

## MODELOVANIE OHREVV VODIVEJ VSÁDZKY METÓDOU SEPARÁCIE PREMENNÝCH

### (MODELLING OF CONDUCTIVE CHARGE HEATING BY VARIABLE SEPARATION METHOD)

Pavel NOVÁK, Jozef JANOŠČÍK

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach  
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, kl. 055/6024148, E-mail: Jozef.Janoscik@tuke.sk

#### SUMMARY

Attendant phenomenon of heat treatment processes is high energy demand. Its unstable factor depends mainly on thermal efficiency value of conversion system that is by the way related to temperature distribution on typical parameter of heated charge during the heating process. Temperature distribution is exactly defined with thermal field of heated charge.

This article presents analysis of thermal field in resistance heated conductive charge using the variable separation method. Field analysis is done for real case of direct resistance heating in solid charge so - called electrocontact heating. This heating is useable for standard methods of conductive materials heat treatment. The results of analysis is useable for optimalization of treatment parametres at objective heating.

**Keywords:** Resistance Heating, Electrocontact Heating, Internal Source of Energy, Equation of Conduction Heat, Temperature Characteristics of Heating Charge

#### 1. ÚVOD

Jednou z úloh grantového projektu VEGA SR č. 1/8133/01 riešeného na pracovisku autorov, je analýza energetickej náročnosti elektrotepelných technológií, t.j. technológií prostredníctvom elektrických ohrevov. Okrem taviacich procesov sú to rôzne procesy tepelného spracovania, realizované najmä metódami odporového a indukčného ohrevu. Aj keď fyzikálny princíp týchto metód je rovnaký, využívajúci Jouleov tepelný efekt, v technických aplikáciách sa odlišujú mnohými špecifickými znakmi, s dopadom na ich hodnotiace prevádzkové kritériá.

Z pohľadu kritérií, napr. energetickej náročnosti ohrevu, skúmania interakcie teplotného a elektromagnetického poľa vo vodivom prostredí, ako aj možných úspor elektrickej energie potrebnej k realizácii procesu, sú zaujímavé metódy priameho odporového ohrevu. Jednou z nich je napr. elektrokontaktný ohrev, t.j. ohrev vodivej vsádzky v tuhej fáze, ktorá má vhodné a jednoznačne známe geometrické rozmery.

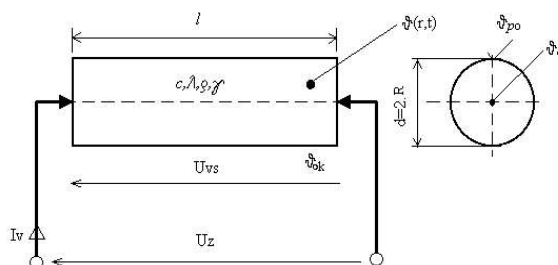
Analýza teplotných polí patrí všeobecne medzi zložité fyzikálne úlohy, ktorých mnohotvárnosť sa reflektuje vo výbere racionálnej metódy riešenia. Pre riešenie úloh spojených s prenosom tepla vedením v prostredíach s rozloženými parametrami, do skupiny ktorých patrí aj analýza teplotného poľa v elektrokontaktno ohrievanej vsádzke, sú vhodné analytické aj numerické metódy, v rôznych modifikáciách. Aplikáciou ktorejkoľvek metódy sa vyhľadáva tvar teplotnej funkcie  $\vartheta = \vartheta(x, y, z, t)$ , ktorá je riešením jednej z rovníc matematickej fyziky pre teplotné polia v tuhom prostredí [7].

Obsahom článku je prezentácia analytickej metódy separácie premenných na analýzu teplotného poľa elektrokontaktno ohrievanej valcovej vsádzky.

Všeobecným matematickým modelom takto definovanej úlohy je rovnica vedenia tepla tiež známa ako Fourierova rovnica s vnútorným zdrojom.

#### 2. CHARAKTERISTIKA VÝMENY TEPLA V ELEKTROKONTAKTNE OHRIEVANEJ VSÁDZKE

Pre aktuálnu analýzu teplotného poľa zvolíme model ohrevu valcovej vsádzky dĺžky  $l$ , polomeru  $R$ , ktorej  $l \gg R$ . Vsádzka nech sa ohrieva jednosmerným zdrojom s definovanými elektrickými parametrami napätia a prúdu ( $U, I$ ), pri známych materiálových konštantách: hmotnostnej tepelnej kapacity  $c$ , tepelnej vodivosti  $\lambda$ , elektrickej konduktivity  $\gamma$ , objemovej  $\rho$  a celkovej hmotnosti  $m$  (obr. 1).



**Obr. 1** Valcová vsádzka podrobená elektrokontaktnéj metóde ohrevu

**Fig. 1** Electrocontact method heated cylindrical charge

Rozloženie teploty vo valci je podmienené hraničnými podmienkami na jeho povrchu, napr. na polomere  $R$  menovite intenzitou ochladzovania

obvodu valca. Pre dokonale tepelne izolovaný obvod, čo je ideálny stav, rovnica energetickej bilancie ohrevu je jednoduchá a má tvar

$$dW_e = P_e \cdot dt = m \cdot c \cdot d(\Delta\mathcal{G}) \quad (1)$$

v ktorej  $P_e$  je výkon zdroja na kontaktoch ohrievača. Fyzikálne vyjadruje rovnosť medzi privádzanou elektrickou energiou a energiou spotrebovanou na zvýšenie tepelného obsahu valca v hraniciach zmeny teploty z počiatočnej  $\mathcal{G}_0$  ( $t = 0$ ) na teplotu  $\mathcal{G}_t$  za čas  $dt$  ( $\Delta\mathcal{G} = \mathcal{G}_t - \mathcal{G}_0$ ). Z integrovania rovnice (1) vyplýva lineárna charakteristika ohrevu, vyjadrená napr. v tvare časovej zmeny skutočnej teploty

$$\mathcal{G}(t) = \mathcal{G}_t = \mathcal{G}_0 + \frac{P_e \cdot t}{\pi \cdot R^2 \cdot l \cdot \rho \cdot c} = \mathcal{G}_0 + \frac{q_e}{\rho \cdot c} \cdot t \quad (2)$$

Smernicu teplotnej charakteristiky (2) určuje veľkosť vnútorného zdroja resp. merný elektrický výkon zdroja

$$q_e = \frac{P_e}{\pi \cdot R^2 \cdot l} = \frac{P_e}{V} = \text{konšt} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (3)$$

Za predpokladu dokonalej tepelnej izolácie obvodu valca, teplota na polomere je prirodzene rovnaká.

V reálnom prípade ohrevu valca a zároveň sústavného ochladzovania jeho povrchu istá časť elektrickej energie  $W_e$  sa spotrebuje formou tepelných strát z povrchu do okolia. Permanentne ochladzovaný povrch valca je príčinou zmeny lineárnej teplotnej charakteristiky na exponenciálnu a zároveň príčinou nerovnomerného rozloženia teploty na jeho polomere, bez ohľadu na rozloženie merného elektrického výkonu  $q_e$ . Pretože stupeň nerovnomernosti ohrevu závisí od intenzity vnútornej výmeny tepla, formálne podmienenej veľkosťou Biotovho čísla, analýza teplotného poľa v ohrievanom valci s tepelnými stratami je podstatne zložitejšia. Vyžaduje riešenie parabolickej, Fourierovej rovnice vedenia tepla s vnútorným zdrojom [1,5,7].

Ak sa aj naďalej budeme pridŕžiavať modelu ohrevu podľa obr. 1, vyšetrenie rozloženia teploty na polomere valca sa stáva jednorozmernou úlohou, čím predmetná rovnica vedenia tepla nadobudne modifikovaný tvar

$$\frac{\partial \mathcal{G}(r,t)}{\partial t} = a_g \cdot \left[ \frac{\partial^2 \mathcal{G}(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \mathcal{G}(r,t)}{\partial r} + \frac{q_e}{\lambda} \right] \quad (4)$$

v ktorej konštanta  $a_g$  má fyzikálny význam tepelnej difuzivity prostredia

$$a_g = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5)$$

Rovnica (4) je všeobecným matematickým modelom jednorozmerného teplotného poľa elektrokontaktne ohrievanej valcovej vsádzky.

Transformujeme ju do bezrozmerového tvaru postupným zavedením:

- pomernej súradnice valca

$$\xi = \frac{r}{R} \quad \text{t.j.} \quad \partial r = R \cdot \partial \xi$$

$$a \quad \partial r^2 = R^2 \cdot \partial \xi^2 \quad (6)$$

- pomerného času ohrevu (Fourierovho čísla)

$$Fo = \frac{a_t \cdot t}{R^2} \quad \text{t.j.} \quad \partial t = \frac{R^2}{a_t} \cdot \partial Fo \quad (7)$$

- pomerného teplotného rozdielu, ako

$$\Theta_R = \frac{\mathcal{G}(r,t) - \mathcal{G}_{ok}}{\Delta \mathcal{G}_R} \quad \text{t.j.} \quad \partial \mathcal{G} = \Delta \mathcal{G}_R \cdot \partial \Theta_R \quad (8)$$

alebo ako

$$\Theta = \frac{\mathcal{G}(r,t) - \mathcal{G}_{ok}}{q_e \cdot R^2} \cdot \lambda \quad \text{t.j.} \quad \partial \mathcal{G} = \frac{q_e \cdot R^2}{\lambda} \cdot \partial \Theta \quad (9)$$

kde  $\mathcal{G}_{ok}$  je teplota okolia

$\mathcal{G}(r,t)$  je teplota valca na polomere  $r$  v čase  $t$

$\Delta \mathcal{G} = \mathcal{G}_{os} - \mathcal{G}_R$  je referenčný teplotný rozdiel na polomere valca  $R$

Dosadením pomerných hodnôt (6), (7) a (8), resp. (6), (7) a (9) do rovnice (4) dostaneme jej vyjadrenie v bezrozmernom tvare v dvoch modifikáciách, t.j.

$$\frac{\partial \Theta_R}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \Theta_R}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\partial \Theta_R}{\partial \xi} + Po \quad (10)$$

alebo

$$\frac{\partial \Theta}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial \xi} + 1 \quad (11)$$

pričom v rovnici (10)  $Po$  je Pomerancevove číslo [6]

$$Po = \frac{q_e \cdot r^2}{\lambda \cdot \Delta \mathcal{G}} \quad (12)$$

pri teplotnom rozdieli  $\Delta \mathcal{G}$  na polomere  $r$ .

Rovnice (10) a (11) sú rovnocenné, rozdiel medzi teplotami  $\Theta_R$  a  $\Theta$  je len formálny, vyplývajúci z rozdielného definovania pomerných hodnôt.

### 3. APLIKÁCIA METÓDY SEPARÁCIE PREMENNÝCH NA RIEŠENIE TEPLITNÉHO POĽA S VNÚTORNÝM ZDROJOM

Pre vyhľadanie funkcie pomerných teplotných rozdielov v priamo ohrievanom valci podľa obr. 1, budeme vychádzať z upravenej rovnice vedenia tepla (11). S ohľadom na princíp metódy separácie

premenných [1,5] riešenie tejto rovnice sa hľadá v tvare súčinu dvoch nezávislých funkcií, napr.

$$\Theta(\xi, Fo) = A \cdot \xi^2 + B + C(\xi) \cdot D(Fo) \quad (13)$$

v ktorom  $C(\xi)$  a  $D(Fo)$  sú predmetné funkcie,  $A$  a  $B$  sú konštanty funkcie pomerných teplotných rozdielov  $\Theta(\xi, Fo)$ . Vykonaním jednotlivých derivácií funkcie  $\Theta(\xi, Fo)$  v súlade s rovnicou (11) dostaneme zápis

$$C(\xi) \cdot \frac{\partial D(Fo)}{\partial Fo} = 2A + 2A + 1 + D(Fo) \cdot \frac{\partial^2 C(\xi)}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot D(Fo) \cdot \frac{\partial C(\xi)}{\partial \xi} \quad (14)$$

pre ktorý ak prijmeme predpoklad, že  $A = -\frac{1}{4}$ , dostaneme z neho pre metódu separácie premenných potrebnú rovnosť

$$\frac{1}{D(Fo)} \cdot \frac{\partial D(Fo)}{\partial Fo} = \frac{1}{C(\xi)} \cdot \left[ \frac{\partial^2 C(\xi)}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\partial C(\xi)}{\partial \xi} \right] \quad (15)$$

Nutnou a postačujúcou podmienkou tejto rovnosti je, aby obe funkcie (dvoch rôznych a nezávislých argumentov  $\xi$  a  $Fo$ ) boli konštantné. Ak predmetnú konštantu označíme  $-\beta^2$ , potom parciálna diferenciálna rovnica (11) sa transformuje na sústavu dvoch obyčajných rovníc

$$\frac{1}{D(Fo)} \cdot \frac{\partial D(Fo)}{\partial Fo} = -\beta^2 \quad (16)$$

$$\frac{1}{C(\xi)} \cdot \left[ \frac{\partial^2 C(\xi)}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\partial C(\xi)}{\partial \xi} \right] = -\beta^2 \quad (17)$$

so všeobecnými riešeniami

$$D(Fo) = D \cdot \exp(-\beta^2 \cdot Fo) \quad (18)$$

$$C(\xi) = C_1 \cdot Jo(\beta \cdot \xi) + C_2 \cdot No(\beta \cdot \xi) \quad (19)$$

a integračnými konštantami  $C_1$ ,  $C_2$  a  $D$ , závislými od konštanty  $\beta$ . Z Besselových funkcií reálneho argumentu  $Jo(\beta\xi)$  a  $No(\beta\xi)$  pre symetrický ohrev valca (vzhľadom na polomer) má opodstatnenie len párna funkcia  $Jo(\beta\xi)$ . Teda, výsledné všeobecné riešenie funkcie pomerných teplotných rozdielov je

$$\Theta(\xi, Fo) = -\frac{1}{4} \cdot \xi^2 + B + C_1 \cdot D \cdot Jo(\beta \cdot \xi) \cdot \exp(-\beta^2 \cdot Fo) \quad (20)$$

Pre získanie partikulárneho riešenia predpokladáme známu:

- počiatočnú podmienku, menovite pre  $t = 0$  ( $Fo = 0$ ) pomerný teplotný rozdiel

$$\Theta(\xi, Fo) = \Theta(\xi, 0) = 1 \text{ t.j. } \vartheta(r, 0) = \vartheta_{ok} \quad (21)$$

- reálnu hraničnú podmienku pre elektrokontaktný ohrev, menovite podmienku 3. druhu, ktorá pre  $r = R$  ( $\xi = 1$ ) je

$$\frac{\partial \Theta(\xi, Fo)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1} = -Bi \cdot \Theta(\xi, Fo)_{\xi=1} \quad (22)$$

- a v ktorej  $Bi$  je Biotove číslo [6]

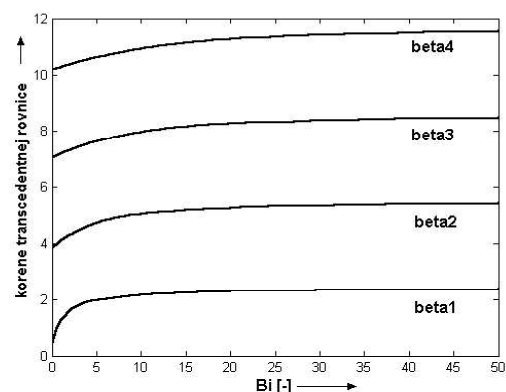
$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda} \quad (23)$$

$\alpha$  je koeficient prestupu tepla z povrchu valca do okolia.

Uplatnením podmienok (21) a (22) vo všeobecnom riešení (20) získame hodnoty integračných konštant  $B$ ,  $C_1$ ,  $D$  a tým aj konečný tvar teplotnej funkcie

$$\Theta(\xi, Fo) = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{2}{Bi} - \xi^2 - 1 \right) - 2Bi \sum_{i=1}^{\infty} \frac{Jo(\beta_i \cdot \xi)}{\beta_i^2 (Bi^2 + \beta_i^2) \cdot Jo(\beta_i)} \cdot \exp(\beta_i^2 \cdot Fo) \quad (24)$$

pri definícii pomerného teplotného rozdielu  $\Theta(\xi, Fo)$  podľa vzťahu (9).



**Obr. 2** Závislosť koreňov rovnice (25) od Biotovho čísla

**Fig. 2** Dependency of equation root (25) from Biot number

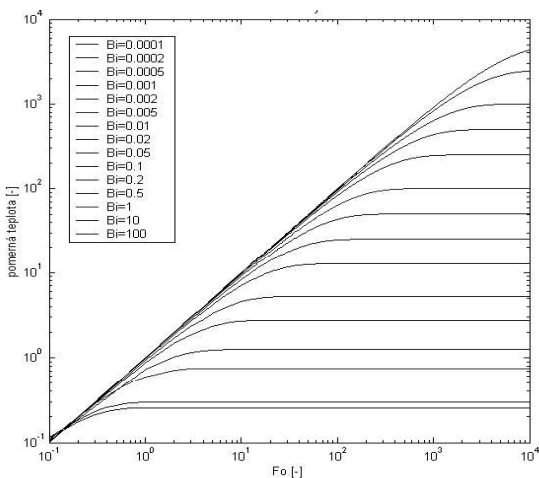
Z výpočtu integračných konštant vyplýva zároveň transcendentná rovnica

$$Bi \cdot Jo(\beta_i) - \beta_i \cdot J_1(\beta_i) = 0 \quad (25)$$

ktorej korene  $\beta_i$  sú parametrom Besselových funkcií  $Jo(\beta_i)$  a  $J_1(\beta_i)$  [4]. Zdlhové riešenie transcendentnej rovnice (25), ktorej teoreticky vyhovuje nekonečný počet koreňov  $\beta_i$ , vo všeobecnosti vyvoláva averziu

k použitiu metódy separácie premenných. Praktické skúsenosti však potvrdzujú, že dostatočne presné výsledky sa dosahujú už s malým počtom koreňov, napr. pre  $i \in < 1, \max 6 >$  [2]. Na pracovisku ošetrený program využíva prvé štyri korene  $\beta_i$  [8]. Na obr. 2 je znázornená ich závislosť od hodnoty Biotovho čísla.

Konečný tvar teplotnej funkcie (24) vyjadruje pole pomerných teplotných rozdielov na polomere symetricky ohrievaného vodiveho valca elektrokontaktnou metódou, pri rovnomernom rozložení merného elektrického výkonu na celom priereze ( $q_e = \text{konšt.}$ ). Jej grafické zobrazenie pre  $\xi = 0$  (os valca) je naznačené na obr. 3.



**Obr. 3** Závislosť pomernej teploty v osi valca od Fourierovho čísla

**Fig. 3** Dependency of relative temperature in cylinder axle from Fourier number

Z priebehov jednotlivých kriviek vyplýva, že s rastúcim časom ohrevu ( $Fo$ ) a znižujúcim sa Biotovým číslom pomerný teplotný rozdiel a teda aj skutočná teplota valca stúpajú, čo znamená, že nárast teploty valca pri  $q_e = \text{konšt.}$  je podmienený ochladzovacími podmienkami jeho povrchu (v danom čase je teplota valca vyššia ak  $\alpha$  klesá). Pretože podmienkou racionálneho režimu elektrokontaktného ohrevu je malá hodnota  $Bi$ , pri relatívne vysokej rýchlosti ohrevu touto metódou skutočné charakteristiky ohrevu sa nachádzajú blízko lineárnej časti priebehov na obr. 3. Z tohto vyplýva konštatovanie, že:

- kritériálny výsledok (24) a jeho grafické zobrazenie majú najmä teoretický význam
- v bežných technických výpočtoch sa nedopustíme značnej chyby, ak otepľovací charakteristiku valca budeme riešiť bez tepelných strát, t.j. podľa rovnice (2). Toto zjednodušenie korešponduje s max. hodnotou  $Fo = 6$ .

#### 4. PRAKTICKÝ PRÍKLAD ANALÝZY TEPLOTNÉHO POĽA ELEKTROKONTAKTNE OHRIEVANÉHO VALCA

##### Vstupné parametre valcovej vsádzky a zdroja:

- polomer vsádzky
- dĺžka vsádzky  
 $l = 5 \text{ m}$
- počiatková teplota vsádzky  
 $\vartheta_p = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- merná hmotnosť  
 $\rho_{ocel} = 7800 \text{ kg/m}^3$
- koeficient prestupu tepla  
 $\alpha = 45 \text{ W/m}^2\text{K}$
- merná elektrická vodivosť  
 $\gamma = 1.35 \cdot 10^6 \text{ S/m}$
- koeficient tepelnej vodivosti  
 $\lambda = 35.9 \text{ W/m.K}$
- merná tepelná kapacita  
 $c = 716 \text{ J/kg.K}$
- čas ohrevu  
 $\tau = 6000 \text{ s}$
- napájacie napätie zdroja  
 $U = 5 \text{ V}$
- úbytok napätia v prírodných vodičoch  
 $\Delta U\% = 1 \%$

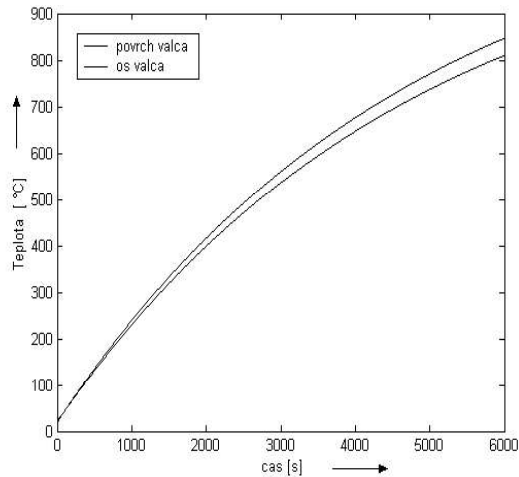
##### Niektoré výstupné hodnoty:

- hmotnosť vsádzky  
 $m = 698.1868 \text{ kg}$
- odpor vsádzky  
 $R = 0.209587 \text{ m}\Omega$
- výkon zdroja so zahrnutím strát  
 $P = 118.09 \text{ kW}$
- straty v prírodných vodičoch  
 $\Delta P = 1.18 \text{ kW}$
- tepelný výkon zdroja na vsádzke  
 $P_{vs} = 116.91 \text{ kW}$
- napätie na vsádzke  
 $U_{vs} = 4.95 \text{ V}$
- prúd vsádzkou  
 $I_{vs} = 23.618 \text{ kA}$
- merný tepelný výkon zdroja  
 $p_v = 1.313 \text{ MW/m}^3$
- koeficient teplotnej vodivosti  
 $a = 6.428 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Biotovo číslo  
 $Bi = 0.094011$
- Fourierovo číslo  
 $Fo = 6.8565$

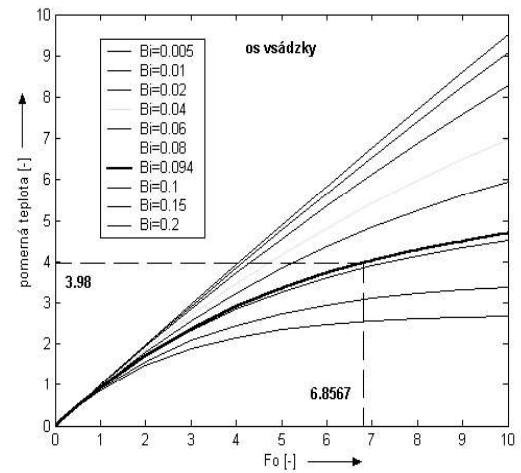
Navrhnúť a použitý výpočtový program: OHREV SEP

Počet vypočítaných koreňov transcendentnej rovnice (25): 4 (obr. 2)

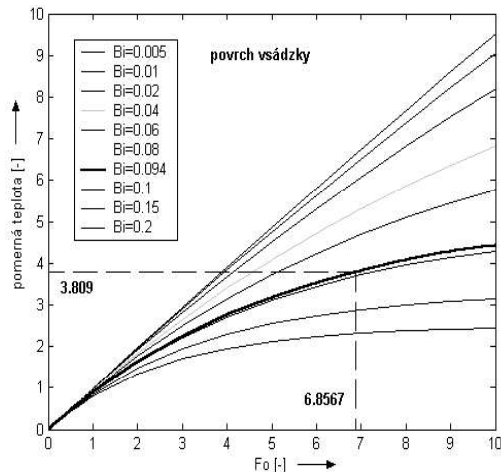
Niektoré výsledky riešenia v grafickej forme uvádzame v sérii nasledujúcich obrázkov [7,8]:



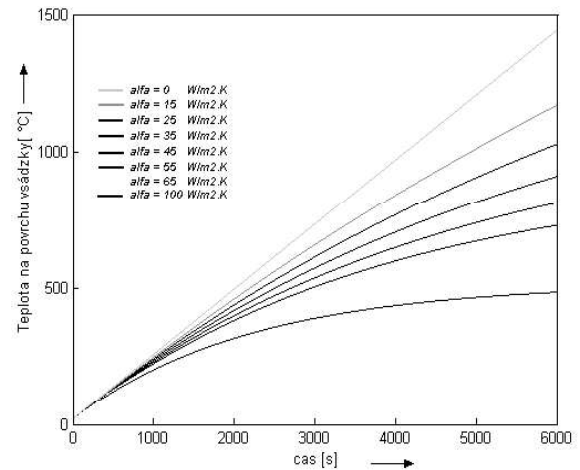
**Obr. 4** Otepľovacie krivky ohrevu na povrchu a v osi valca v skutočných hodnotách teploty  
**Fig. 4** Heating curves of heating at cylinder surface and axle in effective values of temperature



**Obr. 6** Otepľovacie krivky ohrevu v osi valca v pomerných hodnotách teploty  
**Fig. 6** Heating curves of heating at cylinder axle in relative values of temperature



**Obr. 5** Otepľovacie krivky ohrevu na povrchu valca v pomerných hodnotách teploty  
**Fig. 5** Heating curves of heating at cylinder surface in relative values of temperature



**Obr. 7** Otepľovacie krivky ohrevu na povrchu valca pre rôzny koeficient  $\alpha$ , reprezentujúci veľkosť tepelných strát  
**Fig. 7** Heating curves of heating at cylinder surface for various coefficient  $\alpha$ , which representing heating losses magnitude

## 5. DISKUSIA VÝSLEDKOV, ZÁVER

Prezentované praktické výsledky jednoznačne korešponujú s fyzikálnou predstavou a zákonitosťami ohrevu valcovej vsádzky jednosmerným prúdom t.j. s konštantnou hodnotou merného elektrického výkonu na celom priereze valca. Nevyžadujú preto podrobnejší komentár. Porovnanie s výsledkami dosiahnutými inými metódami, napr. numerickou metódou konečných diferencii [3,7,8] dovoľuje vysloviť tvrdenie, že presnosť metódy separácie premenných, aj pri

predpokladaných zjednodušeníach (obmedzenie počtu koreňov  $\beta_i$  na štyri), je dostatočná a teda postačujúca.

S ohľadom na praktické aplikácie elektrokontaktného ohrevu obmedzujúcim predpokladom v predmetnom riešení je  $q_e = \text{konšt.}$  t.j. napájanie ohrievača jednosmerným prúdom. Mnohé zariadenia však pracujú so striedavým zdrojom, v ktorých uvedený predpoklad stráca platnosť vplyvom povrchového javu – skin efektu. Možnosť riešenia tejto zložitejšej úlohy budeme prezentovať v nasledujúcom článku.

**LITERATÚRA**

- [1] HAUSER, J.: Podstawy elektrotermicznego przetwarzania energii. Poznań. Zakład Wydawniszy K. Domke, 1996
- [2] HERING, M.: Podstawy elektrotermii: cz II. Warszawa. Wydawnicztwo Naukowo – Techniczne, 1998. ISBN 83-204-2319-8
- [3] JANOŠČÍK, J.: Modelovanie teplotných polí tuhej vsádzky ohrievanej odporovou metódou. Písomná práca k dizertačnej skúške. Košice KEE FEI TU, 2003
- [4] KORENEV, B.G.: Úvod do teórie Besselových funkcií (preklad z ruského originálu). Praha. SNTL, 1977
- [5] KRIVANDIN, V.A. a kol.: Metallurgičeskaja teplotchnika – tom 1: Teoretičeskije osnovy. Moskva: Metallurgija, 1986
- [6] KUNEŠ, J.: Modelování tepelných procesů. Praha. SNTL, 1989
- [7] NOVÁK, P.: Elektrické ohrevy, 1. časť Odporový ohrev. Košice. Mercury – Smékal, 2002. ISBN 80-89061-60-5
- [8] RURA, M.: Matematický model teplotného poľa valcovej vsádzky ohrievanej elektrokontaktou metódou. Diplomová práca. Košice FEI TU, 2002

**BIOGRAPHY**

**Pavel Novák** (Assoc. Prof., Ing., CSc.) born in 1942 in Stará Ľubovňa. Graduated from the Faculty of Electrical Engineering of the Slovak Technical University Bratislava, from power engineering branch in 1964. Since 1971 he has been with the Faculty of Electrical Engineering of Technical University in Košice. He received the CSc. (PhD.) degree from the Technical University Košice, in 1977 and there he was also appointed Associate Professor for Power engineering in 1980. He focuses on electroheat technology mainly thermal and electromagnetic field in electrical furnaces.

**Jozef Janoščík** (Ing.) born in 1977 in Stará Ľubovňa. Graduated from the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University in Košice from power engineering branch in 2001. Since 2001 he stays at Department of Power engineering as internal doctoral student. He is interested in electrocontact heating and mathematical modelling of temperature fields in solid charges.