Program v BASICu zajišťuje výběr dat z paměti a jejich zobrazení, případně vytisknutí.

8.3.1. Popis programu ve strojovém kódu

Daný program zaznamenává hodnoty teplot měřené soustavou termočlánků a převáděné do číslcového tvaru A/D převodníkem. Naměřené hodnoty jsou ukládány do paměti, kde jsou k dispozici pro pozdější zpracování.

V zahajovacím úseku programu /adresa 4400-4406/ je určen režim činnosti obvodu 8255 nastavením obsahu jeho řídicího registru. Dále je nastavena počáteční adresa paměti pro ukládání naměřených dat./7/

V hlavní části programu /adresa 4407-4455/ jsou opakovaně snímány a zaznamenávány naměřené hodnoty teplot tak dlouho, dokud není naplněna oblast paměti, vyhrazená pro ukládání těchto dat. Tato část programu začíná nastavením čítače na adresu termočlánku /adresa 4407-4408/. Potom je adresa termočlánku vyslána přes obvod 8255 do A/D převodníku, čímž je daný termočlánek připojen na vstup A/D převodníku /adresa 4409-440E/. V programu potom následuje čekací smyčka realizující časový interval potřebný pro A/D

převod /adresa 440C-4417/. Dále program snímá číslice stovek /adresa 4418-4421/, jednotek /adresa 4422-442B/ a desítek /adresa 442C-443B/ naměřené hodnoty a ukládá je do paměti /adresa 443C-4444/. Poté je zvýšen obsah čítače adresy termočládku a program testuje /adresa 4445-444B/, zda již byly zpracovány údaje od všech připojených termočládků. Není-li tomu tak, program přechází na adresu 4409 a provádí měření s dalším termočládkem. Po ukončení cyklu měření všech připojených termočládků program testuje /adresa 444C-445B/, zda je ještě volná paměť pro ukládání naměřených dat. Není-li volná paměť, program ukončí svoji činnost. V opačném případě program přechází na adresu 4407 a začíná další cyklus měření připojených termočládků.

Na obr.27 je znázorněn vývojový diagram programu ve strojovém kódu, jehož komentářem se tato kapitola zabývala.

8.3.2. Popis programu v BASICu /program č.2/

Daný program vyvolá podprogram realizující cykl měření a záznam naměřených hodnot do paměti. Po ukončení cyklu měření vykonávaného podprogramem hlavní program postupně vybírá z paměti data odpovídající jednotlivým měřením, převádí je na dekadický tvar a získané hodnoty vypisuje.

V zahajovacím úseku programu /řádky 10-70/ je nejprve vyvolán podprogram pro měření a záznam dat do paměti. Poté je nastavena počáteční adresa čtení dat a inicializován cyklus počítající jednotlivá měření. Následuje výpis

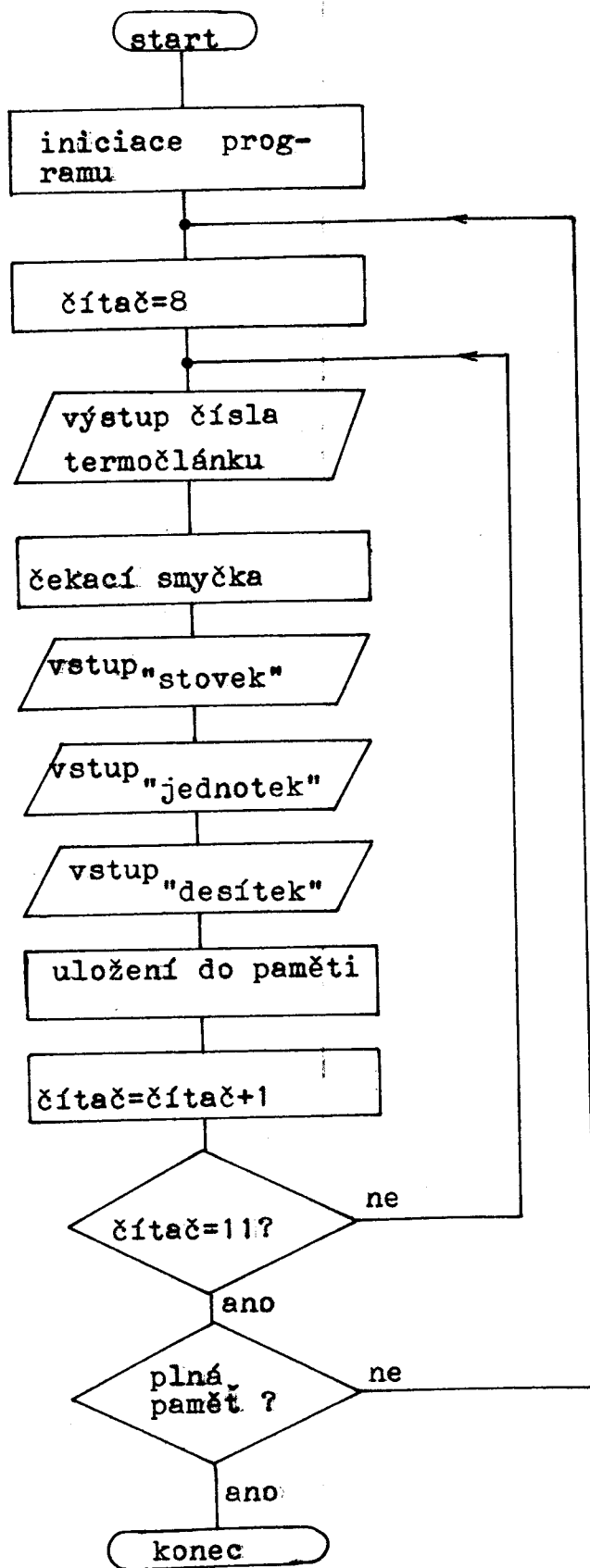
záhlaví protokolu o naměřených hodnotách.

Hlavní část programu /řádky 80-260/ tvoří cyklus, v němž jsou zpracovávána data z jednotlivých měření. Vnořený cyklus /řádky 80-110/ za pomoci podprogramu /řádky 180-260/ čte data o naměřených teplotách v binárním tvaru z paměti a převádí je na dekadický tvar. V dalším úseku programu /řádky 120-150/ jsou vypočtené hodnoty vypisovány. Nejprve je vypsáno číslo měření a potom vedle sebe teploty v mV naměřené jednotlivými termočlánky. Po ukončení zpracování dat jednoho měření program zvýší čítač cyklu měření a testuje /řádky 150-170/, zda jsou již zpracována data ze všech měření. Je-li tomu tak, program ukončí svoji činnost. V opačném případě program přechází na začátek hlavního cyklu /řádek 80/ a začíná zpracovávat data z dalšího měření.

8.4. Délka měřicího intervalu

Velikost doby, po kterou jsou snímána měřená napětí, je určena programově a zajišťuje ji program ve strojovém kódu /adresa 444D-444E/. Na tuto adresu se zadává hodnota součtu čísel $H = 0C000 + M/HEX/$, kde 0C000 je adresa počátku načítání dat do paměti a $M = 3 \cdot 2 \cdot 47 \cdot X$, kde :

- 3...trojice snímaných napětí /3 termočlánky/
- 2...jedno měřené napětí obsadí v paměti místo o velikosti 2 byte
- 47...počet naměřených trojic napětí za 1sec
- X...počet sekund měření /při větších dobách měření je je nutno počítat s kapacitou paměti počítače/



obr. 27 vývojový diagram programu ve strojovém kódu

2.5. Přesnost navrženého měřicího systému

Stupeň přesnosti navrženého měřicího systému je dán především typem použitého A/D převodníku. A/D převodník C 520 D, který byl použit v našem případě, je čtyřbitový, což znamená, že je schopen zpracovávat veličiny /napětí[V]/ řádově v rozmezí 0,000 až 0,999 V.

V našem případě dochází při měření k určitým nepřesnostem, jak je názorně uvedeno v následujícím příkladu : Napětí 16,56 mV odpovídá u termočlánu Fe-Ko teplota 300°C. Toto napětí po zesílení o 1řád přivádíme na vstup A/D převodníku. To znamená, že na jeho vstupu se objeví 4 -místná hodnota. Protože převodník zpracovává pouze třímístné hodnoty, zůstane poslední hodnota /desetiny mV/ převodníkem „nepovšimnuta“. U termočlánu Fe-Ko odpovídá změně teploty o 1°C změna napětí cca o 0,06 mV /po zesílení 0,6mV/. Tyto změny převodníkem nejsou registrovány a tak dochází při měření k nepřesnostem - odchylka po převodu na teplotu pak bude činit $\pm 1^{\circ}\text{C}$. K této nepřesnosti bude docházet zhruba v devadesáti procentech počtu měření, viz tab. č. 14.

Termočlánek Fe-Ko /DIN 43710		údaje načtené A/D přev.
teplota/ $^{\circ}\text{C}$ /	napětí /mV/	
300	16,56	165
301	16,61	166
302	16,67	166
303	16,72	167
304	16,78	167
305	16,84	168
306	16,89	168
307	16,95	169
308	17,00	170
309	17,06	170
310	17,12	171

tabulka č. 14

Z tabulky zřejmo, že v rozsahu 10-ti $^{\circ}\text{C}$ pouze jednu z teplot převodník dokáže rozlišit přesně/307 $^{\circ}\text{C}$ /. Pro navržený účel se však přesnost použitého převodníku jeví jako zcela dostačující.

8.6. Zhodnocení navrženého měřicího systému

Navržený způsob měření napětí pomocí A/D převodníku řízeného mikropočítačem SAPI-1 byl experimentálně ověřen a vyzkoušen na KSK v Liberci. Program sestrojený pro obsluhu desky A/D převodníku se ukázal být způsobilým pro navržený účel /program č.2/

Při zkoušce byla měření pomocí přesně definovaných velikostech vstupních napětí na multiplexoru/MAB 08F/ zjištěna přesnost převodu a též byl vypočten přesný poměr děliče napětí umístěného na desce A/D převodníku/12/. Původně udávaný poměr odporového děliče dle/12/ činil 5:1, zatímco po provedeném přeměření byl stanoven na 5,51911:1. Tento fakt je důležitý, požadujeme-li velkou přesnost měření. Napětí z výstupu A/D převodníku, které se ukládá do paměti mikropočítače, je tedy třeba vynásobit uvedeným převodním poměrem, tj. číslem 5,51911, abychom ve výpisu naměřených hodnot/viz příloha 6/ získali údaje o skutečné velikosti měřeného napětí. Tento přepočít je zajištěn programově/prog. č.2-řádek 245/.

Přesnost převodu byla zjišťována při vstupním napětí o velikosti $5,5V \pm 0,01V$. Zjištěné odchylky napětí po převodu A/D převodníkem činily v rozmezí 0,001-0,01V, odchylky v naměřených velikostech napětí odpovídaly odchylkám v toleranci velikosti napětí přiváděného na vstup A/D převodníku.

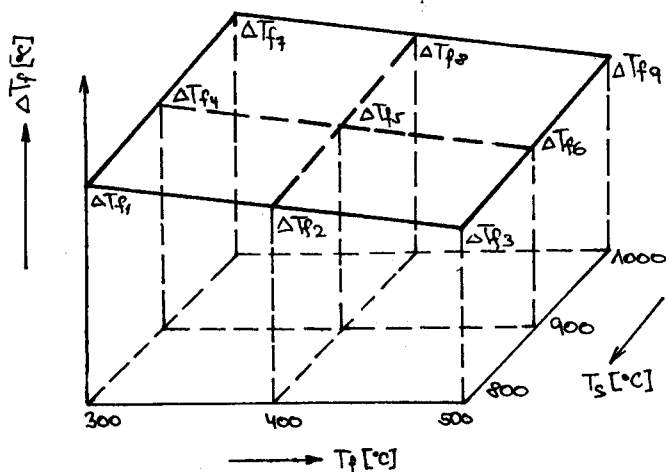
Na výpisu naměřených hodnot napětí /příloha č.6/ jsou zobrazeny získané výsledky měření při testovacích napětích na vstupu A/D převodníku 4,5V, 3,5V, 1,5V.

3.3. Program pro grafické znázornění prostorového grafu ΔT v závislosti na T_f a T_s

Tento program volně navazuje na program č.2-měření napětí pomocí A/D převodníku, může se však používat i samostatně, např. ve spojení s hodnotami ΔT_f , získanými z výpisu čtyřkřivkového zapisovače Kutesz, dosud používaného při měřeních ΔT_f na KSK v Liberci.

Funkce programu v návaznosti na program č.2 :

- 1/ - Protože pro sestrojení prostorového grafu ΔT /viz obr. 18 / je třeba znát min. 8 hodnot ΔT_f pro zadané hodnoty teplot ^{T_s a T_f} /viz tab. 15 /, je třeba nejdříve provést požadovaný počet měření ΔT_f pomocí programu č.2
- 2/ - Na výpisu naměřených hodnot ΔT_f /viz příloha 6 / jsou ve sloupcích ozn. T1, T2, T3 zobrazeny hodnoty ΔT_f w mV odpovídající měřeným teplotám ΔT_f ve třech definovaných hloubkách pod povrchem líce formy /4,2,1mm/. Zajímá nás např. hodnota ΔT_f měřená v hloubce 1mm pod povrchem. Protože nás zajímají a pro sestrojení grafu jsou potřebné pouze max. velikosti ΔT_f , budeme tedy vybírat hodnotu maximálního napětí a to ve sloupci který přísluší měřené hloubce 1mm pod povrchem líce formy
- 3/ - Vybrané napětí odpovídající max ΔT_f w mV převedeme pomocí převodní tabulky napětí-teplota platné pro typ použitého termočlánku na hodnotu ve $^{\circ}\text{C}$
- 4/ - Celý postup /ad2, ad3/ opakujeme, až známe požadovaný počet ΔT_f
- 5/ - Do DATových řádků programu /program č.3/ postupně zadáváme trojice hodnot v pořadí T_f , T_s , ΔT_f



obr. 28

$T_f [^{\circ}C]$	$T_s [^{\circ}C]$	$\Delta T_f [^{\circ}C]$
300	800	ΔT_{f1}
400		•
500		•
300	900	•
400		•
500		•
300	1000	•
400		•
500		ΔT_{f9}

tab. 45

Protože počítač PMD-85, pro který byl daný program sestrojen, pracuje pouze s dvourozměrnou grafikou a je třeba zobrazit prostorový graf v souřadnicích x,y,z, bylo nutné provést matematickou transformaci do souřadnicového systému x,y. Nevýhodou zde je, že v průběhu chodu programu musíme do něj zadávat nová, "přetransformovaná" data. Teprve pomocí nich lze daný graf sestrojít. Postup je následující : Po zadání původních dat v souřadnicích x,y,z a spuštění programu se na monitoru zobrazí nová data/v souřadnicích x,y . Tato se uloží jako DATA do řádků 700-780 a po opětovném spuštění programu /od řádku 160/ dostaneme požadované grafické zobrazení.

Při použití počítače, který je vybaven pro práci s třírozměrnou grafikou, by opětovné zadávání dat odpadlo, čímž by se celý proces značně urychlil. V příloze č.5 je uvedena ukázka zobrazení prostorového grafu ΔT provedená na počítači PMD-85, v příloze 4 je uveden sestrojený program/program č.3/.

9. Technickoekonomické zhodnocení

9.1. Technickoekonomické zhodnocení výpočtů teplotních polí ve formě

Pomocí numerické metody elementárních bilancí dle akademika Vaničeva/2/ byly v souladu se zadáním diplomové práce provedeny výpočty teplotních polí u zadaných formových materiálů.

Po porovnání vypočtených hodnot s výsledky, ke kterým se došlo měřením, se dospělo k závěru, že použitelnost uvedené výpočetní metody je, co se týče objektivity vypočtených výsledků, aplikovatelná pro daný případ, tj. pro výpočty teplotních polí ve sklářských lisovacích formách použitých při měřeních na KSK v Liberci.

Průměrná odchylka velikosti vypočtených hodnot teplot činila v porovnání s výsledky naměřenými $4,3^{\circ}\text{C}$. Lze tedy tvrdit, že výsledky, získané výpočtem metodou elementárních bilancí ve srovnání s výsledky získanými měřením, jsou dostatečně přesné, aby je bylo možno považovat za objektivní.

9.2. Technickoekonomické zhodnocení výsledků měření provedených na zkušebním zařízení na KSK v Liberci

Při hodnocení tepelných vlastností materiálů sklářských forem na zkušebním zařízení/6/ se z výsledků měření dospělo k závěrům, že tepelné vodivosti měřených formových materiálů oceli ČSN 11 373, niklu ČSN 423 403.00 a šedé litiny ON 71 05 11 neodpovídají běžně udávaným literárním údajům /1/. Toto zjištění bylo nejvíce markantní u formového materiálu niklu ČSN 423 403.00, u kterého byla zjištěna tepelná vo-

divost, která se od lit. údajů/1/ lišila až o $20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
důsledkem čehož může na tento formový materiál vzniknout
nový pohled, co se týče možností jeho využití v technické
praxi. Menší odchylky od λ uváděnými/1/ byly zjištěny u
oceli ČSN 11 373, kde λ v oblasti teplot $300-600^\circ\text{C}$ dosa-
hovala větších hodnot^{oproti/1/} a u litiny ON 71 05 11, u které byla
v oblasti teplot $300-600^\circ\text{C}$ zjištěna λ menší než uvádí /1/.

Co se týče zkušebního zařízení/6/, na kterém byla jed-
notlivá měření zadaných formových materiálů prováděna, je
třeba poukázat na širší možnosti jeho využití, zejména na
možnost získání přehledu o relativních tepelných vodivos-
tech měřených formových materiálů metodou vzájemných poro-
vnávání naměřených hodnot ΔT_f , které lze měřením na výše
uvedeném zkušebním zařízení poměrně rychle získat. Porov-
náváním relativních tepelných vodivostí měřených materiálů
lze pak snadno získat přehled o možnostech jejich vyžití
v technické praxi.

Výsledky, získané na základě naměřených hodnot ΔT_f
na zkušebním zařízení/6/, lze též aplikovat v oblasti, která
se zabývá matematickým modelováním teplotních polí ve sklář-
ských formách, konkrétně například při výpočtech teplotních
a napěťových polí ve formách metodou konečných prvků.

9.3. Technickoekonomické zhodnocení navržené inovace měřicí části systému pro hodnocení tepelných vlast- ností materiálů sklářských lisovacích forem

Navržená měřicí část systému pro měření teplot ΔT_f
pracující na digitálním principu přenosu dat řízená mik-

ropočítačem SAPI-1 má oproti stávajícímu měřicímu systému tyto výhody :

- 1/ - vyšší přesnost měření
- 2/ - možnost velmi přesného sledování nárůstu teplot ΔT_f v definovaných vzdálenostech od povrchu líce formy v závislosti na čase
- 3/ - efektivnější způsob vyhodnocování naměřených údajů
- 4/ - možnost sledování nárůstů teploty ΔT_f ve formě současně až na sedmi místech najednou / u dosavadního způsobu měření to byly jen 4 místa/17/ /

Za nevýhodu se zde dá považovat vyšší pořizovací cena navrženého měřicího systému/mikropočítač SAPI-1, stejno-
směrný zesilovač Z-35/13/, A/D převodník/12/ /, což se avšak dá eliminovat větší univerzálností využití jednotlivých kom-
ponentů, ze kterých měřicí systém sestává.

Literatura

1. Smrček, A.: Strojní tvarování skla, SNTL, Praha 1981
2. Michejev, M, A.: Základy sdílení tepla, SNTL, Praha 1953
3. Volf, M, B.: Sklo ve výpočtech, SNTL, Praha 1984
4. Bennet, C.; Meyers, J.: Momentum, Heat and Mass transfer, Mc Graw Hill Series chem. eng., London 1962
5. William, H; Mc Adams: Heat transmission, Mc Graw Hill comp., London 1962
6. Belda, J.: Zkušební zařízení na hodnocení materiálu sklářských forem pro výrobu přesných výlisků, Sborník prací VŠST, Liberec 1983
7. Starý, J.: Mikropočítač a jeho programování, SNTL, Praha 1984
8. Převodníky D/A a A/D pro školní mikropočítače, Amatérské rádio č.9-12, 1983
9. Degussa, Thermodrahte, Hanau
10. Uživatelská dokumentace SAPI-1, Tesla Liberec, 1982
11. Analog-digital Wandler, C 520D
12. Hosnedl, P.: Grafický vstup pro mikropočítač. In: Diplomová práce VŠST Liberec, 1986
13. Instrukční knížka stejnosměrných zesilovačů, Metra Blansko
14. Kremer, R; Obroučka, K.: Ohřev kovů, SNTL Praha, 1974
15. Jareš, V.: Metalografie neželezných kovů, ČSAV, Praha, 1955
16. Belda, J.: Hodnocení tepelných vlastností sklářských forem, Sborník prací VŠST Liberec, 1986
17. Linienschreiber typ 175, MTA Kutesz, Budapest
18. Trnka, J., Uxa, V.: Materiály a nářadí k tvarování skla, SNTL, Praha, 1967

Závěrem této diplomové práce bych chtěl vyslovit poděkování níže uvedeným :

- s. Doc. Ing. Jaroslavu Beldovi CSc za poskytnutí cenných rad a připomínek
- s. Ing. Janu Skrbkovi za poskytnuté konzultace a materiály
- laborantce paní Ivaničové za ochotu a zhotovení fotodokumentace
- Mirku Šilhánovi a Ing. Jaroslavu Vlachovi, pracovníkům z VÚSAB Jablonec nad Nisou, za ochotu a pomoc poskytnutou při řešení některých dílčích problémů, týkajících se diplomové práce.

Seznam příloh

- příloha 1 - podprogram pro obsluhu A/D převodníku ve strojovém kódu
- příloha 2 - program č.2
- příloha 3 - program č.1
- příloha 4 - program č.3
- příloha 5 - ukázka zobrazení prostorového grafu ΔT provedeného na počítači PMD-85
- příloha 6 - výpis naměřených hodnot A/D převodníkem

P. S. L. O. H. A. 1

SAPI-1 ASSEMBLER PAGE 01

TITLE 'SNIMANI MOONDI'

'KONSTANTY

MAS	ESU	0FH
MASK	EDU	8FH
ADRA	EDU	81H
ADRB	EDU	82H
ADRC	EDU	83H
ADRRS	EDU	145
RIDSL	EDU	2
MASK1	EDU	4
MASK2	EDU	1
MASK3	EDU	4500H
PCCAT	EDU	1000#3#2
PED	EDU	

'PCCATEK UKLJICANI DAT
'3 TEFL. AVE EYTY

ORG

4400H

R/RIDE

TITLE 'SNIMANI HODNOT'

;/KONSTANTY

```

MAS      EQU      0FH
MASK     EQU      0F0H
ADRA     EQU      80H
ADRB     EQU      81H
ADRC     EQU      82H
ADRRS    EQU      83H
RIDSL    EQU      146
MASK1    EQU      2
MASK2    EQU      4
MASK3    EQU      1
POCAT    EQU      4500H ;POCATEK UKLADANI DAT
PBD      EQU      1000#3#2 ;3 TEFL. A'2 BYTY
    
```

ORG 4400H

```

4400 3E 92          MVI      A,RIDSL
4402 D3 83          OUT      ADRRS
4404 21 00 45      LXI      H,POCAT
4407 06 00        ZNOVA:  MVI      B,0
4409 70           ZAC1:   MOV      A,B
440A D3 82          OUT      ADRC
440C 15 16          MVI      D,22
440E 1E 80        LB1:   MVI      E,120
4410 1D           LB2:   DCR      E
4411 C2 10 44      JNZ     LB2
4414 15           DCR      D
4415 C2 0E 44      JNZ     LB1
4416 DB 81        S1:   IN      ADRB
441A E6 02        ANI      MASK1
441C C2 10 44      JNZ     S1
441F DB 80        IN      ADRA
4421 57           MOV      D,A
4423 DB 81        J1:   IN      ADRB
4425 E6 04        ANI      MASK2
4426 C2 22 44      JNZ     J1
4429 DB 80        IN      ADRA
442B 5F           MOV      E,A
442C DB 81        D1:   IN      ADRB
442E E6 01        ANI      MASK3
4430 C2 2C 44      JNZ     D1
4433 DB 80        IN      ADRA
4435 07           RLC
4436 07           RLC
4437 07           RLC
4438 07           RLC
4         E6 F0        ANI      MASK
    
```

443B 4F	MOV	C,A
443C 7B	MOV	A,E
443D E6 0F	ANI	MAS
443F B1	ORA	C
4440 5F	MOV	E,A
4441 72	MOV	H,D
4442 23	INX	H
4443 73	MOV	H,E
4444 23	INX	H
4445 04	INR	B
4446 78	MOV	A,B
4447 FE 0B	CPI	2A
4449 C2 09 44	JNZ	ZAC1
444C 11 78 5C	LXI	D,POCAT+PBD
444F CD 56 44	CALL	COMP
4452 D0	RNC	JNAVRAT, JE-LI PANET 1.14
4453 C3 07 44	JMP	ZNOVA

4456 7C	COMP:	MOV	A,H
4457 BA		CMP	D
4458 C0		RNZ	
4459 7D		MOV	A,L
445A B8		CMP	E
445B C9		RET	

END	ERROR(S)	=00S			
MAS	000F	MASK	00F0	ADRA	0080
ADRC	0082	ADRRS	0083	RIDSL	0092
MASK2	0004	MASK3	0001	POCAT	4500
ZNOVA	4407	ZAC1	4409	LB1	440E
S1	4418	J1	4422	D1	442C
				ADRS	0081
				MASK1	0002
				PBD	1770
				LB2	4410
				COMP	4456

SAPI-1 ASSEMBLER PASS=

příloha č. 5 : Ukázka grafického znázornění ΔT_f
 v závislosti na T_s a na T_f

