

Vyhodnocení komplexních dlouhodobých měření na hnědouhelných skládkách

Ing. Vlastimil Moni, Ph.D.

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; moni@vuuh.cz

Přijato: 15. 4. 2014, recenzováno: 11. a 24. 5. 2014

Abstrakt

Předkládaný článek podává shrnující informace o řešení problematiky náchylnosti deponovaného hnědého uhlí k samovznícení a prognózování vzniku ohnisek záparů dlouhodobě skladovaných hnědouhelných paliv v rámci projektu TA01020351 programu ALFA. Postupně budou popsány výstupy a dílčí poznatky z komplexních dlouhodobých měření realizovaných na hnědouhelných skládkách producentů hnědého uhlí prováděných v letech 2011 až 2013. Článek tak svým obsahem navazuje na sérii již publikovaných článků s touto tematikou a klade si za cíl stručně sumarizovat všechny provedené úkoly a výstupy.

Evaluation of the complex long-term measurements on coal deposits

The article provides summarizing information focused on the tendency of spontaneous combustion of deposited brown coal and the forecasting of outbreaks of self-ignition in the stored coal fuels. The study was carried out in the project TA01020351 in the frame of the programme ALFA. The outputs and partial knowledge from complex long-term measurements conducted at brown coal producers in the years 2011 to 2013 are described gradually. This article ties up to the previously published papers with this topic and its aim is to briefly gather all carried out tasks and outputs.

Auswertung von komplexen Langzeitmessungen auf den Braunkohlendeponien

Der vorgelegte Artikel bietet zusammenfassende Informationen zur Lösung der Problematik der Anfälligkeit der gelagerten Braunkohle für Selbstentzündung und die Prädiktion der Entstehung von Brennpunkten der Selbstentzündung von langfristig gelagerten Braunkohlebrennstoffen im Rahmen des Projektes TA01020351 aus dem Programm ALFA. Schrittweise werden Outputs und Einzelerkenntnisse aus den komplexen Langzeitmessungen beschrieben, die an den Braunkohlendeponien der Braunkohleproduzenten in Jahren 2011 bis 2013 durchgeführt wurden. Der Artikel knüpft mit seinem Inhalt an eine Serie bereits publizierter Artikel mit dieser Thematik und setzt sich als Ziel alle vorgenommenen Aufgaben und Outputs kurz zusammenzufassen.

Klíčová slova: samovznícení uhlí, pulzní kalorimetrie, oxireaktivita, adiabatická oxidace, náchylnosti k samovznícení.

Keywords: coal self-ignition, pulse calorimetry, oxi-reactivity, adiabatic oxidation, tendency for spontaneous combustion.

1 Úvod

V komplexech těžebních podniků či odběratelů hnědouhelných paliv (elektrárny, teplárny atd.) je nutné provozovat vyrovnávací, homogenizační aj. skládky paliva, jejichž úkolem je eliminovat výkyvy dodávek jak v množství, tak v kvalitě, pro dosažení požadovaných kvalitativních parametrů podle požadavků odběratelů. V průběhu dlouhodobého skladování hnědouhelných paliv dochází často uvnitř těles takovýchto deponií ke spontánním procesům, které způsobují vznik záparů a následné samovznícení uhlí.

Norma ČSN 44 1315 „Tuhá paliva - Skladování“ stanoví způsoby skladování tuhých fosilních paliv a opatření sledující hospodárné a bezpečné skladování tuhých paliv v energetických výrobních, průmyslových závodech, uhelných skladech, uhelných, sklepech spotřebitelů. Zároveň ukládá nutnost kontroly povrchu skladovaných těles tuhých paliv, měření povrchové teploty a bodová měření vnitřní teploty. Toto měření vnitřní teploty nemá dostatečně vypovídací schopnost o distribuci teplot ve skladovaném tělese, a navíc je při vytvoření dostatečně husté sítě měřících bodů časově i finančně náročné a u velkých těles i technicky nereálné. Doporučená bodová měření povrchové teploty teploměry nejsou schopna (v reálné síti měřících bodů a v reálném čase) podat celoplošný obraz teplotního stavu skládky. Nemohou tedy s dostatečnou pravděpodobností odhalit všechny zápary nacházející se v oblasti nezvratných teplot,

nemohou dostatečně specifikovat kritické stavy, jejich teplotní projevy na povrchu a uvnitř uhelné akumulace (deponie apod.), a to zejména ve vztahu k vnitřnímu stavu tělesa, přeneseně použitelnosti této metody k prognózování vzniku záparů v podpovrchových ložiscích. Rovněž nezahrnují dosud nekvalifikované vlivy na dynamiku vývoje záparů [1].

To potvrzuje skutečnost, že i přes kontrolní měření a opatření vyžadovaná touto ČSN dochází často k předem neočekávaným vznikům záparů a požárů. Současný stav sledování tepelného stavu skladovaného tělesa neumožňuje dostatečnou identifikaci tepelného stavu skladovaného tělesa jak z hlediska prostorového, tak časového, a neumožňuje tedy ani efektivní predikci vzniku ohnisek záparů a požárů a jejich následnou včasnou likvidaci.

2 Komplexní dlouhodobá měření

V rámci druhé a třetí etapy řešení projektu bylo realizováno celkem šest komplexních dlouhodobých měření na skládkách hnědého uhlí v areálech společnosti Vršanská uhelná a.s. – Hrabák, viz obrázek č. 1, a společnosti Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s., na Terminálu uhelného meziproduktu (TUM), viz obrázek č. 2 [2,6].

- První „ověřovací“ měření na hnědouhelném tělese o objemu cca 2 000 tun v areálu Hrabák bylo realizováno ve dnech 7. 11. - 10. 12. 2011.



Obr. 1: Umístění pokusné hromady na skládkovém depu Hrabák.

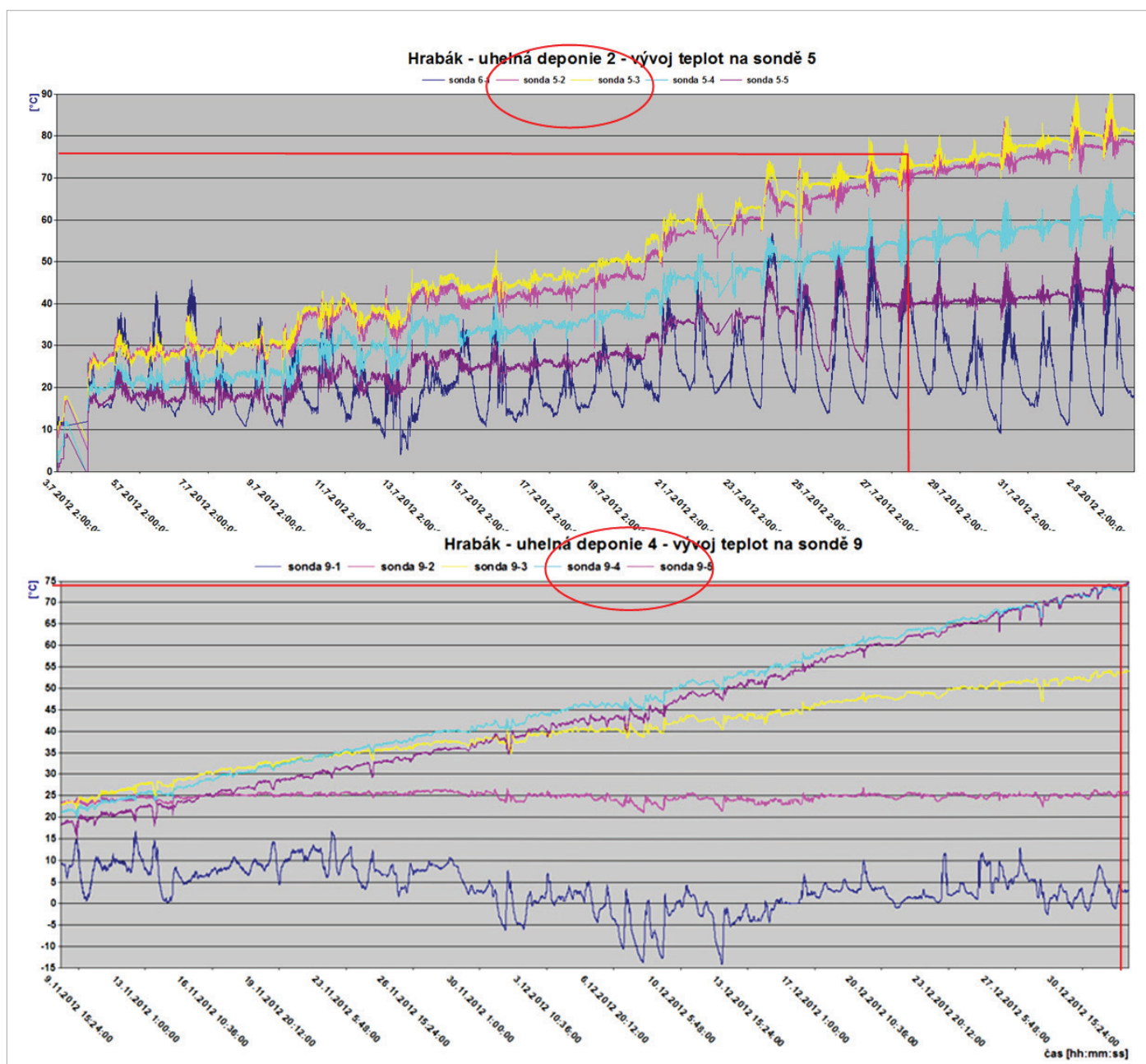


Obr. 2: Umístění pokusné hromady na TUM Sokolovské uhelné, a.s.

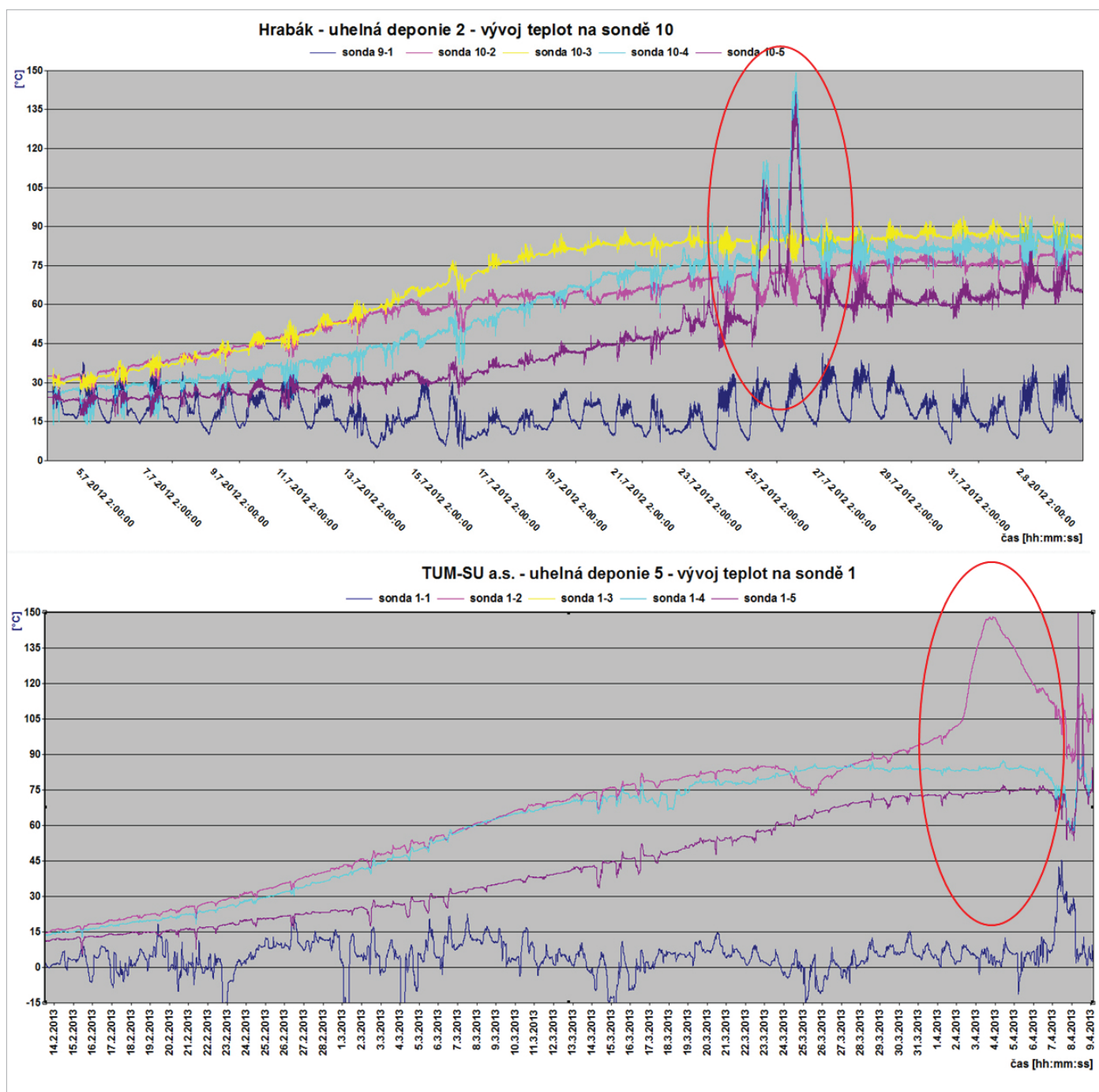
- Druhé „jarní“ komplexní dlouhodobé měření na deponii Hrabák bylo realizováno ve dnech 28. 4. - 31. 5. 2012.
- Srovnávací měření jednobodovou sondou na provozní skládce Hrabák bylo provedeno ve dnech 14. - 16. 6. 2012.
- Třetí komplexní dlouhodobé měření na „letní“ deponii o objemu 830 m³ v areálu Hrabák bylo realizováno ve dnech 26. 6. - 3. 8. 2012.
- Čtvrté komplexní dlouhodobé měření na „zimní“ deponii o objemu 506 m³ v areálu Hrabák bylo zahájeno dne 1. 11. 2012 a ukončeno 15. 1. 2013.
- Páté komplexní dlouhodobé měření na „jarní“ deponii o objemu 584 m³ na Terminálu uhelného meziprojektu v Sokolově bylo zahájeno dne 12. 2. 2013 a ukončeno 9. 4. 2013.
- Šesté komplexní dlouhodobé měření na „podzimní“ deponii na Terminálu uhelného meziprojektu v Sokolově bylo

zahájeno dne 11. 10. 2013. Toto poslední měření se navzdory původním předpokladům protáhlo až do února roku 2014.

Následně došlo k vyhodnocení rozsáhlé databáze informací o vývoji stavových veličin a složení desorbovaných plynů ve skladovaných tělesech hnědých uhlí, získané z výše uvedených dlouhodobých měření prováděných u vybraných provozovatelů při těžbě a zpracování uhlí. Dále došlo k posouzení výsledků teplotních obrazů, získaných vyhodnocením pořízených termogramů, s výsledky provozně odebraných plynových a uhelných vzorků, 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 plynové vzorky odebrané in situ a laboratorní plynové obrazy indikačních plynů



Grafy 1, 2: Porovnání naměřených teplot v létě a v zimě.



Grafy 3, 4: Ukázka lokálních anomálií teplot.

samovznícení získané metodou TEPOX s cílem nalezení korelace odhadu teploty ohniska samovznícení.

3 Posouzení získaných výsledků

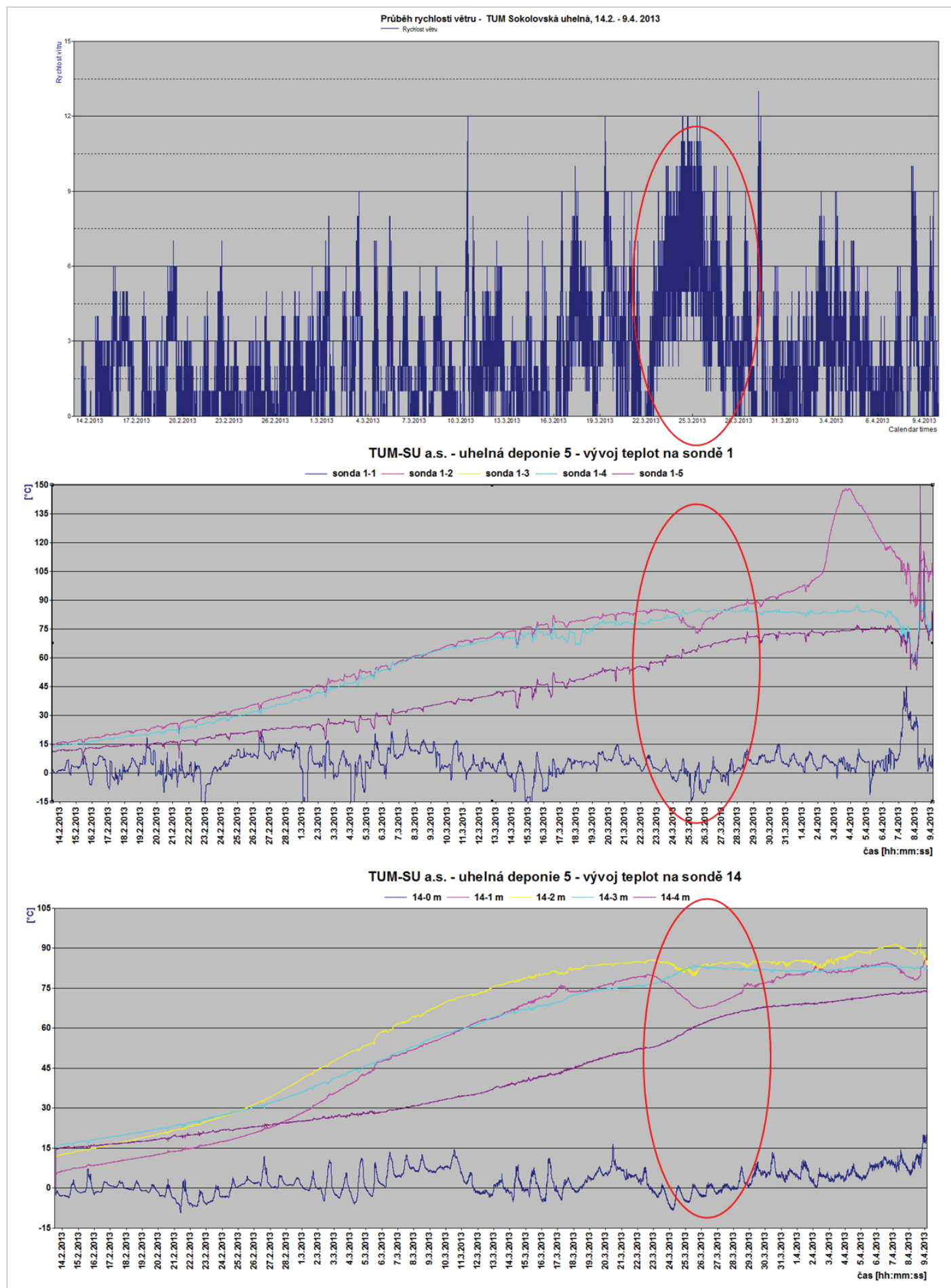
Na základě vyhodnocení značného množství dat [3,4,5,7,8,10], která byla pořízena při realizovaných polních dlouhodobých měřeních i laboratorních šetřeních na vzorcích uhlí a následně zpracována do přehledných tabulek a grafů, je možné učinit následující závěry:

Vnitřní teplota

- Nejvyšší teploty vznikají zpravidla v hloubkách 2 až 3 m od povrchu skladované hnědouhelné masy. V letním období

ve spodní hranici tohoto intervalu (pozice č. 2 a 3 počítáno od povrchu na měřicí sondě) a v zimním období naopak v horní hranici (hlouběji - pozice č. 4 a 5), viz grafy č. 1, 2.

- V těchto hloubkách (2 až 3 m) postupně, téměř lineárně, stoupají teploty až na hodnotu v intervalu 80 - 95 °C. V letním období je nárůst teploty strmější a v zimním období naopak stoupá teplota pomaleji.
- Teploty od třetího metru směrem od povrchu tělesa hnědého uhlí s přibývajícím hloubkou klesají. Tyto závěry potvrdila i speciální desetimetrová sonda instalovaná v hromadě č. 5.
- V následující fázi vývoje záparu dochází ke stagnaci teplot v hloubkách 2 až 3 m a nastává zvyšování vnitřních



Grafy 5, 6, 7: Ukázka vlivu větru.

teplot ve všech hloubkách, tzn. dochází k vyrovnání teplot v celém tělese na hodnoty: 80 - 95 °C, které doposud byly pouze v hloubkách 2 až 3 m od povrchu skladované hnědouhelné masy.

- Pokud v závěrečné části vývoje procesu zahoření (v krátkém období před vlastním samovznícením uhelné hmoty) došlo k lokálnímu dynamickému nárůstu vnitřní teploty (několikrát až 150 °C, a to v hloubkách od 2 do 4 m), ve všech zaznamenaných případech vlivem nesplnění všech základních podmínek pro vznik samovznícení uhelné hmoty během následujících 24 hodin stejně rychle poklesla vnitřní teplota zpravidla na původní hodnotu. Tato skutečnost je patrná z následujících grafů č. 3 a 4.
- K finálnímu zahoření dochází v okamžiku, kdy již došlo k vyrovnání teplot v celém tělese (nebo jeho části) hnědouhelné deponie. Hodnota této vyrovnané teploty atakuje hodnotu 100 °C.
- Ložiska samovznícení se nacházejí výhradně při patě a při povrchu skladované hnědouhelné masy, i v místech, která ještě před 24 hodinami nevykazovala žádné povrchové anomálie teplot.

Meteorologie

1. Teplota

Vliv vnější teploty na proces samovznícení byl stejně jako vliv dalších v textu popsaných měřených parametrů jednoznačně prokázán, jak z měření prováděných v různých ročních obdobích in situ, tak z laboratorních šetření oxidačního tepla vzorků hnědého uhlí. Tento vliv vnější teploty na proces samovznícování skládkovaného uhlí je možné rozdělit do dvou protichůdných vlivů:

- Jednak je to teplo z vnějšího prostředí do tělesa skladované uhelné hmoty dodávané vyššími teplotami okolního vzduchu v letních měsících a především v důsledku dodatečného ohřevu uhlí přímým slunečním svitem. Z provedených šetření vyplývá, že zvýšení teploty o cca 15 °C vede ke zdvojnásobení rychlosti oxidace hnědouhelných vzorků i zkrácení doby potřebné ke vzniku samovznícení uhelné deponie na polovinu v letních a zimních měsících. Z šetření na uhelných haldách přitom bylo zjištěno, že na sluncem ozářených místech může povrchová teplota deponované hmoty překročit úroveň 60 °C, což představuje „neoxidační“ ohřev přibližně o 30 °C oproti zastíněnému uhlí. Tím se mohou nastolit odlišné („výhodnější“) teplotní podmínky pro „nastartování“ samovznícovacího procesu v takto zateplených místech.
- Dále je to teplo, které je z tělesa vlivem přestupu tepla odevzdáváno do chladnějšího okolního prostředí především v zimních měsících a v pozdějších fázích procesu vývoje záparu. Z důvodu výměny tepla z povrchu hnědouhelného tělesa do okolního vzduchu v zimních měsících dochází k posunu místa s nejvyššími naměřenými teplotami do větších hloubek tak, jak již bylo popsáno v odstavci *Vnitřní teplota*.
- Výše popsaná skutečnost je také patrná z grafů č. 1 a 2 (červená čára), kde je patrné zkrácení doby potřebné

k ohřátí vnitřní teploty z počáteční hodnoty cca 20 °C na hodnotu cca 75 °C, v letních měsících zhruba na polovinu. V letním období došlo k nárůstu teploty na uvedenou hodnotu za méně než měsíc a v zimním období bylo zapotřebí měsíců dvou. Dále je z grafů č. 1 a 2 patrný přesun dlouhodobě nejvyšších naměřených teplot z pozic č. 2 a 3 v letních měsících do pozic č. 3 a 4 v měsících zimních.

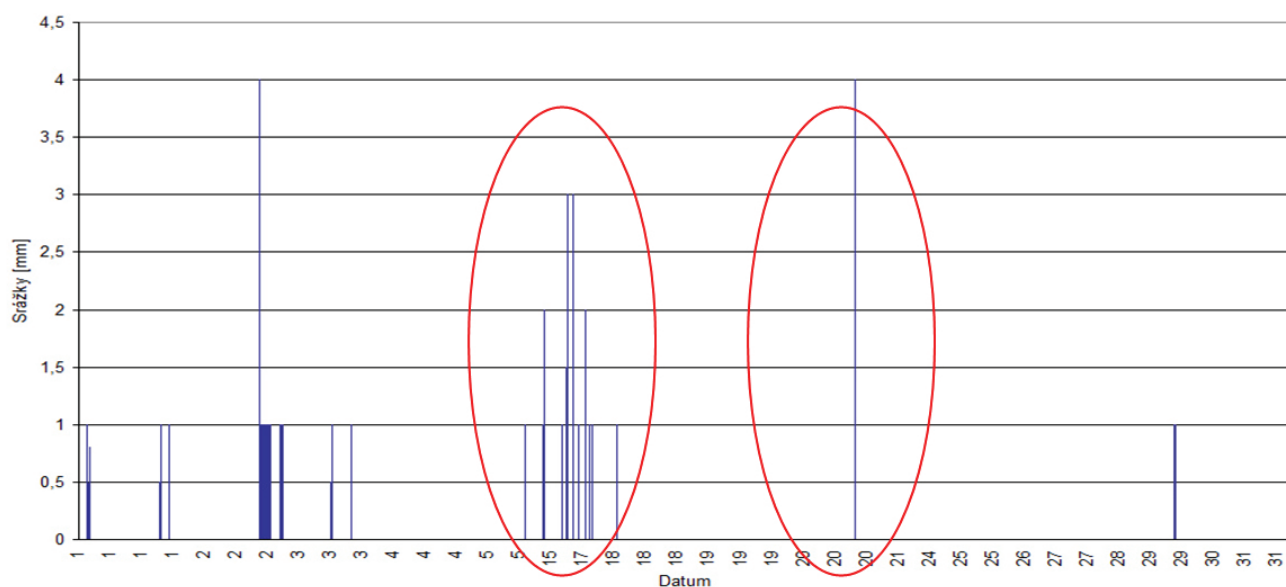
2. Vítr

Polním měřením in situ i laboratorním šetřením byl jednoznačně prokázán vliv větru jako stěžejního zdroje přísunu kyslíku potřebného pro rozvoj záparového procesu. Jedním z obecně platných poznatků o projevech procesu samovznícování uhlí na skládce je fakt, že ohnisko záparu vzniká výhradně na její návětrné straně. Zásadní roli při vzniku záparového ohniska tak sehrávají větry, které „narážejí“ na stěny skládky. Význam rychlosti a směru větrů na dynamiku projevu samovznícovacího procesu skládkovaného uhlí byl jednoznačně potvrzen i (vlastními) počítačovými simulacemi. Jeho vliv na samovznícovací proces uhlí je však komplexnější. Jako ilustrační příklad jsou uvedeny grafy č. 5, 6, 7 z pátého dlouhodobého měření. V období kolem 25. 3. došlo k nárůstu rychlosti větru směřujícího, dle záznamu z meteorologické stanice, do oblasti uhelné hromady, kde byly umístěny sondy č. 1 (měřicí ústředna EMS DV 803) a č. 14 (měřicí ústředna OM-USB-5201). Každá sonda byla napojena na samostatný nezávislý měřicí okruh. Obě sondy vykazují v sledovaném období pokles teplot v hloubce 1 metr a sonda č. 14 i v hloubce 2 metry z důvodu ochlazení prudkým chladným větrem. Naopak v hloubce 3 a 4 m sondy č. 14 již částečně ohřátý vítr způsobil dotaci kyslíku do větších hloubek a tato místa se vyznačují nárůstem teploty.

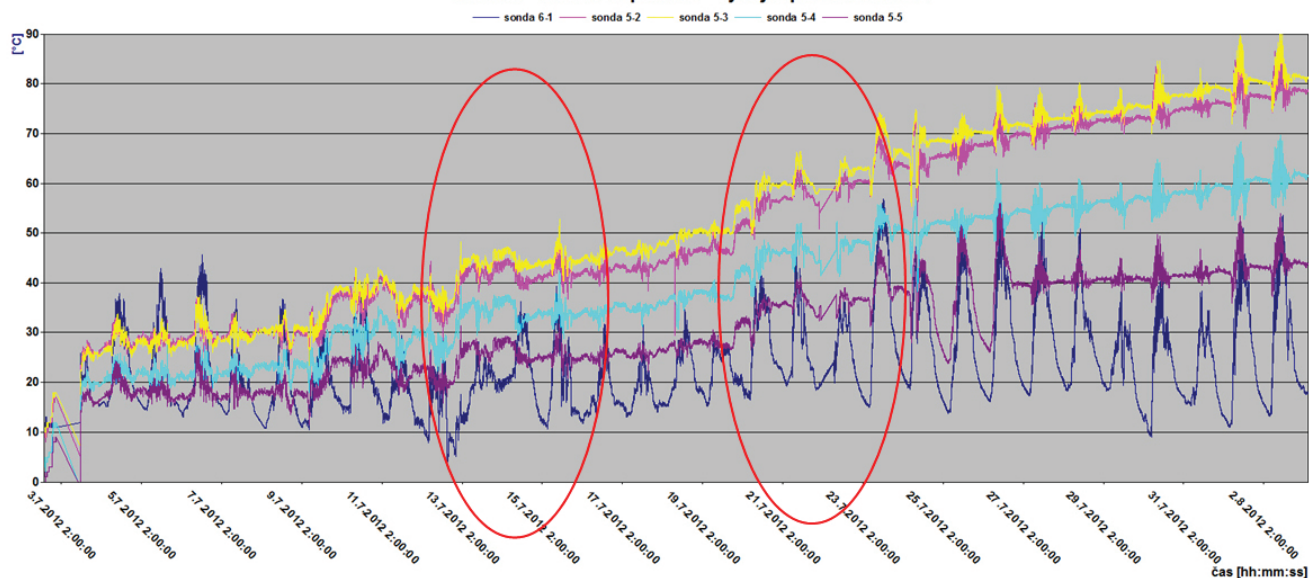
3. Vlhkost

Vlivu vlhkosti uhlí na jeho oxireaktivitu (vyjádřené prostřednictvím oxidačních tepel q_{30}) byla v rámci tohoto projektu věnována pozornost především v loňském roce, kdy byly proměřeny vzorky hnědých uhlí z dolů Centrum a ČSA. Provedená měření potvrdila zásadní vliv vlhkosti na výslednou hodnotu oxidačního tepla, přičemž tento vliv ale evidentně není „monotónní“. Zatímco snížení vlhkosti uhlí z původní hodnoty (cca 28 %) na nižší obsahy vlhkosti vede nejprve k markantnímu nárůstu oxidačního tepla, další sušení vzorků způsobuje zřejmý pokles oxidačního tepla. Pokud se tedy hovoří o samovznícování, oxidaci uhlí in situ, vlastně se tím míní systém „uhlí – kyslík – voda“, kdy výsledné chování uhlí vůči kyslíku v sobě zahrnuje rovněž informaci o možném spolupůsobení přítomné vody. Vliv vody na samovznícovací proces uhlí je však komplexnější. Značné množství tepla se totiž může uvolnit i pouhým kontaktem kapalně vody s uhelnou hmotou - bez nutné přítomnosti kyslíku. Hovoříme o smáčení uhlí vodou a v reálném prostředí uhelné skládky to vlastně odpovídá „zmoknutí“ deponovaného uhlí. Při smáčení málo prouhelných hnědých uhlí se uvolní teplo i více než 100 J/g, což (za předpokladu adiabatických podmínek) může představovat nárůst teploty soustavy o desítky °C „čistě neoxidačním způsobem“. Evidentně se tak může významně navýšit teplotní úroveň oxidujícího se uhlí a v důsledku toho lze (přirozeně) očekávat i urychlení samovznícovacího procesu „zmoklého“ uhlí. S rostoucím obsahem vlhkosti uhlí se hodnoty smáčecího tepla

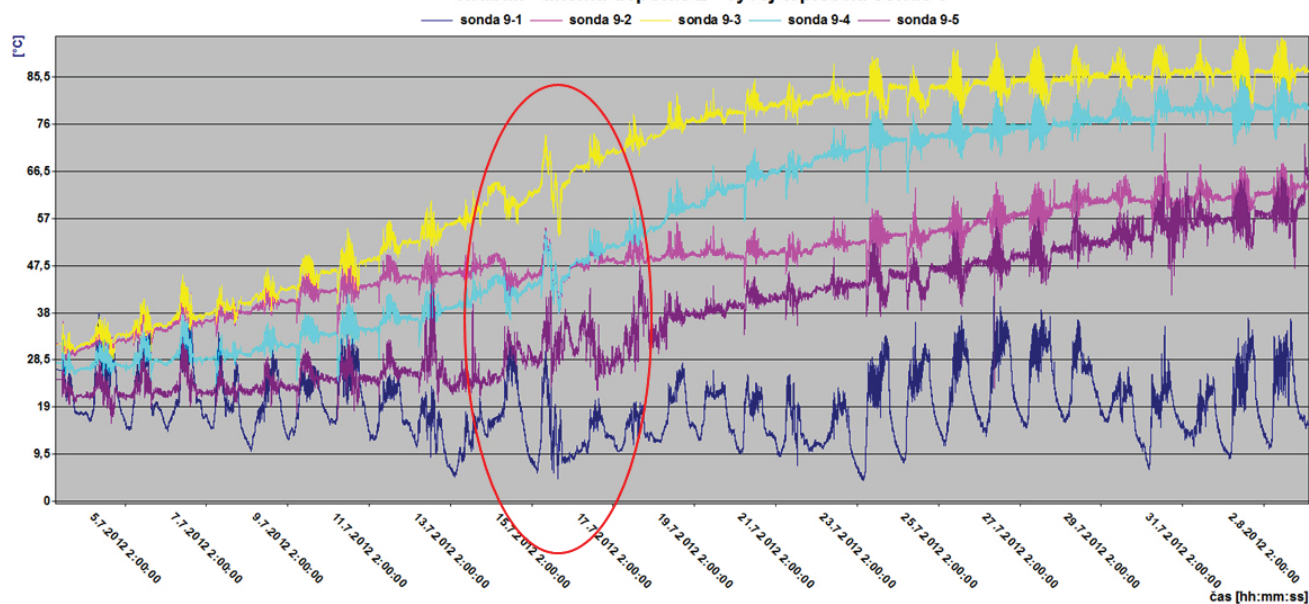
Průběh dešťových srážek; VU a.s., 1.7. - 31.7. 2012



Hrabák - uhelná deponie 2 - vývoj teplot na sondě 5



Hrabák - uhelná deponie 2 - vývoj teplot na sondě 9



Grafy 8, 9, 10: Ukázka vlivu dešťových srážek.

Tab. 1: Přehled šesti dlouhodobých komplexních měření.

Měření	Počátek	Konec	Počet dní	Počet sond pro odběr plynů a měření teplot online
1. zkušební	7. 11. 2011	10. 12. 2011	34	2
2. jarní	28. 4. 2012	31. 5. 2012	34	2
Srovnávací	14. 6. 2012	16. 6. 2012	3	2
3. letní	26. 6. 2012	3. 8. 2012	38	8
4. zimní	1. 11. 2012	15. 1. 2013	66	10
5. jarní	12. 2. 2012	9. 4. 2013	58	10
6. podzimní	11. 10. 2013	dosud	zatím 69	10

(samozřejmě) progresivně snižují. To plně odpovídá i poznatkům z praxe. Je tak zřejmé, že pro význam smáčecího tepla uhlí vodou – jakožto aspektu podporujícího rozvoj samovzněcovacího procesu – hraje stěžejní roli aktuální obsah vlhkosti uhlí při tomto smáčení a také možnost bezprostředního kontaktu deponovaného uhlí s dešťovými srážkami.

4 Závěrečná sumarizace

V rámci řešení projektu bylo doposud provedeno:

- celkem šest dlouhodobých komplexních měření, viz tabulka č. 1, která představuje celkem 302 celodenních snímání vnitřní teploty, plynových odběrů a záznam meteorologických vlivů.

V průběhu těchto šesti v tabulce uvedených komplexních dlouhodobých měření byly zaznamenávány a průběžně vyhodnocovány následující informace:

- vnitřní teplota deponie (měřicí ústředny a termovizní aparatura - VÚHU a.s.),
- vnější povrchová teplota deponie (termovizní aparatura - VÚHU a.s.),
- obsah CO_2 , O_2 , CO a dalších plynů (VŠB Ostrava),
- 12 odběrů vzorků plynu pro stanovení obsahu uhlovodíků (VŠB Ostrava),
- atmosférické podmínky - teplota, tlak, vítr, srážky, UV, sluneční svit (meteorologická stanice - VÚHU a.s.),
- vzorky deponovaného uhlí (laboratoře - VÚHU a.s.),
- vzorky deponovaného uhlí (laboratoře - VŠB Ostrava).

Na základě vyhodnocení značného množství pořízených dat (např. jen vnitřní teploty zahrnují téměř 3,5 miliardy hodnot z celkem 170 měřicích míst), která byla získána během realizovaných polních dlouhodobých měření i laboratorních šetření na vzorcích uhlí a následně zpracována do přehledných tabulek a grafů, je možné učinit dílčí závěry, jež jsou spolu s jednotlivými výsledky měření teplot a plynů součástí samostatných výstupů (zprávy, studie, databáze, katalogy atd.).

- Dvě certifikované metodiky
 - Metodika měření teplot hnědouhelné deponie.
 - Metodika měření obsahu indikačních plynů samovzněcovacího procesu v endogenních vzdušínách uhelných skládkových těles.

Certifikovaná metodika se skládá z:

- vlastní metodiky,
- certifikátu o posouzení shody vydaného akreditovanou zkušebnou,

- stanoviska k oprávněnosti používání předkládané metodiky vydané státním úřadem, pod jehož kompetenci provozování uhelných skládek patří, tzn. obvodním báňským úřadem.

- Návrh „Matematického modelu vývoje teplotního pole deponie s určením faktorů ovlivňujících procesy samovznícení“.
- Návrh „Hodnocení samovzněcovacího procesu hnědého uhlí na skládkách“ (kriterium MHU).
- Příprava podkladů k podání žádosti o přidělení právní ochrany na měřicí a odběrové sondy.
- Prezentace výsledků realizovaná formou přednášek, příspěvků na konferencích, článků v odborných časopisech a pořádáním seminářů s potenciálními uživateli předpokládaných výsledků a výstupů projektu, např. seminář 19. 10. 2013 pořádaný VÚHU a.s., jehož se účastnilo 135 účastníků.

Poděkování

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

Literatura

- [1] MONI, V. a kol.: *Výzkum možností predikce vzniku záparů a následného samovznícení hnědouhelných paliv* (Rešeršní studie dosavadních poznatků a zkušeností), VÚHU Most, 2011.
- [2] HELEBRANT, F., MONI, V., HUDECZEK, M., URBAN, P.: *Technická diagnostika a spolehlivost – V. Termografie*. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. vydání, 72 s., ISBN 978-80-248-1942-6
- [3] ADAMUS, A.: *Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2012*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012, 63 str.
- [4] TARABA, B.: *Nízkoteplotní oxidace a samovzněcování uhelné hmoty*, Ostravská univerzita, 2003, 112 str., ISBN 80-7042-832-5
- [5] TARABA, B.: *Reversible and irreversible interaction of oxygen with coal using pulse flowcalorimetry*, Fuel 69 (1990), s. 1191.

- [6] MONI, V.: *Problematiky zvyšování bezpečnosti při provozování hnědouhelných skládek*. DIAGO 2013, 32. mezinárodní konference, Technická diagnostika Z1/2013, ročník XXII, ISSN 1210-311X.
- [7] TARABA, B., MONI, V., ZÍMA R.: *Calorimetric study of basic parameters affecting oxidation of brown coal*. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013, Conference Centre Flamengo Grand Albena, Bulharsko, s. 273 – 280 -Volume I, ISSN 1314-2704.
- [8] MONI, V., TARABA, B.: *Laboratorní šetření významu základních parametrů ovlivňujících oxidaci hnědého uhlí*. Zpravodaj Hnědé uhlí 2/2013, VÚHU, a.s. Most, s. 17 - 24, ISSN 1213-1660.
- [9] MONI, V.: *Dlouhodobá komplexní měření na hnědouhelné skládce*. Zpravodaj Hnědé uhlí 3/2013, VÚHU, a.s. Most, s. 10 - 15, ISSN 1213-1660.
- [10] MONI, V., P. KLOUDA: *Complex long time measurements carried out on lignite heap on Sokolovské uhelné a.s.* In Systemy wspomagania w zarzadzaniu srodowiskiem 9/2013, ISSN 2299-0461, 2(10)2013, Polsko.