

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: sklářství a keramiky

Fakulta: strojní

Školní rok: 1972/1973

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Jiřího B e n d u
obor 04-1-04 Zaměření na sklářské stroje a zařízení

Protože jste splnil... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Návrh modelu feedru

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte model sklářského feedru pro tyto parametry díla:
průřez kanálu 20 x 20 cm, délka 200 cm, protékající množství 100 kg/hod. V práci se zaměřte na propracování progresivních prvků ve stavbě modelů umožňujících dokonalejší splnění podobnosti.

Autorské právo se řídí směnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962 - Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I. STUDENTSKÁ 8

S
V 33/1973

Rozsah grafických laboratorních prací: cca 40 stran textu, doložených příslušnými výpočty a výkresovou dokumentací modelu

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

Podklady dodané KSK

Zpravodaj SVÚS, č. 3 až 4, roč. 1970

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Cibulka

Konsultanti:

Ing. Pavel Brouček

Datum zahájení diplomové práce:

16. 10. 1972

Datum odevzdání diplomové práce:

6. 7. 1973



F. Kotšmíd
Prof. Ing. Dr. F. Kotšmíd

Vedoucí katedry

F. Kotšmíd
Prof. Ing. Dr. F. Kotšmíd

Děkan

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra sklářství a keramiky

J i ř í B e n d a

N Á V R H M O D E L U Ž L A B U

D i p l o m o v á p r á c e

DP 188/73

Vedoucí diplomové práce: ing. Jan Cibulka

Konsultant: ing. Pavel Brouček

V Liberci 6. 7. 1973

OBSAH

Zadání	list 2
Obsah	list 3
Seznam znaků použitých v textu	list 4
Úvod	list 5
1. Dimensionální analýza	list 6
1. 1. Výpočet kritérií podobnosti.....	list 7
1. 2. Odvození podobnostních vztahů..	list 10
2. Volba modelové kapaliny a měřítka ...	list 12
2. 1. Popis volené kapaliny	list 12
2. 2. Určení pracovních teplot a viskozních křivek	list 13
2. 3. Výpočet rozměrů modelu	list 15
3. Kontrola podobnosti	list 18
4. Realizace modelu	list 20
4. 1. Popis modelu - schema zapojení.	list 20
4. 2. Konstrukce žlabu	list 24
5. Volba sklíček	list 28
5. 1. Měření sklíček	list 28
5. 2. Určení koeficientu λ	list 37
5. 3. Určení koeficientu α	list 39
Závěr	list 43

Celkem 43 listů textu

Příloha:

Výkres č. DP 188/73 01 00 - formát A0 (2 listy)

Výkres č. DP 188/73 01 01 - formát A0 (3 listy)

Seznam znaků použitých v textu.

znak	význam
V	objemový odběr
μ	dynamická viskozita
ν	kinematická viskozita
ρ	hmotnost
τ	povrchové napětí
g	gravitační zrychlení
L	geometrický rozměr
d	průměr
θ	rozdíl teplot
β	objemová roztažnost
v	rychlost proudu
λ	součinitel tepelné vodivosti
α	součinitel přestupu tepla
F	plocha
t	teplota
s	měřítko podobnosti
Q	množství tepla

ÚVOD

Tavicí agregáty jsou jedním z nejdůležitějších zařízení ve sklářském průmyslu. Jejich kvalita a technická vybavenost má mnohdy rozhodující vliv na kvalitu a vlastnosti vyráběného skla. V rámci úkolu "Modernizace tavicích agregátů" bylo rozhodnuto, pokusit se využít modelové techniky pro zkoumání proudění skloviny ve výtokových kanálech (feedrech).

Modelová technika, založená na znalosti teorie podobnosti je úspěšně využívána v mnoha průmyslových odvětvích. Dnes se hojně užívá modelů matematických, prováděných na analogových i číslicových počítačích, nebo modelů elektrických. Klasického modelování se ovšem užívá také, a zvláště ve sklářském průmyslu jsou pro jeho použití dobré podmínky.

Feedry používané v průmyslu Jablonecké bižuterie jsou svými rozměry, velikostí odběru skloviny i jinými požadavky nesrovnatelné například s feedry používanými ve výrobě obalového skla. Pracovníci KSK VŠST v Liberci však po zkušenostech při stavbě modelů M1 a M2 zjistili, že výzkum proudění v těchto feedrech je možný, získali nezbytné podklady pro provádění experimentů, vytvořili základní podmínky pro výzkum a mají k dispozici potřebné měřicí přístroje. Jelikož se projevilo účelné pokračovat v započatých pracích, bylo rozhodnuto navrhnout další typ modelu.

Výzkumy na modelech mají pro praktickou výrobu značný význam. Poznatky získané v modelových podmínkách se přenesou na skutečné agregáty. Navrhnou se technická opatření a zlepšení skutečných zařízení, čímž bude zlepšena kvalita výrobků, zvýšena produktivita a dojde k celkovému zefektivnění výroby.

1. DIMENSIONÁLNÍ ANALÝZA

Dimensionální analýza je metoda pro stanovení podmínek podobnosti fyzikálních dějů probíhajících ve skutečných zařízeních a jejich modelech.

Matematicko-fyzikální podstata dimensionální analýzy a její teorie je dostatečně známa. Proto zde není uváděno její teoretické odvození, ale jsou přímo používány vztahy pro řešení podmínek modelování proudění ve feedrech.

Tři základní věty podobnosti zní:

1. Ty děje jsou podobné, jestliže se dají vyjádřit formálně i obsahově stejnými diferenciálními rovnicemi.
2. Okrajové podmínky (podmínky jednoznačnosti) musí být shodné výjma číselných konstant v těchto podmínkách obsažených.
3. Stejnojmenná určovací kritéria podobných procesů musí být číselně shodná.

Fyzikální veličiny zúčastněné na problému

Veličina	Význam	Rozměr
V	objemový odběr	L^3/T
μ	dynamická viskozita	M/LT
ρ	hmotnost	M/L^3
τ	povrchové napětí	M/T^2
g	gravitace	L/T^2
L	geometrický rozměr	L
θ	rozdíl teplot	θ
β	objemová roztažnost	$1/\theta$
v	rychlost proudu	L/T

V této tabulce jsou fyzikální veličiny, jimiž je převážně charakterizováno proudění skloviny ve feedru. Z tabulky je zřejmé, že proudění a výtok skloviny je defino-

ván devíti fyzikálními veličinami, při čtyřech nezávislých parametrech L, M, T, O.

(L ... délka, M ... hmota, T ... čas, O ... teplota).

1. 1. Výpočet kritérií podobnosti.

Základní rovnice dimensionální analýzy má tvar:

$$M^0 L^0 T^0 O^0 = (O^1)^A \cdot (L^3 T^{-1})^B \cdot (L \cdot T^{-1})^C \cdot (ML^{-1} T^{-1})^D \cdot (L^1)^E \cdot (ML^{-3})^F \cdot (LT^{-2})^G \cdot (O^{-1})^H \cdot (MT^{-2})^J$$

Pro exponenty musí platit:

$$M \dots\dots O = D + F + J$$

$$L \dots\dots O = 3B + C - D + E - 3F + G$$

$$T \dots\dots O = -B - C - D - 2G - 2J$$

$$O \dots\dots O = A - H$$

Z těchto exponentů je pět vhodně voleno a zbývající čtyři jsou vypočteny pro pět variant volby. Dosazením vypočtených a volených exponentů do základní rovnice obdržíme pět bezrozměrných kritérií. Abychom obdrželi vhodná kritéria pro experimenty, je třeba volit exponenty takto:

VOI BA	A	B	C	D	J
I.	1	0	0	0	0
II.	0	1	0	0	0
III.	0	0	1	0	0
IV.	0	0	0	1	0
V.	0	0	0	0	1

Exponent

Odpovídá

A	voleno	O^1
B	voleno	$L^3 T^{-1}$
C	voleno	LT^{-1}
D	voleno	$ML^{-1} T^{-1}$
E	vypočteno	L^1
F	vypočteno	ML^{-3}
G	vypočteno	LT^{-2}
H	vypočteno	O^{-1}
J	voleno	MT^{-2}

Volba I.

$$\begin{array}{ll}
 M \dots\dots O = F & H = 1 \\
 L \dots\dots O = E - 3F + G & F = 0 \\
 T \dots\dots O = -2G & G = 0 \\
 O \dots\dots O = 1 - H & E = 0
 \end{array}$$

$$\text{Kriterium: } M^0 L^0 T^0 O^0 = \theta \cdot \beta$$

Volba II.

$$\begin{array}{ll}
 M \dots\dots O = F & F = 0 \\
 L \dots\dots O = 3 + E - 3F + G & H = 0 \\
 T \dots\dots O = -1 - 2G & G = -1/2 \\
 O \dots\dots O = -H & E = -5/2
 \end{array}$$

$$\text{Kriterium: } M^0 L^0 T^0 O^0 = Q \cdot L^{-5/2} \cdot g^{-1/2}$$

Volba III.

$$\begin{array}{ll}
 M \dots\dots O = F & F = 0 \\
 L \dots\dots O = 1 + E - 3F + G & H = 0
 \end{array}$$

$$T \dots O = -1 - 2G$$

$$O \dots O = -H$$

$$G = -1/2$$

$$E = -1/2$$

$$\text{Kriterium: } M^0 L^0 T^0 O^0 = v \cdot L^{-1/2} \cdot g^{-1/2}$$

Volba IV.

$$M \dots O = 1 + F$$

$$L \dots O = -1 + E - 3F + G$$

$$T \dots O = -1 - 2G$$

$$O \dots O = -H$$

$$F = -1$$

$$H = 0$$

$$G = -1/2$$

$$E = -3/2$$

$$\text{Kriterium: } M^0 L^0 T^0 O^0 = L^{-3/2} \cdot g^{-1/2} \cdot \rho^{-1} \cdot \mu$$

Volba V.

$$M \dots O = F + 1$$

$$L \dots O = E - 3F + G$$

$$T \dots O = -2G - 2$$

$$O \dots O = -H$$

$$F = -1$$

$$H = 0$$

$$G = -1$$

$$E = -2$$

$$\text{Kriterium: } M^0 L^0 T^0 O^0 = L^{-2} \cdot g^{-1} \cdot \rho^{-1} \cdot \tau$$

Přehled odvozených kriterií:

$$\pi_1 = \theta \cdot \beta$$

$$\pi_2 = \frac{Q^2}{L^2 \cdot g}$$

$$\pi_3 = \frac{v^2}{L \cdot g}$$

$$\pi_4 = \frac{v^2}{L^3 \cdot g}$$

$$\pi_5 = \frac{\tau}{L^2 \cdot g \cdot \rho}$$

1. 2. Odvození podobnostních vztahů

Podobnostní vztahy odvozujeme z bezrozměrných kriterií a vycházíme z toho, že tyto vztahy musí být pro model i dílo číselně rovny (věta 3. o podobnosti).

Nazveme $s = L_m/L_d$ měřítkem rozměrů modelů a díla (L_m - charakteristický rozměr modelu, L_d - charakteristický rozměr díla). Potom lze odvodit následující podobnostní vztahy:

1. Kriterium:

$$\theta_m \cdot \beta_m = \theta_d \cdot \beta_d$$

$$\frac{\theta_m}{\theta_d} = \frac{\beta_d}{\beta_m}$$

Splnění této podmínky zaručuje podobnost proudění v důsledku teplotních změn.

2. Kriterium:

$$\frac{Q_m^2}{Q_d^2} = \frac{L_m^5}{L_d^5}$$

$$Q_m = Q_d \cdot s^{5/2}$$

Kriterium vyjadřuje vztah mezi protékajícím množstvím modelu a díla.

3. Kriterium:

$$\frac{v_m^2}{L_m} = \frac{v_d^2}{L_d} \quad v_m = v_d \cdot s^{1/2}$$

Toto kriterium vyjadřuje vztah mezi rychlostmi a tím i časy na modelu a díle.

4. Kriterium:

$$\frac{\nu_m^2}{L_m^3} = \frac{\nu_d^2}{L_d^3} \quad \nu_m = \nu_d \cdot s^{3/2}$$

Kriterium udává vztah mezi hodnotami kinematické viskozity modelové kapaliny a skloviny.

5. Kriterium:

$$\frac{\tau_m}{L_m^2 \cdot \rho_m} = \frac{\tau_d}{L_d^2 \cdot \rho_d} \quad \tau_m = \frac{\rho_m}{\rho_d} \cdot \tau_d \cdot s^2$$

Kriterium udává vztah mezi povrchovým napětím skloviny a modelové kapaliny.

Základní podmínkou modelování je geometrická podobnost, kterou vyjadřuje hodnota s . Všechny odvozené podobnostní vztahy (kromě kriteria 1.) jsou závislé na měřítku s . Z těchto vztahů je vidět, že geometrická podobnost ovlivňuje volbu modelové kapaliny a naopak volbu modelové kapaliny ovlivňuje měřítko. Při řešení modelu feedru bylo třeba malého zmenšení modelu oproti dílu. Tento fakt vyvolává potíže při výběru vhodné modelové kapaliny.

2. VOLBA MODELOVÉ KAPALINY A MĚŘÍTKA s .

Při volbě modelové kapaliny a měřítka s je nutno si uvědomit, že oba tyto faktory jsou vzájemně vázány podobnostními vztahy. Při realizaci podobnosti lze postupovat dvěma způsoby:

a) volit modelovou kapalinu daných vlastností a k ní určit výpočtem měřítko.

b) volit měřítko s a vyhledat odpovídající modelovou kapalinu.

Neexistuje obecný návod jak postupovat, je vždy nutno vycházet z konkrétních podmínek sledovaného problému. Z kritéria podobnosti (č. 4) plyne, že, čím je zmenšení modelu proti dílu větší, tím může být modelová kapalina řidší, to znamená může mít nižší viskozitu. Velikost zmenšení je ovšem limitována požadavky a potřebami měření na modelu.

Při modelování sklářských tavicích agregátů se pohybují měřítka kolem $s = 1 : 20$, a proto je zde širší výběr vyhovujících modelových kapalin. U případu jako je tento, kde je nutno volit měřítko v rozsahu $s = 1 : 2$ až $s = 1 : 5$, jsou modelové kapaliny vhodné pro simulaci skloviny, k dispozici jen ve velmi malém množství a práce s nimi je obtížnější pro jejich vysokou viskozitu.

Při řešení problému modelování feedrů používaných v průmyslu Jablonecké bižuterie, bylo nutno na základě skutečných geometrických rozměrů těchto feedrů, limitovat zmenšení z hlediska potřeb měření na modelu, měřítkem $s = 1 : 2,5$. Tato skutečnost vyvolala nutnost laboratorně zjistit fyzikální vlastnosti možných a dostupných modelových kapalin.

2. 1. Popis volené kapaliny.

Jak již bylo řečeno kritériem pro výběr kapalin byla

volba minimálního zmenšení modelu, to jest bylo třeba získat kapalinu s větší viskozitou v oblasti teplot 10 - 100°C. Bylo zkoumáno celkem devět dostupných kapalin, některé byly vyrobeny laboratorně, některé zakoupeny. U všech byla měřena v laboratoři KSK na VŠST viskozita a měrná hmotnost. Nakonec se jako nejvhodnější pro účely tohoto modelu ukázala kapalina označená na KSK jako K9. Byla připravena podle návodu uvedeného ve Zpravodaji SVÚSK Hradec Králové č. 3 - 4 z roku 1970.

Složení kapaliny K9:

80% cukr, 10% H₂O, 10% glycerin, 1% kyselina citronová.

Kapalina byla připravena následujícím způsobem: Navážený cukr byl ovlhčen v kádince vodou s rozpuštěnou kyselinou citronovou a po té roztaven ve vodní lázni při teplotě kolem 80°C. Po dvou až třech hodinách bylo směs možno vyčeřit po dobu asi 10 minut.

Kapalina K9 má sice o něco menší viskozitu než je třeba, přesto je však ze všech uvažovaných kapalin nejvhodnější. Její průhlednost je vyhovující, což bylo ověřeno vnesením sondy. Další výhodou je, že nepřijímá vodu z ovzduší. Nejvhodnější však tato kapalina je z hlediska příznivějších teplot při modelování. Vlastnosti této kapaliny dovolují modelovat zadané parametry (900 až 1250°C) skloviny ve feedru v rozmezí teplot 20 - 50°C na modelu.

2. 2. Určení viskozní křivky a pracovních teplot.

Tento model je sestaven dle feedru typu Desná - Mozaika, na kterém byla prováděna příslušná měření. Ve feedru je teplota skloviny na vstupu 1100 - 1250°C a teplota ve výtokovém otvoru 900 - 1150°C. Použitá sklovina Cl. Vzorec pro určení viskozní křivky:

$$\log \mu = A + \frac{B}{t - C}$$

Ze tří známých bodů viskozni křivky (transformační bod, horní a dolní chladicí teplota) byly určeny konstanty A, B, C pro sklovinu Cl. Bylo vypočteno $A = -1,33$; $B = 4723$; $C = 141,17$.

Viskozni křivka skloviny Cl je tedy dána rovnicí:

$$\log \mu = -1,33 + \frac{4723}{t - 141,17}$$

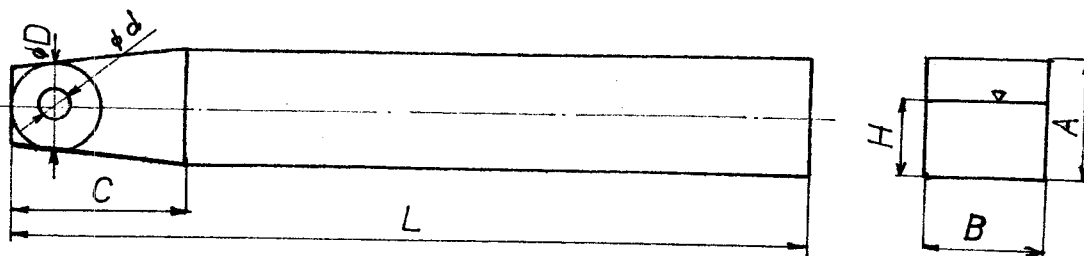
a její průběh je na obr. č. 3

Ze známé viskozni křivky skloviny Cl byla pomocí 4. kritéria podobnosti určena viskozni křivka ideální kapaliny. Viskozni křivka modelové kapaliny K9 je také známa. Vhodným dělením měřítek teplot můžeme viskozni křivku kapaliny K9 téměř stotožnit s křivkou ideální kapaliny, což je znázorněno na obr. č. 2. V tabulce č. 1 je proveden přepočet viskozni křivky skloviny Cl na viskozni křivku ideální kapaliny.

2. 3. Výpočet rozměru modelu.

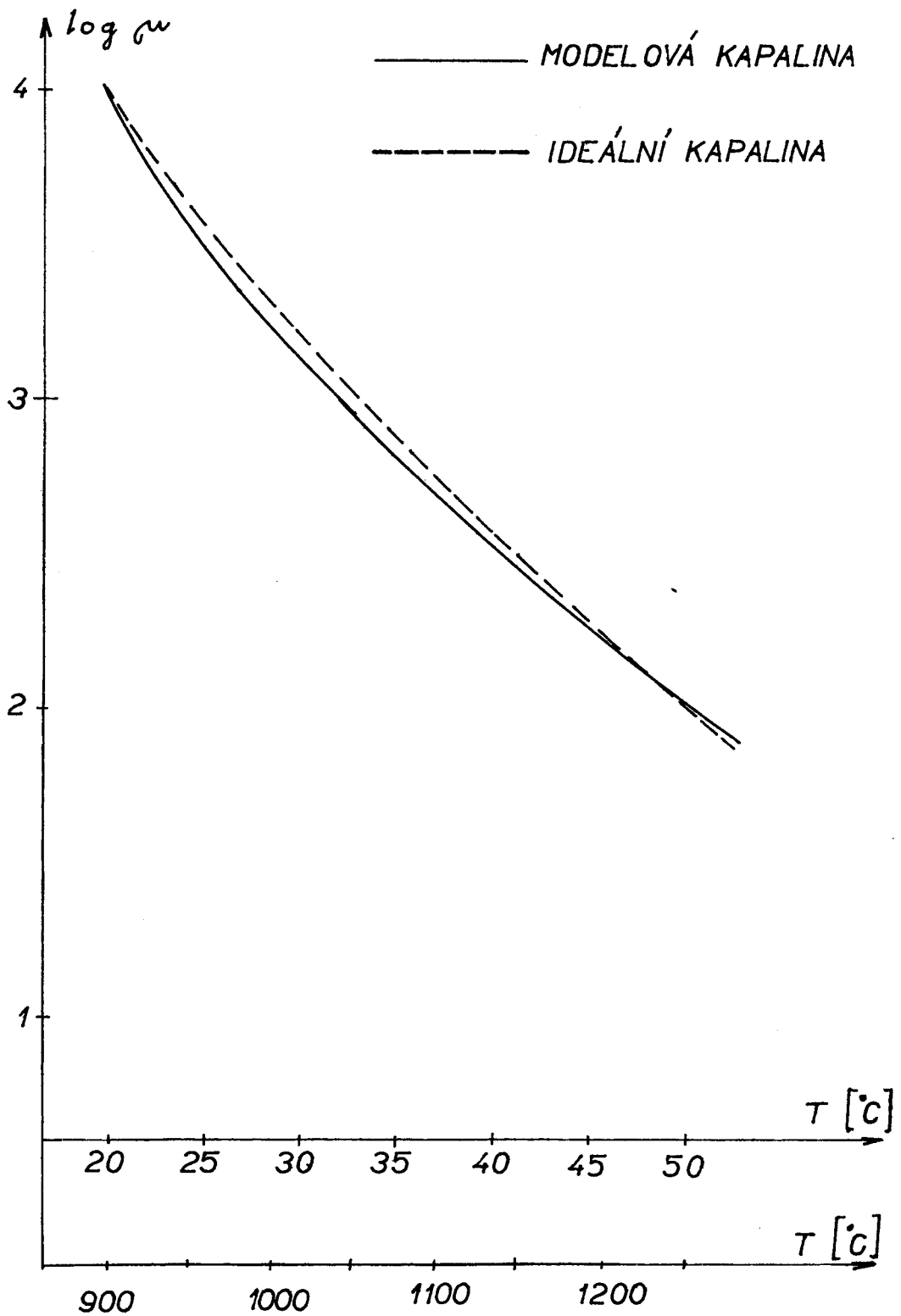
Zvolené měřítko $s = 1: 2,5$

Rozměry kanálu Desná - Mozaika byly vzaty dle výkresu.

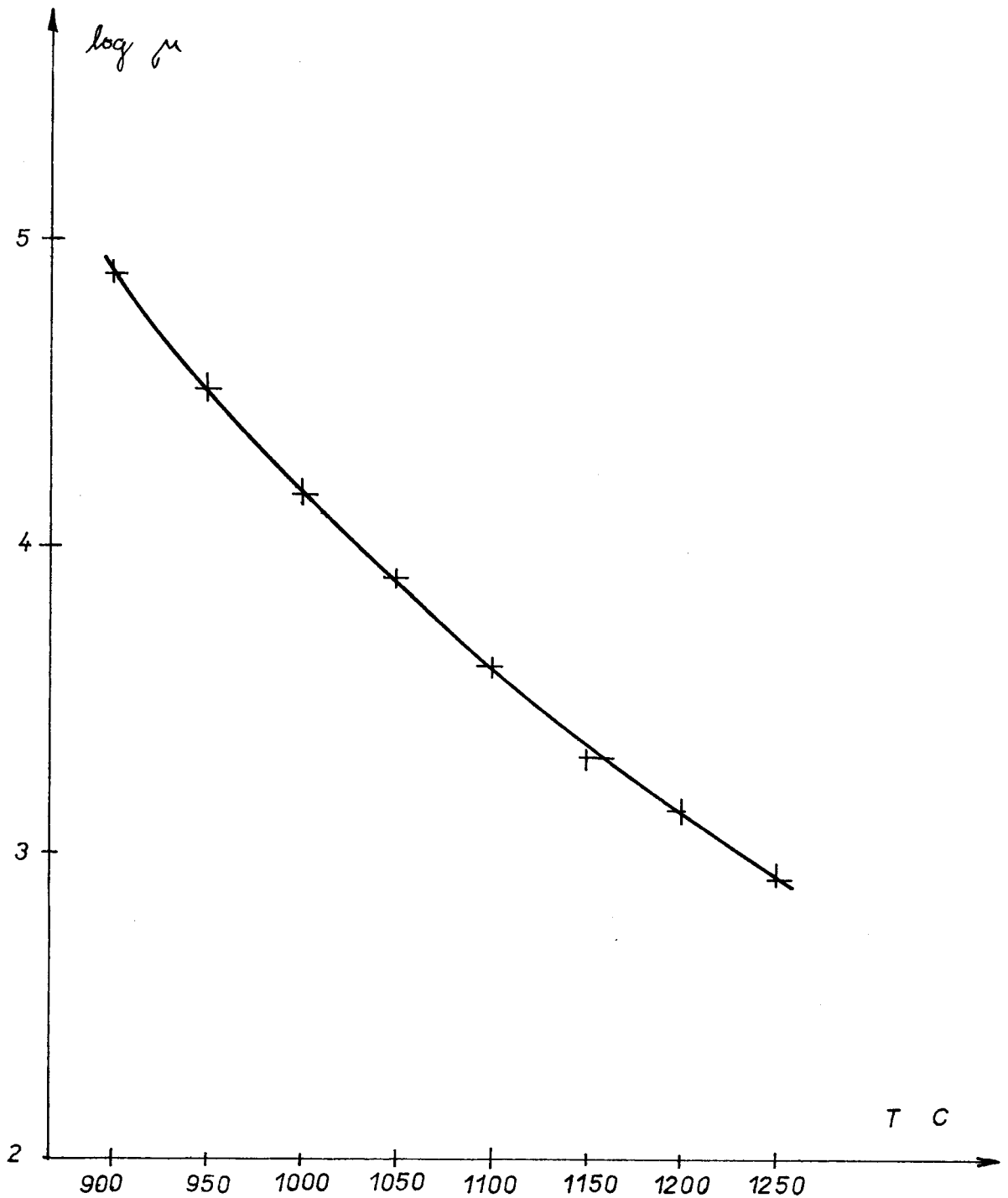


obr. č. 1

Dílo	Model
$L = 2470 \text{ mm}$	$L = 990 \text{ mm}$
$B = 200 \text{ mm}$	$B = 80 \text{ mm}$
$A = 200 \text{ mm}$	$A = 80 \text{ mm}$
$D = 120 \text{ mm}$	$D = 52 \text{ mm}$
$d = 45 \text{ mm}$	$d = 18 \text{ mm}$
$H = 100 \text{ mm}$	$H = 40 \text{ mm}$
$C = 370 \text{ mm}$	$C = 148 \text{ mm}$
$s = 20 \text{ mm}$	$s = 8 \text{ mm}$



obr. č. 2



obr. č. 3

Viskozitní křivka skloviny C1 v závislosti na teplotě

3. KONTROLA PODOBNOSTI

Aby byla zajištěna podobnost mezi modelem a dílem, musí pro zvolené měřítko a použitou kapalinu podobnostní kritéria mít stejnou absolutní číselnou hodnotu. V této části zprávy je provedená kontrola podobnosti při měřítku $s = 1 : 2,5$ a modelové kapalině označené K9. Vzhledem k tomu, že zatím nejsou známy objemová roztažnost a povrchové napětí modelové kapaliny, není provedena kontrola podobnosti pro kritéria 1. a 5. Pro modelování proudění ve feedru tuto okolnost můžeme pro první přiblížení zanedbat, protože vliv β (proudění vyvolané změnou měrné hmotnosti) není určující a splnění ϱ (vliv povrchového napětí) určuje podobnost při modelování tvorby cibule při výtoku z feedrů. Pro technologické a geometrické parametry feedru (díla) byly vypočteny rychlosti (maximální, minimální, střední) proudění skloviny ve feedru a přepočteny na model. Tyto parametry jsou sestaveny v tabulce.

Parametr	Rozměr	Dílo	Model
v_{\min}	cm/s	0,0168	0,0108
$v_{\text{stř}}$	cm/s	0,05	0,0316
v_{\max}	cm/s	0,084	0,053
Q_{\min}	g/s	8,4	0,468
$Q_{\text{stř}}$	g/s	25	1,38
Q_{\max}	g/s	42	2,32

Kontrola viskozity skloviny a modelové kapaliny se provede pomocí 4. kritéria. Na obr. č. 3 je průběh visko-

zity v závislosti na teplotě pro sklovinu C1 v požadovaném teplotním intervalu a na obr. č. 2 průběh viskozity ideální modelové kapaliny vypočtené ze vztahu:

$$\nu_m = \nu_d \cdot s^{3/2} = \nu_d \cdot 0,253$$

Dosažením potřebných hodnot sklovinu a modelové kapaliny do podobnostních kritérií dostáváme:

$$\frac{Q_m^2 \text{ stř}}{L_m^5 \cdot g} = \frac{1,02}{32600 \cdot 1000} = 0,316 \cdot 10^{-7}$$

$$\frac{Q_d^2 \text{ stř}}{L_d^5 \cdot g} = \frac{1 \cdot 10^2}{3,2 \cdot 10^6 \cdot 10^3} = 0,316 \cdot 10^{-7}$$

$$\frac{v_m^2 \text{ stř}}{L_m \cdot g} = \frac{0,0316^2}{8 \cdot 10^3} = 0,125 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{v_d^2 \text{ stř}}{L_d \cdot g} = \frac{0,05^2}{20 \cdot 10^3} = 0,125 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{\nu_m^2}{L_m^3 \cdot g} = \frac{414^2}{8^3 \cdot 10^3} = 0,333$$

$$\frac{\nu_d^2}{L_d^3 \cdot g} = \frac{1635^2}{20^3 \cdot 10^3} = 0,333$$

Shodnost absolutních hodnot kritérií pro model a dílo jednoznačně prokazuje podobnost mezi probíhajícími fyzikálními ději.

4. REALIZACE MODELU

Tento model je navazujícím typem na model M2 Mozaika, jenž byl postaven pracovníky KSK na VŠST v Liberci. Funkčně i rozměrově je v podstatě stejný. Hlavní změnou u tohoto modelu je konstrukční zabudování odporových sklíček, jejichž účelem je simulovat vytápění žlabu a zlepšit regulaci teploty a proudění na modelu.

4. 1. Popis modelu - schema zapojení

Model je umístěn na konstrukci z ocelových tyčí a trubek stejně jako u modelu M2 Mozaika. Po zkušenostech s předešlým typem bylo upuštěno od konstruování zadní části (nádrže) a feeder má po celé délce stejný průřez. Je pouze o něco prodložen. Žlab je zhotoven s dvojitými stěnami. Vnitřní stěnu tvoří odporová sklíčka vodotěsně a vyměnitelně uložená, vnější je slepená klasickým způsobem z desek z plexiskla. Do mezery mezi stěnami je systémem hadiček přiváděna chladicí voda. Schema oběhu modelové kapaliny je na obr. č. 4.

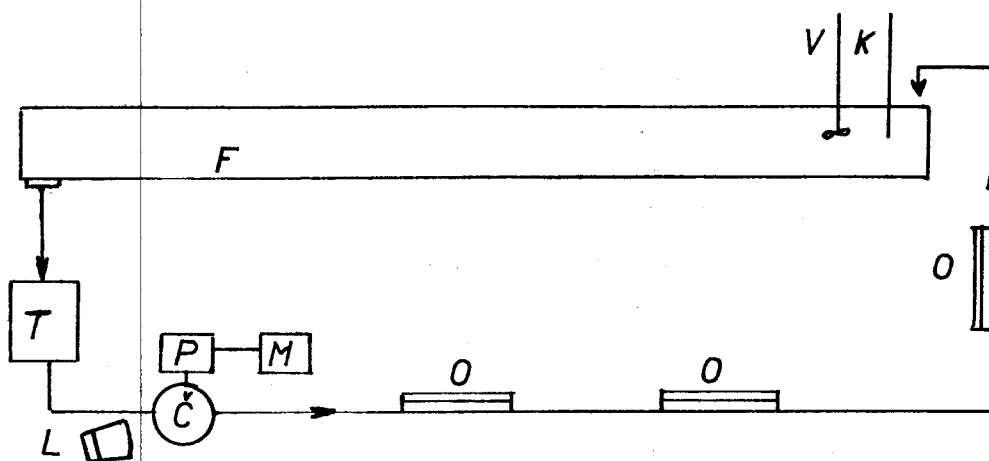
Z feederu (F) vytéká kapalina vyměnitelným výtokem přes gumovou hadici do výměníku tepla (T) řízeného termostatem. Výměník tepla je postaven jako nádrž s horkým médiem, které ohřívá protékající kapalinu trubicou vedenou středem nádrže. Termostatem lze podle potřeby médium ohřát. Předehřátá kapalina vtéká do čerpadla (Č), které jí dopravuje zpět do feederu. Zubové čerpadlo je poháněno přes vyměnitelný převod a šnekovou převodovku (P), komutátorovým elektromotorkem (M). U motorku je možnost plynulé změny otáček, aby se mohlo měnit dodávané množství. Před čerpadlem je umístěna infralampa (I). Na zpětném potrubí jsou umístěna ohřívací tělíska (O), která spolu s infralampou slouží při rozběhu modelu, kdy je modelová kapalina tuhá. V oblasti přítoku

kapaliny do feedru je umístěn kontaktní teploměr (K), který je spojen s ohřívacími tělisky, a vrtulka (V), která umožňuje lepší proudění ve žlabu. Všechny hnací agregáty jsou umístěny pokud možno mimo rám, aby se zamezilo přenosu chvění na feeder. Na tyčové konstrukci nad žlabem jsou připevněny termočlánky, případně zařízení na vnášení sond a dle potřeby další zařízení. Model je osvětlen zářivkou umístěnou z boku v rovině žlabu.

K ohřevu kapaliny ve žlabu slouží odporová skříčka, která tvoří dno i stěny žlabu a další skříčka umístěná asi 10 mm nad hladinou na zvláštních držácích. Žlab je rozdělen do sedmi oddělených sekcí, z nichž každá má své vytápění i chlazení. Šest sekcí je stejných, sedmá, výtoková, je konstrukčně poněkud odlišná (výkres č. DP 188/73 01 00). Každé skříčko je uloženo vodotěsně a je vzhledem k ostatním elektricky odizolováno. Přívod elektrického proudu ke skříčkům je naznačen na výkrese č. DP 188/73 01 01 (detail A a detail B). Je proveden tak, že ke každému skříčku (vždy proti sobě) jsou vodivým lepidlem přilepeny měděné plíšky (police č. 33). K nim jsou přiletovány drátky, které jsou vyvedeny vodotěsným prostorem mezi sekcemi ven. Drátky jsou vyvedeny na jedné straně žlabu otvorem ve vrchní desce. K přilepení plíšků lze použít vodivé lepidlo, jehož složení a příprava je popsána v knize J. Škeříka - Receptář pro elektrotechnika (str. 145 - hlava 454).

Schema elektrického zapojení jedné sekce je na obr. č. 5. Každá sekce má čtyři skříčka, která nám představují odpory R1 - R4. Drátky jsou pomocí banánek zapojeny do zdířek panelu P. Je možno je libovolně vypínat a zapojovat různé kombinace skříček. Elektrický proud je odebírán ze sítě přes vypínač V₁ a oddělovací transformátor T, který je v obvodu umístěn kvůli bezpečnosti. Na voltmetru V a ampérmetru A si regulačním autotransformátorem RAT nastavujeme potřebný výkon.

Ideální by bylo, kdyby mohlo být podobným způsobem za-



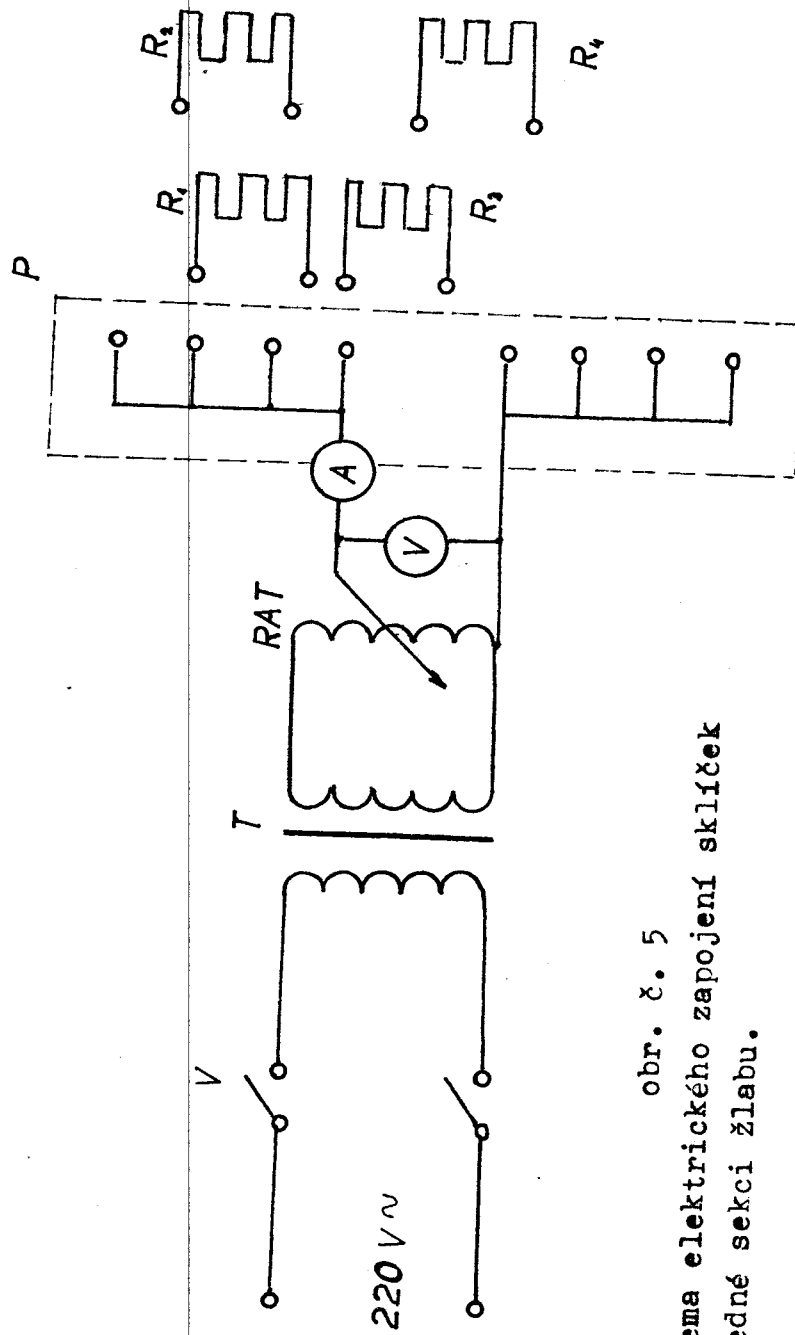
obr. č. 4

Schema oběhu modelové kapaliny

pojeno každé sklíčko zvlášť. Vyžadovalo by to ovšem velké množství přístrojů, což vzhledem k okolnímu prostoru není výhodné. Tímto způsobem bude vytápěna každá sekce tak, že budou jednotlivá sklíčka buď vypnuta, nebo zapnuta na stejný výkon. V jednotlivých sekcích však lze nastavovat výkony různé, což vzhledem k rychlostem a teplotám na modelu je postačující.

Každá sekce žlabu má dva přívody a dva odvody chladící vody (výkres č. DP 188/73 01 00, pos. 15), které jsou gumovými hadičkami spojeny s přívodní a odvodní trubicí (pos. 2). Trubky jsou upevněny na horní tyčové konstrukci. Na koncích trubek je víčko se závitem, který je utěsněn samovulkanizujícím kaučukem. Ve víčku je umístěn odvzdušňovací šroubek (pos. 23). Trubky jsou upevněny tak, aby odvzdušňovací otvor byl nejvyšším bodem a vzduch mohl při naplňování vodou dobře unikat.

U modelu žlabu je předepsán sklon $s = 8 \text{ mm}$. Tento sklon se dá pohodlně nastavit pomocí tyčové konstrukce, na které je žlab uložen.



obr. č. 5

Schema elektrického zapojení sklíček
v jedné sekci žlabu.

4. 2. Konstrukce žlabu

Při konstrukci tohoto žlabu byly velké problémy se zabudováním topných sklíček a hlavně s jejich utěsněním. Byla také vedena polemika zda tato skla upevnit rozebiratelně či nikoliv. Pro nerozebíratelný model hovořil fakt, že by se všechny spoje zalily kupříkladu dentakrylem a dosáhlo by se absolutní vodotěsnosti. Žlab by také zachoval hladké stěny, což by skvalitnilo proudění kapaliny. Nakonec byla zvolena druhá alternativa. Její výhoda spočívá v tom, že sklíčka lze celkem snadno vyměnit v případě jejich poškození, nebo je možno zkoušet ve žlabu sklíčka různých vlastností. Nevýhodou je ta skutečnost, že jednotlivé sekce jsou předěleny destičkami z plexiskla, což bude zřejmě mít neblahý vliv na proudění. Také v příčném průřezu je z konstrukčních důvodů v dolních rozích zkosení, ovšem po celé délce žlabu, a to by proudění vadit nemuselo.

Konstrukce žlabu je znázorněna na výkrese č. DP 188/73 01 01. Jak už bylo řečeno žlab se skládá ze dvou stěn. Vnější je slepena z plexisklových desek. Spodní deska (pos. 1) je 10 mm silná a boční stěny (pos. 2 - 5) jsou silné 8 mm. Spoje jsou zality dentakrylem. Jednotlivé sekce oddělují od sebe plexisklové destičky (pos. 10 a 49), které jsou vodotěsně přilepeny k vnějšímu žlabu.

V dolních i bočních rozích vnějšího žlabu jsou přilepeny profilované tyče z plexiskla (pos. 20). V nich jsou vyfrézovány drážky, které slouží k uložení sklíček. Mezi drážkami je ploška skloněná o úhel 45° , v níž jsou vyvrtány dírký pro šrouby. Mezi dírkami, při vnější stěně jsou vybrány kanálky, aby mohla chladicí voda protékat celou sekcí. U tyčí jež jsou v předních a zadních rozích jsou též vyvrtány díry pro přívod elektrického proudu.

Topná sklíčka jsou uložena na profilovaných tyčích a destičkách (pos. 10) a připevněna destičkami z plexiskla 2 mm silného, u nichž jsou zaobleny hrany, aby proudící kapalina neměla takový odpor. Tyto destičky jsou přitaženy

k vnějšímu žlabu pomocí zápusťných šroubů. V rozích jsou skříčka upevněna pomocí profilovaných lišt (pos. 21), jejichž plochy musí být přesně opracovány, aby lišty dobře dosedaly. Lišty jsou přitaženy pomocí závrtných zápusťných šroubů k profilovaným tyčím (pos. 20). Všechny zápusťné šrouby, které jsou na modelu, musí být utěsněny samovulkanizujícím kaučukem.

Skříčka musí být z obou stran dobře utěsněna. Jaký druh těsnění bude nejvhodnější, se ukáže až po postavení modelu a nebo jednoduchého přípravku. Je možno použít pryžových nebo kožených pásků (pos. 31, 32). Další možnost, která se z hlediska utěsnění jeví nejlepší, je použití samovulkanizujícího kaučuku. Styčné plochy se jednoduše natřou tímto přípravkem, dotáhnou se šrouby, oškrabe přebytečná hmota a kaučuk se na vzduchu zvulkanizuje a stane se vodotěsným. V případě demontáže se nechá lehce sloupnout. Při měření na přípravku (obr. č. 6), se s tímto kaučukem získaly dobré zkušenosti.

Horní plocha každé sekce je omezena tyčí (pos. 6, 12, 18), která je přilepena k boční stěně vnějšího pláště. V tyči je opět drážka pro uložení skříčka a díry pro šrouby. Destičkou (pos. 8, 19, 27) je skříčko připevněno k této tyči.

Jak bylo dříve uvedeno model má šest stejných sekcí a sedmou, výtokovou, odlišnou od ostatních. Tato odlišnost je dána tím, že zde je umístěná výtoková miska (pos. 28). Proto bylo nutno zhotovit dno této sekce z desky plexiskla o síle 8 mm. Deska je přilepena na kroužku (pos. 16), který je přilepen na spodní desce. Otvor, v němž je umístěna odtoková miska má osazení. Na něm je těsnící kroužek (pos. 43). Výtoková miska vyrobená z hliníku je usazena na těsnícím kroužku a dotažena matkou (pos. 29). Matka je ještě zalita kaučukem. Výtok je takto dobře utěsněn. K desce, jenž nám představuje dno výtokové sekce, jsou přilepeny profilované tyče (pos. 15), jež slouží k uložení bočních skříček.

Přívod a odvod chladicí vody je v každé sekci proveden tak, že v horní tyči je vyvrtán závit a do něho zapuštěn šroub opatřený otvorem (pos. 50). Šroub je dotažen matkou (pos. 41) a utěsněn samovulkanizujícím kaučukem. Na trubku je nasazena hadička (pos. 42), která vede k hlavnímu potrubí. Na jedné straně žlabu jsou přívodní hadičky, na druhé odvodní. Voda při protékání sekci bude odebírat teplo vnitřnímu žlabu a ochlazovat protékající kapalinu.

V každé sekci bude ještě sklíčko umístěné 10 mm nad hladinou, které bude ohřívát kapalinu sáláním zhora. Konstrukčně je takový hořák znázorněn na výkrese č. DP 188/73 01 01. Jeho základem je pertinaxová deska (pos. 47), k níž jsou šrouby M4 (pos. 37) připevněny nosné plíšky (pos. 44). Sklíčko je přidržováno z jedné strany plechem (pos. 45), který je k vrchní desce připevněn pomocí dvou matic (pos. 40). Z druhé strany je sklíčko přidržováno pružným ocelovým plíškem (pos. 46), na nějž tlačí šroub (pos. 39). Původně bylo sklíčko drženo dvěma rovnými plíškami. Šroub však vyvozoval tlak v jednom místě a sklíčka po zahřátí praskala již při poměrně nízkých teplotách. Proto byl navržen držák s pružincovým plíškem. Tlak se takto lépe rozloží a sklíčko přitom bude drženo dosti pevně. Pod matkou (pos. 40) je připevněn měděný plíšek, k němuž je připájen přívod elektrického proudu. Proud se tak přes plíšek a šroub dostane ke sklíčku. Tento hořák byl vyzkoušen na přípravku jenž je schematicky znázorněn na obr. 6. Vrchní hořáky je možno podle potřeby odejmout a provádět měření v příslušné sekci.

Konstrukční návrh tohoto modelu je poměrně dosti složitý. Klade také vysoké nároky na výrobu, neboť provedení profilovaných desek a lišt musí být přesné. Výhodou bude použití samovulkanizujícího kaučuku, s jehož pomocí budou utěsněny i větší nepřesnosti výroby.

t (°C)	log μ	μ	$V_{6K} = \frac{\mu}{\rho}$	$V_{mv} = V_d \cdot s^{3/2}$	$\mu_{mv} = \rho \cdot V_{mv}$	log μ_{mv}
900	4,893	78100	31200	7890	11100	4,043
950	4,508	32200	12900	3260	4560	3,659
1000	4,160	14450	5770	1450	2030	3,308
1050	3,890	7760	3090	780	1090	3,037
1100	3,600	3980	1690	426	595	2,774
1150	3,300	2000	800	203	285	2,455
1200	3,130	1350	538	136	190	2,279
1250	2,910	813	324	82	115	2,060

tabulka č. 1

Přepočet viskozitní křivky skloviny C1 na viskozitní křivku ideální modelové kapaliny.

5. VOLBA SKLÍČEK

Jedním z hlavních úkolů této práce bylo použít k simulaci hořáků na modelu feedru odporových sklíček. Princip těchto sklíček spadá do oblasti polovodičů a prakticky spočívá v tom, že na tabulové sklo se nanese tenká polovodičivá vrstva kysličníku ciničitého (SnO_2) a na opačné strany sklíčka se přivede elektrický proud. Vlivem elektrického odporu se sklíčko ohřeje na značnou teplotu a sálá teplo do okolí. Teploty, které sklíčko vydrží, se podle vlastností pohybují u normálního tabulového skla až do 300°C . Pokud chceme dosáhnout vyšších teplot, použijeme kvalitnější sklo křemenné.

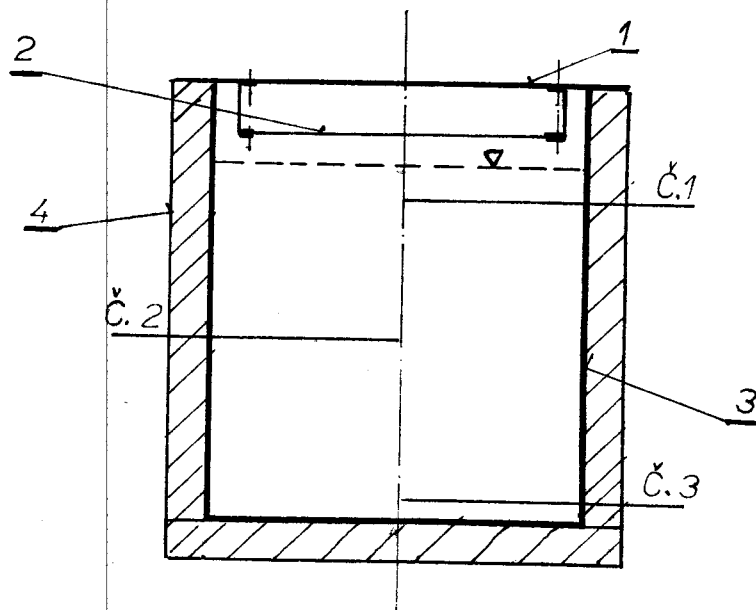
Při provedených předběžných měřeních bylo hlavním nedostatkem, že sklíček různých druhů a vlastností bylo k dispozici jen omezený počet. Navíc několik sklíček popraskalo vlivem špatné konstrukce hořáku. Nedalo se proto provést měření v širším rozsahu. Z těchto důvodů byla navržena na model skla o vyšších odporech, než je třeba pro dané podmínky. Ve výzkumu o měření vlivu sklíček na modelovou kapalinu je však možno pokračovat a po nalezení vhodnějších materiálů zabudovat sklíčka do modelu. Toto bylo také jedním z faktorů, které rozhodly pro to, aby funkční část modelu byla sestavena rozebíratelně.

Pro model bylo navrženo sklo typu Simax o odporu 220 ohmů. Tloušťka všech sklíček je 2 mm. Počty a rozměry jednotlivých skel jsou uvedeny v kusovníku (výkres č. DP 188/73 01 01, list č. 2).

5. 1. Měření sklíček

Aby byla pro model vybrána vyhovující sklíčka, bylo nutno provést měření vlivu sklíček na modelovou kapalinu K9.

K měření byl sestrojen přípravek, jehož náčrtek je na



obr. č. 6

obr. č. 6. Je to plechová kádinka (3) o rozměrech 80 x 80 x 100 mm. Kádinka je z důvodů tepelné izolace polepena molitanem (4). Ve výši 5, 40 a 70 mm ode dna jsou umístěny termočlánky (č. 1 - 3). Na vrchní destičce z pertinaxu (1) je připevněno měřené sklíčko (2) o rozměrech 70 x 70 mm.

Nejprve byla měřena sklíčka z obyčejného tabulového skla o nižších odporech. Sklíčka však při poměrně nízkých teplotách praskala. Jelikož sklíček různých druhů byl nedostatek, bylo od tohoto měření upuštěno. Pro měření byla navržena křemenná sklíčka o odporu 220 ohmů. Dopustili jsme se tím sice jakéhosi "předimenzování" sklíček, neboť tato sklíčka vydrží mnohem větší teploty, než je třeba na tomto modelu, ale za to je jistota, že vlivem teploty neprasknou.

Vlastní měření se provádělo takto. Nejprve se zjišťovala teplota volného sklíčka, tak, že se měnilo napětí, měřil proud a pomocí dotykového teploměru zjišťovala

čas (min.)	U (V)	I (A)	t (°C)
0	15	-	20
15	15	-	55
30	20	-	70
45	25	0,1	100
60	30	0,2	120
75	35	0,5	150
90	40	0,7	185
105	45	1,0	220

tabulka č. 2

se teplota ve sklíčku (tabulka č.2). Pak se do kádinky nalila modelová kapalina K9. Dle předchozího měření byl zvolen příkon, jímž sklíčko zahřívalo kapalinu. V závislosti na čase byl potom měřen přírůstek teploty na jednotlivých termočláncích. Měření byla provedena pro sklíčko umístěné 10 mm nad hladinou (tab. č. 3), pro sklíčko ve styku s kapalinou (tab. č. 4), pro sklíčko ponořené do kapaliny (tab. č.5). Pro jednotlivé termočlánci byly vyneseny teploty v závislosti na čase do grafů (obr. č. 7, 8, 9). Při měření sklíčka umístěného nad hladinou jsme zvolili větší příkon kvůli předpokládaným ztrátám. Z tabulky a z grafu je vidět, že ztráty ve vrstvě vzduchu se nijak podstatně neprojeví, proto i v dalších úvahách se s nimi nepočítalo.

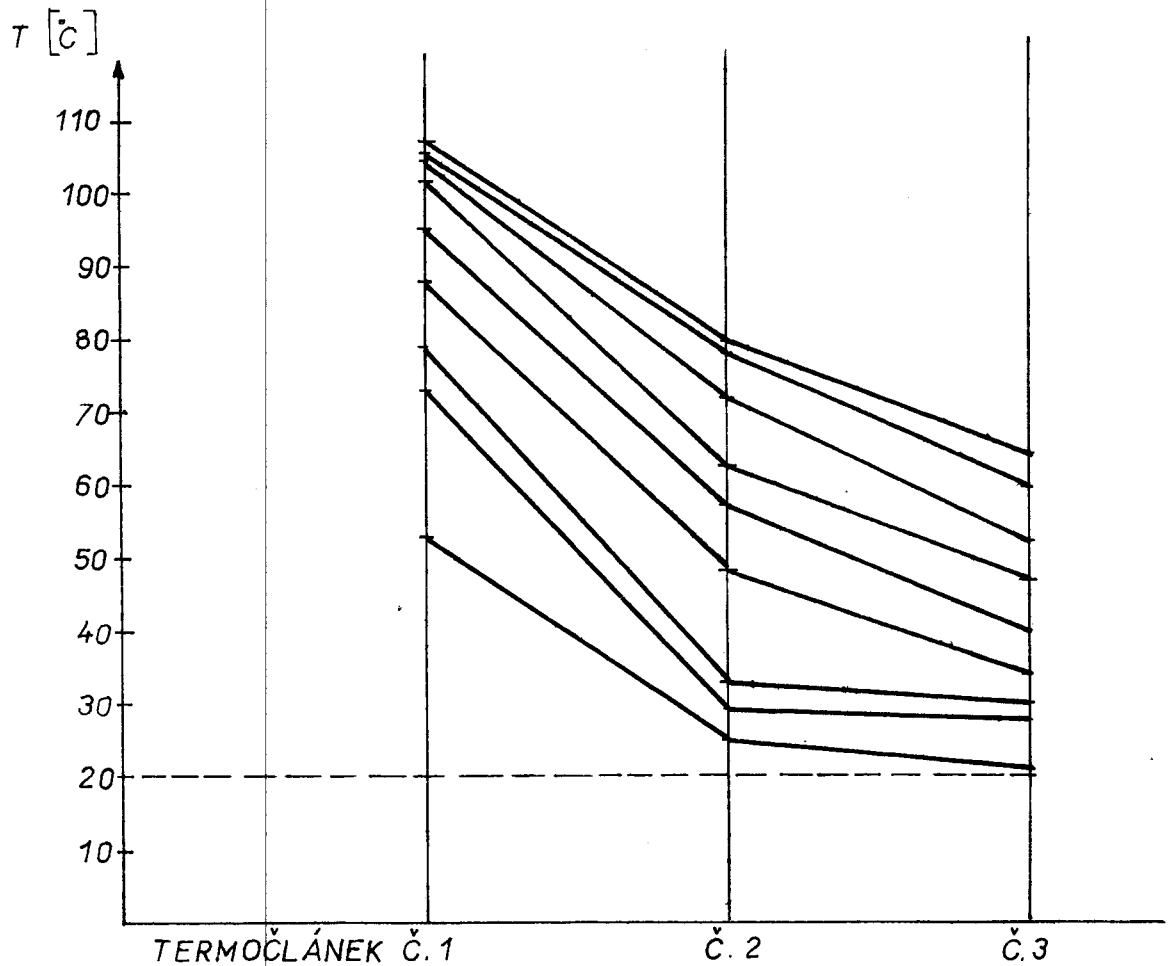
Z naměřených hodnot a při určitých předpokladech je možno orientačně určit některé tepelné koeficienty modelové kapaliny.

VŠST Liberec	Návrh modelu žlabu	DP 188/73	
Fakulta strojní		KSK	List 31

Nastaveno $U=42V$, $I=0,8A$, výkon $P=U \cdot I=33,6W=28,89 \frac{kcal}{hod}$

čas (min)	1. termočl. $t(^{\circ}C)$	2. termočlánek $t(^{\circ}C)$	3. termočlánek $t(^{\circ}C)$
0	20	20	20
5	30	25	20
10	42	25	21
15	53	25	21
20	60	25	21
25	70	29	28
30	73	29	28
35	73	30	28
40	76	33	30
45	79	38	31
50	82	42	33
55	86	48	34
60	88	50	38
65	90	54	39
70	93	57	40
75	95	59	42
80	99	62	44
85	102	63	47
90	102	71	50
95	103	72	52
100	104	74	56
105	104	77	59
110	104	78	60
115	105	80	63
120	105	80	64
125	105	81	65
130	107	81	66

tabulka č. 3



obr. č. 7

Ke grafu přísluší tab. č. 3.

Jednotlivé čáry ukazují teploty po 15-ti min. intervalech na jednotlivých termočláncích.

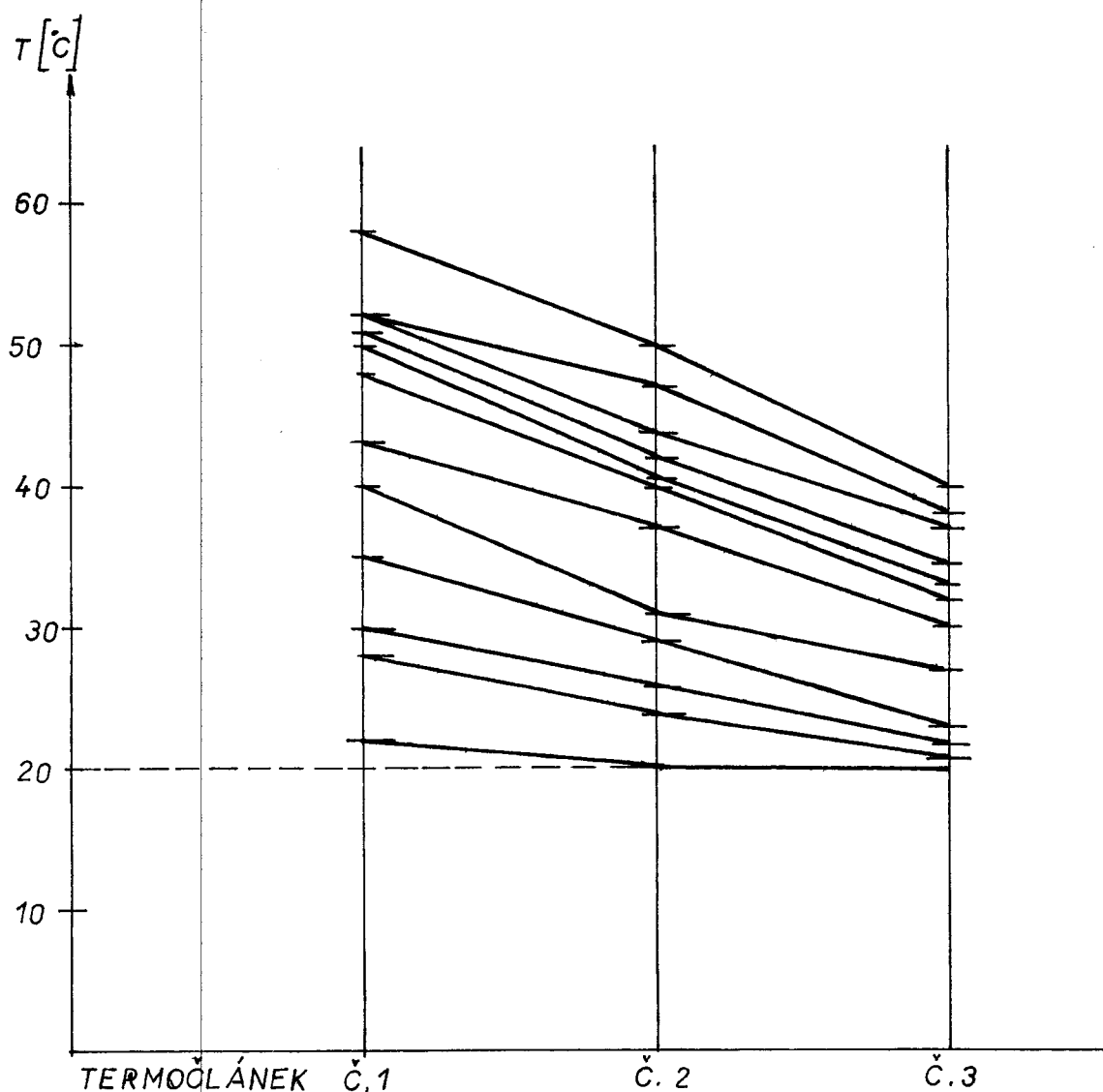
Skříňko nebylo ponořeno do kapaliny.

Za 2 hod. 10. min. se vrchní termočlánek (č. 1) ohřál o 87°C , prostřední o 61°C a spodní o 46°C .

VŠST Liberec	Návrh modelu žlabu	DP 188/73	
Fakulta strojní		KSK	List 33

Nastaveno $U = 35V$, $I = 0,5A$, výkon $P = U \cdot I = 17,5W = 15,05 \frac{kcal}{hod}$ odpor křemenného sklíčka 220 ohmů			
čas (min)	1. termočlánek $t(^{\circ}C)$	2. termočlánek $t(^{\circ}C)$	3. termočlánek $t(^{\circ}C)$
0	20	20	20
30	22	20	20
60	28	24	21
75	29	25	21
90	30	26	22
105	32	28	22
120	35	29	23
135	39	30	24
150	40	31	27
165	42	32	28
180	43	37	30
195	47	40	31
210	48	40	32
225	49	41	33
240	50	41	33
255	51	42	34
270	51	42	34
285	52	43	35
300	52	44	37
315	52	45	38
330	52	47	38
345	53	48	39
360	55	49	40
375	58	50	40

tabulka č. 4



obr. č. 8

Ke grafu přísluší tab. č. 4.

Skříčka mělo kontakt s kapalinou.

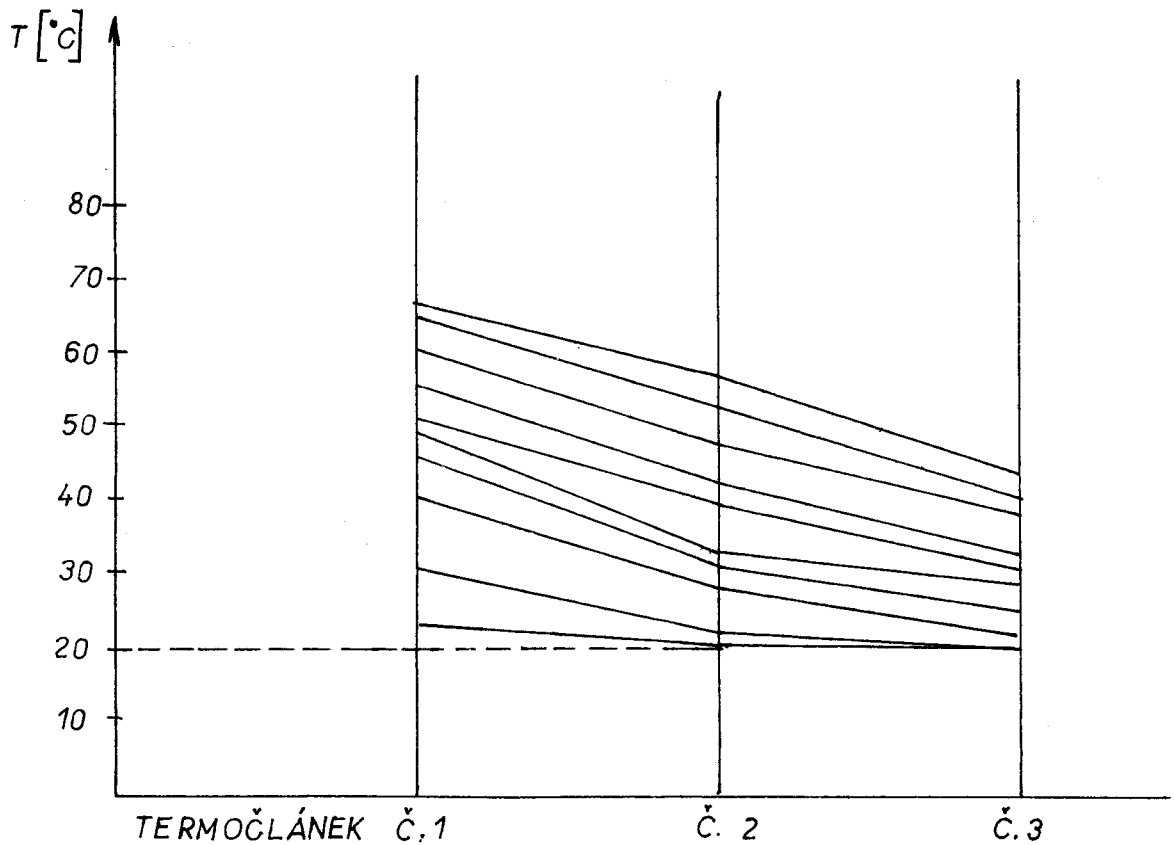
Čáry ukazují teploty na jednotlivých termočláncích po 30 min. intervalech.

Za 6 hod. 45 min. se ohřál vrchní termočlánek o 38°C , střední 30°C a spodní o 20°C .

Nastaveno $U=42V$, výkon $P=13,2W$, $Q=11,35$ kcal/hod

čas (min)	1. termočlánek	2. termočlánek	3. termočlánek
0	20	20	20
15	23	20	20
30	31	22	20
45	36	23	21
60	40	28	22
75	42	29	23
90	46	31	25
105	48	32	27
120	49	33	29
135	50	37	30
150	51	39	31
Nastaveno $U=55V$, $I=0,24A$			
165	51	40	31
180	52	41	32
195	56	43	33
210	59	45	37
225	61	48	39
240	63	51	40
255	65	53	41
270	67	57	44

tabulka č. 5



obr. č. 9

Graf přísluší k tabulce č. 5.

Skříčko ponořeno v kapalině .

Teploty na jednotlivých termočláncích jsou vy-
nášeny ve 30 min. intervalech.

Za 4 hod. 15 min. se vrchní termočlánek (č. 1)
ohřál o 47°C, střední o 37°C a spodní o 24°C.

5. 2. Určení koeficientu tepelné vodivosti modelové kapaliny.

Poměry v kádince lze označit jako vedení tepla stěnou, kde stěnu představuje modelová kapalina. Tloušťka stěny $x = 0,08$ m. Teplo odevzdané sklíčkem kapalině známe, plochu také, přírůstek teploty lze určit z grafu. Můžeme proto koeficient tepelné vodivosti λ určit ze vzta-
hu:

$$Q = \frac{\lambda}{x} \cdot t \cdot F$$

potom

$$\lambda = \frac{Q \cdot x}{t \cdot F}$$

Z obrázku č. 7 a z tab. č. 3:

$$\lambda_1 = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{58 \cdot 4,9 \cdot 10^{-3}} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Z obr. č. 8 a z tab. č. 4:

$$\lambda_2 = \frac{4,17 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{20 \cdot 4,9 \cdot 10^{-3}} = 3,45 \cdot 10^{-3}$$

Z obr. č. 9 a z tab. č. 5:

$$\lambda_3 = \frac{25,2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}}{4,9 \cdot 24 \cdot 10^{-3}} = 2,13 \cdot 10^{-3}$$

Pravděpodobně nepřesnostmi v měření i vlivem zanedbaných ztrát byly způsobeny rozdíly ve výsledcích, a proto byla určena střední hodnota .

$$\lambda_{stř} = 2,668 \cdot 10^{-3} \text{ (kcal/sec} \cdot \text{deg} \cdot \text{m)}$$

Z naměřených hodnot v přípravku (obr. č. 6) lze také zjistit další údaje pro model. Ze začátku zahřívání je kapalina poměrně tuhá a lze tedy obsah jedné sekce modelu brát jako tuhé těleso. Budemeli sekci zahřívát výkonem dle tab. č. 4 ($Q = 15,05$ kcal/hod, $I = 0,5A$, $U = 55V$) sklíčkem, které je kupříkladu ve dně kanálu, vidíme z obr. č. 8, že 10 mm od sklíčka se ohřeje kapalina o $2^{\circ}C$ za 30 min. Ve střední vrstvě se o $2^{\circ}C$ ohřeje asi za 45 min. Dostáváme tak lomené křivky. Přírůstky teplot v nejvyšší vrstvě jsou však stále menší, kdežto v nižších vrstvách větší. Lomené čáry přecházejí v přímky a teploty v kapalině se vyrovnávají, až dosáhnou teploty sklíčka. V kanálu k tomu však nemůže prakticky dojít neboť kapalina zde neustále proudí. Když budeme brát jednu sekci jako tuhé těleso můžeme spočítat přírůstek teploty pro režim z tab. č. 4 ze vztahu:

$$\Delta t = \frac{Q \cdot x}{F \cdot \lambda}$$

$$\Delta t = \frac{4,17 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{2,668 \cdot 10^{-3} \cdot 1,12 \cdot 10^{-2}} =$$

$$= 5,59^{\circ}C$$

Z grafu na obr. č. 8 je vidět, že ve vrstvě 10 mm od sklíčka se kapalina ohřeje o $6^{\circ}C$ asi za 30 min. Předpokládáme-li, že je v této vrstvě rychlost proudění $v_{\min} = 0,0108$ cm/s, zjistíme, že element kapaliny protěče jednou sekci za 1300 vteřin. Kapalina by se tedy ohřála asi o $3^{\circ}C$. Zapojíme-li všechna čtyři sklíčka v sekci na tento režim, dostaneme v určitých časech a určitých vrstvách izotermy, jež vytvoří jakýsi tepelný profil kanálu. Ze zkušenosti z modelu M2 víme, že u stěn a dna žlabu probíhalo prohřátí jen velmi pomalu a proudění kapaliny zde bylo minimální. Budeme-li však ohřívát kapalinu pomocí sklíčků ve stěnách prohřejí se nejprve

(jak vyplývá z této úvahy) krajní vrstvy a proudění bude probíhat mnohem příznivěji.

Takto však lze uvažovat jen při začátku zahřívání a při nižších teplotách, kdy kapalina ještě neteče a nebo teče jen velmi pomalu. Při vyšších teplotách je nutno uvažovat sdílení tepla prouděním v kanále. K tomu je zapotřebí znát koeficient přestupu tepla.

5. 3. Určení koeficientu přestupu tepla α

Koeficient přestupu tepla je závislý na mnoha faktorech, především však na rychlosti proudění, teplotě zdroje i kapaliny, viskozitě, specifickém teple látky a na rozměrech sdílené plochy. V podmínkách tohoto modelu, kdy rychlosti proudění jsou velmi malé byl vliv změny rychlosti zanedbán a bylo počítáno se střední hodnotou $v_{stř} = 0,0316$ cm/s. K výpočtu bylo použito vztahu:

$$Nu = 0,197 \cdot Re^{0,6}$$

(viz přednášky Tepelné stroje pro V. roč. - ing. Matějka)

kde $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$ je Reynoldsovo číslo a $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$

je Nuseltovo číslo. Jako charakteristický rozměr (d) bylo bráno $d_{ekv} = 4f/u$ kde u je smáčený obvod a f je průtočná plocha. Koeficient přestupu tepla se potom rovná:

$$\alpha = 0,197 \cdot \frac{\lambda}{d_{ekv}} \cdot Re^{0,6}$$

Výpočet je v tabulce č. 6. Závislost α na teplotě a viskozitě modelové kapaliny je na obr. č. 10. Jsou zde označeny vypočtené hodnoty, jimiž byla proložena exponenciála. Poloha některých bodů se dosti liší od proložené křivky. Patrně to bude způsobeno nepřesnostmi v měření a při určování λ . Byla zde také uvažována rychlost jako konstantní,

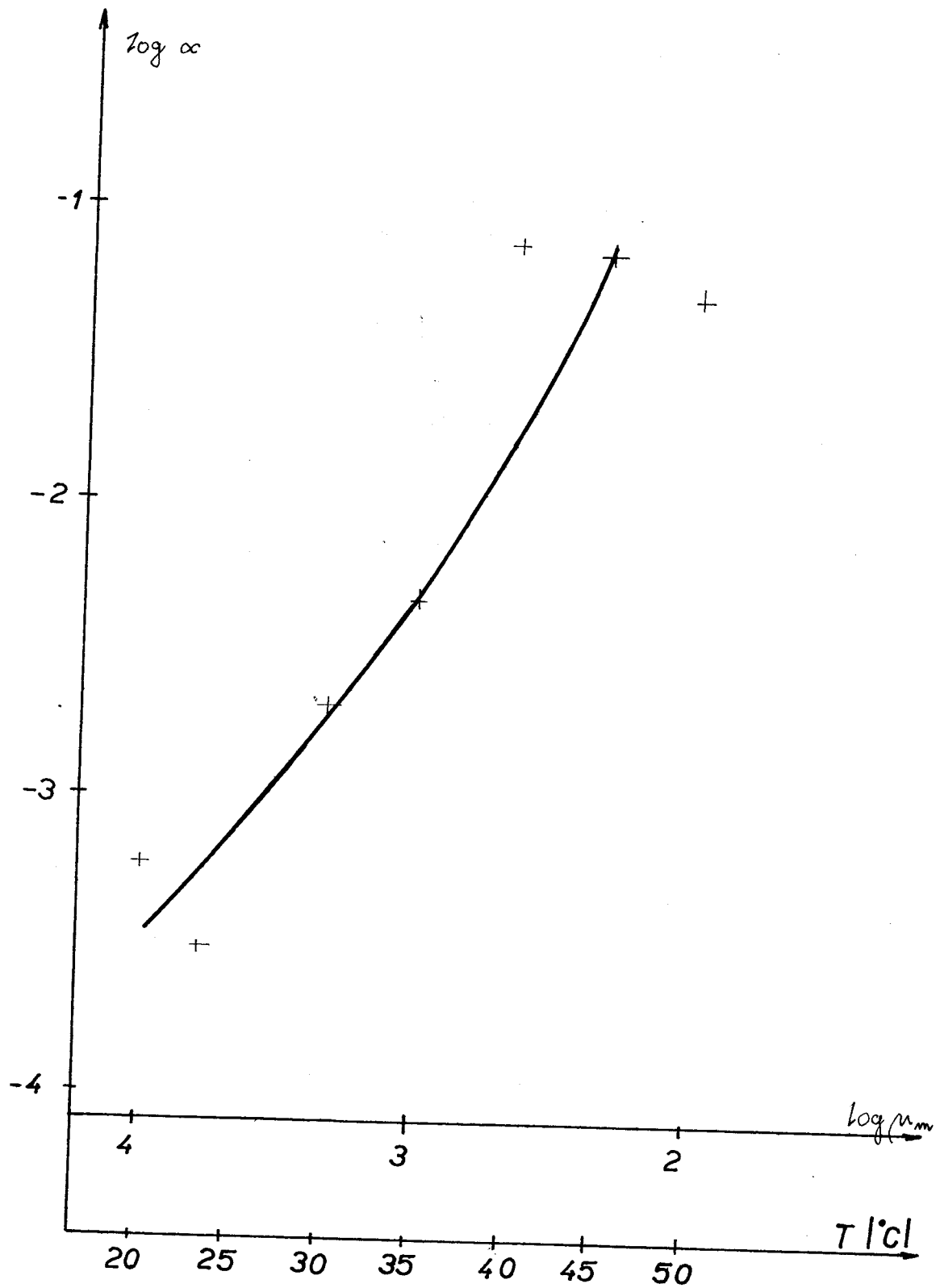
i když je jisté, že se stoupající teplotou se bude rychlost proudění měnit. Z grafu však lze předpokládat, že α bude vzrůstat s teplotou.

Všechny vypočtené hodnoty, které jsou v této kapitole uvedeny jsou přirozeně nepřesné a mají funkci čistě orientační. Slouží k tomu, abychom za určitých předpokladů mohli předběžně určit tepelné poměry ve žlabu. Přesné zjištění těchto poměrů bude nutno provést až přesným měřením přímo na modelu.

t (°C)	$\log \mu_{mv}$	μ_{mv}	$V_{mv} = \frac{\mu_{mv}}{\rho}$	Re	α	$\log \alpha$
20	4,01	10240	7320	$2,29 \cdot 10^{-5}$	$1,63 \cdot 10^{-3}$	-3,212
25	3,51	3240	2310	$7,23 \cdot 10^{-5}$	$3,25 \cdot 10^{-3}$	-3,512
30	3,23	1700	1210	$1,38 \cdot 10^{-4}$	$4,81 \cdot 10^{-2}$	-2,682
35	2,81	646	462	$3,63 \cdot 10^{-4}$	$8,44 \cdot 10^{-2}$	-2,326
40	2,52	331	236	$7,11 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-1}$	-1,107
45	2,25	178	127	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-1}$	-1,148
50	2,01	102	73	$2,30 \cdot 10^{-3}$	$1,96 \cdot 10^{-1}$	-1,294

tabulka č. 6

Výpočet koeficientů přestupu tepla α .



obr. č. 10

ZÁVĚR

V této práci byl konstrukčně navržen model feedru a předběžně zjištěny tepelné poměry v něm. Progresivními prvky v konstrukci modelu jsou odporová sklička, sloužící k vytápění a tepelné regulaci žlabu. Bylo vyřešeno uložení, utěsnění a elektrické zapojení skliček.

Některé díly, z nichž je kanál sestaven jsou dosti složité a poměrně náročné na přesnost výroby. Plexisklo je však velmi dobře obrobitelné a neměly by tedy s tímto být potíže.

K utěsnění skliček byl navržen samovulkanizující kaučuk, který se osvědčil při měření skliček. Vydrží požadované teploty a je dokonale vodotěsný. Může se případně použít v kombinaci s pryžovými pásky.

Elektrické zapojení bylo navrženo tak, že každá sekce má svůj samostatný obvod. Takto je možno dobře regulovat teploty po celé délce žlabu.

Ještě jednou je třeba zdůraznit, že úvahy a vypočtené tepelné koeficienty uvedené v textu jsou určeny z hodnot naměřených pouze v podobných podmínkách a pomocí určitých zjednodušení. Mají smysl pouze orientační. Jejich přesné určení bude prvním úkolem po realizaci modelu.

Tento model by měl být dalším stupněm ve výzkumu neizotermního proudění ve feedrech. Pomocí odporových skliček, která umožňují tepelnou regulaci po celé délce žlabu, budou zjištěny neoptimálnější hodnoty viskozity, teplot a rychlostí pro výtok skloviny. Tyto hodnoty přeneseny na skutečné agregáty pomohou zvýšit kvalitu skleněných výrobků. Odporová sklička na modelu lze v praxi nahradit kupříkladu elektropříhřevem.

V závěru této práce bych chtěl poděkovat za spolupráci vedoucímu diplomové práce ing. Janu Cibulkovi i ostatním pracovníkům KSK VŠST v Liberci.

Jan Cibulka