

Uporaba PC preglednic s poudarkom na reševanju temperaturnih polj in polj mešanja taline

Application of Computer Spreadsheets with Emphasis on the Solution of Temperature Fields and Fields of Melt Stirring

M. Bolčina, Železarna Štore

S hitrim razvojem računalniške tehnologije se v inženirski praksi vse pogosteje uporabljajo numerične metode reševanja konkretnih problemov reševanja polj, opisanih z nelinearnimi parcialnimi diferencialnimi enačbami. Rezultati, ki jih na ta način dobimo, bistveno bolj ustrezajo dejanskemu stanju, kot rezultati, ki smo jih dobili po klasičnih postopkih, kjer smo morali vrsto vplivnih faktorjev zanemariti, da smo določene obrazce oziroma procedure lahko uporabili. Edina ovira je, da moramo imeti na razpolago ustrezno programsko in aparaturno opremo.

Application and adaptation of the so called spreadsheets is presented. They can be satisfactorily used in solving partial differential equations. Nowadays they are available practically for each home computer or PC. The method of final differences and iterations are used till in any field segment the desired accuracy is achieved. Use of this method is extremely simple for the solution of a suitable form of Laplace or Poisson differential equation. It must not be neglected that always and immediately also corresponding graphical presentation of the system solution is available. The procedure was illustrated by two examples, i.e. by the solution of Fourier heat transfer differential equation, and by the somewhat more demanding solution of Navier-Stokes differential equation which was applied in estimating the stirring intensity of melt in an induction furnace.

1 Uvod

Prikazali bomo uporabo in prilagoditev tabelaričnih kalkulatorjev oziroma t.i. preglednic (spreadsheet), ki jih lahko v ta namen s pridom uporabimo in so na voljo praktično za vsak hišni ali osebni računalnik. Pri tem je uporabljena metoda končnih diferenc in iterativni postopek do željenega pogreška v poljubnem segmentu polja. Uporaba za reševanje ustrezne oblike Laplaceove oziroma Poissonove diferencialnih enačb za 2D je skrajno enostavna, pri novjših preglednicah pa tudi za tri in več dimenzionalne probleme. Ne smemo zanemariti, da imamo vedno in takoj na voljo ustrezno grafično ponazoritev rešitve sistema. Postopek bomo ponazorili z dvema primeroma in sicer Fourierjeve diferencialne enačbe prenosa toplote in nekoliko zahtevnejšega postopka reševanja Navier-Stokesove diferencialne enačbe, s pomočjo katere smo ocenjevali intenzivnost mešanja taline v indukcijski peči.

2 Preglednice — tabelarični kalkulatorji (spreadsheet)

Pri delu lahko uporabljamo preglednice, kot so npr. Microsoft Works, Excel, Lotus 123, QuattroPro, Symphony itd. Ker predpostavljamo poznavanje vsaj ene od omenjenih preglednic, podajamo samo njihov kratek splošni opis. Posamezne preglednice imajo specifične prednosti. Namenjene so predvsem hitri in enostavni obdelavi podatkov po znanem ključu. Posamezne celice preglednice imajo svoje naslove sestavljene iz črk, ki definirajo stolpec in številko, ki definirajo vrstico nahajanja celice v tabeli, npr.: A1, DF205, CY5698 itd. Vse celice so na začetku prazne in med seboj enakovredne. Vanje lahko pišemo besedila, številčne vrednosti ali formule, s katerimi povezujemo posamezna polja.

Tako lahko npr. s formulo SUM(B2..B133) v trenutku dobimo vsoto vseh vrednosti, ki so v stolpcu B na vrsticah od 2 do 133. Rezultat se izpiše v celici, v kateri smo napisali zgornjo formulo. Dobljeni rezultat lahko ponovno koristimo pri nadaljni obdelavi. Poleg vseh bistvenih matematičnih, logičnih, časovnih itd. funkcij in izrazov, ki so implementirane v posamezne preglednice, omenimo še možnost uporabe iteracij, ki jo uporabimo pri numeričnem reševanju parcialnih diferencialnih enačb, do željenega pogreška. Za uporabnika je zelo pomembno dejstvo, da je uporaba hitra, priročna, rezultati pa so ponazorjeni v grafični obliki.

3 Uporaba pri reševanju temperaturnega polja

Kot prvi primer prikažimo način uporabe preglednic pri numeričnem reševanju Fourierjeve parcialne diferencialne enačbe, ki jo za stacionarno stanje preoblikujemo v Laplaceovo obliko,

$$\operatorname{div}(k \operatorname{grad} T) + \rho c \frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\delta q}{\delta V} \quad (1)$$
$$T = T(x, y, z, t)$$

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} = Q, \quad (2)$$

kjer so parametri k , ρ , δ lahko krajevno, časovno in temperaturno odvisni. Ker pri tem uporabljamo diferenčno metodo, podajamo kratek opis izpeljave za omenjeni primer dvodimenzionalnega polja, kot kaže **slika 1**:

$$\frac{\Delta T_n}{\Delta y} = \frac{T_n - T_o}{h}$$

$$\frac{\Delta T_e}{\Delta x} = \frac{T_o - T_c}{h}$$

$$\frac{\Delta T_w}{\Delta x} = \frac{T_w - T_o}{h}$$

$$\frac{\Delta T_s}{\Delta y} = \frac{T_o - T_s}{h}$$

sledi:

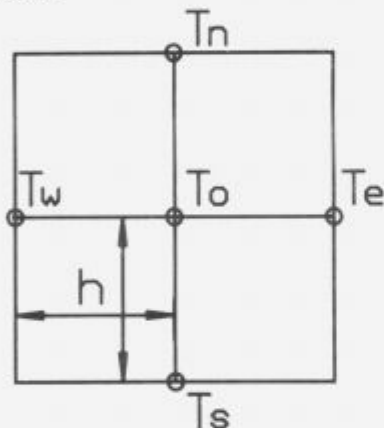
$$\frac{\Delta \frac{\Delta T}{\Delta x}}{\Delta x} = \frac{\frac{\Delta T_w}{\Delta x} - \frac{\Delta T_e}{\Delta x}}{\Delta x}$$

$$\frac{\Delta \frac{\Delta T}{\Delta y}}{\Delta y} = \frac{\frac{\Delta T_s}{\Delta y} - \frac{\Delta T_e}{\Delta y}}{\Delta y}$$
(3)

Kot rezultat dobimo iskano temperaturo:

$$T_o = \frac{T_w + T_c + T_n + T_s + Qh^2}{4}$$
(4)

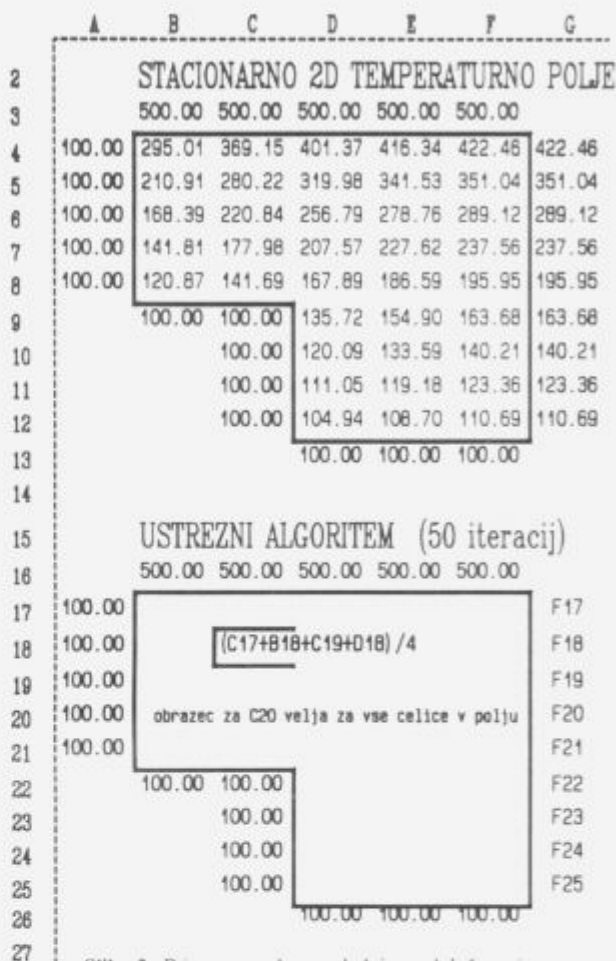
za poljubno vozlišče (celico) končnih difrenc znotraj obravnavanega polja. Podoben pristop lahko uporabimo tudi za časovno odvisna in večdimenzionalna polja. Na osnovi te izpeljave lahko z pomočjo iteracij uporabljamo to metodo v prej omenjenih preglednicah. V splošnem nimamo težav z divergiranjem h končni rešitvi (velja za eliptični tip diferencialnih enačb).



Slika 1. Osnovna mreža končnih diferenc.
Figure 1. Basic net of final differences.

Vzeli smo primer, kjer ploščinskemu homogenemu elementu specifične oblike (npr. kovinski plošči v obliki črke L), ki jo vizuelno ponazorimo v preglednici z podajanjem robnih in začetnih pogojev in potrebnim številom celic glede na potrebno natančnost. Naša naloga je določiti pripadajoče temperaturno polje. V našem primeru naj bodo robni pogoji na vseh straneh 100°C, razen na zgornjem robu, kjer predpostavimo konstantno temperaturo 500°C in na desni strani, kjer predpostavljamo idealno toplotno izolacijo (slika 2). Po preoblikovanju parcialne časovno neodvisne diferencialne enačbe v ustrezno numerično obliko (po metodi končnih diferenc s korakom h), vidimo, da je temperatura v posamezni točki, ki jo ponazarja vrednost v celici, za homogene kovinske plošče enaka povprečju obdajajočih temperatur in toplotnemu izvoru v tej točki. Temperature na zunanjih robovih so konstante, razen na desnem robu, kjer je temperatura enaka vrednosti v sosednji točki (celici) v notranjosti elementa. Po večjih interakcijah pridemo do zadovoljivega pogreška, ki pa je poleg števila iteracij odvisen tudi od kvadrata koraka delitve h , kot kaže slika 2.

Tako v poljubno celico preglednice napišemo splošno enačbo 4, ki jo nato prekopiramo v druge celice glede na geometrično obliko opazovanega polja. (Pri tem preglednice



Slika 2. Primer uporabe preglednic za določevanje dvodimenzionalnega temperaturnega polja.
Figure 2. Example of use of spreadsheets in determining a two-dimensional temperature field.

avtomatično prevzamejo relativne naslove obrazcev, torej ustrezne sosednje celice posamezne prekopirane celice). Če imamo opravka s konstantnimi zunanjimi temperaturami vnesemo kot robne parametre ustrezne številčne vrednosti, drugače pa ustrezne obrazce, ki opisujejo robne efekte toplotne izolacije, toplotne prestopnosti, sevanja itd. Tudi tu si pomagamo s kopiranjem istosmiselnih obrazcev.

4 Uporaba pri reševanju polj mešanja taline

V električnih prevodnikih, ki so v izmeničnem magnetnem polju, se inducira električni tok. Komponenta magnetnega polja, ki je pravokotna na ta električni tok, povzroči t.i. Lorentzovo silo. V tekočih prevodnikih je ta sila vzrok za generiranje toka te tekočine in s tem mešanje fluida. Ta osnovni princip izkoriščamo pri elektromagnetnem mešanju taline. Pri tem uporabljamo izmenično (rotirajoče ali utripajoče) magnetno polje, ki ga ustvari ustrezen zunanji elektromagnet.

Tema tega primera je obdelati elektromagnetno mešanje taline v indukcijski lončni peči s pomočjo omenjenih preglednic. Ker smo predpostavljali osnosimetrični problem (lončna peč), smo s tem zanemarili komponente hitrosti v $I\varphi$ smeri, ki bi lahko nastale kot posledica turbolenčnih efektov. Torej je problem najlažje rešljiv v cilindričnih koordinatah. Čeprav je vzbujevalno magnetno polje časovno

odvisno s frekvenco napajalne napetosti na induktorju, je komponenta Lorenzove sile, ki premika fluid, stalna (Moffatt je dokazal, da je časovno odvisna komponenta kompenzirana s časovno odvisnostjo v pritisku fluida, kar pa presega okvir tega dela).

kjer je

V	hitrost fluida
p	pritisk
ρ	gostota
η	kinematična viskoznost
F	sila na enoto mase delujoča na fluid.

Obravnavamo torej tok fluida v dveh dimenzijah v pravokotnem območju lonca peči $0 < r < r_{\max}$, $0 < z < z_{\max}$. V nadaljevanju vzamemo enačbe, ki opisujejo vrtilne tokove za opis gibanja fluida. Vidimo, da ima v našem primeru cirkulacija ω_c samo 1φ komponento. Sedaj definiramo tokovno funkcijo Ψ kot:

$$\mathbf{V} = \nabla \Psi = \mathbf{1r} \frac{-\partial \Psi}{\partial z} + \mathbf{1z} \frac{\partial \Psi}{\partial r} \quad (7)$$

Cirkulacija ω_c je podana z:

$$\mathbf{1}\varphi \omega_c = \nabla \times \mathbf{V} = \nabla^2 \Psi \quad (8)$$

Operator nabla ∇ in Laplacov operator sta v tem primeru dvodimenzionalna operatorja in sta definirana kot:

$$\begin{aligned} \nabla &= \mathbf{1r} \frac{\partial}{\partial z} + \mathbf{1z} \frac{\partial}{\partial r} \\ \nabla^2 &= r^{-1} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \\ \nabla^2 &\approx \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (9)$$

Končno dobimo v primeru konstantne viskoznosti (nestisljivega fluida) s pomočjo Navier-Stokesove enačbe 6 izraz:

$$RF_{(r,z)} + \eta \nabla^2 \omega_c = -\frac{\partial \Psi}{\partial z} \cdot \frac{\partial \omega_c}{\partial r} + \frac{\partial \Psi}{\partial r} \cdot \frac{\partial \omega_c}{\partial z} \quad (10)$$

6 Tehnika računanja Navier-Stokesove enačbe s pomočjo preglednic

V tem primeru moramo biti pri sami tehniki računanja po opisanih metodah posebej pazljivi. Razlike pri velikih številih, ki pri tem izračunu nastopajo v posameznih celicah preglednice, so relativno majhne in velika nevarnost je, da reševanje po iterativnem postopku ne konvergira. (Paziti torej moramo, da v lastni matriki računane sistema prevladujejo diagonalni koeficienti.) To velja predvsem za preglednice starejše generacije, ki pri računanju upoštevajo manjše število decimalnih mest.

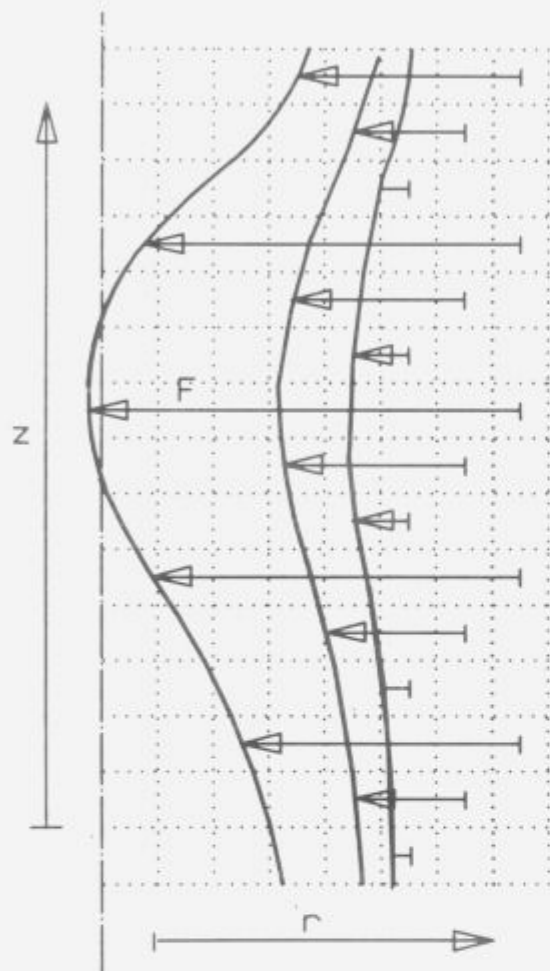
V nadaljevanju izhajamo iz sistema naslednjih dveh parcialnih diferencialnih enačb:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = \omega_c \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 \omega_c}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \omega_c}{\partial z^2} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial r} \frac{\partial \omega_c}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial z} \frac{\partial \omega_c}{\partial r} - RF_{(r,z)} \right) \quad (12)$$

z dvema neznankama ω_c in Ψ . Enačbi lahko rešujemo po metodi, ki smo jo opisali v prejšnjem poglavju. Če predpostavimo $\eta \rightarrow \infty$, potem je rešitev spodnje enačbe relativno enostavna:

$$\omega_{c0} = \frac{\omega_{cw} + \omega_{ce} + \omega_{cn} + \omega_{cs}}{4} \quad (13)$$



Polje sil v talini

Slika 3. Prikaz sil na enoto taline.

Figure 3. Presentation of forces per unit melt.

Razlika sil na robovih poljubno majhnega geometrijskega telesa v talini povzroči njegovo vrtilčenje. Zato po numerični poti določimo rot $F(r, z)$ v cilindričnih koordinatah, ki ima smer 1φ .

$$\begin{aligned} RF(r, z) &= \text{rot } F(r, z) = \mathbf{1}\varphi \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \\ &\approx \mathbf{1}\varphi \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} \right) \approx \mathbf{1}\varphi \left(\frac{\Delta F_r}{\Delta z} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

5 Dinamika fluida

Osnovna enačba za stalen tok nestisljivega fluida, kar opisuje obrazec $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$ je:

$$V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + F_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \eta \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} + \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) \right\}, \quad (6)$$

S to rešitvijo pa sproti iterativno rešujemo tudi zgornjo enačbo:

$$\Psi_0 = \frac{\Psi_w + \Psi_e + \Psi_n + \Psi_s + \omega_{c0} h^2}{4}, \quad (14)$$

Z rešitvami polja tokovne funkcije $\Psi_0 = \Psi(r, z)$, po zadostnem številu iteracij ($\Psi_0^{(n)} - \Psi_0^{(n-1)} < \varepsilon_{\max}$), lahko določimo hitrostno polje taline po obrazcu:

$$\mathbf{v} = \nabla \Psi = \mathbf{1r} \frac{-\Delta \Psi}{\Delta z} + \mathbf{1z} \frac{\Delta \Psi}{\Delta r}. \quad (15)$$

Seveda pa moramo upoštevati dejansko vrednost za viskoznost $\eta(T)$, ki bistveno vpliva na končno rešitev. Zato v postopek iterativnega računanja preko ustreznih celic v preglednici in pripadajočih matematičnih povezav vključimo medsebojni vpliv med obema enačbama, kakor tudi vpliv polja elektromagnetnih sil, kar definira izraz:

$$\frac{1}{\eta} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial r} \frac{\partial \omega_c}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial z} \frac{\partial \omega_c}{\partial r} - RF(r, z) \right). \quad (16)$$

V tem primeru postane sistem za realne vrednosti η večkrat nestabilen, oziroma rešitve v splošnem ne konvergirajo h končni vrednosti. Vzrok ni samo v matematičnem, ampak tudi fizikalnem ozadju opisanega primera (efekt turbolenc). Rešitev problema smo našli po dveh poteh. Ker vemo, da lahko imamo laminarni tok tudi preko meje $Re > 10^3$, če eksperiment oz. povečevanje hitrosti fluida opravljamo silno previdno (zelo počasi, brez zunanjih tresljajev itd.), smo prvi način rešitve našli po tej poti. Postopek iterativnega računanja smo namreč pričeli z zadosti veliko viskoznostjo η . Ko smo pri tej vrednosti η dobili dovolj majhen pogrešek $\varepsilon \rightarrow 0$, smo η ponovno zmanjšali. Ta postopek smo avtomatizirali tako, da je bil novi η_{n+1} pri $\varepsilon(r, z) \rightarrow 0$:

$$\eta_{n+1} = \eta_n - 0.01(\eta_n - \eta_{\text{dejanski}}). \quad (17)$$

Postopek računanja je zelo dolgotajen, saj je potrebno izvesti več tisoč iteracij (v preglednici Excel ob mikroprocesorju 386 s koprocesorjem je potrebno nekaj ur računanja). Pri tem si lahko pomagamo s t.i. makro ukazi.

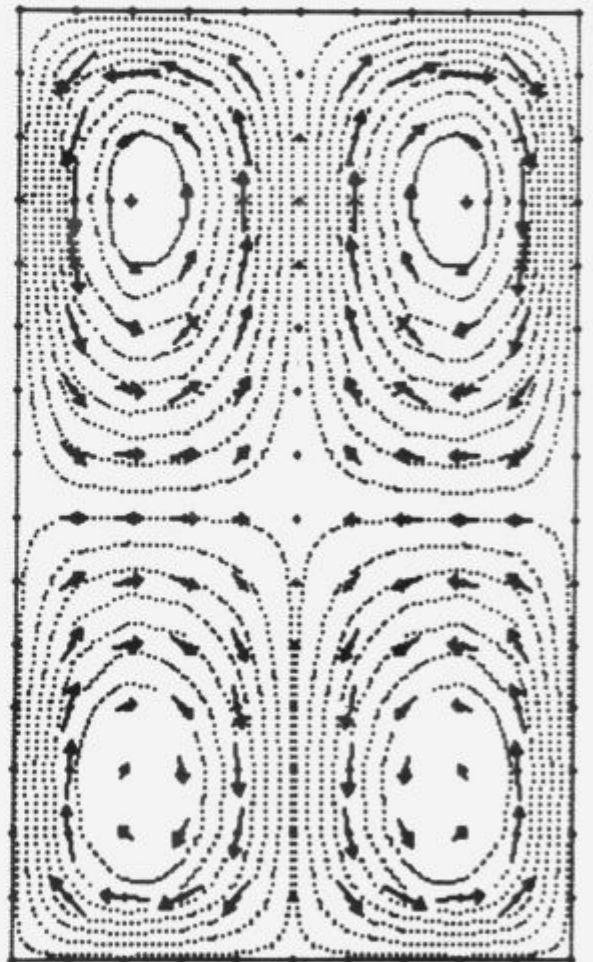
Te težave presežemo s takoimenovano "forward" oz. "backward" diferenčno metodo, namesto centralnih diferenc za prve odvode. Ta način nam zagotovi pozitivni prispevek k diagonalnim členom matrike koeficientov. Napaka pri diskretizaciji na razdalji h je tako $\mathcal{O}(h)$, pri uporabi centralnih diferenc pa bi bila $\mathcal{O}(h^2)$. Opisani postopek računanja sta prva predlagala Richards in Crane. Računanje smo izvedli v preglednici Excel po naslednjih splošnih obrazcih:

$$\begin{aligned} \Psi_0^{(m+1)} &= (1 - w_1) \Psi_0^{(m)} + \\ &+ \frac{w_1}{4} (\Psi_w^{(m+1)} + \Psi_n^{(m+1)} + \\ &+ \Psi_e^{(m)} + \Psi_s^{(m)} - h^2 \omega_{c0}) \\ \omega_{c0}^{(m+1)} &= (1 - w_2) \omega_{c0}^{(m)} + \\ &+ w_2 (U_w \omega_{cw}^{(m+1)} + U_n \omega_{cn}^{(m+1)} + \\ &+ C_e \omega_{ce}^{(m)} + C_s \omega_{cs}^{(m)} + (C_w - U_w) \omega_{cw}^{(m)} + \\ &+ (C_n - U_n) \omega_{cn}^{(m)} + h^2 RF/\eta), \end{aligned} \quad (18)$$

pri čemer velja:

$$\begin{aligned} C_n &= 1 - p & C_s &= 1 + p \\ C_e &= 1 + q & C_w &= 1 - q \\ U_n &= C_n + (p) & U_s &= C_s + (p) \\ U_e &= C_e + (q) & U_w &= C_w + (q) \\ p &= \frac{\Psi_e - \Psi_w}{4\eta} & q &= \frac{\Psi_n - \Psi_s}{4\eta} \\ w_1 &= 0.5 & w_2 &= 0.5. \end{aligned} \quad (19)$$

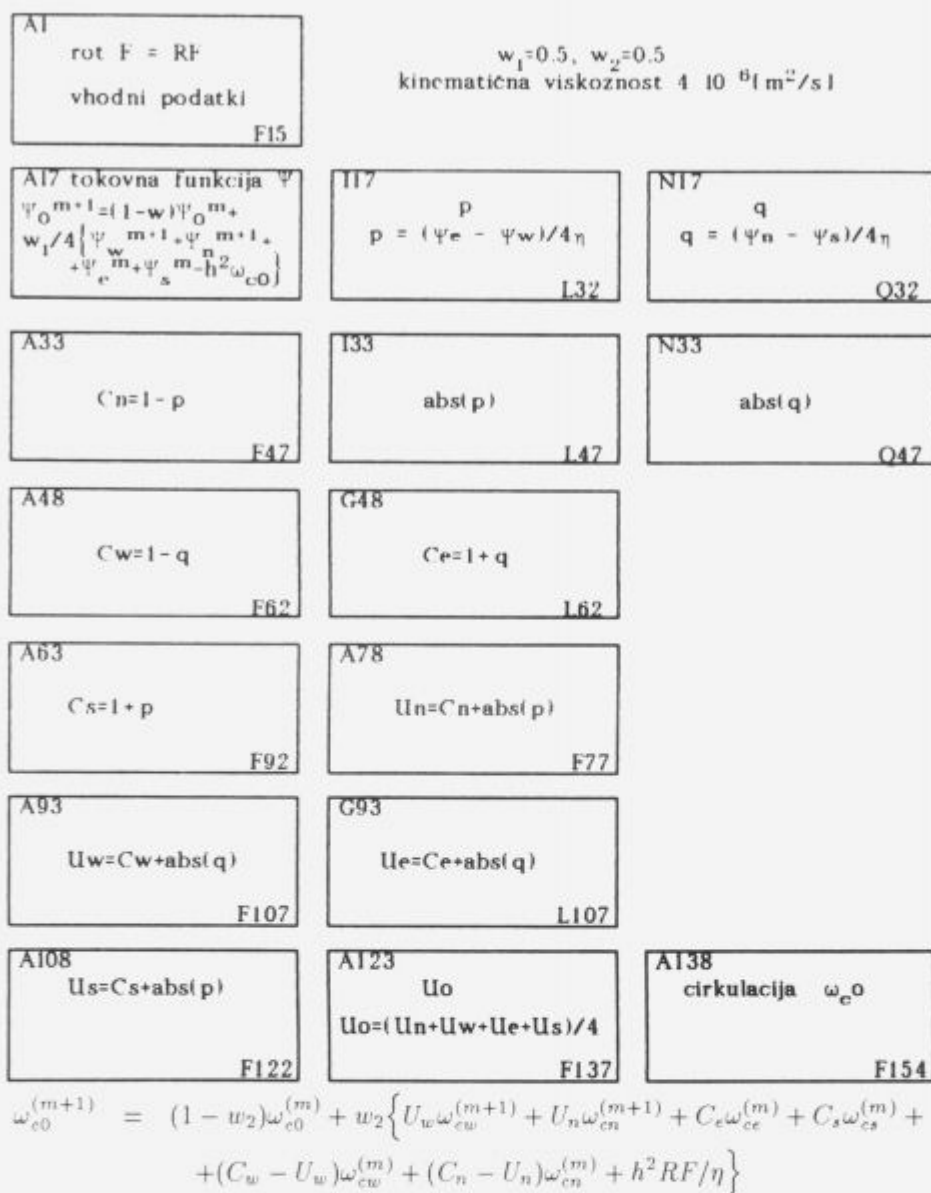
Konkretna razporeditev celic je prikazana v tabeli 1. Pri tem načinu uporabe preglednic pridemo veliko hitreje do rešitve tokovne funkcije Ψ . V opisanem primeru so robni pogoji za Ψ na stenah lonca konstantni (npr. 0), saj je tudi hitrost taline na teh mestih enaka 0. Konkretni izračun za naš primer je podan spodaj. Slika 4 prikazuje tipični način podajanja rezultatov s tokovnicami in tangencialnimi vektorji hitrosti fluida.



Slika 4. Tokovnice taline pri elektromagnetnem mešanju v indukcijski peči.

Figure 4. Melt flowlines in electromagnetic stirring in an induction furnace.

Ker lahko zanemarimo povezavo vpliva gibanja taline na elektromagnetne razmere (enačba $\mathbf{v} \times \mathbf{B} \rightarrow 0$), lahko Maxwellove enačbe (oziroma električni model indukcijske peči) rešujemo na enak način neodvisno od problematike fluida. Med posameznimi točkami, kjer nimamo definiranih razmer, lahko uporabimo postopke interpolacije.



Slika 5. Prikaz razvrstitve celic pri določanju tokovne funkcije v preglednici.

7 Sklep

V delu smo nakazali nekaj načinov uporabe računalniških preglednic, ki jih lahko hitro in koristno uporabimo v inženirski praksi, kadar nimamo na razpolago specialne programske in aparaturne opreme. Čeprav že preračuni v sodobnih preglednicah tečejo relativno dovolj hitro, lahko na ta način razvite algoritme uporabimo kot osnovo za hitrejšo projektiranje programske opreme v višjih programskih jezikih. Velika prednost je tudi v tem, da lahko končni uporabnik sam in po svojih potrebah oz. znanju hitro preizkusi različne algoritme, različne začetne in robne pogoje nekega sistema in robustnost rešitev na vpliv posameznih (geometrijskih, snovnih) faktorjev. Sočasna grafična ponazoritev rešitev pa pomaga pri utrjevanju in iskanju novih spoznanj o obravnavanem sistemu.

8 Razvrstitev celic pri določanju tokovne funkcije v preglednici

Razvrstitev celic pri določanju tokovne funkcije v preglednici je prikazana na sliki 5.

9 Literatura

- ¹ Holman J.P.: Heat Transfer, McGraw-Hill, New York, 1986.
- ² Scellato D.: Microsoft works, McGraw-Hill, New York, 1986.
- ³ Vodovnik L.: Dinamični sistemi, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 1981.
- ⁴ Željznov M., Popovič M., Valenčič V., Sinigoj A., Korez A.: Računalniški program "IMF-CAD" za projektiranje električnega dela indukcijskih lončnih peči z računalniškim sistemom "ATARI ST", Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 1987.

- ⁵ Obrović B.: Osnovi termotehnike, Naučna Knjiga, Beograd, 1986, str.: 152-211.
- ⁶ Brokmeier K.: Induktives Schmelzen, Brown, Boveri & Cie, Essen, 1966.
- ⁷ Milinčić D.: Termodinamika, IRO Gradjevinska knjiga, Beograd, 1981.
- ⁸ Donald A. Pierre: Optimization theory with applications, John Wiley & Sons, New York, 1972.
- ⁹ James K.: Linear and dynamic programming with LOTUS 123, Management Information Source, London, 1987.
- ¹⁰ Smith R.J.: Computer simulation of continuous systems, Cambridge University Press, Cambridge, 1975.
- ¹¹ Miličić M.P.: Zbirka zadataka iz više matematike II, Naučna knjiga, beograd, 1979.
- ¹² Himmelblau D.M., Bischoff K.B.: Proces analysis and simulation deterministic systems, John Wiley & Sons, New York, 1968.
- ¹³ Hudson P.C.: Mathematical modelling of industrial processes, Emojc Press, Northallerton, 1983.
- ¹⁴ Bolčina M.: Spremljanje in vodenje indukcijske peči, Magistersko delo, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1991.
- ¹⁵ Plavšić M.: Mehanika fluida, Naučna knjiga, beograd, 1976.
- ¹⁶ Asea Brown Boveri: 12th International ABB Conference on Induction Furnaces, ABB, Dortmund, 1991.
- ¹⁷ Forsythe G.E.: Finite Difference Methods for partial differential equations, John & Sons, New York, 1960.

Zusammenfassung

Im Artikel wird die Anwendung und Anpassung der sogenannten Übersichtstabellen (spreadsheets) die nützlich bei der Lösung der differential - partial Gleichungen angewendet werden gezeigt. Heutzutage sind diese praktisch für jedes Haus bzw. Personenrechner zur Verfügung. Dabei wird die Methode der Enddifferenzen und das iterative Verfahren angewendet, solange im beliebigen Feldsegment nicht der gewünschte Fehler erreicht wird. Die Anwendung dieser Methode ist bei der Lösung der entsprechenden Form der Lapac bzw. der

Poisson Differentialgleichung äusserst einfach. Dabei ist nicht zu vernachlässigen, dass immer und sofort auch die entsprechende graphische Darstellung für die Lösung des Systemes zur Verfügung steht. Das Verfahren wird an zwei Beispielen gezeigt und zwar mittels der Fourier. Differentialgleichung der Wärmeübertragung und mittels des etwas anspruchsvollen Verfahrens für die Lösung der Navier-Stokes-Differentialgleichung mit deren Hilfe die Rührintensität von Schmelzen im Induktions — ofen bewertet worden ist.

Summary

Application and adaptation of the so called spreadsheets is presented. They can be satisfactorily used in solving partial differential equations. Nowadays they are available practically for each home computer or PC. The method of final differences and iterations are used till in any field segment the desired accuracy is achieved. Use of this method is extremely simple for the solution of a suitable form of Laplace or Poisson differential equation. It must not be

neglected that always and immediately also corresponding graphical presentation of the system solution is available. The procedure was illustrated by two examples, i.e. by the solution of Fourier heat transfer differential equation, and by the somewhat more demanding solution of Navier-Stokes differential equation which was applied in estimating the stirring intensity of melt in an induction furnace.

Tehnične novice

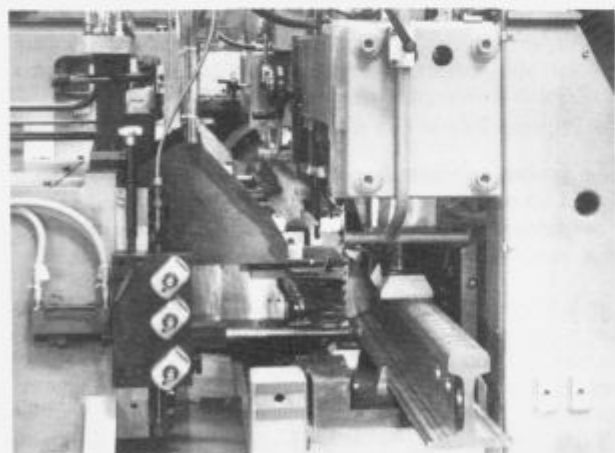
Gustav Wagner Maschinenfabrik BmbH & Co KG
Postfach 29 42
D-7410 Reutlingen 1

Economic Reasons and Technical Necessity:

Modernization Measures in Rail Rolling Mills

The expected increase in rail traffic is creating the need to extend railway networks. Nowadays, rail rolling mills should be equipped with modern, high-performance finishing machinery whose carbide-tipped tooling in the sawing and drilling machines can triple the production compared to conventional plant equipment. Auxiliary devices have been developed to reduce down-time to a minimum. A typical example of this new technology is the modernization of rail production in a Soviet rolling mill at Asovstal, which will be explained briefly in this article.

Maschinenfabrik Gustav Wagner from Reutlingen, Germany a world renown manufacturer of rail sawing and drilling machinery, has secured the contract for state-of-the-art modernization of rail production in the Asovstal Works at Mariupol in the Soviet Union. In addition to three machining lines for rail production the scope of supply contains a separate manufacturing line for shorter rail sections and a complete service facility to guarantee a constant supply of well sharpened carbide-tipped saw blades — a field in which Wagner excels world-wide as well. The plant is to be delivered and will begin production in 1992.



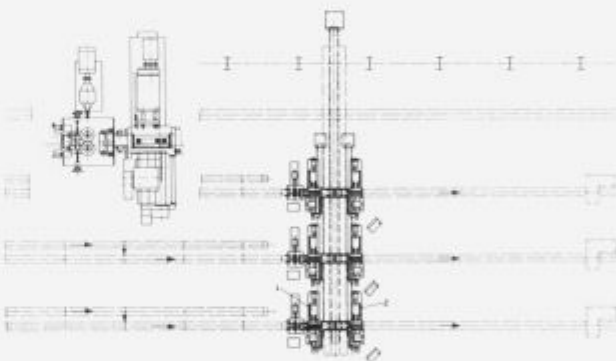
The modernization of finishing operations has been made possible by considerable advances in carbide-tip technology in drilling and circular sawing.

Modern high-strength rails, designed to withstand heavier loads, can hardly be machined at all with conventional HSS-tooling. In contrast, carbide-tipped sawblades will saw even the strongest rails (i.e. 1,400 N/Sq.MM, R 65 rails) in approximately 36 seconds, while giving an entirely suffi-

cient tool life. The time needed for (simultaneous) drilling with carbide-tipped drill bits is even shorter, just 19 seconds.

When carbide-tipped tooling is used to machine UIC rails of 1,100 N/SQ.MM output is increased by 300%. Output is the decisive factor from the standpoint of economics. Machinery downtime has to be minimized by design. The various system components, i.e. measuring devices, material handling, clamping units etc. have to operate most efficient and must be grouped properly.

Of the various possible layouts a longitudinal rail processing design was chosen. The working cycle begins with machine 1, which performs a crop-cut and simultaneously drills fishplate holes. The rail, about 26 M long and machined at one end, then is transported against a measuring end-stop at machine 2, is clamped and sawing and drilling of the opposite end commences. Chips and remnant ends are removed through a centrally located underground scrap outlet.



For processing of shorter rail sections a separate system will be installed, capable of sawing and drilling 6 fishplate holes simultaneously. This system also works in longitudinal direction and can produce rail sections of any desired length. Although the output is lower due to only one sawing machine in operation, this arrangement is characterized by its great flexibility.

To ensure fast rail transport all the machines are equipped with driven rollers and length measuring units, which monitor the distance travelled by means of a rotary pulser, allowing for exact positioning once the rail end has been fixed.

The modernization of the finishing processes in this Soviet rail plant is symptomatic of the present trend towards inevitable and rapid extension of railway traffic all over the world. New railways as well as the need for extensive renovation work require expanded production capacities.

Wagner is making an essential contribution to this: Standard components combined with custombuilt machinery of various designs provide competent solutions in technical and economic terms for every possible application.