

Hodnocení stupně rizika samovznícení hnědého uhlí na skládkách s využitím moderních numerických metod

Ing. Petr Klouda¹, Ing. Vlastimil Moni, Ph.D.¹, Ing. Marcel Dlask², Ing. Petr Kolman², Ing. Petr Urban²

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; klouda@vuhu.cz

²Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Přijato: 29. 4. 2015, recenzováno: 20. a 25. 5. 2015

Abstrakt

Článek předkládá souhrn informací o hodnocení míry rizika samovznícení hnědého uhlí. Hodnocení bylo realizováno na základě analýzy rozsáhlé databáze informací o vývoji stavových veličin a desorbovaných plynů deponovaného hnědého uhlí. Údaje byly získány z dlouhodobých komplexních měření, která byla realizována na skládkách vybraných uhelných společností při řešení projektu. V rámci závěrečné etapy řešení projektu došlo k posouzení výsledků teplotních obrazů získaných vyhodnocením pořízených termogramů v porovnání s výsledky provozně odebraných plynových a uhelných vzorků, dále k posouzení vlivu atmosférických podmínek (insolace, aerace, srážkové dotace vody, změny barometrického tlaku atd.), vlivu degradace uhelné hmoty, fyzikálně chemických faktorů, a vlivu dalších poruchových faktorů na procesy samovznícení uhlí. V oblasti plynometrie byly vyhodnoceny odebrané plynové vzorky in situ a laboratorní plynové obrazy indikačních plynů samovznícení, získané metodou tepelné oxidace s cílem nalezení korelace odhadu teploty ohniska samovznícení.

Evaluation of the degree of risk of the spontaneous combustion of brown coal on landfill sites with the use of modern numerical methods

The article presents a summary of the risk assessment of spontaneous combustion of brown coal. The evaluation was carried out analysing the extensive database of information on the development of the state variables and desorbed gases of the stored brown coal. The data were obtained from the complex long term measurement implemented on landfill sites at the selected mine companies. In the final phase of the project the results of the thermal images obtained by evaluating the acquired thermograms were assessed in comparison with the results of the gas and coal samples taken during the experiment. In addition the influence of atmospheric conditions (insulation, aeration, rain water donation, alterations of the barometric pressure, etc.) were evaluated as well as the impact of the degradation of coal mass, physical and chemical factors, and the impact of other failure factors on the processes of spontaneous combustion of coal. The gas samples obtained in situ were compared with the laboratory measurements of gas indicators of auto ignition using the method of thermal oxidation to obtain the correlation to estimate a temperature of the spontaneous combustion hot spot.

Bewertung des Risikogrades der Braunkohle selbstentzündung auf den Kohlelagerplätzen unter Nutzung von modernen numerischen Methoden

Der Artikel liegt eine Zusammenfassung von Informationen zu der Bewertung des Risikomaßes der Braunkohle selbstentzündung vor. Die Bewertung wurde auf Basis einer Analyse der umfassenden Datenbank von Informationen zu der Entwicklung von Zustandsgrößen und desorbierten Gasen gelagerter Braunkohle realisiert. Die Angaben wurden aus langfristigen komplexen Messungen gewonnen, die auf den Lagerplätzen der ausgewählten Kohlegesellschaften bei der Lösung des Projektes durchgeführt wurden. Im Rahmen der Schlussetappe der Projektlösung kamen Beurteilung der Ergebnisse von Wärmebildern im Vergleich mit Ergebnissen der betriebsweise abgenommenen Gas- und Kohleproben, weiter Beurteilung des Einflusses von atmosphärischen Bedingungen (Insolation, Aeration, anfallendes Niederschlagswasser, Änderungen des barometrischen Druckes usw.), Beurteilung des Einflusses der Degradation der Kohlemasse, der physikalisch-chemischen Faktoren und des Einflusses weiterer Störfaktoren auf Prozesse der Kohle selbstentzündung zustande. Im Bereich der Gasometrie wurden die in situ abgenommenen Gasproben und die Labor-gasbilder von Indikationsgasen der Selbstentzündung ausgewertet, die durch Methode der Wärmeoxidation gewonnen wurden, mit dem Ziel, die Korrelation der Schätzung der Temperatur des Selbstentzündungsbrennpunktes zu finden.

Klíčová slova: samovznícení, hnědé uhlí, skládka, hodnocení náchylnosti k samovznícení.

Keywords: spontaneous ignition, brown coal, landfills, evaluation of predisposition to a spontaneous ignition.

1 Hodnocení dat s použitím moderních numerických metod

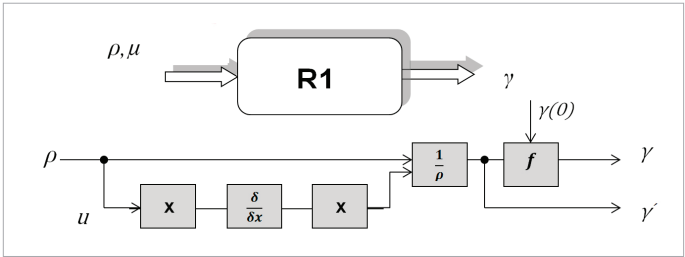
• pu (txj

2 Model samovznícení uhelné substance v deponii (3D CFD model)

- $\text{wtwtwtwtkdq}^{30} r_{\text{ox}} = A \cdot \text{CO}_2 \cdot e^{-E/RT_{\text{ox}}} \text{ACO}_2 \text{molový}$
 podíl v plyné směsi $E/RT_{\text{ox}} < T_{\text{th}}$ $T > T_{\text{th}}$ $T_{\text{th}} z v_z = v_{10}$
 $\cdot (z/10)^{0.22} v_{10}$ Dynamické relace

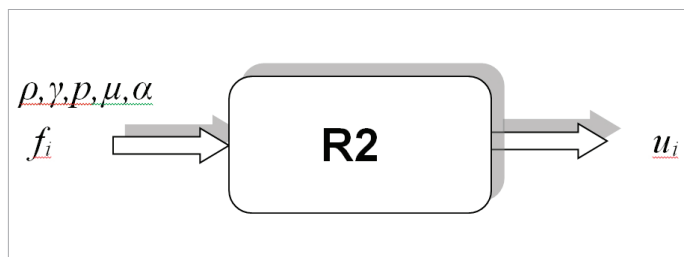
(2)

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \gamma + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j \gamma) = 0 \tag{3}$$



$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j \gamma) = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta u_i}{\alpha} \right) + \frac{\partial}{\partial x}$$

- ρ (hustota směsi) 1 300 [kg.m⁻³]
- u (složka vektoru rychlosti větru) [m.s⁻¹]
- γ (poréznost) 0,15 [kg.m⁻³]
- μ (molekulární viskozita) [Pa.s]
- α (permeabilita porézní zóny) cca 8,23.10⁻¹⁰ [m²]
přímý vztah mezi rychlostí oxidace a plochou uhelné částice;
- p (statický tlak z výpočtu proudění) [Pa]
- f (gravitační síly, tíhové zrychlení)
- t (čas) [s]
- x (souřadnice polohy) [m]
- i, j (číslo složky)



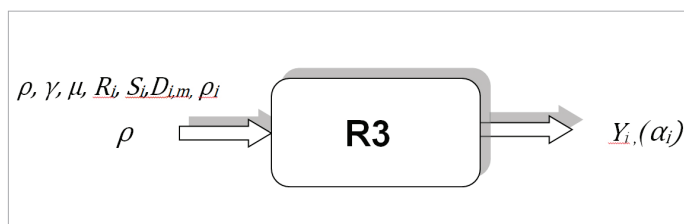
Rovnice transportní – R3

$$-\frac{\delta}{\delta t} + \dots = -\frac{\delta}{\delta t} + S_i$$

- ρ (hustota směsi) 1 300 [kg.m⁻³]
- u (složka vektoru rychlosti větru) [m.s⁻¹]
- γ (poréznost) 0,15 [kg.m⁻³]
- t (čas) [s]
- x (souřadnice polohy) [m]
- i, j (číslo složky)
- Y_i (hmotnostní podíl složky i ve směsi) [-]
- $J_{j,i}$ (difúzní tok mezi složkami j a i) [kg.m⁻².s⁻¹]
- R_i (míra produkce složky i chemickou reakcí) [kg.m⁻³.s⁻¹]
- S_i (míra produkce složky i přidáním z disperzní fáze) [kg.m⁻³.s⁻¹]
- složky CO₂, CO, O₂, CH₄
- $J_{j,i}$ (difúzní tok mezi složkami j a i)

$$J_{j,i} = \dots \quad (6)$$

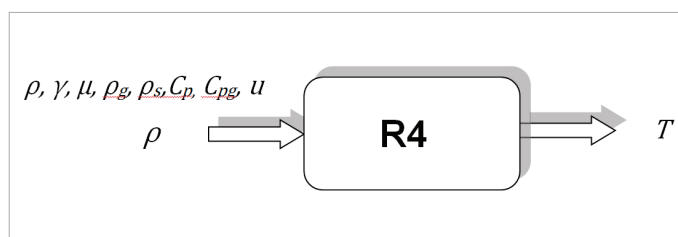
- $D_{i,m}$ (difúzní součinitel, určí se ze zkušenosti) [m².s⁻¹]



Rovnice energetická – R4

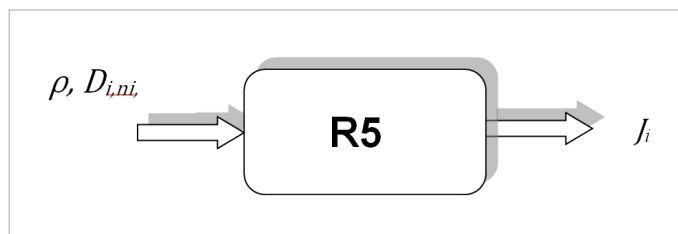
$$-(\rho_g \cdot \gamma \cdot c_{pg} + (1 - \gamma) \rho_s \cdot c_{ps}) + \dots = \frac{\delta}{\delta t} \left(\dots \right) + \frac{\delta}{\delta t} (J_{j,i} \cdot c_p \cdot T) \quad (7)$$

- T (teplota) [°K]
- γ (poréznost) 0,15 [kg.m⁻³]
- ρ (hustota směsi) 1 300 [kg.m⁻³]
- u (složka vektoru rychlosti větru) [m.s⁻¹]
- ρ_s (hustota pevné složky) [kg.m⁻³]
- ρ_g (hustota tekuté složky) [kg.m⁻³]
- c_{ps} (specifické teplo pevné složky) 1 090 [J.kg⁻¹.K⁻¹]
- c_{pg} (specifické teplo tekuté složky) .. [J.kg⁻¹.K⁻¹]
- c_p (specifické teplo směsi) [J.kg⁻¹.K⁻¹]
- λ_s (teplotní vodivost pevné složky) .. 0,3 [J.kg⁻¹.K⁻¹]
- λ_g (teplotní vodivost tekuté složky) .. [W.m⁻¹.K⁻¹]
- λ (teplotní vodivost efektivní) [W.m⁻¹.K⁻¹]
- S_h (zdrojový člen) [W.kg⁻¹.m⁻³]
- t (čas) [s]
- x (souřadnice polohy) [m]
- i, j (číslo složky)



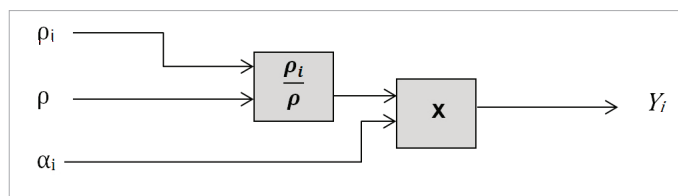
Rovnice difúzní tok – R5

$$J_i = \frac{\sigma}{\dots} \quad (8)$$

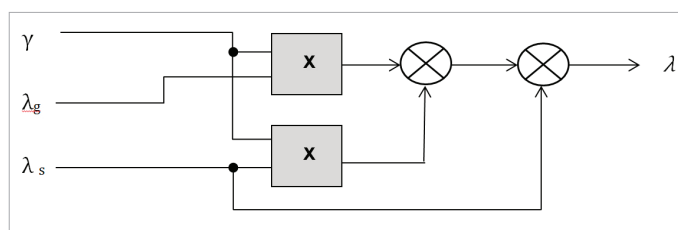


Statické relace

Hmotnostní podíl složky

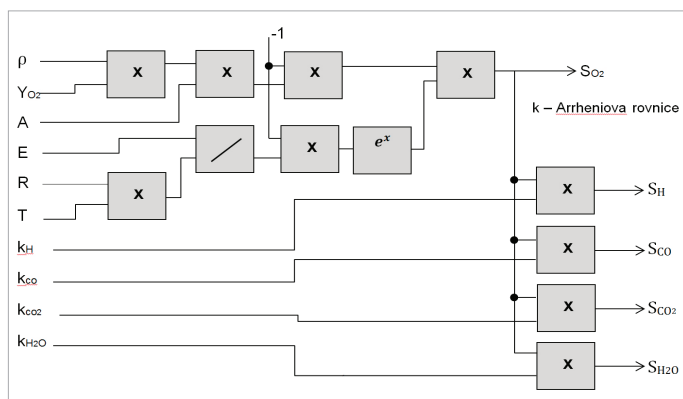


Teplotní vodivost



(9)

Míra vzniku složky



Teplotní vodivost

$$\lambda = \gamma \cdot \lambda_g + (1 - \gamma) \cdot \lambda_s \quad (10)$$

Zdrojový člen

- kyslík vodík
- oxid oxid
- voda

3 Predikce doby do samovznícení

Hlavním cílem projektu je nalezení metody včasné predikce vzniku nevratného bodu stavu záparu hnědých uhlí ve skladovaných tělesech hnědouhelných paliv a hnědouhelných produktů jak na straně dodavatelů (těžebních společností), tak na straně velkoodběratelů (energetika), a to zejména z hlediska celoplošnosti, rychlosti a přesnosti lokalizace potenciálních míst nevratného stavu záparu směřujícímu k samovznícení.

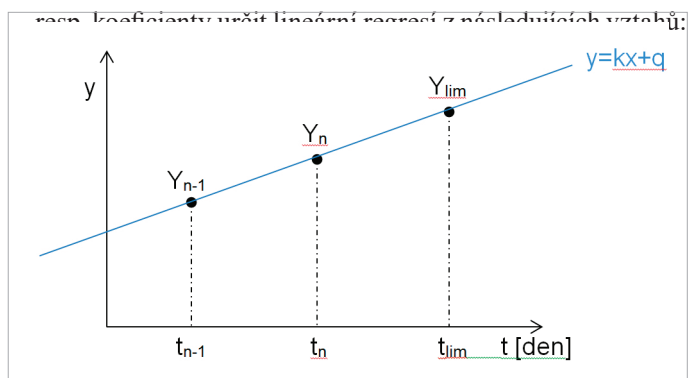
Predikovaný časový interval do samovznícení od posledního měření:

lineární trend

- čas [den]
- veličina, CH_4 , CO_2 , CO , O_2

$$t_{\text{pred}} = t_{\text{lim}} - t_n \cdot \frac{y_{\text{lim}}}{y_n - y_{n-1}} \quad (11)$$

$$\frac{y_n - y_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$$

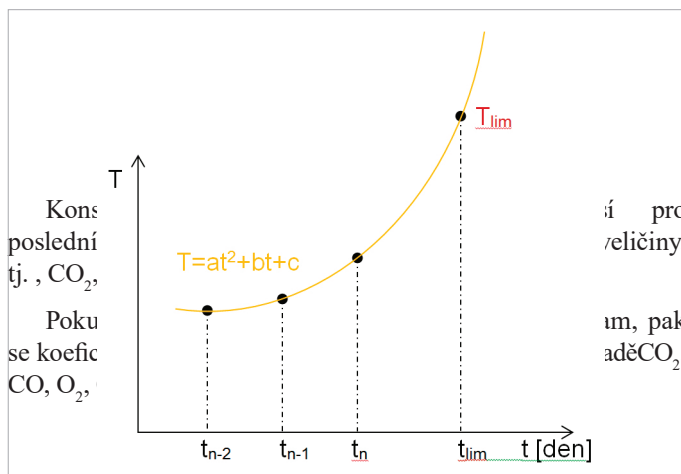


$$q = \frac{1}{n} \quad ; n = 2 \quad (13)$$

$$k = \frac{t_{n-1} \cdot y_{n-1} + t_n}{2 \cdot (t_{n-1} + t_n) - (t_{n-1}^2 + t_n^2)} \quad (14)$$

$$\left(-\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) \quad (15)$$

$$t_{\text{pred}} = t_{\text{lim}} - t_3$$



$$D = b^2 - 4a(c - T_{\text{lim}}) \quad (17)$$

$$T_{\text{lim}} \geq \frac{D}{4a} \quad (18)$$

4 Závěr

Představený způsob hodnocení míry nebezpečí vzniku samovznícovacího procesu hnědého uhlí na skládkách vychází z čí-

$$\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk}^2 \right) \quad (19)$$

selného vyjádření hodnoty kritéria MHU (míry hnědého uhlí) sečtením bodového zatížení jednotlivých ukazatelů. Některé ukazatelé mohou být ohodnoceny zápornými body a představují tak způsob, jak zmírnit negativní hodnocení posuzované skládky. Verifikace tohoto nového způsobu hodnocení uhelných skládek byla realizována v tomto (závěrečném) roce řešení projektu č. TA01020351 programu ALFA, kdy se k vypracovanému návrhu hodnocení vyjádřili odborníci se zkušenostmi se skládáním uhlí. Výše uvedený text tak již představuje upravenou verzi hodnocení se zakomponovanými připomínkami oponentů a tvoří základní podklad pro vytvoření certifikované metodiky „a software“.

$$z_2 = \sum_{i=1}^n x_i^3 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n x_i \quad (23)$$

Výsledkem je predikce vzniku samovznícení, která umožní provést včasné zásahy k odstranění hrozby důlního požáru ve sloji povrchových hnědouhelných lomů či na skládkách uhelných deponií.

$$z_4 =$$

Poděkování

Tento článek byl vypracován v rámci programu ALFA projektu č. TA01020351 za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím TA ČR.

Literatura

$$z_6 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (26)$$

- [1] TARABA, B., VORÁČEK, V., KRÁL, V.: Uhlí, rudy, geologický průzkum. 2006, roč. 13, sv. 11, s. 34-37.
- [2] TARABA, B., PAVELEK, Z., JANEK, J., VORÁČEK, V., KRÁL, V.: Uhlí, rudy, geologický průzkum. 2006, roč. 13, sv. 12, s. 28-31.
- [3] TARABA, B.: Ostravská univerzita, 2003, (112 stran), ISBN 80-7042-832-5.
- [4] MONI, V., TARABA, B.: Zpravodaj Hnědé uhlí, č. 2 (2013), s. 17-24, ISSN 1213-1660.
- [5] CHEN, X. D., STOTT, J. B.: Fuel 72 (1993), s. 787.
- [6] DOBAL, V., SÝKOROVÁ, I., VALEŠKA, F., HEMELÍKOVÁ, B.: Výzkumná zpráva ÚGG ČSAV Praha, 1983.
- [7] AKGUN, F., ARISOY, A.: Combustion and Flame 99 (1994), s. 137-146.
- [8] MICHALEC, Z., MICHALCOVÁ, V., TARABA, B.: Zpravodaj Hnědé uhlí, č. 1 (2013), s. 3-10, ISSN 1213-1660.
- [9] MONI, V.: Zpravodaj Hnědé uhlí, č. 2 (2014), s. 27-35, ISSN 1213-1660.
- [10] TARABA, B., MICHALEC, Z., MICHALCOVÁ, V., BLEJCHAŘ, T., BOJKO, M., KOZUBKOVÁ, M.: Fuel 118 (2014), s. 107-112.
- [11] TARABA, B., PETER, R., SLOVÁK, V.: Fuel Processing Technology 92 (2011), 712-715.