

Optimálne riadenie procesu splyňovania uhlia v laboratórnych podmienkach

Úvod

V súčasnosti je na celom svete v zásobe vyše 909 biliónov ton uhlia a uhlie dostupné tradičným spôsobom ťaženia predstavuje len 15 % z tohto množstva. Technológia podzemného splyňovania uhlia (UCG – Underground Coal Gasification) sa stále vyvíja a poskytuje alternatívu konvenčného podzemného dobývania. Podzemné splyňovanie je proces, ktorý z environmentálneho, ale aj z ekonomického hľadiska môže byť atraktívnym a v budúcnosti môže mať rozsiahle použitie. Táto technológia je tiež menej nákladná ako konvenčná ťažba. Pri priemyselnom splyňovaní treba vybudovať sústavu vrtov (minimálne jeden injekčný a jeden produkčný vrt) a systémy na čistenie a uskladňovanie vyrobeného plynu. Potrebné sú aj zariadenia na transformáciu plynu na požadovanú formu energie (palivo, elektrina) a systémy na automatické riadenie procesu splyňovania.

Dostupná literatúra o podzemnom splyňovaní uhlia poskytuje informácie najmä o geológii ložiska, použitej technike splyňovania alebo o matematickom modelovaní jeho procesu (model pohybu frontu termického rozkladu, model tvorby syngasu a pod.). Chýbajú však štúdie, ktoré by riešili otázku optimálneho riadenia tohto procesu. V prevažnej miere riadenia technologických procesov sa realizuje len stabilizačná úroveň, ktorá proces reguluje podľa žiadanych hodnôt. Na stabilizačnej úrovni procesu splyňovania uhlia je cieľom dosiahnuť a udržať žiadajú hodnotu prietoku oxidličovadla na vstupe, žiadajú hodnotu teploty v oxidačnej zóne a žiadajú koncentráciu výhrevných zložiek vyrobeného plynu – syngasu. V podstate ide o proces stabilizácie vstupov a výstupov splyňovacieho laboratórneho zariadenia. Riadiacou veličinou môže byť v jednom prípade poloha servoventilu na vstupe, v druhom prípade objemový prietok vzduchu alebo výkon ventilátora na výstupe, aby sa dodržala požadovaná teplota alebo požadované zloženie vyrobeného plynu. Optimálne riadenie technologického procesu musí okrem stabilizačnej úrovne obsahovať aj úroveň optimalizačnú. Jej úlohou je určiť optimálne hodnoty spomínaných riadiacich veličín pre stabilizačnú úroveň.

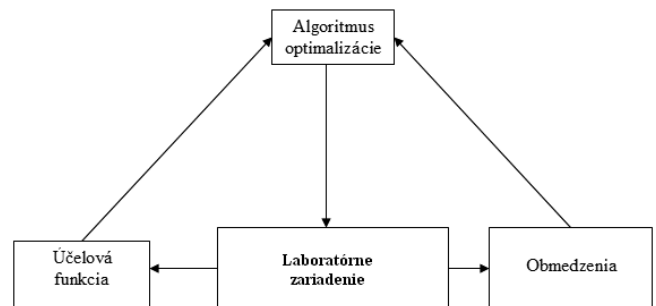
1. Konceptia optimálneho riadenia splyňovania uhlia

Na realizáciu systému optimálneho riadenia (OR) procesu splyňovania uhlia bol navrhnutý systém optimálneho riadenia so spätnou väzbou (feedback optimal control). Výhodou tohto systému je, že nepotrebuje model procesu. Optimálne riadenie sa v tomto prípade dosahuje priamo experimentálnou cestou, kde náhradou modelu je riadený objekt – laboratórne zariadenie (generátor). Iteračným spôsobom sa vedie priebeh procesu na splnenie kritéria optimality podľa optimalizačného algoritmu. Inými slovami optimalizačným algoritmom sa určujú žiadané hodnoty pre stabilizačnú úroveň tak, aby účelová funkcia postupne nadobudla extrém.

Obr. 1 schematicky znázorňuje tzv. systém optimalizácie s modelom. Tento princíp sa aplikoval na optimálne riadenie procesu splyňovania uhlia v laboratórnych podmienkach. V bloku Účelová funkcia je sformulované kritérium optimality, ktoré vyjadruje cieľ optimalizácie (napr. maximalizáciu výhrevnosti). Blok Obmedzenia obsahuje obmedzenia vstupných a výstupných veličín a požiadavky na ne kladené (napr. maximálnu prípustnú koncentráciu O_2 vo vyrobenom plyne, maximálny a minimálny objemový prietok oxidličovadla). V našom prípade systém

optimalizácie s modelom využíva fyzikálny model (blok Laboratórne zariadenie).

Úlohou optimalizačného algoritmu je riadiť proces splyňovania tak, aby účelová funkcia (kritérium optimality) dosiahla extrém a sústava obmedzení bola splnená. Riadenie procesu sa uskutočňuje na stabilizačnej úrovni dodržaním optimálnych parametrov riadiacich veličín. Optimalizačným algoritmom je v našom prípade gradientná metóda na optimalizáciu viacrozmerných problémov. Je to iteračná metóda, ktorá na základe poslednej aproximácie bodu, resp. bodov hľadá ďalší bod, v ktorom je hodnota účelovej funkcie bližšie k extrému. Rýchlosť konvergencie tejto metódy je pomerne dobrá vo väčších vzdialenostiach od extrému a s približovaním sa k extrému rýchlosť konvergencie klesá. Táto metóda patrí do skupiny metód, ktoré sa označujú ako metódy typu bod – smer – krok [1], [2].



Obr.1 Systém optimalizácie s modelom

Pri všeobecnej formulácii úloh optimalizácie treba vedieť, čo chceme optimalizovať a s akým cieľom. Preto musíme poznať, resp. definovať si optimalizovaný vektor a kritérium optimality.

Optimalizovaný vektor v prípade optimálneho riadenia procesu splyňovania uhlia tvoria tri riadiace veličiny, pomocou ktorých dokážeme proces dynamicky ovplyvniť:

1. poloha, resp. veľkosť otvorenia servoventilu v pulzoch (jeden pulz = 500 ms digitálny signál s amplitúdou 24 V), čo zodpovedá objemovému prietoku vzduchu (m^3/h) na vstupe do laboratórneho zariadenia,
2. objemový prietok kyslíka (m^3/h) na vstupe do laboratórneho zariadenia,
3. frekvencia na frekvenčnom meniči ventilátora na výstupe (Hz).

Kritérium optimality môže mať technickú alebo ekonomickú podstatu. Pre proces splyňovania uhlia môžeme definovať tieto ciele optimalizácie, resp. kritériá optimality:

1. maximalizácia výhrevnosti plynu syngas,
2. maximalizácia koncentrácie i-tej zložky plynu,
3. maximalizácia pomeru koncentrácií $CO/(CO+CO_2)$,
4. maximalizácia objemu vyrobeného plynu syngas,
5. maximalizácia teploty v oxidačnej zóne.

2. Aplikácia gradientnej metódy na proces splyňovania uhlia

V princípe ide o aplikáciu jednoduchej gradientnej metódy ako statickej optimalizačnej metódy na dynamický proces. Optimálne riadenie (OR) sa dosahuje priamo experimentálnou cestou na laboratórnom zariade-

ni. Cieľom je v každom kroku riadenia udržať extrém (maximum/minimum) účelovej funkcie. Tento príspevok je zameraný na maximalizáciu výhrevnosti vyrobeného plynu syngas, pretože tá je najvýznamnejším ukazovateľom v procese splyňovania uhlia. Kritérium optimality, ktoré vyjadruje maximalizáciu výhrevnosti, môžeme definovať:

$$J_k(\bar{u}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n H_j \cdot \Delta\tau_j \rightarrow MAX \quad (1)$$

kde $J_k(\bar{u})$ je hodnota účelovej funkcie v kroku k (MJ/m³),
 k – index riadiacej periódy $T_{0,opt}$ optimalizačného algoritmu,
 \bar{u} – vektor riadiacich veličín,
 H – výhrevnosť plynu syngas (MJ/m³),
 j – index periódy vzorkovania $T_{0,stab}$ na stabilizačnej úrovni,
 $\Delta\tau_j$ – hodnota $T_{0,stab}$ v j -tom kroku vzorkovania a
 n – počet vzoriek v zásobníku.

Za predpokladu, že $\Delta\tau_j = 1$ pre $j=1, 2, \dots, n$, dosadením do vzťahu (1) dostávame vzťah na výpočet priemernej výhrevnosti:

$$H_k(\bar{u})^{priem} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n H_j \quad (\text{MJ/m}^3) \quad (2)$$

kde $H_k(\bar{u})^{priem}$ je priemerná výhrevnosť plynu v kroku k (MJ/m³) a
 H_j – j -ta výhrevnosť v zásobníku (MJ/m³).

Priemerná výhrevnosť vyrobeného plynu sa počas periódy $T_{0,opt}$ v algoritme OR počíta ako kľzavý priemer zo vzoriek zaznamenaných s periódou $T_{0,stab}$. Na výpočet kľzavého priemeru sa použil zásobník typu FIFO. Z programového hľadiska tento zásobník predstavuje jednorozmerné pole, ktoré obsahuje historický záznam výhrevnosti. Časová dĺžka záznamu je daná veľkosťou zásobníka n a periódou vzorkovania $T_{0,stab}$. Z hľadiska možnosti riadenia procesu splyňovania sa zvolil stĺpcový vektor \bar{u} [3], [4], [5].

Zložky vektora \bar{u} sú riadiace veličiny, ktoré algoritmus OR priebežne optimalizuje tak, aby sa účelová funkcia $J(\bar{u})$ extremalizovala. Riadiaci systém nastaví nové otvorenie servoventilu podľa hodnoty parametra u_1 , žiadanú hodnotu prietoku kyslíka podľa parametra u_2 a novú frekvenciu meniča podľa parametra u_3 . V súvislosti s princípom gradientnej metódy sa na maximalizáciu účelovej funkcie používa iteračný vzťah:

$$\bar{u}^{i+1} = \bar{u}^i + h \cdot \text{grad } J(\bar{u}^i) \quad (3)$$

kde \bar{u}^{i+1} je vektor optimalizovaných riadiacich veličín v kroku $i+1$,
 \bar{u}^i – vektor optimalizovaných veličín v kroku i ,
 h – iteračná konštanta (krok) a
 $\text{grad } J(\bar{u}^i)$ – stĺpcový vektor parciálnych derivácií účelovej funkcie podľa premenných u_1^i, u_2^i, u_3^i .

Krok h volíme takým spôsobom, aby hodnoty \bar{u}^{i+1} nenarušili podmienky existencie funkcie $J(\bar{u})$, aby zároveň platilo (pri maximalizácii) $J(\bar{u}^{i+1}) > J(\bar{u}^i)$ a aby sme súčasne zabezpečili vhodnú konvergenciu metódy. Krok h zmenšíme iba vtedy, ak hodnota účelovej funkcie nerastie. Každá premenná vektora \bar{x}^i môže mať vlastný parameter h . Potom definujeme vektor $\bar{h} = (h_1, h_2, h_3)^T$.

$$\text{grad } J(\bar{u}^i) = \nabla J(\bar{u}^i) = \left(\frac{\partial J}{\partial u_1^i}, \frac{\partial J}{\partial u_2^i}, \frac{\partial J}{\partial u_3^i} \right)^T \quad (4)$$

Na aproximáciu gradientov

$$\frac{\partial J}{\partial u_1^i}, \frac{\partial J}{\partial u_2^i}, \frac{\partial J}{\partial u_3^i}$$

možno použiť metódu konečných diferencií.

Použitím doprednej aproximácie dostaneme vzťahy:

$$\frac{\partial J}{\partial u_1^i} \approx \frac{\Delta J}{\Delta u_1^i} = \frac{J(u_1^i + \Delta u_1, u_2^i, u_3^i) - J(\bar{u}^i)}{\Delta u_1}$$

$$\frac{\partial J}{\partial u_2^i} \approx \frac{\Delta J}{\Delta u_2^i} = \frac{J(u_1^i, u_2^i + \Delta u_2, u_3^i) - J(\bar{u}^i)}{\Delta u_2}$$

$$\frac{\partial J}{\partial u_3^i} \approx \frac{\Delta J}{\Delta u_3^i} = \frac{J(u_1^i, u_2^i, u_3^i + \Delta u_3) - J(\bar{u}^i)}{\Delta u_3} \quad (5)$$

kde Δu_j je elementárna zmena riadiacej veličiny u_j ($j = 1, 2, 3$).

Na aplikáciu gradientnej metódy parametre $\Delta u_1, \Delta u_2, \Delta u_3$ volíme tak, aby zmena parametra u_j o hodnotu Δu_j ($j = 1, 2, 3$) spôsobila zmenu hodnoty účelovej funkcie. Hodnota účelovej funkcie vstupuje do algoritmu OR len z ustáleného stavu procesu. Každý nasledujúci krok algoritmu OR sa vykoná len v prípade, že je splnená podmienka:

$$Max_{j=1}^n \left\{ \frac{|H_k(\bar{u})^{priem} - H_j|}{H_k(\bar{u})^{priem}} \cdot 100 \right\} < \varepsilon_{max} \quad (6)$$

kde $H_k(\bar{u})^{priem}$ je priemerná výhrevnosť plynu v kroku k (MJ/m³),

H_j – j -tá výhrevnosť v zásobníku FIFO (MJ/m³),

ε_{max} – maximálna povolená chyba ustálenia (%) a

n – počet vzoriek v zásobníku typu FIFO.

Pri testovaní algoritmu zásobník uchovával historický záznam vzoriek za posledných 30 min. To približne zodpovedá času ustálenia výhrevnosti vyrábaného plynu. Zisťovanie ustálenia výhrevnosti vyhodnocovaním podmienky (6) treba overovať nielen v každom kroku k , ktoré sa vykonávajú s periódou $T_{0,opt}$, ale aj priebežne v každom kroku stabilizácie výhrevnosti $T_{0,stab}$. Zaznamenaný priebeh hodnôt chyby ustálenia potom môže poslúžiť pri analýze činnosti algoritmu.

Ak je podmienka splnená, nastaví sa v algoritme logická premenná (príznak) *Ustálenie* na hodnotu *True*. Veľkosť zásobníka a periódu jeho aktualizácie možno ľubovoľne nastaviť na ovládacom paneli v monitorovacom systéme na obraze *Optimálne riadenie* [2], [6], [7].

Tu je aplikovaný algoritmus gradientnej metódy (prispôbený možnostiam riadenia splyňovania uhlia v laboratórnom zariadení):

- Po spustení sa vykoná počiatočná inicializácia algoritmu. Prvky vektora \bar{u} sa nastaví na počiatočné hodnoty $u_1^i = u_1^0, u_2^i = u_2^0, u_3^i = u_3^0$ kde u_1^0 je aktuálne otvorenie servoventilu v percentách, u_2^0 je nameraný, ustálený prietok kyslíka do oxidačnej zmesi v m³/h a u_3^0 je aktuálne nastavená frekvencia meniča. Ďalší krok prebehne, až keď je výhrevnosť ustálená, t. j. podmienka, že premenná *Ustálenie* = *True* (6), je splnená.
- Algoritmus si v premennej $J(\bar{u}^i)$ zaznamená počiatočnú hodnotu účelovej funkcie. Nasleduje vykonanie prvej elementárnej zmeny riadiacej veličiny na výpočet prvého gradientu, t. j. poloha servoventilu sa nastaví na $u_1^i + \Delta u_1$, pričom ostatné veličiny zostanú nezmenené. Ďalší krok prebehne, až keď je výhrevnosť ustálená (premenná *Ustálenie* = *True*).
- Algoritmus prečíta aktuálnu hodnotu účelovej funkcie a vypočíta prvú zložku vektora gradientu. Po výpočte sa poloha servoventilu nastaví na pôvodnú hodnotu u_1^i a nasleduje čakanie na nové ustálenie výhrevnosti. Ďalší krok prebehne až po ustálení.
- Vykoná sa druhá elementárna zmena riadiacej veličiny na výpočet druhého gradientu. Žiadaná hodnota prietoku kyslíka do oxidačnej zmesi sa nastaví na $u_2^i + \Delta u_2$, pričom ostatné veličiny zostanú nezmenené. Ďalší krok prebehne až po ustálení.
- Algoritmus vypočíta druhú zložku vektora gradientu. Po výpočte sa žiadaná hodnota prietoku kyslíka nastaví na pôvodnú hodnotu u_2^i . Ďalší krok prebehne až po ustálení.
- Vykoná sa tretia elementárna zmena riadiacej veličiny na výpočet tretieho gradientu. Žiadaná hodnota frekvencie meniča sa nastaví na $u_3^i + \Delta u_3$, pričom ostatné veličiny zostávajú nezmenené. Ďalší krok prebehne až po ustálení.
- Vypočíta sa tretia zložka vektora gradientu.
- Žiadaná hodnota frekvencie meniča sa nastaví na pôvodnú hodnotu u_3^i a čaká sa na nové ustálenie výhrevnosti. Ďalší krok prebehne až po ustálení.

9. Algoritmus vypočíta vektor \bar{u}^{i+1} podľa vzťahu (3) a overí, či prvky vektora nepresahujú technologické medze, t. j. prebehne ošetrenie algoritmu vzhľadom na obmedzenie. Nasleduje realizácia riadiaceho zásahu. Otvorenie servoventilu sa nastaví na u_1^{i+1} , žiadaná hodnota prietoku kyslíka sa nastaví na u_2^{i+1} a frekvencia meniča sa nastaví na u_3^{i+1} . Ďalší krok prebehne až po ustálení.

10. Algoritmus prečíta aktuálnu hodnotu účelovej funkcie a uloží ju do premennej $J(\bar{u}^{i+1})$. Potom sa vyhodnotí táto podmienka:

Ak $J(\bar{u}^{i+1}) > J(\bar{u}^i)$ potom sa účelová funkcia približuje k extrému, t. j. algoritmus nastaví $J(\bar{u}^i) = J(\bar{u}^{i+1})$, $\bar{u}^i = \bar{u}^{i+1}$, vykoná sa elementárna zmena riadiacej veličiny u_1 , t. j. otvorenie servoventilu sa nastaví na $u_1^i + \Delta u_1$ a pokračuje sa krokom 3. V opačnom prípade (ak $J(\bar{u}^{i+1}) \leq J(\bar{u}^i)$) algoritmus nastaví $h = h/2$ alebo $h_1 = h_1/2$, $h_2 = h_2/2$, $h_3 = h_3/2$ a pokračuje krokom 9.

Ak $J(\bar{u}^{i+1}) \leq J(\bar{u}^i)$ a zároveň platí, že $|h_j \cdot (\Delta J / \Delta u_j)| < \varepsilon_j$ pre $j = 1, 2, 3$, potom nastáva ukončenie činnosti algoritmu (ak príznak *Koniec = True*) alebo reštart a reinitializácia, kde ε_1 je citlivosť servoventilu, resp. minimálny realizovateľný počet pulzov na zmenu polohy servoventilu, ε_2 je citlivosť prietokomera na meranie prietoku kyslíka, resp. najmenšia nastavitelná zmena prietoku kyslíka v m^3/h a ε_3 je najmenšia realizovateľná zmena frekvencie meniča v Hz. Ukončenie alebo reštart môže nastať aj v prípade, že sa prekročil povolený počet delení parametra h . Po reštarte pokračuje algoritmus od kroku 1 s pôvodnou hodnotou parametra h alebo s pôvodným vektorom $\bar{h} = (h_1, h_2, h_3)^T$ a vektorom \bar{u}^i zo stavu pred reštartom.

Uvedené kroky algoritmu ako jeden z možných variantov aplikácie metódy na dynamický proces sa naprogramovali v jednom cyklickom module. Kroky algoritmu sa vykonávajú s periódou $T_{0,opt}$ a túto periódou možno ľubovoľne nastaviť z prostredia monitorovacieho systému na obraze *Optimálne riadenie*. Pri testovaní algoritmu optimálneho riadenia sa perióda $T_{0,opt}$ nastavila na 900 s (15 min). Algoritmus optimálneho riadenia sa naprogramoval v dvoch paralelne pracujúcich cyklických modulech.

Prvý modul pracuje s periódou $T_{0,opt}$ a zabezpečuje vykonávanie jednotlivých krokov algoritmu v závislosti od stavu, ktorý je daný príznakom *Ustálenie*. Do prvého cyklického modulu vstupuje tiež aktuálna hodnota účelovej funkcie (v algoritme označená ako J). Druhý modul pracuje s periódou vzorkovania $T_{0,stab}$ a zabezpečuje zisťovanie ustálenia výhrevnosti a nastavenie príznaku *Ustálenie*. Pri testovaní algoritmu optimálneho riadenia sa perióda $T_{0,stab}$ nastavila na 1 min. Testovala sa aj $T_{0,stab}$ nastavená na 30 a 15 s. Druhý modul zároveň zabezpečuje aktualizáciu premennej J , ktorá obsahuje aktuálnu hodnotu účelovej funkcie vypočítanú podľa vzťahu (1).

3. Výsledky aplikácie optimálneho riadenia

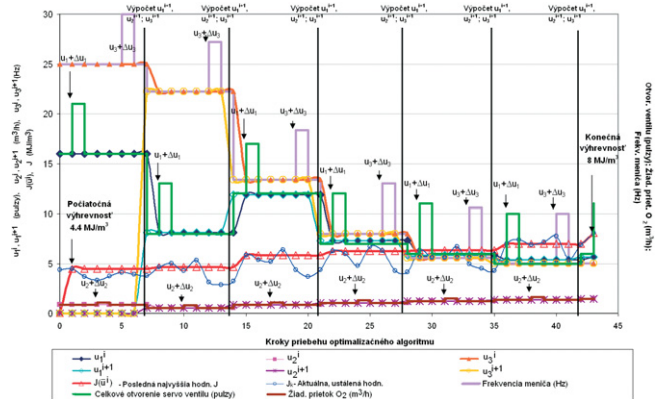
Pri overovaní uvedeného aplikovaného algoritmu gradientnej metódy na optimálne riadenie procesu splyňovania uhlia sa optimalizovali tri riadiace veličiny:

- u_1 je otvorenie servoventilu v percentách,
- u_2 je objemový prietok kyslíka na vstupe [m^3/h],
- u_3 je frekvencia meniča [Hz]

s cieľom maximalizovať výhrevnosť vyrobeného plynu syngas.

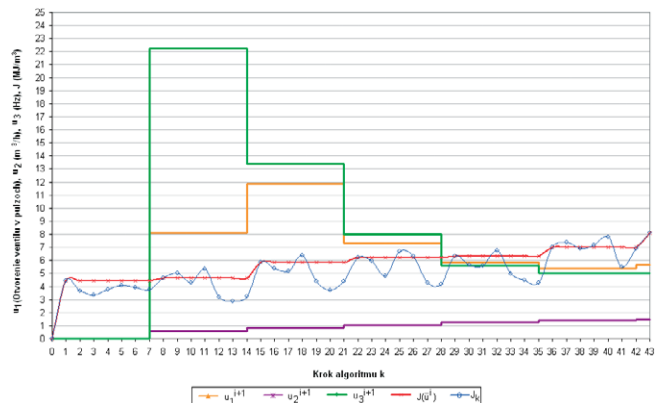
Obr. 2 graficky znázorňuje priebeh činnosti optimalizačného algoritmu. Algoritmus bol spustený celkovo 10 hodín a výhrevnosť extremalizoval z počiatkových 4,4 na 8 MJ/m^3 . Tento výsledok dosiahol algoritmus postupným znižovaním prietoku vzduchu (u_1), zvyšovaním prietoku kyslíka (u_2) a znižovaním frekvencie meniča (u_3). Otvorenie servoventilu sa znížilo z počiatkových 16 na 5 pulzov, žiadaný prietok kyslíka stúpol z počiatkových 0,85 na 1,39 m^3/h a frekvencia meniča sa znížila z počiatkových 25 na 5 Hz. Algoritmus mal nastavené aj obmedzenia, ktoré nedovolili znížiť otvorenie ventilu pod 3 pulzy a frekvenciu meniča pod 5 Hz. Toto obmedzenie zabezpečilo minimálny prívod vzduchu

(4 m^3/h). Funkcia automatického reštartu algoritmu nebola počas testu aktivovaná. Každá optimalizovaná premenná u_1, u_2, u_3 mala nastavenú vlastnú hodnotu pre krok h , (h_1, h_2, h_3).



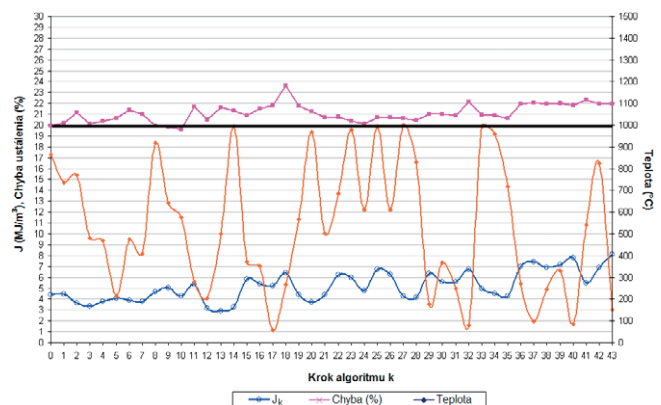
Obr.2 Priebeh činnosti optimalizačného algoritmu s optimalizáciou troch premenných a maximalizáciou výhrevnosti

Na lepšiu názornosť výsledkov optimalizačného algoritmu je na obr. 3 znázornený len priebeh optimalizovaných riadiacich veličín (prvkov vektora \bar{u}^{i+1}) a priebeh hodnôt účelovej funkcie.



Obr.3 Priebeh hodnôt účelovej funkcie a optimalizovaných riadiacich veličín

Na obr. 4 je priebeh hodnôt účelovej funkcie, chyby ustálenia a priebeh hodnôt najvyššej teploty v oxidačnej zóne z každého kroku optimalizačného algoritmu. Z obrázka vidno, že teplota sa dlhodobo držala nad 1 000 °C, výhrevnosť postupne stúpala na 8 MJ/m^3 a zachovala si stúpajúci trend. K vysokým teplotám prispel najmä objemový prietok kyslíka, ktorý optimalizačný algoritmus postupne zvyšoval. Maximálna povolená chyba ustálenia bola nastavená na 20 %, aj keď na zlepšenie priebehu algoritmu mohla byť maximálna hodnota povolenej chyby nastavená aj na 10 % (obr. 4). Menšia maximálna povolená chyba by však predĺžila čakanie na ustálenie výhrevnosti a test algoritmu by sa predlžil.



Obr.4 Priebeh hodnôt účelovej funkcie, maximálnej teploty a chyby ustálenia počas optimalizačného algoritmu

Záver

Príspevok prezentuje princíp optimálneho riadenia procesu splyňovania uhlia v laboratórnych podmienkach. Navrhnutý optimalizačný algoritmus vychádza zo známej optimalizačnej metódy a bol overený pri trojrozmernej optimalizácii. Dosiiahnuté výsledky optimalizačného algoritmu dokazujú jeho prínos v oblasti riadenia tohto procesu z hľadiska maximalizácie výhrevnosti syngasu. Uvedený optimalizačný algoritmus, ako aj celý systém optimálneho riadenia procesu splyňovania uhlia treba overiť ďalšími experimentmi a podľa potreby ho adaptovať na iný cieľ optimalizácie – kritérium optimality.

Podakovanie

Túto prácu podporil projekt aplikovaného výskumu APVV 0582-06 a granty VEGA 1/0365/08, 1/0404/08 a 1/0567/10 zo Slovenskej grantovej agentúry pre vedu.

Literatúra

- [1] KOSTÚR, K.: Optimalizácia priemyselných pecí s využitím modelu. TU Košice, 1998, ISBN 80-7099-326-X.
- [2] LACIAK, M., KAČUR, J.: Automatizovaný systém riadenia podzemného splyňovania uhlia v laboratórnych podmienkach. In: AT&P journal, 8/2009, s. 47 – 52. ISSN 1336-233X.
- [3] KOSTÚR, K., DURDÁN, M.: Riadenie ohrevu na báze inteligentného systému nepriameho merania. In: AT&P journal, roč. 15, č. 2 (2008), s. 69 – 73. ISSN 1335-2237.
- [4] TERPÁK, J., DORČÁK, L., PALEŇČÁR, V.: Modelling the gas fuel combustion using Matlab. In: ICCCC '2008: Proceedings of 9th Interna-

tional Carpathian Control Conference: Sinaia, Romania, May 25 – 28, 2008, pp. 679 – 682. ISBN 978-973-746-897-0.

[5] LACIAK, M., DURDÁN, M., KAČUR, J.: Proposal of the UCG Control based on Continuous Identification. In: Carpathian Control Conference, Zakopane, Poland, AGH Krakow 2009, pp 395 – 398, ISBN 83-89772-51-5.

[6] KOSTÚR, K.: The Structure Of Control For Underground Coal Gasi- fication. In: ICCCC '2009: Proceedings of 10th International Carpathian Control Conference: Zakopane, Poland May 24 – 27, 2009. AGH Krakow, pp. 219 – 222. ISBN 83-89772-51-5.

[7] PÁSTOR, M., BUDAYOVÁ, M., VARGA A.: Vplyv fyzikálno chemických parametrov na proces fluidného splyňovania biomasy. In: Mezinárodní konference, Plzeň, Czech Republic, June 24 – 27, 2008. ISBN 978-80-7043-666-0.

Ing. Marek Laciak, PhD.

Ing. Ján Kačur

**Technická univerzita v Košiciach,
Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií
Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov
B. Nemcovej 3, 042 00 Košice
Tel.: 055/602 51 75
Fax: 055/602 51 90
e-mail: Marek.Laciak@tuke.sk
jan.kacur@tuke.sk**