

Modelování vlivu parametrů uhelné skládky na dynamiku samovzněcovacího procesu

Ing. Zdeněk Michalec¹, Ing. Vladimíra Michalcová, PhD.², prof. Ing. Boleslav Taraba, CSc.³

¹Ústav geoniky AV ČR, Studentská 1768, Ostrava-Poruba, zd.michalec@volny.cz

²VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Ludvíka Poděště 1875/17, Ostrava-Poruba

³Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, 30. dubna 22, Ostrava 1, boleslav.taraba@osu.cz

Přijato: 15. 11. 2012, recenzováno: 17. a 21. 1. 2013

Abstrakt

Příspěvek seznamuje s aplikací FLUENTu pro řešení problematiky samovzněcovacích procesů v černouhelné skládce. Podařilo se vyvinout nestacionární jednofázový, dvojrozměrný (2D) model rozvoje oxidačního procesu ve skládce uhlí, která je vystavena vlivům atmosférické mezní vrstvy. Hlavní pozornost příspěvku je zaměřena na postihnání vlivu geometrie (výška, boční úhel) a míry zhutnění uhelné skládky na dynamiku rozvoje procesu samovzněcování. Numerické simulace potvrdily zásadní vliv zhutňování skládky, kdy snížení mezerovitosti mezizrnného prostoru evidentně potlačuje projevy záparu skladovaného uhlí. Z pohledu geometrie má významný vliv především úhel sklonu svahu, při jehož nárůstu se oxidační procesy v deponovaném uhlí urychlují.

Modelling of influence of coal stock-pile parameters on self-ignition process dynamics

A commercial CFD software programme, ANSYS-Fluent, was used to study the low temperature oxidation of coal inside stockpiled coal. Two dimensional, single-phase model of coal oxidised inside the stockpile has been developed respecting the atmospheric boundary layer. Main attention is focused on the influence of geometry and/or porosity of the stockpile on dynamics of the coal spontaneous heating process. Numerical simulations proved stockpile porosity to be a dominant parameter influencing oxidation process of stockpiled coal. As to geometry, slope of the stockpile side is mainly important with evident rise in oxidation process as the slope angle increases.

Modellierung der Parameterwirkungen der Kohledeponie auf die Dynamik des Selbstentzündungsprozesses

Der Beitrag informiert über die FLUENT-Anwendung für die Lösung der Problematik von Selbstentzündungsprozessen in einem Steinkohlelagerplatz. Es gelang, ein nichtstationäres zweidimensionales (2D) Einphasenmodell der Entwicklung des Oxidationsprozesses in einem Kohlelagerplatz zu entwickeln, der den Wirkungen der atmosphärischen Grenzschicht ausgestellt ist. Die Hauptaufmerksamkeit des Beitrages ist auf die Ermittlung des Einflusses der Geometrie (Höhe, Seitenwinkel) und des Verdichtungsgrades des Kohlelagerplatzes auf die Entwicklungsdynamik des Selbstentzündungsprozesses gerichtet. Die numerischen Simulationen bestätigen die grundsätzliche Wirkung der Verdichtung des Kohlelagerplatzes, wenn die Minderung der Haufwerksporigkeit des Zwischenkornraumes die Auswirkungen der Selbstentzündung der gelagerten Kohle evident reduziert. Aus der Sicht der Geometrie ist vor allem der Böschungswinkel von Bedeutung, bei seiner Steigerung werden Oxidationsprozesse in der deponierten Kohle schneller.

Klíčová slova: CFD modelování, samovzněcování uhlí, skládka uhlí, atmosférická mezní vrstva.

Keywords: CFD modelling, spontaneous combustion of coal, coal stockpile, atmospheric boundary layer.

1 Úvod

Matematické modelování představuje moderní způsob, jak studovat a poznat zákonitosti procesu samovzněcování uhlí v podmínkách in situ [1-9]. Patrně nejprogresivnější je v současnosti tzv. CFD programování (*CFD - Computational Fluid Dynamics*), které tvoří základ také softwarového prostředí FLUENT. S jeho využitím již byly pro podmínky dolů OKR provedeny simulace aerodynamiky závalových prostor s postihnutím koncentračních úrovní plyných složek při aplikaci dusíku jako inertizujícího média [10], byl také namodelován rozvoj záparového procesu v závalovém prostoru při postupu porubní stěny od výchozí prořázky až po dosažení cílové směrné délky [11].

Předkládaný příspěvek seznamuje s aplikací FLUENTu pro řešení problematiky samovzněcovacích procesů v černouhelné skládce. Podařilo se vyvinout nestacionární jednofázový, dvojrozměrný (2D) model rozvoje oxidačního procesu ve skládce uhlí, která je vystavena vlivům atmosférické mezní vrstvy.

Hlavní pozornost příspěvku je zaměřena na postihnání vlivu geometrie (výška, boční úhel) a míry zhutnění uhelné skládky na dynamiku rozvoje procesu samovzněcování.

2 Modelování oxidace uhlí

Při modelování oxidačního procesu černého uhlí jsme navázali na výsledky vlastních laboratorních šetření, která byla realizována na uhelných vzorcích z OKD metodou průtokové kalorimetrie [12] či metodou tepelné oxidace [13].

2.1 Teplotní závislost

Oxidace uhelné hmoty kyslíkem byla modelována jako reakce prvního řádu vůči kyslíku a její teplotní závislost byla kvantifikována pomocí (základního) Arrheniova vztahu:

$$r_{ox} = Y_{O_2} \cdot A \cdot e^{-E/(R \cdot T)}, \quad (1)$$

kde

- r_{ox} rychlost oxidace uhlí kyslíkem [s^{-1}],
 Y_{O_2} zastoupení kyslíku ve směsi [$kg \cdot kg^{-1}$],
 A tzv. preexponenciální faktor [s^{-1}],
 E aktivační energie [J/mol],
 R univerzální plynová konstanta [$8,314 J/(mol \cdot K)$],
 T teplota [K].

V dynamice teplotní závislosti oxidace uhlí byla respektována skutečnost, že po dosažení tzv. kritické teploty samovznícení T_{ks} se reakce dostává do jiné, intenzivnější fáze charakterizované mj. vyššími hodnotami aktivační energie E a preexponenciálního faktoru A [13].

Pro účely modelování oxidace uhlí na skládce byly zvoleny typické údaje pro černé uhlí z lokality Lazy, které byly získány z měření metodou tepelné oxidace:

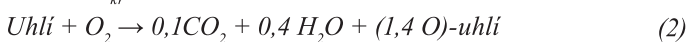
Kritická teplota samovznícení T_{ks}	100 °C
Údaje do teplotní úrovně T_{ks}	$E = 23,5 \text{ kJ/mol}$, $A = 1,85 \text{ s}^{-1}$
Údaje nad teplotní úrovní T_{ks}	$E = 51,1 \text{ kJ/mol}$, $A = 13\,700 \text{ s}^{-1}$

2.2 Vývin oxidačních produktů, tepelný efekt reakce

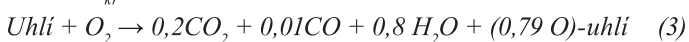
Množství reakčních zplodin vyvinutých při oxidaci uhlí bylo dopočítáváno ze zjednodušených stechiometrických schémat, která byla navržena na základě výsledků monitorování uvolněných plynů z uhlí metodou tepelné oxidace. Jako základní uvolňované složky byly do modelu zahrnuty oxid uhličitý, oxid uhelnatý a voda, přičemž byl respektován výchozí předpoklad, že na reakční vodu je potřeba dvojnásobné množství spotřebovaného kyslíku nežli na oxid uhličitý [14]. Navržená schémata také odrážejí rozdílnou stechiometrii oxidační reakce při teplotách nižších, respektive vyšších, než je kritická teplota samovznícení T_{ks} .

Tepelný efekt doprovázející oxidaci uhlí podle obou reakčních schémat (2) a (3) byl pokládán za konstantní a roven hodnotě $270 \text{ kJ} \cdot (\text{mol } O_2)^{-1}$, která byla zjištěna z přímých kalorimetrických měření [15].

Pro $T \leq T_{kr}$:



Pro $T > T_{kr}$:



Pozn.: Symbol „O-uhlí“ v rovnicích představuje pevný reakční produkt, tedy povrchově zoxidované uhlí.

2.3 Vliv zrnitosti uhlí

Závislost rychlosti oxidace r_{ox} na zrnitosti (charakterizované středním průměrem uhelných zrn d) byla vyjádřena ve tvaru:

$$r_{ox} \sim d^{-0,45}, \quad (4)$$

kde hodnota exponentu - 0,45 - byla experimentálně stanovena z kalorimetrických zkoušek pro rozmezí zrnitostních frakcí od 0,06 do 1,25 mm [12]. V případě zrn uhlí s průměrem větším než 1,25 mm pak bylo předpokládáno, že hodnota exponentu v závislosti (4) je rovna -1, což vlastně představuje přímou

úměru mezi rychlostí oxidace a geometrickým povrchem kusu uhlí.

3 Modelování uhelné skládky

3.1 Skládka

Výchozí parametry modelu skládky uhlí byly nastaveny podle reálné deponie černého uhlí v lokalitě Lazy v Orlové.

Výška lazecké skládky je cca 20 m nad úroveň okolního terénu, (přízemní) délka asi 200 m a šířka 60 m, sklon bočního svahu je asi 40°. Uhlí je sypáno na vrchní část skládky, kde je rozhrnováno a pěchováno kolovým nakladačem. Zrnitostní skladba deponovaného uhlí je tvořena především frakcí 0-20 mm s procentuálním zastoupením cca 60 %_{vol}, zbylých 40 % tvoří hrubší frakce s průměrem nad 20 mm, které lze považovat z hlediska nízkoteplotní oxidace za neaktivní. Široké zastoupení rozličných uhelných frakcí spolu v součinnosti s pojezdem kolového nakladače umožňuje skládku výrazně ztuhnout, až na odhadovanou mezerovitost mezizrnitého prostoru 12 %.

Průřez modelované skládky, jak byla „parametricky nastavena“ do numerického modelu, je uveden na obrázku č. 1a. Nutno současně zdůraznit, že rozmanitost zrnitostních frakcí skladovaného uhlí byla pro účely modelování zjednodušena zavedením jediného, středního rozměru uhelného zrna – o průměru 10 mm.

3.2 Řešení atmosférických podmínek

Za účelem postihnouti atmosférických podmínek reálného prostředí lokality Lazy byla vyhodnocena meteorologická data z průběhu měsíce července 2010. Z provedené analýzy vyplynulo (viz tabulka č. 1), že směrově jsou nejčetnější větry z jihozápadu (35 %), což v reálu představuje kolmý směr na podélnou osu skládky.

Pro daný jihozápadní směr pak byla z meteorologických dat vyčíslena průměrná hodnota referenční rychlosti ve výšce 10 metrů nad terénem, $v_{ref} = 3,54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, která byla následně využita pro vyjádření profilu rychlosti větru (v) v závislosti na výšce:

$$v = 3,54 \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{0,22}, \quad (5)$$

kde:

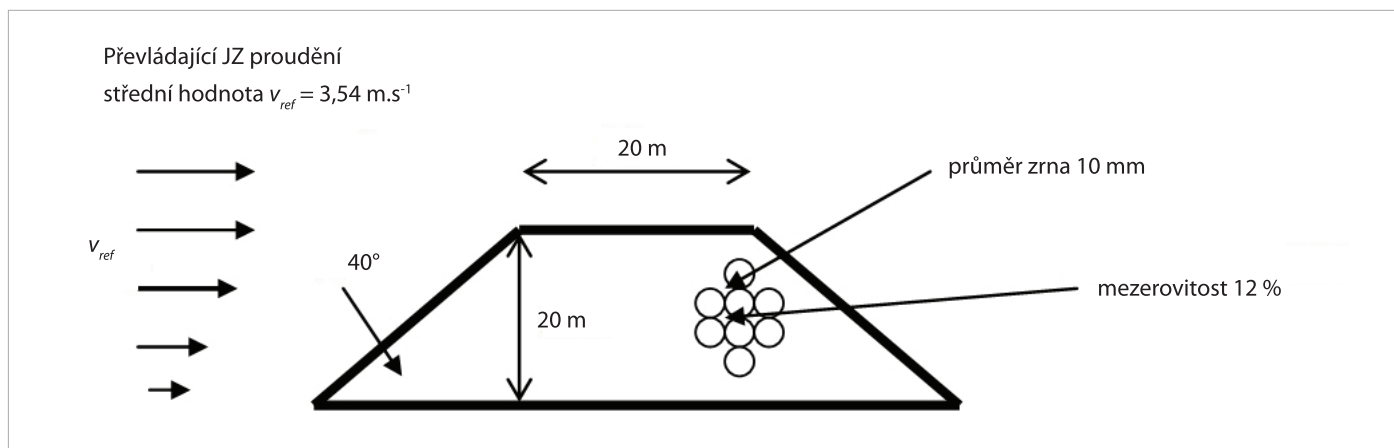
z – výška nad terénem [m].

Výpočty proudění větru v okolí skládky byly provedeny pomocí RNG k - ε modelu s respektováním třetí rychlosti v^* [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], kinetické energie k [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$] a její disipace ε [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$]:

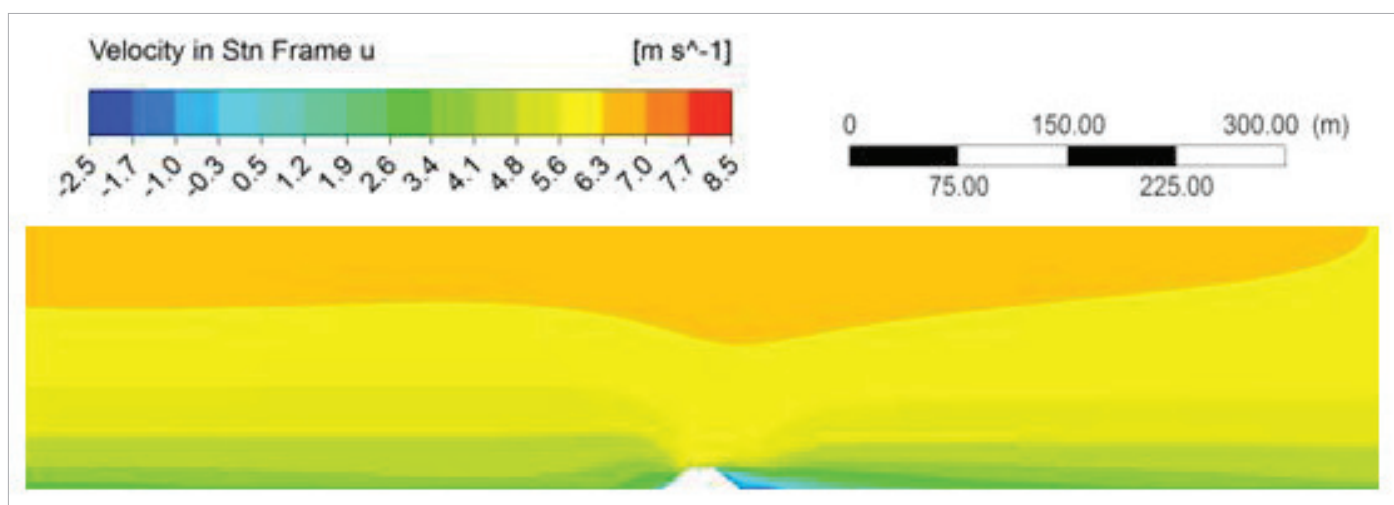
$$v^* = \kappa \cdot v_{ref} \cdot \ln \frac{10 + z_0}{z_0}, \quad (6)$$

$$k = \frac{v^{*2}}{0,3}, \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{v^{*3}}{\kappa \cdot z}, \quad (8)$$



Obr. 1a: Základní parametry modelované skládky - základní schéma samotné skládky.



Obr. 1b: Základní parametry modelované skládky - prezentace celého modelovaného 2D prostoru (skládka + okolní atmosféra).

kde:

κ – von Kármánova konstanta $\kappa = 0,419$ [-],
 z_0 – aerodynamická drsnost, tady $z_0 = 0,5$ [m].

3.3 Základní popis numerického modelu

Vytvořený model vychází z dříve publikovaných poznatků [16], kdy byly testovány dva matematické modely nízkoteplotní oxidace uhlí pomocí FLUENTu metodou konečných objemů. První představoval jednofázový model s laminárním prouděním plynů porézním prostředím. Druhý byl dvofázový Eulerův model s definovanými fázemi o různém skupenství. Na základě konfrontace získaných simulačních výstupů s výsledky fyzikálního experimentu v laboratoři byla potvrzena aplikační použitelnost obou modelů pro daný účel.

Zdejší model skládky byl řešen jako dvojrozměrný (2D) porézní objekt lichoběžníkového tvaru reprezentující příčný průřez umístěný ve směru převažujícího JZ proudění větrů.

Proudění vzdušnin uvnitř skládky bylo modelováno jako laminární, kde odporový součinitel byl definován permeabilitou porézního prostředí. K řešení přenosových jevů byly využity rovnice kontinuity, pohybu, energie a koncentrací příměsí. Model byl poté doplněn o zdrojové členy kvantifikující spotřebu kyslíku, produkci plynných složek a množství uvolněného tepla.

Blízko povrchu skládky lze (obecně) očekávat velké gradienty teplot, rychlostí a koncentrací plynů. Proto bylo po obvodu haldy (do hloubky tří metrů) provedeno velmi jemné mřížkování, aby se minimalizovaly numerické chyby. Výška první hexabuňky pod povrchem skládky byla 0,1 m, velikost dalších buněk směrem dovnitř skládky narůstala s koeficientem 1,05. Od „hloubky“ tří metrů pak bylo mřížkování nadefinované s plynulým zvětšováním buňky do maximální velikosti 3 m.

Celková výpočtová oblast vyvinutého modelu byla 1 000 x 200 metrů, převážná část modelovaného 2D prostoru se tedy týkala

Tab. 1: Výsledky z analýzy meteorologických dat.

Směr větru	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	bezv.
Procento výskytu proudění v daném směru	6,45	4,84	2,22	12,10	18,82	34,88	13,41	6,35	0,94
Průměrná rychlost v uvedeném směru [m.s^{-1}]	1,867	1,772	0,848	1,243	2,28	3,54	3,52	1,950	0

řešení atmosférického turbulentního proudění v okolí haldy, viz obrázek č. 1b.

4 Výsledky numerických simulací samovzněcovacího procesu

Vyvinutý matematický model byl využit k postihnutí vlivu geometrie (výšky, sypného úhlu) a zhutnění skládky na možné projevy samovzněcovacího procesu uhlí. Základní výstup z hodnocení procesu samovznícení, jak je použit v této práci, vychází z prezentace časových průběhů maximální teploty v uhelné skládce; současně bylo možné toto místo s nejvyšší teplotou i lokalizovat - jakožto polohu ohniska potenciálního záparu. Šetření vlivu uvedených faktorů byla provedena na modelu skládky, jejíž základní geometrie je uvedena na obrázku č. 1a.

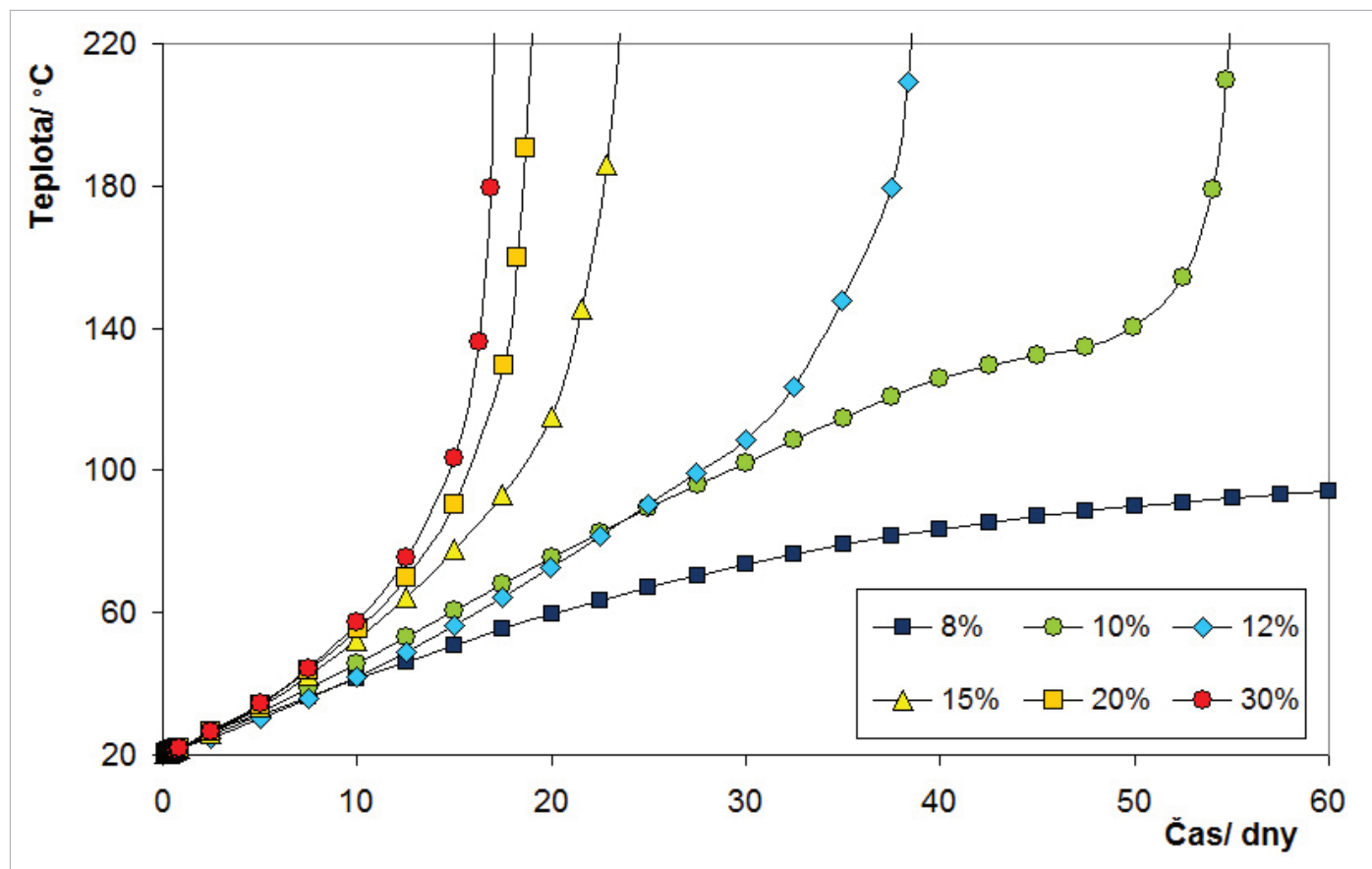
4.1 Vliv zhutnění (mezerovitosti) skládky

Simulace vlivu zhutnění skládky na rozvoj oxidace deponovaného uhlí byla provedena pro hodnoty mezerovitosti mezizrného 2D prostoru 8, 10, 12, 15, 20 a 30 %. Mezerovitost 8 % přitom odpovídá nejvyšší míře zhutnění skládky, které lze při dané zrnitosti uhlí zřejmě dosáhnout. Výsledky z provedených simulací shrnuje obrázek č. 2 s časovými průběhy maximálních teplot pro jednotlivé hodnoty mezerovitosti.

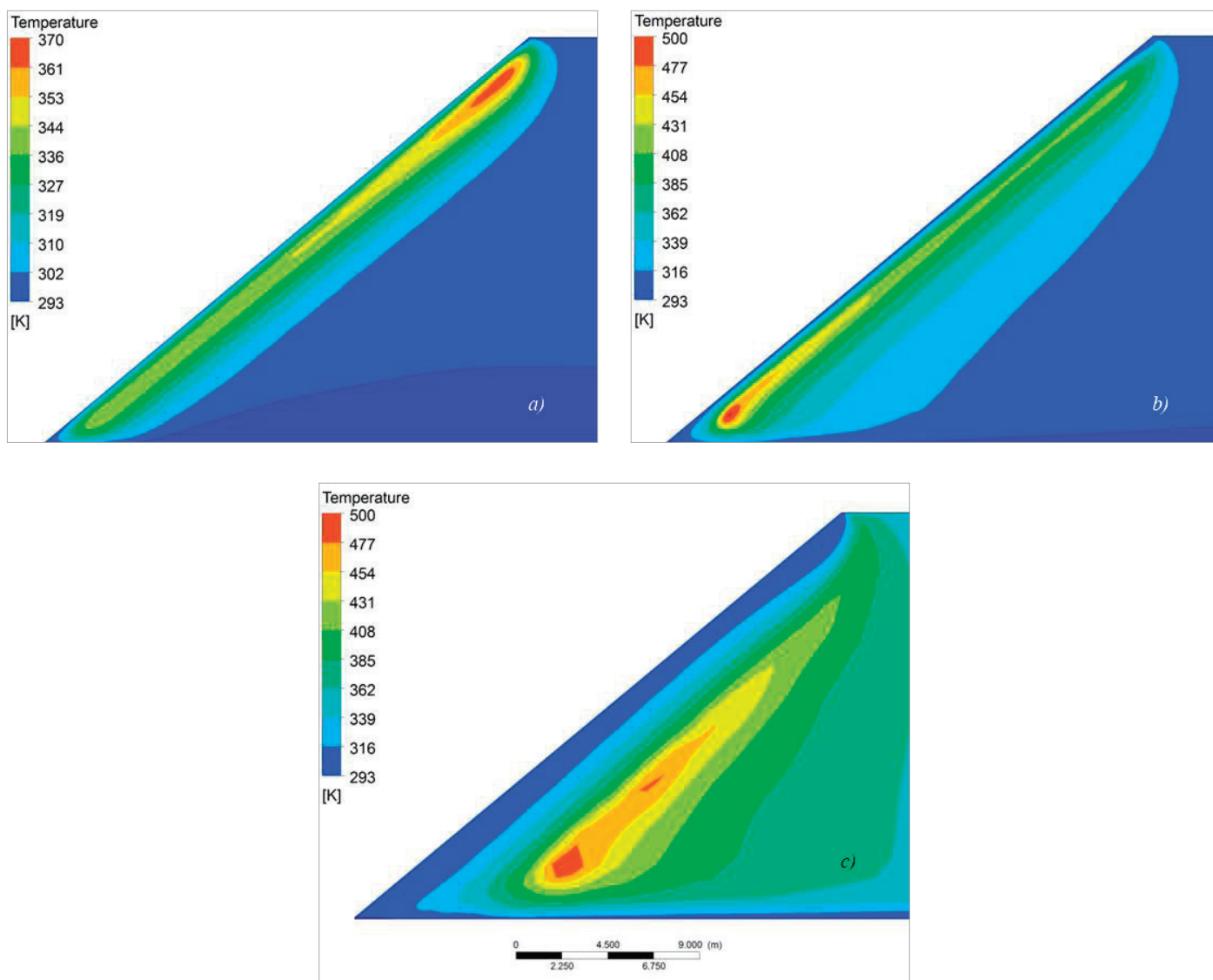
Z obrázku č. 2 je zcela evidentní, že zhutňování skládky vede ke zpomalení dynamiky časového nárůstu teploty. Při zhutnění mezizrného prostoru na mezerovitost 8 % nedosáhla

maximální teplota ve skladovaném uhlí ani po dvou měsících úrovně 100° C (= kritické teploty samovznícení) a jako de facto v jediném simulovaném případě se tak podařilo vyhnout přechodu záparového procesu do fáze nekontrolovatelného hoření, viz obrázek č. 2. Naopak, zhutnění skládky na mezerovitost 20-30 % se z tohoto pohledu ukázalo jako zcela nedostatečné, když bod zvratu záparu do jeho nekontrolovatelné fáze byl dosažen již za cca 2 týdny. V obecné rovině tak můžeme konstatovat, že zhutnění skládky představuje závažný faktor, kterým můžeme ovlivňovat dynamiku projevu samovzněcovacího procesu, přičemž snížení mezerovitosti mezizrného prostoru evidentně potlačuje projevy záparu ve skladovaném uhlí. Tento poznatek zcela odpovídá praxi a je v souladu se zjištěním dalších autorů, kteří se otázce pórovitosti skládky na projevy záparového procesu zabývali [2,8,9].

Zde referovaná sledování umožňují poněkud bližší pohled i na lokalizaci místa o nejvyšší teplotě v návaznosti na míru zhutnění skládky. Pro všechny studované mezerovitosti se tak ukázalo, že záparové ohnisko vzniká (dle očekávání [2,8]) na návětrné straně haldy, ale pouze v případě mezerovitosti 8 % je místo s nejvyšší teplotou lokalizováno v horní úrovni skládky. S nárůstem mezerovitosti se objem ohniska možného záparu zvětšuje a jeho umístění se pak nachází výhradně ve spodní části skládky uhlí. Situace je demonstrována na obrázcích č. 3a-3c, ze kterých i názorně vyplývá, jak se ohnisko s rostoucí mezerovitostí skládky posunuje dovnitř objektu; při mezerovitosti 15 % se ložisko nachází cca 1 m pod povrchem, při pórovitosti 30 % pak již je v hloubce asi 4,5 m.



Obr. 2: Vliv zhutnění skládky na dynamiku samovzněcovacího procesu deponovaného uhlí, výška skládky = 20 m, svahový úhel = 40°.



Obr. 3: Vliv mezerovitosti skládky na lokalizaci možného ohniska samovznícení uhlí; výška skládky = 20 m, svahový úhel = 40°; a) mezerovitost 8 %, b) mezerovitost 15 %, c) mezerovitost 30 %.

4.2 Vliv výšky skládky

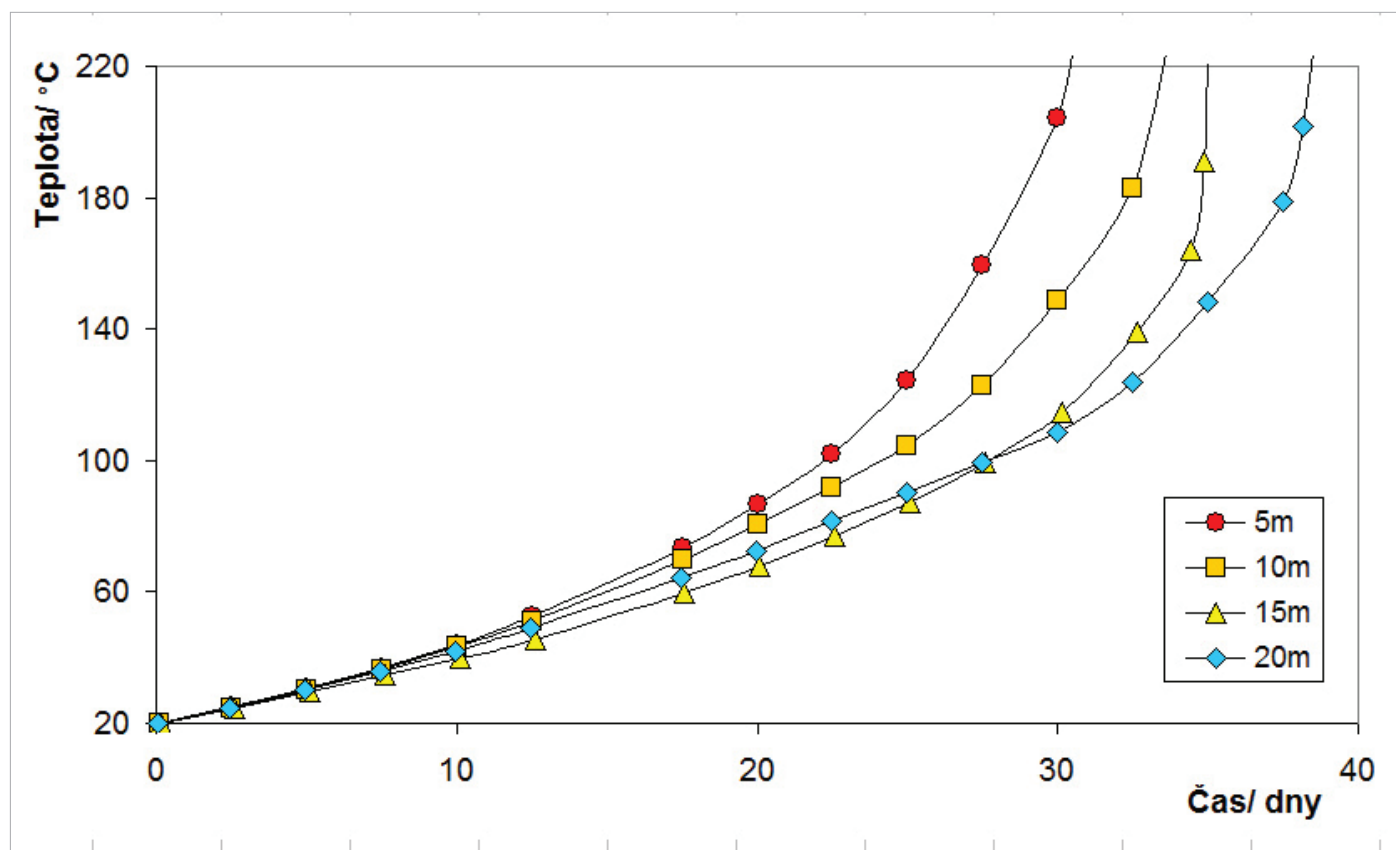
Série výpočtových simulací byla provedena při konstantní mezerovitosti 12 % a sklonu svahu 40°, ale s výškou skládky měnící se v rozmezí 5-20 m. Dosažené výsledky shrnuje obrázek č. 4, ze kterého lze vyčíst, že výška haldy nemá výraznější vliv na délku časových úseků pro dosažení bodu zvratu záparu do fáze nekontrolovatelného hoření. Ve všech modelovaných případech se tato doba pohybuje okolo 34 ± 4 dnů, přičemž ohnisko záparu se objevuje vždy ve spodní části návětrné strany haldy ve vzdálenosti asi 1 m pod povrchem. Celkově lze tedy shrnout, že výška skládky, ve sledovaném intervalu 5-20 m, výrazněji neovlivňuje podmínky pro rozvoj samovznícovacího procesu deponovaného uhlí.

4.3 Vliv sklonu svahu skládky

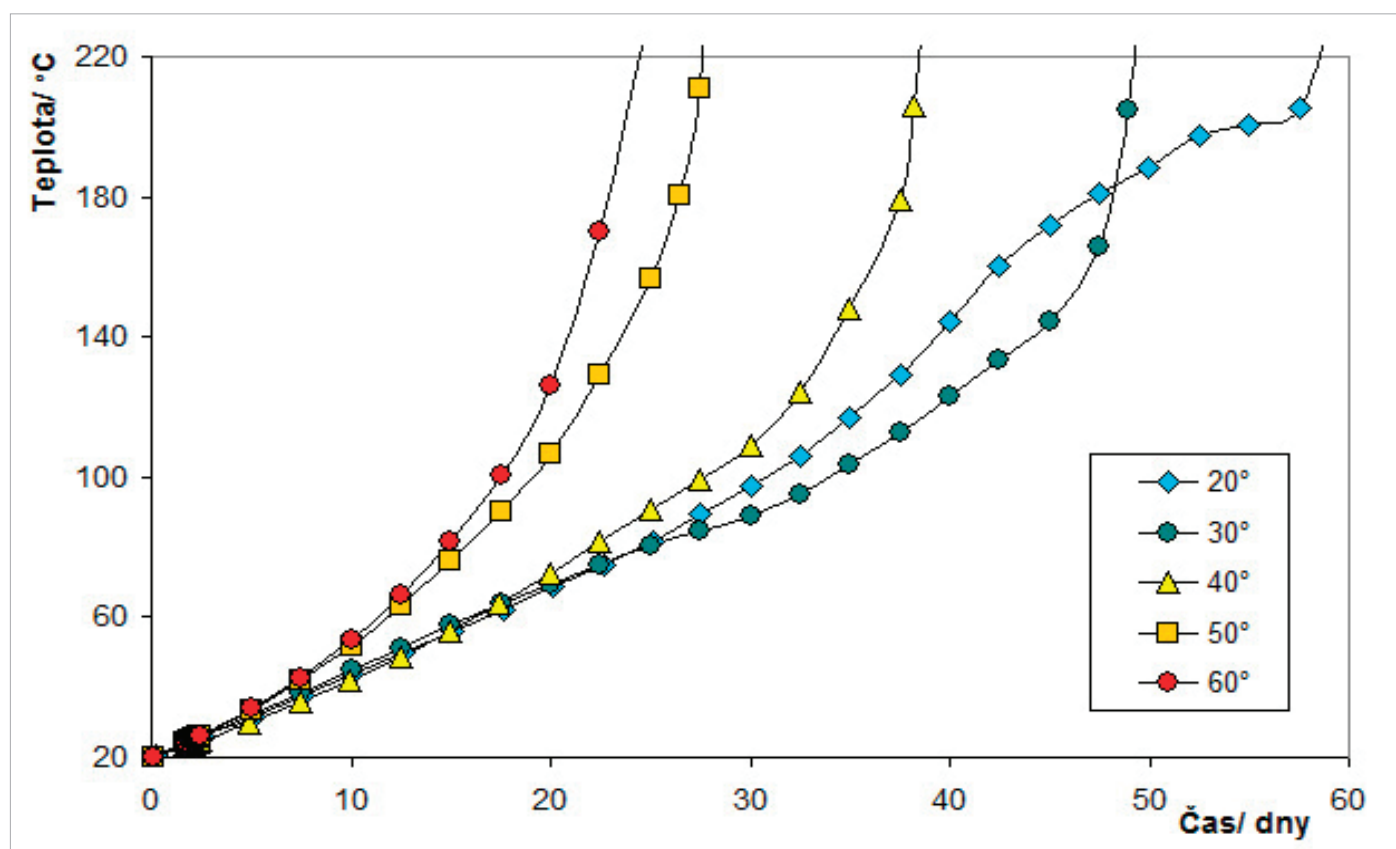
Následně byly provedeny simulace vlivu geometrie skládky, kdy se měnil úhel sklonu bočních svahů, a to v intervalu od

20 do 60°. Výsledky názorně shrnuje obrázek č. 5, ze kterého je zřejmé, že zmenšující se sklon svahu skládky evidentně zpomaluje dynamiku teplotního nárůstu oxidujícího se uhlí.

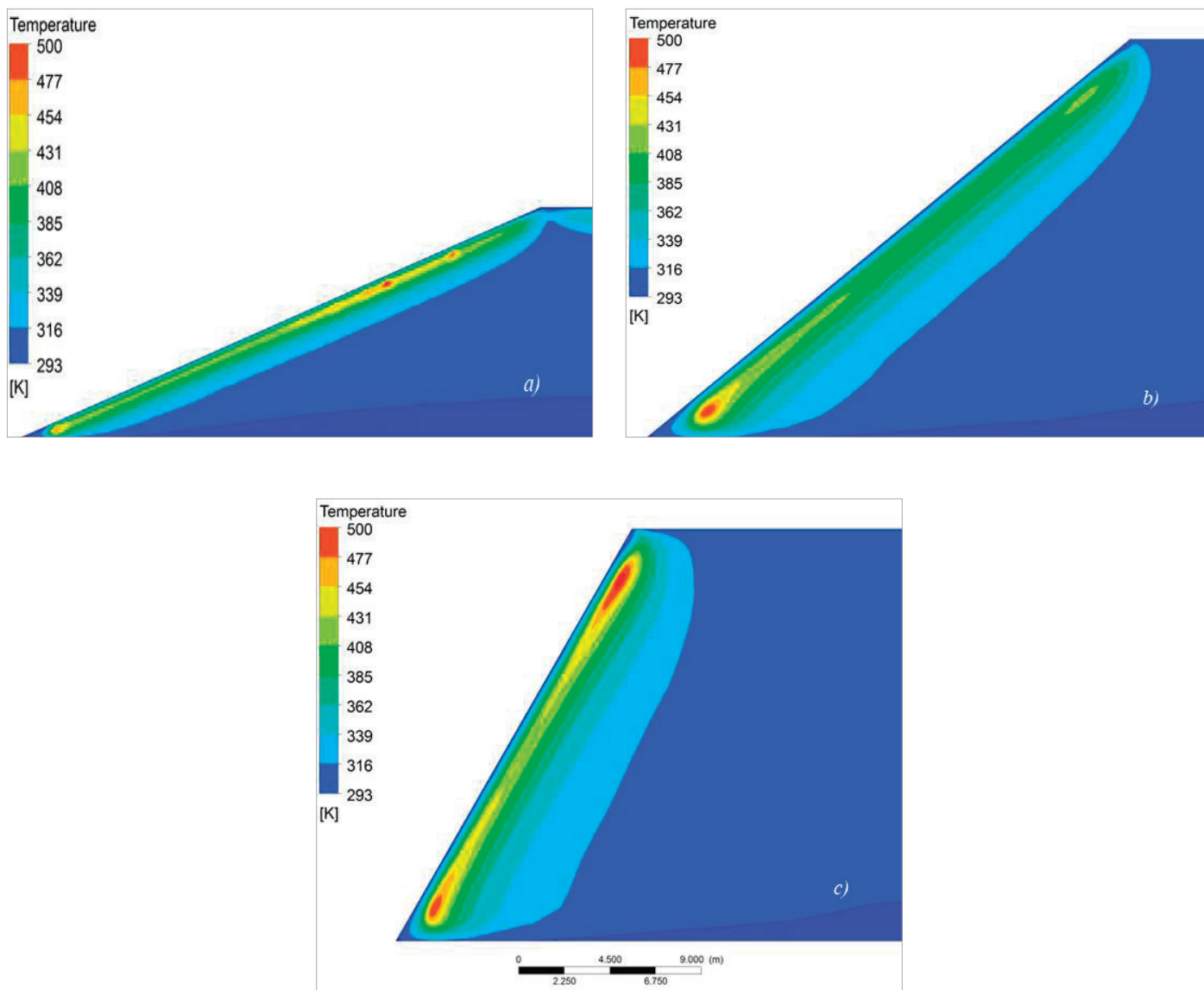
Snížením svahového úhlu skládky z 60° na 30° se doba dosažení bodu zvratu záparu do fáze nekontrolovatelného hoření zhruba zdvojnásobí. Svým průběhem se ale vymyká pozvolná dynamika teplotního nárůstu pro nejmenší modelovaný úhel 20° - bez typického zvratu teplotní křivky do fáze strmého vzrůstu, viz obrázek č. 5. V tomto kontextu lze spatřovat jistou návaznost na poznatek Agkuna s Essenhighem, že pro vznik záparu je kritický úhel svahování 26°, pod jehož hodnotou by k procesu samovznícování uhlí na dané skládce již nemělo dojít [8]. Zajímavé je pak sledovat, jak měnící se svahový úhel skládky ovlivňuje polohu ohniska možného záparu. Při sklonu svahu 30° a 40° se ložisko nachází (typicky) ve spodní části návětrné strany v hloubce asi 1 m. Při úhlu svahování 50° nebo 60° se však na návětrné straně mohou objevit dvě záparová ložiska - v její spodní a vrchní části.



Obr. 4: Vliv výšky skládky na dynamiku samovzněcovacího procesu deponovaného uhlí, mezerovitost skládky = 12 %, svahový úhel = 40°.



Obr. 5: Vliv sklonu svahu skládky na dynamiku samovzněcovacího procesu deponovaného uhlí, mezerovitost skládky = 12 %, výška skládky = 20 m.



Obr. 6: Vliv sklonu svahu skládky na lokalizaci možného ohniska samovznícení uhlí; výška skládky = 20 m, mezerovitost skládky = 12 %; a) úhel svahu 20°, b) úhel svahu 40°, c) úhel svahu 60°.

A v případě nejmenšího úhlu 20° se objevuje hned několik nestabilních drobných ložisek těsně pod povrchem de facto po celé délce návětrné strany. Jednotlivé případy lokalizace ohnisek jsou názorně představeny na obrázku č. 6a-6c, přičemž ve zcela nezvyklém rozpořádání zateplených míst v haldě se svahovým úhlem 20° můžeme vidět i příčinu netypické, pozvolné dynamiky teplotního nárůstu, jak je komentována výše.

5 Závěr

Matematické modelování s využitím softwarového prostředí FLUENT bylo ověřeno jako účinný, názorný prostředek ke studiu problematiky samovznícování uhlí na uhelných skládkách. Numerické simulace potvrdily zásadní vliv zhuňování skládky na dynamiku samovznícovacího procesu, kdy snížení mezerovitosti mezizrnného prostoru evidentně potlačuje projevy záparu skladovaného uhlí. Z pohledu tvaru skládky pak má významný vliv především sklon svahu, při jehož nárůstu oxidační procesy v deponovaném uhlí akcelerují.

Poděkování

Práce byla vytvořena za podpory GA ČR v rámci projektu 105/08/1414. Děkujeme Ing. M. Špokovi za poskytnuté konzultace.

Literatura

- [1] BROOKS, K., GLASSER, D.: *Modelling the spontaneous combustion of coal*. South African Journal of Science 84 (1988), pp. 874-875.
- [2] KRISHNASWAMY, S., AGARWAL, P.K., GUNN, R.D.: *Low-temperature oxidation of coal 3. Modelling spontaneous combustion in coal stockpiles*. Fuel 75 (1996), pp. 353-362.
- [3] FIERRO, V., MIRANDA, J.L., ROMERO, C., ANDRÉS, J.M., ARRIAGA, A., SCHMAL, D.: *Model predictions and experimental results on self-heating prevention of stockpiled coals*. Fuel 80 (2001), pp. 125-134.

- [4] ROSEMA, A., GUAN, H., VELD, H.: *Simulation of spontaneous combustion, to study the causes of coal fires in the Rujigou Basin*. Fuel 80 (2001), pp. 7-16.
- [5] CARRAS, J.N., YOUNG, B.C.: *Self-heating of coal and related materials: Models, application and test methods*. Prog. Energy Combust.Sci. 20 (1994), pp. 1-15.
- [6] YUAN, L., SMITH, A.C.: *Numerical study of coal properties on spontaneous heating in longwall gob areas*. Fuel 87 (2008), pp. 3409-3419.
- [7] AKGUN, F., ARISOY, A.: *Effect of particle size on the spontaneous heating of a coal stockpile*. Combustion and Flame 99 (1994), pp. 137-146.
- [8] AGKUN, A., ESSENHIGH, R.H.: *Self-ignition characteristics of coal stockpiles: theoretical prediction from two-dimensional unsteady-state model*. Fuel 80 (2001), pp. 409-415.
- [9] KRAJČIOVÁ, M., JELEMENSKÝ, L., KIŠA, M., MARKOŠ, J.: *Model predictions on self-heating and prevention of stockpiled coals*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 17 (2004), pp. 205-216.
- [10] ADAMUS, A., VORÁČEK, V., HANÁK, Z.: *Vyhodnocení inertizace závalu porubu 138202 důlního závodu Lazy v Orlové*. Uhlí- rudy- geologický průzkum, č. 1 (2003), pp. 12-18.
- [11] TARABA, B., MICHALEC, Z., CHURA, J., SLOVÁK, V., TAUFER, A.: *Modelování vývinu tepla z oxidace uhlí v závalovém prostoru stěnového porubu s využitím softwarového prostředí FLUENT*. Uhlí- rudy- geologický průzkum 15, č. 11 (2008), pp. 34-38.
- [12] TARABA, B.: *Nízkoteplotní oxidace a samovznícování uhelné hmoty*, Ostravská univerzita, 2003, 112 s., ISBN 80-7042-832-5.
- [13] TARABA, B., PETER, R., SLOVÁK, V., JANEK, J.: *Oxidační proces uhlí z pohledu kritické (prahové) teploty*, Uhlí- rudy- geologický průzkum 12, č. 12 (2005) pp. 26-30.
- [14] ČERNÝ, V., KLÁN, J., LANKOVÁ, S.: *Bilance spotřeby kyslíku při oxidaci uhlí*. Acta Montana, Zprávy HÚ ČSAV Praha č. 14 (1971), pp. 52-68.
- [15] TARABA, B., ČÁP, K.: *Oxidace uhlí z hlediska tepelného efektu*. Uhlí 35, č. 5 (1987), pp. 205-207.
- [16] MICHALCOVÁ, V., BOJKO, M., KOZUBKOVÁ, M.: *Matematické modelování nízkoteplotní oxidace uhlí jednofázovým a dvoufázovým modelem*. Sborník vědeckých prací VŠB - Technické univerzity Ostrava: Řada stavební. (2011), pp. 241-248.

Přehled akcí 2013

Datum	Název akce	Místo	Pořadatel/Kontakt
15. - 17. 4. 2013	APROCHEM 2013	Kouty nad Desnou	http://www.aprochem.cz/
17. - 19. 4. 2013	8. ročník symposia Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství ODPADOVÉ FÓRUM 2013	Kouty nad Desnou	http://www.odpadoveforum.cz
15. - 17. 5. 2013	22. ročník mezinárodní konference metalurgie a materiálů - METAL 2013	Hotel Voroněž I, Brno	E-mail: vlasta.gazdova@vsb.cz
28. - 30. 5. 2013	14. mezinárodní konference Electric Power Engineering 2013 - EPE 2013	Hotel Dlouhé Stráně, Kouty nad Desnou	E-mail: zaneta.vylegalova@vsb.cz http://www.epe-conference.eu/
6. - 9. 6. 2013	15. evropský den horníků a hutníků	Košice, Slovensko	http://www.zbsc.eu/kosice.php