

Vysoká škola:strojní a textilní.....

Katedra:sklář. a keram. strojů.....

Fakulta:strojní.....

Školní rok:1981/82.....

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Hanu K o p a l o v o u

obor 23-21-8

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

Název tématu: Chlazení sklářských forem

Pokyny pro vypracování:

V současné době jsou formy automatů na výrobu obalového skla chlazeny ventilátorovým vzduchem. Konají se však pokusy nahradit vzduch jiným chladicím médiem. Ve své práci navrhnete konstrukční řešení nového způsobu chlazení forem vodním sprayem.

Proveďte:

- rozbor problému na základě studia literatury
- konstrukční návrh a laboratorní odzkoušení základních prvků chladicího systému
- technicko-ekonomické zhodnocení.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Autorské právo ve řídi směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/32-83/2 ze dne 13. července
1982-Věstník (MŠK XVII), část 24 ze
dne 31.3.1982 619 aut. z. č. 113/53 Sb.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran textu doložených příslušnými výpočty a výkresovou dokumentací

Seznam odborné literatury: Diplomové práce a výzkumné zprávy z oboru chlazení forem vypracované na KSK

Patentová literatura
Glastechnische Berichte 11/80

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Cibulka

Konsultanti: Ing. Pozner, Sklostroj Turnov

Datum zadání diplomového úkolu: konečné zadání 23.9.1981

Termín odevzdání diplomové práce: 4.6.1982



Doc. Ing. J. Belda, CSc.

Vedoucí katedry

Doc. RNDr. B. Stráž, CSc.

Děkan

v Liberci dne 23.9. 1981

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-21-8

Stroje a zařízení pro chemický,
potravinářský a spotřební průmysl

Zaměření
sklářské a keramické stroje

Katedra sklářských a keramických strojů

CHLAZENÍ SKLÁŘSKÝCH FOREM

Hana K O P A L O V Á

DP-KSK-027

Vedoucí práce

Ing. Jan Cibulka

Konzultant

Ing. Pozner Sklostroj Turnov

Rozsah práce a příloh

Počet stran	70
Počet tabulek	1
Počet obrázků	41
Počet výkresů	0

MDT: 66 6. 1. 032. 5

Datum: 28.5.1982

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

Hana Kopalová
Hana K o p a l o v á

V Liberci 20. 5. 1982

OBSAH

	Seznam použitých veličin.....	6
1.	Úvod	8
2.	Zákonitosti sdílení tepla při tvarování	10
2. 1.	Úvod	10
2. 2.	Sdílení tepla ze skloviny do formy	11
2. 3.	Prostup tepla formou	13
3.	Použití vody ke chlazení	15
3. 1.	Chlazení vodní mlhou	15
3. 2.	Uzavřený oběh vodního chlazení	16
3. 3.	Chlazení plunžru vodním sprayem	18
3. 4.	Chlazení vodou - zkušenosti firmy HEYE	22
4.	Chlazení vodním sprayem	24
4. 1.	Teorie chlazení vodním sprayem	24
4. 2.	Kvantitativní vyjádření odvedeného tepla	25
4. 2. 1.	Teplo odvedené ohřátím vody na teplotu varu ..	25
4. 2. 2.	Skupenské teplo odvedené při vypařování vody .	26
4. 2. 3.	Teplo odvedené nucenou konvekcí	27
4. 2. 4.	Prostup tepla stěnou formy	27
4. 3.	Metody měření velikosti kapek	28
5.	Experimentální část	32
5. 1.	Měřicí zařízení	33
5. 1. 1.	Zařízení na vytváření mlžného postřiku	38
5. 2.	Předpoklady pro měření	39
5. 3.	Měření	40
5. 3. 1.	První serie měření	40
5. 3. 2.	Druhá serie měření	44
5. 3. 3.	Třetí serie měření	53
5. 3. 4.	Čtvrtá serie měření	61

5. 3. 5.	Pátá serie měření	62
5. 3. 6.	Šestá serie měření	63
5. 4.	Zhodnocení měření	66
6.	Ekonomické zhodnocení	68
7.	Závěr	69
	Seznam použité literatury	70

SEZNAM UŽITÝCH VELIČIN

- a - součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- b - tloušťka stěny [m]
- B - materiálová konstanta [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1/2}$]
- c - měrné teplo [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- d - průměr [m]
- E_f - tepelná akumulační schopnost formy [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1/2}$]
- E_s - tepelná akumulační schopnost skloviny [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1/2}$]
- G - tíha [N]
- k - koeficient prostupu tepla
- l - délka [m]
- l_v - skupenské teplo výparné [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]
- m - hmotnost [kg]
- M_o - hmotnost kapek, dopadajících za 1 s na 1 m^2 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]
- n - počet kapek dopadajících za 1 s na 1 m^2 plochy [s^{-1}]
- N - celkový počet kapek
- p - tlak [Pa]
- Q - odvedené množství tepla [J]
- Q - tepelný výkon procházející stěnou [W]
- Q_1 - teplo odvedené při ohřátí media na teplotu varu [J]
- Q_2 - skupenské teplo odvedené při vypařování chladícího media [J]
- Q_3 - teplo odvedené konvekci vzduchu a vytvořené páry [J]
- Q_v - objemový průtok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- Q_w - objemový průtok vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- r_e - vnější poloměr formy [m]
- r_i - vnitřní poloměr formy [m]
- r_s - střední poloměr formy [m]
- s - tloušťka stěny [m]
- S - styčná plocha [m^2]
- s' - entropie syté kapaliny [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- s'' - entropie syté páry [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- t_e - teplota vnějšího povrchu formy [$^{\circ}\text{C}$]
- t_f - teplota formy [$^{\circ}\text{C}$]
- t_j - střední teplota vnitřního povrchu formy [$^{\circ}\text{C}$]

- t_p - teplota v místě styku sklovina - forma [$^{\circ}\text{C}$]
- t_s - teplota skloviny [$^{\circ}\text{C}$]
- t_x - teplota v hloubce x [$^{\circ}\text{C}$]
- v' - měrný objem syté kapaliny [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
- v'' - měrný objem syté páry [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
- v - objem [m^3]
- w - rychlost proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- α - součinitel přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- γ - součinitel objemové roztažnosti [K^{-1}]
- ρ - hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
- η - dynamická viskozita [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]
- λ - součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- ν - kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- τ - doba [s]

1. ÚVOD

Současnou tendenci snižovat energetickou náročnost ve všech odvětvích národního hospodářství zdůraznil i XVI. sjezd KSČ v hlavních směrech a úkolech hospodářského a sociálního rozvoje na léta 1981 - 1985. Je nutné při minimálních přírůstcích palivoenergetických zdrojů urychlit snižování spotřeby energie v národním hospodářství a zejména věnovat mimořádnou pozornost zavádění energeticky úspornějších technologií. Mezi úkoly 7. pětiletky patří též zvyšování technické úrovně strojírenských výrobků tak, aby naše výrobky uspěly v konkurenci na zahraničních trzích. Neméně důležitým úkolem je i neustálé zlepšování životního prostředí na pracovištích.

N. p. Sklostroj Turnov je jediným výrobcem řadových strojů na výrobu obalového skla v RVHP. U nového vývojového typu sklařského automatu řady AL-AL 118 se ukázaly další možnosti dokonalejšího řešení tepelných procesů především při chlazení forem.

V současné době všechny stroje řady AL používají ke chlazení sklářských forem vzduchu proudícího od ventilátoru přes pevné chladicí komíny. Toto chlazení je jednoduché a operativní. Daný způsob chlazení sklářských forem je však neekonomický. Vyplývá to z nákladů na vysokou spotřebu elektrické energie nutné k pohonu ventilátoru. Vysoká hladina hlukosti při tomto způsobu chlazení velmi zhoršuje pracovní prostředí.

Vzrůstající požadavky na výrobu povedou ke zrychlení chodu stroje. Bude třeba zintenzivnit a zrychlit i chlazení sklářských forem. Další zvyšování rychlosti vzduchu znamenalo neúměrné náklady na energii. Hledají se proto nové způsoby chlazení sklářských forem. Objevuje se jedna řada konstrukčních řešení samotného chladicího systému a na druhé straně se rozvíjí výzkum nových netradičních způsobů, které využívají k chlazení jiných medií než je vzduch.

Diplomová práce úzce navazuje na diplomovou práci Lubomíra Krška. Zabývá se novým způsobem chlazení sklářských forem užitím vodního spraye, vyzkoušením a optimalizováním této metody v laboratorních podmínkách na katedře sklářských a keramických strojů VŠST v Liberci, která pracuje mimo jiné také na vývoji nových progresivních způsobů chlazení sklářských forem.

2. ZÁKONITOSTI SDÍLENÍ TEPLA PŘI TVAROVÁNÍ

2.1. ÚVOD

Při tvarovacím procesu požadujeme rychlé a přesné vytvoření požadovaného tvaru. Sklovina se musí ochladit tak, aby se výrobek při další manipulaci nedeformoval a byl dodržen předepsaný tvar a jakost povrchu výrobku. Je-li odvedeno málo tepla, výrobek se deformuje, bortí. Stejně tak při velkém množství odvedeného tepla vzniká zmetek, výrobek s povrchovými vadami, navíc se zvyšuje spotřeba energie, klesá výkon stroje.

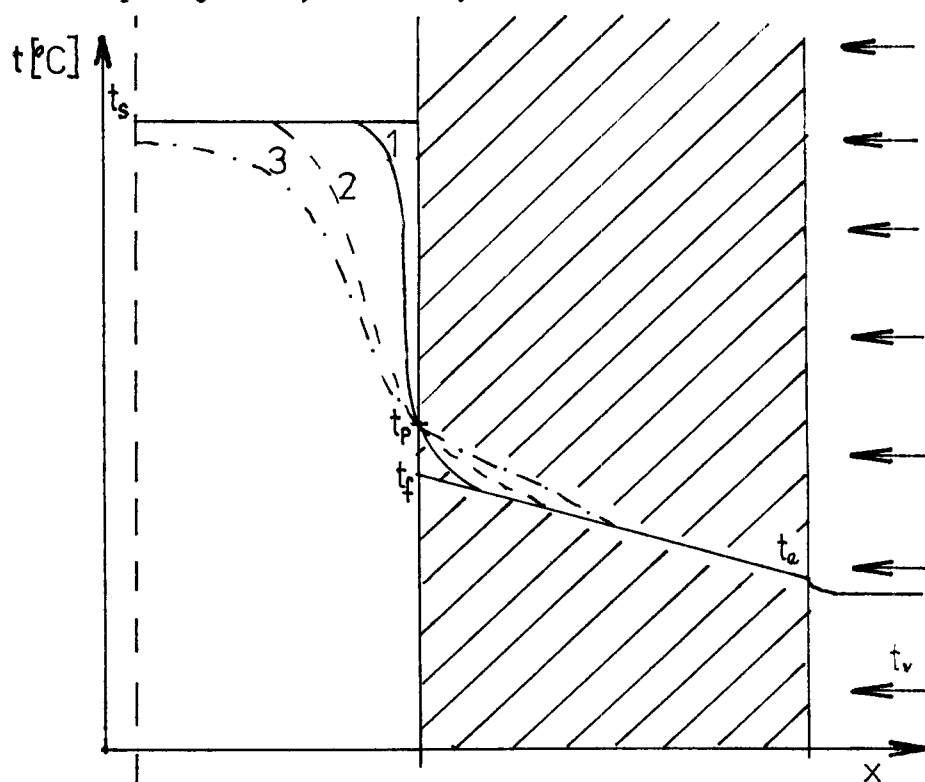
Množství odvedeného tepla, které vyhovuje všem požadavkům, závisí na mnoha faktorech, nejen fyzikálních. Pro střední měrný odebíraný tepelný výkon při tvarování lahví na skčních automatech v rozsahu hmotnosti lahve od 100 do 700 g uvádí Smrček [1] experimentální hodnotu $430 \cdot 10^3 \text{ W.kg}^{-1} \pm 43 \text{ W.kg}^{-1}$.

Vytvořený tvar je fixován podstatným zvýšením viskozity při ochlazení výrobku. Vlastní změna tvaru probíhá obvykle dostatečně rychle, výkon tvarovacího stroje je limitován rychlostí ochlazení dávky skloviny, tj. především rychlostí odvodu tepla ze skloviny.

Celý proces sdílení tepla při tvarování lze rozdělit do několika dílčích fází: sdílení tepla ve sklovině, přestup tepla z vnějšího povrchu formy do chladicího media, přestup tepla ze skloviny do formy a vedení tepla formou. Na sdílení tepla mají vliv tepelné vlastnosti skloviny - tepelná vodivost, měrné teplo, radiační vodivost, tepelné vlastnosti formového materiálu, geometrické uspořádání a především poměry na fázovém rozhraní mezi sklovinou a formou a též mezi formou a chladícím médiem.

2.2. SDÍLENÍ TEPLA ZE SKLOVINY DO FORMY

Při tvarování se stýká sklovina, která je tepelně homogenní a má teplotu t_s , s kovovou formou, jejíž povrch má teplotu t_f obr.1. Forma je ochlazována zevně. Po styku dojde k intenzivnímu přestupu tepla ze skloviny do formy. Teplota pracovního povrchu formy ihned po dopadu skloviny prudce vystoupí a téměř okamžitě se ustálí na konstantní hodnotě, která se nemění po celou dobu styku skla a kovu. Nejvyšší možná teplota povrchu formy odpovídá teplotě lepení. Nejnižší teplota je dána viskozitou skloviny, při níž vznikají trhlinky a nekvalitní povrch. Smrček uvádí [1] dobu experimentálně zjištěnou, která je potřeba k ustálení teploty - 0,01 až 0,3 s.



Obr. 1. Průběh teploty na rozhraní sklo - forma

t_s - teplota skloviny; t_f - teplota povrchu formy těsně před stykem se sklem; t_p - povrchová teplota skla i kovu po styku; t_e - teplota vnějšího povrchu formy; t_v - teplota chladícího vzduchu; křivky 1 až 3 znázorňují průběh teploty ve skle a formě ve třech po sobě následujících okamžicích po styku skloviny a formy.

Teplotu povrchu formy ve styku se sklovinou t_p určujeme ve vztahu pro dokonalý tepelný kontakt:

$$\frac{t_s - t_p}{t_p - t_f} = \frac{E_f}{E_s}, \quad (1)$$

kde E je tepelná akumulční schopnost, která zahrnuje materiálové vlastnosti skla a je dána rovnicí:

$$E = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho} \quad (2)$$

Množství tepla předané ze skloviny do formy za dobu je pro vedení tepla určeno vztahem:

$$Q = B \cdot S \cdot (t_s - t_f) \cdot \sqrt{\tau}, \quad (3)$$

kde

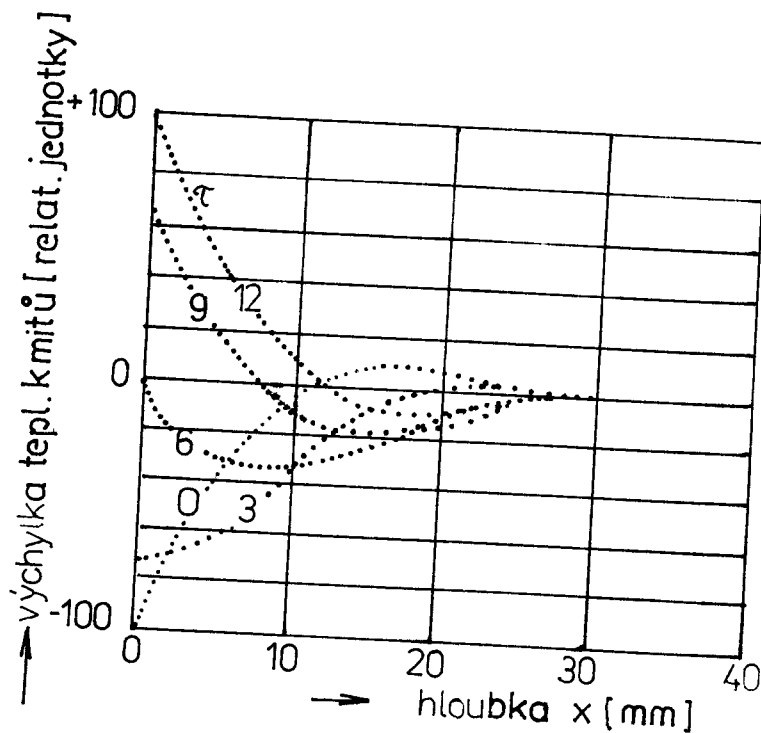
$$B = \frac{\frac{2}{\sqrt{\pi}}}{\frac{1}{E_s} + \frac{1}{E_f}} \quad (4)$$

Jde o složenou tepelnou akumulční schopnost skla a kovu. Velikost veličiny B je ovlivněna kvalitou styku mezi sklovinou a povrchem formy. Např. mezivrstva nespálených zbytků okují, mazadel nebo plynná mezivrstva o tloušťce $0,1 \mu\text{m}$ ovlivní teplotu t_p až o 5°C . Experimentálně byla stanovena velikost B pro přední formu $1884 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$ a pro konečnou formu $1967 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$ [1].

2.3. PROSTUP TEPLA FORMOU

Teplota formy na pracovním povrchu periodicky kolísá. Ve stěně formy vznikají teplotní vlny, které se šíří od pracovního povrchu k vnějšímu povrchu. Amplituda těchto vln poměrně rychle klesá s rostoucí vzdáleností od povrchu. Na pracovní ploše forma teplo nespojitě přijímá a na vnějším povrchu spojitě odevzdává. Kolísání teplotního pole je zcela pravidelné, opakuje se při každém dalším tvarovacím cyklu. Jde o kvazistacionární proces, který můžeme počítat podle vztahů pro ustálené vedení tepla, do nichž dosazujeme střední hodnoty pro celý tvarovací cyklus [1].

Okamžité rozdělení teploty ve formě je na obr. 2 podle [1].



Obr. 2

Pro výpočet obalové křivky vln užíváme vztahu [1]:

$$\Delta t_x = (t_p - t_f) \cdot e^{-x \sqrt{\frac{\pi}{a\tau}}} \quad (5)$$

Δt_x je kolísání teploty v hloubce x pod povrchem; a je teplotní vodivost formy. Platí:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (6)$$

Prostup tepla formou lze ovlivnit tloušťkou stěny, materiálem formy, konstrukcí formy, např. zvětšením povrchu formy, žebrováním apod. Prostup tepla je kombinací vedení tepla a akumulace tepla. Pro rozdíl průměrné teploty vnitřního povrchu formy $\bar{t}_j$ a průměrné teploty vnějšího povrchu formy t_e platí pro válcovou formu:

$$\bar{t}_j - t_e = \frac{k \cdot Q \cdot \ln \frac{r_e}{r_i}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda \cdot \tau} \quad (7)$$

Vedení tepla formou způsobuje, že její vnější povrch ohřívá na teplotu t_e . Je nutné formu intenzivně chladit. Dosud užívaný způsob zvyšování rychlosti a intenzity chlazení vzduchem není ekonomický a jeho možnosti jsou již v podstatě vyčerpány. Hledají se proto nové způsoby chlazení užívajících jiných medií, než je vzduch.

V dalších kapitolách se budeme zabývat novým, progresivním způsobem chlazení sklářských forem pomocí vodního spraye.

3. POUŽITÍ VODY KE CHLAZENÍ

3.1. CHLAZENÍ VODNÍ MLHOU

Voda jako chladicí medium se aplikuje ve formě postřiku jemných kapiček, které nese vzduch a dopadají na formu. Množství vody, velikost kapiček a tlaky musí být přesně regulovány, aby z formy bylo odváděno potřebné množství tepla.

Americká firma Owens patentovala zařízení pro regulaci množství vody v mlžném postřiku. Píst ve válci vytlačuje dávku vody a zpětným pohybem nasává novou dávku vody. Rychlost dávkování se řídí odvzdušňovacím ventilem. Množství dávkované vody se nastavuje seřízením délky zdvihu pístu. Mlžný postřik se vytváří vzduchem proudícím velkou rychlostí na vodu tekoucí z ústí válce do komory. Čas vstříknutí kapaliny do vzduchu je řízený rozdělovačem, který je ovládán vnějším signálem.

Kapky by se měly po dopadu na povrch formy okamžitě odpařit. Průměr kapiček se doporučuje 10 až 80 μm . Velikost kapek je funkcí několika činitelů: provedení trysky, poměru voda - vzduch a rychlosti proudění vzduchu.

Při pokusech v laboratoři KSK na VŠST v rámci diplomové práce Svobody [3], kdy se voda vstříkovala do proudu vzduchu, se ukázalo, že odvod tepla z formy se oproti chlazení vzduchem podstatně zvyšuje až při dávce vody asi $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Součinitel přestupu tepla se přitom zvýšil o 8,6 %, množství chladícího vzduchu se snížilo o 19,5 % a hlučnost o 3,4 %. Svoboda [3] užíval k rozptylování principu fixírky. Voda vytékala malou rychlostí do difuzoru a byla strhávána proudem vzduchu. Difuzor byl umístěn v komínu pro přívod vzduchu.

Tento způsob se ukázal nevýhodný. Jednak sám difuzor měl velmi malé rozměry, procházela jím tudíž malá část chladicího vzduchu a voda byla rozptylována nerovnoměrně. Voda i vzduch se pohybovaly stejným směrem, a to mělo za následek zmenšení účinnosti rozptylu vody.

3.2. UZAVŘENÝ OBĚH VODNÍHO CHLAZENÍ

V práci [5] publikuje Dahlmann zkušenosti s chlazením uzavřeným vodním oběhem.

VÝHODY A NEVÝHODY VODNÍHO CHLAZENÍ [5]

Voda jako chladicí prostředek pracuje účinně, čistě a lacině. Voda chladí nehlukně. Hluk, který vzniká při chlazení vzduchem, závisí na rychlosti vzduchu. V poslední době se zvyšují tlaky a hlučnost vzduchového chlazení dosáhla zdraví škodlivé hranice.

Systém chlazení v uzavřeném oběhu pracuje s nízkými teplotami a tlaky, při eventuelní poruše nehrozí nebezpečí. Jako chladicí medium je užita voda v oběhu. Nezatěžuje a neznečišťuje okolí. Tepelné zatížení na pracovním místě je poměrně malé. Teplo je transportováno k chladicí věži, kde může být užito suchého chlazení, aby se zamezilo zatížení okolí parou. Navíc je možné použít výměníku, který převede teplo do jiného vodního oběhu.

Voda jako chladicí prostředek je laciná, protože se spotřebuje poměrně v malém množství, ztráty únikem jsou také malé.

Vodní chlazení má však jednu podstatnou nevýhodu. Při tlaku $4 \cdot 10^5$ Pa má voda bod varu zhruba 423 K.

Teplota stěn formy dosahuje však asi 800 K. Intenzivní var vody při styku s formou způsobí rychlé zanešení plášťové formy a změnu přestupu tepla. Tyto potíže odstraňuje Owensův patent.

STAVBA FORMY PRO VODNÍ CHLAZENÍ

Voda protéká plášťovou formou. Dovnitř plášťové formy je vestavěna lahvová forma s pouzdem. Mezi plášťem a pouzdem je mezivrstva, která je nejdůležitější částí vodou chlazené formy. Tato mezivrstva reguluje průchod tepla tak, aby voda v plášti nevřela i při teplotě vnitřního povrchu formy 800 K. Mezivrstva se skládá z obalu z vrstev grafitové folie a azbestu. Tímto způsobem se dá tepelná vodivost izolační vrstvy poměrně značně měnit. Další snížení tepelné vodivosti dosáhneme tím, že izolační vrstvu opatříme otvory. Tím se sníží přestup tepla ještě o 40 %. Pro přestup tepla je nutný dobrý kontakt všech styčných ploch, jehož se dosáhne přesnou montáží. Montážní podmínky všech forem musí být naprosto stejné. Mimo jmenované izolační materiály přichází v úvahu také tvrdé porézní vrstvy z kovových a nekovových slitin.

Výzkum se nyní koncentruje hlavně na konstrukci mezivrstvy a řešení přívodu vody - užití většího počtu hadic, atd.

PROVOZNÍ CENY VODNÍHO CHLAZENÍ

Ohřátá voda je vedena k výměníku, tam odevzdá teplo a vrací se znovu k formě. Množství vody musí být seřizováno tak, aby se pod vlivem vysoké teploty neusazoval na formě vodní kámen. Pro IS stroj s 8 stanicemi se užívá 6 - 8 m³/hod. Provozní ceny vodního chlazení jsou oproti chlazení vzduchem přirozeně menší. Úspora energie závisí na výkonu.

Dahlmann [5] uvádí příklad:

Vzduchové chlazení:

Standartní kompresor	50 000 m ³ . hod. ⁻¹
Tlak	7 400 Pa
Výkon	135 kW
Účinnost	75 %
Cena elektrické energie	9,01 DPf.kWh ⁻¹
Celkem	44 000 DM
Celková cena odpovídajícího vodního chlazení	8 000 DM
Úspora	36 000 DM

Je výhodné, že universální pláště mohou být použity pro různé vnitřní formy stejné výšky. S jedinou formou se vyrobí 20 milionů pивních lahví, což je delší životnost než u vzduchem chlazených forem. Na základě stavu vývoje Owensova vodního chlazení je tento systém užitečný při dlouhodobém sortimentu výroby lahví. Další formy jsou v technickém výzkumu.

3.3. CHLAZENÍ PLUNŽRU VODNÍM SPRAYEM

V práci [4] uvádí Lindner zajímavé využití vodního spraye k chlazení plunžru při lisování skla. Teplota formy má velmi důležitý vliv na povrchovou kvalitu konečných výrobků ve sklářském lisování. Dodržování správné pracovní teploty je zvláště obtížné na plunžru. Vysoko výkonné lisy s 12 nebo více stanicemi užívají chlazení cirkulující vodou, které je vhodné z důvodu dosažení spolehlivého operačního cyklu. Nehodí se však pro lisy od jedné do šesti stanic, protože cykly jsou méně pravidelné a produkce menší.

Obvyklá metoda chlazení plunžru proudem vzduchu má některé nevýhody. Lindner uvádí např. vysokou energetickou náročnost, hlučnost chladících trysek, stálou instalaci trysek, nemožnost kontroly stroje. Zcela automatické kontroly a regulace přestupu tepla z plunžru byly vyvinuty v NSR.

POPIS REGULACE (obr. 3)

Termočlánek / 5 / vestavěný v plunžru / 4 / měří teplotu v blízkosti špičky plunžru v místě, kde plunžr přichází do styku se sklovinou. Hodnoty měřené termočlánekem jsou zpracovány počítačem. Při překročení nastavené teploty je do plunžru přivedeno chladící médium.

POŽADAVKY NA VZDUCH A VODU

Jako chladící prostředek slouží vzduch smíchaný s vodou ve formě spraye. Tlak vody musí být před rozprašovačem nejméně $0,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ vyšší než instalovaný tlak vzduchu. Minimální tlak vzduchu se doporučuje v tomto případě chlazení vodním sprayem větší než $2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, tlak vody tudíž $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Tvrdá voda obsahuje rozpuštěné soli. Tyto soli se časem usazují jako vodní kámen na potrubích a v rozvodném systému. Rychlost usazování závisí na teplotě. Při nízkých teplotách se soli vylučují pomaleji, v horké vodě je výluh mnohem rychlejší. Usazování na formě způsobuje snižování chladícího účinku vody. Proto se doporučuje vodu změkčovat.

PROVEDENÍ PLUNŽRU

Na obr. 3 vidíme stavbu plunžru s vodním chlazením. V zásadě je plunžr dvojdílný. Části jsou navzájem sešrou-

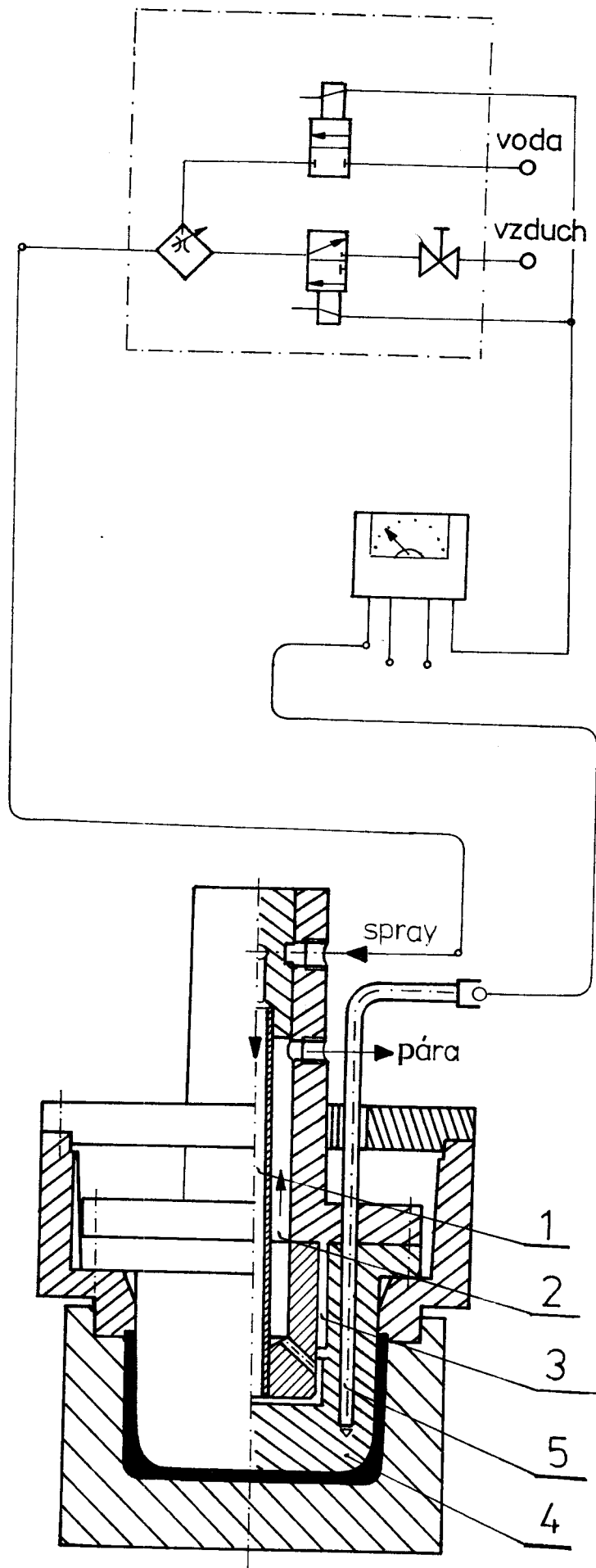
bovány. Samotný plunžr je vyvrtán a opatřen nástavcem. Tento nástavec slouží k přivádění rozprášené vody přímo na vnitřní povrch plunžru. Tím je zajištěno, že je plunžr chlazen po celém vnitřním povrchu, nikoli jen na místě, kde je přiváděn spray. Konstrukce umožňuje vyjmout jednotlivé části plunžru z chlazení. Vyvrtáním mezery / 3 / zabráníme chlazení vrchní části plunžru. V oblasti této vzduchové mezery přestupuje z plunžru do vložky málo tepla, vzduchová mezera izoluje. Tvarem mezery a tvarem vložky se dá regulovat rozdělení teploty v plunžru. Tam, kde se vložka a plunžr přímo dotýkají, přestupuje teplo intenzivně. V místě vzduchové mezery je chladicí účinek setrvačnější než v místech přímého styku s chladicím médiem. Pára je odváděna vrtáním a hadicí. Přímé vyfukování páry je nebezpečné. Z hlediska ochrany formy a stroje před vodou je nepřípustné.

STĚNY PLUNŽRU

Tloušťka stěn plunžru silně závisí na provozních podmínkách. Určuje se ze zkušenosti. Osvědčilo se volit ji zhruba 25 - 27 mm ve všech směrech. Mezeru, kterou proudí chladicí voda mezi plunžrem a vložkou volíme asi 4 mm a mezeru / 3 / větší než 5 mm. U výrobků s velkou plochou povrchu a zúženým průřezem se doporučuje volit stěny plunžru silnější, až padesát mm. Tato doporučení platí pro plunžr z šedé litiny. U plunžru z Cr-Ni oceli jsou stěny tenší, protože přestup tepla je v 60 % menší.

MATERIÁL PLUNŽRU

Nejvhodnější materiál pro chlazení sprayem je Cr-Ni ocel. Litina zpravidla praská v místě, kde je přiváděn spray.



Obr. 3 Chlazení sprayem
- 21 -

MEZE POUŽITÍ, MOŽNOSTI SEŘIZOVÁNÍ

Navrhované chlazení nelze použít na extrémně tenkých plunžrech a v případě, že plunžr přebírá příliš velké množství tepla, které se dá odvést jen spojitým proudem chladicí látky. Nejvýhodnější teplota plunžru musí být nastavena pro každý druh výrobku zvlášť. Termočlánek / 5 / měří teplotu pod povrchem plunžru, nikoliv rozhodující teplotu na jeho povrchu. Z tohoto důvodu musí být na termočlánek nastavena poněkud jiná teplota, nežli je optimální teplota povrchu plunžru pro daný výrobek. Výhodou této konstrukce je možnost stálého nastavení teploty pro daný druh produktu. Je-li třeba odvádět málo tepla, je možno uzavřít vodní ventil a chladit pouze vzduchem. Při intenzivnějším chlazení můžeme naopak ventilem pouštět více vody. Množství vody, kterou spray obsahuje se kontroluje průtokoměrem.

3.4. CHLAZENÍ VODOU - ZKUŠENOSTI FIRMY HEYE

V posledních 10 letech se firma HEYE zabývá intenzivním výzkumem možností účinného chlazení vodou a vzduchem. [6]

Při hledání alternativních řešení bylo zváženo užití

- a) kapalně látky v uzavřeném okruhu bez fázového přechodu
- b) kapalně látky s fázovým přechodem
- c) plynné látky
- d) bezkontaktní metody.

Způsob

- a) má výhodu zpětného získání energie a malé koroze
- b) dosahuje vysoké účinnosti chlazení a odvod tepla v latentní formě
- c) má výhodu známé technologie.

Byly vypracovány a vyzkoušeny 4 systémy:

- a) chlazení protékající vodou bez fázového přechodu
- b) chlazení vodním sprayem postřikujícím povrch
- c) chlazení obtékáním povrchu formy vzduchem rovnoběžně s osou formy
- d) protékání stěny formy vzduchem v axiálním směru, resp. radiálním.

U většiny firem trvá formování od 2 - 4 s. Proudící a vypařující voda může odvést zhruba $200 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ při $t = 300\text{K}$. Proudící vzduch může odvést $20 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Budeme se zabývat blíže systémem chlazení postřikem vnějších ploch vodou, prováděném na dvoustanicovém IS stroji podle práce [6].

Chladicí voda je rozprašována třemi pevnými tryskami na válcový obvod a jednou tryskou na dno přední formy. Trysky mají kuželovitý tvar a otvor o průměru 0,2 až 0,3 mm. Jsou umístěny ve vzdálenosti 10 až 22 mm od vnějšího povrchu formy. Jsou vestavěny do držáku formy. Střední průměr kapky je $300 \mu\text{m}$. Chladicí prostředek je odmineralizovaná voda. Trysky optimálně pracovaly při tlaku asi $4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ až $8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Voda je přiváděna do trysek měděnými trubkami, její spotřeba je od 7,8 až do $13,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Množství odváděného tepla je regulováno dobou postřiku.

Po měsíčních zkouškách se vyskytly trhliny na vnitřních plochách některých forem. Odvod tepla byl dostatečný. Rozložení teplot bylo lépe regulovatelné než při chlazení vzduchem. Stroj zůstal relativně suchý. Těžkosti se objevily při stanovení vhodného dávkování chladicího media a regulaci dávkování během produkce.

4. CHLAZENÍ VODNÍM SPRAYEM

4.1. TEORIE CHLAZENÍ VODNÍM SPRAYEM

Aerodisperzní systémy jsou tvořeny mikroskopickými a i submikroskopickými částicemi hmoty dispergovanými v plynném prostředí.

K získání vodního spraye jsme užili metody, kdy je poháněna kapalina pod tlakem tryskou. Disperze kapaliny je závislá na jejích fyzikálních vlastnostech a podmínkách proudění.

MECHANISMUS DISPERZE

Při výkladu mechanismu disperze tryskou vychází Spurný [2] z analogie mezi vstřikováním paliva a disperzí vody. Vlivem tření rychle se pohybujícího proudu kapaliny v ovzduší se oddělují z povrchu vlákna, trhají se a částičky získávají kulovitý tvar vlivem povrchového napětí. Velikost a tvar kapiček jsou různé, říkáme, že látka je polydisperzní. Proces je ovlivněn řadou činitelů. Výsledný tvar a velikost kapiček závisí:

- na tvaru výstupní trubice či trysky
- na tlaku kapaliny
- na výtokové rychlosti kapaliny
- na prostředí, do kterého spray přichází
- vlastnostech vlastní kapaliny.

Rozpad kapek v proudu popsal Krsek ve své diplomové práci [7].

Kapka se nejprve vlivem aerodynamických tlaků zploštuje až do formy váčku. Jestliže povrchové napětí neudrží váček v celku, váček se zbortí a rozpadá se na malé kapičky.

S rostoucí vzdáleností od výstupního otvoru se stupeň rozpadu zvětšuje až do vzdálenosti, kdy odpor vzduchu sníží relativní rychlost kapaliny natolik, že další rozpad není možný.

Na velikost výtokové rychlosti má vliv provedení vtržkového otvoru. Z fyzikálních vlastností kapaliny působí na atomizaci především povrchové napětí a viskozita. Jde v podstatě o překonání sil povrchového napětí a viskozity buď třením o vzduch nebo odstředivými silami. Čím jsou kapičky menší, tím rychleji se vypaří a pokryjí větší plochu. Tím větší bude i množství odvedeného tepla při chlazení povrchu sprayem.

4.2. KVANTITATIVNÍ VYJÁDŘENÍ ODVEDENÉHO TEPLA

Kapky dopadají na chlazený povrch formy a odvádějí z něho celkové množství tepla Q_c :

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (8)$$

kde Q_1 je teplo odvedené při ohřátí chladicího media na teplotu varu

Q_2 je skupenské teplo odvedené při vypařování chladicího media

Q_3 je teplo odvedené konvekcí vzduchu a vytvořené páry.

4.2.1. TEPLA ODVEDENÉ OHŘÁTÍM VODY NA TEPLITU VARU

Kapky hmotnosti m a teploty t_0 dopadají na chlazený povrch. Při ohřátí na bod varu odebírají z chlazeného povrchu množství tepla, které je dáno rovnicí:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{100} - t_0), \quad (9)$$

c je měrné teplo vody. Kapka kulovitého tvaru má hmotnost

$$m = \rho \cdot V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \quad (10)$$

Počet kapek dopadajících za 1 s na 1 m² povrchu označíme n , celkovou hmotnost vody dopadající na 1 m² za 1 s M_0 . Jestliže uvažujeme 10 % ztráty [7], způsobené vypařováním mikronových kapiček v proudu vzduchu a kondenzací kapiček na chladných dílech zařízení, je skutečné množství kapek, které dopadnou na povrch formy:

$$n = \frac{M_0}{m} \cdot 0,9 \quad (11)$$

Celkové množství odvedeného tepla za dobu τ z povrchu S je

$$Q_1 = c \cdot M_0 \cdot S \cdot \tau \cdot 0,9 \cdot (t_{100} - t_0) \quad (12)$$

4.2.2. SKUPENSKÉ TEPLA ODVEDENÉ PŘI VYPAŘOVÁNÍ VODY

Jestliže dosáhne kapička vody teploty varu, začne se vypařovat. Aby chlazení bylo co nejúčinnější, je třeba, aby se kapka okamžitě odpařila a nestékala po chlazené ploše.

Vypařování se děje izotermicky při teplotě varu. Jsou zde v rovnováze dvě fáze voda - vodní pára. Kapalina se mění na páru, pokud je přiváděno teplo. Měrné skupenské teplo výparné určíme z Clausius - Clapeyronovy rovnice, která udává směrnici tečny ke křivce, zobrazující uvažovaný proces ve fázovém diagramu $s - v$.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s'' - s'}{v'' - v'} = \frac{l_v}{T (v'' - v')} . \quad (13)$$

Rovnice (13) platí pro kteroukoli změnu skupenství; l_v značí příslušné skupenské teplo výparné. Ve jmenovateli je měrný objem fáze, která vznikla přívodem tepla zmenšeným o měrný objem fáze původní.

Celkové množství tepla odvedeného vypařováním za dobu τ z plochy S je

$$Q_2 = l_v \cdot M_0 \cdot S \cdot \tau \cdot 0,9 = l_v \cdot n \cdot m \cdot S \cdot \tau \cdot 0,9 \quad (14)$$

4.2.3. TEPLA ODVEDENÉ NUCENOU KONVEKČÍ

Pára vzniklá odpařením kapiček je strhávána vzduchem a odváděna od chladicího povrchu. Dochází k odvádění tepla Q_3 nucenou konvekčí.

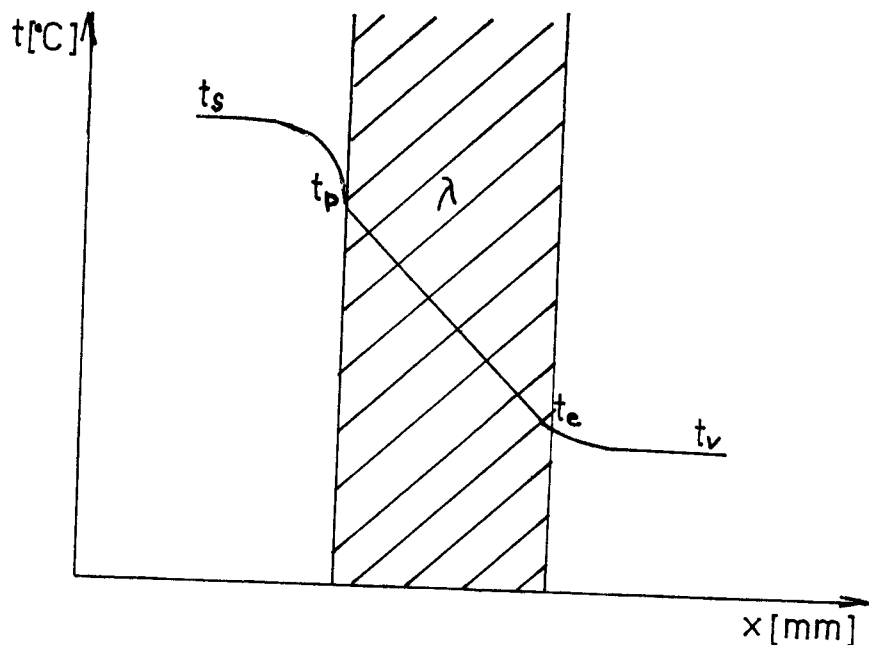
4.2.4. PROSTUP TEPLA STĚNOU FORMY

V blízkosti vnitřní stěny formy dojde k rychlé změně teploty skloviny až na teplotu povrchu vnitřní stěny formy. V tomto pásmu bude značně proměnná celá řada veličin určujících stav skloviny. Rychlost proudění klesne u stěny na 0.

V podmínkách našich experimentů pokládáme prostup tepla stěnou formy za stacionární děj. Předpokládáme lineární průběh teploty v závislosti na hloubce stěny, homogenní materiál formy. Za těchto předpokladů lze užít pro výpočet tepelného chladicího výkonu vztah:

$$Q = \frac{\lambda}{s} \cdot S \cdot \Delta t \quad , \quad (15)$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti formy, s je tloušťka stěny, S povrch formy a Δt je rozdíl teplot na povrchu vnější a vnitřní strany formy ($t_p - t_e$).
Obr. 4. ukazuje průběh teploty v závislosti na souřadnici x .



Obr. 4

4.3. METODY MĚŘENÍ VELIKOSTI KAPEK

Aby se maximálně využilo výparné teplo vody, je třeba volit optimálně velikost vodních kapiček.

Výpočet průměru kapiček je důležitý i pro výpočet a měření tepla odvedeného z povrchu formy chlazené vodním sprayem. Na základě znalosti průměrné velikosti kapek je možno stanovit počet kapek dopadajících za jednotku času na chlazenou plochu. Z výparného tepla lze vypočítat odvedené teplo (14).

Podle velikosti kapek určíme i dobu vypařování a tím optimální množství chladicí vody přiváděné na chlazený povrch. K určování velikosti kapek se užívá disperzoidní analýza.

Při dopadu kapiček o průměru asi $80 \mu\text{m}$ na povrch formy se kapičky vypařují okamžitě. Z toho vyplývá, že je nutné tyto kapičky nějakým způsobem předem zachytit, abychom mohli s určitou přesností změřit jejich velikost. Existuje několik způsobů, jak kapičky zachytit. [8].

Lze např. použít zředěnou vývojku, ze které vytvoříme spray a necháme jej dopadnout na fotografický papír, který je uložen na dně polystyrénové krabičky. Tímto způsobem získáme průměty kapiček, které proměříme, rozdělíme do velikostních tříd a sestojíme diagram četností. Z něho můžeme zjistit nejhojnější velikostní zastoupení.

Střední poloměr lze měřit i nepřímým způsobem. Kapičky v krabičce zvážíme a získáme tak jejich celkovou hmotnost m . Označíme-li počet kapiček N a střední hmotnost jedné kapky m , platí zřejmě

$$\frac{M}{m} = N \quad . \quad (16)$$

Pro kulovou kapku je

$$m = \frac{4}{3} \pi \cdot \bar{r}^3 \cdot \rho \quad . \quad (17)$$

Odtud získáme

$$\bar{r} = \sqrt[3]{\frac{3 M}{4 \pi N}} \quad . \quad (18)$$

Dalším způsobem zachycení kapiček je probublávání olejem. Zde však tlak oleje způsobuje změnu velikosti vodních kapek.

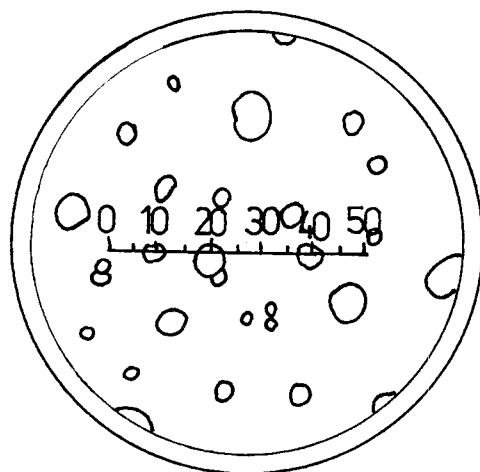
Při měření prováděných v laboratořích KSK se ukázalo jako nejjednodušší a poměrně přesná metoda zachycování kapiček na vzorkovací sklo. Povrch sklíčka je třeba před měřením pokrýt vrstvičkou sazí z plamene svíčky. Při dopadu zůstávají na sklíčku stopy po kapičkách ve tvaru čočky. Mikroskopem měříme průměr těchto čoček. Předpokládáme, že průměr čočky je roven skutečnému průměru kapičky.

Velikosti kapek se vyhodnocují statistickými metodami. Nejprve kapičky rozdělíme do velikostních tříd. Určíme četnosti kapičky v každé třídě. Základním vybavením mikroskopické analýzy je mikroskop. Číselná hodnota zvětšení je uvedena na okuláru a objektivu. Na objektivu je též uvedena číselná apertura a síla krycího sklíčka v mm. Držíme se některých zásad: proměřovaná vrstva preparátu nemá být příliš silná, tlak po celé ploše na krycí sklíčko má být stejnoměrný, hustotu kapek volíme takovou, aby těch kapiček, co se překrývají, bylo co nejméně.

Provedli jsme nejprve několik zkoušek, ve kterých jsme zjišťovali optimální tloušťku vrstvy sazí. Ukázalo se, že výhodná je slabá vrstva, kterou kapičky snadno prorazí a zanechají zřetelné stopy. Při silnější vrstvě sazí kapičky tvořily pouze krátery, které byly z mikroskopu těžko viditelné a měřitelné.

Při určování velikosti kapek jsme užívali přímo měřítko umístěného v ohniskové rovině okuláru. Toto měřítko jsem si okalibrovala. Zjistila jsem, že 1 dílek na měřítku odpovídá $15\mu\text{m}$ ve skutečnosti. Proměřili jsme velikost kapek ve 3 - 4 vhodně volených zorných polích mikroskopu. V daném zorném poli je pak nejvýhodnější metoda stálého směru, tj. měření průměru všech kapiček v jedné, vždy stejné ose obr. 5.

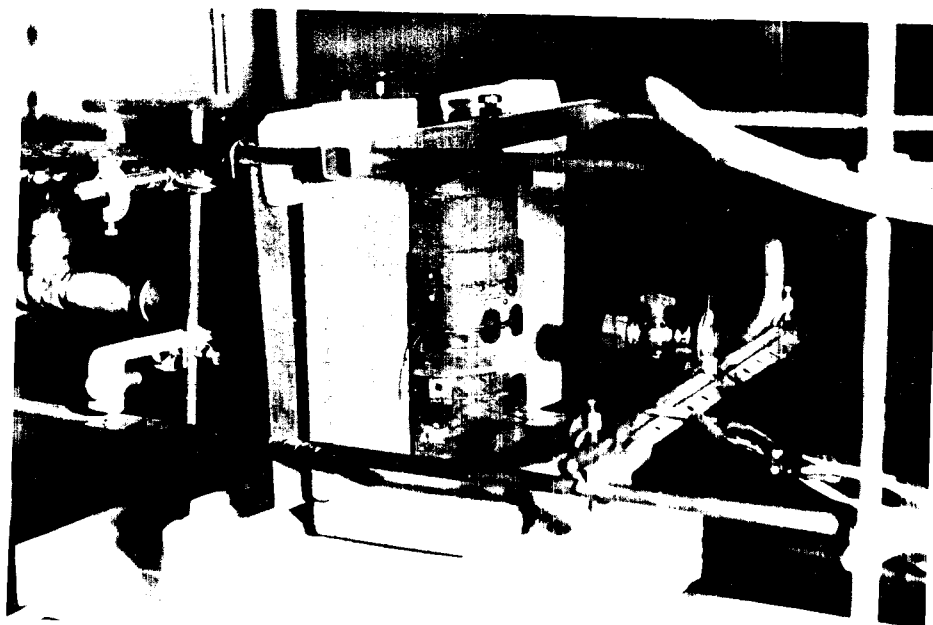
Tak se proměří celkem alespoň 100 kapek a rozdělí do velikostních tříd, v našem případě po 15 μ m. Podle četnosti výskytu usuzujeme na nejhojnější velikost kapek.



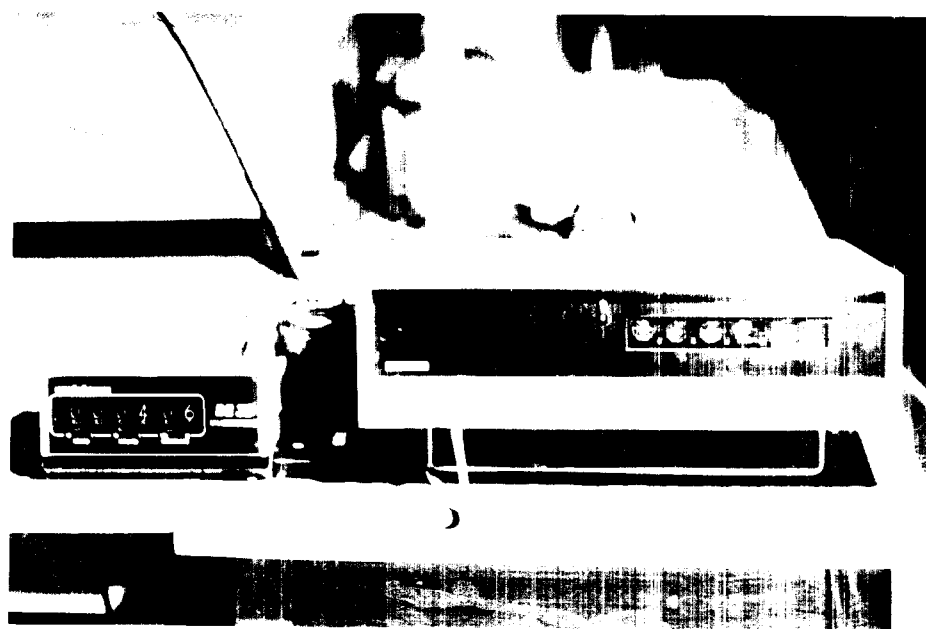
Obr. 5 Měření velikosti kapek metodou stejného směru

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Měření úzce navazovalo na měření Krska [7] avšak bylo prováděno na nově upraveném laboratorním zařízení v dílnách KSK viz obr. 6, 7.



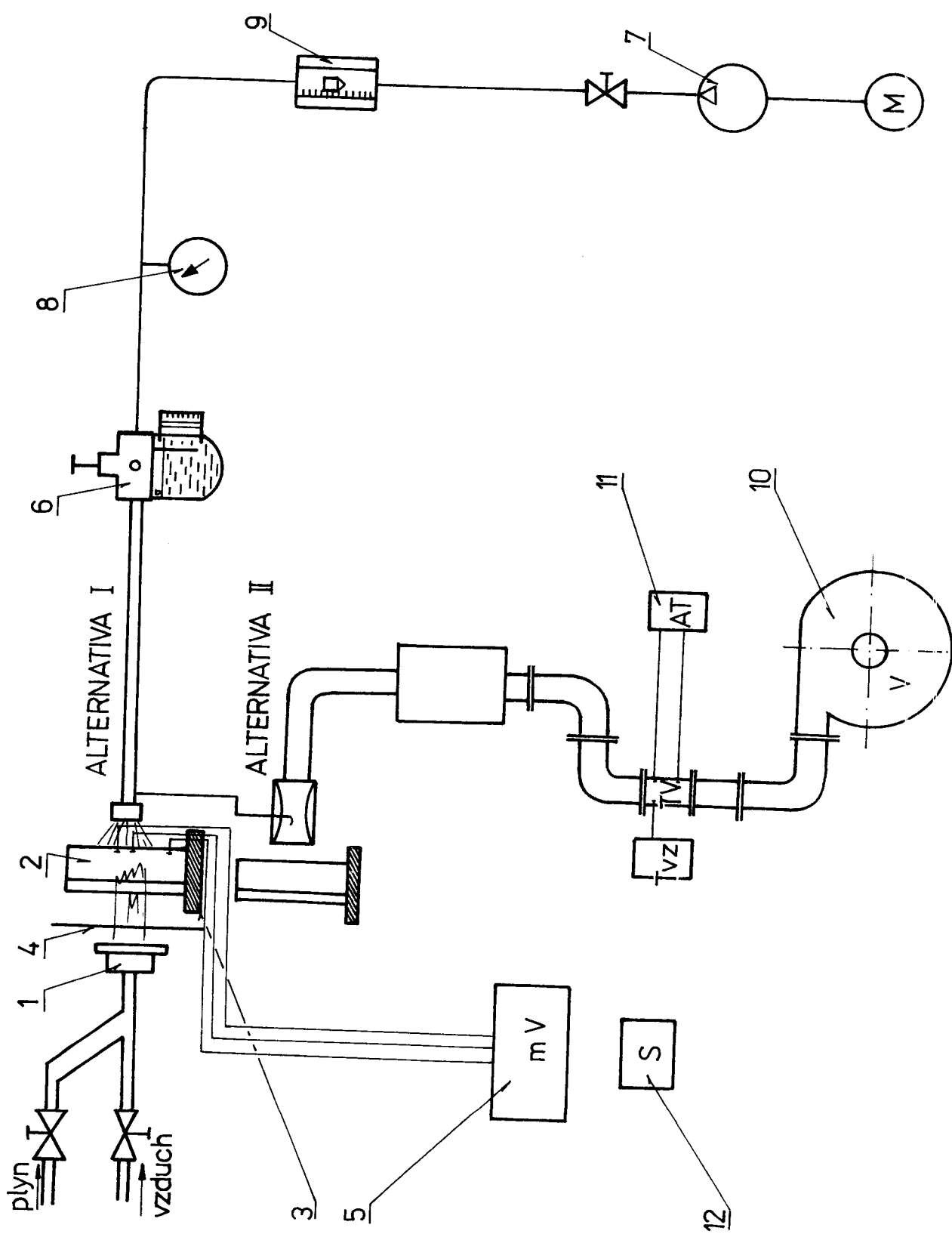
Obr. 6 Měřicí zařízení



Obr. 7

5.1. MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Laboratorní zařízení je schematicky znázorněno na obr. 8. Je upevněno na konstrukci z ocelových tyčí, které umožňují snadnou přestavitelnost jednotlivých agregátů. Plynový hořák / 1 / ohřívá vnitřní stranu poloviny litinové sklářské formy / 2 /, která je shora uchycena na ocelové konstrukci. Jako izolace mezi plamenem a konstrukcí slouží šamotové desky / 3 /. Kohouty plynu a vzduchu jsou chráněny před plamenem plechovou deskou /4/.



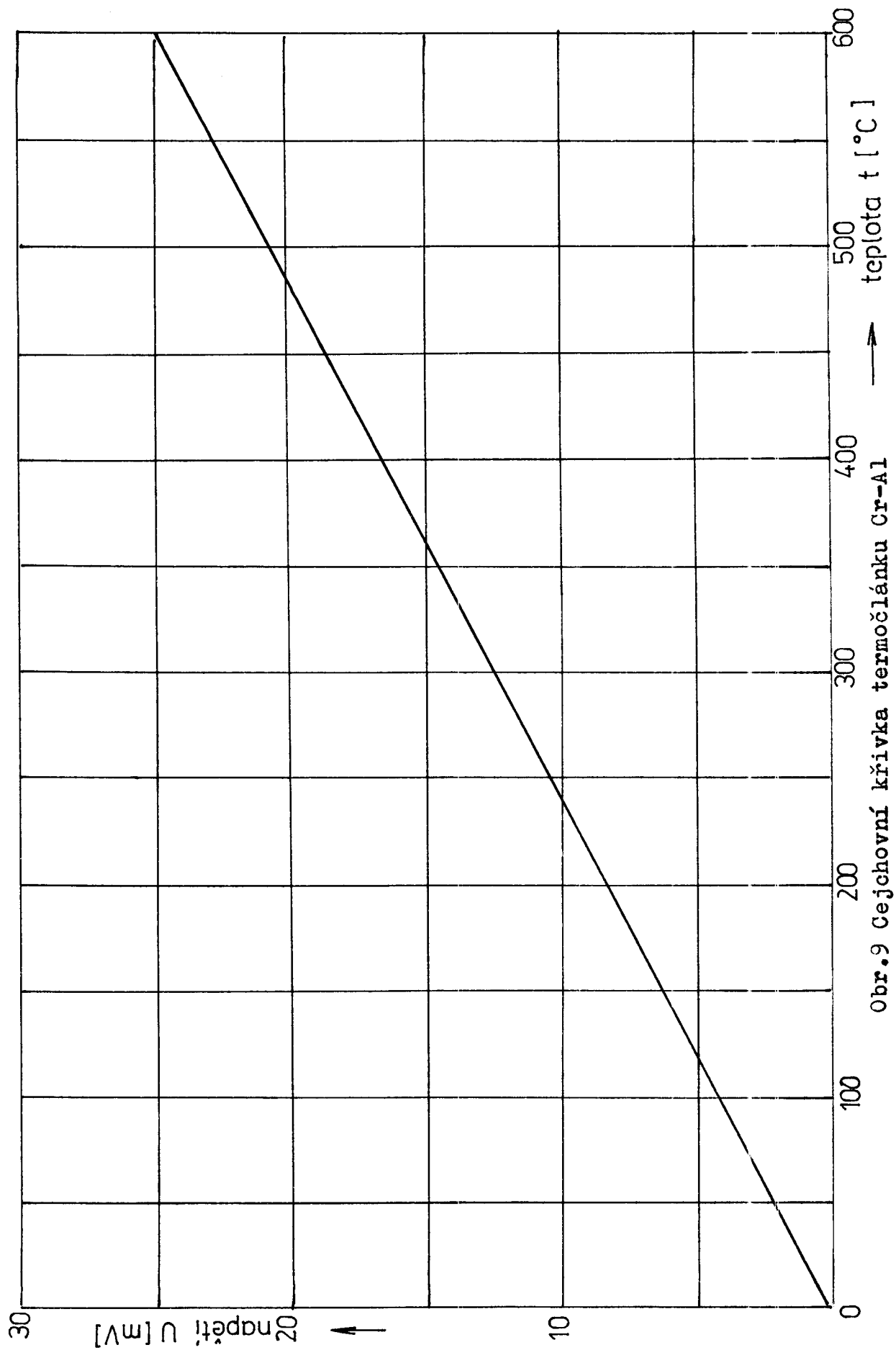
Obr. 8 Schema měřicího zařízení

Teploty formy na vnitřním povrchu, pod povrchem a na vnějším povrchu jsou měřeny termočlánky - typ CHromel - Alumel. Napětí na termočláncích je snímáno na číslicovém milivoltmetru / 5 / s přesností na tisícinu mV. Napětí převádíme na teplotu ve °C cejchovní křivkou, obr. 9.

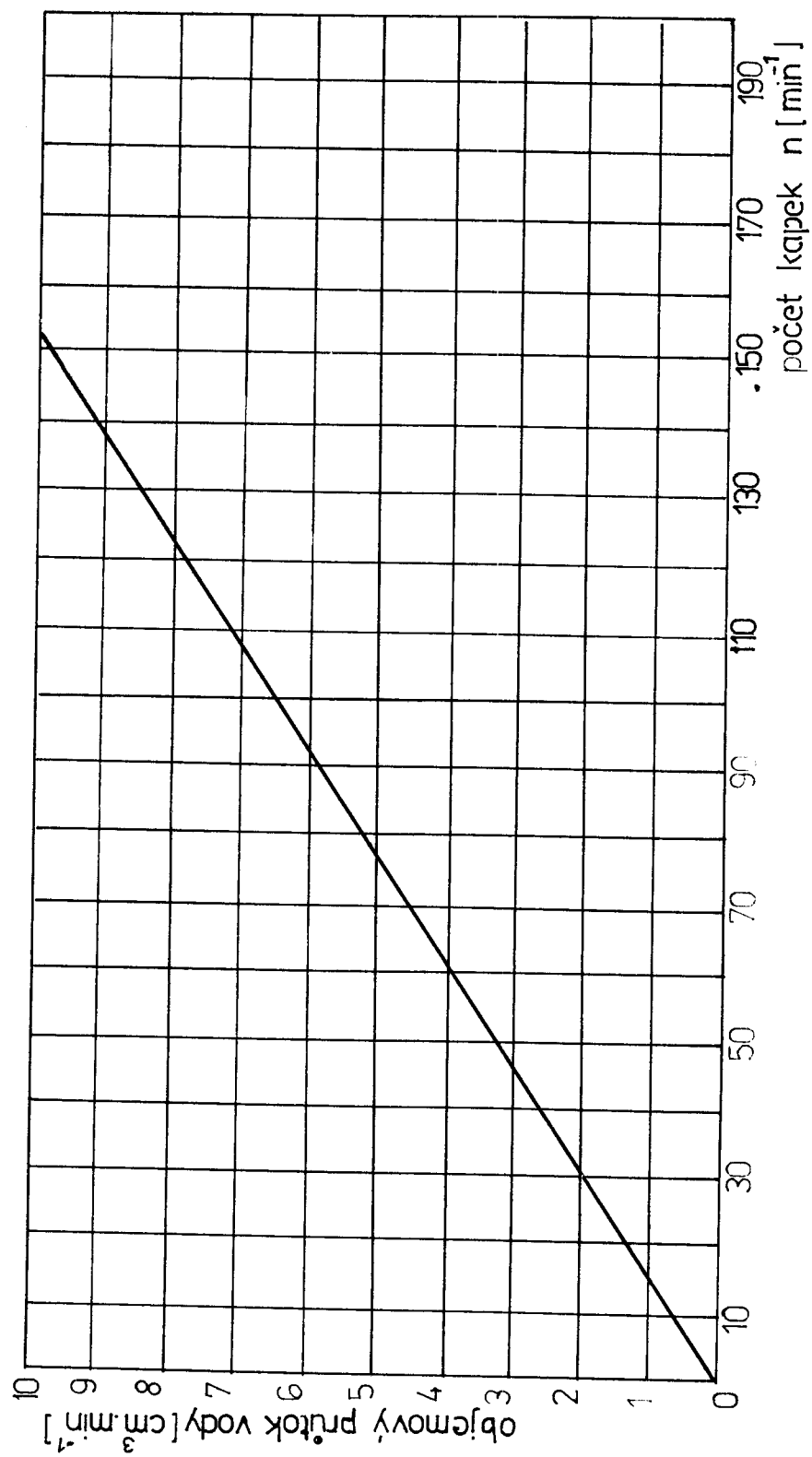
Vnější strana litinové sklářské formy je chlazená vodním sprayem, který se přivádí - vytváří ze směšovače / 6 /. Do směšovače proudí tlakový vzduch z kompresoru / 7 / přes pojistný ventil a tlakoměr / 8 /. Množství tlakového vzduchu je měřeno průtokoměrem - typ Labora / 9 /. Pomocí tlakového vzduchu je natlačována voda ve směšovači. Vodní spray je vystřikován ze směšovače hadicí na formu. Regulace tlaku vody se provádí pojistným ventilem. Objemový průtok rozprášené vody se určuje z cejchovní křivky směšovače obr. 10 a úbytku vody. Jeden dílek na stupnici vodoměru odpovídá úbytku vody $2,86 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ vody.

Při prvním měření se užívalo mimo spraye ke chlazení také vzduchu, který se přiváděl z ventilátoru / 10 /. Objemový průtok chladicího vzduchu z ventilátoru byl měřen Thomasovým válcem TV, typ MO 591, jehož topná mřížka byla napájena z regulačního autotransformátoru RA-10 / 11 /. Z Thomasova válce byl objemový průtok vzduchu nepřímo měřen odporovým můstkem M 027.

Doba byla měřena na digitálních stopkách / 12 /.



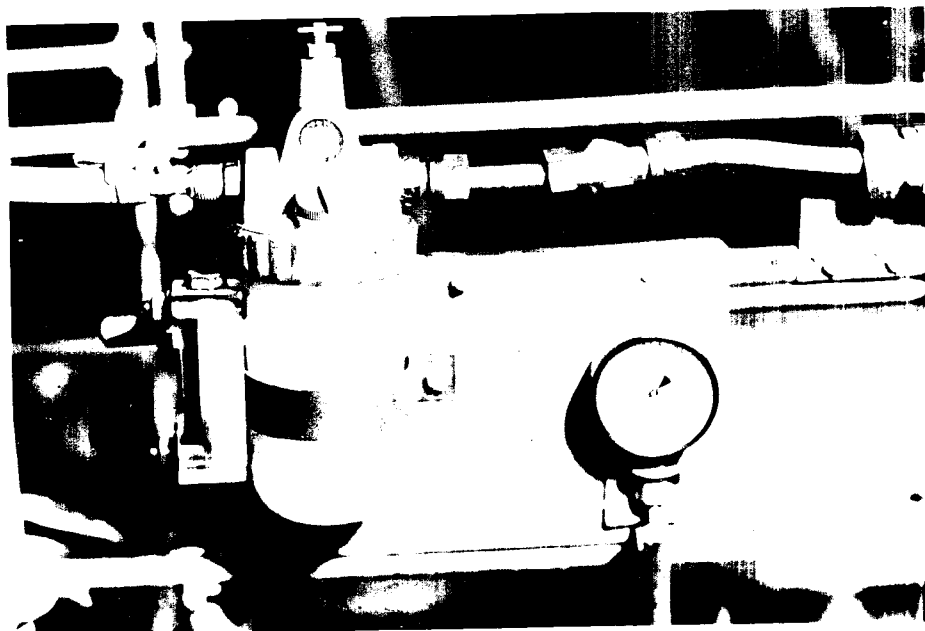
Obr. 9 Cejchovní křivka termočlánku Cr-Al



Obr.10 Cejchovní křivka vodoměru

5.1.1. ZAŘÍZENÍ NA VYTVÁŘENÍ MLŽNÉHO POSTŘIKU

Mlžný postřik se vytváří ve směšovači obr. 11. Směšovač tvoří nádržka s vodou, která je připojena k upravené Venturiho trubici. Pomocí tlakového vzduchu se ve směšovači natlakuje voda a je ve formě vodního spraye vystřikována na formu. Aby bylo rozprášení spraye kvalitní, tj. aby spray pokryl co největší plochu, a aby kapičky měly optimální průměr, je třeba zakočit hadici konstrukčně vhodně upraveným vývodem. Vyzkoušení různých variant řešení bylo předmětem této diplomové práce.



Obr. 11 Zařízení na vytváření mlžného postřiku

5.2. PODKLADY PRO MĚŘENÍ

TEPELNÝ TOK STĚNOU FORMY ZA PROVOZNÍCH PODMÍNEK

Smrček v [1] uvádí experimentální výsledky stanovení tepelného toku formy při výrobě lahví o obsahu 0,5 l a hmotnosti 420 g z běžné sodnovápenaté skloviny na dvousekčním stroji AL 102. Formy byly litinové, chlazené vzduchem.

Konečná forma

<u>teplota skloviny</u>	<u>teplota formy</u>	<u>doba styku</u>	<u>tepelný tok</u>
°C	°C	s	k J.m ⁻²
947	459	4,03	1780
970	488	4,03	1620
997	515	4,03	1760
987	500	4,05	1920
979	436	4,03	1650
968	447	4,50	1730
987	455	4,59	2090

Uváděný střední teplotní gradient je u válcových lahvářských forem 4,5 až 5,5 °C mm⁻¹.

V našich pokusech jsme užili polovinu konečné formy s těmito parametry:

tepelná vodivost	= 46 Wm ⁻¹ K ⁻¹
tloušťka s	= 0,024 m
střední poloměr r _s	= 0,045 m
výška formy l	= 0,220 m

Pro střední plochu povrchu poloviny formy platí:

$$S = \pi \cdot r_s \cdot l = 0,031 \text{ m}^2 \quad 19$$

Uvažujeme střední gradient $\frac{\Delta t}{s} = 5 \text{ °C mm}^{-1}$.

Pro tloušťku stěny 0,024 m činí rozdíl teploty na vnitřním a vnějším povrchu $\Delta t = 120^\circ\text{C}$. Pak pro tepelný výkon procházející polovinou formy platí vztah (15)

$$Q = \frac{\lambda}{s} \cdot S \cdot \Delta t$$

$$Q \approx 7 \text{ kW}$$

Při našich měřeních jsme udržovali konstantní tepelný tok 5 kW.

5.3. MĚŘENÍ

5.3.1. PRVNÍ SERIE MĚŘENÍ

SNIŽOVÁNÍ OBJEMOVÉHO PRŮTOKU VZDUCHU UŽITÍM VODNÍHO SPRAYE

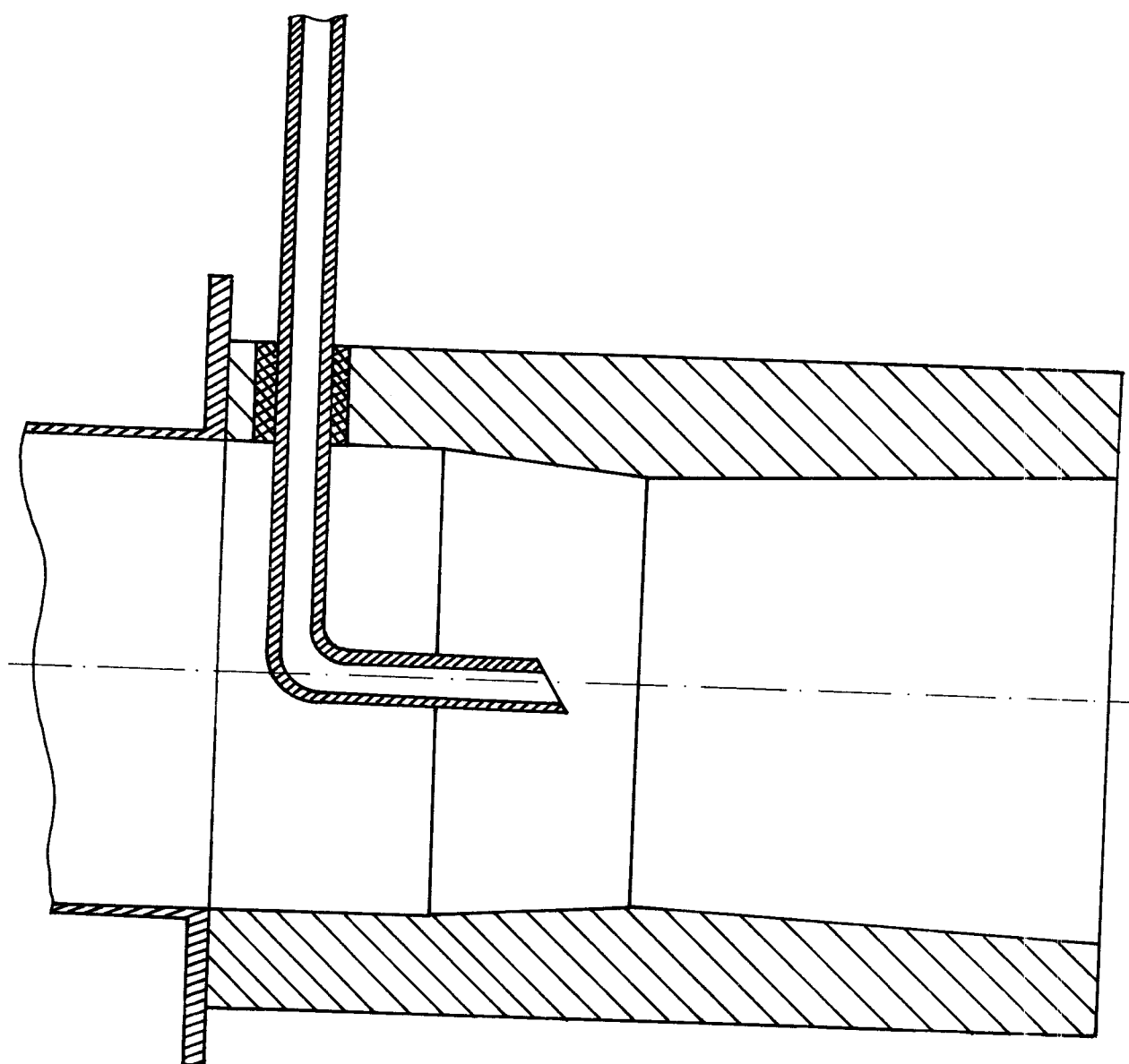
V první serii měření byla vstřikována na formu tlaková voda ve formě spraye, která se míchala s ventilátorovým vzduchem v dýze obr.12.

Předpokládala jsem, že při použití vodního spraye ke chlazení dojde při stejném odvedeném tepelném výkonu k podstatnému snížení potřebného množství chladícího vzduchu. Jako základ pro srovnání jsem při prvním měření použila k chlazení pouze vzduchu.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Základní měření - chlazeno pouze vzduchem

Teploty na formě - vnitřní povrch $t_1 = 482^\circ\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 397^\circ\text{C}$



Obr.12 Dýza se vstříkovací trubkou

Teplovní rozdíl: $\Delta t = 85^{\circ}\text{C}$
Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,0 \text{ kW}$
Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 0,149 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Pozn.: obě dmyhadla puštěna, TV - příkon 500 W.

MĚŘENÍ 1 - chlazeno směsí vzduchu a vodního spraye

Tlak: $p = 0,4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
Teploty na formě: vnitřní povrch $t_1 = 484^{\circ}\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 395^{\circ}\text{C}$
Teplovní rozdíl: $\Delta t = 89^{\circ}\text{C}$
Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,3 \text{ kW}$
Objemový průtok vody: $Q_w = 0,0217 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 0,125 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Pozn.: obě dmyhadla puštěna, vzduch přiškrcen pomocí
táhla, TV - příkon 500 W.

MĚŘENÍ 2

Tlak: $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
Teploty na formě: vnitřní povrch $t_1 = 480^{\circ}\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 394^{\circ}\text{C}$
Teplovní rozdíl: $\Delta t = 86^{\circ}\text{C}$
Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,3 \text{ kW}$
Objemový průtok vody: $Q_w = 0,0633 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 0,113 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Poznámka: obě dmyhadla puštěna, TV - příkon 500 W.

MĚŘENÍ 3

Tlak: $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
Teploty na formě: vnitřní povrch $t_1 = 482^{\circ}\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 389^{\circ}\text{C}$

Teplotní rozdíl: $\Delta t = 92,5^\circ\text{C}$

Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,5 \text{ kW}$

Objemový průtok vody: $Q_w = 0,0833 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 0,107 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Pozn.: obě dmychadla puštěna, TV - příkon 500 W, vzduch přiškrcen.

MĚŘENÍ 4

Tlak: $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Teploty na formě: vnitřní povrch $t_1 = 480^\circ\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 375^\circ\text{C}$

Teplotní rozdíl: $\Delta t = 105^\circ\text{C}$

Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,8 \text{ kW}$

Objemový průtok vody: $Q_w = 0,1735 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 0,0829 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Pozn.: obě dmychadla puštěna, TV - příkon 500 W, vzduch přiškrcen.

MĚŘENÍ 5

Tlak: $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Teploty na formě: vnitřní povrch $t_1 = 487^\circ\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 398^\circ\text{C}$

Teplotní rozdíl: $\Delta t = 89^\circ\text{C}$

Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,4 \text{ kW}$

Objemový průtok vody: $Q_w = 0,5700 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 0,519 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Pozn.: puštěno pouze malé dmychadlo, TV - příkon 200 W.

MĚŘENÍ 6

Tlak: $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Teploty na formě: vnitřní povrch $t_1 = 482^\circ\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 389^\circ\text{C}$

Teplotní rozdíl: $\Delta t = 93^\circ\text{C}$

Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,5 \text{ kW}$

Objemový průtok vody: $Q_w = 1,7100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Pozn.: puštěno pouze malé dmýchadlo, TV - příkon 100 W.

Přehledně jsou uvedeny výsledky měření 1 až 6 v grafu na obr. 13.

5.3.2. DRUHÁ SERIE MĚŘENÍ

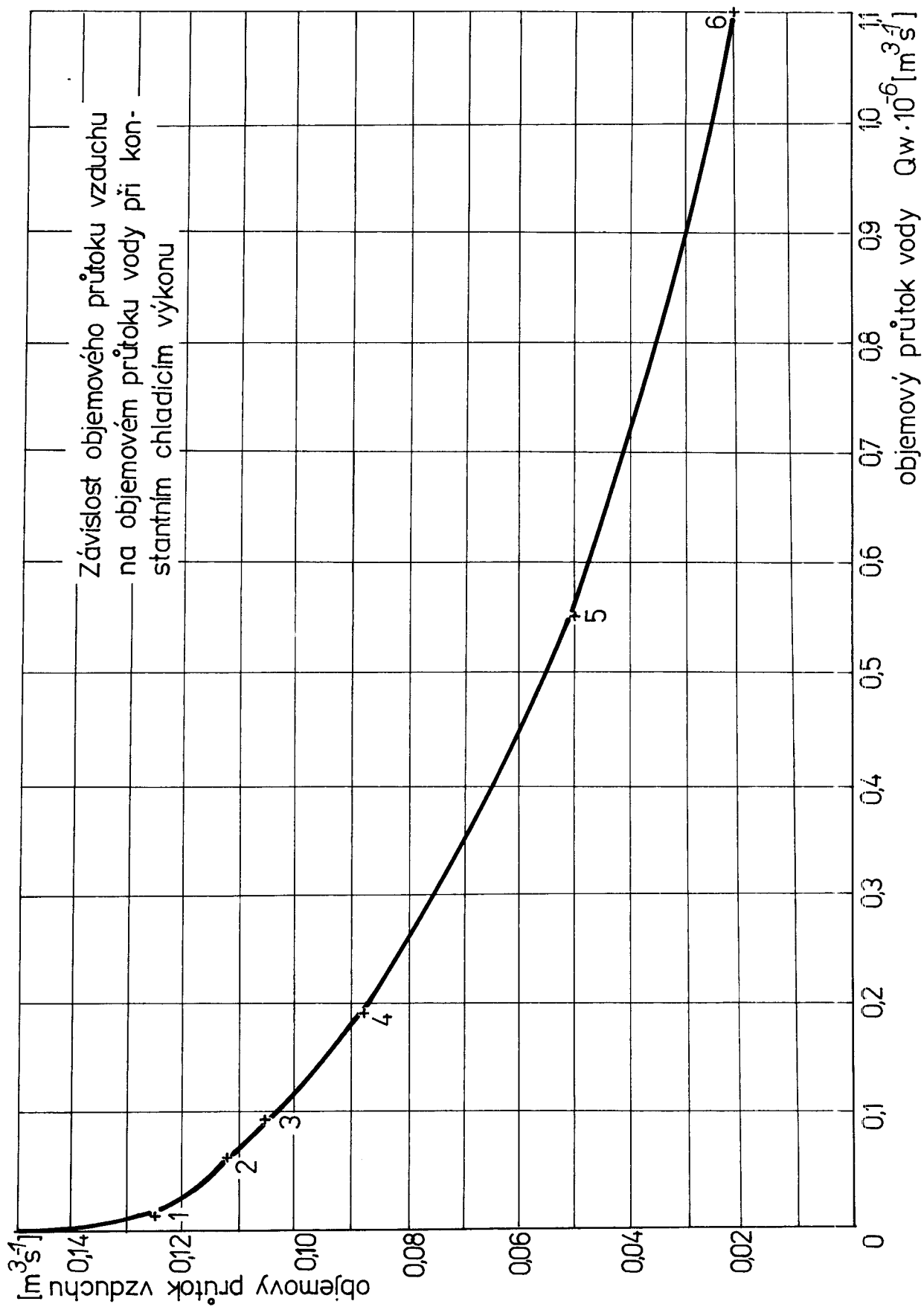
MĚŘENÍ PLOCHY ZASAŽENÉ VODNÍM SPRAYEM A PRŮMĚRU KAPEK

Při použití dýzy obr. 12 v I. serii měření se ukázalo, že toto konstrukční řešení není vhodné. Voda byla rozstříkována v poměrně úzkém kuželu a zasahovala pouze malou část formy.

Ve II. serii pokusů jsem zkoušela různé varianty řešení rozprašování vodního spraye na formu. Sledovala jsem při tom plochu zasahovanou vodním sprayem a kvalitu spraye tj. velikost vodních kapek. Forma byla ostříkována ze vzdálenosti 100 mm. Snažila jsem se pro srovnání udržet konstantní tlak vody a objemový průtok vody. Pokusy v serii II. - V. byly prováděny na studené formě.

MĚŘENÍ 7

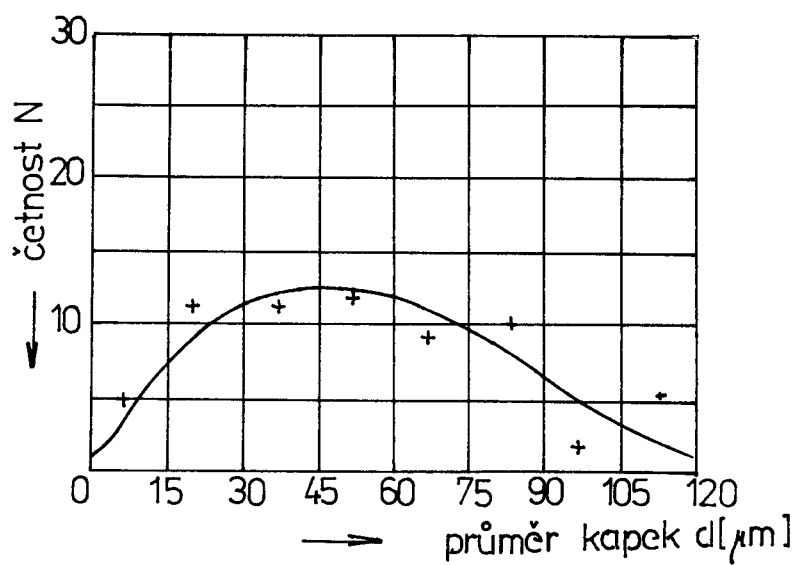
K rozptylu spraye jsme užili trubku o vnitřním průměru 10 mm obr. 14. Tlak $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel byl poměrně úzký. Zasahovaná plocha měla tvar kruhu s průměrem $d = 160 \text{ mm}$. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí 20 - 30 μm obr. 15. Proměřeno bylo 100 kapek.



obr. 13



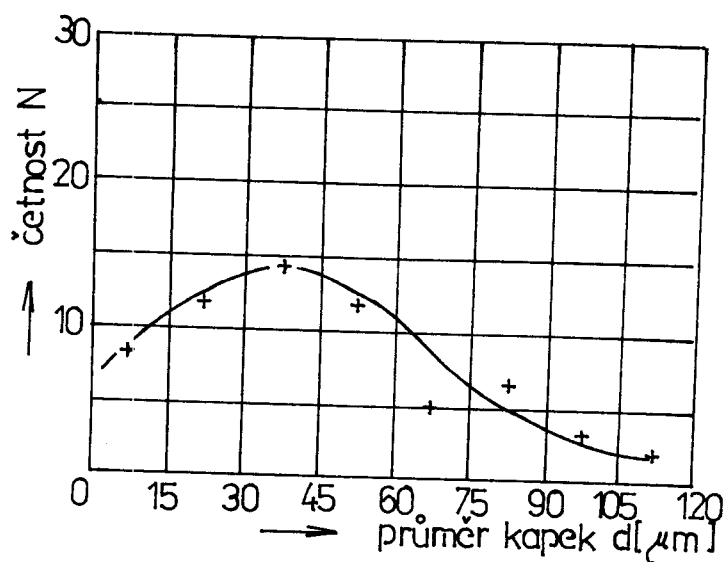
Obr.14 Trubka s vnitřním průměrem 10 mm



Obr. 15 Diagram četností-měření 7

MĚŘENÍ 8

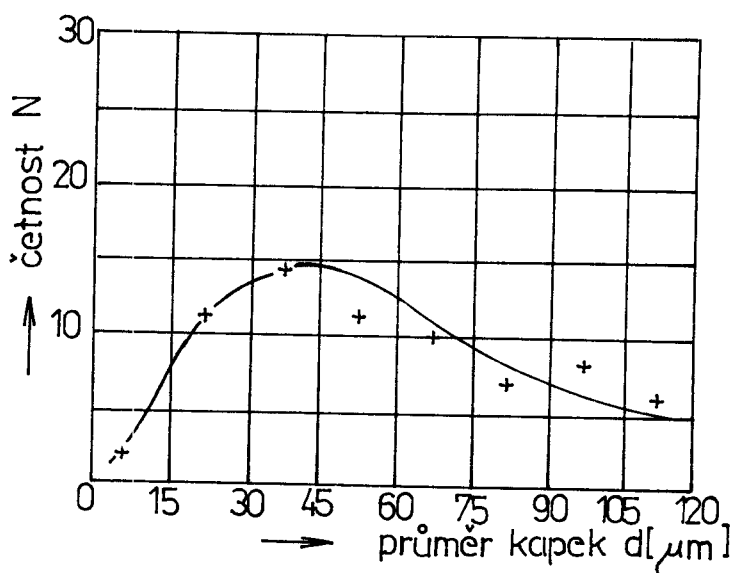
Na konec hadice jsme nainstalovali trubku o vnitřním průměru 20 mm obr. 16. Tlak $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Spray byl kvalitně rozprášen, kužel spraye byl široký. Zasažená byla prakticky celá půlka formy. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí 20 - 60 μm obr. 17. Proměřeno bylo 100 kapek.



Obr. 17 Diagram četností - měření 8

MĚŘENÍ 9

Nainstalovali jsme trubku o vnitřním průměru 3 mm. Tlak $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Spray byl vcelku kvalitní, ale kužel spraye velmi úzký, zasažená plocha malá. Toto řešení se ukázalo naprosto nevhodné. Průměr kapek měl širší rozmezí 15 - 135 μm obr. 18. Proměřeno bylo 100 kapek.



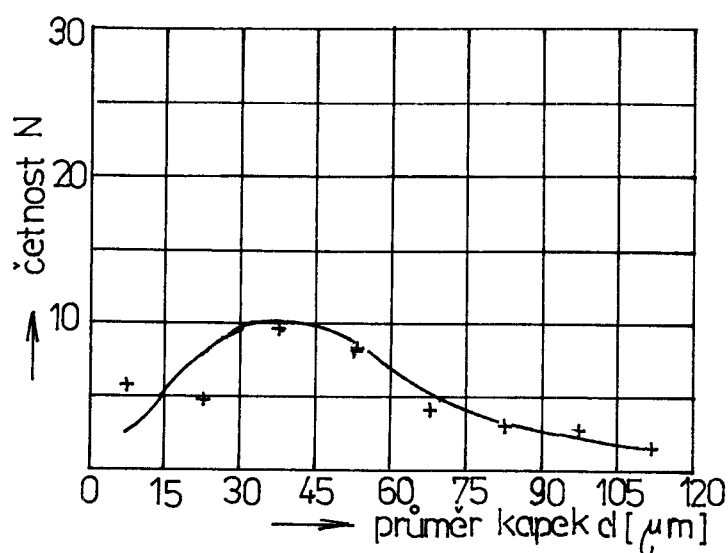
Obr. 18 Diagram četností - měření 9

MĚŘENÍ 10

Užili jsme trubku o vnitřním průměru 5 mm obr. 19. Tlak $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel spraye byl úzký. Zasažená plocha byla ve tvaru kruhu o průměru $d = 150 \text{ mm}$. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí $10 - 90 \mu\text{m}$. Proměřeno bylo 100 kapek viz obr. 20.

MĚŘENÍ 10

Užili jsme trubku o vnitřním průměru 5 mm obr. 19. Tlak $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel spraye byl úzký. Zasažená plocha byla ve tvaru kruhu o průměru $d = 150 \text{ mm}$. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí $10 - 90 \mu\text{m}$. Proměřeno bylo 100 kapek viz obr. 20.



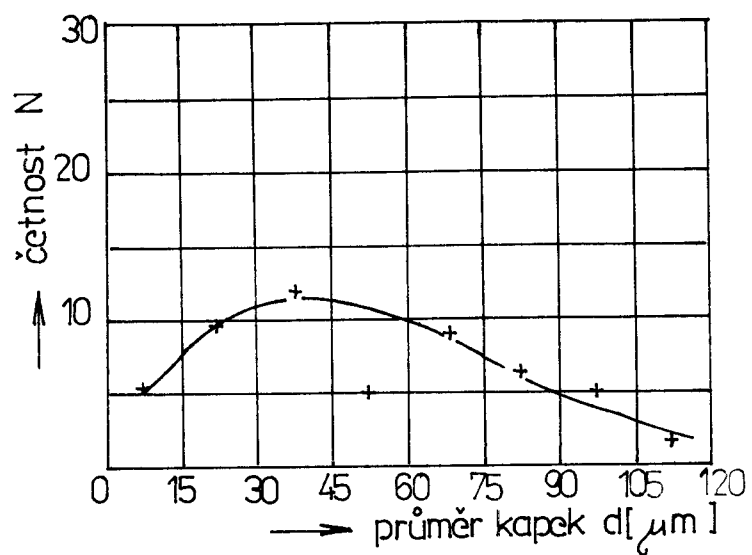
Obr. 20 Diagram četností - měření 10

MĚŘENÍ 11

Užili jsme 2 trubky o vnitřním průměru 3 mm se společným příívodem téhož průměru, vzdálené od sebe 20,5 cm viz obr. 21. Kvalita spraye byla poměrně dobrá, i když se voda dosti srážela na stěnách trubky. Zasažená plocha byla ve tvaru obdélníka 80 x 200 mm. Pokrývala pouze malou část formy. Tlak $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí 15 - 120 μm obr. 22. Proměřeno bylo 100 kapek.



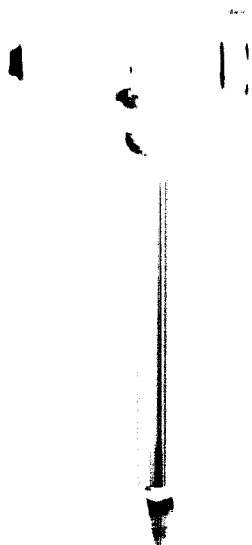
Obr. 21 Trubky o vnitřním průměru 3 mm



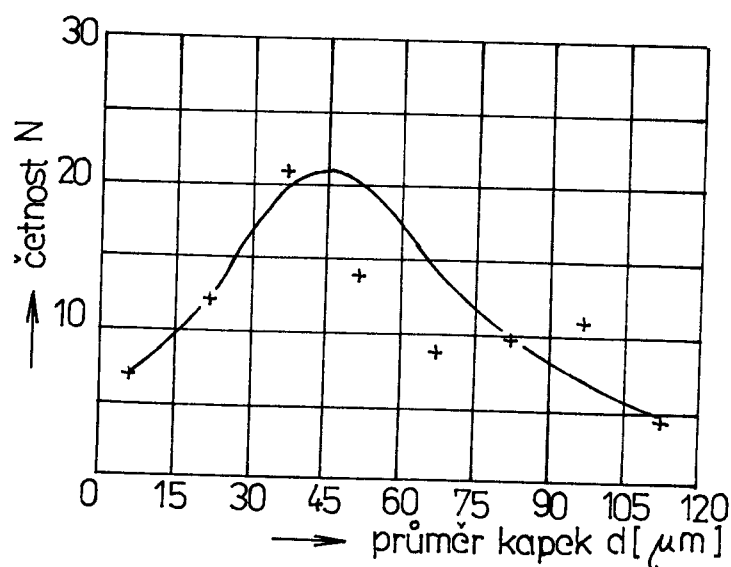
Obr. 22 Diagram četností - měření 11

MĚŘENÍ 12

Užili jsme 2 trubky o vnitřním průměru 10 mm se společným příívodem téhož průměru obr. 23. Tlak $p = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kvalita spraye byla dobrá. Příliš mnoho vody se však sráželo na stěnách trubek. Zasažená plocha byla ve tvaru dvou kruhů o průměru $d = 90 \text{ mm}$. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí $15 - 105 \mu\text{m}$. Četnost měla poměrně ostré maximum kolem 40 m obr. 24. Proměřeno bylo 100 kapek.



Obr. 23 Trubky o vnitřním průměru 10 mm



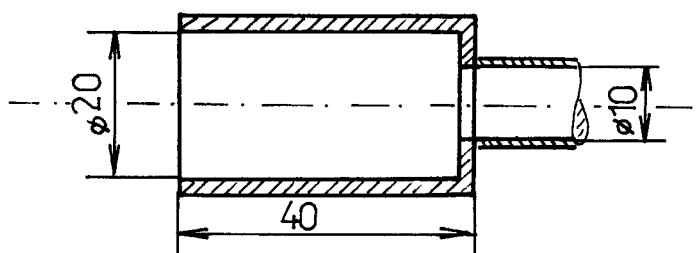
Obr. 24 Diagram četností - měření 12

5.3.3. TŘETÍ SERIE MĚŘENÍ

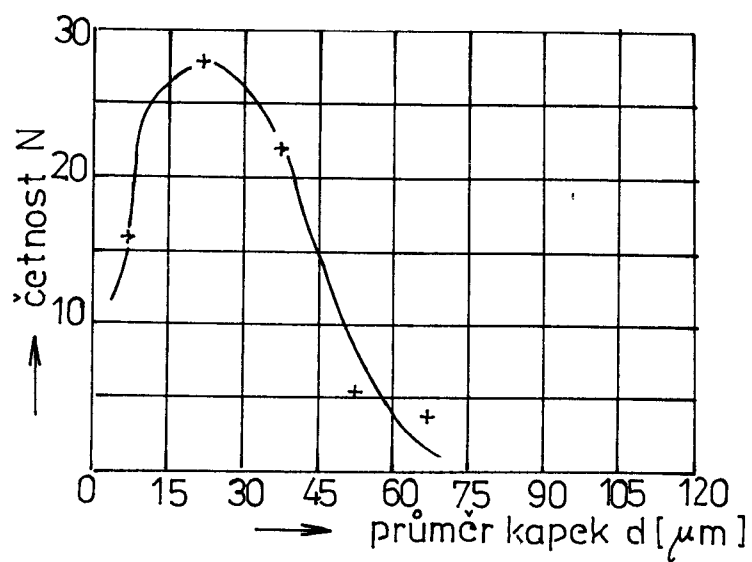
Z měření 7 - 12 vyplývá jako nejvhodnější varianta trubky průměru 20 mm viz obr. 16. Proto jsme další pokusy zaměřili na zdokonalení této varianty. Udržovali jsme konstantní tlak a objemový průtok vody $Q_w = 0,86 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, měnili jsme pouze geometrické parametry trubky tj. její délku a vnitřní průměr. Sledovali jsme objemový průtok tlakového vzduchu, velikost kapek a velikost zasažené plochy vodním sprayem.

MĚŘENÍ 13

Užili jsme trubku o vnitřním průměru 20 mm, délky 40 mm viz obr. 25. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel spraye byl široký, pokrýval prakticky celou šířku formy, výška plochy byla 140 mm. Objemový průtok tlakového vzduchu $Q_v = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí 15 - 60 μm obr. 26. Proměřeno bylo 100 kapek. Četnost měla velmi ostré maximum kolem 20 μm .



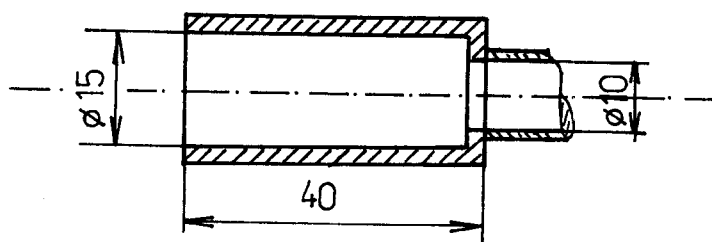
Obr.25 Trubka průměru 20 mm, délky 40 mm



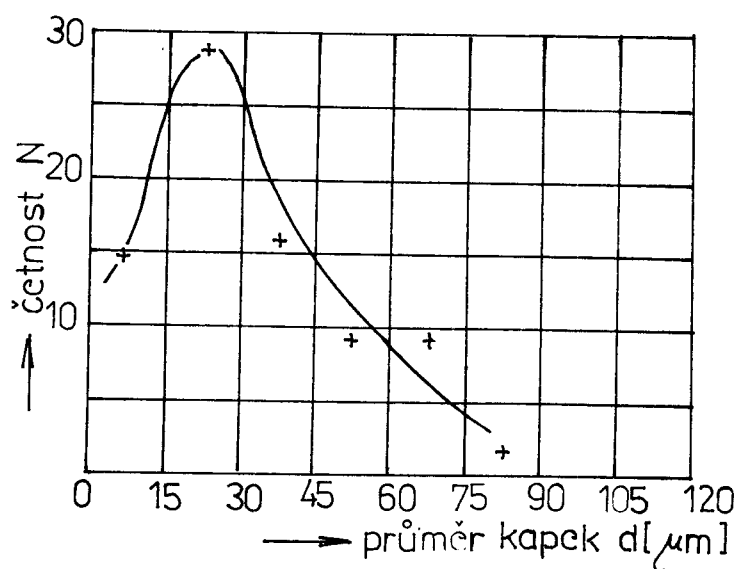
Obr.26 Diagram četností - měření 13

MĚŘENÍ 14

Použili jsme trubku o vnitřním průměru 15 mm a délky 40 mm obr. 27. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel spraye byl užší než při měření 13, šířka formy byla pokrytá celá, výška pouze v délce 115 mm. Objemový průtok tlakového vzduchu $Q_v = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Průměr kapek byl 15 - 60 μm , ostré maximum četnosti bylo kolem 20 μm obr. 28. Proměřeno bylo 100 kapek.



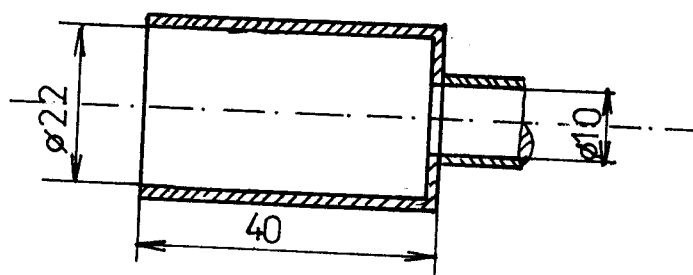
Obr. 27 Trubka průměru 15 mm, délky 40 mm



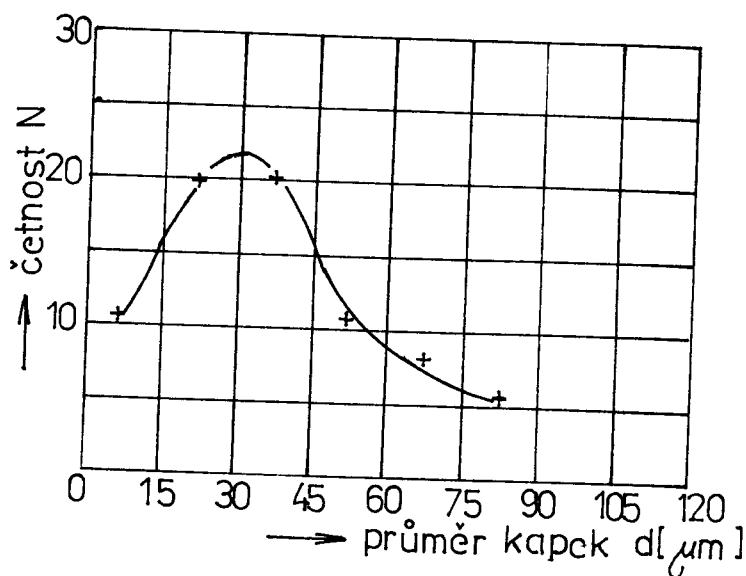
Obr. 28 Diagram četností - měření 14

MĚŘENÍ 15

Použili jsme trubku o vnitřním průměru 22 mm a délce 40 mm obr. 29. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel spraye pokryl celou šířku formy, výšku pouze 165 mm. Kužel byl širší než při měření 14. Objemový průtok tlakového vzduchu $Q_v = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Průměr kapek se pohyboval od 15 - $70 \mu\text{m}$ obr. 30. Proměřeno bylo 100 kapek.



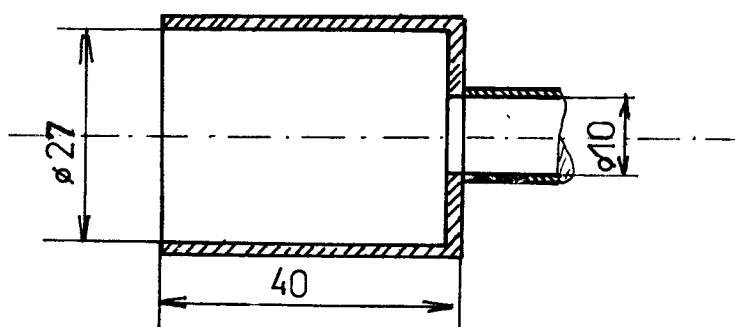
Obr. 29 Trubka průměru 22 mm, délky 40 mm



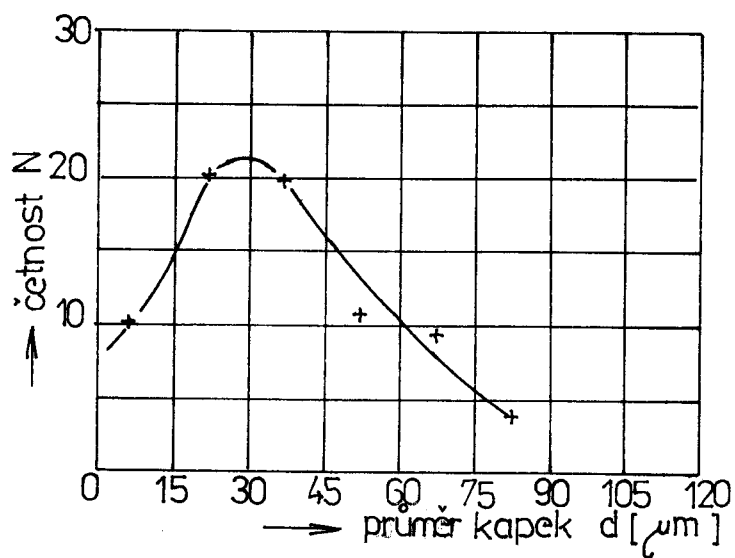
Obr. 30 Diagram četností - měření 15

MĚŘENÍ 16

Použili jsme trubku o vnitřním průměru 27 mm a délce 40 mm obr. 31. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel spraye pokrýval celou šířku, výšku do 165 mm. Objemový průtok tlakového vzduchu $Q_v = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Průměr kapek se pohyboval v rozmezí 15 - 70 μm obr. 32. Proměřeno bylo 100 kapek.



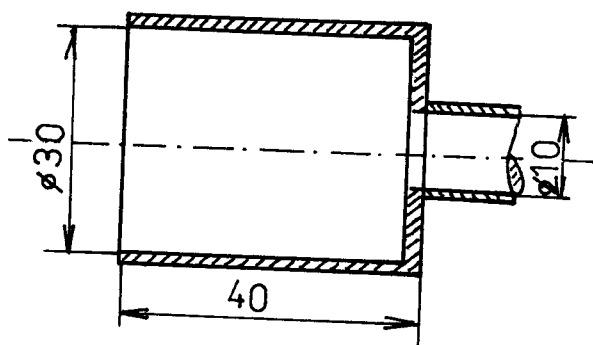
Obr. 31 Trubka průměru 27 mm, délky 40 mm



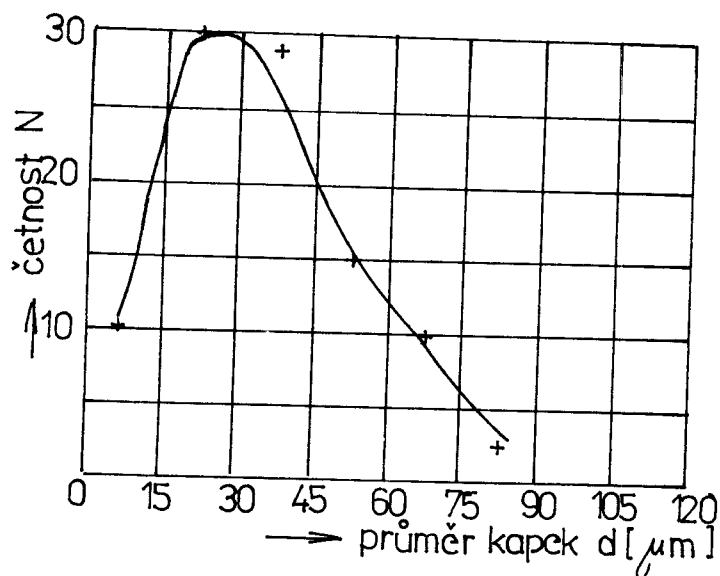
Obr. 32 Diagram četností - měření 16

MĚŘENÍ 17

Použili jsme trubku o vnitřním průměru 30 mm a délky 40 mm obr. 33. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel spraye byl široký, pokrýval formu do celé šířky a do výšky 170 mm. Objemový průtok tlakového vzduchu $Q_v = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Průměr kapek se pohyboval od 15 do $60 \mu\text{m}$ obr. 34. Proměřeno bylo 100 kapek. Ostré maximum četnosti kolem $30 \mu\text{m}$.



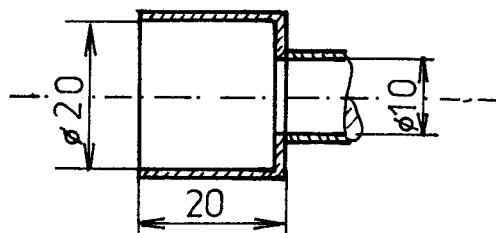
Obr. 33 Trubka průměru 30 mm, délky 40 mm



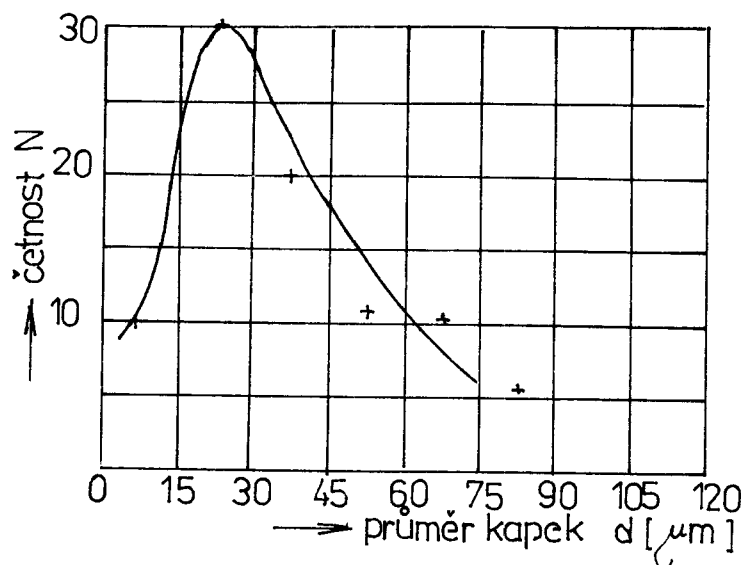
Obr. 34 Diagram četnosti - měření 17

MĚŘENÍ 18

Použili jsme trubku o vnitřním průměru 20 mm a délky 20 mm obr. 35. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel pokryl celou šířku formy, ale výšku pouze 125 mm. Objemový průtok vzduchu $Q_v = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Průměr kapek se pohyboval od 15 - 60 μm obr. 36. Proměřeno bylo 100 kapek. Ostré maximum četnosti kolem 20 μm .



Obr. 35 Trubka průměru 20 mm, délky 20 mm



Obr. 36 Diagram četností - měření 18

MĚŘENÍ 19

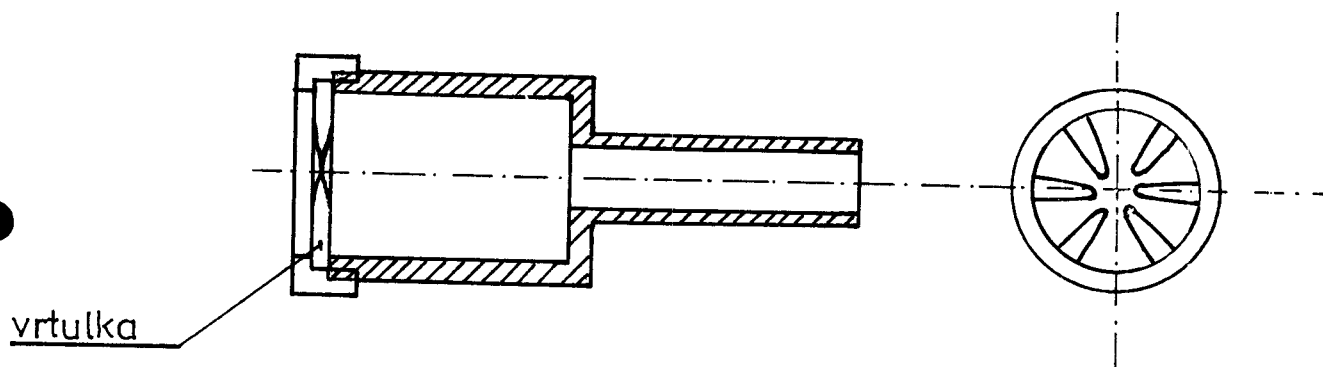
Zde jsme využili poznatků z předcházejících měření. Vybrali jsme variantu trubky s nejmenší spotřebou tlakového vzduchu a s kvalitním rozprášením spraye. Chtěli jsme dosáhnout toho, aby celá forma byla pokrytá sprayem do šířky i do výšky. Z toho důvodu jsme nyní použili dvě trubky o vnitřním průměru 20 mm a délky 40 mm se společným příívodem spraye obr. 37. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Na formu dopadaly dva široké kužele, které pokryly celou formu. Nutný objemový průtok tlakového vzduchu klesl na $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Tato variantu jsme vybrali jako nejvhodnější pro další měření na vyhráté formě. Četnost výskytu průměru kapek byla stejná jako u měření č. 13, viz obr. 26.



Obr. 37 Trubky průměru 20 mm, délky 40 mm

5.3.4. ČTVRTÁ SERIE MĚŘENÍ

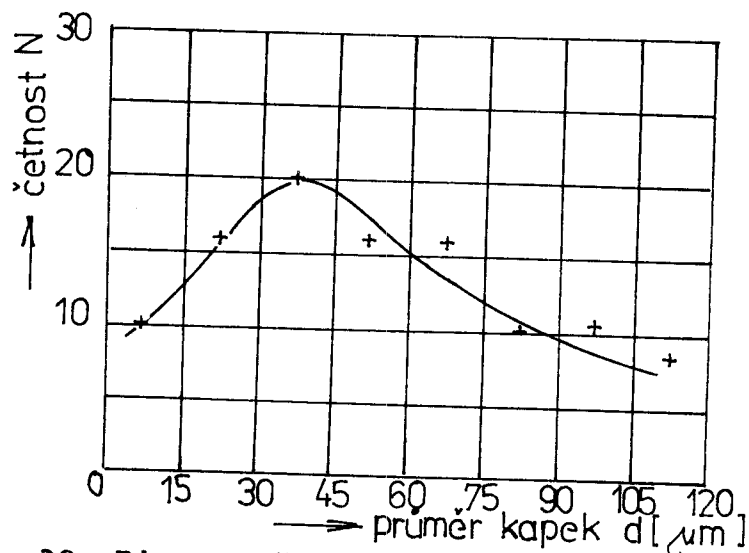
V této serii jsme užili kusměřňování zařízení na principu zahradnického rozprašovače viz obr. 38. Objemový průtok vody byl $Q_w = 0,86 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.



Obr. 38 Princip zahradnického rozprašovače

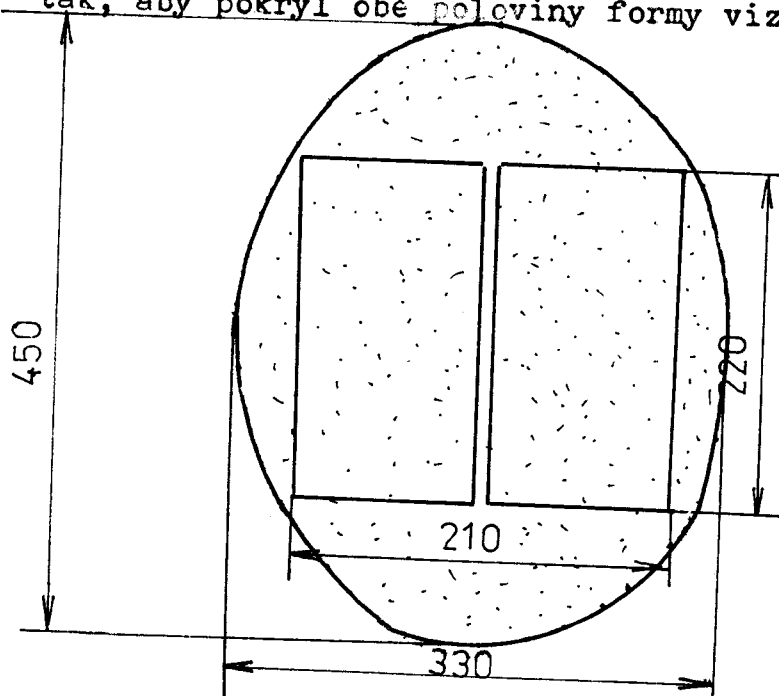
MĚŘENÍ 20

Nejprve jsme zjišťovali velikost plochy pokryté sprayem. Tlak $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Kužel byl velmi široký. Pokrýval celou formu a zasahoval i okolí formy. Objemový průtok tlakového vzduchu $Q_v = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Průměr kapek se pohyboval v širokém rozmezí od 15 - 150 μm obr. 39.



Obr. 39 Diagram četností - měření 20

K tomu, abychom zjistili skutečnou plochu, kterou spray pokrývá, jsme provedli následující pokus. Před rozprašovač jsme postavili místo formy papírovou desku. Spray pokryl plochu ve tvaru elipsy 450 x 330 mm. Z tohoto pokusu vyplývá, že rozprašovač je schopen rozprášit spray tak, aby pokryl obě poloviny formy viz obr. 40.



Obr. 40 Plocha pokrytá sprayem z rozprašovače

Dále jsme zkoušeli přiblížit rozprašovač co nejblíže k formě. Sledovali jsme plochu zasaženou sprayem. Ukázalo se ale, že optimální vzdálenost je právě dosud užívaná vzdálenost 10 cm od formy. Ve vzdálenosti 5 cm spray pokrýval pouze zhruba třetinu povrchu formy.

5.3.5. PÁTÁ SERIE MĚŘENÍ

V této serii jsme sledovali závislost objemového průtoku vzduchu na tlaku při konstantním objemovém průtoku vody rozprašovačem z 20. měření.

MĚŘENÍ 21

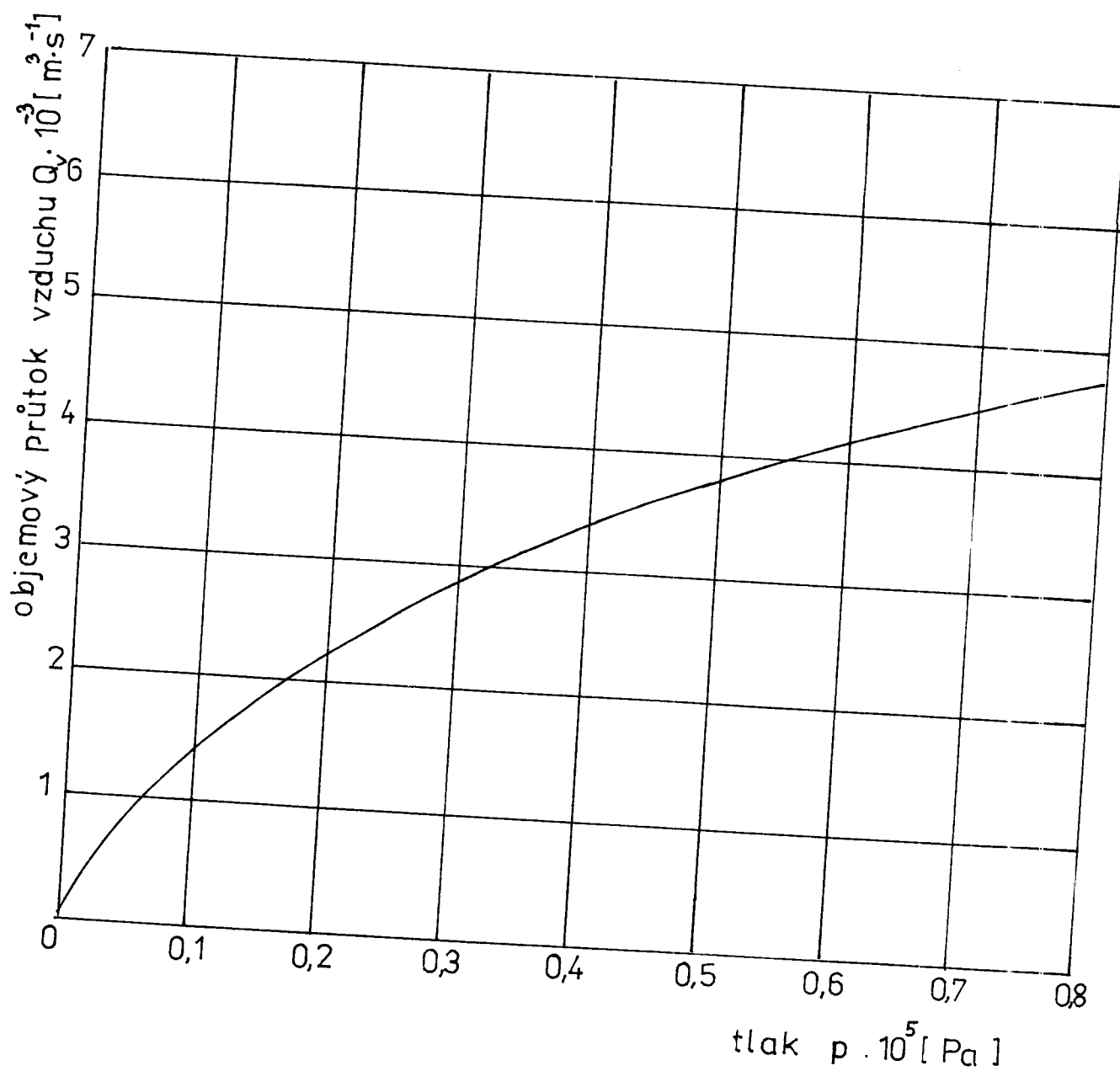
Výsledky uvádíme v následující tabulce:

$p \quad 10^5 \text{ Pa}$	$Q_v \quad 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	$Q_w \quad 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
0,1	1,4	0,86
0,2	2,2	0,86
0,3	2,8	0,86
0,4	3,4	0,86
0,5	3,9	0,86
0,6	4,1	0,86
0,7	4,2	0,86
0,8	4,7	0,86

Graf závislosti Q_v na p je na obr. 41.

5.3.6. ŠESTÁ SERIE MĚŘENÍ

V poslední serii měření jsme vybrali dvě optimální konstrukční varianty řešení rozprašování sprayem, které jsme spolu porovnávali. Byly to varianty 19 - 2 trubky o vnitřním průměru 20 mm a varianta 20 - rozprašovač. Měření bylo prováděno na horké formě. Byl udržován konstantní chladicí výkon zhruba $Q \approx 5 \text{ kW}$.



Obr. 41 Graf závislosti Q_v na p

MĚŘENÍ 22

Nejprve jsme nainstalovali k chlazení 2 trubky o vnitřním průměru 20 mm - variantu 19.

Teploty na formě: vnitřní povrch $t_1 = 484^\circ\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 395^\circ\text{C}$

Teplotní rozdíl: $t = 89^\circ\text{C}$

Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,3 \text{ kW}$

Objemový průtok vody: $Q_w = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 1,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Tlak: $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

MĚŘENÍ 23

Při posledním měření jsme nainstalovali rozprašovač z varianty 20.

Teplota na formě: vnitřní povrch $t_1 = 480^\circ\text{C}$
vnější povrch $t_2 = 394^\circ\text{C}$

Teplotní rozdíl: $t = 86^\circ\text{C}$

Tepelný výkon chlazení: $Q = 5,3 \text{ kW}$

Objemový průtok vody: $Q_w = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Objemový průtok vzduchu: $Q_v = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Tlak: $p = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

5.4. ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ

První serie měření ukázala přesvědčivě, že užití vodního spraye vede k podstatnému snížení nutného objemového průtoku ventilátorového vzduchu, viz obr. 13. V dalších seriích jsme ventilátorový vzduch již nepoužili.

Ve druhé až čtvrté serii měření jsme řešili úkol optimalizace konstrukčního řešení z hlediska kvality spraye, velikosti zasažené plochy. Velikost kapiček byla ve všech případech vyhovující s více nebo méně ostrým maximem četnosti zhruba od $20\mu\text{m}$ - $80\mu\text{m}$. Konstrukční řešení přívodu spraye z měření č. 13, viz obr. 25 se ukázalo optimální. Ve zdvojené variantě se společným přívodem spraye bylo toto řešení optimální i z hlediska zasažené plochy sprayem, viz měření č. 19, obr. 37.

Velmi úspěšné a přitom konstrukčně nenáročné se ukázalo také řešení s rozprašovačem z měření č. 20, viz obr. 38. Spray stačil v tomto případě pokrýt i obě poloviny formy. Proto jsme v páté serii detailně proměřili závislost spotřeby objemového průtoku přiváděného tlakového vzduchu na tlaku při užití rozprašovače.

Dvě optimální varianty z měření č. 19 a 20 byly prakticky vyzkoušeny na horké formě v měřeních č. 22 a 23. Pro realizaci potřebného chladicího výkonu 5,3 kW postačil zhruba 100 x menší objemový průtok tlakového vzduchu oproti spotřebě ventilátorového vzduchu při čistě vzduchovém chlazení. Teoretický výpočet tepelného výkonu odvedeného zahřátím a vypařením vody po dopadu na formu teplo $Q_1 + Q_2$ z odstavce 4.2. dává s použitím experimentálních hodnot objemového průtoku Q_w a zřejmého vztahu

$$Q = Q_w \cdot \rho \cdot (c \cdot \Delta t + l_v) \quad (20)$$

hodnotu $Q = 3,5 \text{ kW}$ pro měření č. 22 a hodnotu $Q = 2,8 \text{ kW}$ pro měření č. 23. Tepelný výkon odvedený zahřátím a vypařením vody představuje v prvním případě $2/3$ a ve druhém případě více než $1/2$ celkového chladičského výkonu. Zbylý tepelný výkon je odveden konvekci vzniklé vodní páry a vzduchu a radiací. Teoreticky vypočtený podíl úlohy při chlazení užitím spraye a úspěšná praktická realizace chlazení s ekonomicky výhodným malým objemovým průtokem vzduchu $Q_v = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a vody $Q_w = 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ dávají chlazení vodním sprayem nadějnou perspektivu.

6. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z výsledků našich měření vyplývá, že k udržování konstantního chladicího výkonu 5 kW je při čistě vzduchovém chlazení třeba objemového průtoku vzduchu $536,4 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. Průměrná cena 1 m^3 ventilátorového vzduchu je 0,039 Kčs.

Potřebný objemový průtok představuje proto náklady 20,92 Kčs/hod.

Při stejném chladicím výkonu je při chlazení vodním sprayem (užijeme-li dvě trubky s průměrem 20 mm - viz měření 22) spotřeba vody $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tj. $5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. Bereme-li v úvahu cenu průmyslové vody 6,05 Kčs. m^{-3} , pak spotřeba vody představuje náklady 0,033 Kčs. hod^{-1} . Náklady na spotřebu tlakového vzduchu při chlazení vodním sprayem při průtoku $6,7 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$ představují 1,220 Kčs.

Užijeme-li rozprašovače (měření 23), činí náklady na spotřebu vody při stejném objemovém průtoku $1,1 \cdot 10^{-6}$, tj. $3,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$ 0,023 Kčs/hod a příslušná cena tlakového vzduchu je při objemovém průtoku $7,5 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$ je 1,820 Kčs/hod.

Porovnáme-li cenu chlazení vzduchem a cenu chlazení vodním sprayem vychází nám v prvním případě cena chlazení vodním sprayem zhruba 17 x menší a ve druhém případě asi 11 x menší.

Náklady na výrobu systému chlazení čistým sprayem, které zahrnují instalaci rozvodu tlakového vzduchu, směšovače a trysky, by měly být přitom asi srovnatelné s náklady na chladicí komíny.

Vedle této zjevné finanční úspory přináší chlazení vodním sprayem i snížení hladiny hluchosti. Při normálních provozních podmínkách chlazení vzduchem se pohybuje okolo 100 dB, při našich experimentech s chlazením vodním sprayem dosáhla pouze 86 dB.

Chlazení vodním sprayem je proto perspektivní jak z energetického hlediska, tak z hlediska ochrany lidského zdraví.

ZÁVĚR

Výroba obalového skla se každoročně zvyšuje, rostou i požadavky na dokonalejší chlazení forem. Aktuálním problémem je i otázka nadměrné hlučnosti výroby ve sklářském průmyslu.

Jedním z perspektivních způsobů chlazení je i chlazení vodním sprayem, při kterém se i podstatně snižuje hladina hlučnosti.

Tento způsob byl odzkoušen v laboratorních podmínkách, a bude třeba vyzkoušet jej i v praxi. Dobré výsledky lze očekávat i u uzavřeného oběhu chlazení vodním sprayem.

Na závěr bych chtěla poděkovat s. ing. Janu Cibulkovi za odborné vedení práce a s. Božku Vysušilovi za maximální ochotu při praktické realizaci návrhu.

Hana Kopalová

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Smrček, A. : Strojní tvarování skla. SNTL, Praha 1981.
- [2] Mayer, J. : Teoretické základy energetických zařízení II. díl. Skriptum VŠST Liberec, Liberec 1980.
- [3] Svoboda, J. : Chlazení forem stroje AL-118. DP 328/79, VŠST Liberec.
- [4] Lindner, W. : Automatische Stempelkühlung für Glaspressen. Glastechn. Ber. 51, (1978), č. 12, s. 317 až 319.
- [5] Dahlmann, G. : Wasserkühlung von Hohlglasformen. Glastechn. Ber. 53, (1980), č. 11, s. 317 - 319.
- [6] Schaar, L. : Kühlung von Hochleistungsformen hohlglasverarbeitender Maschinen möglichkeiten mit Medien Wasser und Luft. Glastechn. Ber.(1980), č. 11, s. 300 - 309.
- [7] Krsek, L. : Zvyšování účinnosti chlazení forem, DP 371/81, VŠST Liberec.
- [8] Veselá, H. : Progresivní způsob chlazení sklářských forem. SVOČ 1981, VŠST Liberec.
- [9] Spurný, K. : Aerosoly. SNTL Praha 1961.