

Hodnocení nebezpečí vzniku procesu samovznícení uhlí

prof. Ing. Boleslav Taraba, CSc.¹, Ing. Vlastimil Moni, Ph.D.²

¹Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita

²Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, moni@vuhu.cz

Přijato: 11. 4. 2012, recenzováno: 18. 5. a 14. 6. 2012

Abstrakt

V příspěvku jsou představeny metody, které se v současnosti zřejmě nejčastěji používají k hodnocení predispozice uhlí k samovzněcovacímu procesu. Přednostní pozornost je věnována postupům, které jsou využívány také v České republice. Postupně jsou tak uvedeny metody adiabatické oxidace, pulzní průtokové kalorimetrie, Olpinského metoda, respektive metoda CPT (*crossing point temperature*). Jsou zmíněny také možnosti hodnocení vnějších, geologicko-technologických faktorů, které se podílejí na formování výsledné míry nebezpečí vzniku procesu samovznícení uhlí v podmínkách in situ.

Assessment of the risk of spontaneous combustion of coal

The paper presents the methods that are currently used to assess the susceptibility of coal to spontaneous combustion. A special emphasis is put on the methods used in the Czech Republic comprising the oxidation method under adiabatic conditions, the method of pulse calorimetry, the Olpinski method, and the CPT (*Crossing Point Temperature*) method. The methods for the assessment of geological-technological factors, that determine the resulting level of risk of spontaneous combustion of coal in-situ, are also described.

Gefahrenbeurteilung der Entstehung des Prozesses von Kohle selbstentzündung

Im Beitrag werden die Methoden dargestellt, die gegenwärtig anscheinend am häufigsten zur Bewertung der Neigung der Kohle zum Selbstentzündungsprozess verwendet werden. Bevorzugt wird die Aufmerksamkeit den Verfahren gewidmet, die auch in Tschechien genutzt werden. Schrittweise also werden das Verfahren der adiabatischen Oxidation, das Verfahren der Puls-Durchflusskalorimetrie, die Olpinski-Methode bzw. CPT (*crossing point temperature*) angeführt. Es werden auch Möglichkeiten der Bewertung von äußeren, geologisch-technologischen Faktoren erwähnt, die sich auf der Formung des maßgebenden Gefahrengrades für die Entstehung des Selbstentzündungsprozesses der Kohle unter in-situ-Bedingungen beteiligen.

Klíčová slova: samovznícení uhlí, adiabatická oxidace, pulzní kalorimetrie, Olpinského metoda, metoda CPT.

Keywords: spontaneous combustion of coal, adiabatic oxidation, pulse calorimetry, Olpinski method, CPT method.

1 Úvod

Přirozenou snahou pracovníků uhelného průmyslu je mít k dispozici informaci o nebezpečí vzniku samovznícení uhlí v dané lokalitě. Na formování výsledné míry tohoto nebezpečí in situ se ovšem podílí celá řada faktorů a vlivů, které je nutno při konečném vyhodnocování zohlednit. Autoři se obecně shodují na rozdělení ovlivňujících faktorů do dvou hlavních skupin [1-6]:

- Vnitřní faktory (*endogenous, intrinsic factors*) – které se bezprostředně týkají uhelné hmoty a celkově se projevují konkrétní úrovní náchylnosti (predispozice) daného uhlí k samovzněcovacímu procesu;
- Vnější faktory (*exogenous, extrinsic factors*) – zahrnující geologické, technologické, hydrogeologické či mikroklimatické aspekty, které jsou aktuální pro předmětnou lokalitu in situ.

V souladu s uvedeným rozdělením je náchylnost (predispozice) uhlí k samovzněcovacímu procesu považována za vlastnost uhelné hmoty, kterou lze objektivně stanovit laboratorní zkouškou.

Příspěvek vychází z dokumentace, která byla zpracována během roku 2011 v úvodní fázi řešení projektu TA ČR č. TA01020351 „Výzkum možností predikce vzniku záparů a následného samovznícení hnědouhelných paliv“ [10].

2 Metody stanovení náchylnosti uhlí k samovzněcování

Na základě studia literárních pramenů věnujících se této problematice vyplynuly dva stěžejní poznatky:

- De facto neexistuje speciální metoda pro stanovení náchylnosti uhlí k samovznícení, ale popsané metody hodnotí chování uhlí výhradně v oxidačním procesu. Proto je korektnější používat místo vžitého termínu „náchylnost k samovznícení“ spíše „náchylnost uhlí k oxidaci“, „reaktivita uhlí ke kyslíku“ nebo jen krátce „oxireaktivita uhlí“.
- Doposud nebyla vyvinuta metoda, která by se stala všeobecně uznávaným a používaným postupem objektivního hodnocení uhlí z hlediska jeho oxireaktivity.

Z celého spektra hodnotících metod, které byly pro hodnocení reaktivity uhlí ke kyslíku popsány (přehledně viz například [7-9]), jsou zde dále uvedeny postupy v současnosti evidentně nejrozšířenější, respektive ty, které jsou využívány v rámci České republiky.

2.1 Metoda oxidace uhlí za adiabatických podmínek (metoda adiabatické oxidace)

Tento přístup se všeobecně považuje za nejvěrnější laboratorní simulaci průběhu samovzněcovacího procesu v reálných podmínkách a v současné době to je de facto v celém světě nej-

užívanější a nejrozšířenější postup hodnocení náchylnosti uhlí k samovznícení [4-6,11-22]. Plného uplatnění našla metoda adiabatické oxidace rovněž u nás, kde se stala základní metodou hodnocení oxireaktivy černých uhlí [23] a pro hnědá uhlí původně dokonce normovaným postupem [24].

Základem metody je oxidace uhlí v adiabatickém kalorimetru, kdy nedochází k výměně tepla mezi studovaným systémem a okolím, ale veškeré uvolněné teplo se spotřebuje na zvyšování teploty uhlí. V průběhu experimentu se snímá časová závislost teploty uhlí, je však možné proměřovat i jiné veličiny jako spotřebu kyslíku či vývin jednotlivých produktů (zejména CO_2 , CO) při oxidaci.

Jako ukazatel samovzněcovací schopnosti analyzovaných uhlí se z experimentálních křivek vyhodnocuje:

1. Rychlost nárůstu teploty - obvykle je rychlost teplotního nárůstu představována hodnotou zvýšení teploty za první hodinu oxidační reakce [4-6]; v poslední době se ale v Austrálii a na Novém Zélandu [15-17] upřednostňuje vyhodnocování tzv. ukazatele R-70, což představuje rychlost nárůstu teploty v intervalu 40-70 °C.
2. Maximální vzestup teploty či průměrná rychlost teplotního vzestupu do této maximální teploty nebo za zvolený časový interval [4,12,13,23,24].
3. Doba potřebná k dosažení teploty „zvratu“, tj. teploty, kdy pozvolný teplotní nárůst přechází v „nekontrolovatelný“

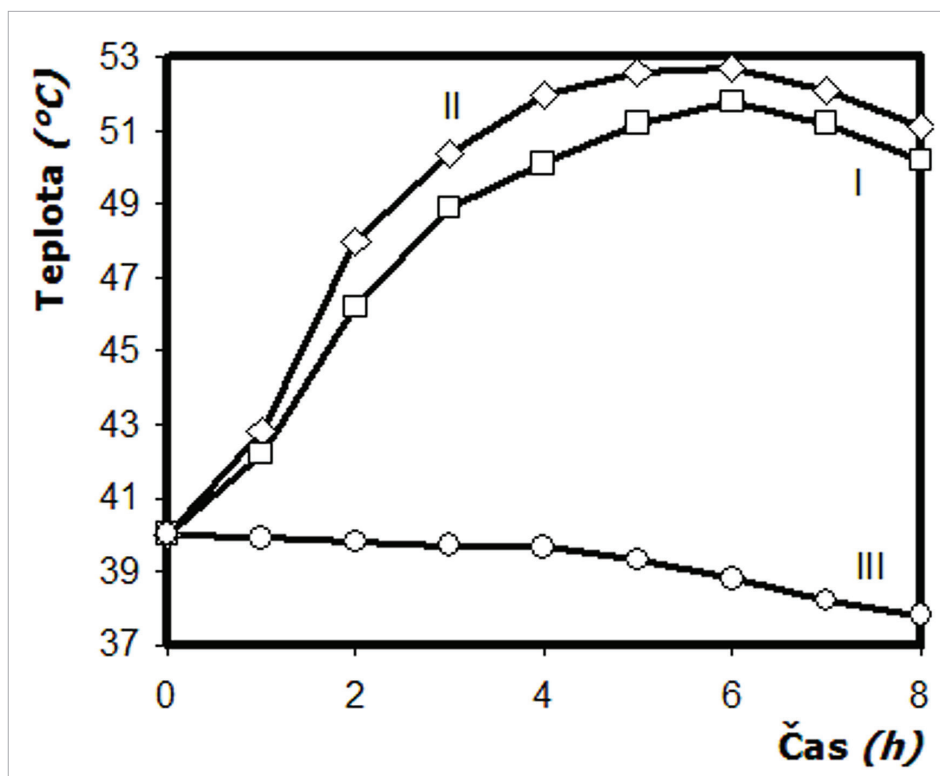
vzrůst (exaktněji řečeno - když hodnota druhé derivace závislosti teplota vs. čas je rovna nule) [18,19,20].

4. Minimální samovzněcovací teplota (minimum *self-heating temperature*), jež odpovídá nejnižší počáteční teplotě zkoušky, v jejímž průběhu je poprvé dosažena teplota zvratu [11].

Metoda adiabatické oxidace je považována za bezprostřední způsob experimentální simulace průběhu samovzněcování uhlí za podmínek, které nastávají in situ. V této okolnosti spočívá objektivně její výhoda před ostatními užívanými postupy. Její nevýhodou však je nutnost pečlivé, často zdoluhavé a někdy i diskutabilní přípravy vzorků pro měření. Tím je míněna zejména úprava uhlí z hlediska obsahu jeho vlhkosti. Nekontrolovaná změna obsahu vlhkosti v průběhu měření totiž může především u hnědých uhlí výsledek zkoušky zcela zkreslit, jak dokládá i obrázek č. 1 převzatý z literatury [4].

2.2 Metoda pulzní kalorimetrie

Metoda pulzní kalorimetrie byla vyvinuta počátkem osmdesátých let v (nynějším) Ústavu geoniky AV ČR v Ostravě-Porubě [25-27]. Její princip spočívá v nadávkování známého objemu kyslíku do průtoku inertního plynu a ve sledování tepelných projevů vyvolaných průchodem této dávky skrze daný vzorek. Metoda umožňuje přímé změření oxidačního tepla q^{30} uvolněného chemickou reakcí kyslíku s uhlím při teplotě 30 °C



Obr. 1: Průběhy závislosti teplota vs. čas při metodě adiabatické oxidace realizované při různých kombinacích obsahu vlhkosti uhlí a procházejícího vzduchu (převzato z literatury [4]).

Vysvětlivky:

- I – uhlí s původním obsahem vlhkosti + vlhčený vzduch; II – vysušené uhlí + vlhčený vzduch; III – vysušené uhlí + suchý vzduch

po dobu 30 minut. Hodnota q^{30} se tak pokládá za objektivní ukazatel pro posouzení samovzněcovací predispozice daného uhlí [25].

Metoda pulzní kalorimetrie není rozšířenou technikou hodnocení predispozice uhlí k samovznícení jako výše uvedená adiabatická oxidace. Přesto existuje několik důvodů, které vy-povídají dokonce ve prospěch metody pulzní kalorimetrie:

- Získaný údaj oxidačního tepla q^{30} principiálně koresponduje s hodnotou rychlosti počátečního nárůstu teploty ΔT_o , jak je získávána metodou adiabatické oxidace. Z tohoto pohledu se jedná o metody de facto ekvivalentní, které jsou formálně zařazovány i do stejné kategorie hodnotících postupů [7].
- Princip pulzní kalorimetrie dovoluje od tepla chemické reakce kyslíku s uhlím q^{30} spolehlivě „odfiltrvat“ hodnotu tepla fyzikální adsorpce kyslíku, které zejména v počátku oxidační reakce může výsledek zkoušky zkreslit [27].
- Především ale technika pulzní kalorimetrie umožňuje věrohodně odlišit teplo vyvinuté při oxidaci uhlí od tepelných projevů vyvolaných fázovými přechody vody a vlhkosti [32]. Ukazatel q^{30} tak představuje oxidační teplo neovlivněné teplem kondenzace či odpařováním vody, jak se může stávat u adiabatické zkoušky [4,7,28,29], viz obrázek č. 1.

Na základě změřené hodnoty oxidačního tepla q^{30} sledovaného vzorku se pak uhlí zařadí do jedné ze tří kategorií predispozice k samovzněcování (vysoce reaktivní uhlí – reaktivní uhlí – nereaktivní uhlí) [25]. V současnosti je metoda pulzní kalorimetrie využívána jako standardní postup hodnocení oxireaktivity uhlí v OKR.

2.3 Olpinského metoda

Metoda, dnes nazývaná podle svého autora, byla vyvinuta v Polsku na přelomu čtyřicátých a padesátých let [32]. Pro svoji operativnost a dobrou reprodukovatelnost našla poměrně široké uplatnění a kromě Polska se provozuje také v Indii [1,8,31]. V naší republice se Olpinského metoda původně stala dokonce normovaným postupem [24].

Princip metody spočívá v měření rychlosti vzestupu teploty uhelného vzorku slisovaného do briketky přesně definovaných rozměrů. Teplota je měřena pomocí termočlánku v reakčním prostoru. Tam protéká vzduch ohříváný zvnějšku parami vroucí kapaliny (pro uhlí hnědá se používá ethylester kyseliny benzoové (bod varu 212 °C) [24].

Jako ukazatel samovzněcovacích schopností sledovaného uhlí je z experimentální křivky „teplota vs. čas“ vyhodnocena rychlost vzrůstu teploty v tzv. adiabatickém (Olpinského) bodě (212 °C), kde se právě vyrovnává teplota uhlí s teplotou procházejícího vzduchu. Podle výsledku zkoušky se uhlí zařadí do jedné ze tří příslušných kategorií náchylnosti k oxidaci [24].

Skutečnost, že Olpinského metoda hodnotí oxidační chování uhlí při teplotách až nad 200 °C, vyvolává principiální otázku, do jaké míry lze získaný výsledek zkoušky ztotožňovat s náchylností uhlí k oxidačním reakcím za podmínek vznikajícího záparu. Z tohoto pohledu stojí Olpinského metoda evidentně

poněkud mimo aplikační prostor ostatních zkoušek a bezprostřední konfrontace vzájemných výsledků je přinejmenším diskutabilní.

2.4 Metoda CPT (Crossing- Point Temperature), metody termické analýzy

Název metody CPT je ponechán v původním anglickém pojmenování, které se bezpřekladově používá i v českých pramenech [32].

Metoda CPT našla široké uplatnění především v Indii [1,8,33], praktikována byla v Kanadě [12], její výsledky se využívají ve Velké Británii [5] a nedávno byla odzkoušena i v naší republice [32].

Princip metody CPT spočívá ve sledování teploty vzorku uhlí umístěného v topné peci s lineárním nárůstem teploty. Skrze uhlí přitom proudí vzduch nebo kyslík předehříváný na aktuální teplotu topné pícky. Jako parametr náchylnosti sledovaného uhlí k samovznícení se vyhodnocuje tzv. „crossing point“ teplota (CPT), která je odečtena z experimentální závislosti teplota uhlí vs. teplota pece a jež odpovídá stavu, kdy se teplota uhlí právě vyrovná s teplotou pece. Dosažené hodnoty CPT se nacházejí obvykle v rozmezí od 120 do 190 °C [8], přičemž s rostoucími hodnotami CPT náchylnost uhlí k oxidaci klesá. Nevýhodou postupu CPT je ryze individuální charakter získaných ukazatelů, což souvisí s variabilitou konstrukčních detailů zařízení vyvinutých na různých pracovištích. Získané výsledky jsou tedy jen obtížně vzájemně srovnatelné s obdobnými údaji naměřenými v jiných laboratořích. Banerjee [8] také upozorňuje na zkreslení výsledků pro uhlí s vyšším obsahem vody.

Do stejné kategorie metod hodnocení oxireaktivity uhlí jako CPT lze zařadit i postupy využívající termoanalytické (TA) postupy, tj. diferenční termickou analýzu (DTA), termogravimetrii (TG) či diferenčně skenovací kalorimetrii (DSC). Termická analýza se v současnosti stává frekventovanou metodou ke sledování chování látek v dané atmosféře při zvoleném teplotním režimu. Celkem přirozené se tedy objevuje i řada prací, které se snaží hodnotit uhlí právě z pohledu jeho predispozice k samovzněcovacímu procesu [34-39]. Postupy termické analýzy jsou ovšem vhodné k monitorování procesů za vyšších teplot (nad 100 °C). To také zřejmě brání všeobecnému akceptování metody termické analýzy jako doporučovanému postupu pro kategorizaci uhlí z hlediska jeho samovzněcovací náchylnosti, kdy je rozhodující chování uhlí za běžných, nezvýšených teplot.

3 Význam vnějších, geologicko-technologických faktorů

Jak bylo již zdůrazněno v úvodu příspěvku, na formování výsledné míry nebezpečí vzniku samovzněcovacího procesu in situ se podílejí kromě predispozice (oxireaktivity) uhlí také vnější, geologicko-technologické faktory. Postihnutí těchto vnějších aspektů vyžaduje hodnocení podmínek in situ, což se (v porovnání s výše uvedenými měřeními náchylnosti uhlí k samovznícení) kvantifikuje daleko obtížněji. Hodnocení vnějších aspektů si tak i v současnosti uchovává značně subjektivní charakter. Celou situaci navíc komplikuje i nejistota, které z možných faktorů in situ, je do takového hodnocení vlastně nutno zahrnout.

Nahlížíme-li na samovzněcovací proces (obecně) jako na chemickou reakci mezi kyslíkem a uhlím, pak je evidentní, že na-

pomáhat vzniku záparového procesu mohou jen ty faktory, které v podmínkách in situ:

- Umožňují interakci vzdušného kyslíku s uhlím (množství uhlí v daném místě, podmínky přístupu kyslíku k uhlí v soustavě, ...);
- Akcelerují rychlost oxidační reakce (teplota resp. teplotní výkyvy v dané soustavě, ...);
- Přispívají k akumulaci generovaného reakčního tepla (geometrie soustavy, orientace soustavy vůči proudícímu vzduchu, ...).

Konkrétní výběr hodnocených faktorů pak respektuje především osobní přístup autorů. Pro hodnocení vnějších podmínek v podzemních uhelných dolech například Banerjee [40] identifikoval 22 různých parametrů, zatímco kanadské hodnocení [41] zohledňuje jen 3 faktory (ztrátu uhlí, porušenost masivu a depresi větrního proudu v dané lokalitě). Za netradiční pak lze pokládat systém hodnocení technicko-provozních faktorů používaný v OKR pro stěnové poruby, tzv. kritérium „MF35“ [42], které hodnotí vnější faktory ke vzniku záparu postupně v přípravné, těžební a likvidační fázi poruby. Konkrétnější metodiku, jak diferencovat a kvantifikovat vnější faktory pro případ záparů na uhelných deponiích a skládkách, se ovšem v dostupné literatuře dohledat nepodařilo.

V této souvislosti se nabízí možnost původního návrhu hodnocení vnějších faktorů pro nebezpečí vzniku záparového procesu na hnědouhelných skládkách právě v rámci řešení projektu TA ČR č. TA01020351.

Poděkování

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

Literatura

- [1] BANERJEE, S.C.: *Prevention and Combating Mine Fires*, A.A.Balkema, Rotterdam 2000, ISBN 9058092127.
- [2] MORRIS, R., ATKINSON, T.: *Seam factor and the spontaneous heating of coal*, Mining Science and Technology 7 (1988) s. 149.
- [3] GUNNEY, M.: *Oxidation and Spontaneous Combustion of Coal – Review of Individual Factors*, Colliery Guardian 26 (1968) s. 105.
- [4] SINGH, R.N.A.: *Practical system of classifying coal seams liable to spontaneous combustion*, Journal of Coal Quality, July (1986) s. 108.
- [5] DENBY, B., REN, T.X.: *A knowledge-based decision support system for spontaneous combustion control*, The Mining Engineer, March (1992) s. 253.
- [6] REN, T.X., RICHARDS, M.J.: *A computerised system for the study of the spontaneous combustion of coal*, The Mining Engineer, November (1994) s. 121.
- [7] DOBAL, V., VALEŠKA, F.: *Výběr metod pro stanovení aktivity hnědých uhlí ke kyslíku*, Výzk. zpráva, ÚGG ČSAV, Praha, 1982.
- [8] BANERJEE, S.C.: *Spontaneous Combustion of Coal and Mine Fires*, Oxford & IBH Publishing Co., 1985, ISBN 81-204-0046-1.
- [9] ZHOU, F.B., WANG, D.M.: *Directory of recent testing methods for the propensity of coal to spontaneous combustion*, Journal of Fire Sciences 22 (2004) s. 91-96.
- [10] MONI, V. a kol.: *Výzkum možností predikce vzniku záparů a následného samovznícení hnědouhelných paliv* (Rešeršní studie dosavadních poznatků a zkušeností), VUHU Most, 2011.
- [11] SMITH, A.C., LAZZARA, C.P.: *Spontaneous Combustion Studies of U.S. Coals*, BuMines R.I. 9079, 1987.
- [12] OGUNSOLA, O.I., MIKULA, R.J.: *Effect of thermal upgrading on spontaneous combustion characteristics of western Canadian low rank coals*, Fuel 71 (1992) s. 3.
- [13] STOTT, J.B., HARRIS, B.J., HANSEN, P.J.: *A full-scale laboratory test for the spontaneous heating of coal*, Fuel 66 (1987) s. 1012.
- [14] ZARROUK, S.J., O'SULLIVAN, M.J., ST GEORGE, J.D.: *Modelling the spontaneous combustion of coal: the adiabatic testing procedure*, Combustion Theory and Modelling 10 (2006) s. 907-926.
- [15] BEAMISH, B.B., BLAZAK, D.G.: *Relationship between ash content and R-70 self-heating rate of Callide Coal*, International Journal of Coal Geology 64 (2005) s. 126-132.
- [16] BEAMISH, B.B., HAMILTON, G.R.: *Effect of moisture content on the R-70 self-heating rate of Callide coal*, International Journal of Coal Geology 64 (2005) s. 133-138.
- [17] BEAMISH, B.B., GEORGE, J.D.S., BARAKAT, M.A.: *Kinetic parameters associated with self-heating of New Zealand coals under adiabatic conditions*, Mineralogical Magazine 67 (2003) s. 665-670.
- [18] GOUWS, M.J., GIBBON, G.J., WADE, L., PHILLIPS, H.R.: *An adiabatic apparatus to establish the spontaneous combustion propensity of coal*, Mining Science and Technology 13 (1991) s. 417.
- [19] PREGERMAIN, S., Publ. Techn., č. 2, 1976, s. 105.
- [20] CHALTURIN, A.I., MOISEJEVA, K.E., Izv.AN-Kazach. SSR, Ser. Chim. 10, 1956, s. 81.
- [21] CYGANKIEWICZ, J.: *Badanie skłonności polskich węgli do samozapalenia metoda testu adiabatycznego*, in Sb. Větrání a bezpečnost dolů, str.22, VŠB-TU Ostrava, říjen 2000.
- [22] LIČKO, E.: *Klasifikácia vrstiev uholného sloja na samovznietenie v JV oblasti HUB*, Zpráva BVU, Prievidza 1974.
- [23] Instrukce VVUÚ č. 100/95, „Metodiky stanovení náchylnosti hmot k samovznícení“, VVUÚ, a.s., Ostrava-Radvanice, únor 1995.

- [24] ČSN 44 1397: Stanovení reaktivity hnědého uhlí ke kyslíku, schválena 29. 9. 1986.
- [25] TARABA, B.: *Nízkoteplotní oxidace a samovznícování uhelné hmoty*, Ostravská univerzita, 2003, (112 stran), ISBN 80-7042-832-5.
- [26] TARABA, B.: *Pulse flow investigation of coal oxidation*, Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitas Ostraviensis, Physica - Chemia, č. 3-4, 156 (1996) s. 37-43.
- [27] TARABA, B.: *Reversible and irreversible interaction of oxygen with coal using pulse flow calorimetry*, Fuel 69 (1990) s. 1191.
- [28] MEDEK, J.: *Připomínky k návrhu normy na stanovení sklonu uhlí k samovznícení*, Sdělení ÚGG ČSAV Praha, 1988.
- [29] ŠEBESTA, P.: *Vliv vody na reaktivitu uhlí ke kyslíku*, Výzk. zpráva, ÚGG ČSAV Praha, 1988.
- [30] OLPINSKI, W., *Prace Gig*, Komunikat 130, 1952.
- [31] KARMAKAR, N.C.: *Methods for Estimation of Spontaneous Heating Susceptibility of Coal*, Journal of Mines, Metals and Fuels, January (1989) s. 21.
- [32] ADAMUS, A.: *Hodnocení náchylnosti uhlí k samovznícení metodou CPT – Crossing Point Temperature*, in Sb. Větrání a bezpečnost dolů, s. 110, VŠB-TU Ostrava, říjen 2000.
- [33] SAHU, H.B., MAHAPATRA, S.S., PANIGRAHI, D.C.: *An empirical approach for classification of coal seams with respect to the spontaneous heating susceptibility of Indian coals*. International Journal of Coal Geology 80 (2009), s. 175-180.
- [34] MOHALIK, N.K., PANIGRAHI, D.C., SINGH, V.K.: *An Investigation to Optimise the Experimental Parameters of Differential Scanning Calorimetry Method to Predict the Susceptibility of Coal to Spontaneous Heating*. Archives of Mining Sciences (2010), s. 669-689.
- [35] MOHALIK, N.K., PANIGRAHI, D.C., SINGH, V.K.: *Application of thermal analysis techniques to assess proneness of coal to spontaneous heating*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 98, s. 507-519, 2009.
- [36] LI, X.R., KOSEKI, H., IWATA, Y.: *A Study on Spontaneous Ignition of Bituminous Coal*. Thermal Science 13, s. 105-112, 2009.
- [37] HE, Q.L.: *Study on Rule of Spontaneous Combustion of Coal in Its Oxidation Process by Thermal Analysis*. Proceedings of the International Symposium on Safety Science and Technology, SEP 24-27, Beijing, P.R CHINA, Progress in Safety Science And Technology, Vol 7, s. 1341-1345, 2008.
- [38] QILIN, H.: *Comprehensive study on the rule of spontaneous combustion of coal in its oxidation process by thermal analysis*. Proceedings of the International Conference on Mine Hazards Prevention and Control, OCT 17, Qingdao, PR. CHINA Source: Mine Hazards Prevention and Control Technology, s. 33-39, 2007.
- [39] SLOVÁK, V., TARABA, B.: *Effect of experimental conditions on parameters derived from TG-DSC measurements of low-temperature oxidation of coal*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 101 (2010), s. 641–646.
- [40] BANERJEE, S.C.: *A theoretical design to the determination of risk index of spontaneous fires in coal mines*, Journal of Mines, Metals and Fuels, August, s. 399, 1982.
- [41] FENG, K.K., CHAKRAVORTY, R.N., COCHRANE, T.S.: *Spontaneous combustion, a coal mining hazard*, CIM Bulletin 66 (1973) s. 75.
- [42] TARABA, B., VORÁČEK, V., KRÁL, V.: *Analýza případů samovznícování uhlí v dolech OKR - část I. Nový způsob hodnocení rizika vzniku procesu samovznícování uhlí ve stěnových porubech*. Uhlí, rudy, geologický průzkum. 2006, roč. 13, sv. 12, s. 28-31. ISSN 1210-7697.