

Vysoká škola: **strojní a textilní** Fakulta: **strojní**
Katedra: **obráběcích a keramických strojů** Školní rok: **1983/84**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VÝKONU)

pro **Jiřího Klímsu**
obor **23-21-8 Stroje a zařízení pro chemický, potravinářský a spotřební průmysl**

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

Název tématu: **Vodní chlazení forem.**

Zásady pro vypracování:

V současné době jsou formy automatů na výrobu obalového skla chlazeny až na vyjimky vzduchem. Na základě poznatků ziská-
ných studií literatury a prací prováděných na KSK navrhnete
vodou chlazenou formu. Ve své práci se zaměřte na:

- a/ konstrukční uspořádání formy
- b/ upevnění formy v držácích
- c/ přívod a odvod chladicí vody
- d/ ekonomické zhodnocení

V 220/84 S

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č. j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

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

Seznam odborné literatury:

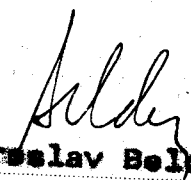
Glasstechnische Berichte 10/1980
Výzkumné zprávy a diplomové práce k chlazení forem vypracované
na KSK VŠST Liberec

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Cibulka**

Datum zadání diplomové práce: **konečné zadání 27.9.1983**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.5.1984**




Doc. Ing. Jaroslav Belda, CSc.
Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc.
Děkan

v **Liberci** dne **27.9.** 19 **83**

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

Fakulta strojní

Obor 23-21-8

výrobní stroje a zařízení

zaměření

sklářské a keramické stroje

Katedra sklářství a keramiky

CHLAZENÍ FOREM STROJŮ NA OBALOVÉ SKLO

Jiří Klíma

DP 062/84

Vedoucí práce: Ing. Jan Cibulka

- VŠST Liberec

Konzultant: Ing. Jaroslav Mazanek

- SKLOSTROJ
Turnov

Rozsah práce:

Počet stran		15
Počet tabulek		2
Počet obrázků		15
Počet výkresů		4
Počet modelů		0

25.5.1984

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

Jiří K L I M S A

v Liberci 25. května 1984

Obsah

Seznam použitých značek	4
1. Úvod	5
2. Rozbor současného stavu a návrh řešení	7
2.1 Přehled současného stavu chlazení	7
2.2 Popis současného stavu vodního chlazení	8
2.3 Navrhované řešení	12
2.3.1 Rozbor uvažovaných návrhů	12
2.3.2 Návrh kontrátního řešení formy	15
2.3.3 Řešení přívodu a odvodu chladící vody	16
2.4 Bodová analýza stávajících provedení	18
3. Popis konstrukčního řešení	22
4. Výpočty k navrhovanému řešení	24
4.1 Výchozí předpoklady	24
4.2 Výpočet rozložení teplot v navržené formě	24
4.2.1 Výpočet teplotního pole formy	24
4.2.2 Výpočet teplot odvedeného chladičem	25
4.2.3 Výpočet vzdušové mezery	27
4.2.4 Kontrola teploty chladící vody	28
4.3 Shrnutí	30
5. Ekonomické zhodnocení	32
6. Závěr	34
Seznam použité literatury	35

Seznam používaných zkratk a symbolů

s	...	teplosměnná plocha	$/m^2/$
Q	...	velikost tepla	$/W/$
m	...	hmotnostní průtok	$/kg/s/$
u	...	omezený obvod	$/m/$
f	...	průřez kanálu	$/m^2/$
L	...	výška formy	$/m/$
g	...	gravitační zrychlení	$/ms^{-2}/$
d _{ek}	...	ekvivalentní průměr	$/m/$
Re	...	Reynoldsovo číslo	
Pr	...	Prandtlovo číslo	
Nu	...	Nuseltovo číslo	
α	...	koefficient přestupu tepla	$/Wm^{-2} K^{-1}/$
λ	...	součinitel tepelné vodivosti	$/Wm^{-1} K^{-1}/$
ν	...	kinematická viskozita	$/m^2 s^{-1}/$
f	...	korekční součinitel	
ϵ	...	součinitel poměrné pohltivosti	
c	...	měrné skupenské teplo	$/J kg^{-1} K^{-1}/$
ρ	...	měrná hmotnost	$/kg m^{-3}/$
σ	...	tloušťka vzduchové mezery	$/mm/$
t ₁	...	teplota vnitřní stěny formy	$/^{\circ}C/$
t ₂	...	teplota vnější stěny formy	$/^{\circ}C/$
t ₃	...	teplota povrchu chladiče	$/^{\circ}C/$
t ₄	...	teplota stěny chladiče	$/^{\circ}C/$
w ₂ =v _w	...	rychlost chladičí vody v plášti	$/ms^{-1}/$
w ₁	...	rychlost vody v přívodním potrubí	$/ms^{-1}/$
c ₀	...	součinitel sálání dokonale černého tělesa	$/W m^{-2} K^{-1}/$

1. Úvod

XVI. sjezd KSČ vytyčil program a úkoly našeho národního hospodářství na 7. pětiletku. Mezi úkoly bylo pamatováno i na nutnost soustavného zlepšování pracovního prostředí, snižování energetické náročnosti a zlepšování technické úrovně vyráběných strojů a zařízení, aby byly schopny úspěšné konkurence na zahraničních trzích.

Pro n. p. SKLOSTROJ TURNOV, jako jediného výrobce žádaných automatů na výrobu obalového skla v RVHP z toho vyplynuly požadavky na nový vývojový typ sklářského automatu řady AL - AL 118 a jeho další varianty.

V současné době všechny stroje řady AL používají k ochlazení sklářských forem vzduch, který proudí k formám od ventilátorů frémou stroje přes pevné chladicí komíny. Formy se tak pohybují v nepřetržitém proudu chladicího vzduchu. Předností tohoto systému chlazení je hlavně jednoduchý rozvod vzduchu, snadné seřizování, operativnost a spolehlivost. Ovšem na druhé straně je tento přístup k chlazení neekonomický, jak z hlediska nákladů na vysokou spotřebu elektrické energie potřebné na pohon ventilátorů, které dodávají chladicí vzduch, tak z hlediska vysoké hlučnosti, která velmi zhoršuje pracovní prostředí. Podstatnou nevýhodou je i to, že část chladicího vzduchu neprojde až k formám, ale je zachycena čelistmi a držáky. Tím klesne součinitel přestupu tepla a množství odváděného tepla.

Proto se v dnešní době projevují v chlazení sklářských forem trendy zabudovat chladicí soustavu do konstrukce držáků forem. Při tomto způsobu proudí všechny chladicí vzduch těsně kolem formy, tím vzrůstá koeficient přestupu tepla. To vede ke

zvýšení výkonu stroje o 5 - 10 % a ke snížení spotřeby chladícího vzduchu.

Vedle toho se objevují nové netradiční způsoby chlazení forem. Celosvětově se konstrukce pokouší chladit vodou nebo sprayem, olejem, roztokem NaCl a jinými médii. Ukazuje se, že s největší pravděpodobností bude zavedeno oběhové chlazení vodou. Vodou proto, že účinnost chlazení vodou je daleko vyšší, příkon klesne a odstraní se hlučnost. Na druhé straně se však zvýší nároky na výrobu a tím i pořizovací a provozní náklady.

Proto je třeba všechny možnosti netradičních způsobů chlazení sklářských forem důkladně prověřit.

2. Rozbor současného stavu a návrh řešení

2.1. Přehled současného stavu chlazení

Chlazení forem strojů na výrobu obalového skla je nezbytné k odvedení tepla ze skloviny tvarované a současně chladnoucí ve formě. Až na výjimky je doposud prováděno ventilátorovým vzduchem, který je přiváděn do blízkosti forem různě provedenými hubicemi.

Výhoda tohoto způsobu spočívá v snadné regulaci přiváděného množství vzduchu, jednoduché konstrukci zařízení a z toho vyplývající spolehlivosti.

Nevýhodou je značná hlučnost, která dosahuje hodnot až 102 dB a energetická náročnost.

V patentových listinách a článcích, které vycházejí v odborných časopisech, nalézáme mnoho námětů jak zlepšit účinnost chlazení, avšak teprve v poslední době, v důsledku zvýšení cen energie a zlepšování pracovního prostředí, se zvýšilo úsilí o nalezení nových řešení chlazení.

Hlavní směry zlepšení chlazení forem:

1. Zvýšení účinnosti chlazení vzduchem pomocí žebrovaných forem
2. Zvýšení účinnosti axiálním chlazením a chladícími držáky
3. Chlazení vodou a jinými médii.

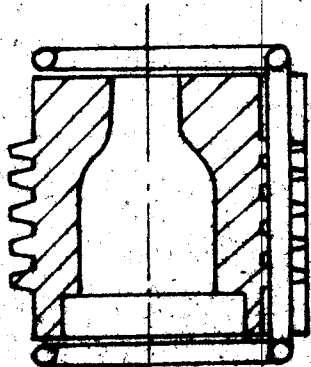
Ukazuje se, že s největší pravděpodobností bude zavedeno oběhové chlazení vodou, které již bylo provozně vyzkoušeno.

Vodou proto, že je dostupná a z hlediska hygieny a bezpečnosti práce nezávadná.

Nelze opomenout, že z hlediska tvorby životního prostředí je bezhlučnost vodního chlazení významným přínosem a neméně důležitá je možnost využití odvedeného tepla z forem pro různé účely, což u chlazení vzduchem není možné.

2.2 Popis současného stavu vodního chlazení

Schaar popisuje chlazení forem na výrobu pивních lahví /¹/38/ pomocí vodního oběhu. Formou procházely rovnoběžně s osou měděné trubičky o $\varnothing$ 3 mm spájené s žebry dle obr. 1. Tak bylo umožněno i obvyklé chlazení vzduchem.



obr. č. 1

Chladicí voda může ve formách proudit oběma směry. Nastavení požadovaného tlaku a průtočného množství se provádí ventily. Seřízení odváděného množství tepla se řídí měřením vstupní a výstupní teploty. Při tlaku cca 10^5 Pa systému byl naměřen odvod tepla $5 - 6 \text{ kJ s}^{-1}$. Při zvýšení tlaku na $3,5 \cdot 10^5$ Pa bylo dosaženo lepší kvality lahví. Teplota vystupující vody dosahovala 95°C . Přitom se ukázalo, že změna objemového průtoku chladicí vody prakticky neovlivňuje regulační teploty forem. Odvod tepla je ovládán tvorbou vodní páry na vnitřní stěně trubiček, takže množství odebíraného tepla je dáno regulací tlaku v systému.

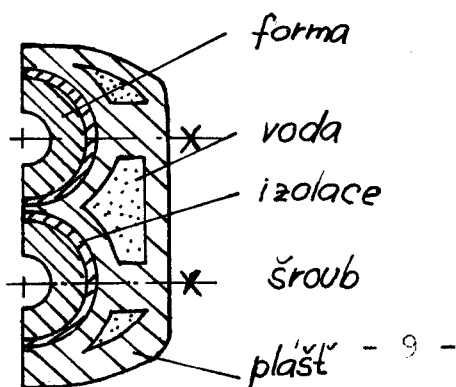
Dahlman publikuje ve své práci zkušenosti s uzavřeným vodním oběhem. Systém pracuje s nízkými teplotami a tlaky, takže při eventuelní poruše nehrozí nebezpečí.

Teplo je transformováno k chlacící věži nebo může být použito výměníku jiným způsobem. Voda jako chladičí prostředek je levná, je potřeba v malém množství a ztráty únikem jsou malé. Intenzivní var vody, který by nastal při styku s formou by způsobil rychlé zanešení formy a tím změnu přestupu tepla.

Tyto potíže odstranil patent firmy Owens. Dvnitř pláště formy je šrouby přitažena lahvová forma. Mezi pláštěm a formou je mezivrstva, která reguluje průchod tepla tak, aby voda v plášti nevřela.

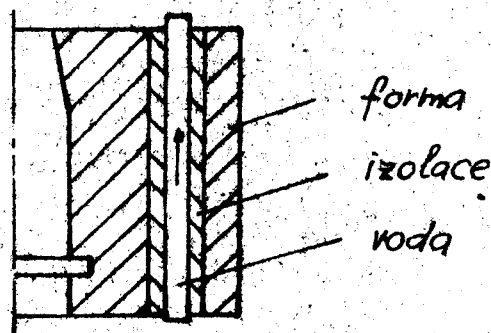
Mezivrstva se skládá z grafitové folie a azbestu. Výzkum se nyní soustřeďuje na konstrukci mezivrstvy a řešení přívodů vody. Provozní ceny vodního chlazení jsou oproti vzduchem asi 5x nižší.

Je výhodné, že univerzální pláště mohou být použity pro různé vnitřní formy stejné výšky. Formy mají delší životnost než při chlazení vzduchem. Při současném stavu vývoje lze tento systém použít při dlouhodobé výrobě jednoho typu obalu. Použití jiné izolační hmoty než azbestu je možné, avšak dražší. Schéma provedení dle obr. č. 2.



obr. č. 2

Patent /1/ popisuje chlazení sklářských forem vodou obíhající trubkami vsazenými do stěn forem. Aby nedocházelo k varu vody v trubkách, jsou trubky izolovány. Provedení na obr. č. 3



obr. č. 3

Předmětem patentu jsou i různé druhy izolačních hmot, jsou to práškové směsi lisované za vysokých tlaků / do 300 MPa / do tvaru izolačních trubek. Podle složení / grafit s niklem, hliník s nerezocelí, hliník s niklem / lze dosáhnout různých součinitelů vodivosti $\lambda = 0,3 \div 1,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Jsou uvedeny i další látky, pro dané použití z různých důvodů nevhodné.

Patent /2/ popisuje chlazení forem sekčního stroje vodou. Při tom je zdůrazněna možnost použití původních forem a snadná výměna forem.

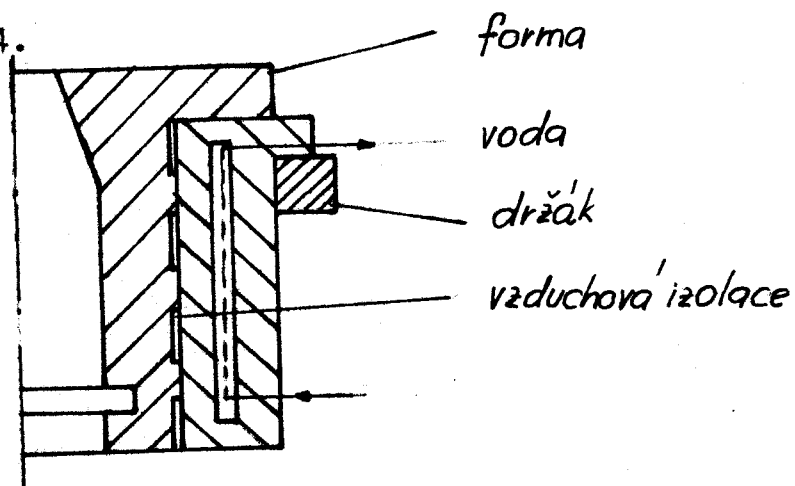
Konstrukční úprava stroje spočívá v tom, že držáky forem jsou upraveny jako komory, kterými protéká chladičí kapalina. Mezi formou a chladičí komorou je přesně vyměřena vůle. Vzniklá vzduchová mezera způsobuje vysoký teplotní spád, takže voda v komorách proudí pod bodem varu.

Výhodou tohoto provedení je snadná manipulace s formami a nevýhoda přesné obrobky forem a jejich pláště. Tzn. pro jiné

typ lahví je zapotřebí nové přesně obrobené formy a pláště.

V navrženém použití také nelze využít změny tloušťky vzduchové izolace k seřízení tepelného režimu formy. Síla vzduchové mezery podle patentu se pohybuje od 0,1 do 0,8 mm.

Provedení na obr. č. 4.



obr. č. 4

2. 3 Navrhované řešení

2.3.1 Rozber uvažovaných návrhů

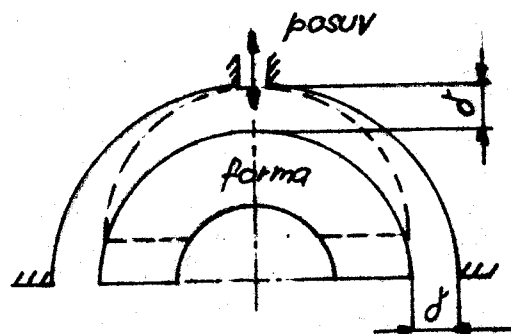
Požadavek na tuto diplomovou práci byl vypracovat návrh řešení vedou chlazené formy a zaměřit se na

- a/ konstrukční uspořádání formy
- b/ upevnění formy v držácích
- c/ přívod a odvod chladicí vody
- d/ ekonomické zhodnocení

Při návrhu vedou chlazené formy bylo nutné dodržet stávající rozměry stroje AL 118 t.j. rozměry stolu a rozložení mechanismů s jejich základními rozměry. Přístupné byly změny konstrukce a rozměrů formy, čelistí a držáků. Z této pozice bylo přistupováno k vastnímu návrhu.

Úvodní návrh vycházel z předpokladu, že celé zařízení se bude skládat ze dvou samostatných částí formy a chladicího pláště, které výhodným způsobem spojíme a přitom je nutné vyřešit otázku nastavování vzduchové izolace.

V prvním případě byl uvažován hladký plášť, který bude nasazen na formu a připojen šrouby. Vymezování vzduchové izolace se bude provádět pomocí základních měrek. Toto provedení dle obr. č. 5 umožňuje seřízení v širokých mezích nastavení vzájemné polohy formy a pláště. Dochází ovšem k nestejnomořné změně tloušťky izolace a tím k nerovnoměrnému odvodu tepla. V extrémním případě by byly rozdíly značné.



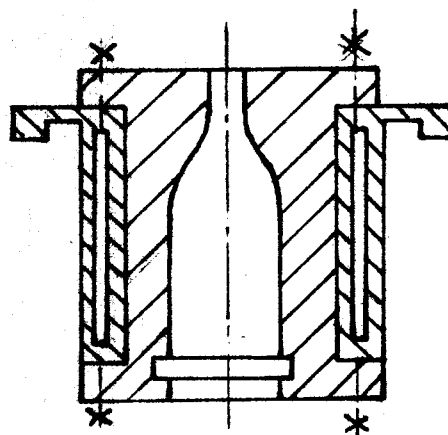
obr. č. 5

Tato nevýhoda by šla odstranit tím, že bychom místo 2 segmentů navrhli čtyři. Tím by odchylky tloušťky izolační vrstvy na kraje a uprostřed byly menší a odvod tepla by byl rovnoměrnější.

Zde nastává problém volby neoptimálnějšího počtu chladících segmentů a způsob jejich připojení. Z navrhovaného řešení chlazené formy, která se bude skládat z formy a chladícího pláště vyplynuly konstrukční změny formy a čelistí, které se týkají úpravy vnějších tvarů a ztenčení stěn formy.

Abychom nenarušili zeslabené stěny formy je nevýhodné spojení formy a pláště šrouby. Toto byl hlavní důvod pro použití pláště, který bude nasazen na formu jako pouzdro a připojen šrouby, ale v zesílené části formy.

Provedení na obr. č. 6



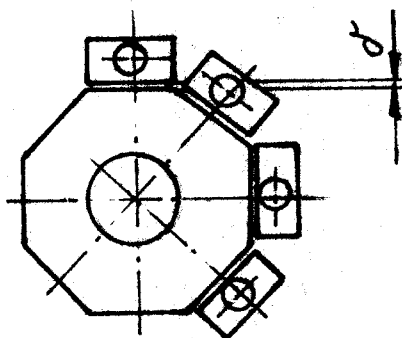
obr. č. 6

Volba neoptimálnějšího počtu chladících segmentů je závislá na přívodu a odvodu chladící vody a způsobu připojení.

Každý segment musí být k formě připojen a musí mít přívod a odvod chladicí vody. Tzn. čím více bude segmentů, tím více bude nutných přívodních a odvodních hadic. Vzhledem k rozměru stolu a uvažované světlosti hadic $J_s = 12 \text{ mm}$ větší počet hadic je nepřípustný. Neoptimálněji se jeví použití dvou segmentů se čtyřmi hadicemi.

Pro pokusné zařízení byla forma navržena jako stavebnice umožňující realizaci všech uvažovaných variant nastavení.

Viz obr. č. 7



obr. č. 7

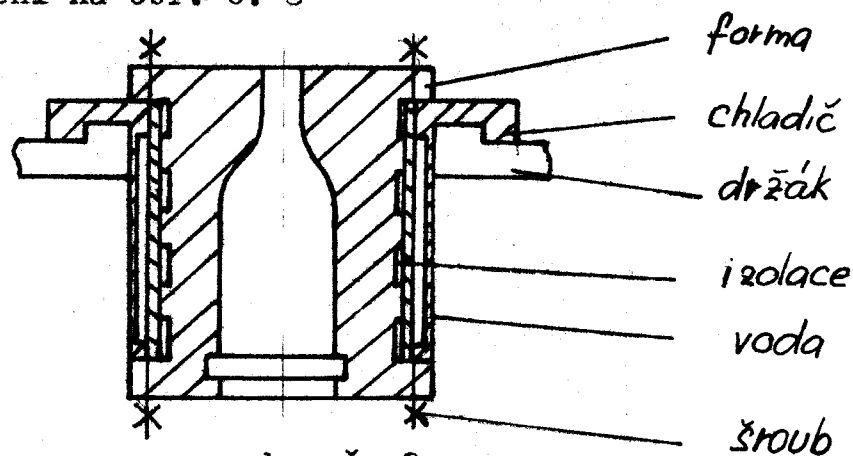
Uvnitř každého segmentu je vyroben chladicí kanál jimž protéká chladicí voda. U tohoto řešení bylo uvažováno 8 segmentů, které byly připojeny k formě šrouby. Segment je dělený a jednotlivé části jsou k sobě přivařeny. Pro provozní použití je nutno segment žíhat a to z toho důvodu, že při svařování vzniká vnitřní pnutí, které má za následek prohnutí chladiče a tím by došlo k nepřesnému nastavení vzduchové mezery a k nerovnoměrnému odvodu tepla. S tímto jevem jsme se setkali při zkouškách na pokusném zařízení.

S využitím získaných poznatků na pokusném zařízení jsem přistoupil k vlastnímu řešení, které by odstranilo uvedené nevýhody i za cenu složitější konstrukce navrhovaného řešení.

2.3.2 Návrh konkrétního řešení formy

Navrhl jsem chladicí zařízení, které se skládá ze dvou samostatných částí, formy a chladiče.

Forma a plášť jsou přesně obrobena. Na formě jsou osoustruženy drobné výstupky velikosti 0,2 mm a délky 10 mm, na které je nasazen chladicí plášť a tím dojde k přesnému vymezení potřebné vzduchové izolace. Funkce vzduchové izolace spočívá v ochraně chladicí vody, aby při proudění v chladicím kanále nepřešla do varu a stabilizuje teplotní pole formy. Plášť je připojen k formě 8 šrouby bez zásahu do stěny formy. Provedení na obr. č. 8



obr. č. 8

Chladič je složen ze dvou částí, válcového plechu tloušťky 5 mm, který uzavírá rozvod chladicí vody a je převařen k hlavnímu segmentu, ve kterém je vytvořen rozvod chladicí vody s přívody a odvody.

Chladicí voda musí být upravena. Nejvhodněji se jeví kotelní voda z většího teplotárenského celku. Množství vody bude malé, neboť v našem případě se bude jednat o uzavřený oběh

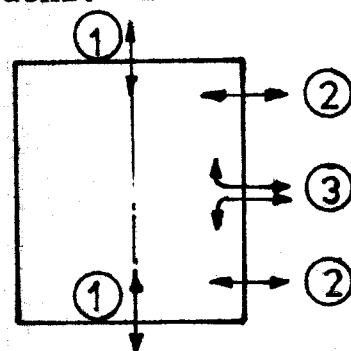
vody a nepředpokládáme velké množství ztrát.

Dělený chladič jsem použil proto, že pro dané řešení tj. provedení nuceného oběhu vody ve stěně chladiče, byla výroba tohoto oběhu jediné takto realizovatelná tzn. vyrobit zvlášť chladič s oběhem a uzavřít jej válcovým plechem.

2.3.3 Řešení přívodu a odvodu chladičí vody

Pro řešení otázky přívodu a odvodu chladičí vody existují pro náš návrh v podstatě tři možnosti provedení. Viz obr. č. 9

obr. č. 9



1/ Přivádět chladičí zhora a odvádět ve spodní části formy.

Tento způsob je však pro nás nepoužitelný z těchto důvodů:

U přední formy je prostor nad formou vyplněn mechanismem nálevky a zafukovací hlavy. Ve spodní části je mechanismus ústníku, ústní forma.

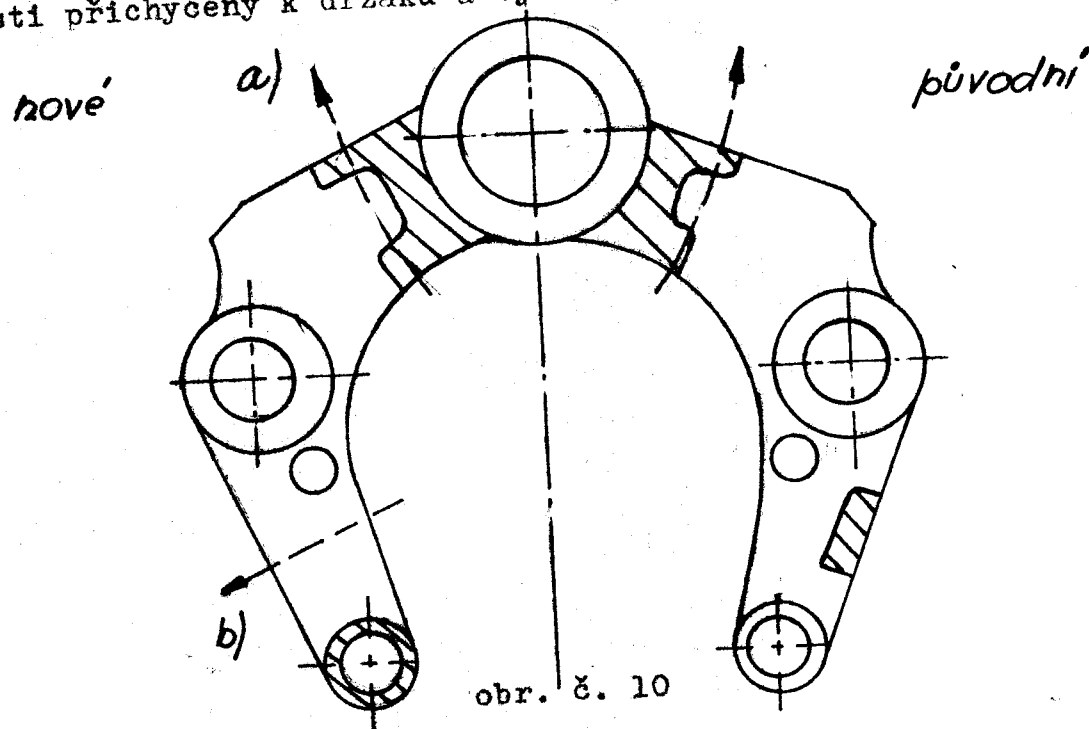
U konečné formy nám zhora najíždí mechanismus foukací hlavy.

Z těchto důvodů nelze provést navrhovaný způsob přívodu.

Způsob přívodu a odvodu vody č. 2 dle obr. č. 9 je nevhodný proto, že v těchto místech je mechanismus čelistí, který zabírá podstatnou část formy. Předpokládané světlosti potrubí $J_s = 12\text{mm}$ není možno provést přívod tímto způsobem.

Z těchto úvah vyplývá, že nejvhodnější bude pro nás řešení přívodu a odvodu chladičí vody ze středu formy a vhodným

způsobem je rozvést do chladicího kanálu. Ani toto řešení se však neobejde bez komplikací. V tomto případě brání volnému přívodu a odvodu chladicí kapaliny čepy, kterými jsou čelisti přichyceny k držáku a výztuhy držáků. Viz obr. č. 10.



Proto bylo nutné provést takové konstrukční úpravy držáků, abychom měli dostatečný prostor na přišroubování přívodu a odvodu pro chladicí vodu.

a/ řešení přívodu a odvodu chladicí vody spočívalo v odstranění výztuh u hlavního nosného čepu držáku a v pevném provedení díry pro čep 1. jako pouzdro. Tím vzniklý prostor bychom využili k vedení hadic. Nevýhoda tohoto řešení spočívá v tom, že u konečné formy těsně za nosným čepem je mechanismus invertu. Při otevření formy a při dodržení požadovaného poloměru zahnutí hadice vzniká nebezpečí zachycení hadic. Z těchto důvodů toto provedení nelze realizovat.

b/ Vhodnější bude přivádět vodu v přední části držáku. Odstraníme výztuhy a opět díru pro čep provedeme jako pevné pouzdro.

Touto úpravou získáme potřebný prostor pro odvod chladicí vody. Posunutím dolních čelistí formy směrem dolů, získáme místo pro přívod vody.

Přívod a odvod vody budeme realizovat pomocí měděných trubek. Trubky budou spojeny převléčnou maticí se šroubením, které je připojeno k chladicímu plášti. Nelze použít pryžových hadic a to z těchto důvodů:

Je-li vypočtený průměr přívodního potrubí $J_s = 12 \text{ mm}$

a k tomu připočteme tloušťku stěny hadice $3,5 \text{ mm}$

a tloušťku ochranné vrstvy azbestové tkaniny 2 mm

dostaneme průměr jedné hadice $d = 23 \text{ mm}$ -

Jestliže potřebujeme na jedné straně 4 hadice, u kterých musíme dodržet požadovaný poloměr zaoblení je zřejmé, že pro velmi malý prostor, který máme k dispozici, nelze přívod a odvod chladicí kapaliny provést pryžovými hadicemi. V našem případě by došlo ke zlomu hadice, vzhledem k malému poloměru. Výhoda trubek spočívá v menších rozměrech, delší životnosti a nemusí se provádět ochrana. Nevýhodou je, že nepřenáší tak dobře dynamické rázy, jako hadice, proto bude nutno vyrobit přípravek k zlepšení stability trubek. Rozpojení přívodního a odvodního potrubí bude u trubek jen o málo složitější než u hadic.

2.4 Bodová analýza stávajících provedení

Pro posouzení a srovnání známých provedení vodního chlazení použijeme bodové analýzy. Spojuje přednosti empirického a exaktního rozhodování. Měření vlastností se může opírat jak o objektivní hodnotové parametry, tak i odborné úvahy a odhady kvalifikované pomocí různých technik.

Je zvoleno 12 rozhodovacích kritérií, z kterých by mělo vyplynout nejvhodnější řešení. Jednotlivá kritéria představují vlastnosti jednotlivých provedení. Jsou ohodnoceny počtem bodů 0, 1, 2 a důležité 3 body.

Posuzovány jsou tyto návrhy:

1. Provedení firmy Owens s azbestovou izolací

2. Provedení se vzduchovou izolací

	vysoká	přijatelná	nízká
složitost konstrukce	0	1	2
provozní energ. náročnost	vysoká 0	střední 2	nízká 3
dostupnost chladicího média	drahé 1	dostupné 2	zdarma 3
výměna forem	složitá 0	přijatelná 1	snadná 2
materiálová náročnost	je nutná 0	částečná 1	není 2
možnost provozního seřizování	složitě 0	částečně 1	dobře 2
důsledky poruchy	zmetky 0	částečně 1	bez komplikací 2
účinnost chlazení	nízká 0	dostatečná 1	vysoká 2
využití odpadního tepla	nemožné 0	částečně 2	možné 3
výroba forem	náročná 0	zvýš. nároky 1	běžná 2
údržba forem	náročná 0	zvýš. nároky 1	běžná 2
životnost forem	malá 1	přijatelná 2	vysoká 3

		azbest. izolace	vzduchová izolace
1.	provozní energetická náročnost	3	3
2	dostupnost chladicího média	2	2
3	výměna forem	1	1
4	materiálová náročnost	0	2
5	provozní seřizování	1	1
6	důsledky poruchy	1	1
7	účinnost chlazení	2	2
8	využití odpadního tepla	3	3
9	výroba forem	1	1
10	údržba forem	1	1
11	životnost forem	2	2
12	složitost konstrukce	1	1
		18	20

Z provedené analýzy vychází výhodnější řešení s použitím vzduchové izolace. Výhoda tohoto řešení spočívá v snadné manipulaci s formami, v nevysoké materiálové náročnosti oproti provedení firmy Owens, kde je zapotřebí azbest - grafitové folie. Provozní seřizování odváděného množství tepla lze u všech provedení provádět regulací rychlosti přiváděné vody a její teploty a tím se ovlivňují i tlakové ztráty. Základní nastavení izolační mezery se provádí před zahájením provozu. Nevýhodou provedení se vzduchovou izolací je nutnost přesného opracování forem s přesností na setiny milimetru. Pro jiný typ výrobku s jinými rozměry bude zapotřebí nové formy a chladiče. Toto ovšem platí

i u provedení firmy Owens, kde univerzální pláště a azbestovou vložku lze použít pro různé vnitřní formy stejné výšky. Nevýhodou azbest - grafitové folie je, že nevíme jak se zachová, jestliže po předchozím pevném stažení šrouby se uvolní. Jestli je schopna vrátit se do původní polohy a obnovit požadované rozměry.

Z provedené analýzy můžeme říci, že uvedené metody chlazení jsou především vhodné pro dlouhodobou výrobu jednoho typu obalu.

Při celkovém hodnocení analýzy je nutné brát do úvahy některá důležitá fakta:

1. hodnocení výsledku je ovlivněno zkušeností a subjektivním názorem posuzovatele
2. Pro úplné a přesné posouzení kvalit zkoumaných metod je třeba se důkladně seznámit s kompletní dokumentací a s podrobným principem činnosti u obou posuzovaných provedení.

V tomto případě dostupné materiály a patentové listiny nebyly na takové úrovni, aby se daly přesně vyčíst základní znaky řešení, kompletní princip činnosti, řešení regulace, přívodu a odvodu chladicí vody.

Pouze u námi navrhovaného řešení jsou všechny tyto otázky vyjasněny. Z toho vyplývá, že provedená analýza není plně objektivní a nelze se dle ní plně řídit.

3. Popis vlastního konstrukčního řešení

Zařízení na vodní chlazení obalového skla se skládá z formy /1/ a chladicího pláště /2/. Chladič je dělený. Skládá se z chladicího segmentu a plechu /23/. Obě části jsou k sobě přivařeny. Pro praktické použití je nutno chladič žíhat. V chladícím segmentu je vytvořeno rozváděcí zařízení chladicího média a předvrtány otvory pro uchycení šroubení /14/. Voda v chladícím plášti proudí rychlostí 1 m/s. Rychlost vody v přívodním potrubí dosahuje hodnoty 3,3 m/s. Provozní seřizování množství odváděného tepla lze provádět změnou teploty a rychlosti chladicí vody. Jak se změní parametry chladicího procesu se změnou rychlosti a teploty je nutno ověřit na experimentálním zařízení a bude to cílem dalších prací. Tlak v potrubí musí být takový, aby byly překonány tlakové ztráty. Tlaková ztráta závisí na celkovém řešení hydraulického obvodu.

Forma /1/ a chladič /2/ jsou přesně obrobena a mezi nimi je vymezena vzduchová mezera. Forma s chladičem je uchycena v čelistech /8/ a přitlačována čelistmi /9/. Čelisti /8,9/ jsou upevněny čepy /11/ a /12/ k držáku /4/. Forma je otevírána a vracena do původní polohy pákovým mechanismem /3/, jehož pohyb je vyvozen nastavením na řídicím bubnu.

Chladicí kapalina je přiváděna soustavou měděných trubek /10/, které jsou vhodně vytvarovány a připojeny k chladiči /2/ převlečnými maticemi /13/ a šroubením /14/. Trubky /10/ z důvodů dynamického namáhání jsou upevněny pomocí přípravku /6/ k dolním čelistem /9/.

Trubky se pohybují v kruhové drážce v rovině stolu /24/. Pod úrovní stolu /24/ jsou na měděné trubky připojeny pryžové

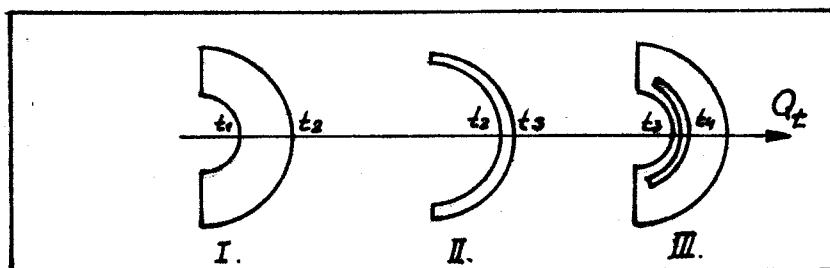
hadice. Rozpojení přívodního a odvodního systému se provádí takto:

Uvolní se převlečná matice /13/ v místě spojení trubky /10/ se šroubením /14/. Dále se uvolní přípravek /6/, který zvyšuje odolnost vůči dynamickým rázům. Celý systém trubek /10/ se od-
táhne od formy pohybem v kruhové drážce. Uvolní se dělený kryt /5/ a rozpojí se trubka /10/ s hadicí. K tomuto rozpojení je nutno zhotovit speciální klíč. Po odstranění přívodů a odvodů chladicí vody se forma nadzvihne, uvolní se z držáku a vyjme se.

4. Výpočty k navrhovanému řešení

4. 1 Výchozí předpoklady

Pro zjednodušení lze celé zařízení rozdělit na 3 části
I - forma; II - izolace; III - chladič
V každé z nich budeme řešit vedení tepla odděleně. Návaznost mezi jednotlivými částmi bude dána okrajovými podmínkami t.j. v našem případě teplotou a velikostí měrného toku.



obr. č. 11

$Q_t = 8 \text{ KW}$ je zvoleno na základě výpočtu tepelného zatížení formy Euro.

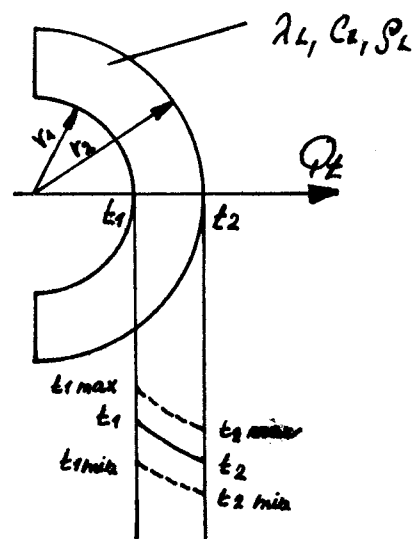
4.2. Výpočet rozložení teplot v navržené formě

4.2.1 Výpočet teplotního pole formy

Formu budeme počítat jako vedení tepla válcovou stěnou o poloměru r_2 . Teplota T_1 ve skutečnosti kolísá. Tyto periodické kmity částečně utlumí materiál formy. Na poloměru r_2 mají hodnotu t_2 .

Pro stacionární vedení tepla válcovou stěnou platí rovnice:

$$Q_t = \frac{2\pi \cdot \lambda_L \cdot L / t_1 - t_2 /}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

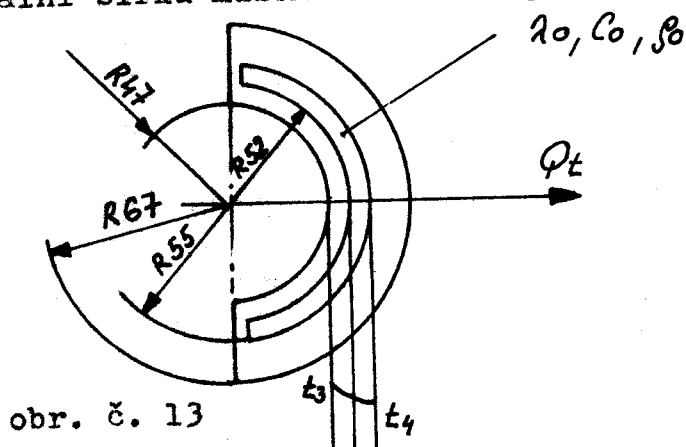


obr. č. 12

- t_1 ... průměrná teplota vnitřního povrchu formy
 t_2 ... průměrná teplota vnějšího povrchu formy
 L ... výška formy
 r_2 ... vnější poloměr formy
 r_1 ... vnitřní poloměr formy

4.2.2 Výpočet tepla odvedeného chladičem

V případě provedení chladiče dle obr. č. 13 se jedná o vedení tepla válcovou stěnou a dále nucenou konvekci v zakřiveném kanále, který pro svojí minimální šířku můžeme uvažovat porozvinutí jako plochý kanál.



obr. č. 13

Zanedbáme-li odvod tepla víkem kanálu a budeme-li uvažovat teplosměnnou plochu $S = L' / 1_2 + 2 h_3 /$ platí pro vedení tepla stěnou chladiče vztah:

$$Q = \frac{\lambda_0}{h_2} S / t_3 - t_4 / \quad /2/$$

Pro turbulentní proudění v trubkách a kanálech platí:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad /3/$$

vztah platí v rozsahu $Re > 10^4$ a $Pr = 0,7 \div 2500$

$$\text{kde } Re = \frac{v_w \cdot d_e}{\nu_w} \quad /4/ \quad \text{a } Nu = \frac{\alpha \cdot d_e}{\lambda_w} \quad /5/$$

Jedná se o plochý kanál dosadíme tedy ze určovací délku ekvi-

$$\text{valentní } \varnothing d_e = \frac{4f}{u} = 0,00586 \text{ m} \quad /6/$$

u ... smáčený obvod

f ... průřez kanálu

Vzhledem k malé délce $L' < 50d$ je nutné brát ohled na tepelnou stabilizaci. Během této stabilizace se mění vzhledem k proměnnosti proudových a tepelných poměrů místní součinitel přestupu tepla α_x podle délky potrubí v důsledku toho i střední součinitel přestupu tepla .

Je třeba provést korekci $f = f\left(\frac{L'}{d_e}\right)$ /7/

Potom $\alpha' = \alpha \cdot f$ /8/ je výsledný součinitel přestupu tepla.

Z rovnice $Q_t = \alpha' S / t_4 - t_5$ /9/ lze určit střední teplotu chladicí vody t_5 . Teplotu stěny chladiče volíme $t_4 = 80^\circ\text{C}$ a obdržíme průměrnou teplotu chladicí vody $t_5 = 60,6^\circ\text{C}$.

Spád mezi stěnou chladiče a proudem chladicí vody musí být $19,4^\circ\text{C}$.

Teplosměnnou plochu S vypočteme jako plochu desky o rozměrech $/l_2 + 2 h_3/$ $L' = S$ /10/

Rychlost proudění chladicí kapaliny v chladičím kanále volíme 1 m/s .

Počet chladičích segmentů $i = 2$

Rozměry chladiče: $L' = 0,2 \text{ m}$... délka chladiče
 $h_2 = 0,005 \text{ m}$... tloušťka chladiče
 $h_3 = 0,003 \text{ m}$... výška kanálu
 $l_2 = 0,132 \text{ m}$... šířka chladičího kanálu
po dosazení: $c_w = 4196,4$ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
 $\rho_w = 971,8$ kg m^{-3}
 $\nu_w = 0,365 \cdot 10^{-6}$ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
 $\lambda_w = 0,669$ $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$

Z rovnice /4/ vypočteme $Re = 16054$

$$Pr = \frac{v_w \cdot c_w \cdot \rho_w}{\lambda_w} = 2,224$$

$$\text{dle rovnice /3/ } Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 73,36$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_e}{\lambda_w} \rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{d_e} = \frac{73,36 \cdot 0,669}{0,00586} = 8\,735,98 \quad Wm^{-2} K^{-1}$$

podle vztahu /7/ provedeme korekci na délku kanálu

$$\frac{L'}{d_e} = 28,498 \quad \text{a dle grafu } f = 1,06$$

$$\text{Konečný součinitel přestupu tepla } \alpha' = \alpha \cdot f = 8\,961,33 \quad Wm^{-2} K^{-1}$$

Množství tepla odvedené jedním segmentem vypočítáme ze vztahu

$$Q_t = \alpha' \cdot S \cdot \Delta t = 8961,33 \cdot 0,023 \cdot 19,4 = 4\,000 \text{ W} = 4 \text{ kW}$$

Z á v ě r

Odvedené teplo pro oba segmenty je srovnatelné s 8 000 W, to znamená, že chladiče dostatečně ochladí tvarovanou lahev. Toto platí pro jednu sekci.

4.2.3 Výpočet vzduchové mezery

V případě, že uvažujeme vedení tepla neprůteplivým materiálem jedná se o vedení tepla válcovou stěnou, kterou pro zanedbatelnou šířku můžeme po rozvinutí uvažovat jako rovinnou stěnu.

V případě vzduchové mezery musíme počítat se sáláním tepla. V případě, že použijeme jako izolační materiál azbestovou fólii sálání tepla odpadá.

$l = 147,65 \text{ mm}$ - šířka vzduchové
mezery

$$\lambda_o = 62 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$r_1 = 36 \text{ mm}$..vnitřní poloměr formy

$r_2 = 47 \text{ mm}$..vnější poloměr formy

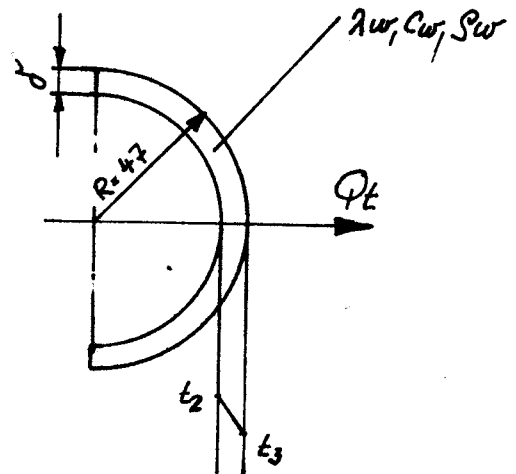
$\lambda_L = 40 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ tepelná vodivost
formové litiny nelegované

.. tloušťka vzduchové mezery

c_{23} ..součinitel vzájemného osálá-
ní mezi formou a chladičem

$L = 0,2 \text{ m}$.. délka teplosměnné

plochy



obr. č. 14

Pro stacionární vedení bude platit:

$$Q_t = \frac{\lambda_L}{\delta} \cdot l \cdot L / t_2 - t_3 / + c_{23} \cdot l \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right] / 12$$

Výpočet teplot t_2 a t_3

$$\text{dle rovnice } Q_t = \frac{\lambda_o}{h_2} S / t_3 - t_4 / \Rightarrow t_4 = \frac{Q_t \cdot \frac{\lambda_o}{h_2} \cdot S \cdot t_4}{\frac{\lambda_o}{h_2} \cdot S} = 92,6^\circ \text{C}$$

$S = 0,051 \text{ m}^2$... teplosměnná plocha

dle rovnice

$$Q_t = \frac{2\pi \lambda_L \cdot L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} / t_1 - t_2 / \Rightarrow t_2 = 457,66^\circ \text{C}$$

Při výpočtu součinitele o sálání vyjdeme ze vztahu pro 2 ro-
vinné rovnoběžné plochy, které jsou značně veliké relativně
k jejich vzdálenosti

$$c_{23} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \cdot c_o = 3,27 \text{ W}$$

ε ... součinitel poměrné pohltivosti

$\varepsilon_1 = 0,65$... forma litinová soustružená

$\varepsilon_2 = 0,8$... ocel oxidovaná

$c_0 = 4,96 + 1,16 [W]$... součinitel sálání dokonale černého tělesa po dosažení de rovnice /12/ za součinitel osálání vychází tloušťka izolace

$\delta = 0,115 \text{ mm}$... pro vzduchovou izolaci

$\delta = 0,123 \text{ mm}$... pro azbestovou izolaci

4.2.4 Kontrola teploty chladicí vody

$w_2 = 1 \text{ m/s}$... rychlost volená v chladicím kanále

S_1 ... průřez vstupního kanálu

S_2 ... průřez chladicího kanálu

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,26 \text{ mm}^2 \cdot 2 = 100,52 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 132 \cdot 3 = 396 \text{ mm}^2$$

$D = 8 \text{ mm}$... průměr vstupního potrubí

Při výpočtu vyjdeme z rovnice kontinuity

$$S_1 \cdot w_1 = S_2 \cdot w_2 \quad /13/$$

$$w_1 = \frac{S_2 \cdot w_2}{S_1} = \frac{396}{100,52} \cdot 1 = 3,81 \text{ m/s} \quad \text{rychlost ve vstupním potrubí}$$

Pro kontrolu kapaliny na bod varu vyjdeme ze vztahu:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad /14/$$

$$\dot{m} = S_2 \cdot \rho_{H_2O} \cdot w_2 = 1 \cdot 1000 \cdot 0,000396 = 0,396 \text{ kg/s}$$

Z rovnice /14/

$$\Delta t = \frac{Q}{m \cdot c}$$

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{m \cdot c} \quad t_1 = \frac{Q + mc \cdot t_2}{m \cdot c} = \frac{8000 + 0,396 \cdot 4186 \cdot 40}{0,396 \cdot 4186} =$$

$$t_1 = 44,82^\circ\text{C}$$

$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pro rozsah teplot $0 - 100^\circ\text{C}$ = měrné teplo vody

$t_2 \dots$ teplota vstupní chladicí vody = 40°C

$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$... měrná hmotnost vody

4. 3 Shrnutí zjištěných výsledků

Výpočtem byla získána základní informace o rozdělení teploty uvnitř vedení chlazené formy.

Pro výchozí a vypočítané parametry byla zjištěna teplota

$$t_2 = 457,66^\circ\text{C}.$$

tloušťka izolační vrstvy $\delta = 0,123 \text{ mm}$ pro azbest

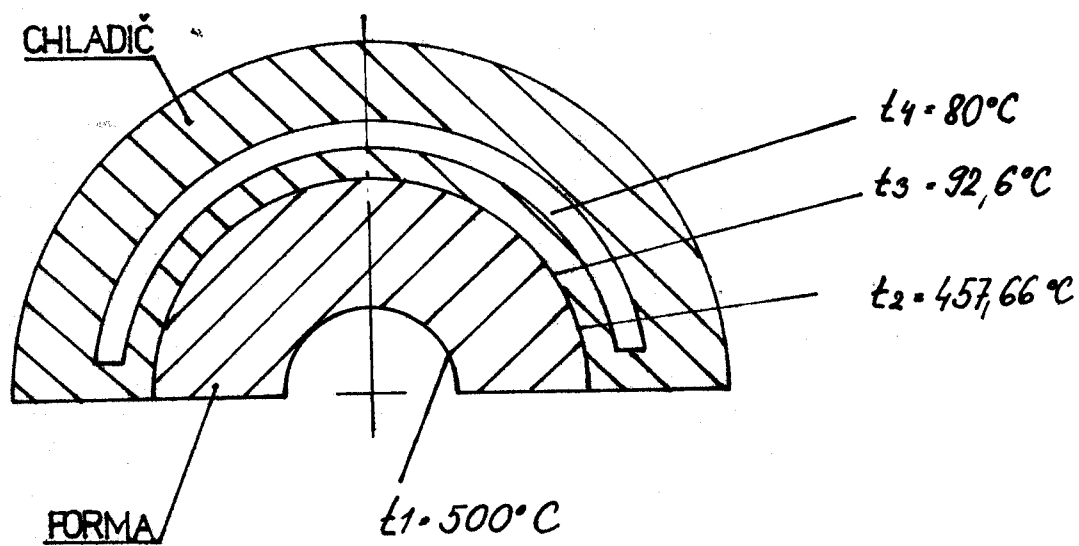
$\delta = 0,115 \text{ mm}$ pro vzduch - toto je náš

případ

Pro střední teplotu stěny chladiče $t_4 = 80^\circ\text{C}$ byla nalezena teplota povrchu chladiče $t_3 = 92,6^\circ\text{C}$.

Teplota vstupní chladicí vody byla navržena 40°C . Kontrolu chladicí vody na bod varu a součinitele přestupu tepla bylo zjištěno, že voda o výchozí teplotě 40°C po projití chladícím kanálem zvýší teplotu na $44,82^\circ\text{C}$ tzn. nedosáhne bodu varu a ani součinitel přestupu tepla nedosáhne extrémních hodnot.

Pro turbulentní proudění a $w = 1 \text{ m/s}$ $\alpha = 8961,33 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Můžeme říci, že takto navržená forma splňuje všechny kladené požadavky.



obr. č. 15

5. Ekonomické zhodnocení

V současné době se stává spotřeba elektrické energie jedním z nejdůležitějších ukazatelů při celkovém hodnocení stroje. U strojů na výrobu obalového skla představuje ventilátor na výrobu chladícího vzduchu největší spotřebič elektrické energie. Je-li spotřeba chladícího vzduchu u stroje AL 118 cca $30\,000\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ a příkon ventilátorů 130 KW pak při ceně 0,30 Kčs na 1 KWh a nepřetržitém provozu by byla cena chladícího vzduchu bez prostojů a oprav 341 640 Kčs.

Podstatnou nevýhodou chlazení ventilátorovým vzduchem je značná hlučnost 90 dB a více. Přitom je známo, že povolená hranice hlučnosti je 85 dB. Z těchto údajů vyplývá, že práce u stroje AL 118 je fyzicky a psychicky vysoce náročná. Naším hlavním cílem proto musí být zbavit člověka této tělesné námahy.

U navrhované metody chlazení kapalinou, představuje příkon čerpadla jen nepatrnou část celkového příkonu. Příkon čerpadla je cca 0,12 KW na jednu formu. Při tomto způsobu chlazení se musí k celkovému příkonu čerpadla přičíst ještě jedna třetina příkonu pro ventilátor stroje chlazeného vzduchem.

Tento vzduch se spotřebuje na chlazení lahví na odstávce. Celkově činí spotřeba elektrické energie oproti spotřebě u zařízení chlazeného vzduchem 34%. U chlazení vodním oběhem bude provedení formy i držáků komplikovanější a navíc je třeba zařízení k ochlazení vody, což představuje další spotřebu energie. Na druhé straně je výhodou nehlučnost, čistota i možnost

využití odpadního tepla.

Chladicí voda musí být upravena. Zde se nabízí možnost využití upravené kotlárenské vody. Její spotřeba bude malá a to z toho důvodu, že pro uvažovaný uzavřený oběh vody nepředpokládáme velké ztráty vody.

Celkově v porovnání se způsobem chlazení vzduchem je spotřeba energie při chlazení vodou podstatně nižší. Hlavními výhodami zařízení na chlazení forem vzduchem je jeho nízká pořizovací cena a jednoduchá konstrukce. Na rozdíl od toho kapalinou chlazená forma má značně složitější konstrukci a tím i vyšší pořizovací a provozní náklady, přesto je toto zařízení podle dostupné zahraniční literatury provozně asi 5krát levnější, protože se vykazuje nižší spotřebou elektrické energie pro svůj provoz, zvýšením výrobnosti stroje, snížením hlučnosti, což z hlediska tvorby životního prostředí je velmi významné, důležitá je možnost využití odvedeného tepla z forem pro různé účely, což u chlazení vzduchem není možné.

6. Závěr

Nadměrný hluk a efektivnost výroby jsou aktuálními problémy sklářského průmyslu. Protože požadavky na množství skleněných obalů neustále rostou, je nutné každoročně zvyšovat výrobu.

To znamená, že je třeba průběžně zvyšovat produktivitu sklářských automatů, která souvisí s dokonalostí chlazení forem.

Jedním z perspektivních způsobů chlazení je oběhové chlazení vodou, které již bylo provozně ožkoušeno. Vodou proto, že je dostupná a z hlediska hygieny a bezpečnosti práce nezávadná.

Navrhované provedení chlazení sklářských forem se vyznačuje snadnou manipulací s formami. Nevýhodou je náročnost na přesné obrobení forem a jejich plášťů. V navrženém použití také nelze využít změny tloušťky vzduchové izolace k seřízení tepelného režimu formy. Chladicí proces lze provozně regulovat změnou rychlosti a teploty chladicí vody. Oběhové chlazení vodou se vyznačuje nízkou hlučností, energetickou náročností, možností využití odpadního tepla. Na druhé straně provedení formy a držáku je komplikovanější než u chlazení vzduchem.

Zatím je řešena pouze válcová část formy. Další části budou předmětem dalších prací. To se týká i řešení celého obvodu včetně využití odpadního tepla.

Na závěr bych chtěl poděkovat ing. Janu Cibulkovi za odborné vedení práce a konzultantovi s. ing. Mazánkovi za cenné připomínky k řešení.

Seznam použité literatury

1. Patent Fr. 241 333 1 Owems Refroidissement par fluide des moules de formage
2. Patent Fr. 79 25842 Demande de Brevet d' invention
3. Sýkora, K.: Základy sdílení tepla
Skripta VŠST, SNTL Praha 1962
4. Glastechnische Berichte 53, 1980, č. 11
5. Urbášek, J.: Tabulky a diagramy
Skripta VŠST Liberec, Liberec 1976
6. Krsek, L.: Zvyšování účinnosti chlazení forem
DP 371/81 VŠST Liberec
7. Kudrnáč, M.: Chlazení forem
DP 047/83 VŠST Liberec