

Riadenie ohrevu na báze inteligentného systému nepriameho merania

Súčasná technológia spracovania surovín sú charakterizované vysokou energetickou náročnosťou, značným ekologickým zaťažením životného prostredia a veľkou materiálovou náročnosťou.

Užívateľ priemyselných pecí z objektívnych dôvodov vyplývajúcich z konkurenčného prostredia musí úspešne riešiť nasledovný okruh problémov:

- prevádzkovať pec s minimálnou mernou potrebou. Zdôrazníme, že priemyselné pece patria do skupiny agregátov s veľkou energetickou spotrebou,
- dosahovať v realizovanom tepelnom režime vysokú kvalitu, ktorá objektívne závisí od konštrukcie pece a radiaceho systému.

Riadenie ohrevu masívnej vsádzky (uvažovaný je prípad ohrevu oceliarskeho zvitku) na základe vnútornej teploty, ktorá je nedeštruktúrnym spôsobom nemerateľná patrí do problematiky riadenia systémov s rozloženými parametrami. A práve vnútorná teplota, ktorá v danej technológii nie je prakticky merateľná rozhoduje o kvalite procesu.

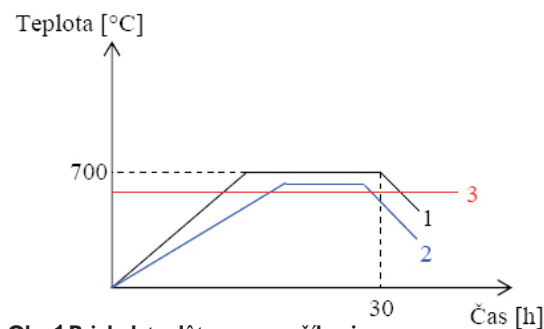
Systémy s rozloženými parametrami ponúkajú adekvátnejšiu reprezentáciu pre časovo/priestorovú dynamiku javov a procesov v porovnaní so sústrednými parametrami. V poslednom období sa tieto možnosti stále častejšie využívajú pri modelovaní, riadení a návrhu strojov, zariadení pre technologické a výrobné procesy, pri zostavovaní mechatronických smart materiálových štruktúr, pri koncipovaní systémov tvorby a ochrany životného prostredia popri klasických oblastiach aplikácie výsledkov teórie rozložených systémov v leteckom a kozmickom priemysle.

Nevýhodou riadenia takýchto systémov je oveľa menší počet metód v porovnaní s riadením systémov so sústrednými parametrami. Ako jeden možný spôsob sa javí riadenie na báze inteligentného systému nepriameho merania. Za určitých podmienok (v prípade menšieho dopravného oneskorenia) je možné použiť potom klasické metódy z teórie automatického riadenia. V opačnom prípade je návrh riadenia značne zložitejší.

1. INTELIGENTNÝ SYSTÉM NEPRIAMEHO MERANIA - ISNM

1.1 Štruktúra inteligentného systému nepriameho merania

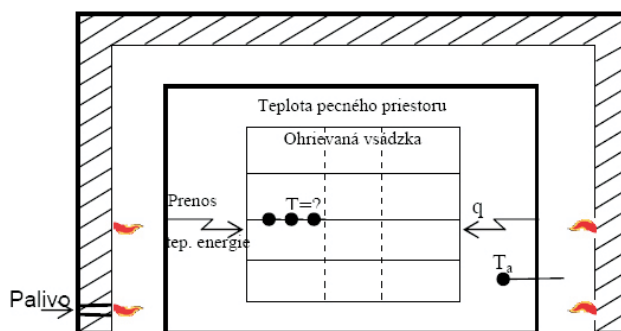
Typickým príkladom sústavy s rozloženými parametrami je ohrev oceliarskeho zvitku v poklopovej peci. Proces žihania je daný technológiou žihania, t.j. predpísanou teplotou žihacej atmosféry (Obr. 1. – krivka č.1). Z hľadiska kvality je potrebné dodržať prekročenie rekryštalizačnej teploty (Obr.1. – krivka č.3) v najchladnejšom mieste zvitku, kde teplota môže mať priebeh (Obr.1. – krivka č.2).



Obr. 1 Priebeh teplôt v procese žihania

Na Obr. 2 je schematicky znázornený proces žihania nepriamym ohrevom. Našou úlohou je určiť najmenšiu teplotu vo vsádzke, pretože tá bude rozhodujúcou z hľadiska dosiahnutej kvality žihania. Je zrejmé, že danú kvalitu môžeme zabezpečiť i dlhšou dobou teplotnej výdrže (čo sa v praxi realizuje), ale v tomto prípade dlhšia doba ohrevu znamená zvýšené náklady na spotrebovanú energiu. Zdôrazníme, že túto teplotu nedeštruktúrnym spôsobom nevieme merať priamo merať. Cieľom ISNM je určiť vnútornú teplotu (minimálnu) na základe:

- teórie vedenia tepla,
 - o povrchovej priamo zmeranej teploty, alebo
 - o teploty žihacej atmosféry T_a . (neurónové siete, deterministický prístup)



Obr. 2 Ohrev oceliarskeho zvitku v poklopovej peci

Vzhľadom na reálne podmienky (viď. Obr. 2.) je problematické priamo merať povrchovú teplotu. Pre tento prípad je reálne vychádzať z kontinuálne meranej teploty žihacej atmosféry T_a (viď. Obr. 2.). Úlohou subsystému, ktorý vychádza z priamo meranej teploty žihacej atmosféry (vstup do subsystému) je určiť priebežne v čase teplotu povrchovú.

Skúmali sa nasledovne možnosti ako vytvoriť tento subsystém pre nepriame meranie povrchovej teploty:

- subsystém založený na neurónových sieťach,
- subsystém založený na popise diferenciálnymi rovnicami,
- subsystém založený na teórii prenosu tepla sálaním a prúdením.

V tomto článku je prezentovaná posledná uvedená možnosť. Subsystém pre nepriame meranie povrchovej teploty je charakterizovaný rovnicou (1a).

$$q(\tau) = \sigma \cdot \varepsilon_{ef} \cdot K \cdot \left(T_{a(\tau)}^4 - T_{p(\tau)}^4 \right) + \alpha \cdot \left(T_{a(\tau)} - T_{p(\tau)} \right) \left[W \cdot m^{-2} \right] \quad (1a)$$

kde: α - koeficient prestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
 T_p - teplota povrchu zvitku [K],
 T_a - teplota žihacej atmosféry [K],
 σ - Stefan-Boltzmanova konštanta,
 K - adaptívny koeficient,
 ε - efektívny súčiniteľ sálenia.

Výstup z tohto subsystému je hustota tepelného toku $q(\tau)$, ktorý je vstupom do nasledujúceho subsystému. Nasledujúci subsystém je založený na teórii vedenia tepla a jeho základom je riešenie Fourierovej parciálnej diferenciálnej rovnice [4] (1b)

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (1b)$$



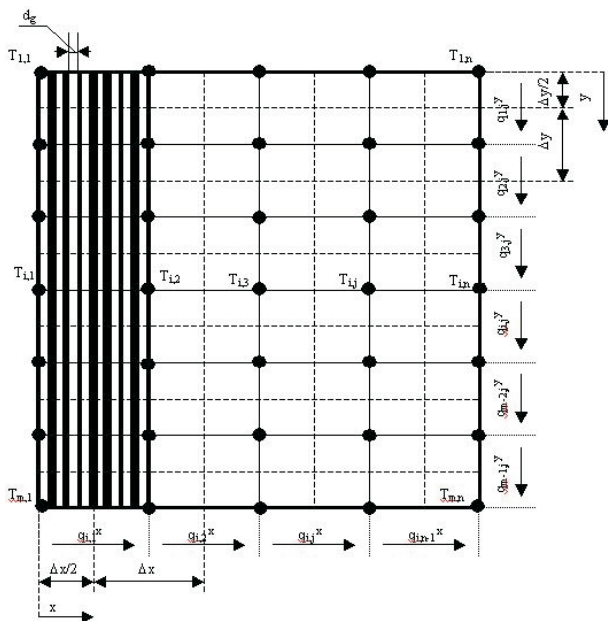
pri hraničných podmienkach:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_x(\tau) \qquad -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = q_y(\tau)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=h} = q_x(\tau) \qquad -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=l} = q_y(\tau)$$

- kde: λ – tepelná vodivosť [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
 ρ – hustota telesa [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
 c – merná tepelná kapacita [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
 T – teplota [K],
 τ – čas [s],
 x – súradnica bodu v smere osi x [m],
 y – súradnica bodu v smere osi y [m],
 h – rozmer telesa v smere osi x [m],
 l – rozmer telesa v smere osi y [m].

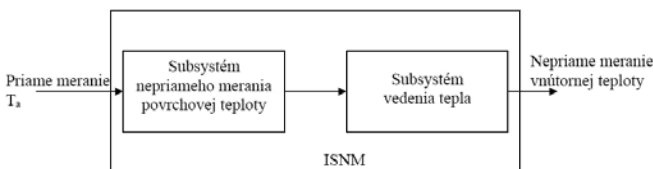
Pre riešenie sa použila metóda elementárnych bilancií, ktorá vychádza z rozdelenia vsádzky (zvitku) na elementárne kvádre (Obr. 3.) v smere osi x a v smere osi y, v ktorých ťažisku (uzlových bodoch) je sústredená teplota [2]. Pre každý elementárny kváder sa sformuluje bilančná rovnica, čím dostaneme sústavu rovníc a z jej riešenia je možné vytvoriť v podstate explicitný alebo implicitný algoritmus riešenia teplotného poľa. Rozdelenie telesa na elementárne kvádre môže byť rovnomerné alebo nerovnomerné. Avšak povrchové kvádre by mali mať polovičný a rohové zase štvrtinový objem. Keďže vsádzka je anizotropná (nerovnomerná veľkosť medzier medzi jednotlivými závitmi - dg znázornená na Obr. 3.), preto model sa upravil tak, aby bolo možné stanoviť rozdielnu tepelnú vodivosť v smere osi x. V smere osi y sme použili hodnotu tepelnej vodivosti na základe chemického zloženia ocele.



Obr.3 Rozdelenie telesa na elementárne kvádre

- Δx - rozmer elementárneho kvádra v smere osi x,
 Δy - rozmer elementárneho kvádra v smere osi y,
 d_g – veľkosť medzery medzi závitmi

Potom výsledná štruktúra ISNM je znázornená na Obr. 4.



Obr.4 Štruktúra ISNM

Presnosť ISNM závisí od oboch subsystemov. Ako relevantný vplyv na výslednú presnosť sa ukázala tepelná vodivosť anizotropného masívneho zvitku, ktorá však nie je známa.

1.2 Stanovenie efektívnej tepelnej vodivosti

Pre účely tvorby modelov nepriameho merania sú potrebné závislosti teplofyzikálnych parametrov ako sú napr. tepelná vodivosť, teplotová vodivosť, merná tepelná kapacita, hustota, emisivita konkrétnych materiálov, v ktorých sa má merať teplota, resp. tepelný tok. Veľmi dôležité je určiť tepelnú vodivosť pre anizotropné materiály (vsádzku), ktorej typickým predstaviteľom je žihací zvitok. Keďže pre náš konkrétny materiál sa nenašli v tabulkách presné závislosti týchto parametrov, boli vykonané merania v laboratórnych podmienkach a v reálnej prevádzke na žiharni č.2.

Teplo je prenášané z povrchu zvitku hlavne prostredníctvom vedenia do vnútra, ale v dôsledku prítomnosti medzier medzi vinutiami zvitku, nie je jednoduchý model vedenia adekvátny pre popisovanie ohrevu vo vnútri zvitku. Z toho dôvodu sa používa účinná tepelná radiálna vodivosť za účelom modelovania rozdelenia tepla vo vnútri zvitku.

V ideálnom zvitku je teplo prenášané v radiálnom smere cez striedajúce sa vrstvy ocele a žihacieho plynu. V reálnom zvitku sú ešte aj iné faktory, ktoré ovplyvňujú účinné radiálne vedenie.

Niektoré z nich sú nasledovné:

- premenlivá drsnosť povrchu plechov.
- tepelná radiácia, pridávajúca iný faktor k radiálnemu prenosu tepla vo zvitku.

Vo všeobecnosti je celková radiálna vodivosť súborom funkcií závislých na mnohých parametroch ako sú napríklad špecifické teplo, tepelná vodivosť, hustota, teplotný vzostup a pevnosť zvitku, rovnako ako vlastnosti výplňového plynu (tepelná vodivosť a hustota).

V riešenom modeli môže byť účinná tepelná radiálna vodivosť definovaná v podmienkach vodivosti ocelového zvitku a výplňového plynu a ich relatívneho pomeru použitím nasledujúcej rovnice [3]:

$$\lambda_u = \frac{d_s + d_g}{\frac{d_s}{\lambda_o} + \frac{d_g}{\lambda_p}} \qquad (2)$$

- kde: λ_u - tepelná vodivosť vrstvy ocele a plynu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
 λ_o - tepelná vodivosť ocele [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
 λ_p - tepelná vodivosť výplňového plynu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],
 d_s - priemerná hrúbka plechu zvitku [m],
 d_g - priemerná hrúbka medzery zvitku [m].

Z hľadiska problému stanovenia tepelnej vodivosti plynu sme sa zamerali na jej určenie pomocou optimalizačnej metódy, kde sme optimalizovali hodnotu tepelnej vodivosti plynu λ_p , ako efektívnu tepelnú vodivosť λ_{ef} .

Stanovenie tepelnej vodivosti aplikáciou gradientnej metódy

Algoritmus pre stanovenie efektívnej tepelnej vodivosti - λ_{ef} je založený na princípe optimalizačnej metódy. Cieľom je minimalizovať účelovú funkciu F, ktorá je vyjadrená sumou kvadrátov odchýlok medzi nameranými vnútornými teplotami na reálnom objekte (zvitku) a teplotami získanými z ISNM (simulačného modelu).

Tvar účelovej funkcie pre minimalizáciu odchýlky pri s (s=3) vnútorných teplotách vo zvitku z reálnej prevádzky zo žiharne č.2, cez dobu simulácie k (k= 400000 sekúnd) a cez l (l= 8) meraní vychádza zo vzorca.

Minimalizovať:

$$F = \sum_{p=1}^l \sum_{z=1}^k \sum_{j=1}^s \left(T^z_{j,l,nam} - T^z_{j,l,ISNMT} \right)^2 \qquad (3)$$

kde $T_{j,l,nam}^z$ – nameraná teplota vo vsádzke na reálnom objekte (poklopná pec),
 $T_{j,l,ISNMT}^z$ – modelová teplota (výstupná veličina z modelu),
 j – index teploty vo zvitku,
 s – počet priamo meraných vnútorných teplôt,
 z – časový krok simulácie,
 k – celkový čas simulácie,
 p – číslo merania,
 l – počet meraní.

V neskorších fázach riešenia projektu sa používal upravený tvar účelovej funkcie, v ktorom sa zaviedli váhové koeficienty pre vnútorné teploty. Tieto váhové koeficienty mali pomôcť v čo najväčšej miere zohľadniť nami zvolené teploty, aby sa dosiahla čo najmenšia chyba a čo najväčšia presnosť v konkrétnom mieste zvitku, pre splnenie požiadaviek technológie.

Minimalizovať:

$$F = \sum_{p=1}^l \sum_{z=1}^k \sum_{j=1}^n \left(T_{j,l,nam}^z - T_{j,l,ISNMT}^z \right)^2 \cdot v_j \quad (4)$$

kde v_j – váhový koeficient teploty.

Jadrom stanovenia efektívnej tepelnej vodivosti - λ_{ef} v ISNMT je optimalizačný algoritmus, ktorý je založený na princípe gradientnej metódy [7].

Gradientná metóda

iteračný algoritmus:

$$x^{i+1} = \bar{x}^i - h \cdot grad F(\bar{x}^i) \quad (5)$$

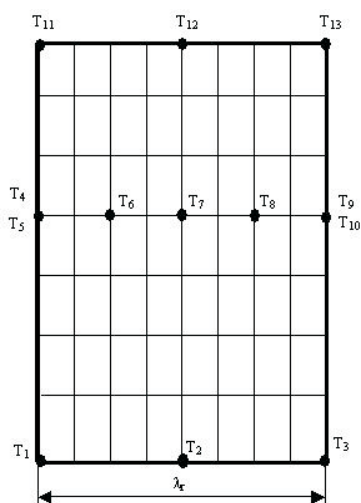
kde h – iteračná konštanta (krok), ktorú volíme takým spôsobom, aby hodnoty \bar{x}^{i+1} nenarušili podmienky existencie funkcie $F(\bar{x})$ a zároveň platilo (pri minimalizácii)

$$F(\bar{x}^{i+1}) < F(\bar{x}^i) < \dots < F(\bar{x}^i) < F(\bar{x}^0)$$

V riešení boli hodnoty vektora \bar{x} uvažované ako hodnoty tepelnej vodivosti v smere osi x vo zvitku z reálnej prevádzky (Obr. 5.).

Na Obr. 5. sú znázornené siete uzlových bodov, meracie miesta a oblasti optimalizácie. Hodnota tepelnej vodivosti (pri zvolených hraničných teplotách – odstupňovaných po 50 °C) $\lambda_{ef}(r)$ $r = 1, 2, \dots, m$. (m – počet hraničných teplôt – počet zložiek vektora x)

zvitok z reálnej prevádzky



Obr.5 Rozdelenie zvitku na uzlové body pre účely simulácie a optimalizácie

V ďalšom kroku riešenia sa krok h gradientnej metódy optimalizoval metódou zlatého rezu [5] za účelom zefektívnenia (skrátene doby simulácie a zvýšenia presnosti riešenia) zvolenej optimalizačnej metódy. Pri optimalizácii sa stanovovali hodnoty tepelných vodivostí v smere osi x v jednotlivých teplotných intervaloch a hodnota tepelnej vodivosti

v smere osi y zostávala nezmenená za predpokladu aproximácií tepelných vodivostí lineárnymi čiastkovými lomenými funkciami.

Algoritmus gradientnej metódy s krokom h získaním z metódy zlatého rezu:

1. Načítanie vstupných hodnôt λ_r , pre $r = 1, 2, \dots, m$ je počiatočný odhad hodnoty tepelných vodivostí v smere osi x , ktoré predstavujú teplotné hranice aproximovaných hodnôt tepelných vodivostí, $\delta\lambda_r$ je zmena λ_r , ε_g je presnosť gradientnej metódy, ε_e je presnosť metódy zlatého rezu, a je dolná a b je horná hranica prírastku tepelnej vodivosti λ_{ef}^d , číslo $d = 0.618$
2. Výpočet sústavy rovníc, ktorá bola uvedená v priebežnej správe projektu za rok 2005 pod vzorcom (3.30) a výpočet účelovej funkcie $F(0)$ podľa vzťahu (5.8)
3. $r = 1$
4. Zmena λ_r podľa vzťahu $\lambda_{ef(r)}^{i+1} = \lambda_{ef(r)}^i + \delta\lambda_{ef(r)}^i$
5. Výpočet sústavy rovníc, ako v bode 2 a výpočet účelovej funkcie $F(\lambda_{ef(r)})$ podľa vzťahu (5.8)
6. kontrola či index r sa rovná hodnote m , ak to platí tak potom choď na bod 7, ak nie tak potom $r = r + 1$ a choď na bod 4
7. Výpočet gradientných zložiek

$$grad(\lambda_{ef(r)}) = \frac{F(\lambda_{ef(r)}) - F(0)}{\delta\lambda_{ef(r)}} \quad r = 1, 2, \dots, m$$

8. Výpočet prírastku tepelnej vodivosti s použitím metódy zlatého rezu –
9. Výpočet nových hodnôt prírastkov λ_{ef}^p

$$\lambda_{ef,1}^p = a + (1-d) \cdot (b-a) \quad \lambda_{ef,2}^p = a + d \cdot (b-a)$$

Výpočet kroku gradientnej metódy $h(\lambda_{ef}^p)$

$$h(\lambda_{ef,1}^p) = \lambda_{ef,1}^p / \max grad(\lambda_{ef(r)})$$

$$h(\lambda_{ef,2}^p) = \lambda_{ef,2}^p / \max grad(\lambda_{ef(r)})$$

Výpočet nových zložiek tepelných vodivostí pre vypočítané prírastky

$$\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p) = \lambda_{ef(r)}^i - h(\lambda_{ef,1}^p) \cdot grad(\lambda_{ef(r)})$$

$$\lambda_{ef(r)}^n(\lambda_{ef,2}^p) = \lambda_{ef(r)}^i - h(\lambda_{ef,2}^p) \cdot grad(\lambda_{ef(r)})$$

Výpočet sústavy rovníc ako v bode 2 pre $\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p)$

a účelovej funkcie $F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p))$

Výpočet sústavy rovníc ako v bode 2 pre $\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p)$

a účelovej funkcie $F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p))$

$$\text{Porovnanie } \left| F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p)) - F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p)) \right| \leq \varepsilon_z$$

ak je to splnené choď na bod 11

ak nie tak choď na bod 10

Ak platí $F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p)) \leq F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p))$ tak $a = a$,

$$b = \lambda_{ef,2}^p, \quad \lambda_{ef,2}^p = \lambda_{ef,1}^p, \quad \lambda_{ef,1}^p = a + b - \lambda_{ef,2}^p,$$

ak platí $F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p)) \geq F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p))$ tak $a = \lambda_{ef,1}^p$,

$$b = b, \quad \lambda_{ef,1}^p = \lambda_{ef,2}^p, \quad \lambda_{ef,2}^p = a + b - \lambda_{ef,1}^p,$$

v oboch prípadoch choď na bod 9.2



10. Porovnanie: ak platí $F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p)) \leq F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p))$
 tak prirad $F^N(0) = F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p))$ a $\lambda_{ef(r)} = \lambda_{e_r}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p)$

$j = 1, 2, n-1, i = 1, 2, \dots, m$, ak platí

$$F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,1}^p)) \geq F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p))$$

tak prirad

$$F^N(0) = F(\lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p)) \quad \text{a} \quad \lambda_{ef,(r)} = \lambda_{ef(r)}^{i+1}(\lambda_{ef,2}^p)$$

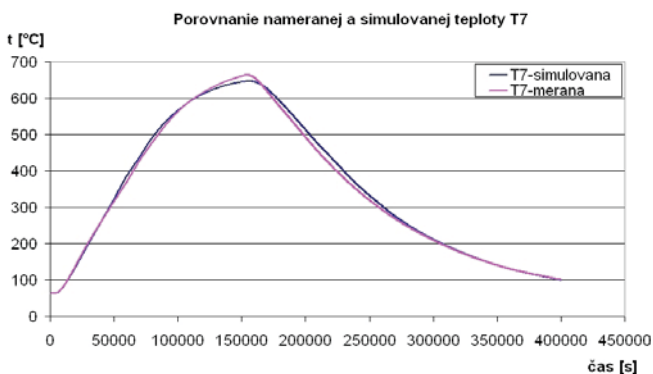
$r = 1, 2, \dots, m$

11. Kontrola na presnosť $|F^N(0) - F(0)| \leq \varepsilon_g$ ak je splnená choď na bod 12, ak nie je splnená choď na bod 2

12. Výpis hodnôt $\lambda_r, r = 1, 2, \dots, m$

13. Koniec

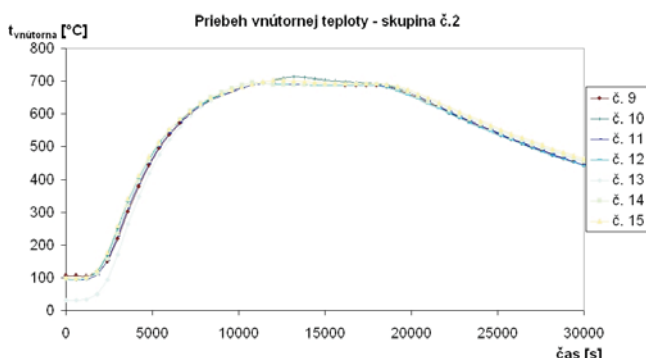
Popísaný inteligentný systém nepriameho merania bol experimentálne overený v prevádzke žihareň. Na Obr. 6. je pre názornú ukážku znázornený priebeh priamo meranej teploty vo vnútri zvitku T_7 -merana a teploty získanej z ISNM T_7 -simulovana. Z ich porovnania je možné urobiť záver, že ISNM spĺňa podmienky stanovené technológiou žihania s požadovanou presnosťou. V ďalšom vývoji ISNM sa chceme zamerať na zlepšenie presnosti z hľadiska jeho uplatnenia v širokom rozsahu technológiách spracovania surovín.



Obr.6 Porovnanie nameranej a simulovanej teploty T7

2. NÁVRH METÓDY PRE RIADENIE OHREVVU

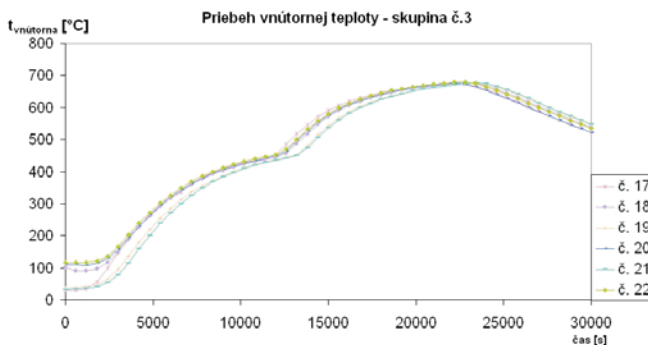
Úlohou riadenia ohreVVu je zabezpečiť žiadaný priebeh nepriamo meranej teploty získanej z ISNM. V prvej fáze výskumu prebehlo 29 experimentálnych meraní na oceľiarenskom zvitku žihanom v laboratórnej elektrickej peci. Merania boli vyhodnotené s požadovanou presnosťou, ktorá vyhovovala požiadavke riadenia. Pri každom experimente boli priamo zmerané teploty povrchu zvitku, teploty na poklope a teploty atmosféry. Z dôvodu kontroly priamo a nepriamo meranej teploty vo vnútri zvitku boli merané aj teploty vo vnútri zvitku.



Obr.7 Priebeh vnútornej teploty zo skupiny č.2

Takto pomocou ISNM je možné použiť aj konvenčné metódy riadenia. Prínosom ISNM informácia o prakticky nemerateľnej veličine (teploty). Ukazuje sa, že pre vnútorné teploty s malým dopravným oneskorením je možné použiť tradičné metódy z teórie automatického riadenia. Pre teploty hlbšie vo vnútri telesa (väčšie dopravné oneskorenie) to však nie je vhodné, preto ďalej predkladáme návrh novej metódy, pre riadenie vnútornej teploty, v bodoch, ktorých tradičné metódy teórie automatického riadenia zlyhávali. Metóda je prezentovaná pre riadenie najnižšej vnútornej teploty počas ohreVVu. Úlohou bolo určiť v čase riadiacu veličinu $-T_a$.

Metóda pre riadenie ohreVVu vychádzala z analýzy existencie závislosti medzi teplotou atmosféry T_a a teplotou vo vnútri zvitku $t_{vnutorna}$. Zo záznamu meraných teplôt sa vytvorili 4 skupiny s navzájom sa líšiacimi priebehmi riadiacej veličiny T_a . Na Obr. 7. a Obr. 8. sú znázornené priebehy vnútornej teploty z vytvorených skupín č.2 a č.3.

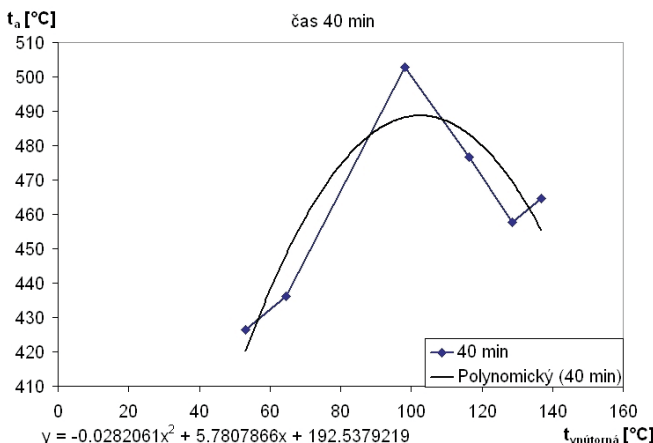


Obr.8 Priebeh vnútornej teploty zo skupiny č.3

Vo vybraných časových krokoch sa pre každú skupinu urobili závislosti medzi teplotou vo vnútri zvitku $T_{vnutorna}$ a teplotou žihacej atmosféry T_a . Pre tieto závislosti sa hľadali polynomicke závislosti, ktoré by charakterizovali priebeh teploty atmosféry pre žiadanú teplotnú krivku vo vnútri zvitku. Za účelom ilustrácie uvádzame niektoré typické závislosti. Na Obr. 9. je znázornený príklad aproximácie vnútornej teploty v čase 40 minút od začiatku ohreVVu a na Obr. 10. v čase 80 minút. Uvedené aproximácie sa zrealizovali z priebehov vnútornej teploty zo skupiny č.3.

Zdôraznime, že rozptyly vnútornej teploty na grafoch zohľadňujú reálne povrchové stavy počas ohreVVu (opakované simulácie/merania pre príslušnú skupinu).

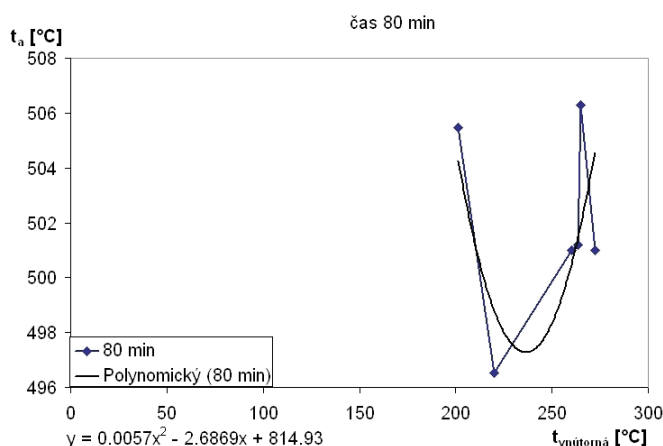
Z vytvorených polynomicke závislosti sa vytvoril časový priebeh teploty atmosféry – krivky ohreVVu tak, že medzi jednotlivými časovými krokmi sa chýbajúce hodnoty doplnili lineárnou aproximáciou. Na základe dole uvedeného algoritmu sa zrekonštruoval priebeh riadiacej veličiny, pre experimentálnym spôsobom získaný priebeh vnútornej teploty. Na Obr. 11. je uvedené porovnanie nameranej teploty atmosféry a zrekonštruovanej teploty atmosféry (riadiacej veličiny).



Obr.9 Aproximácia závislosti teploty atmosféry na vnútornej teploty v čase 40 minút

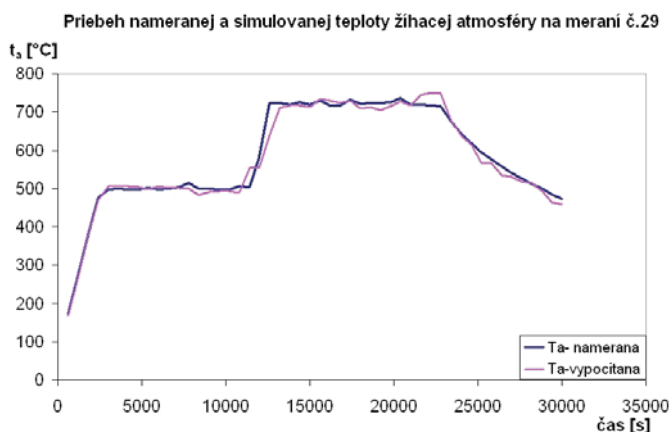
Algoritmus pre aplikáciu uvedenej metódy riadenia:

1. offline sa vytvoria množiny priebehov vnútorných teplôt zodpovedajúce rovnakým požiadavkám ohrevu, vytvorenie polynomických závislostí medzi teplotami atmosféry a vnútornými teplotami v jednotlivých časových krokoch. Načítanie žiadanej priebehu vnútornej teploty. Porovnanie priebehu žiadanej teploty s vytvorenými skupinami. Zaradenie do skupiny, ktorá zodpovedá danému priebehu s požadovanou presnosťou.
2. V reálnom čase sa vypočíta riadiaca veličina (T_a) na základe požadovanej (riadenej) vnútornej teploty vsádzky
3. Stabilizácia ohrevu na základe získanej teploty žihacej atmosféry T_a (napríklad PI regulátorom)
4. Ak nie je ukončenie ohrevu choď na bod 2, ak je ukončenie ohrevu choď na bod 5
5. Koniec riadenia

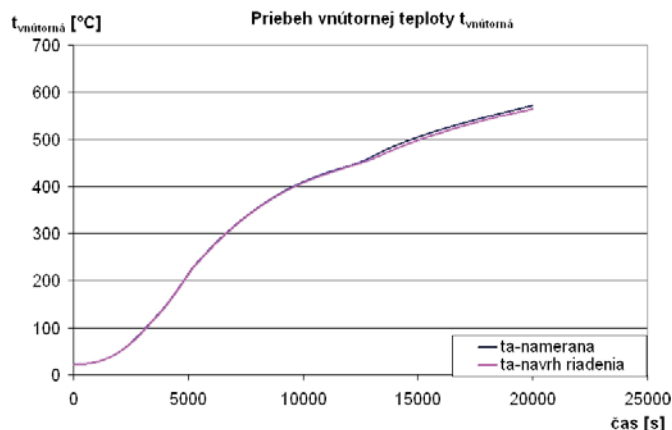


Obr.10 aproximácia závislosti teploty atmosféry na vnútornej teplote v čase 80 minút

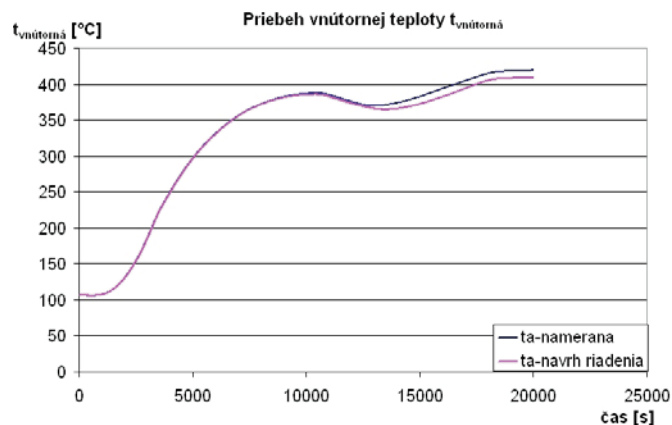
Overenie uvedenej metódy bolo realizované simulačne pomocou ISNM, kde vstupom bola najprv priamo zmeraná teplota žihacej atmosféry a potom teplota atmosféry získaná z uvedeného návrhu riadenia. Na Obr. 12 a Obr. 13. je uvedené porovnanie vnútornej teploty získanej zo simulácií pri vstupe meranej teploty žihacej atmosféry t_a – nameraná a vnútornej teploty získanej zo simulácií pri vstupe teploty žihacej atmosféry t_a – návrh riadenia. Z uvedených obrázkov je viditeľná nepresnosť, ktorá je zapríčinená nepresnosťou aproximácie. Presnosť metódy je možné zvýšiť zväčšením počtu vnútorných teplôt zodpovedajúcim rovnakým požiadavkám ohrevu, čiže zvýšením počtu vykonaných priamych meraní.



Obr.11 Priebeh nameranej a simulovanej teploty žihacej atmosféry T_a



Obr.12 Porovnanie priebehu vnútornej teploty na meraní č. 4



Obr.13 Porovnanie priebehu vnútornej teploty na meraní č. 9

3. ZÁVER

Základom uvedeného príspevku je ISNM (ktorý môže vychádzať z klasických metód teórie automatického riadenia, alebo uvedenej metódy riadenia). Z uvedených obrázkov je vidieť nepresnosť hlavne v neskorších fázach ohrevu čo je zapríčinené nepresnosťou zvolenej aproximácie. Ďalší výskum sa bude zaoberať hľadáním popisu závislostí (Obr. 9. a Obr. 10.) diferenciálnymi rovnicami čo umožní získanie priebehu teploty žihacej atmosféry, pri ktorej vstupe získame presnejší priebeh vnútornej teploty v porovnaní so žiadanou teplotou vo vnútri telesa.

4. LITERATÚRA

- [1] KOSTÚR K. a kol. : Inteligentný systém nepriameho merania, Priebežná správa o riešení projektu za rok 2005, TU Košice 2005
- [2] KOSTÚR K. a kol. : Inteligentný systém nepriameho merania, Ročná správa o riešení projektu za rok 2006, TU Košice 2005
- [3] LISOGOR, A. – A., MITKALINNYI, V.,I.: Tepelné a fyzikálne vlastnosti nastohovanej ocele valcovanej za studena, (Heat and physical properties of cold rolling steel), 995-998, December
- [4] KOSTÚR, K.: Simulačné modely tepelných agregátov, Košice 1997, ISBN: 80-967325-2-8
- [5] KOSTÚR, K.: Optimalizácia procesov, ESTU Košice. (1991)

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená projektom VEGA 1/3346/06 a AV/0016/05.

Karol Kostúr
Ing. Milan Durdán

55

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií
Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov
Park Komenského 19, 042 00 Košice
e-mail: milan.durdan@tuke.sk