

## POUŽITÍ MODELOVÁNÍ K NÁVRHU ELEKTRICKÉHO PŘÍHŘEVU SKLÁŘSKÉ TAVICÍ PECE

STANISLAV KASA, ANTONÍN LISÝ

*Vysoká škola chemickotechnologická, Katedra technologie silikátů, 166 28 Praha 6, Suchbátarova 5*

Došlo 18. 12. 1987

*Na fyzikálním modelu jsou porovnány čtyři varianty konstrukčního uspořádání tavicí pece a z nich na základě zhodnocení teplotního pole a charakteru proudění v tavicím bazénu vybrány 2 varianty, které splňují zadané požadavky. Jsou to varianty 2 a 3 se zabudovaným elektrickým příhřevem tvořeným 12 resp. 9 vertikálními elektrodami. Vybrané varianty splňují požadavky jak na regulační rozsah elektrického příhřevu, tak i na jeho citlivost a stabilitu.*

### ÚVOD

V současné době se stále zvyšují požadavky na výrobu skla a na dosažení její větší efektivity. Pozornost je především zaměřena na zvyšování tavicích výkonů sklářských pecí s tím, že musí být zachována, popřípadě ještě zlepšena kvalita vyráběného skla. Toto je možné dosáhnout jednak tím, že se u stávajících pecí provedou určité konstrukční úpravy, jednak použitím známých intenzifikačních prostředků, z nichž neúčinnější je elektrický příhřev.

K posouzení vhodnosti konstrukčních úprav pece je nutné znát teplotní pole a charakter proudění skloviny ještě před zavedením navržených konstrukčních úprav, aby mohly být posouzeny změny v rozložení teplot a proudění, ke kterým dojde po provedených konstrukčních úpravách.

Stejným způsobem se postupuje i při posuzování vhodnosti zavedení elektrického příhřevu, neboť rozložení vybavování elektrického výkonu ve sklovině zásadním způsobem ovlivňuje teplotní pole a charakter proudění v tavicím bazénu pece. S tím úzce souvisí i kvalita vyráběného skla.

Podklady pro navrhované konstrukční úpravy pece nebo pro provoz elektrického příhřevu se nejlépe stanoví použitím metody fyzikálního modelování tavicího procesu ve sklářské tavicí peci, vycházející z teorie podobnosti mezi modelem a dílem (pecí). Fyzikální modelování je dostupné a i zavedením nutných zjednodušujících prostředků poskytuje velmi dobré výsledky.

V článku je popsáno využití metody fyzikálního modelování k získání podkladů pro rekonstrukci elektrického příhřevu, který již svými parametry nevyhovuje požadavkům na regulační rozsah a také u něho nelze docílit potřebné citlivosti a stability regulování vybavovaného elektrického výkonu. Rekonstrukce elektrického příhřevu byla hodnocena na základě určení rozložení teplot, charakteru proudění v tavicím bazénu pece a vlivu rozložení vybavované energie (Jouleova tepla) na teplotní pole a výsledné proudění.

### FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ TAVICÍ PECE

Modelování tavicí pece se provádí na modelu pece, který je postaven v určitém měřítku (nejčastěji 1 : 10 až 1 : 25) nejlépe z organického skla. Metodika modelování vychází z teorie podobnosti a měření jsou orientována na objasnění dějů v tavi-

cím prostoru sklářských pecí z hlediska hydrodynamiky, vybavování tepla elektrickými přihřevy nebo ohřevy a transportu tepla.

Jako podklady pro konstrukci modelu pece slouží jednak výkresová dokumentace a jednak údaje o okrajových podmínkách, tj. rozložení teplot v horizontálním a vertikálním směru v tavicím prostoru, velikost tepelných ztrát a množství dodané energie, které jsou obsaženy ve zprávách o tepelnětechnických měřeních na peci. Dalšími důležitými údaji pro konstrukci modelu jsou teplotní závislosti dynamické viskozity, hustoty a měrného elektrického odporu skloviny tevené na peci.

*Tabulka I*  
Vlastnosti skloviny

$t_D$ [°C]	$\rho_D$ [kg · m <sup>-3</sup> ]	$\eta_D$ [Pa · s]	$\rho_{elD} \cdot 10^2$ [Ω · m]
1 100	2 322	275,4	6,67
1 150	2 317	144,3	5,53
1 200	2 311	81,3	4,65
1 250	2 305	46,8	3,95
1 300	2 300	28,8	3,40
1 350	2 294	18,2	2,94
1 400	2 288	12,0	2,58
1 450	2 283	8,5	2,27
1 500	2 277	6,3	2,01

Teplotní závislosti vlastností skloviny z tabulky I byly vyjádřeny analyticky a platí pro ně:

$$\text{hustota: } \rho_D = 2477 - 0,113 \cdot T_D,$$

$$\text{dynamická viskozita: } \log \eta_d = -4,92 + 10071,1 \cdot T_D^{-1},$$

$$\text{měrný elektrický odpor: } \log \rho_{elD} = -3,48 + 3165,6 \cdot T_D^{-1}.$$

#### VLASTNOSTI MODELOVÉ KAPALINY

Modelová kapalina byla připravena zahříváním glycerinu s 10% hm. boraxu, čímž v ní byl upraven obsah vody tak, že bylo dosaženo její požadované viskozity.

*Tabulka II*  
Vlastnosti modelové kapaliny

$t_M$ [°C]	$\rho_M$ [kg · m <sup>-3</sup> ]	$\eta_M$ [Pa · s]	$\rho_{elM}$ [Ω · m]
20	1 281	0,932	80,0
30	1 274	0,439	36,8
40	1 268	0,205	18,5
50	1 261	0,117	11,0
60	1 254	0,066	7,3
70	1 247	0,041	4,9
80	1 240	0,035	3,5

Její vlastnosti jsou v tabulce II. Pro teplotní závislosti vlastností modelové kapaliny platí vztahy:

$$\text{hustota: } \rho_M = 1480 - 0,676T_M,$$

$$\text{dynamická viskozita: } \log \eta_M = -8,806 + 2560 \cdot T_M^{-1},$$

$$\text{měrný elektrický odpor: } \log \rho_{e1M} = -6,1 + 2320 \cdot T_M^{-1}.$$

#### NASTAVENÍ TEPLIT NA MODELU

Z dynamické viskozity a hustoty byly na základě definičního vztahu

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (1)$$

vyščísleny teplotní závislosti kinematické viskozity skloviny a modelové kapaliny.

Platí pro ně

$$\text{sklovina: } \log \nu_D = -8,25 + 10021,6 \cdot T_D^{-1},$$

$$\text{modelová kapalina: } \log \nu_M = -11,79 + 2519,5 \cdot T_M^{-1}.$$

Protože musí platit rovnost Galileova čísla pro model a pec (dílo)

$$[Ga]_M = [Ga]_D, \quad (2)$$

tedy

$$\left[ \frac{gl^3}{\nu^2} \right]_M = \left[ \frac{gl^3}{\nu^2} \right]_D, \quad (3)$$

platí mezi kinematickými viskozitami na modelu a díle vztah

$$\nu_M = \nu_D \cdot s^{3/2} \quad (4)$$

nebo

$$\log \nu_M = \log \nu_D + \frac{3}{2} \log s. \quad (5)$$

Dosažením do rovnice (5) za  $\log \nu_M$  a  $\log \nu_D$  získáme vztah pro přepočítání teplot z modelu na dílo a naopak. Platí tedy

$$t_D = 5,9 t_M + 1009, \quad (6)$$

$$t_M = 0,17 t_D - 171. \quad (7)$$

#### POPIS TAVICÍ PECE A MODELU

Modelovaná tavicí pec je regenerativního typu s hořáky uspořádanými napříč tavicího bazénu. Parametry pece jsou:

délka tavicí části	14,40 m
šířka tavicí části	7,00 m
hloubka bazénu	1,20 m
plocha tavicí části	99,60 m <sup>2</sup>
plocha pracovní části	12,70 m <sup>2</sup>
hloubka pracovní části	0,90 m
délka elektrod	0,60 m
průměr elektrod	0,05 m
odběr skloviny	150,00 t/den
příkon elektrické energie	590 kW

Model tavicí pece byl zhotoven v měřítku 1 : 25. Plynový ohřev na modelu byl simulován ohřevem žárovkami uspořádanými do řad napříč bazénem a v každé řadě bylo možno samostatně regulovat příkon. Vhodným rozložením elektrických příkonů bylo dosaženo požadovaného rozdělení teplot v podélné ose modelu pece.

Modelová kapalina byla zakládána dávkovacím čerpadlem a její rovnoměrné zakládání na hladinu zajišťovalo zakládací zařízení. Zakládací zařízení umožňovalo rovněž simulovat plovoucí vsázku a spotřebu tepla při tavení vsázky.

V modelu bylo umístěno 9 termočlánků měď-konstantan, které byly pomocí automatického přepínače měřicích míst propojeny s tiskárnou.

K chlazení modelu, tj. stěn, dna a zakládacího zařízení, které napodobovalo tepelné ztráty do okolí a také otavování vsázky, bylo použito termostatované vody, jejíž teplota byla měřena před vstupem do modelu a po výstupu z modelu, byl rovněž indikován průtok chladicí vody průtokoměry.

#### URČENÍ PŘÍKONU NA SIMULOVANÉ HOŘÁKY A PRO ELEKTRICKÝ PŘÍHŘEV

Teplo přivedené spalováním plynu do pece činí 50244 MJ . t<sup>-1</sup>, což odpovídá příkonu 13957 kW. Na modelu odpovídá tomuto příkonu příkon 80 W, neboť tímto příkonem byly dosaženy teplotní gradienty, které odpovídaly změřeným teplotním gradientům v tavicím bazénu skutečné pece.

Stanovení příkonu elektrického příhřevu se provádí na základě výkonového čísla, tj. musí platit

$$\left[ \frac{P}{\lambda \Delta T l} \right]_{\text{M}} = \left[ \frac{P}{\lambda \Delta T l} \right]_{\text{D}} \quad (8)$$

Po dosazení:  $\lambda_{\text{M}} = 0,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,

$$\lambda_{\text{D}} = 90,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1},$$

$$\Delta T_{\text{M}} = 33,4 \text{ K},$$

$$\Delta T_{\text{D}} = 200,0 \text{ K},$$

$$\frac{l_{\text{M}}}{l_{\text{D}}} = \frac{1}{25}$$

platí pro přepočet příkonu elektrického příhřevu

$$P_{\text{M}} = 2,227 \cdot 10^{-1} P_{\text{D}} \quad (9)$$

Z (9) plyne, že jestliže příkon elektrického příhřevu je 590 kW, potom na příkon elektrického příhřevu na modelu připadá 13 W.

#### NASTAVENÍ ZTRÁT TEPLA NA MODELU A ODBĚRU MODELOVÉ KAPALINY

Model tavicí pece byl konstruován s odděleným chlazením stěn a dna v tavicí části. Na vnější straně modelu byly stěny, dno i hladina tavicího prostoru mimo zakládací zařízení izolovány pěnovým polystyrénem, aby nedocházelo k výměně tepla s okolím. Teplo tak přecházelo pouze do chladicí vody, u níž se měřila její vstupní teplota  $t_p$ , výstupní teplota  $t_k$  a průtok  $Q_v$ .

Teplotné ztráty na modelu byly nastaveny takto:

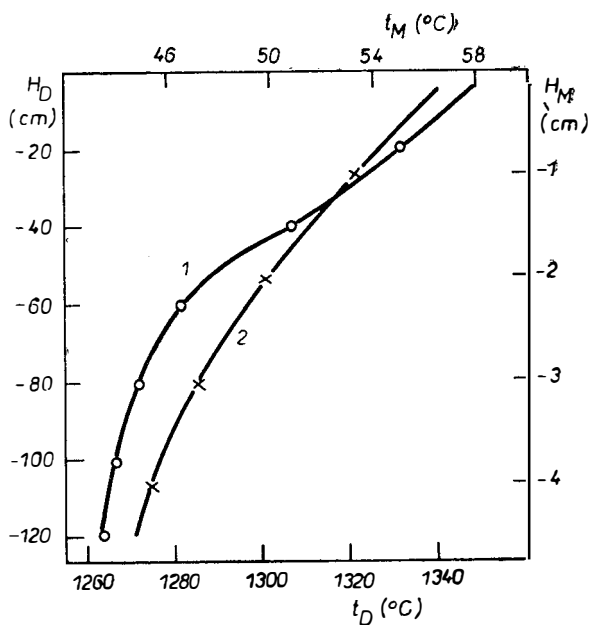
vstupní teplota chladicí vody  $t_p = 34,9\text{ }^\circ\text{C}$   
 výstupní teplota chladicí vody  $t_k = 41,0\text{ }^\circ\text{C}$   
 průtok chladicí vody  $Q_v = 0,85\text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Odběr modelové kapaliny byl vypočten ze vztahu

$$Q_M = Q_D \frac{\rho_M}{\rho_D} \cdot s^{5/2}. \quad (10)$$

Pro tavicí výkon pece 150 t/den odpovídá odběr modelové kapaliny  $14,5\text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ .

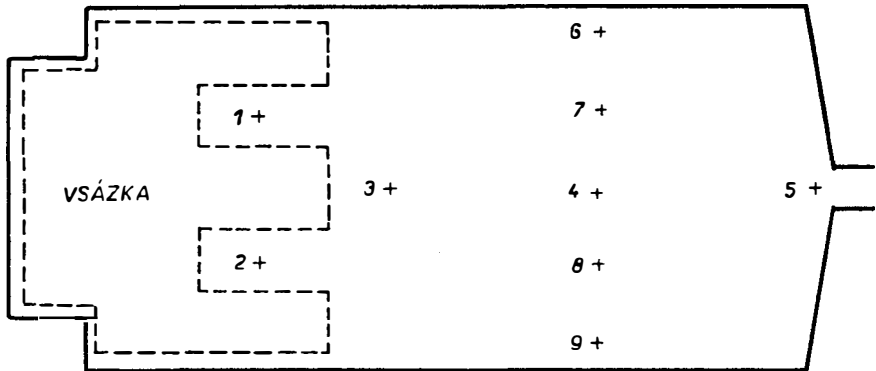
Správnost nastavení okrajových podmínek na modelu byla kontrolována porovnáním teplotních gradientů naměřených na modelu a peci v odpovídajících si místech. Jako příklad je uvedeno porovnání teplotních gradientů v místě termočlánku  $T_4$  (obr. 1).



Obr. 1. Porovnání teplotních gradientů na modelu a peci v místě termočlánku  $T_4$ ; 1 — dílo (pec)  
 2 — model.

### MĚŘENÍ TEPLŮ A RYCHLOSTNÍCH POLÍ

Teploty na modelu byly měřeny termočlánky v 9 místech tavicího bazénu ve směru od hladiny ke dnu po 5 mm (obr. 2). Z naměřených hodnot byly sestaveny teplotní profily a z nich graficky vyhodnoceno rozložení teplot v tavicím prostoru pece ve svislých řezech, v nichž byly zakresleny průběhy izoterem. Byly také proměřovány průběhy teplot v podélné ose v hloubce 0,5 cm a 4 cm pod hladinou na modelu, což odpovídá na díle hloubkám 12,5 a 100 cm.



Obr. 2. Rozmístění termočlánků v tavicí části modelu.

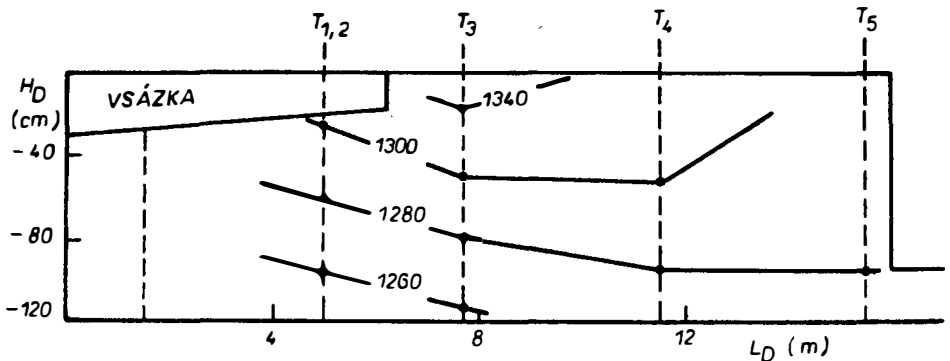
Proudění na modelu bylo sledováno pomocí barevných stop, které byly vnášeny do modelové kapaliny otvory pro zasunutí termočlánků. Rychlostní profily byly fotografovány v minutových intervalech a z fotografických snímků byly určeny charakteristické proudnice a určeny jejich maximální rychlosti. Ty byly přepočteny na dílo a sestaveny do tabulek.

#### PROMĚŘOVANÉ VARIANTY USPOŘÁDÁNÍ TAVICÍHO PROSTORU

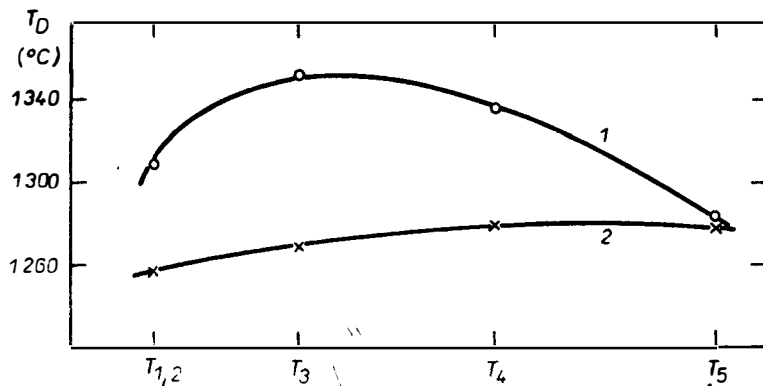
Na modelu tavicí pece, na které se taví obalová sklovina, byly nastaveny 4 varianty uspořádání tavicího prostoru. U každé varianty bylo změřeno teplotní pole ve vybraných místech tavicího bazénu a určen charakter proudění a stanoven vliv rozložení vybavovaného Jouleova tepla na teplotní pole a výsledné proudění.

#### Varianta 1

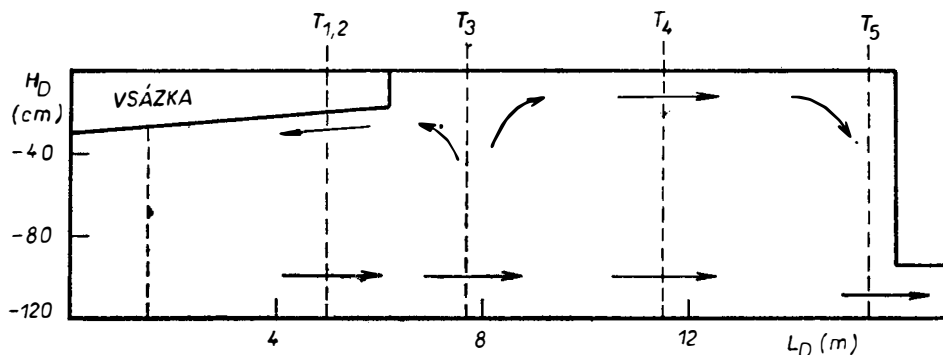
Jde o základní variantu, u níž byl tavicí prostor vyhříván pouze soustavou žárovek, tj. bez elektrického přihřevu. Na modelu bylo proměřeno rozložení teplot a určen charakter proudění (obr. 3 až 5 a tab. III).



Obr. 3. Rozložení teplot v podélné ose tavicího bazénu (údaje přepočteny na dílo).



Obr. 4. Průběh teplot v podélné ose bazénu; 1 — 12,5 cm pod hladinou, 2 — 100 cm pod hladinou.



Obr. 5. Schéma proudění v podélné ose tavicího bazénu.

Tabulka III

Maximální rychlosti proudění [ $m \cdot h^{-1}$ ]

	Místo měření			
	$T_{1,2}$	$T_3$	$T_4$	$T_5$
odběrový proud	0,8	1,32	0,78	3,0
dopředný proud na hladině	—	0,22	0,26	0,54
zpětný proud na hladině	1,26	0,48	—	—

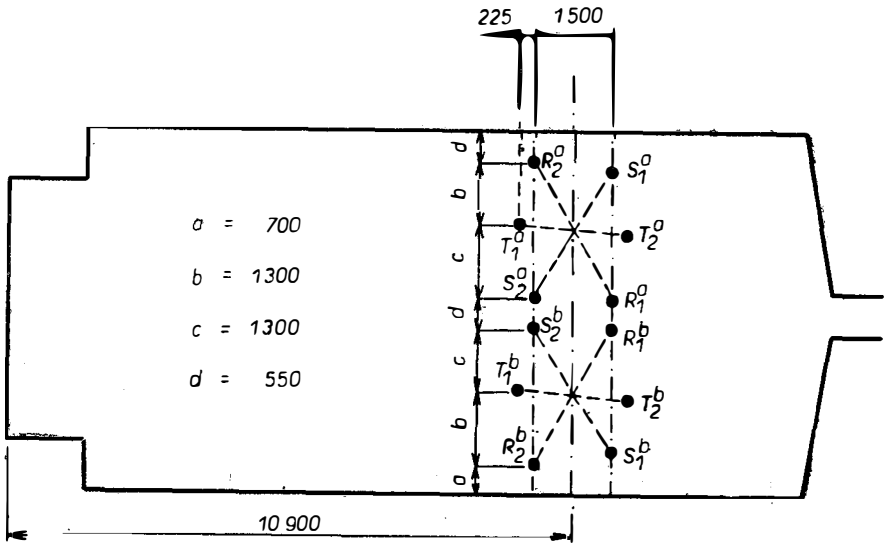
Oblast nejvyšších teplot se nachází v polovině tavicí části, v místě termočlánku  $T_3$ . Směrem k zakládacímu otvoru a k průtoku teploty klesají. Z tavicí části natéká do průtoku modelová kapalina o teplotě odpovídající na díle 1270 °C. Z údajů o sta-

vu proudění je zřejmé, že nejvyšší rychlost proudění se vyskytuje před průtokem a dosahuje hodnoty  $3 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ . Dopředný konvekční proud u hladiny postupoval z místa nejvyšších teplot k průtokové stěně, kde se stáčí k průtoku. Zpětný proud naopak směřoval z místa nejvyšších teplot k zakládacímu otvoru.

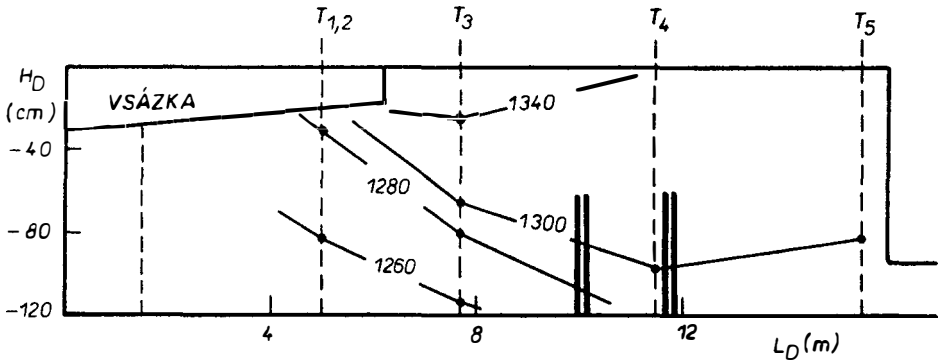
Varianta 2

U této varianty byl již sledován vliv elektrického přehřevu na rozložení teplot a stav proudění v tavicím bazénu. Elektrody přehřevu byly v bazénu instalovány podle obr. 6 a byly připojeny ke dvěma transformátorům.

Teplotní pole, charakter proudění a maximální rychlosti proudů jsou znázorněny na obr. 7, 8, 9 a v tabulce IV.

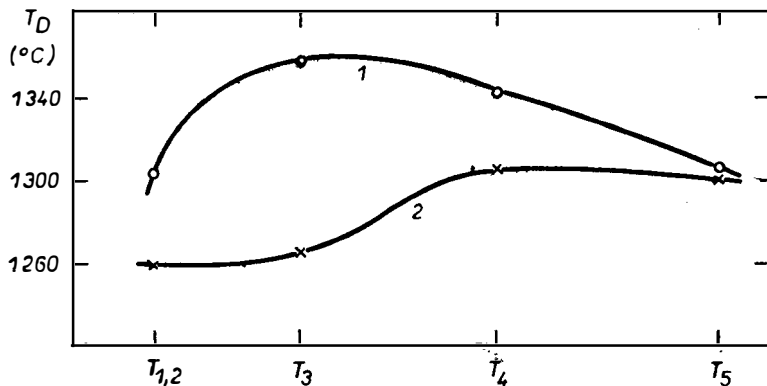


Obr. 6. Rozmístění elektrod v tavicím bazénu a jejich připojení k transformátorům; dolní index 1 — začátek vinutí fáze, dolní index 2 — konec vinutí fáze, horní index a — elektrody připojené k transformátoru I, horní index b — elektrody připojené k transformátoru II.

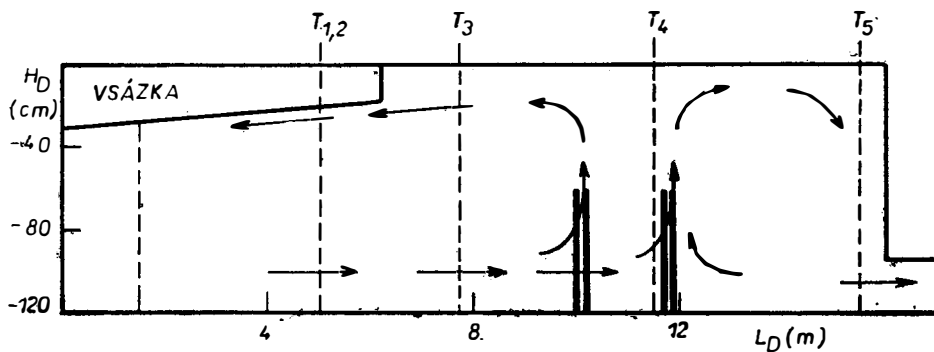


Obr. 7. Rozložení teplot v podélné ose tavicího bazénu.





Obr. 8. Průběh teplot v podélné ose tavicího bazénu; 1 — 12,5 cm pod hladinou, 2 — 100 cm pod hladinou.



Obr. 9. Schéma proudění v podélné ose tavicího bazénu.

Tabulka IV

Maximální rychlosti proudění [ $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

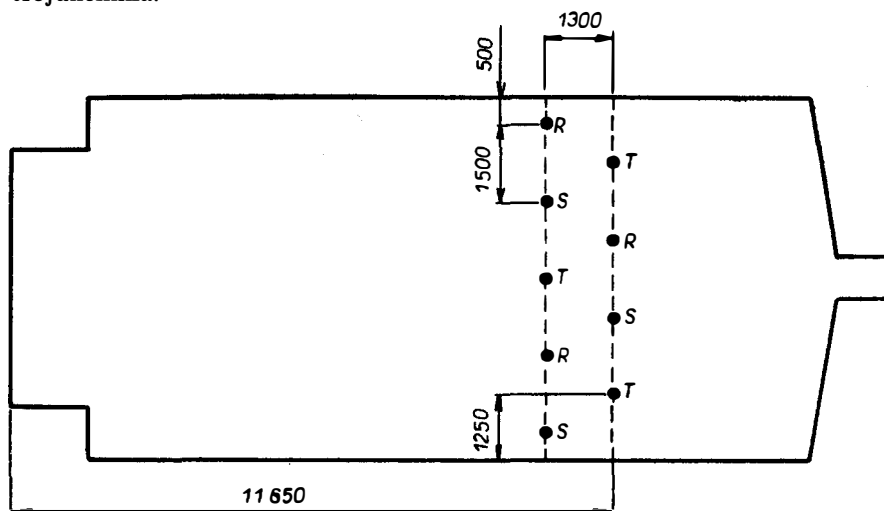
	Místo měření			
	$T_{1,2}$	$T_3$	$T_4$	$T_5$
odběrový proud	1,13	1,8	1,35	2,4
dopředný proud na hladině	—	—	0,48	0,77
zpětný proud na hladině	1,05	0,1	0,48	—
vzestupný proud u elektrod	—	—	1,37	—

Oblast maximálních tavicích teplot zůstala na stejném místě (mezi termočlánkem  $T_3$  a  $T_4$ ), neboť elektrický příhřev byl umístěn do tepelné přehrady vytvořené vrchním otopem. Použitím elektropříhřevu došlo k prohřátí spodních vrstev v tavicím bazénu v přepočtu na dílo o 20 K. V prostoru před průtokem bylo zaznamenáno také zvýšení teplot o 20 K.

Pokud jde o porovnání proudění s variantou 1, je zřejmé, že nedošlo ke změně v oblasti vsázky. Účinek elektrického příhřevu se projevil ovlivněním dopředného proudu postupujícího k průtoku. Hlavní odběrový proud nepostupoval k průtoku přímo, jako u varianty 1 (bez elektrického příhřevu), ale došlo k jeho zvednutí k hladině v oblasti příhřevu a poklesu až u průtokové stěny. Použitím elektrického příhřevu se jednak prodloužila dráha, po které protéká sklovina tavicím bazénem, a navíc veškerý odběrový proud prochází oblastí nejvyšších teplot u hladiny. Elektrický příhřev instalovaný podle varianty 2 dobře posiluje funkci tepelné přehrady a umožňuje tak zvýšit tavicí výkon pece. Vybavení energie je v centrální části příhřevu rovnoměrné a u bočních stěn je mírně zvýšené s ohledem na vyrovnání poklesu teplot vlivem ztrát do okolí.

### Varianta 3

Ve variantě 3 byl proměřován také vliv elektrického příhřevu na teplotní pole a charakter proudění v tavicím bazénu pece. Elektrický příhřev byl v bazénu umístěn podle obr. 10; jde o standardní typ elektropříhřevu obsahující 9 elektrod umístěných v tepelné přehradě ve tvaru rovnostranných trojúhelníků připojených na jeden třífázový transformátor, jehož sekundární vinutí je zapojeno do uzavřeného trojúhelníka.



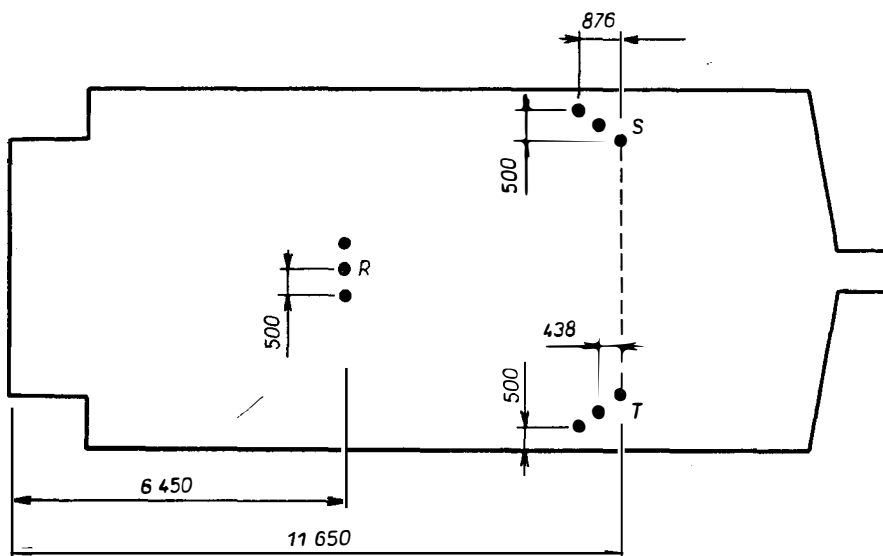
Obr. 10. Rozmístění elektrod v tavicím bazénu; R, S, T — fáze třífázového proudu.

Umístění elektrod ve variantě 3 je velmi podobné umístění elektrod ve variantě 2. Z toho důvodu jak teplotní pole, tak i proudění mají stejný charakter jako u varianty 2. (Proto nejsou uváděny obrázky znázorňující průběhy teplot a proudění v podélné ose tavicího bazénu, stejně jako tabulka s maximálními rychlostmi jednotlivých proudů.)

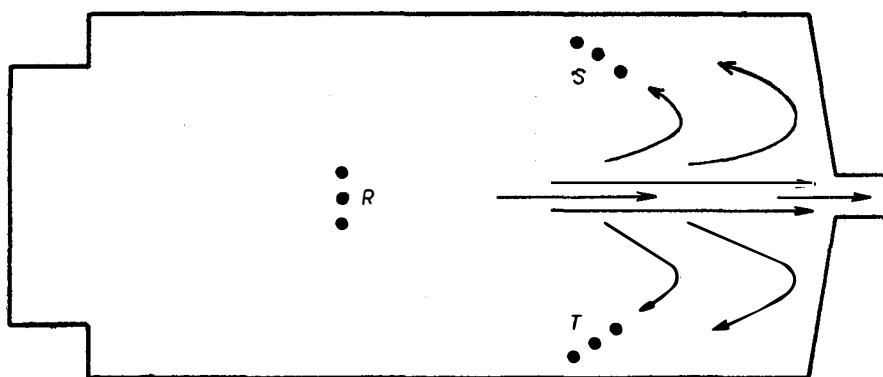
Protože u varianty 2 bylo použito 12 elektrod a u této pouze 9, vykazuje varianta 2 mírně rovnoměrnější rozdělení energie. Z měření vyplynulo, že úpravou délek krajních elektrod u stěn bazénu a úpravou jejich rozmístění lze docílit rovnoměrného vybavení energie v místě tepelné přehřady a tím vytvořit stejně příznivé podmínky pro tavení jako u varianty 2.

#### Varianta 4

Ve variantě 4 byl na fyzikálním modelu ověřen elektrický přehřev, který je používán v zahraničí a jehož konfigurace je na obr. 11. Jde o tři trojice paralelních elektrod umístěných do rovnostranného trojúhelníka a připojených na třífázový transformátor, jehož sekundární vinutí je zapojeno do uzavřeného trojúhelníka.



Obr. 11. Rozmístění elektrod v tavicím bazénu; R, S, T — fáze třífázového proudu.



Obr. 12. Schéma proudění u varianty 4 v půdorysu.

Vzhledem k tomu, že rozložení teplot a charakter proudění v podélné ose tavicího prostoru jsou shodné s variantou 1, nejsou zde uvedeny na obrázcích. U varianty 4 dojde pouze k nepatrnému prohrátí bazénu a také odběrový proud postupuje v podélné ose pece od zakládacího otvoru až k průtoku bez výraznějšího ovlivnění jako u varianty 1. Elektropříhřev podle varianty 4 nevytváří dostatečně silnou tepelnou přehradu v postupu odběrového proudu, tj. nezvedá ho do teplejších vrstev při hladině, jako tomu je u variant 2 a 3. Do průtoku vtékají převážně proudnice postupující středem pece a proudnice nacházející se dále od středu se před průtokovou stěnou oddělily a stočily se k trojicím elektrod u stěn bazénu (obr. 12). Z výše uvedených důvodů není elektrický příhřev vhodný k použití na modelované peci tavicí obalovou sklovinu.

### ZÁVĚR

Fyzikální modelování, zejména pokud je zdokonalené měřicí a výpočetní technikou, je spolehlivou metodou pro zobrazování složitých pochodů v peci. Z pozorování na modelu lze provádět závažná rozhodnutí pro praxi.

Z výsledků měření vyplývá, že instalaci elektrických příhřevů podle varianty 2 a 3 na peci pro výrobu obalového skla se vytváří technologicky příznivé proudění v tavicím prostoru, které umožňuje prodloužení doby průchodu nejrychlejší proudnice, a také odběrový proud prochází oblastí nejvyšších tavicích teplot. Obě uspořádání tavicího bazénu s elektrickým příhřevem podle varianty 2 a 3, která se liší způsobem napájení (dva nebo jeden zdroj) a rozmístění elektrod (12 a 9 elektrod) lze doporučit k realizaci na modelované peci s tím, že bude u varianty 3 provedena menší úprava délky a rozmístění elektrod u stěn bazénu.

### Seznam symbolů

$g$	gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
$H$	hloubka bazénu [m]
$l$	charakteristický rozměr [m]
$L$	délka bazénu [m]
$P$	elektrický příkon [VA]
$Q$	průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$s$	měřítka
$t$	teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T$	termodynamická teplota [K]
$\Delta T$	teplotní rozdíl [K]
$\eta$	dynamická viskozita [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ]
$\lambda$	tepelná vodivost [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
$\nu$	kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$\rho$	hustota [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$\rho_{\text{el}}$	měrný elektrický odpor [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]

### Indexy

D	dílo (pec)
M	model
$p$	vstupní
$k$	výstupní
$v$	objemový

Literatura

- [1] Kasa S., Staněk J.: *Silikáty* 28, 367 (1984).  
 [2] Staněk J.: *Elektrické tavení skla* SNTL, Praha, 1976.  
 [3] Scarfe F.: *Glass Technology* 21, 37 (1980).  
 [4] Staněk J., Kasa S., Lisý A.: *Chemický průmysl* 30, 456 (1980).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
 ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДОГРЕВА  
 СТЕЛКОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

Станислав Каса, Антонин Лисы

*кафедра технологии силикатов Химико-технологического института  
 166 28 Прага 6*

В предлагаемой статье описывается использование метода физического моделирования для получения данных, необходимых для проекта и реконструкции электрического подогрева на печи для варки тарной стекломассы. Отдельные предлагаемые варианты решения электрического подогрева рассматривались на основании распределения температур и характера течения в бассейне варочной печи и на основании влияния распределения выделяемой энергии электрического подогрева на технологические условия плавки. Наиболее пригодными показываются варианты 2 и 3 с установленным электрическим подогревом с 12 (рис. 6) и 9 (рис. 10) вертикальными электродами.

Установка электрических подогревов на печи для варки тарного стекла согласно вариантам 2 и 3 создает в плавильном бассейне технологически пригодное течение, которое предоставляет возможность продления прохода наиболее быстрой линии протока. Также поток отбора проходит через место наиболее высоких температур плавления. Оба типа электрических подогревов эффективно усиливают тепловой барьер и в результате того создают благоприятные условия для потенциального повышения пропускной способности ванной печи.

*Рис. 1. Сопоставление температурных градиентов на модели и печи в месте теплоэлемента  $T_4$ ; 1 — сооружение (печь), 2 — модель.*

*Рис. 2. Размещение термозащитных элементов в плавильной части модели.*

*Рис. 3. Распределение температур в продольной оси плавильного бассейна (данные с пересчетом на сооружение).*

*Рис. 4. Ход температур в продольной оси бассейна; 1 — 12,5 см под уровнем, 2 — 100 см под уровнем.*

*Рис. 5. Схема течения в продольной оси плавильного бассейна.*

*Рис. 6. Размещение электродов в плавильном бассейне и их подключение к трансформаторам; нижний показатель 1 — начало обмотки фазы, нижний показатель 2 — конец обмотки фазы, верхний показатель а — электроды, подключенные к трансформатору I, верхний показатель б — электроды, подключенные к трансформатору II.*

*Рис. 7. Распределение температур в продольной оси плавильного бассейна.*

*Рис. 8. Ход температур в продольной оси плавильного бассейна; 1 — 12,5 см под уровнем, 2 — 100 см под уровнем.*

*Рис. 9. Схема течения в продольной оси плавильного бассейна.*

*Рис. 10. Размещение электродов в плавильном бассейне; R, S, T — фаза трехфазного тока.*

*Рис. 11. Размещение электродов в плавильном бассейне; R, S, T — фаза трехфазного тока.*

*Рис. 12. Схема течения у варианта 4 в горизонтальной проекции.*

## USE OF MODELLING IN THE DESIGN OF ELECTRIC BOOSTING FOR GLASS TANK FURNACES

Stanislav Kasa, Antonín Lisý

*Department of Silicate Technology, Institute of Chemical Technology, 166 28 Prague 6*

An account is given of the methods of physical modelling used to obtain data for the design and reconstruction of electric boosting for container glass tanks. The individual variants of electric boosting designs were evaluated on the basis of temperature distribution and that of the flow patterns in the tank and with respect to the effect the distribution of the heating energy has on the technological conditions of melting. Variants 2 and 3 of built-in electric boosting, using twelve (Fig. 6) and nine (Fig. 10) vertical electrodes respectively, were chosen as the most suitable ones.

Introduction of electric boosting into container glass tanks according to variants 2 and 3 creates technologically favourable flow in the tank, thus allowing the residence time of the fastest flow path to be prolonged, and the pull flow to pass through the points of the highest melting temperatures. Both types of electric boosting reinforce effectively the thermal barrier, thus creating favourable conditions for possible increasing the furnace output.

*Fig. 1. Comparison of temperature gradients on the model and on the furnace at the point of thermocouple  $T_4$ ; 1 — furnace, 2 — model.*

*Fig. 2. Distribution of thermocouples in the melting part of the model.*

*Fig. 3. Temperature distribution over the longitudinal axis of the melting tank (the data recalculated for the actual furnace).*

*Fig. 4. The course of temperature over the longitudinal axis of the tank; 1 — 12.5 cm below the surface, 2 — 100 cm below the surface.*

*Fig. 5. Flow pattern over the longitudinal axis of the tank.*

*Fig. 6. Distribution of electrodes in the tank and their connection to the transformers; subscript 1 — beginning of phase winding, subscript 2 — end of phase winding, superscript a — electrodes connected to transformer I, superscript b — electrodes connected to transformer II.*

*Fig. 7. Temperature distribution over the longitudinal axis of the melting tank.*

*Fig. 8. The course of temperatures over the longitudinal axis of the melting tank: 1 — 1.25 cm below the surface, 2 — 100 m below the surface.*

*Fig. 9. Flow pattern over the longitudinal axis of the tank.*

*Fig. 10. Distribution of electrodes in the tank R, S, T — phases of three-phase current.*

*Fig. 11. Distribution of electrodes in the tank; R, S, T — phases of three-phase current.*

*Fig. 12. Flow pattern, variant 4 in plan.*

---

PRI VÝVOJI PAMĚTÍ S KAPACITOU 16 MB bola japonskou firmou Matsushita vyriešená metóda dovoľujúca realizovať využitím laseru štruktúry so šírkou iba 0,4  $\mu\text{m}$ . Masky sa exponujú eximerovým laserom na báze fluoridu kryptonu. Uvedený laser emituje na vlnovej dĺžke 248 nm. Nový technologický postup je veľmi výhodný vzhľadom k relatívne jednoduchej konštrukcii optického systému a možnosti využitia konvenčných technických prostriedkov. Teoreticky sa dajú pomocou uvedeného lasera pripraviť motívy s čiarami o hrúbke len 0,3  $\mu\text{m}$ . (SdĽovacie technika 1/88)

*M. Uhrík*

KOMPOZITNÝ IZOLAČNÝ MATERIÁL NA BÁZE  $\text{ZrO}_2$  pre teploty nad 2000 °C bol pripravený v Oak Ridge Lab. Izolačný materiál sa pripravuje „filtráčnym tvarovaním“ (filtration molding techniques) a vyznačuje sa spojením vlákien  $\text{ZrO}_2$  väzbou  $\text{ZrO}_2$ . Materiál sa vyznačuje pórovitosťou 80–85 obj. % a hustotou menšou ako 1  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Pracovná teplota prevyšujúca 2000 °C umožňuje priemyselné aplikácie pri vysokoteplotných — vysokotlakových procesoch tvorby keramiky a v oblasti práškovej metalurgie. (Am. Ceram. Bull. č. 12, 1987).

*Pánek*