

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra sklářských a keramických strojů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program 2301 T strojní inženýrství



Studijní obor: Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Sklářské a keramické stroje

Dávkování barvítek do čiré skloviny

KSK – 188 10

Petr KAULFUSS

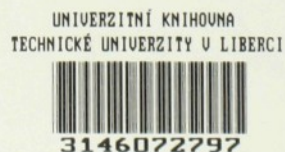
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Cibulka, CSc.**

Konzultant diplomové práce: **Ing. Zdeněk Waldhauser**

Rozsah diplomové práce:

Počet stran:	42
Počet tabulek:	8
Počet obrázků:	23
Počet výkresů:	6
Počet příloh:	1
Počet modelů:	0

Datum odevzdání: 28. 5. 2004





TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra sklářských a keramických strojů

Studijní rok: 2003/2004

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Petr Kaulfuss**

studijní program **M2301 a N2301 Strojní inženýrství**

obor **2302T010 Konstrukce strojů a zařízení**

zaměření **Sklářské a keramické stroje**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Dávkování barvítek do čiré skloviny

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

Dávkování barvítek do čiré skloviny ve feedru tavicího agregátu je prováděno v Crystalexu a. s. sypáním barvítka do barvicí zóny feedru s následným tavením barvítka a mícháním barvené skloviny. Otop feedru je plynový. Tento způsob barvení skloviny není z hlediska kvality produkce zcela vyhovující. Předpokládá se, že výsledkem řešení bude tavení barvítka již v dávkovací komoře a přechod na elektrický otop.

Úkolem Vaší DP bude:

1. Provést rozbor současného stavu barvení skloviny a formulaci technických požadavků na řešení.
2. Zpracovat alternativní návrh možností řešení nové dávkovací komory s výběrem optimální varianty.
3. Konstrukčně vyřešit zvolenou koncepci dávkovací komory pro objemový průtok barvítka 1 – 3 kg/hod při teplotě 1280 °C formou sestavných výkresů a podsestav hlavních uzlů.
4. Zhodnotit technickoekonomický přínos navrženého řešení.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva 40 - 50 stran textu vč. výpočtů
- grafické práce výkresová dokumentace dávkovací komory

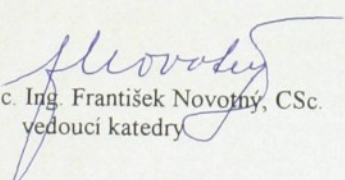
Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

Firemní materiály Crystalex, a. s.

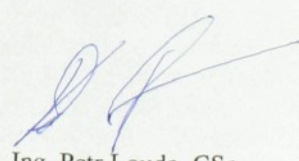
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Cibulka, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Zdeněk Waldhauser , Crystalex, a. s. Nový Bor

L.S.


Doc. Ing. František Novotný, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Petr Louda, CSc.
děkan

V Liberci dne 27. 10. 2003

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Liberci dne 28. 5. 2004

Petr Kaulfuss

Petr KAULFUSS

TÉMA: Dávkování barvitek do čiré skloviny

ANOTACE:

Diplomová práce se zabývá náhradou současného, nevyhovujícího způsobu dávkování barvitek novým způsobem, který spočívá v předtavení barvítka v tavicí komoře. Práce předkládá konstrukční řešení zařízení, v kterém dochází k natavení barvítka a následně k nadávkování barvítka do čiré skloviny .

THEME: Batching the colour frits into clear glass

SUMMARY:

The dissertation occupies with the replacement of current, inconvenient method of the colour frits batching with a new method, which is based on pre-melting of the colour frits in the melting chamber. The work presents a structural design of the device, in which the melting of the colour frits and subsequently the colour frits batching into clear glass is performed .

THEMA : Dosierung von "colour frits" in pure Glasmasse

ZUSAMMENFASSUNG :

Die Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Ersatz der gegenwärtigen, nicht geeigneten Methode der Dosierung von "colour frits" durch die neue Methode, die im Vorschmelzen von "colour frits" in der Schmelzkammer besteht. Die Arbeit legt die Konstruktionslösung der Anlage vor, in der zum "colour frits" - Zerschmelzen und folgend zur Dosierung von "colour frits" in pure Glasmasse kommt.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Cibulkovi, CSc. z Katedry sklářských a keramických strojů, Technické univerzity v Liberci za odborné vedení.

Současně děkuji panu Ing. Zdeňku Waldhauserovi a Ing. Milanu Jakešovi za poskytnutý čas a cenné připomínky v průběhu řešení diplomové práce.

OBSAH

Seznam použitých symbolů a značek	8
Úvod	10
1. Rozbor současného stavu	11
1.1. Proces barvení	11
1.2. Formulace technických požadavků	13
1.2.1. Feeder	13
1.2.2. Dávkovací zařízení	13
1.2.3. Barvítko	13
2. Alternativní návrhy řešení	14
2.1. Tavicí komora	14
2.1.1. Přímé vytápění Pt – komora	14
2.1.2. Nepřímé vytápění komora	15
2.1.3. Rozhodovací analýza pro tavicí komoru	16
2.2. Výtok a regulace výtoku barvítko	17
2.2.1. Svodná tyč	17
2.2.2. Hradicí kámen	18
2.2.3. Rozhodovací analýza pro výtok barvítko	19
2.3. Volba tvaru výtokového otvoru	20
2.4. Výběr varianty pro konstrukční řešení	21
3. Konstrukční řešení	22
3.1. Přehled výkresové dokumentace	22
3.2. Popis dávkovacího zařízení	23
3.2.1. Tavicí komora	24
3.2.2. Topné moduly	24
3.2.3. Izolace	25
3.2.4. Přídavné zařízení	26
3.2.5. Hradicí kámen	27
3.2.6. Termočlánek	27
3.2.7. Hladiněměr	28
3.2.8. Proces barvení	28
3.3. Výpočet výtoku barvítko	29
3.4. Tepelné výpočty	33
4. Technickoekonomické zhodnocení	40
Závěr	41
Seznam použité literatury	42

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

Značka	Jednotka	Veličina
a	$(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	teplotní vodivost
a	(m)	šířka
A	$(-)$	charakteristický rozměr průtočného průřezu
b	(m)	délka
B_i	$(-)$	Biotovo kritérium
c_p	$(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	střední měrné teplo
C	$(-)$	tvárová konstanta
d	(m)	průměr
d_r	(m)	redukovaný průměr
h	(m)	výška
F_o	$(-)$	Fourierovo kritérium
K	$(-)$	tvárová konstanta
l	(m)	délka výtoku
m	(kg)	hmotnost
O	(m)	obvod
P	(m^2)	plocha
Δp	(Pa)	hydrostatický tlak
r	(m)	poloměr
Q	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	objemový průtok
$Q_{\max}$	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	max. objemový průtok
$Q_{\min}$	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	min. objemový průtok
Q	(J)	teplo
$\dot{Q}$	(W)	tepelný tok
$\dot{Q}$	(W)	tepelný výkon
s	(m)	tloušťka stěny
S	(m^2)	plocha
t	$(^\circ\text{C})$	teplota
t_b	$(^\circ\text{C})$	teplota barvítka
t_r	$(^\circ\text{C})$	teplota výhřevu
t_o	$(^\circ\text{C})$	teplota frity
t_v	$(^\circ\text{C})$	teplota vzduchu (okolí)
T	(K)	termodynamická teplota
V	(m^3)	objem

α	$(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$	součinitel přestupu tepla
η	$(Pa \cdot s)$	dynamická viskozita
λ	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	práva tepelná vodivost
λ_{ef}	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	efektivní tepelná vodivost
λ_r	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	radiační tepelná vodivost
ρ	$(kg \cdot m^{-3})$	hustota
τ	(s)	čas

ÚVOD

Sklářský podnik Crystalex a.s. v Novém Boru má v Čechách a v zahraničí již skoro šedesátiletou tradici. Crystalex je firmou s velice širokým výrobním sortimentem. Zahrnuje ruční i strojní výrobu nápojového a dekorativního skla, broušený olovnatý křišťál a řadu výrobků s aplikací různých dekoračních technik. Výrobky jsou dodávány do celého světa pod ochrannými známkami Bohemia a Bohemia Heritage.

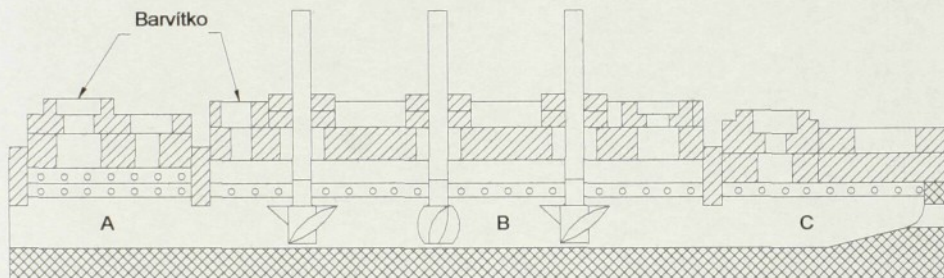
Diplomová práce vychází z požadavků závodu v Hostomicích u Teplic a zabývá se dávkováním barvitek do čiré skloviny. Rozbor provozních výsledků ukazuje na nutnost náhrady stávajícího, nevyhovujícího způsobu dávkování barvitek novým způsobem, který spočívá v předtavení barvitek v dávkovací komoře za předpokladu vyloučení současného plynového otopu feedru.

Práce se zabývá vhodnou alternativou konstrukčního provedení tak, aby zařízení bylo co možná nejjednoduššího, kompaktního provedení s minimálními prostorovými nároky, které umožní flexibilní využití v jiných feedrech v rámci a.s. Crystalex.

V souladu se zadáním se diplomová práce dělí do čtyř kapitol. V první kapitole je proveden rozbor současného stavu barvení skloviny a formulace technických požadavků na řešení. V druhé kapitole jsou zpracovány alternativní návrhy možností řešení dávkovací komory s výběrem vhodné varianty. Třetí kapitola předkládá konstrukční řešení vybrané varianty včetně příslušných výpočtů. Závěrečná kapitola se zabývá zhodnocením technickoekonomického přínosu navrženého řešení.

1. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

K utavení sklářské vsázky je použita elektrická odporová pec s výkonem až 12 tun skloviny za den. Na pracovní prostor pece jsou napojeny čtyři žlaby dávkovačů. Barvení mateční skloviny se provádí na feedru s výrobním označením L11-Cx italské firmy Glass – Service (obr.1.1), který se z technologického hlediska dělí do tří zón. A to na zónu barvicí, míchací a ustalovací. V barvicí zóně, jak už její název říká, má docházet k vnášení barvítka do skloviny. V praxi se však barvítko vnáší na začátku zóny míchací. V míchací zóně dochází k mechanické homogenizaci pomocí tří míchadel tak, aby byla zaručena požadovaná homogenita barvy a sytost skloviny. Míchadla jsou umístěna za sebou ve směru toku skloviny. V poslední zóně se sklovina ustaluje a dávákuje.



Obr. 1.1 Feeder L11- Cx

A – barvicí zóna, B – míchací zóna, C – ustalovací zóna

1.1. PROCES BARVENÍ

Ve výrobě dochází k procesu barvení 3x až 4x během roku v závislosti na poptávce po výrobku.

Jako barvítko se používá barevné sklo ve formě malých střípků, které jsou umístěny v zásobníku nad feedrem, odkud se barvítko dávákuje na váhu. Tady dojde k odvážení nastaveného, potřebného množství barvítka a současně dochází ke kontrole množství barvítka dodaného ze zásobníku, případně dojde ke korekci dávky. Po odvážení se barvítko pomocí vibračního dopravníku dopraví nad barvicí resp. míchací zónu feedru a skrz přidavné zařízení volně padá na mateční sklovinu, kde na hladině dochází k utavení barvítka. V míchací zóně se poté barvítko pomocí míchadel rozmíchá do celého objemu skloviny.

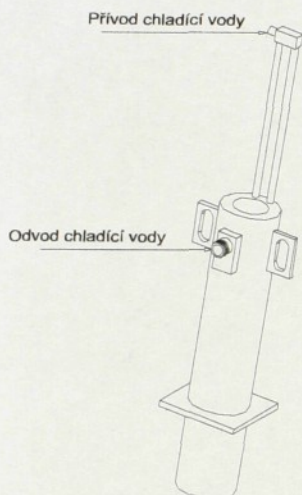
Přidavné zařízení (obr.1.2) je umístěno v otvoru, který se vytvoří odebráním horní vyzdívky feedru v barvicí zóně. V podstatě jde o trubku definované tloušťky s chlazeným pláštěm.

Chlazení je zajištěno vzduchem, nebo vodou a má zabránit případnému přilepení se barvítka na stěnu zařízení. V případě vodního chlazení proudí chladicí médium v trubkách uložených do spirály v plášti.

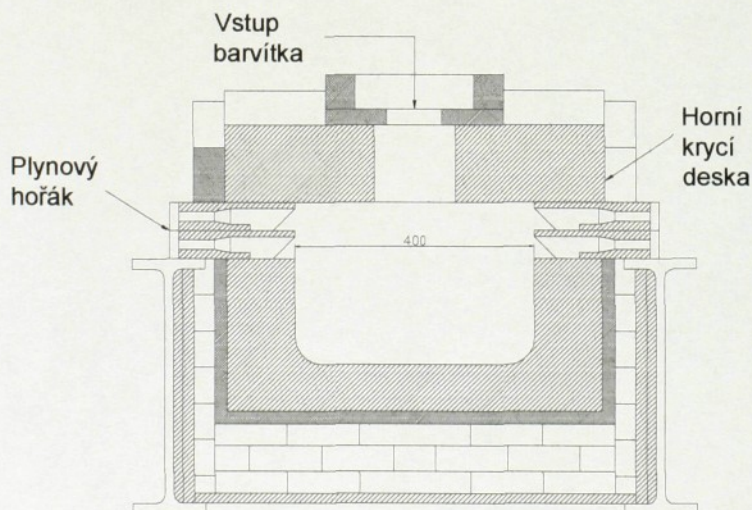
Oba způsoby chlazení vykazují určité nedostatky, které mají vliv na kvalitu barvení.

Při prvním způsobu chlazení, kdy vzduch proudí po vnější stěně zařízení, dochází k zachlazení povrchu skloviny ve feedru, což je z technologického hlediska nevhodné.

V případě vodního chlazení je zachlazení povrchu skloviny menší, ale často dochází k závadám na rozvodu chladicí vody, což mělo za následek i vniknutí vody do prostoru samotného feedru.



Obr. 1.2 Vodou chlazené přídavné zařízení



Obr. 1.3 Řez feedrem v barvicí zóně

1.2. FORMULACE TECHNICKÝCH POŽADAVKŮ

Výsledkem má být zařízení s funkcí předtavení barvítka a jeho následného dávkování. Zařízení má být kompaktního provedení s minimálními prostorovými nároky, které umožní případné flexibilní využití i na jiných feedrech v rámci a.s. Crystalex.

1.2.1. Feeder

- výkon 1 – 4 tuny barevného skla/den
- předpoklad náhrady plynového otopu feedru elektrickým
- teplota v barvicí zóně 1280 °C
- šířka feedru 400 mm

1.2.2. Dávkovací zařízení

- předeřev a natavení barvítka
- množství dávkovaného barvítka 1 – 3 kg/hod.
- výtok nejbližše hladině

1.2.3. Barvítko

- modrá a zelená fritra

Tab.1.1 Základní fyzikální vlastnosti barvítka

Barva	Hustota (g.cm ⁻³)	Atmosféra	Trans.tepl. (°C)	Tepl. měknutí (°C)
Modrá FV211	2,58	oxidační	505	550
Zelená FV608	2.55	oxidační	465	535



Obr.1.4 Modrá fritra FV211

2. ALTERNATIVNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ

2.1. TAVICÍ KOMORA

V tavicí komoře bude docházet k předtavení barvítka na teplotu vhodnou k jeho vnášení do čiré skloviny. Roztavené barvítko bude v přímém kontaktu s vnitřními stěnami tavicí komory a vnější stěny budou případně vystaveny vlivu teplot topného elementu.

2.1.1. Přímě vytápěná Pt - komora

Volba vychází z dobrých termochemických vlastností platinových materiálů v kontaktu s různými sklářskými materiály. Další výhodou jsou dobré termomechanické hodnoty při teplotách nad 1500 °C. Podobná zařízení vykazují i dlouhou životnost.

Pro platinové materiály se mohou použít procesy spojování a přetváření jako u železných a neželezných materiálů. Běžné nízkolegované platinové materiály mohou být spojeny tavným svařováním, protože neoxidují. U tohoto procesu je třeba dávat pozor aby disperzoidy nekoagulovaly a nevyplavovaly se.

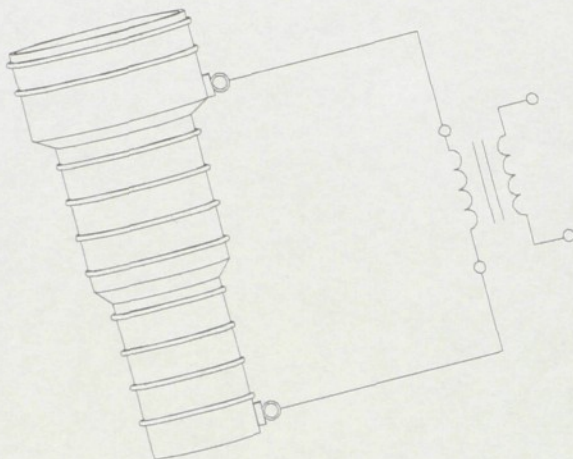
Spojení prostřednictvím tupého svaru může vést k redukci pevnosti. Zvětšením plochy průřezu v oblasti spoje je možné tuto ztrátu pevnosti vykompenzovat. Při svařování koutovými svary se povrch částečně roztaví, ztráta pevnosti se může potlačit vhodným výběrem tloušťky plechu. Pokud je požadavek, aby spoj vydržel vysoké termické a mechanické zatížení, tak je nutné upřednostnit tlakové nebo kovářské svařování.

Individuální tvarování produktu, stejně tak nízký počet kusů, vyžaduje univerzální proces přetváření. Proto se výrobky vytváří z plechů, trubek a jiných profilů. Při zpracování těchto materiálů, mimo válcování a tažení, patří tlakové a ohýbací operace k nejčastěji používaným metodám přetváření.

V navrhovaném řešení na obrázku 2.1 je znázorněno provedení zařízení zhotoveného z materiálu 16PtRh10. Komora je vytvořena z plechů kruhového průřezu. V důsledku vysokého tepelného zatížení jsou konce plechů spojeny prostřednictvím kovářského svaru. Po obvodu komory se nacházejí konstrukční drážky, vytvořené pomocí vytlačovacího kolečka, které vyztužují konstrukci a přispívají tím k vyšší tvarové stálosti komory. Usazení drážky u dna komory umožní přesazení svarového spoje. Změna průměru dovoluje posazení komory do horní krycí desky feedru.

K ohřevu komory, a následně i k tavení barvítka dochází v důsledku přímého průchodu elektrického proudu konstrukcí komory.

Nevýhodou navrhovaného řešení jsou velmi vysoké pořizovací náklady.

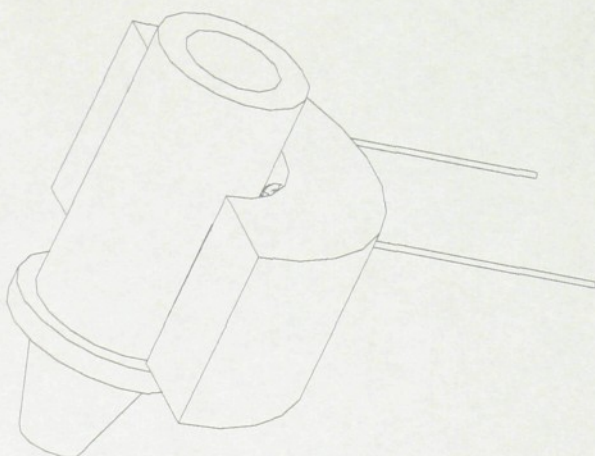


Obr. 2.1 Přímě elektricky vytápěná Pt – komora

2.1.2. Nepřímě vytápěná komora

Navrhované řešení, zobrazené na obrázku 2.2., se skládá z tavicí komory a topných modulů.

Komora je zhotovena z keramického materiálu, který je vhodný pro přímý kontakt s roztavenou sklovinou. Zdroj tepla zprostředkují topné moduly SUPERTHAL fy.KANTHAL, které jsou umístěny okolo vnějšího pláště válcové části komory.



Obr.2.2 Nepřímě vytápěná komora.

2.1.3. Rozhodovací analýza pro tavicí komoru

K výběru konečné varianty pro navrhovaná řešení je použita rozhodovací analýza. Tato metoda patří do kategorie heuristických. Účelně spojuje přednosti empirického a exaktního rozhodování.

Princip rozhodovací analýzy spočívá v několika postupných krocích, kdy je nejprve sestaven soubor hodnotících kritérií užitelnosti (popř. rizik). Jednotlivým variantám je přiřazeno hodnocení daného kritéria ze stobodové stupnice. Pro posouzení závažnosti kritérií je sestaveno pořadí pomocí metody párového srovnání a následně je jim přiřazena váha. Poté je počítán vážený průměr ze vztahu

$$U_i = \frac{\sum w_j \cdot x_{ij}}{n}$$

kde

j počet kritérií

U_i užitnost i-té varianty v absolutním vyjádření

w_j váha j-tého kritéria

x_{ij} hodnota j-tého kritéria i-té varianty

i označení variant

Pro lepší porovnání variant je použita užitnost v relativním vyjádření ve vztahu k absolutně ideální variantě splňující všechna kritéria na 100 bodů.

Pro rozhodovací analýzu volby tavicí komory byla zvolena kritéria :

1. konstrukční jednoduchost
2. náklady na realizaci
3. životnost
4. zásah do konstrukce feedru

a zvolené varianty

2.1.1. přímo vytápěná Pt - komora

2.1.2. nepřímá vytápěná komora

Tab. 2.1 Rozhodovací analýza

Párové srovnání alternativ				Matice užíttnosti alternativ			
Varianta				2.1.1.		2.1.2.	
číslo	počet voleb	pořadí významnosti	váha	Hodnota		Hodnota	
				prostá	vážená	prostá	vážená
1.	3	1	4	95	380	85	340
2.	1	3	2	60	120	90	180
3.	2	2	3	90	270	70	210
4.	0	4	1	50	50	50	50
Celkem					820		780
Užíttnost v relativním vyjádření [%]					82%		78%
Pořadí alternativ podle užíttnosti					1.		2.

Provedenou rozhodovací analýzou se jeví jako výhodnější varianta 2.1.1, tedy Pt – komora.

Výše finančních nákladů na pořízení takového zařízení ovšem nesplňuje představy zadavatele diplomové práce, proto je zvolena jako vhodnější varianta řešení nepřímo vytápěná komora.

2.2. VÝTOK A REGULACE VÝTOKU BARVÍTKA

Přímý výtok barvítko z komory je nepřipustný, jelikož při dopadu roztaveného barvítko na mateční sklovinu by docházelo tvorbě vzduchových bublin. Je tedy zapotřebí svést vytékající barvítko na hladinu skloviny.

2.2.1. Svodná tyč

Navrhované řešení je zobrazeno na obrázku 2.3. Keramická tyč s poplatinovaným pláštěm v dolní polovině je umístěna v ose komory a současně v ose výtokového otvoru. Spodní konec je ponořen do mateční skloviny. Barvítko stéká po plášti tyče na hladinu skloviny.

Proměnný průřez tyče je využit k regulaci výtoku barvítko. Při vertikálním posuvu tyče bude docházet změně rozměru výtokového otvoru. Množství vytékajícího barvítko bude dáno vzorcem :

$$Q = \frac{C \cdot r_1 \cdot r_2^3 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

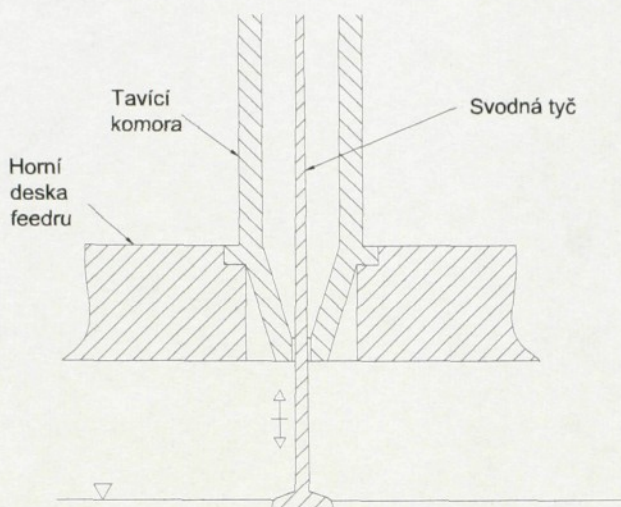
C tvarová konstanta

r₁,r₂rozměry otvoru (r₁>r₂) (m)

Δp hydrostatický tlak (Pa)

η dynamická viskozita (Pa.s)

l délka výtoku (m)



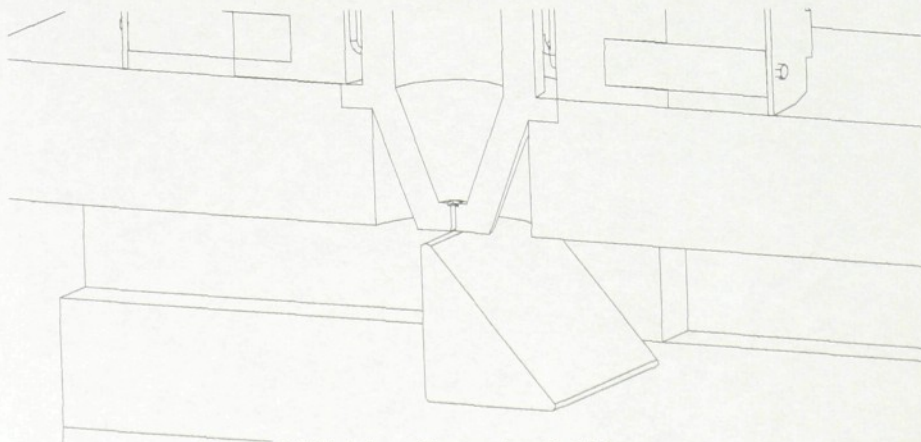
Obr. 2.3 Výtok prostřednictvím svodné tyče

Nevýhodou je přítomnost dalšího zařízení na zprostředkování lineárního pohybu tyče.

2.2.2. Hradicí kámen

Řešení, vyobrazené na obrázku 2.4, spočívá v umístění hradicího kamene do prostoru feedru pod výtok z tavící komory. Natavené barvívko bude stékat po šikmé, poplatinované ploše hradicího kamene na hladinu mateční skloviny.

Množství vytékajícího barvívka bude regulováno dynamickou viskozitou, která se bude měnit v závislosti na teplotě, tzn. při konstantním rozměru výtokového otvoru a potřebném množství barvívka stanovíme teplotu, resp. viskozitu vytékajícího barvívka.



Obr. 2.4 Výtok barvívka na hradicí kámen

2.2.3. Rozhodovací analýza pro výtok barvítk

Pro rozhodovací analýzu volby tavící komory byla zvolena kritéria

- 1. konstrukční jednoduchost
- 2. prostorové nároky
- 3. náklady na realizaci
- 4. zásah do konstrukce feedru

a zvolené varianty

- 2.2.1. svodná tyč
- 2.2.2. hradicí kámen

Tab. 2.2. Rozhodovací analýza

Párové srovnání alternativ					Matice užítlosti alternativ			
Varianta					2.2.1.		2.2.2.	
číslo	počet voleb	pořadí významnosti	váha	Hodnota		Hodnota		
				prostá	vážená	prostá	vážená	
1.	3	1	4	60	240	95	380	
2.	2	2	3	70	210	90	270	
3.	1	3	2	65	130	80	160	
4.	0	4	1	70	70	50	50	
Celkem					650		860	
Užitnost v relativním vyjádření [%]					65%		86%	
Pořadí alternativ podle užítlosti					2.		1.	

Z rozhodovací analýzy v Tab. 2.2 vyplývá, že z navržených variant je nejvhodnější varianta 2.2.2., tedy výtok barvítk po šikmé ploše hradicího kamene.

2.3. VOLBA TVARU VÝTOKOVÉHO OTVORU

Obecně lze pro objemový průtok použít :

a) Hagen – Poiseuillův zákon

$$Q = \frac{\pi \cdot d_r^4 \cdot \Delta p}{2 \cdot A \cdot \eta \cdot l}$$

kde

- Δp ... hydrostatický tlak (Pa)
- η ... dynamická viskozita (Pa.s)
- l ... délka výtoku (m)

dále je ve vzorci charakteristický rozměr průtočného průřezu vyjádřen tzv. redukovaným průměrem d_r .

$$d_r = \frac{4 \cdot P}{O}$$

Hodnota koeficientu A závisí na tvaru průtočného profilu a pro jednotlivé profily bývá uvedena v různých hydrodynamických příručkách. Hodnoty koeficientu A se pro stejný průřez v různých literaturách liší. V tabulce 2.3 jsou uvedeny některé hodnoty koeficientu A.

Tab. 2.3. Hodnoty koeficientu A a d_r

Profil	d_r	A
kruh $\varnothing a$	a	64
čtverec o straně a	a	57
obdélník $a=2b$	$a/1,5$	62

Dále můžeme také použít následující vztah :

$$Q = \frac{K \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \eta \cdot l}$$

v podstatě se jedná pouze o jinou variantu Hagen – Poiseuillova zákona, kde

- Δp ... hydrostatický tlak (Pa)
- η ... dynamická viskozita (Pa.s)
- l ... délka výtoku (m)

Vzorec platí pro pravoúhlé průřezy. V tomto vzorci jsou vyjádřeny skutečné rozměry průtočného profilu: šířka a , výška b . Hodnota K závisí na poměru stran průtočného profilu ($a \geq b$). Hodnotu K je možno také stanovit ze vzorců :

$$K = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \frac{b}{a} \quad \text{nebo} \quad K = 1,0498 - 0,24 \cdot \frac{b}{a} - \frac{1,8243}{\frac{b}{a} + 1,7376}$$

kde koeficient $C=2/3$ (pro úzké štěrbiny)

Vzhledem k použití tzv. redukovaného průměru v Hagen-Poiseullově zákoně, jehož fyzikální význam není jasně definován a jehož hodnoty se liší dle použité literatury, je vhodnější použít druhý vztah, neboť se v něm vyskytují skutečné rozměry průtočného průřezu.

b) metodu konečných prvků

Simulace by se prováděla na vytvořeném numerickém modelu výtokového otvoru tavicí komory s vhodně zvolenými okrajovými podmínkami.

Závěr

Vzhledem k tomu, že se nám podařilo nalézt vhodnou verzi Hagen – Poiseullova zákona, použijeme jej. Jeho aplikace bude rychlejší než numerický model.

2.4. VÝBĚR VARIANTY PRO KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Výběr varianty pro konstrukční řešení se odvíjí od výsledků rozhodovacích analýz v předešlých kapitolách a z požadavků Crystalex a.s. Navržené konstrukční řešení se tedy bude skládat z :

- nepřímo vytápěné komory
- hradícího kamene
- Pt - trysky s otvorem pravoúhlého průřezu

3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Tato kapitola obsahuje konstrukční řešení vybrané varianty dávkovacího zařízení. V úvodní podkapitole je uveden přehled výkresové dokumentace. Následující podkapitola je věnována popisu zařízení. Příslušným výpočtům jsou věnovány samostatné podkapitoly. Použité materiály a komponenty jsou vybrány od výrobců spolupracujících s Crystalex a.s.

3.1. PŘEHLED VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Členění přiložené výkresové dokumentace je znázorněno na obr. 3.1., ze kterého je také patrné značení výkresů a vazby mezi jednotlivými výkresy. Sestavné výkresy obsahují kusovník buď přímo na výkrese, nebo je samostatně přiložen. Dokumentace obsahuje jen vybrané výkresy.

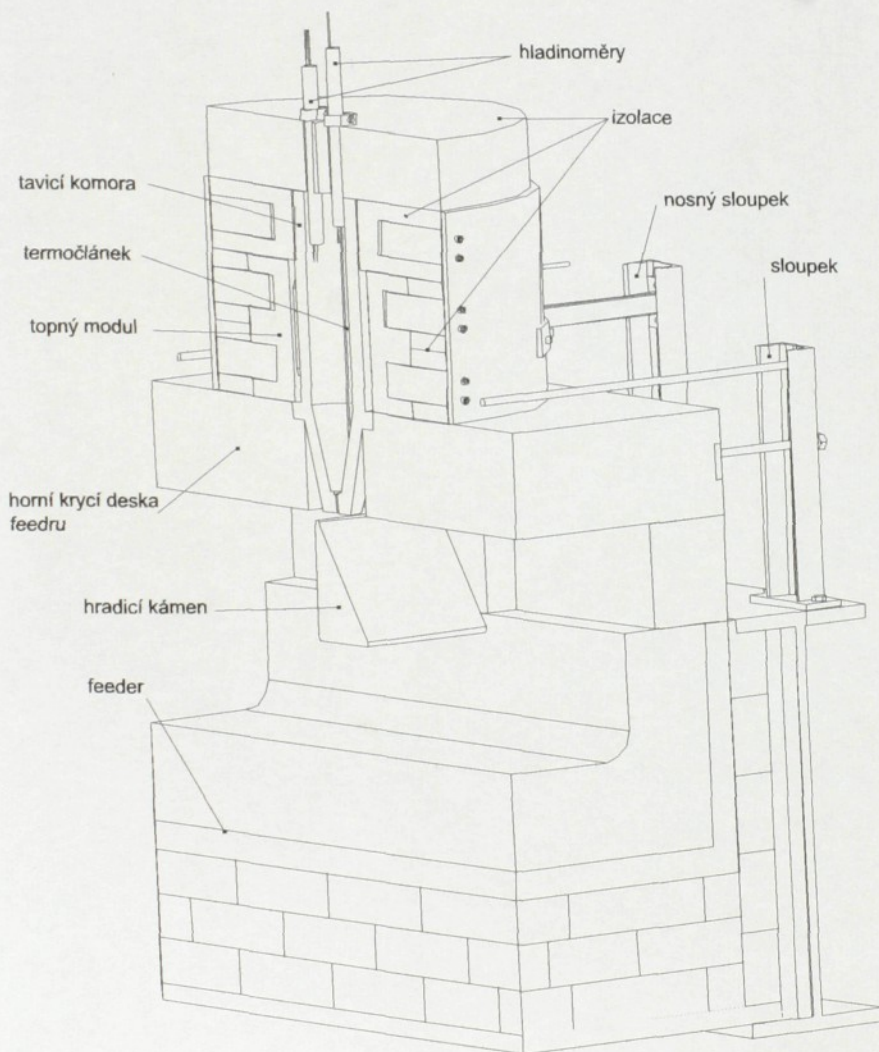


Obr 3.1 Schéma způsobu členění výkresové dokumentace

3.2. POPIS DÁVKOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Kompletní zařízení je tvořeno z části současným zařízením (tj. zásobníkem, váhou, vibračním dopravníkem) a novým dávkovacím zařízením. Dávkovací zařízení (obr. 3.1) se skládá z tavicí komory, topných modulů, izolace, regulačních prvků a hradicího kamene umístěného vně feedru. V zařízení bude docházet k předtavení barvítka.

Základní funkce dávkování vychází z principu, co do tavicí komory vstoupí, to z tavicí komory vystoupí. V praxi to znamená, že množství vstupující barevné frity je rovno množství vytékajícího roztaveného barvítka.

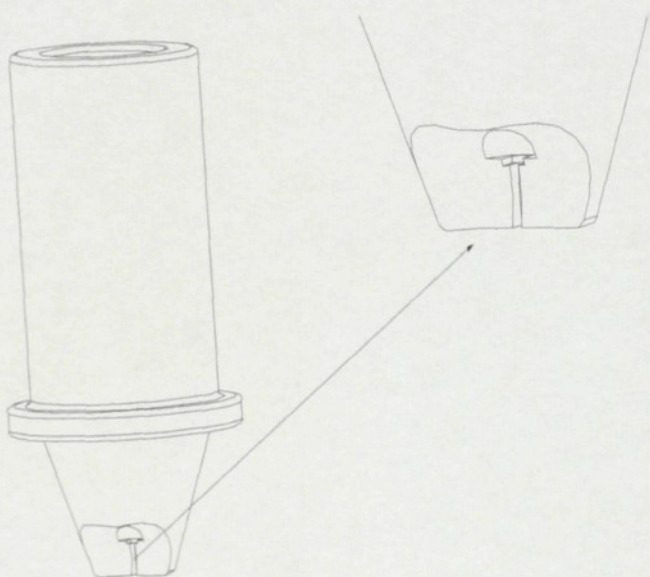


Obr. 3.2 Prostorové zobrazení dávkovacího zařízení v řezu

3.2.1. Tavicí komora

Konstrukční provedení tavicí komory je vyobrazeno na obr. 3.3. Na přechodu mezi válcovou a kuželovou částí je vytvořeno osazení, které nám umožní posazení komory do horní krycí desky feedru. Otvor ve dně komory je vytvořen pro osazení platinové trysky.

Roztavené barvívko bude v přímém kontaktu se stěnami komory, proto je zvolen jako konstrukční materiál komory ZIRCODUR 68 WA , který je vhodný pro přímý styk s roztavenou sklovinou.

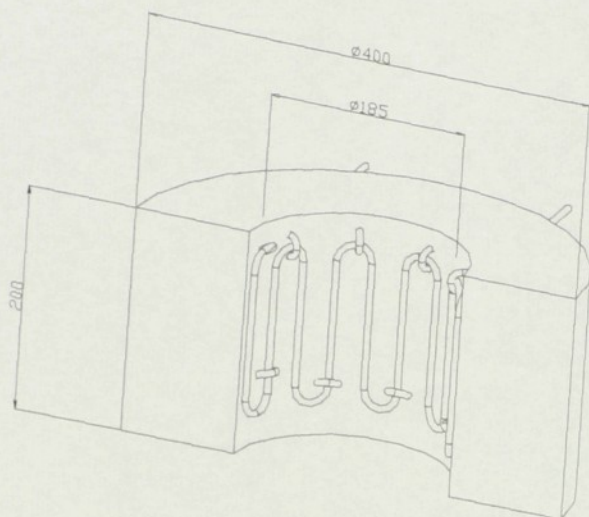


Obr. 3.3 Tavicí komora

3.2.2. Topné moduly

Jako zdroj tepla pro natavení barvívka se využijí topné moduly SUPERTHAL SHC HT (obr. 3.4). Tyto moduly jsou určeny pro velmi vysoké teploty výhřevu až 1675 °C. Topný element umístěný na vnější ploše modulu bude dosahovat teplot kolem 1700 °C. Oproti standardním modulům se HT moduly vyrábějí pouze v půlválcovém provedení a musí být nasazeny pouze ve vertikálním směru.

V našem případě se umístí dva topné moduly okolo válcové části tavicí komory. Pro správnou funkci výhřevu je zapotřebí vyhřívaný prostor mezi topnými elementy a stěnou komory zdola a svrchu izolovat. Každý z modulů bude napájen samostatně.



Obr. 3.4 Topný modul SUPERthal SHC HT

3.2.3. Izolace

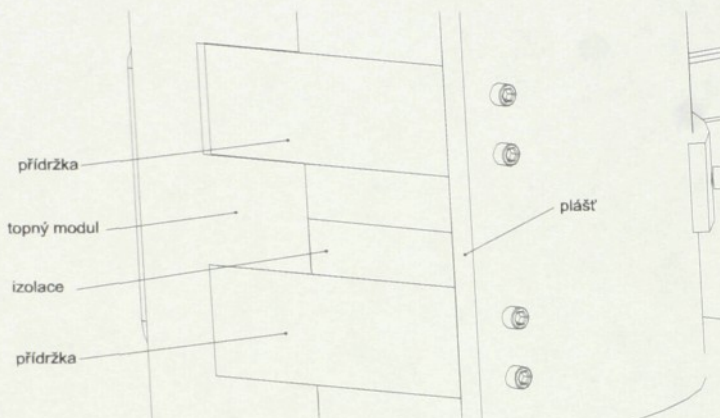
Izolace umístěná kolem topných modulů a tavicí komory má snížit tepelné ztráty zařízení na minimum. Jako vhodná izolace byly zvoleny vakuově tvarované desky na bázi keramických vláken PROMAFORM. Tento izolační materiál s permanentní odolností vůči vysokým teplotám vyniká také vysokou mechanickou pevností, nízkou tepelnou vodivostí a dobrou rozměrovou stálostí i při vysokých teplotách.

Desky, dodávající se v rozměrech 1000 x 500 s max. tloušťkou 100 mm, mohou být velmi přesně opracovány na požadovanou velikost všemi nástroji a zařízeními na obrábění dřeva. Pro náš případ vytvoříme z desek izolaci tvaru zobrazeného na obr. 3.5.



Ob. 3.5 Izolace

Topný modul a izolace se společně umístí do plechového pláště, kde budou upevněny pomocí přídržek. Tyto přídržky jsou uloženy v drážkách vytvořených na čelní straně izolace a topného modulu. Každá přídržka je připojena pomocí dvou šroubů k plechovému plášti (obr. 3.6). V takto získané kompaktní součásti zařízení bude možno jakýkoliv prvek nahradit jiným nebo poškozený prvek nahradit novým. Pomocí vidlice je součást připojena k nosnému sloupku.

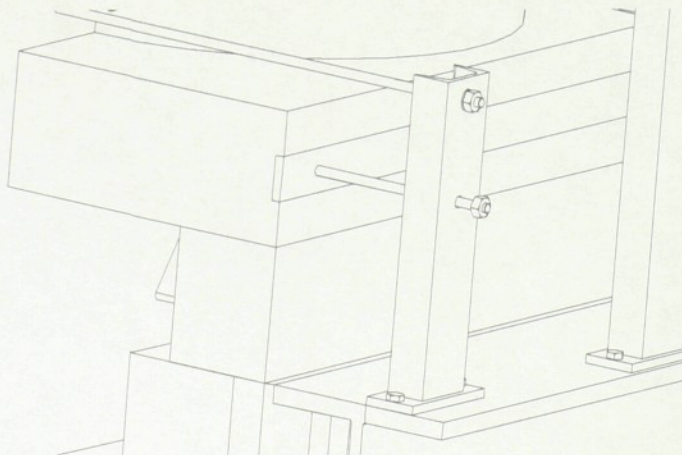


Obr. 3.6. Uchycení modulu a izolace

3.2.4. Přídavné zařízení

Přídavné zařízení slouží k vyztužení horní krycí desky, v případě destrukce desky má zabránit jejímu zřícení do prostoru feedru. Zařízení je zobrazeno na obrázku 3.7.

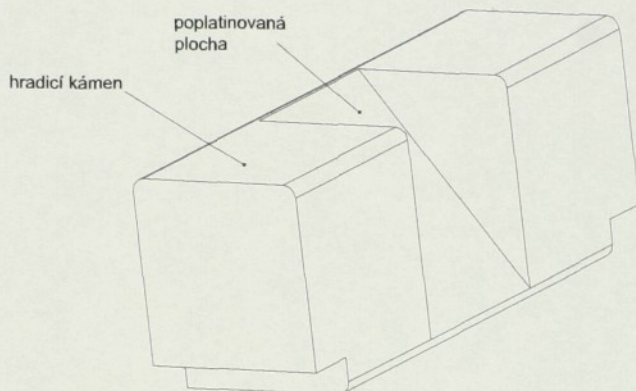
Spodní šroub přitlačuje ocelový pás umístěný v drážce desky a horní stahuje protilehlé sloupky.



Obr. 3.7 Zařízení pro vyztužení horní desky feedru

3.2.5. Hradicí kámen

Hradicí kámen (obr. 3.8) zhotovený z materiálu ER 1711 RT je umístěn pod výtok z tavicí komory a natavené barvívko stéká po šikmé, poplatinované ploše na hladinu mateční skloviny.



Obr. 3.8 Hradicí kámen

3.2.6. Termočlánek

Pro správnou regulaci množství vytékajícího barvívka je zapotřebí snímat jeho teplotu. Volba termočlánu byla tedy odvislá od provozních podmínek vně tavicí komory. Hlavní podmínky pro volbu termočlánu :

- max. teplota barvívka 1280 °C
- chemické složení barvívka (borosilikát)

Z internetového katalogu firmy Omega byl vybrán termočlánek s výrobním označením :

XPA – P13R – 125 – 24 – M – S – 17,5
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7.

Legenda:

1. materiál pouzdra : platina – rhodium
2. kalibrace : Pt - 13% Rh
3. průměr pouzdra : 0,125"
4. tloušťka drátu : 24 AWG
5. izolace : magnesium
6. ukončení : standart
7. délka : 17,5"

3.2.7. Hladinoměr

Informace o výšce hladiny roztaveného barvítka vně tavicí komory je důležitá jak pro správnou regulaci výtoku, tak pro plynulý provoz zařízení.

V našem zařízení je využito k měření hladiny dvou statických hladinoměrů s platinovými hroty (obr. 3.9). První z hladinoměrů hlídá provozní výšku hladiny roztaveného barvítka. Druhý hladinoměr snímá případný extrémní vzestup hladiny barvítka v komoře.



Obr. 3.9 Statický dvouhrotový hladinoměr

3.2.8. Proces barvení

Na začátku barvicího procesu je třeba vytvořit v tavicí komoře ustálenou hladinu roztaveného barvítka. O dosažení tohoto stavu nás bude informovat jeden z hladinoměrů. Poté může začít samotný proces barvení.

Navážené potřebné množství barevné frity je dopraveno vibračním dopravníkem na vstup dávkovacího zařízení, kde skrz vzduchem chlazenou násypku spadne na hladinu roztaveného barvítka. Stejné množství, ve formě nataveného barvítka, je dávkováno z tavicí komory do mateční skloviny. V následující kapitole jsou provedeny příslušné výpočty týkající se výtoku barvítka z komory.

3.3. VÝPOČET VÝTOKU BARVÍTKA

Výpočty provedené v této kapitole slouží k určení provozních podmínek barvení.

Pro proces dávkování je závislost viskozity na teplotě důležitou vlastností barvítka. Výrobce ovšem nebyl schopen tuto informaci poskytnout a proto byl vzorek barvítka odeslán do laboratoři VŠCHT v Praze, kde byla stanovena následující rovnice pro výpočet teplotní závislosti viskozity :

$$\log (\log \eta) = 10,49045 - 3,27350 \cdot \log T$$

a naměřeny následující hodnoty :

Tab. 3.1 Teplotní závislost viskozity

Teplota (°C)	log η (dPa·s)
1290	1,089143
1235	1,224307
1181	1,380673
1130	1,535720

Množství dávkovaného barvítka se pohybuje v rozmezí 1 až 3 kg/hod. Následující výpočty jsou provedeny pro tyto dvě krajní hodnoty a fyzikální hodnoty přísluší modré fritě FV211.

Výpočty :

Max. objemový průtok :

množství dávkovaného barvítka 3 kg/hod, $\rho = 2,58 \text{ g.cm}^{-3}$

$$\rho = 2,58 \text{ g.cm}^{-3} \rightarrow \rho = 2580 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3}{2580} = 1,162 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

objemový průtok

$$Q_{\max} = \frac{V}{3600} = \frac{1,162 \cdot 10^{-3}}{3600} = 0,322 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Rozměry výtokového otvoru (obr. 3.10) :

$$Q_{\max} = \frac{K \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \eta \cdot l}$$

pro úzkou štěrbinu je $C = 2/3$; zvoleno $a = 1 \text{ mm}$; platí $b \geq a$

$$K = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \frac{a}{b} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{a}{b} = \frac{1}{3} \frac{a}{b}$$

při $Q_{\max} = 0,322 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ bude barvítka dávkováno při teplotě 1280°C

$$\log \eta = 10^{10,49045 - 3,27350 \cdot \log(273,15 + 1280)} = 1,107 \text{ dPa} \cdot \text{s}$$

$$\eta = 10^{1,107} = 12,794 \text{ dPa} \cdot \text{s} = 1,2794 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

výška hladiny nad výtokem $h = 350 \text{ mm}$. Při podmínce rovnosti množství na vstupu a na výstupu tavicí komory můžeme tuto hodnotu považovat za konstantní

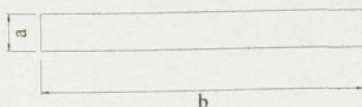
$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h = 2580 \cdot 9,81 \cdot 0,35 = 8858,4 \text{ Pa}$$

délka výtoku $l = 30 \text{ mm}$ (obr. 3.11)

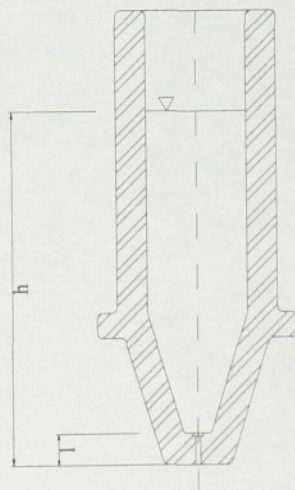
$$Q_{\max} = \frac{\frac{1}{3} \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{3 \cdot 4 \cdot \eta \cdot l} = \frac{a^3 \cdot \Delta p}{12 \cdot \eta \cdot l}$$

$$b = \frac{Q_{\max} \cdot 12 \cdot \eta \cdot l}{a^3 \cdot \Delta p} = \frac{0,322 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 1,2794 \cdot 0,03}{0,001^3 \cdot 8858,4} = 0,0167 \text{ m} = 16,7 \text{ mm}$$

Rozměry výtokového otvoru : $a = 1 \text{ mm}$; $b = 16,7 \text{ mm}$



Obr. 3.10 Výtokový otvor



Obr. 3.11 Uspořádání tav. komory

Kontrola výpočtu objemového průtoku :

$$Q_{\max} = \frac{K \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \eta \cdot l}$$

kde $a = 1 \text{ mm}$; $b = 16,7 \text{ mm}$; $\Delta p = 8858,4 \text{ Pa}$; $l = 350 \text{ mm}$; $\eta = 1,2794 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

$$K = 1,0498 - 0,24 \cdot \frac{a}{b} - \frac{1,8243}{\frac{a}{b} + 1,7376} = 1,0498 - 0,24 \cdot \frac{0,001}{0,0167} - \frac{1,8243}{\frac{0,001}{0,0167} + 1,7376}$$

$$K = 0,02$$

objemový průtok

$$Q_{\max} = \frac{K \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \eta \cdot l} = \frac{0,02 \cdot 0,001^2 \cdot 0,0167^2 \cdot 8858,4}{4 \cdot 1,2794 \cdot 0,35} = 0,322 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$Q_{\max} = Q_{\max}$$

Min. objemový průtok :

množství dávkovaného barvítka 1 kg/hod. ; $\rho = 2580 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1}{2580} = 0,3875 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

objemový průtok

$$Q_{\min} = \frac{V}{3600} = 0,107 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Teplota barvítka při $Q_{\min}$:

dané hodnoty $a = 1 \text{ mm}$; $b = 16,7 \text{ mm}$; $\Delta p = 8858,4 \text{ Pa}$; $l = 350 \text{ mm}$;

$$Q = \frac{K \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \eta \cdot l}$$

$$\eta = \frac{K \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot Q_{\min} \cdot l} = \frac{0,02 \cdot 0,001^2 \cdot 0,0167^2 \cdot 8858,4}{4 \cdot 0,107 \cdot 10^{-6} \cdot 0,03} = 3,848 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 38,48 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

pro spočtené η stanovíme příslušnou teplotu

$$\log (\log \eta) = 10,49045 - 3,27350 \cdot \log T$$

$$\log (\log 38,48) = 0,200093669$$

$$T = 10^{\frac{\log(\log \eta) - 10,49045}{-3,27350}} = 10^{\frac{0,200093669 - 10,49045}{-3,27350}} = 1392^{\circ}\text{C}$$

$$t = T - 273,15 = 1392 - 273,15 = 1118,85 \approx 1119^{\circ}\text{C}$$

Pro $Q_{\min}$ je teplota barvítka $t = 1119^{\circ}\text{C}$

V následující tabulce jsou uvedeny provozní podmínky pro jednotlivé dávky barvítka.

Tab. 3.2 Provozní podmínky barvení

množství barvítka (kg/hod.)	objemový průtok ($\cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	teplota barvítka ($^{\circ}\text{C}$)
3	0,322	1280
2,5	0,269	1248
2	0,215	1212
1,5	0,161	1170
1	0,107	1119

Chyba dávkování :

Výška hladiny v tavicí komoře je snímána pomocí statického dvouhrotového hladinoměru. Pro jeho správnou funkci je zapotřebí stanovit, jaký pokles hladiny nebude mít vliv na kvalitu zabarvení. Z současných provozních výsledků vyplývá, že chyba do 5% nemá na kvalitu barvení vliv.

Při dávkování barvítka 1 kg/hod resp. $Q_{\max} = 0,107 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ představuje 5% chybu $m = 0,05 \text{ kg}$ resp. $Q = 0,00535 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

$$Q = \frac{K \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \eta \cdot l} \Rightarrow \Delta p = \frac{Q \cdot 4 \cdot \eta \cdot l}{K \cdot a^2 \cdot b^2}$$

$$\Delta p = \frac{0,10165 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 3,848 \cdot 0,03}{0,02 \cdot 0,001^2 \cdot 0,0167^2} = 8415,1 \text{ Pa}$$

$$h_1 = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{8415,1}{2580 \cdot 9,81} = 0,333 \text{ m}$$

$$\Delta h = h - h_1 = 0,017 \text{ m} = 17 \text{ mm}$$

Pokles či vzestup hladiny od provozní výšky v rozmezí 0 až 17 mm nebude mít na kvalitu barvení vliv. Této podmínce musí být uzpůsobeny také hroty hladinoměru.

3.4. TEPELNÉ VÝPOČTY

Výpočty provedené v této kapitole slouží k určení tepelných ztrát zařízení od kterých se odvíjí volba topného modulu. Výpočty jsou provedeny pro max.hodnotu dávkování, právě tehdy budou topné moduly pracovat na nejvyšší výkon.

Významnou vlastností barvítka je měrné teplo. Ve výpočtech použijeme střední měrné teplo c_p , které vztahujeme k teplotnímu intervalu 0 až t ($^{\circ}\text{C}$). Rozdíl mezi skly stejného typu není velký. S teplotou měrné teplo stoupá. V tab. 3.3 jsou uvedeny hodnoty měrných tepel skloviny podobného složení jako barvítka.

Tab. 3.3 Střední měrné teplo barvítka

teplotní interval ($^{\circ}\text{C}$)	střední měrné teplo c_p ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
0 -700	1101,6
0 -1000	1163,6
0 -1300	1206,9

Další významnou vlastností barvítka je tepelná vodivost. Tepelná vodivost při vysokých teplotách vystupuje současně ve dvojí formě, jako pravá vodivost λ a jako vodivost radiační λ_r . Souhrnně nazývané vodivostí efektivní λ_{ef} , takže

$$\lambda_{\text{ef}} = \lambda_r + \lambda$$

Zařízení se u bezbarvých skel začíná uplatňovat již nad 400°C a nad 800°C se stává tepelná vodivost λ_r dominantní. U barevných skel, v důsledku absorpce záření, je sdílení tepla zářením omezeno a hodnoty λ_r jsou proto nižší. Hodnoty tepelné vodivosti barvítka nebyl schopen výrobce opět poskytnout. Po konzultaci s ing. J.Endrýsem, CSc. z VŠCHT byla stanovena jako reálna hodnota střední $\lambda_{\text{ef}} = 0,7 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Při výpočtu tepelných ztrát vycházíme z následujících rovnic pro přestup a vedení tepla válcovou stěnou nebo rovinou stěnou

$$\dot{Q} = \alpha \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot \Delta t$$

$$\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot \Delta t$$

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot l \cdot \Delta t}{\ln \frac{d_2}{d_1}}$$

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

Výpočty:

Dávkované množství 3kg/hod :

Tepelná bilance

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_t + \dot{Q}_s$$

$$\dot{Q}_t = \dot{Q} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_f$$



Obr. 3.12 Tepelná bilance

Q_v – tepelná ztráta horní části tavící komory (obr. 3.13) :

$$t_b = 1280 \text{ } ^\circ\text{C}$$

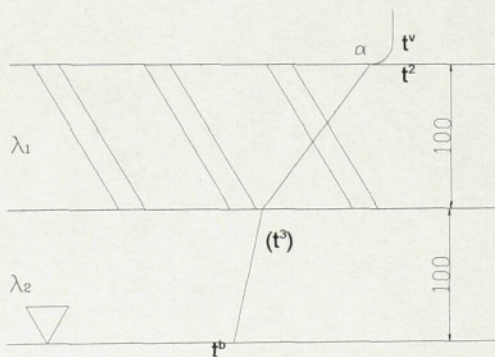
$$t_v = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_1 = 0,08 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1} \quad [10]$$

$$\lambda_2 = 0,08 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1} \quad [2]$$

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

$$\dot{Q} = S \cdot \alpha \cdot \Delta t$$



Obr. 3.13 Prostup tepla horní částí komory

teplotu t_2 neznáme, ale stanovíme ji z rovnosti tepelných toků izolační vrstvou a z povrchu izolace do vzduchu

$$\frac{\lambda}{s} \cdot S \cdot \Delta t = \alpha \cdot S \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{\lambda}{s} \cdot S \cdot (t_b - t_2) = \alpha \cdot S \cdot (t_2 - t_v)$$

za α dosadíme $\alpha_{vz} = 2,1 + 0,083t_{st} \quad z [1]$

$$\frac{0,08}{0,2} \cdot (1280 - t_2) = (2,1 + 0,083t_2) \cdot (t_2 - 35)$$

$$512 - 0,4 = 2,1t_2 + 0,083t_2^2 - 73,5 - 585,5$$

$$0,083t_2^2 - 0,405t_2 - 585,5 = 0$$

odtud

$$t_2 = \frac{0,405 \pm \sqrt{0,405^2 - 4 \cdot 0,083 \cdot (-585,5)}}{2 \cdot 0,083} = 86,5^\circ \text{C}$$

pro tuto teplotu stanovíme

$$\alpha_{vz} = 2,1 + 0,083t_2 = 2,1 + 0,083 \cdot 86,5 = 9,3$$

spočteme tepelnou ztrátu

$$\dot{Q}_v = \frac{S \cdot (t_b - t_1)}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot (1280 - 35) \cdot \frac{1}{\frac{1}{9,3} + \frac{0,2}{0,08}}$$

$$\dot{Q}_v = 3,7 \text{ W}$$

Q - teplo pro utavení 3kg barvítka :

$$Q = m \cdot \bar{c}_p \cdot \Delta t$$

$$Q = 3 \cdot 1206 \cdot (1280 - 30) = 4522500 \text{ J}$$

dané množství barvítka je nutno utavit za hodinu

$$\dot{Q} = \frac{Q}{3600} = 1256 \text{ W}$$

prostup stěnou komory (obr. 3.14)

$$t_b = 1280^\circ \text{C}$$

$$\alpha_1 = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \text{ (celkový součinitel přestupu tepla; konvekce + sdílení) [9]}$$

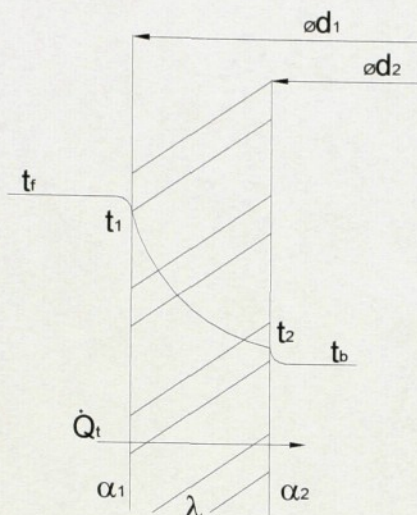
$$\alpha_2 = 180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \text{ [1]}$$

$$\lambda = 3,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$d_1 = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$$

$$d_1 = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_v + \dot{Q} = 1260 \text{ W}$$



Obr. 3.14 Prostup stěnou komory

teplota vnitřní stěny komory

$$\dot{Q}_t = \alpha_2 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot l \cdot (t_2 - t_b) \Rightarrow t_2 = t_b + \frac{\dot{Q}_t}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot l} = 1280 + \frac{1260}{180 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,2}$$

$$t_2 = 1391^\circ \text{C}$$

teplota vnější stěny komory

$$\dot{Q}_t = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot l \cdot (t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_1}{d_2}} \Rightarrow t_1 = t_2 + \frac{\dot{Q}_t \cdot \ln \frac{d_1}{d_2}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot l} = 1391 + \frac{1260 \cdot \ln \frac{0,16}{0,1}}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 0,2}$$

$$t_1 = 1525^\circ \text{C}$$

teplota výhřevu

$$\dot{Q}_t = \alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot l \cdot (t_f - t_1) \Rightarrow t_f = t_1 + \frac{\dot{Q}_t}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot l} = 1525 + \frac{1260}{100 \cdot 3,14 \cdot 0,16 \cdot 0,2}$$

$$t_f = 1650^\circ \text{C}$$

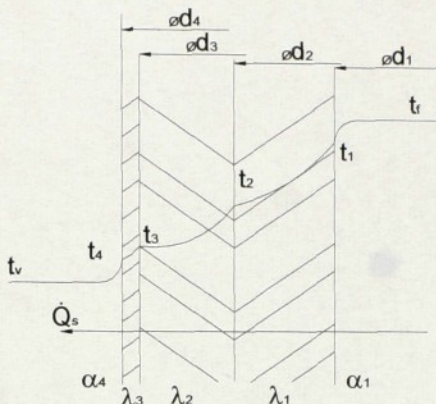
Q_f – tepelná ztráta dnem tavicí komory :

Teplota barvítky vně tavicí komory je stejná jako teplota v barvicí části feedru, můžeme tedy říci, že tepelná ztráta bude nulová.

$$Q_f = 0$$

Q_s – tepelná ztráta boční stěnou zařízení (obr. 3.15) :

$$\begin{aligned} t_f &= 1650 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t_1 &= 1540 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t_v &= 35 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \alpha_1 &= 100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1} \text{ [9]} \\ \lambda_1 &= 0,11 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1} \text{ [9]} \\ \lambda_2 &= 0,06 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1} \text{ [10]} \\ \lambda_3 &= 45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1} \text{ [5]} \\ d_1 &= 165 \text{ mm} = 0,165 \text{ m} \\ d_2 &= 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m} \\ d_3 &= 600 \text{ mm} = 0,6 \text{ m} \\ d_4 &= 614 \text{ mm} = 0,614 \text{ m} \end{aligned}$$



Obr. 3.15 Prostup boční stěnou zařízení

teplotu t_4 neznáme, ale stanovíme ji z rovnosti tepelných toků

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} = \pi \cdot d_4 \cdot \alpha_4 \cdot (t_4 - t_v)$$

$$\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot (1540 - t_4)}{\frac{1}{0,11} \cdot \ln \frac{0,4}{0,16} + \frac{1}{0,06} \cdot \ln \frac{0,6}{0,4} + \frac{1}{45} \cdot \ln \frac{0,614}{0,6}} = 3,14 \cdot 0,614 \cdot 0,2 \cdot \alpha_4 \cdot (t_4 - 35)$$

$$\frac{1,256 \cdot (1540 - t_4)}{15,08} = 0,385 \cdot \alpha_4 \cdot (t_4 - 35)$$

za α_4 dosadíme $\alpha_{vz} = 2,1 + 0,083t_{st}$

$$0,254 \cdot (1540 - t_4) = (2,1 + 0,083t_4) \cdot (t_4 - 35)$$

$$391,2 - 0,254t_4 = 2,1t_4 - 73,5 + 0,083t_4^2 - 2,905t_4$$

$$0,082t_4^2 - 0,551t_4 - 464,7 = 0$$

odtud

$$t_4 = \frac{0,551 \pm \sqrt{0,551^2 - 4 \cdot 0,083 \cdot (-464,7)}}{2 \cdot 0,083} = 78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

pro tuto teplotu stanovíme

$$\alpha_4 = 2,1 + 0,083t_4 = 2,1 + 6,47 = 8,6$$

tepelná ztráta

$$\dot{Q}_s = \frac{\pi \cdot l \cdot (t_f - t_v)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_4 \cdot d_4}}$$

$$\dot{Q}_s = \frac{3,14 \cdot 0,2 \cdot (1650 - 35)}{\frac{1}{100 \cdot 0,165} + \frac{1}{0,11} \cdot \ln \frac{0,4}{0,16} + \frac{1}{0,06} \cdot \ln \frac{0,6}{0,4} + \frac{1}{45} \cdot \ln \frac{0,614}{0,6} + \frac{1}{8,6 \cdot 0,614}}$$

$$\dot{Q}_s = 130 \text{ W}$$

Stanovení času za který se fritá v barvítku úplně rozpustí :

$$s = 0,5 \text{ mm} = 0,0005 \text{ m}; \lambda_{ef} = 0,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}; \alpha = 180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}; \rho = 2580 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

$$c_p = 1206 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}; t_o = 35 \text{ }^\circ\text{C}; t_b = 1280 \text{ }^\circ\text{C}$$

teplotní vodivost barvítka

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} = \frac{0,7}{1206 \cdot 2580} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Biotovo kritérium

$$B_i = \frac{\alpha \cdot s}{\lambda} = \frac{180 \cdot 0,0005}{0,7} = 0,128$$

Fourierovo kritérium pro zvolené časové úseky

$$\tau = 1 \text{ s}$$

$$F_{o,1} = \frac{a \cdot \tau}{s^2} = \frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{0,0005^2} = 0,8$$

pro dané B_i a F_o vyčteme z grafu v [2] příslušné hodnoty ϑ pro střed stěny a dosadíme

$$t_\tau = t_b + \vartheta_s \cdot (t_o - t_b)$$

$$t_1 = t_b + \vartheta_s \cdot (t_o - t_b) = 1280 + 0,95 \cdot (35 - 1280) = 97 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\tau = 10 \text{ s}$$

$$F_{o,10} = \frac{a \cdot \tau}{s^2} = \frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{0,0005^2} = 8$$

$$t_{10} = t_b + \vartheta_s \cdot (t_o - t_b) = 1280 + 0,39 \cdot (35 - 1280) = 794^\circ \text{C}$$

$$\tau = 20 \text{ s}$$

$$F_{o,20} = \frac{a \cdot \tau}{s^2} = \frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 20}{0,0005^2} = 16$$

$$t_{20} = t_b + \vartheta_s \cdot (t_o - t_b) = 1280 + 0,18 \cdot (35 - 1280) = 1056^\circ \text{C}$$

$$\tau = 37 \text{ s}$$

$$F_{o,37} = \frac{a \cdot \tau}{s^2} = \frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 20}{0,0005^2} = 30$$

$$t_{37} = t_b + \vartheta_s \cdot (t_o - t_b) = 1280 + 0,01 \cdot (35 - 1280) = 1268^\circ \text{C}$$

K úplnému roztavení frity v utaveném barvítku dojde během 40 s. V tomto časovém intervalu poklesne hladina o 3 mm.

Potřebný tepelný výkon :

$$\dot{Q}_t = \dot{Q} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_f = 1256 + 3,7 + 0 = 1260 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_t + \dot{Q}_s = 1260 + 130 = 1390 \text{ W}$$

Z přiloženého prospektu (příl.1) je zřejmé, že topné moduly SUPERTHAL SHC HT jsou schopné pokrýt potřebný příkon a zajistit potřebnou teplotu výhřevu. V našem případě bude topný modul vyroben na objednávku a spolu s ním budou dodány potřebné podklady pro stanovení napájecích hodnot.

4. TECHNICKOEKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem této kapitoly je provést stručné shrnutí technických parametrů navrženého dávkovacího zařízení a určit jeho ekonomický přínos z hlediska návratnosti vynaložených prostředků na jeho realizaci.

Provozně technické zhodnocení :

V navrženém dávkovacím zařízení dochází k předtavení barvicí frity, což vede z technologického hlediska k zlepšení procesu barvení a umožní zkrácení konstrukční délky feedru. Zařízení je současně prostorově nenáročné a kompaktní, proto může být využito na dalších feedrech v Crystalex a.s.

Ekonomické zhodnocení :

Použití dávkovacího zařízení povede k :

- zlepšení kvality finálního produktu
- snížení zmetkovitosti
- snížení provozních nákladů na otop feedru

Náklady na výrobu dávkovacího zařízení jsou uvedeny v tab. 4.1. Ceny byly konzultovány se zaměstnanci Crystalex a.s.

Tab. 4.1 Ceny jednotlivých částí dávkovacího zařízení

tavicí komora (včetně modelu)	75 000 Kč
horní deska	7 500 Kč
hradicí kámen	15 000 Kč
poplatinování hradicího kamene	300 000 Kč
U-profil,plechy,tyče	2 000 Kč
platinová tryska	40 000 Kč
celkem	439 500 Kč

Jelikož dojde ke snížení zmetkovitosti a nákladů na otop feedru, můžeme počítat s rychlou návratností.

ZÁVĚR

V diplomové práci byl řešen problém dávkování barvitek do čiré skloviny. Celé pojetí návrhu vychází ze snahy nahradit současný, nevyhovující způsob dávkování barvitek. V průběhu vypracování se vyskytlo několik variant, které byly popsány a ze kterých byl po posouzení vybrán nejvhodnější a nejprůmyslnější způsob řešení.

Pro řešení bylo z části využito současného zařízení, včetně zásobníku barvítka, váhy, vibračního dopravníku a vzduchem chlazené násypky. Rozměry tavicí komory byly stanoveny tak, aby vnější plocha byla dostatečně velká pro potřebný prostup tepelného toku. Také byla snaha zařízení co nejlépe izolovat.