

Česká zemědělská univerzita

Fakulta životního prostředí



Využití uhelných hald jako alternativních zdrojů tepla a jejich ekologický dopad

Disertační práce

Obor: Aplikovaná a krajinná ekologie

Autor: Ing. Šárka KALUŽNIČINOVÁ
Školitel: doc. RNDr. Vladislav CHRASTNÝ, Ph.D.
Konzultant: Dr. Manfred W. WUTTKE

Praha 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracovala samostatně s využitím literárních pramenů a zdrojů, uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze, dne.....

Podpis:.....

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému školiteli doc. Vladislavu Chrastnému za vedení, podněty a konzultace k disertační práci a vědeckému článku. Dále děkuji svému příteli Jiřímu Reslerovi za podporu, pochopení, trpělivost a pomoc s realizací výzkumu, který byl někdy náročný. Mé velké poděkování patří určitě celé mé rodině a přátelům za neustálou podporu během celého studia i v životě.

V závěru bych ráda poděkovala panu Adamcovi, Z., Votočkovi, J. a panu Festovi z firmy Gemec-Union, a.s. za umožnění přístupu a měření na výzkumných lokalitách. Dále panu Stolinovi, P. (Báňská záchranná služba) za umožnění prohlídky a sdělení důležitých informací k lokalitě Markoušovice (odval dolu Ignác).

V neposlední řadě děkuji mému konzultantovi Dr. Manfredu W. Wuttkemmu (Leibniz Institute for Applied Geophysics), za stěžejní, klíčové indicie k vytvoření modelu vývoje teplotního pole.

SOUHRN

Cílem této práce bylo zjistit (i) termickou aktivitu uhelných hald (odvalů) v České republice ve Vnitrosudetské pánvi a to povrchovým a podpovrchovým měřením teploty, (ii) poté pomocí matematického modelu provést prognózu vývoje teplotního pole, resp. zhodnotit objem potenciálně využitelné energie pro energetické účely a možnou dobu využívání odvalu – termicky nejatraktivnější lokalitu.

S měřením teploty současně probíhalo měření koncentrace CO₂, jakožto významného skleníkového plynu a indikátoru vzrůstu teploty v odvalu (procesu samovznícení). Naměřená data prokázala termickou aktivitu na dvou ze čtyř odvalů. Nejvyšší naměřené teploty na energeticky (termicky) nejperspektivnější lokalitě (k.ú. Žaclěř – odval Eliška) měřené v pravidelné síti po 10 m dosahovaly v hloubce 50 cm pod povrchem 64,2 °C při povrchové teplotě 25,3 °C a teplotě okolního vzduchu 11 °C. Kontrolní čtverec pro tuto lokalitu potvrdil zvýšenou lokální termickou aktivitu, kdy nejvyšší lokální podpovrchová teplota činila 70,4 °C při stejných teplotách.

Z modelu jsme vypočetli, že teplota uvnitř haldy by nepoklesla pod 20 °C po dobu minimálně 20 let, což představuje značný energetický potenciál, který lze vhodnou technologií využít.

Klíčová slova: uhelná halda (odval), černé uhlí, termická aktivita, termický monitoring

SUMMARY

The aim of this study was to determine (i) the thermal activity of coal heaps in the Czech Republic in the Intrasudetic Basin by both the surface and subsurface measurements of temperature, (ii) then, by means of a mathematical model to evaluate the amount of exploitable energy and the possible life-span for utilising the heap – thermally the most attractive locations.

The temperature measurement is carried out at the same time measuring the concentration of CO₂ as a significant greenhouse gas and an indicator of the temperature increase in the heap (a process of self-ignition).

Measured data showed thermal activity at two of the four heaps. The highest temperatures found in the (thermally) most promising site for potential energy production (the Eliška coal heap in the Žacléř region) reached 64,2 °C at a depth of 50 cm below the surface, where the surface temperature was 25,3 °C and ambient air temperature was 11 °C. On this site, the highest subsurface temperature reached 70,4 °C in the control quadrat.

From the model we calculated that the temperature inside the heap should not fall below 20 °C for at least 20 years, which represents a significant energy potential that can utilize appropriate technology.

Key words: coal heap, black coal, thermal activity, thermal monitoring

OBSAH

1 ÚVOD	10
2 CÍLE A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE.....	12
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	14
3.1 Historie dobývání černého uhlí ve Východočeské uhelné pánvi	15
3.2 Klasifikace kaustobiolitů	17
3.2.1 Definice a geneze uhlí.....	18
3.2.2 Rašelina.....	19
3.2.3 Sapropel.....	20
3.2.4 Liptobiolity.....	20
3.2.5 Stáří uhelných sedimentů a prouhelnění.....	20
3.2.6 Klasifikace uhlí	21
3.2.7 Fyzikální, chemické a technologické vlastnosti uhlí.....	25
3.3 Vznik, složení a dělení hald	27
3.4 Procesy probíhající v haldách a na haldách	31
3.4.1 Proces samovznícení.....	35
3.4.1.1 Indikátory samovznícení	40
3.4.1.2 Měření a monitoring termické aktivity	41
3.4.1.3 Detekce a indikace plynů v procesu samovznícení	44
3.5 Inventarizace uhelných hald v ČR	48
3.5.1 Haldy v Kladensko-rakovnické pánvi.....	48
3.5.2 Haldy v Ostravsko-karvinské pánvi	49
3.5.3 Haldy v Severočeské pánvi.....	50
3.5.4 Haldy v Rosicko-oslavanské pánvi.....	51
3.5.5 Haldy v Žacléřsko-svatoňovické pánvi	51
3.6 Termická aktivita a monitoring hald v ČR.....	52
3.6.1 Termická aktivita a monitoring haldy Ema v Ostravě	52
3.6.1.1 Základní informace.....	52
3.6.1.2 Charakteristika přírodních poměrů.....	52
3.6.1.3 Historie vzniku odvalu	53
3.6.1.4 Sanace odvalu	53
3.6.1.5 Termický monitoring.....	54
3.6.2 Termická aktivita a monitoring odvalu Krimich v Tlučné u Plzně	54
3.6.2.1 Základní informace.....	54
3.6.2.2 Charakteristika přírodních poměrů.....	55
3.6.2.3 Historie vzniku odvalu	55
3.6.2.4 Sanace odvalu	55
3.6.2.5 Termický monitoring.....	55
3.6.2.6 Způsob technologie pro jímání tepla	56
3.6.2.7 Využití technologie jímání tepla pro skleníky	57
3.6.2.8 Výsledky termického monitoringu	57
3.6.3 Termická aktivita a monitoring haldy Hedvika v Ostravě	58
3.6.3.1 Základní informace.....	58
3.6.3.2 Charakteristika přírodních poměrů.....	58
3.6.3.3 Historie vzniku odvalu	58
3.6.3.4 Sanace odvalu	59
3.6.3.5 Termický monitoring.....	59
3.6.3.6 Způsob a technologie pro jímání tepla	59
3.6.3.7 Možnosti jímání tepla z míst s intenzivní termickou aktivitou.....	60

3.6.3.8 Výsledky termického monitoringu	61
3.6.4 Termická aktivita a monitoring haldy Heřmanice v Ostravě.....	62
3.6.4.1 Základní informace.....	62
3.6.4.2 Charakteristika přírodních poměrů.....	62
3.6.4.3 Historie vzniku odvalu	62
3.6.4.4 Sanace odvalu	63
3.6.4.5 Výzkum termických procesů	63
3.6.5 Termický monitoring a sanace odvalu dolu Kateřina (Radvanice v Čechách).....	65
3.6.5.1 Základní informace.....	65
3.6.5.2 Charakteristika přírodních poměrů.....	65
3.6.5.3 Historie vzniku odvalu	65
3.6.5.4 Termická aktivita a sanace odvalu	65
3.6.6 Termický monitoring a sanace odvalu dolu Schöller v Němcích.....	66
3.6.6.1 Základní informace.....	66
3.6.6.2 Historie vzniku odvalu	66
3.6.6.3 Termická aktivita a sanace odvalu	67
3.7 Negativní vlivy samovznícení uhlí a termické aktivity uhelných hald ve světě	68
3.8 Uhelné požáry	71
3.8.1 Vznik a likvidace uhelných požárů	73
3.9 Monitoring odvalu v údolí Bjørndalen – Svalbard	75
3.9.1 Základní informace	75
3.9.2 Charakteristika přírodních poměrů.....	75
3.9.3 Historie vzniku odvalu.....	76
3.9.4 Měření a monitoring odvalu	76
3.9.5 Výsledky měření	76
3.10 Geotermální využití a monitoring odvalu v Porúří	77
3.10.1 Základní informace	77
3.10.2 Historie vzniku odvalu.....	77
3.10.3 Měření a monitoring odvalu	78
3.10.4 Výsledky měření a geotermálního využití.....	78
3.11 Využití matematického modelování pro simulaci tepla uvnitř odvalu	79
3.12 Nakládání s haldami v Porúří.....	82
4 METODIKA.....	86
4.1 Stanovení hypotézy	86
4.2 Oblast výzkumu	86
4.3 Popis monitorovaných lokalit.....	86
4.4 Termický monitoring a atmoscreening	87
4.5 Měření teploty	88
4.6 Matematické modelování teplotního pole.....	90
4.6.1 Matematický model.....	90
4.6.2 Konceptuální model.....	91
4.6.3 Matematický model odvalu Eliška	91
4.6.3.1 Okrajové podmínky.....	93
4.6.3.2 Parametry prostředí.....	93
4.7 Statistika	94
5 VÝSLEDKY	95
5.1 Výsledky matematického modelu	95

5.1.1 Stacionární simulace	95
5.1.2 Transientní simulace	95
5.2 Výsledky měření	96
6 DISKUSE	98
7 ZÁVĚR.....	101
8 POUŽITÁ LITERATURA	102
9 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	116
10 SEZNAM FOTODOKUMENTACE.....	117
11 SEZNAM TABULEK.....	118
12 SEZNAM GRAFŮ	119
13 PŘÍLOHY.....	120
14 PUBLIKACE	137

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BRSC - Beijing Remote Sensing Corporation

BTEX - Sum of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes

ČSÚ - Český statistický úřad

DOC - Dissolved organic carbon

DPZ - Dálkový průzkum země

FID - Flame Ionization detektor

HBZS - Hlavní báňská záchranná stanice

NEL - Non-polar extractable substances

OKD - Ostravsko – karvinské doly

OKR - Ostravsko – karvinský revír

PAU - Polyaromatic hydrocarbons

PCB - Polychlorinated biphenyls

SAR - Synthetic aperture radar

TUV - Teplá užitková voda

UAV - Unmanned Aerial Vehicle

VOC - Volatile organic compound

VŠB - Vysoká škola báňská

VVUÚ - Vědeckovýzkumný uhelný ústav

1 ÚVOD

Uhlí se těží po celém světě již více než tisíc let zejména pro energetické účely (palivo, vytápění, domácnost atd.). Hlavním impulsem pro rozsáhlou těžbu této suroviny byla průmyslová revoluce. Objev uhlí a expandující spotřeba energie mají pro těžební a energetický průmysl zásadní význam.

Podzemní těžba černého uhlí je spojena s produkcí velkého množství odpadu, zejména uhelného, který bývá deponován v bezprostřední blízkosti dolů (v některých případech v blízkosti obcí, měst, cest apod.) na uhelné haldy (odvaly).

Složení vzniklých hald do značné míry ovlivňuje způsob těžby, technologie, sekvence sypání, jež má vliv na tvar a rozměr odvalu. Příkladem různých druhů odvalů, které se liší velikostí či tvarem je např. Ostravsko - halda Ema (kuželovitý tvar) či odval Heřmanice (kombinovaný tvar s nepravidelnou kupou ve střední části). Nejstarší uhelné odvaly měly spíše protáhlý tvar v porovnání s haldami, které vznikly na počátku 20. století a byly tvaru kuželovitého.

Uhelné odvaly (haldy) byly donedávna studovány a posuzovány zejména z krajinářského hlediska. Souvisela s tím těžba uhlí a následná rekultivace zdevastované krajiny. V posledních několika letech se pozornost výzkumu soustřeďuje na hořící uhelné odvaly, které představují značnou ekologickou zátěž nejen pro jednotlivé složky životního prostředí, ale také pro člověka. Jsou zdrojem toxických látek, kovů i nebezpečných odpadů. Rovněž bývají předmětem zájmu různých skupin, zejména pak organizací (od ekologických) až po ty, které jsou zodpovědné za jejich bezpečnost, sanaci a případnou rekultivaci.

Na odvalech probíhá řada procesů, které jsou doprovázeny vznikem mineralizace, jež je sledována mineralogy, geochemiky atd. Procesy probíhající v haldách lze přirovnat procesům probíhajícím v sopkách (např. vulkanické exhalace). Plyny, pocházející z vulkanické činnosti obsahují vodní páru, CO₂, SO₂, H₂S, atd. (TARAN et al. 1995). Z uhelných odvalů mohou unikat tyto plyny: CO₂, N₂, Ar, NO_x, SO_x, H₂S, CH₄, C₂H₆ atd. (STRACHER et TAYLOR 2004; MASALEHDANI et al. 2007).

Jedním z nejvýznamnějších a nejzajímavějších procesů probíhajících na haldách je tzv. proces samovznícení, ke kterému dochází v uhelných revírech po celém světě. JELÍNEK et DANĚK (2007) uvádějí, citují: „Nejmarkantnější jsou tyto projevy na deponiích hlubinných dolů a úpraven vytěženého uhlí, kde hlušina

obsahuje více uhelné hmoty než je tomu u povrchových dolů, kde jsou přemísťovány a ukládány velké objemy skrývkových hornin z nadloží slojí“. Energetickým zdrojem těchto procesů je rozklad fosilní organické hmoty (JELÍNEK et DANĚK 2007). Procesem samovznícení se zabývali např. KREVELEN (1993), AKGÜN et ARISOY (1994), DIDARI et ÖKTEN (1994), NUGRUHO et al., (2000), GUATAM et SURANA (2001), WANG et al., (2003a), aj. Za optimálních podmínek dojde k podzemnímu (endogennímu) a často i povrchovému požáru (KUENZER et al. 2006; ZHANG et KUENZER 2007). Nekontrolované uhelné požáry bývají příčinou environmentálních a ekonomických problémů globálního charakteru. Způsobují kontaminaci a devastaci životního prostředí, únik skleníkových a toxických plynů, sesuvy či poklesy půdy, destrukci biotopů flóry a fauny, ale také urychlují snižování zásob uhlí. V některých případech způsobují úmrtí lidí (STRACHER et TAYLOR, 2004; ZHANG et KUENZER, 2007).

Proces hoření haldy je doprovázen řadou geochemických a mineralogických procesů, např. tepelnou alterací hlušiny, zvětváváním, pyrometamorfózou apod. (SEJKORA 2002; GRAPES 2006). Na několika haldách v ČR probíhaly paleontologické a mineralogické výzkumy zaměřené na transformaci minerálů v horninách, způsobenou žárovou metamorfózou či tvorbuskel, strusek, atd. (JIRÁSEK 2007).

Uhelné odvaly obsahují značné procento hořlavých látek téměř v celém svém objemu, přičemž je odhadováno, že na některých lokalitách tvořily zbytkové složky uhelné substance okolo 10 – 20 %. Kromě výše uvedeného obsahují břidlice, pískovce, pyrity, prach, popílek, strusku, a zbytky uhlí (HOLLESEN et al. 2009, 2010; KÜRTEEN et al. 2010; ZHANG et KUENZER 2007).

Vlivem svého heterogenního složení, prostorové nerovnoměrnosti a množství potenciálně termických deponovaných materiálů mohou haldy disponovat značným energetickým potenciálem, který lze za použití vhodné technologie využít (např. pro lokální vytápění skleníků, ohřev TUV). Uhelné odvaly mohou být v budoucnu využity jako další z alternativních zdrojů energie.

2 CÍLE A PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE

Ve své disertaci analyzuji možnost využití tepla hořících hald. Význam tohoto zdroje spočívá v tom, že po dobu přibližně 150 let byly systematicky vytěžovány ložiska černého a hnědého uhlí na území ČR. V průběhu této těžby se zvláště v případě černouhelných ložisek, které se nachází v permokarbonských sedimentech, používaly hlubinné metody těžby. Vytěžené uhlí bylo částečně mechanicky (ručně) tříděno přímo v místech jeho vytěžení a část uhlí byla odvážena do úpraven. Rezidua uhlí přitom zůstávala v hlušině a byla vyvážena na haldy.

Je odhadováno, že na některých lokalitách tvořily zbytkové složky uhlí 10 – 20 %. Díky zapařování docházelo k zahoření těchto hald a k uvolňování tepla. Řada uhelných hald např. na Kladensku plně prohořela a v současné době jsou tvořeny jen popelovinami. Přesto v ČR řada hald nadále hoří a tím uvolňuje tepelnou energii.

Teplo z uhelných hald lze považovat za periferní zdroj energie, který může mít pouze lokální a v některých případech subregionální význam. Z vědeckého hlediska jde však o zdroj, jehož úspěšné využití v našich podmínkách dává možnost přejít i k využívání např. hnědého uhlí hořících slojí.

Princip vlastního řešení pak spočívá v tom, že v místech se zvýšenou teplotou povrchu lze vybudovat zemní tepelné výměníky a pomocí tepelných čerpadel pak využívat jakákoliv místa, kde dochází k ohřevu povrchu a ke zvýšenému tepelnému toku.

Význam těchto lokálních zdrojů vzrůstá za předpokladu, že zdroj tepla může hořet řadu let.

Ve své disertační práci se zabývám využitím uhelných hald (po těžbě černého uhlí), jako alternativních zdrojů tepla a jejich ekologickým dopadem. Výzkum byl konkrétně zaměřen na termický monitoring uhelných hald a měření emise CO₂.

Cílem této práce bylo:

(i) zjistit a změřit termickou aktivitu na 4 lokalitách (odvalech) – pomocí povrchového a podpovrchového měření teploty

(ii) změřit koncentraci CO₂ unikajícího z odvalů

(iii) provést prognózu vývoje teplotního pole, resp. zhodnotit objem potenciálně využitelné energie pro energetické účely a možnou dobu využívání odvalu – termicky nejatraktivnější lokalitu (pomocí matematického modelu)

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Literární rešerše byla zpracována na základě odborné vědecké zahraniční i české literatury, zabývající se problematikou uhelných hald. Konkrétně procesem samovznícení, termickým monitoringem, negativním vlivem uhelných odvalů na životní prostředí a zdraví obyvatel, vznikem endogenních požárů a dále pak možnostmi využití energetického potenciálu, resp. tepla uhelných hald.

Ve světě je tomuto tématu věnována pozornost zejména z hlediska negativního vlivu na obyvatele a na složky životního prostředí, úniku toxických látek, vzniku endogenních požárů apod. Za posledních pět let vzrostl zájem o výzkumy, týkající se termického monitoringu a energetického využití uhelných odvalů zejména v ČR.

Česká odborná literatura věnující se výše uvedenému tématu je prezentována většinou formou technických zpráv (průběžných a závěrečných), které byly dokladovány na příslušná ministerstva a další instituce, jež poskytovaly na výzkumy tohoto druhu granty a dotace.

V zahraničí, konkrétně v Porúří byl realizován projekt, jež se zabýval geotermálním využitím uhelných hald jako náhrady za fosilní paliva. Tento výzkum rovněž testoval technické a ekonomické metody pro využití v praxi. Dále se zahraniční vědecká literatura soustředí na otázky podzemního zplyňování uhlí, které spočívá ve výrobě plynu z uhlí v uhelné sloji (BHUTTO et al. 2013; KUS et al. 2006).

Úvod literární rešerše je zaměřen na historii dobývání černého uhlí ve Východočeské uhelné pánvi, kde byl realizován výzkum termického monitoringu vybraných uhelných hald. Následuje klasifikace kaustobiolitů, které bývají deponovány na uhelných odvalech. Další kapitoly jsou zaměřeny na vznik, dělení a složení odvalů, procesy probíhající v a na haldách, samovznícení uhlí a termickou aktivitu uhelných odvalů v ČR a ve světě, metody indikace plynů v procesu samovznícení, endogenní požáry (vznik a likvidace), haldové hospodářství, matematické modelování apod.

3.1 Historie dobývání černého uhlí ve Východočeské uhelné pánvi

JIRÁSEK (2006) uvádí, cituji: „Důlní díla v markoušovicko-svatoňovické oblasti byla založena na výchozu uhelných slojí separátní sedimentační pánve dolsko-žďáreckých vrstev, které vycházejí na povrch v úzkém pruhu mezi Hůrou a Černou roklí na jihozápadním svahu Jestřebích hor“. Jestřebí hory leží ve Vnitrosudetské pánvi, která vznikla začátkem variského vrásnění. Převážná část Jestřebích hor se nachází v odolovském souvrství, které je tvořeno červenými a šedě zbarvenými aleuropelity a jemnozrnnými psamity (TÁSLER 1979).

Dobývací prostor měl délku 3,5 km. Dolsko-žďárecké vrstvy měly celkovou mocnost v rozmezí 200 – 300 m. Převážná část těchto vrstev je představována bukovským souslojím, jež má mocnost 170 m a je tvořeno 11 slojemi černého uhlí. Bukovské sloje jsou uloženy ve spodní části dolsko-žďáreckých vrstev v okolí hronovsko-poříčského přesmyku, jež je příčinnou strmého uložení uhelných slojí (úklon 60 až 80°) i místního překocení (JIRÁSEK 2006).

Výhřevnost slojí se pohybuje v rozmezí 9,5 – 26,5 tis. kJ kg⁻¹. Průměrná výhřevnost činí 19 tis. kJ kg⁻¹ a průměrný obsah síry je 1,5 %. Uhlé sloje mezi sebou dělí jílovcové, pískovcové a slepencové meziloží o různé mocnosti (JIRÁSEK 2006).

Dobývání černého uhlí probíhalo ve třech revírech, konkrétně žacléřském, radvanickém a svatoňovickém (HAVÍŘ 2005). V minulosti bylo kamenné uhlí dobýváno prostým hrabáním, poté se využívalo chodbicové dobývání a pilířování na zával. Nad těžními chodbami byly ponechávány ochranné bloky se střechovitým zakončením (JIRÁSEK 2003).

Zpočátku bylo uhlí dobýváno ručně pomocí zemědělského nářadí, poté dvoustrannými i jednostrannými špičáky. V druhé polovině 20. století se začaly používat sbíječky a vrtací kladiva (JIRÁSEK 2003).

Doprava suroviny nejprve probíhala ručně (v dřevěných bednách pomocí rumpálů a trakary). Na přelomu 18. a 19. století byla zavedena důlní doprava (důlní vozy x fošnové koleje). V polovině 19. století byly vybudovány železné kolejnice, parní těžní stroje atd. Ve 20. století se začaly využívat elektrické stroje a malé důlní lokomotivy (JIRÁSEK 2008).

První záznamy o hlubinném dobývání černého uhlí v této oblasti jsou známy z konce 16. století. Na úbočí Jestřebích hor se začalo uhlí těžit již od roku 1634. V této době se jednalo o první pokusy dobývání uhlí z výchozů uhelných slojí v žacléřském okolí (HAVÍŘ 2005).

V roce 1775 byli do Žacléře posíláni specialisté za účelem otvírání uhelných slojí svislými šachtami, současně docházelo k odvodnění dědičných štol (JIRÁSEK 2006).

Před koncem 18. století došlo k rozvoji těžby na Žacléřsku a Svatoňovicku. Důvodem byla legalizace těžby uhlí, jež bylo vyjmuto z pozemkového vlastnictví vrchnosti a zařazeno mezi nerosty (JIRÁSEK 2008).

V pol. 19. století byl zaznamenán rozvoj těžby z větších hloubek. Došlo k založení jámy Jiří, otevření dolu Julie či vyhloubení první strojní šachty, jež měla hloubku 53 m. V období 1868 – 1870 byla vytvořena jáma Eliška, jež sloužila pro odvětrání a odvodnění (HAVÍŘ 2005; ADAMEC 2005).

Po první světové válce se začaly využívat velké stroje - řetězové a tyčové šramačky. Jámy Eliška a Jiří (Žacléř), Marie a Julie (Lampertice) a Františka (Černá Voda) byly přejmenovány na závod Jan Šverma. V souvislosti s přestavbou závodu došlo k vyhloubení vtažné a těžní jámy Jan, jež měla průměr 5,5 m a hloubku 955 m (HAVÍŘ 2005; ADAMEC 2005).

Dobývací metodou bylo směrné stěnování na řízený zával. Výjimečně byla použita metoda zátinkování se zpětným sestřelem (HAVÍŘ 2005).

Ztráta konkurenceschopnosti a liberalizace cen uhlí byly v roce 1992 příčinou ukončení těžby v tomto závodě. V současné době je závod ve vlastnictví firmy Gemec, jež finalizuje zaplavování podzemních prostor pomocí rychletuhnoucí základky (ADAMEC 2005).

V žacléřském revíru bylo vytěženo cca 27 mil. tun černého uhlí (za období více než 400 let), jež sloužilo zejména k energetickému využití (HAVÍŘ 2005).

Ve svatoňovickém revíru pocházejí první záznamy o objevu uhlí z 16. a 17. století, zejména v podobě báňských prací (HAVÍŘ 2005).

V oblasti Strážkovic začaly v 18. století vznikat doly. V roce 1840 se na Svatoňovicku nachází již 7 závodů, přičemž jeden z nich měl 15 dolů. V roce 1850 činila roční těžba 25 tis. tun doly Ida a Xaver měly v té době velmi dobrou technickou úroveň. V 80. a 90. letech došlo ke stagnaci produkce uhlí (HAVÍŘ 2005).

Zvrat nastává na konci 20. let minulého století, kdy se elektrárna v Poříčí stává hlavním odběratelem uhlí. Využívané metody dobývání byly stěnování, trhací práce pomocí dlouhých vrtů apod. (HAVÍŘ 2005).

Obnovou Československa došlo ke znárodnění všech dolů a začlenění do podniku Východočeské uhelné doly (HAVÍŘ 2005).

V 60. letech se objevují úvahy o likvidaci dolu a začátkem 70. let nastává obrat, neboť došlo k hloubení nové jámy s hloubkou cca 870 m (HAVÍŘ 2005).

V 90. letech byla většina důlních děl uzavřena. V tomto revíru bylo vytěženo cca 22,3 mil. tun uhlí (HAVÍŘ 2005).

Počátek těžby v radvanickém revíru je datován k roku 1840. Roční těžba produkce činila 300 tun. Začátkem minulého století dochází k hloubení jámy Kateřina, jež sloužila donedávna (REIL 2011; HAVÍŘ 2005).

V roce 1920 se vytěžilo 40 tis. tun uhlí. V roce 1946 byl důl Kateřina začleněn do podniku Východočeské uhelné doly. Těžba z období 1952 – 1957 není známa, protože v tomto období byl důl pod Jáchymovskými doly, jež se soustředily na těžbu radioaktivních surovin (HAVÍŘ 2005; NĚMEC 2006).

Metody využívané při dobývání zahrnovaly pilířování s úpadním postupem a směrné stěnování na řízený zával (HAVÍŘ 2005).

Za celé období těžby zde bylo vytěženo 13 mil. tun černého uhlí. Při zahlazování následků hornické činnosti byla technicky a finančně náročná sanace a rekultivace hořícího odvalu Kateřina (Radvanice). Likvidace hořícího odvalu spočívala v postupném rozebírání a ukládání do tzv. těsných kazet. V současné době je lokalita plně rekultivovaná.¹ (HAVÍŘ 2005; NĚMEC 2006).

3.2 Klasifikace kaustobiolitů

Nejčastějším materiálem, který je deponován na uhelné haldy je uhlí. Pro posouzení a zhodnocení energetického potenciálu hořících odvalů má zásadní význam typ uhlí, k jehož zahoření došlo, z toho důvodu se dále zaměřím na typy uhlí, jejich klasifikaci a ložiskový výskyt v ČR.

PETRÁNEK (1963) definuje kaustobiolity (řecké kaustos = hořlavý) jako hořlavé organogenní sedimenty. Dělí je na dvě základní skupiny. Jedna skupina

¹ Pozn. Na tomto odvalu probíhal v rámci výzkumu termický monitoring a měření koncentrace CO₂ z důvodu prověření utlumení termické aktivity a pro srovnání s termicky činnými haldami.

zahrnuje horniny, které vznikly z odumřelých rostlinných těl či jejich částí, zatímco v druhé skupině se nacházejí horniny, které vznikly z odumřelých těl živočišných. HEJTMAN (1977) dělí kaustobiolity na řadu uhelnou (skupina uhlí) a živičnou (skupina živíc). Mezi druhy uhelné nebo humosní řady patří: humus, rašelina, hnědé uhlí, černé uhlí, antracit, liptobiolity, plyny provázející uhelná ložiska a různé hybridní horniny (např. uhelné břidlice). Druhy živičné neboli bituminósní řady představují: sapropelity, asfalt, ozokerit, ropa, průvodní plyny a hybridní horniny (např. bituminósní břidlice, bituminósní vápence, různé hořlavé břidlice atd.) (PETRÁNEK 1963).

Kaustobiolity obsahují vysoký podíl organického uhlíku a představují významný zdroj energie (HAVLENA 1964).

3.2.1 Definice a geneze uhlí

MOTT (1942; 1943) uvádí, že uhlí je hořlavý sediment, který patří mezi kaustobiolity uhelné řady (humolity). Vzniká akumulací rostlinných zbytků a jejich metamorfózou, tzv. prouhelněním (karbonifikací). Při tomto procesu probíhají biochemické přeměny, poté začne ve větších hloubkách působit teplota, tlak a čas. Výsledkem tohoto procesu je postupný růst obsahu uhlíku, dehydratace a snížení obsahu prchavých látek (vodíku a kyslíku) (PETRÁNEK et SYNEK 1993). Uhlí je hornina fytogenního původu. Vznikla v jednotlivých geologických dobách a je spjata zejména s rozvojem suchozemského, cévnatého rostlinstva (PETRÁNEK 1963).

Podle HEJTMANA (1977) pocházejí první jasné nálezy cévnatých rostlin ze siluru a devonu. Jejich velký rozvoj nastal až v karbonu a permu. Vyskytovaly se zde výtrusné rostliny – kapradinovité, plavuňovité a přesličkovité a později rostliny semenné.

Výše uvedené rostliny spolu s nižšími rostlinami poskytly materiál na více než 40 % světových uhelných zásob (HAVLENA 1964).

Naproti tomu nahosemenné rostliny dosáhly maxima v juře a významně se uplatňovaly v triasu a křídě. Jak uvádí HEJTMAN (1977) druhohorního uhlí je v porovnání s uhlím prvohorním a třetihorním málo.

V třetihorách došlo k akumulaci materiálu pro více než 50 % světových zásob uhlí. Uplatňovaly se zde rostliny krytosemenné, ale také jehličnaté stromy (PETRÁNEK 1963).

Různě stará uhlí vznikala nahromaděním rostlinných společenstev, která se

musela dostat z dosahu působení vzdušného kyslíku (BARGHOORN 1952). Dostávaly se pod úroveň hladiny podzemní vody v močálech nebo mělkých jezerech. Aby docházelo k akumulaci většího množství rostlinné hmoty, muselo dno pánve postupně poklesávat (HEJTMAN 1977).

Původní organogenní materiál se po přeměně objevuje jako humus, rašelina nebo sapropel.

3.2.2 Rašelina

Podle PETRÁNKY (1963) humus představuje organické zbytky zejména rostlinného původu, které se hromadí v půdách. Vzniká intenzivním rozkladem rostlinných zbytků ve vlhku a za částečného přístupu kyslíku (trouchnivění). Na jeho vzniku se mohou podílet i další pochody. Humus svou kyselou reakcí ovlivňuje půdní proces, vyluhování a rozklad zásaditých složek půdy i skalního podkladu. Zejména usnadňuje kaolinizaci a migraci železa.

Rašelina tvoří uloženiny odumřelých a slabě prouhelňených rostlinných těl a jejich zbytků. Jedná se o pozůstatky bažinného rostlinstva, které rostlo ve sladkovodních i přímořských bažinách. Postupně docházelo za částečného přístupu vzduchu k rozkladným procesům až k procesu rašelinění. Základní podmínkou pro vznik rašeliny je rychlý růst flóry v bažinném prostředí. Podle podmínek vzniku, celkového tvaru a vývoje rozeznáváme: slatiny, vrchoviště a rašeliněště přechodného typu. Slatiny vznikají v depresích napájených podzemní vodou a jsou bohaté na živné látky. Výskyt vrchovišť je vázán na vyšší polohy a atmosférické srážky. Pro vrchoviště jsou typické různé rašeliníky, jejichž růst je nejintenzivnější ve střední části rašeliněště, kde je nejvíce vody. Z tohoto důvodu rašeliněště postupně nabývá vyklenutého tvaru (PETRÁNEK 1963).

Rašeliny zaujímají v ČR plochu asi 50 tisíc hektarů a těží se na mnoha místech (HEJTMAN 1977).

V prostředí s omezeným nebo žádným přístupem kyslíku nastává proces rašelinění rostlinných zbytků, začíná se uplatňovat první stádium prouhelňovacího procesu neboli rašelinné stádium. V rámci tohoto procesu dochází k hnití a kvašení bílkovinných látek obsažených např. v odumřelém planktonu. Tímto způsobem vzniká hnilokal neboli sapropel (HEJTMAN 1977).

3.2.3 Sapropel

Sapropel vzniká ve stojatých nebo slabě tekoucích vodách s neutrální reakcí. Může se ukládat ve sladkovodních nádržích kontinentálních oblastí (bažiny, jezera, mrtvá říční ramena), stejně tak i v přímořských oblastech (lagunách, zálivech). Vzniká především z nahromaděných zbytků zooplanktonu a fytoplanktonu. Uloženiny, které vznikly ze sapropelu, se nazývají sapropelity a vyskytují se spolu s hnědouhelnými a černouhelnými humity (PETRÁNEK 1963). V hnědouhelných pánvích se mohou vyskytovat tzv. hnědouhelná svíčková uhlí (dají se zapálit plamenem svíčky). Pokud obsahují hodně spór, označují se jako kenely. Nejčastěji jsou šedohnědé, celistvé s lasturnatým lomem (HEJTMAN 1977).

Pokud obsahují sapropelity hodně řas, označují se jako boghedy (podle obce Boghead u Bathgate ve Skotsku) (HEJTMAN 1977).

Boghedy i kenely se též vyskytují v černouhelných slojích v ostravsko-karvinské a plzeňské pánvi. Jsou to hnědočerné až černé horniny, celistvé s lasturnatým lomem (HEJTMAN 1977).

3.2.4 Liptobiolity

Jsou definovány jako pryskyřičné či voskové látky, které se díky své stálosti při zetlívání (úplné oxidaci) nerozrušují. Místně se mohou hromadit jako ložiska. Většinou se vyskytují ve formě příměsí v některých uhlích mladšího geologického stáří (PETRÁNEK 1963).

3.2.5 Stáří uhelných sedimentů a prouhelnění

V hnědouhelném stádiu se tvoří humitové hnědé uhlí, které je složeno ze dvou složek, detritické, a xylitické (dřevné), která vznikla ze dřeva kmenů a větví. Někdy bývá přítomna i složka fuzitická (vláknitá). Tato uhlí jsou různě prouhelněná. V jižních Čechách se vyskytují nejméně prouhelněné hnědouhelné humity, konkrétně na lokalitách: Mydlovary, SZ od Hluboké nad Vltavou) a na jižní Moravě (Dubňany, Ratíškovice, Kyjov). Někdy se označují jako lignity (HEJTMAN 1977).

V Krušnohorské pánvi se těží středně až silně prouhelněná humitová hnědá uhlí. Průměrná mocnost sloje zde dosahuje 15 m, na Mostecku i přes 40 m. V jejím nadloží i podloží se vyskytují kaolinitické jíly (PETRÁNEK 1963; HEJTMAN 1977).

Výhřevnost humitového hnědého uhlí v chomutovsko-mostecké pánvi se pohybuje v rozpětí 9,6 až 16,7 MJ kg⁻¹. Závisí na stupni karbonifikace, vlhkosti a na množství popelovin. Výhřevnost čisté hořlaviny kolísá mezi 27,1 a 29,3 MJ kg⁻¹. Podobná uhlí se také nacházejí v sokolovské pánvi (HEJTMAN 1977).

Více prouhelněná hnědá uhlí se vyskytují na Slovensku u Modrého Kamene a u Handlové. U Handlové jsou uhlí smolná a lignity (HEJTMAN 1977).

Velké množství ložisek humitového hnědého uhlí je v zahraničí, ať již třetihorního, druhohorního a vzácně i prvohorního původu. Jedna z takových lokalit je na Sibiři v poříčí řeky Leny, kde se nachází obrovské ložisko středního až svrchního triasu. Dalším příkladem může být albertské ložisko v pobřežní části západní Kanady severně od hranice s USA, které je svrchnokřídové. V moskevské pánvi se těží hnědouhelné humity prvohorního původu (PETRÁNEK 1963; HEJTMAN 1977).

V ČR se tato uhlí vyskytují ve svrchnokarbonské ostravsko-karvinské pánvi. Sloje zde dosahují mocnosti přes 120 m a některé jsou netěžitelné (HEJTMAN 1977). Středně až silně prouhelněná humitová černá uhlí se nacházejí v ostravsko-karvinském revíru. Jejich výhřevnost se pohybuje mezi 21,8 až 31,4 MJ kg⁻¹. Okolo 50 % těžby lze využít na výrobu kvalitního koksu (HEJTMAN 1977).

Z dalších pánví je nutné uvést žacleřsko-svatoňovickou, plzeňskou, manětínskou, radnickou, rakovnickou, kladenskou a rosicko-oslavanskou (HEJTMAN 1977).

V zahraničí je to např. ruhrská pánev v Porýní, pánev severofrancouzská, belgická, severo a jihoanglická, doněcká atd. V severní části kuzněcké pánve jsou v podloží karbonu humitová a liptobiolitová uhlí, pocházející z devonu. Známé jsou také svrchnotriasové pánve ve Virginii v USA (HEJTMAN 1977).

Nejvíce prouhelněné horniny jsou antracity. V ČR se dobývaly v západní části ostravsko-karvinského revíru a dále v malé pánvi u Brandova v Krušných horách a u Lhotic poblíž Českých Budějovic. Ze zahraničí je nutno uvést svrchnosilurské antracity z okolí Taškentu a Kokandu (HEJTMAN 1977).

3.2.6 Klasifikace uhlí

Existuje několik klasifikací uhlí např. z hlediska chemického složení, vzhledu uhlí, stupně odraznosti, užití uhlí atd. (PETRÁNEK et SYNEK 1993).

Jednou z nejčastějších klasifikací bylo rozpoznávat uhlí podle vizuálních znaků, které se všeobecně shodovaly s vlastnostmi hoření (spalování). Podle KRISHNAN (1940) se dělí následovně:

- 1) Lignit nebo hnědé uhlí – hnědá až černá barva, dřevitá struktura, vysoká vlhkost.
- 2) Kamenné uhlí – černé, poměrně snadno se vznítí, hoří a dýmá.
- 3) Antracit – černá a lesklá barva, obtížně se zapaluje. Hoří bez plamene.

Regnault byl první, kdo použil chemickou klasifikaci. Publikoval ji v roce 1837 a definoval zde 5 skupin na základě konečné analýzy (procentuálního obsahu O + N) KRISHNAN (1940).

Následující tabulka udává přehled hlavních druhů uhlí spolu s přibližným vyjádřením jejich základních chemických vlastností.

Tabulka 1: Druhy uhlí a jejich chemické vlastnosti (Vysvětlivky: * střední stupeň prouhelnění, ** vysoký stupeň prouhelnění)

Druh paliva	Prchavá hořlavina %	C %	H %	O %
rašelina	65	55	6,0	39
hnědé uhlí - ortofáze*	45	68	5,8	25
hnědé uhlí - metafáze**	40	74	5,7	20
uhlí pálavé	35	79	5,2	18
uhlí plynové - pálavé	33 - 29	81 - 83	5,4	12 - 10
uhlí žírné	19	87	5,0	7
uhlí hubené	12	89	4,5	5,5
uhlí antracitické	nad 8	92	4,0	4
antracit	pod 8	96	2,0	2

Zdroj: SVOBODA et BENEŠ (1955)

Pro detailnější rozlišení uhelné hmoty je možno použít hlediska mikroskopická a makroskopická.

PETRÁNEK (1963) dělí na základě litotypů (makroskopicky rozpoznatelné

složky uhlí) a jejich zastoupení na:

- a) lesklé uhlí (tvoří ho převážně lesklá složka)
- b) páskované lesklé uhlí (zde převažují pásy lesklé složky nad pásy matné složky)
- c) páskované uhlí (poměr pásků lesklé a matné složky je cca 1:1)
- d) páskované matné uhlí (zde převažují pásy matné složky nad pásy lesklé složky)
- e) matné uhlí (bud převažuje matná složka, kenel či boghed ze sapropelitických uhlí)
- f) vláknité uhlí (převážně vláknitá složka)

Výše uvedená makroskopická a mikroskopická klasifikace uhlí se všeobecně užívá hlavně v Evropě. Zatímco v Americe se užívá odlišná klasifikace, pojatá spíše z hlediska geneze uhlí a aplikovaná pro mikroskopický výzkum uhlí (RUIZ et CRELLING 2008).

Pro přesnější energetickou bilanci hořících hald se v některých případech může stát významné přesnější rozlišení jednotlivých složek uhlí a případně i jednoznačnější jejich definování, tak např. černé uhlí má zpravidla černý vryp. V horkém louhu se téměř nerozpouští a také ho nezbarvuje. Další znaky typické pro černé uhlí jsou: negativní ligninová reakce, nízký obsah vody (pod 7 %), vyšší výhřevnost a nižší obsah prchavých látek (DOPITA et al. 1985).

Z technologického hlediska rozeznáváme několik druhů černého uhlí, které jsou v jednotlivých zemích různě definované a označované. Např. v české odborné literatuře se podle množství prchavých látek a koksovatelnosti rozlišujeme šest druhů černého uhlí. Prchavé látky představují tu část hořlaviny, kterou lze z uhlí vypudit záhřevem.

- 1) Pálavé uhlí
- 2) Plynové uhlí
- 3) Žírné (mastné) uhlí
- 4) Hubené uhlí
- 5) Antracitické uhlí (poloantracit)
- 6) Antracit (DOPITA et al. 1985).

Pálavá uhlí jsou málo prouhelněná a obsahují nad 35 % prchavých látek. Jsou vhodná pro nízkotepelnou karbonizaci, hydrogenaci a nevhodná pro výrobu koksu.

Těží se u Plzně, na Kladensku a v OKR (DOPITA et al. 1985).

Plynové uhlí obsahuje 29 – 35 % prchavých látek a slouží k výrobě svítiplynu, generátorového plynu atd. Těží se v OKR (DOPITA et al. 1985).

Žírné (mastné) uhlí je středně prouhelněné a obsah prchavých látek se pohybuje mezi 18 – 28 %. Slouží k výrobě hutnického a slévárenského koksu. Jak uvádí BENEŠ (1955), nejlépe koksovatelnými typy uhlí jsou ta, která obsahují asi 26 % prchavé hořlaviny. Těží se v dolnoslezské pánvi a v OKR (DOPITA et al. 1985).

Antracitické uhlí obsahuje 8 – 12 % prchavých látek. Nejvyššího prouhelnění dosahují metaantracity s obsahem 1 – 3 % prchavých látek. Dříve se antracit těžil u Českých Budějovic a u Brandova v Krušných horách (DOPITA et al. 1985).

Dle DOPITY et al. (1985), dělíme hnědá uhlí na:

- 1) Mělné uhlí neboli kapucín
- 2) Zemité uhlí
- 3) Voskové uhlí
- 4) Lignity
- 5) Celistvá uhlí
- 6) Pololesklé a lesklé uhlí
- 7) Smolné uhlí
- 8) Živičné uhlí

Mělné uhlí (kapucín) severočeské pánve je uhlí zvětralé na výchozu sloje. Zemité uhlí se vyznačuje vysokou popelnatostí, zatímco sokolovské voskové uhlí se využívá zejména pro extrakci. Lignity nacházejí své uplatnění v tepelných elektrárnách a těží se u Hodonína a na Slovensku (Nováky, Modrý Kameň). Celistvá uhlí se těží v severočeské a sokolovské pánvi. Pololesklé a lesklé uhlí se těží v severočeské a handlovské pánvi a slouží jako energetická surovina. Naproti tomu sokolovské smolné uhlí a živičné uhlí severočeské pánve tvoří surovinu chemickou (DOPITA et al. 1985).

3.2.7 Fyzikální, chemické a technologické vlastnosti uhlí

Dle DOPITY et al. (1985) jsou fyzikální a fyzikálně mechanické vlastnosti závislé na stupni karbonifikace, petrologickém složení, dále na podílu a charakteru minerální příměsi a nakonec na stupni rozpukání.

Barva je hnědá až leskle černá, u rašeliny a hnědého uhlí může být různá pro jednotlivé vrstvy či pásy jednoho vzorku. Lesk udává hodnotu odraznosti R . Obecné hodnoty odraznosti měřené na vitrinitu jsou pro rašelinu 0,2 %, pro hnědé uhlí se pohybují mezi 0,3 až 0,5 %, u černého uhlí 0,5 až 2,4 % a antracit má přes 2,4 %. S prouhelňováním roste anizotropie a tím se zvětšuje rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou odraznosti R , index lomu dosahuje hodnoty 1,6 pro rašelinu a 2 u antracitu (DOPITA et al. 1985).

Tvrдост se liší u různých pásků stejného vzorku. Pevnost a křehkost závisí zejména na stupni rozpukání. Hustota je definována jako hmotnost objemové jednotky tuhé fáze. Objemová hmotnost zahrnuje dutiny, póry, vodu a je menší než hustota (DOPITA et al. 1985).

Chemicky obsahuje uhlí tyto základní prvky: C, H, O, N, S a ve stopovém množství jsou přítomny prvky ostatní. S prouhelňováním se zvyšuje obsah C, zatímco klesá obsah H a O, obsah N se téměř nemění (DOPITA et al. 1985). Obsah S kolísá v závislosti na syngenetické a epigenetické mineralizaci. Jeho zvýšený podíl spolu s As v kouři při spalování má negativní vliv na životní prostředí. Navíc tyto prvky znehodnocují surovinu pro další využití. Na druhé straně zvýšený obsah některých prvků lze ekonomicky využít, jedná se zejména o germanium, gallium a uran (HUBÁČEK 1962).

Z analytického hlediska je každé uhlí složeno z vody, popelovin a organické hmoty. Voda (W) zahrnuje vodu veškerou, čili na povrchu a v mikropórech uhlí a vodu organických molekul. S růstem prouhelňování klesá obsah vody (DOPITA et al. 1985; HUBÁČEK 1962).

Dle DOPITY et al. (1985) popeloviny (M) zahrnují:

- Nerosty vytvořené v buňkách uhlotvorné vegetace, nazývají se popeloviny vnitřní nebo primární, jejich množství v uhlí dosahuje 1 %.
- Prvky a anorganické sloučeniny splavené do uhlotvorného prostředí nebo anorganické sloučeniny v tomto prostředí nově vytvořené.

- Prvky a anorganické sloučeniny dopravené ke sloji podzemní vodou v průběhu geochemické fáze a vázané v uhelné hmotě sorpcí.

Popeloviny druhé a třetí skupiny se nazývají vnější neboli sekundární. Pokud uvážíme, že z popeloviny typu FeS_2 , která je běžná v každém uhlí, dostaneme po spálení uhlí buď Fe_2O_3 , nebo FeO (a nikoliv FeS_2) vidíme, že je mezi popelovinami a popelem značný kvalitativní a kvantitativní rozdíl (DOPITA et al. 1985).

Obsah popela (A) se nazývá popelnatost a je důležitým parametrem jakosti uhelných paliv. Pokud popelnatost přesahuje 10 %, dochází ke zkreslení dalších parametrů jakosti uhlí (DOPITA et al. 1985).

Organická substance uhelného paliva zahrnuje palivo bez obsahu vody a popelovin. Hořlavina je palivo bez obsahu vody a popela. Prchavá hořlavina (V) jsou plyny (zejména vodík) a páry (H_2O), které unikají z uhlí při jeho zahřívání za nepřístupu vzduchu (DOPITA et al. 1985; HUBÁČEK 1962).

Spalné teplo (Q) se uvolňuje dokonalým laboratorním spálením na CO_2 , SO_2 , N_2 a kapalnou H_2O . Důležitým parametrem je výhřevnost neboli využitelné teplo. Měří se v joulech (ROUBÍČEK et BUCHTELE 2002).

Index puchnutí (S_I) je důležitý pro výrobu koksu a udává se ve stupních 0 až 9 zvětšení objemu vzorku při volném zahřívání (DOPITA et al. 1985).

Z analytického hlediska jsou hodnoceny tyto parametry: veškerá voda původního vzorku W_i^r , výhřevnost původního vzorku Q_i^r , popel bezvodého vzorku A^d , základní prvky hořlaviny C^{daf} , H^{daf} , O^{daf} , N^{daf} , prchavá hořlavina hořlaviny V^{daf} , síra bezvodého vzorku S^d a parametry koksovateľnosti (DOPITA et al. 1985; HUBÁČEK 1962; DIESSEL 1992).

V rámci technologického hodnocení paliv je důležitý karbonský zemní plyn (plyn, který se uvolňuje při prouhelňování), těž se a zužitkovává v OKR. Představuje téměř čistý metan (90 až 95 obj. % CH_4) s příměsí dusíku (až 10 %), kyslíku, oxidu uhelnatého a uhličitého (DOPITA et al. 1985).

Hodnocení uhlí podle popelnatosti (v závorce symbol a % A^d) – v severočeské pánvi se dělí na: uhlí (u, pod 30 %), lupkové uhlí (upu, 30 až 40 %), uhelný lupek (ulu, 45 až 55 %), hořlavý lupek (hlu, 55 až 70 %), uhelný jíl (ujl, 70 až 80 %), jíl až jíl s uhelnou drtí (přes 80 %). V OKR se dělí na: uhlí (méně než 10 %), uhlí s jílovitou nebo prachovitou příměsí (10 až 30 %), hořlavý jílovec nebo prachovec (30 až 70 %), uhelný jílovec nebo prachovec (70 až 90 %), jílovec nebo prachovec (více než 90 %) (DOPITA et al. 1985). V rámci svého návrhu jednotné

klasifikace doporučuje HONĚK (1979) toto dělení: uhlí (U, pod 30 %), popelovinové uhlí (hu, 30 až 50 %), uhelnatý sediment (Uh, 50 až 70 %), sediment s uhelnou příměsí (h + U, přes 70 %), sediment. Termín sediment (h) se může nahradit přesnějším určením, např. prach (s), jíl (j) atd.

3.3 Vznik, složení a dělení hald

Česká republika je jednou z mála zemí na světě, na jejichž území se vyskytují všechny typy uhlí od hnědého až po antracit. Přitom se většina z nich může vyskytovat v hlušině, v odpadech po úpravě uhlí apod. V průběhu 150 let byla systematicky vytěžována ložiska černého a hnědého uhlí na území ČR. Během těžby se zvláště v případě černouhelných ložisek, které se nachází v permokarbonských sedimentech, používaly hlubinné metody těžby. Vytěžené uhlí bylo částečně mechanicky (ručně) tříděno přímo v místech jeho vytěžení a část uhlí byla odvážena do úpraven. Rezidua uhlí přitom zůstávala v hlušině a byla vyvážena na haldy (odvaly).

Těžební činnost má významný vliv na morfologii terénu. Odtěžením uhelné či jiné suroviny vznikají tzv. konkávní (vyhloubené) nebo naopak konvexní (vypouklé) tvary povrchu v podobě hald a odvalů. Uhelné haldy ovlivňují okolní reliéf a celkovou geomorfologii krajiny (SMOLOVÁ 2005).

DEMEK (1984) definuje odvaly jako konvexní antropogenní tvary vznikající při těžbě a úpravě určitého nerostu či v rámci výzkumu.

PETRÁNEK et SYNEK (1993) definují haldu jako násyp horninového odpadu lomu nebo dolu. Synonymem je odval, výsypka či sejp.

HOŘČIČKA (2002) definuje odvaly jako antropogenní útvary, jež vznikly nahromaděním hlušiny při těžbě a během mechanické úpravy nerostných surovin.

Haldy vznikají jako sekundární produkty, neboť je pro těžební společnosti ekonomicky nákladné vracet hlušinu zpět do vytěžené lokality (SMOLOVÁ 2010).

Autorka SMOLOVÁ (2010) v porovnání s jinými autory zdůrazňuje rozdíl mezi odvalem (vzniká z hlubinného materiálu) a výsypkou (vzniká z povrchových lomů).

Haldy mají heterogenní chemické složení a vlastnosti, které ovlivňují chování odvalu a jeho okolí (GREMLICA et al. 2005).

Haldový materiál zahrnuje:

- uhlí
- horniny s uhelnou příměsí (uhelné jílovce, prachovce, pískovce atd.)
- uhelný prach z úpravárenských procesů
- tepelně alterované horniny
- škváru, popel, popílky
- strusku
- pyrity
- stavební suť, inertní odpad
- kaly
- komunální odpad
- toxický odpad
- případně další materiály GREMLICA et al. (2005), SMOLOVÁ (2005), HOLLESEN et al. (2010), KÜRTEEN et al. (2010), ZHANG et KUENZER (2007)

Tabulka 2: Složení materiálu hald v %

Materiál	%
pískovce, slepence	až 37 %
prachovce	cca 20 %
jílovce	cca 20 %
Ilgonkické břidlice	cca 5 %
popel (elektrárny, kotelny)	až 10 %
uhelná hmota	3 – 25 %

Zdroj: ULDRYCH et al., (2006) in KURIAL et al. (2006)

Uhelná hmota obsažená v sedimentech má detritický či strukturální charakter. Strukturální uhelnou hmotu tvoří karbonifikovaná rostlinná pletiva a vyskytuje se v podobě úlomků hornin. Detritická uhelná hmota se nachází ve vrstvách. Jílovce a

prachovce obsahují více uhelné hmoty. Dále obsahuje např. sádrovec, pyrit, halit, karbonáty atd.

Existují dvě formy uhelné hmoty v hlušinových odvalech. První formou jsou úlomky uhlí, které se na haldu dostaly s vytěženými jalovými horninami důsledkem nedokonalých úpravářenských procesů. Druhou formou je rozptýlená uhelná hmota v horninách zejména v prachovcích a jílovcích (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

Obsah uhelné hmoty v haldách ovlivňuje petrografické složení deponovaných hornin, způsob těžby, úpravářenské procesy či geologické podmínky atd. (SLIVKA et JELÍNEK 2006). Největší procento uhelné hmoty obsahují zejména staré haldy, které byly sypané v době jednoduchých úpravářenských procesů a často mívaly kuželovitý tvar. DRLÍK (1964) uvádí, že tyto haldy obsahovaly až 50 % uhelné hmoty a často byly příčinou vzniklých požárů.

Haldy lze posuzovat a dělit dle několika hledisek, např. dle funkce, plošné rozlohy, kubatury, petrografického složení, stáří, vzdálenosti a rovněž podle začlenění do krajiny atd.

Místo kde se halda nachází se označuje jako odvališť. Často bývá v okolí jejího materiálu.

SMOLOVÁ (2010) rozlišuje odvaly dle tvaru:

Kuželovité

Tento typ byl navážen zejména v plochých terénech a do velkých výšek ve tvaru kuželů. Jejich morfologie je velice výrazná v porovnání s okolím.

Hřebenovité

Půdorys těchto odvalů je protáhlého tvaru, který připomíná přírodní hřeben.

Kupovité

V porovnání s kuželovitými odvaly mají méně ostrý vrchol. Základna je rozsáhlá a svahy mírné.

Tabulové

Výška těchto odvalů je v porovnání s ostatními haldami menší. Mají rozsáhlou plošinu. Z geomorfologického hlediska připomínají stolové hory.

Hřbetové

Pro tyto haldy je typický protáhlý a úzký hřbet s různým sklonem svahů. Vrcholová část bývá zaoblená a plochá. Příčinnou vzniku hřbetových odvalů je doprava hlušiny na výsypku pomocí lanové dráhy.

Terasové

Terasové odvaly se podobají tabulovým, ale jejich výška je nižší. Nejčastěji se vyskytují v blízkosti vodních toků, neboť zde byly výsypky vytvářeny z důvodu eliminace rizika záplav. Dalším typickým znakem jsou terasové svahy s protierozní funkcí.

Svahové

Halda byla sypána postupně a to po svahu. Tyto odvaly byly realizovány dle úrovně původního terénu, jiné se zcela adaptovaly přírodnímu svahu.

Ploché

V terénu dosahují malých výšek, ale rozprostírají se na větších plochách. Z hlediska morfologie jsou málo výrazné.

Svahy odvalů se dělí dle DEMKA (1984) na plynulé a stupňovité.

Podle polohy se odvaly dělí na:

- 1) rovinné (nacházející se na rovině či plošině)
- 2) svahové
- 3) vyrovnávací (nacházející se ve sníženinách)

Dle hořlavosti haldového materiálu rozlišujeme:

- 1) haldy nehořlavé
- 2) hořlavé
- 3) hořící
- 4) prohořelé

Hořící odvaly dělíme na:

- 1) vysokoteplotní (teplota vyšší než 80 °C)

2) nízkoteplotní (teplota do 80 °C) (ARCADIS GEOTECHNIKA2009)

3.4 Procesy probíhající v haldách a na haldách

V odvalech dochází k mnoha procesům, které ovlivňují nejen odval samotný, ale také jeho okolí. Na povrchu odvalu dochází k procesu sukcese. Tento proces bývá uplatňován jako strategie po těžbě uhlí, kdy je kladen důraz na přirozenou ekologickou sukcesí, jež respektuje rozmanitost přírodního a kulturního dědictví.

Dále se jedná o tyto procesy:

Svahové pohyby

Svahové pochody patří mezi časté a nebezpečné procesy probíhající na haldách. Jejich vznik je typický pro příkré a nestabilizované svahy (DEMEK 1984). K menším sesuvům dochází na strmých čelech odvalů z důvodu odebrání deponovaného materiálu (ULDRYCH et al. 2006). K svahovým pochodům jsou náchylné odvaly, které nebyly zcela technicky rekultivované. V partiích, kde byla stabilita svahu narušena, může docházet ke vzniku sypných kuželů. U uranových hald jsou svahy nejstabilnější, pokud jsou sypány pod úhlem 35 – 38°. Pokud by byl sklon vyšší, docházelo by k sesypávání deponovaného materiálu (DEMEK 1984). Naopak postupné zarůstání hald vede ke stabilizaci. Obecně lze konstatovat, že odval obsahující pouze hlušinový materiál, je mnohem více stabilnější než halda složená z heterogenního materiálu (DIAMOS 1993). Pokud chceme dosáhnout dlouhodobé stability rekultivovaného odvalu je potřeba dodržovat úklon svahu 1 : 2. Pro dosažení úhlu 27° se musí materiál nasypávat terasovitě a poté zarovnat (DIAMOS 1993). Pokud bychom chtěli v budoucnu na odvale vybudovat stavbu, je potřeba pod haldou vytvořit rezervu v podobě volného pásu o šířce minimálně 5 m z důvodu možného rozšiřování odvalu vlivem gravitace (ULDRYCH et al. 2006).

Z minulosti byly doloženy případy, kdy nesprávné umístění a založení odvalů na svazích či na dně údolí způsobilo vznik bahnotoků či kamenito-bahenních sesuvů (DEMEK 1984).

Jeden z katastrofických sesuvů odvalů byl zaznamenán v roce 1966 ve městě Aberfan (Wales). Toto město leží na dně údolí a v okolí leží uhelné sloje dobývané několika doly. V údolí se nachází i několik pramenů. V této oblasti vzniklo 7 hald od

roku 1916. Poslední odval patřil mezi problémové a byl založen mezi dvěma dalšími v blízkosti pramenů. Deponovaný materiál tvořil hlušinu, jílovité břidlice a jíly. V říjnu roku 1966 došlo ke vzniku bahenního proudu, který se šířil rychlostí 15 – 30 km/h a způsobil devastaci zástavby. Sesuv byl zapříčiněn vysokými srážkami a z důvodu nedbalosti odvodnění báze haldy, což způsobilo nasycení v dolních partiích odvalu vodou (DEMEK 1984).

Sesedání

Další proces ovlivňující stabilitu odvalů je sesedání. Dochází k němu vlivem navázení deponovaného materiálu, kdy dochází k zatěžkávání spodních vrstev a sesedávání. Tento proces má vliv na stabilitu odvalu, případně na jeho budoucí využití (DEMEK, 1984). Do vzniklých dutin jsou vyplavovány jílové minerály a písečná zrna. Naopak k redukci porozity dochází při rozpadu uhelných jílovců (ULDRYCH et al. 2006). Tíha odvalů může způsobit vytlačení plastického podloží a vznik vytlačených valů vedoucích po obvodu odvalu. Vzniklá deformace podloží může způsobit celkovou nestabilitu odvalu (DEMEK 1984).

Sufóze

Tento proces vzniká, pokud je odval špatně odvodněn, což vede k vyplavování jemnozrnného materiálu do volných dutin a způsobuje vznik mělkých mísovitých depresí či trychtýřů. Proces je analogický k sesedání haldy (ULDRYCH et al. 2006).

Zvětrávací procesy

Horninový materiál deponovaný na haldách podléhá vlivu exogenních činitelů. Uplatňují se zde změny chemizmu vodných roztoků, redukční potenciál či změny tlakově teplotních podmínek apod. To vede ke snížení chemické a mechanické stability a vzniku zvětrávacích procesů. Autoři MATÝSEK et RÁCLAVSKÁ (1999) uvádějí, že nejmarkantněji se tyto změny projevují v granulometrii deponovaného materiálu. Nejrychlejší průběh má tento proces na svazích a plošinách odvalů, kde působí srážky, změny teplot, atmosférická oxidace atd. (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

Zvětrávací procesy ovlivňují fyzikální a chemické vlastnosti odvalu. Příkladem je např. mechanický rozpad hornin jílovců a pískovců, oxidace a rozklad

organické hmoty. Sulfidy jsou oxidovány na limonit, přičemž dochází k uvolňování kyseliny sírové, která může dále reagovat. V odvalech obsahujících popílek a strusku probíhá oxidace železa a struskových Ca - Fe silikátů na limonit za vzniku kalcitu. Část elektrárenských popílků a strusek se v alkalickém prostředí mění na zeolity (ULDRYCH et al. 2006).

Vlivem působení a změn vlhkosti rychle zvětrávají jílovito-prachovité horniny. Z pískovců je příkladem karbonátový tmel (DOPITA et al. 1997). Stálost hornin ovlivňuje řada faktorů např. mrazuvzdornost, nasákavost, náchylnost k bobtnání apod.

Procesy uvolňování a sorpce kontaminantů

Obsah těžkých kovů v životním prostředí je závislý na přítomnosti hydroxidů železa, které váží stopové prvky. Pro absorpci organických a anorganických kontaminantů se v praxi využívají škváry a popílků. Sorpční vlastnosti mají též zahořelé, škvárové a popílkové odvaly.

Ukládání odpadu

Na odvaly byly v minulosti ukládány různé druhy odpadů. Výjimkou nebyly ani nebezpečné chemické a toxické odpady. JELÍNEK (2010) uvádí, že deponovaná hlušina může být potenciálním zdrojem kontaminace podzemních a povrchových vod z důvodu obsahu anorganických látek. Na lidské zdraví mají negativní vliv zejména organické polutanty a některé kovy. Ve studii *Termicky aktivní odvaly v ostravské a petřvaldské části OKR a jejich rizika pro životní prostředí* dále uvádí, že v této oblasti byla provedena rozsáhlá analýza, která spočívala v odběru vzorků z horninového prostředí. Ve vzorcích horninového prostředí byly monitorovány v sušině (BTEX, C₁₀ – C₄₀, PCB, PAU, NEL, spalitelné látky atd.), ve výluzích (DOC, chloridy, fluoridy, sírany, As, Cu, Hg, Pb, Ni atd.) a ve vzorcích vod (pH, vodivost, TK, chloridy, sírany, amonné ionty atd.). Atmoscreening sledoval CH₄, CO, CO₂, NO, NO₂, O₂, NO_x a VOC (JELÍNEK 2010).

Z hlediska vlivu odvalu na podzemní vody výzkum prokázal místní zvýšení koncentrací síranových iontů a lokální kontaminaci uhlovodíky C₁₀ – C₄₀. Povrchové vody jsou ovlivněny minimálně. Lokální anomálie uhlovodíků C₁₀ – C₄₀ byly nalezeny v horninovém prostředí. Největší vliv mají znečišťující látky na ovzduší,

což je dáno vznikem nebezpečných látek (BTEX, PAU, dioxiny, SO₂, NO₂, CO, VOC) v důsledku termických procesů (JELÍNEK 2010).

Těžba a využití hald

Odvaly se využívají k těžbě stavebního a posypového materiálu s nižší kvalitou. Akceptovatelná je pouze omezená těžba, neboť z hlediska ochrany přírody a krajiny vytváří stanoviště s blokovou sukcesí (ULDRYCH et al. 2006).

Pokud není odval plně technicky zrekultivován, tak se na převážné části odvalu vyskytuje přirozená vegetace. Rozsah vegetačního krytu je ovlivněn stářím odvalu, teplotou odvalu, množstvím srážek, expozicí a sklonem svahů, transferem semen z okolí atd. (PROS 2001).

Plošná a stružková eroze

Mezi snadno erodovatelné materiály patří škvára. Příkladem tohoto typu eroze je halda Tuchlovice, jež má povrch rozbrázděn erozními stružkami a strouhami s hloubkou až 2 m, přičemž na jejím úpatí dochází ke vzniku výplavových kuželů. (ULDRYCH et al. 2006).

Zahrazení vodních toků

Některé odvaly byly sypány v horních částech údolí. Takovým příkladem je Kladensko, kde došlo k proražení potoků a pramenů. Na základě slehlosti odvalu a deponovaného materiálu se tyto toky buď zčásti nebo zcela vsákly do odvalu. (ULDRYCH et al. 2006).

Termické procesy

Mezi největší rizikové faktory probíhající na odvalech patří termické procesy, které mohou probíhat i několik let. Tento proces probíhá většinou v hloubkách kolem 2 – 5 m (TVRDÝ et SEJKORA 1999). Často jsou spojovány se vznikem endogenního požáru. Ten ovlivňuje mnoho faktorů (obsah uhelné složky, přístup vzduchu, geometrie odvalu atd.). Termické procesy způsobují zvýšení teplot v povrchových i hlubších vrstvách, což způsobuje poškození (v některých případech likvidaci) vegetace. V prohořelých partiích haldy vznikají kaverny a propady, jež mohou ohrožovat osoby.

Působením zvýšených teplot dochází k odparu vody a vysušení hlušiny, což způsobuje rozpad hornin a podporuje biologickou aktivitu bakterií. Termické procesy jsou příčinnou vzniku tzv. sekundárních minerálů. Po skončení termické aktivity opět dochází k procesu zvětrávání (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

Tepelná alterace sedimentárních hornin

Tepelný efekt má vliv na přeměnu uhelné hmoty a způsobuje ohřev sedimentárních hornin vedoucí k jejich výpalu. Pokud nebylo dosaženo teploty 600 °C při ohřevu jílovitých sedimentů, jejich minerální složení se příliš neliší od šedých sedimentů před procesem alterace. Naopak je tomu u jílových minerálů, kdy např. mizí kaolinit v porovnání s chloritem, který zůstává. Tepelně alterované sedimenty mají typické červené zbarvení jež způsobuje rozptýlený hematit. Při vyšších teplotách nad 900 °C dochází ke vzniku porcelanitů a skelných fází (KRÁLÍK 1984). Obecně na prohořelých haldách se nacházejí bohatší asociace minerálů v porovnání s odvaly bez termické aktivity.

Za vysokých teplot v hloubi hořících hald vznikají z bezvodých a vodnatých silikátů, hydroxidů, sulfátů, organických látek atd. bezvodé silikáty a oxidy, např. cristobalit, korund, hematit, sillimanit apod. (KRÁLÍK 1984).

Unikající plyny obsahující chemické látky se po redukci teploty při povrchu odvalu uvolňují a dále mohou krystalizovat nebo reagovat s deponovaným materiálem. Významnou roli zde hraje řada fyzikálně-chemických procesů, např. krystalizace z tavenin, sublimace, sulfatizace, oxidace atd. (KRÁLÍK 1984).

3.4.1 Proces samovznícení

V současné době dochází k postupnému útlumu těžby uhlí, nicméně proces samovznícení je stále aktuální, zejména z hlediska bezpečnosti hornické činnosti a negativního dopadu na ekonomický provoz (BROOKS et al. 1988). MASALEHDANI et al. (2007) uvádějí, že samovznícení je významným bezpečnostním, geotechnickým a environmentálním rizikem, spojeným s únikem škodlivých plynů, vznikem poklesů a propadlin, sekundárních minerálů a tepelných metamorfóz úlomků hornin.

Nejdůležitější vlastností hald je jejich složení, které určuje velikost potenciálně využitelné energie. V praxi to znamená, že pokud bude odval obsahovat

velké množství uhelné substance (okolo 30 – 40 % obj.) je zde velký předpoklad procesu samovznícení, případně vzniku endogenního požáru.

Budeme-li uhelné odvaly posuzovat z termodynamického hlediska je třeba si uvědomit fakt, že vytěžený hlušínový materiál je po svém uložení nestabilní. V praxi to znamená, že dochází k procesu zvětrávání, jež je příčinou změn fyzikálních a chemických vlastností a mineralogického složení haldy. Faktory ovlivňující nestabilitu haldy jsou změny tlaku, teploty, redoxního režimu, případně hydrogeologických podmínek (SMITH et GLASSER 2005). Diferencovanost termodynamických a chemických podmínek hlušínového materiálu a horninového prostředí se dá pozorovat na základě oxidačně redukčního potenciálu. Pro horninové prostředí jsou typické redukční podmínky, neboť uhelné sloje obsahují značné množství organické hmoty. Pro redukční podmínky je charakteristická přítomnost pyritu nebo markazitu. Variabilita se týká i teplotních podmínek, neboť v horninovém prostředí převládají de facto relativně stabilní teploty, které jsou závislé na tzv. geotermickém gradientu. Zatímco v odvalech dochází k markantním výkyvům teploty (KRISHNASWAMY et al. 1996).

Rozdíly vznikají i mezi hydrogeologickými a hydrochemickými podmínkami. V důsledku těžby a deponii uhelné hmoty s dalším materiálem na haldu dochází k oxidaci uhelné hmoty, uvolnění plynů, ale také zde působí meteorologické vlivy, zejména srážky, které ovlivňují chemismus odvalu. Při těchto procesech dochází k aktivaci organické hmoty v uhlí s následnou tvorbou komplexů uhlovodíků s kyslíkem. Důsledkem toho se zvýší teplota uhelné hmoty na 70 – 85 °C a za optimálních podmínek může dojít až k procesu samovznícení (WANG et al. 2003a; KUCUK et al. 2003). Autoři BEAMISH et al. (2000; 2001) a WANG et al. (2003b) uvádějí, že pokud teplota vzroste nad 70 °C rychlost oxidace uhlí dramaticky vzrůstá a podpovrchová produkce tepla může vést k samovznícení, jež je závislé na dostupnosti kyslíku, velikosti odvalu, obsahu pyritu a uhlí.

Hořící uhelná halda pracuje na principu otevřeného systému a to na základě dvou hledisek – energetického v podobě úniku tepla a z hlediska výměny plynů. Jedná se o běžný proces, probíhající v hloubkách okolo 2 – 5 m (TVRDÝ et SEJKORA 1999). Proces samovznícení je doprovázen únikem velkého množství tepla do okolí. Při tepelném rozkladu uhelné hmoty dochází k uvolňování chemických prvků, které jsou přítomny v uhlí a v dalších horninách. Významnou roli zde hraje proces oxidace, který souvisí s uvolňováním tepla. Je doprovázen dalšími

exotermními reakcemi např. oxidací pyritu a markazitu. Pyrit může v procesu oxidace působit jako katalyzátor oxidace probíhající při nízkých teplotách (WANG et al. 2003a; HOLLESEN et al. 2010).

K procesu samovznícení dochází po celém světě a nejvíce se projevuje na deponiích hlubinných dolů a úpraven již vytěženého uhlí. Za hlavní energetický zdroj tohoto procesu je považován rozklad organické hmoty obsažené v uhlí. Rozklad začíná již při vlastní těžbě. Podstatnou roli zde hraje oxidace, při které dochází k uvolnění tepla (XIE et al. 2011). BEAMISH et al. (2000) uvádějí, že při teplotě nad 70 °C rychlost oxidace uhlí dramaticky vzrůstá. JELÍNEK et DANĚK (2007) uvádějí, citují: „Největší množství tepla se uvolňuje při oxidaci nenasycených organických látek na sloučeniny typu huminových kyselin“. Proces oxidace je doprovázen a urychlován dalšími exotermními reakcemi, např. oxidací železných kyzů (pyritu a markazitu). Oxidaci urychluje vlhkost prostředí, neboť molekuly vody se účastní reakce mezi kyslíkem a uhlím. Vodní pára v porovnání s oxidem uhličitým kondenzuje snadněji. Dochází k vytěsnění CO₂ a uvolnění povrchu uhelného materiálu k další oxidaci. Pokud nedochází k průběžnému odstraňování uvolněné energie, probíhá desorpce plynů z uhlí (do 160 °C). Za vyšších teplot vznikají oxidické komplexy a naopak při vyšších teplotách (při více než 300 °C) dochází k hoření. V průběhu oxidace dochází k uvolnění tepla, zatímco v redukčním prostředí silně prohřátých partií tělesa haldy za anaerobních podmínek se energie spotřebovává. K tepelnému rozkladu uhelného materiálu (karbonizaci) dochází při teplotách přes 350 °C (JELÍNEK et DANĚK 2007). Vysokoteplotní karbonizace probíhá při více než 1 000 °C (HEJNIC 2009). TVRDÝ et SEJKORA (1999) uvádějí, citují: „Při tomto procesu vzniká z černého uhlí koks a uvolňuje se 13 – 15 % koksárenského plynu nebo svítiplynu, 2,5-5 % dehtu a 0,5-3 % čpavku. Plyn obsahuje tyto složky: 47 – 55 % H₂, 5 – 8 % CO, 4 – 15 % N₂, 20 – 36 % CH₄, až 4 % CO₂, 1 – 4 HC a dále příměsi H₂S atd.“ Uvolněné plyny stoupají vzhůru haldovým materiálem, přičemž v zóně aerace může dojít k jejich vznícení. V menších hloubkách pod povrchem odvalu vznikají ohniska s vysokými teplotami, a to dokonce i v místech, kde je obsah uhelné substance nízký. Místy mohou být teploty tak vysoké (i přes 1 000 °C), že dochází k roztavení haldového materiálu. JELÍNEK et DANĚK (2007) uvádějí, že teplotní podmínky v ohniscích endogenních požárů dosahují až 1 200 °C a jsou ekvivalentní teplotním podmínkám výroby žáruvzdorných ostřiv a plniv v milířích nebo v rotačních pecích. Naopak

ČESNOKOV et ŠČERBAKOVA (1991) uvádějí, že teploty v ohniscích dosahují až 1 500 °C.

Proces samovznícení je složitý a zahrnuje čtyři procesy: difúzi, chemickou interakci mezi uhlím a kyslíkem, uvolnění tepla a emise. Tyto fenomény jsou ovlivněny nejen diverzitou, složením a vlastnostmi uhlí, ale také strukturou pórů (WANG et al., 2003a).

Podle GUATAM et SURANA (2001) je spontánní samovznícení charakteristické pro všechny typy uhlí. Nicméně se liší u různých druhů uhlí v závislosti na stupni zralosti uhlí, vlhkosti, přítomnosti sulfidů, na okolní teplotě a podmínkách částečného zvětrávání. GRAPES (2006) uvádí, že méně kvalitní uhlí jsou více náchylná k samovznícení, přičemž tuto abnormalitu vysvětluje petrografickým složením, neboť sub-bituminózní uhlí obsahují více macerálů (např. vitrinit), které zvyšují pravděpodobnost vzniku tohoto procesu. ČESNOKOV et ŠČERBAKOVA (1991) zmiňují opačné chování, kdy obsah popelovin přispívá k redukci samovznícení, přičemž některé složky např. soda, železo nebo CaO přispívají k urychlení tohoto procesu. Naopak křemík nebo hliník zpomalují tento proces (DIDARI et ÖKTEN 1994).

GRAPES (2006) považuje teplotu vzduchu za přímý faktor, kdy se stoupající teplotou roste rychlost oxidačních reakcí.

Proces samovznícení ovlivňuje řada endogenních a exogenních faktorů, které spolu navzájem působí a nelze je jednoznačně oddělit. Např. budeme-li hodnotit nebezpečí vypuknutí endogenního požáru na haldě, nemůžeme vycházet pouze z procentuálního obsahu uhelné hmoty obsažené v deponovaném materiálu nebo z náchylnosti k samovznícení. V minulosti byl za bezpečné množství považován 10 % obsah uhelné hmoty (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

Dalšími faktory ovlivňujícími samovznícení jsou obsah kyslíku, vlhkost, teplota atd. (KUCUK et al. 2003; SEJKORA 2002). CIGÁNEK (1998) uvádí, že samovznícení ovlivňuje obsah a kvalita hořlavých látek, tvar haldy, zhutnění. Naproti tomu AKGÜN et ARISOY (1994) a NUGRUHO et al., (2000) uvádějí, že samovznícení závisí také na dostupnosti kyslíku, velikosti hromady hlušiny, obsahu pyritu a uhlí. KRAJČIOVÁ et al. (2004) uvádějí že, mezi nejvýznamnější parametry ovlivňující proces samovznícení jsou: počáteční teplota, obsah vlhkosti, velikost částic, pórovitost, uhelná reaktivita a atmosférické podmínky (HAYES 2000). Autoři DIDARI et ÖKTEN (1994) potvrzují existenci inverzního vztahu mezi velikostí

částic a samovznícením. Uvádí, že pokud bude docházet ke zmenšování velikosti zrn a nárůstu velikosti exponovaného povrchu, zvyšuje se pravděpodobnost uhlí k procesu samovznícení. CARRAS et al. (1994) uvádějí, že pokud jsou částice velké, tak proudění vzduchu snadněji rozptýlí teplo. Naopak u jemných materiálů dochází ke stagnaci proudění vzduchu a teplo narůstá postupně. Nicméně, stagnující proudění vzduchu znamená, že požáry způsobené rostoucím (kumulativním) ohříváním se zastaví, jakmile se spotřebuje kyslík obsažený v materiálu. Distribuce odpadu v odvalech je závislá na vrstvení, resp. ukládání těžené půdy a též na vysypávání odpadu což způsobuje odlišné vrstvení a míchání materiálů v haldě. Kyslík a vodní pára jsou rozhodujícími faktory pro spontánní samovznícení. Požáry zapříčiněné samovznícením se poměrně často vyskytují při těžbě uhlí (KRISHNASWAMY et al. 1996). V minulosti byly sledovány zejména z hlediska důlní bezpečnosti, v současné době jsou zkoumány jako zdroje skleníkových plynů. Uhlí a uhelná suť reaguje s atmosférickým kyslíkem a dochází k uvolňování tepla. Za určitých podmínek, je teplo akumulováno a zvyšuje teplotu uvnitř materiálu. Se zvyšující se teplotou narůstá rychlost chemické reakce a vzniká teplo (CARRAS et al. 1994).

Významným faktorem je čas, neboť teplo, které vzniká chemickou reakcí se během času snižuje až do doby, kdy dosáhne rovnováhy O_2 s uhelnou hmotou. SLIVKA et JELÍNEK (2006) uvádějí, citují: „Dlouhodobým kontaktem uhlí se vzdušným kyslíkem se na povrchu uhlí vytváří vrstva zoxidované uhelné hmoty ve formě oxidačního lemu, která za stálých teplotních a tlakových podmínek představuje rovnovážný produkt interakce kyslíku s uhlím, zvyšuje jeho teplotu vznícení a tím mění i dispozici k samovznícení“. V procesu samovznícení působí endogenní (např. vlhkost uhelné hmoty, fragmentace, pórovitost, stupeň prouhelnění atd.) a exogenní (např. koncentrace kyslíku, teplota okolí ložiska záparu, granulometrická skladba uhlí a hlušiny, tvar odvalu, klima) faktory (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

NĚMEC et OSNER (2005) uvádějí, že samovznícení uhlí v odvalech a jeho potlačování probíhá za odlišných podmínek v porovnání s důlním prostředím. Neboť je uhlí obklopené hlušinou, která se liší tepelně izolačními účinky a jejíž vlhkost udržuje obsah vody v uhlí na zcela jiné úrovni než v dole. Uhlí se v odvalu nachází v partikulární formě, což způsobuje vznik porézní struktury haldy. Tato struktura umožňuje proudění vzduchu, což má za následek trvalý přísun kyslíku a naopak odvod plyných zplodin v případě oxidačních reakcí. Pokud dochází k potlačování

výměny plynů, zplodiny inertizují reakční prostředí. Dlouhodobá interakce uhlí se vzdušným kyslíkem vede k samovznícení uhlí. Samovznícení uhlí včetně obsahu uhelné hmoty ovlivňují další faktory, zejména: velikost a tvar odvalu, přístup vzduchu, vliv vody, možnost výměny tepla a další (NĚMEC et OSNER 2005). Často se zapomíná na další významné faktory, mající vliv na výše uvedený proces, konkrétně geologické a přírodní poměry. GRAPES (2006) a DIDARI et ÖKTEN (1994) uvádějí, že sedimentární horniny v blízkosti uhelné sloje jsou považovány za špatné vodiče tepla. Vzniklé zlomy nebo praskliny usnadňují kontakt s vodou a kyslíkem, což vede k oxidaci a následnému vzplanutí. Oblasti, kde dochází k samovznícení uhlí jsou antiklinální nebo riftové. Nezanedbatelný vliv mají i bakterie, kdy mikrobiální rozklad organické hmoty vede k produkci tepla a následnému samovznícení.

Proces samovznícení uhlí je dlouhodobý a vlastní hoření může trvat několik desítek let. Např. podzemní samovznícení v čínské Liu Huangou začalo přibližně před 20 lety a bude trvat ještě 40 let (HAYES 2000). Pro srovnání halda Ema na Ostravsku v ČR byla založena již před rokem 1920 a projevy termické aktivity se samovznícením jsou patrné dodnes (KRESTA et HÁJOVSKÝ 2010).

Teplota vznícení hořlavých látek se liší dle druhu uhlí. Pro černé uhlí se teplota pohybuje v rozmezí 150 – 325 °C, u hnědého uhlí je teplota nižší 150 – 250 °C, naopak u koksu je teplota nejvyšší okolo 300 – 750 °C (CIGÁNEK 1998).

3.4.1.1 Indikátory samovznícení

Proces samovznícení uhlí probíhá v ohniscích za velmi vysokých teplot, poté se postupně rozšiřuje na materiál nacházející se v těsné blízkosti (KUENZER et al. 2007).

Proces samovznícení uhlí se projevuje buď v podobě hoření, nebo termickým rozkladem. Za vysokých teplot a při dostatečném množství kyslíku dochází ke vzplanutí, které je typické pro povrchové vrstvy, které jsou více prokysličené. Současně dochází k uvolnění tepla. Díky intenzivnímu proudění vzduchu dochází v povrchové zóně uhelných hald k úplnému vyhoření uhlí, uhelných hornin, případně dalších materiálů náchylných k samovznícení (ČESNOKOV et ŠČERBAKOVA 1991).

Klasické hoření neprobíhá ve větších hloubkách kvůli absenci kyslíku. V těchto místech dochází ke karbonizaci, která probíhá při teplotách 400 – 1200 °C (KREVELEN 1993). Výsledkem je vznik koksu a uvolňování plynů (koksárenský, svítiplyn), amoniaku a dehtu. Plyny obsahují: oxid uhelnatý, dusík, metan, vodík, sirovodík, kyanovodík, uhlovodík atd. Reakce mezi jednotlivými komponentami způsobují vznik organických minerálů (CARRAS et al. 1994; MATÝSEK et RACLAVSKÁ (1999).

Nejvíce se projevy hoření na povrchu odvalu objevují v nejvyšších částech, kde se vlivem objemových změn vytváří trhliny, které se působením vnitřních a vnějších faktorů zvětšují. Vnitřní (endogenní) faktory jsou bezprostředně svázány s uhlíkem a projevují se v podobě náchylnosti uhlí k samovznícení. Exogenní (vnější) faktory zahrnují technologické, geologické, hydrogeologické či mikroklimatické podmínky, které se liší v závislosti na konkrétní lokalitě. Vedle těchto trhlín se zde objevují menší otvory s velikostí od 0,1 do 50 cm (TARABA et al. 1999; 2006). Lze je označit jako fumaroly, které jsou v odborné periodice definovány jako sopečné exhalace v podobě výronů par a plynů, jež jsou typické pro sopečné oblasti.

Teploty na povrchu odvalu se liší v závislosti na vzdálenostech od ohnisek. Za nižších teplot vznikají v blízkosti trhlín a fumarol povlaky síry, dehtu, síry s obsahem arzenu či jehlice selenu. V bezprostřední blízkosti ohnisek mohou působením nejvyšších teplot sublimovat ryzí olovo či galenit (pozn. v závislosti na složení původního materiálu) (SEJKORA 2002).

Většina hald začala hořet již při samotném nasypávání a existují případy, kde dohořívá i po ukončení násypu ještě několik let. Procesy spojené s vychladnutím odvalů jsou závislé na velikosti haldy a obsahu (složení) uloženého materiálu (SOKOL 2002).

3.4.1.2 Měření a monitoring termické aktivity

Jak již bylo uvedeno, na řadě odvalů dochází k procesu samovznícení, které vede ke znečištění ovzduší, uvolňování škodlivých a skleníkových plynů a v neposlední řadě ke vzniku uhelných požárů (povrchových či endogenních). Sanace negativních vlivů odvalů na životní prostředí je finančně náročná, obzvláště týkali se hašení požárů (NELSON et CHEN 2007).

Termický monitoring má širokospektrální využití, neboť se aplikuje při měření teplot u důlních odvalů, stavebních konstrukcí z hořlavých materiálů, skládek komunálního a průmyslového odpadu, silech apod. Je důležitým a účinným nástrojem v prevenci a včasné detekci teplotních anomálií, resp. uhelných požárů (v našem případě) na haldách, uhelných slojích, dolech atd.

Na základě naměřených dat lze provést vyhodnocení spočívající v upřesnění ohniska vznikajícího požáru, event. navrhnout konkrétní způsob sanace zasažené lokality.

Obecně se termický monitoring realizuje buď ve formě přímého měření (tzv. odpočtem) hodnot na displeji měřicího přístroje nebo pomocí dálkového přenosu dat (výpočetní technika x uživatel).

Termický monitoring zahrnuje dva základní způsoby měření, které mohou být doplněny o další měření např. formou termovize. Prvním způsobem je povrchové neboli pozemní měření (pro povrch, mělké hloubky a vrty), které zajišťuje vysoké rozlišení prostorových a časových údajů. Ty jsou pak využívány pro podrobný popis jednotlivých požárních zón. Je to metoda vhodná pro dlouhodobý monitoring, neboť také poskytuje referenční informace pro dálkovou termovizi (satelitní, ve vzduchu či UAV). Měření jsou samozřejmě různě srovnatelná (SCHLOEMER et al. 2010).

Povrchové teplotní anomálie poskytují základ pro další opatření. Avšak standardní metoda měření pomocí ručního infračerveného teploměru poskytuje nejednoznačné a často zkreslené výsledky. Tyto chyby jsou způsobeny vlivem okolních podmínek (teplota, vlhkost, rychlost větru, sluneční záření atd.). Přesnost také může snížit kontrast v emisivitě půdy a horniny (SCHLOEMER et al. 2010).

Pro povrchové měření se používá speciální infrateploměr, který zajistí rychlou indikaci teplotních anomálií. Někdy může být teploměr opatřen vpichovou nerezovou sondou, která se využívá pro dotyková měření. Pro zabudování a trvalý monitoring teploty slouží čidla pro bezkontaktní infračervené měření (HÁJOVSKÝ 2009).

Podpovrchový termický monitoring využívá speciální monitorovací jednotku či mobilní monitorovací jednotku, která umožňuje měřit teplotu např. až 3 m pod povrchem. Součástí této monitorovací jednotky je většinou nutná instalace sond (ocelových), které odolávají vysoké teplotě a tlaku (HÁJOVSKÝ 2009).

Vyšší přesnost umožňují teplotní sondy umístěné do hloubky 15 – 20 cm. Sondy umístěné do této hloubky se využívají pro měkký půdní pokryv. Tento typ

měření byl uskutečněn např. v oblasti Shouixi Gou. Naopak pro tvrdé skalní výchozy se využívají vrty o průměru 3 cm a hloubce 1 m. Tento způsob je sice dražší, ale místa se mohou monitorovat opakovaně s použitím standardních termočlánků a v kombinaci se zařízením na analýzu plynů. Měření bylo uskutečněno v oblasti uhelných požárů Wuda (SCHLOEMER et al. 2010).

V ČR se termický monitoring uskutečnil na haldě Ema na Ostravsku. Povrchové měření bylo realizováno do hloubky 30 cm ve vzdálenosti 10 x 10 m. Naopak podpovrchové měření se uskutečnilo v hloubce 3 m a to ve vzdálenosti 30 x 30 cm (KRESTA et HÁJOVSKÝ 2010).

Pro srovnání na lokalitě Krimich u obce Tlučná byl termický monitoring realizován ve dvou etapách. První etapa zahrnovala rekognaskaci povrchu odvalu. Druhá etapa spočívala v měření povrchových teplot odvalu infrateploměrem v síti 25 x 25 m. Naměřené body byly zaznamenány pomocí GPS. Poté bylo realizováno měření teplot v hloubce 30 cm pod povrchem a to ve stejných bodech jako předchozí měření (HÁJOVSKÝ 2009).

Systém dálkového monitoringu je založen na pravidelném měření teploty v daném místě (prostředí) kdekoliv v ČR. Systém pracuje na principu snímání teploty uvnitř instalovaných měřících sond do prostoru, kde je předpoklad termických procesů. Termická čidla jsou zde umístěna stabilně a snímané hodnoty jsou zaznamenávány do přenosového protokolu a přenášeny pomocí sítě GSM na dispečink k vizualizaci.

Uhelné haldy a požáry se dají také monitorovat prostřednictvím dálkového průzkumu (DPZ), který spočívá v multispektrální analýze dat. DPZ plní významnou roli při vyhledávání lokalit uhelných požárů a jeho podstata spočívá ve vyhodnocování leteckých a družicových snímků (RENÉ 2007). DPZ se většinou využívá pro velmi rozsáhlé plochy, např. monitorování odvalů v Číně a Indii (STRACHER et TAYLOR 2004). DPZ má své počátky kolem roku 1963, kdy společnost vyrábějící letecké termovizní kamery prováděla jejich testování nad hořícími haldami v Pennsylvánii. Poté bylo uskutečněno několik dalších leteckých průzkumů. Na základě těchto pozorování v terénu bylo zjištěno, že uhelné požáry souvisejí s tepelnými anomáliemi a téměř vždy se nacházejí v těsné blízkosti, kdy je uhlí vystaveno na povrch (KUENZER 2005).

Velký pokrok zaznamenaly infračervené kamery, které se používají pro sledování a měření teploty s možností nočního vidění. Mnohé uhelné společnosti

využívají tento systém, nejen pro ochranu skladových zásob, ale také pro ochranu zaměstnanců, kteří pracují v rizikových oblastech výskytu uhelných požárů a samozřejmě jako preventivní opatření před těmito požáry. Kamera bývá umístěna na vysokém stožáru a tak získává prostor pro rozsáhlý monitoring (FLIR SYSTEMS 2005).

Získané hodnoty termického monitoringu se zpracovávají v grafické podobě většinou v závislosti teplota/čas. Na základě vyhodnocení získaných křivek lze včas indikovat možnost vzniku termického procesu, event. upozornit na vznik požáru. Z naměřených hodnot a jejich přesné interpretaci lze navrhnout konkrétní způsob sanace.

Termický monitoring bývá často doplněn o monitoring plynných emisí, tzv. atmosscreening, jež slouží k detekci plynných zplodin v procesu samovznícení.

3.4.1.3 Detekce a indikace plynů v procesu samovznícení

Problémem včasné indikace samovznícení uhlí se hornictví zabývá již více než sto let. Během této doby ještě nebyla objevena zcela vyhovující metoda, pomocí které by bylo možné přesně a včas identifikovat teplotu ohniska již v počátečním stádiu. Koncem devatenáctého století probíhaly první experimenty, které se zabývaly detekcí plynných zplodin v počátečních stádiích samovznícení uhlí. Během těchto pokusů bylo zjištěno, že s procesem samovznícení souvisí uvolňování oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého (WANG et al. 2003a; ŠANCER 2004).

Závažnost a neznalost této problematiky vedla v roce 1913 k založení Donkasterské uhelné výzkumné laboratoře, která se podrobněji zabývala zkoumáním a monitoringem tohoto procesu. V průběhu několika experimentů bylo zjištěno, že oxid uhelnatý se vyvíjí v malých koncentracích i při teplotě okolí a že jeho vývoj roste se zvyšující se teplotou. Na základě těchto skutečností byla vyvinuta aparatura, která byla schopna detekovat koncentrace CO od 10 ppm. Pro určení stavu samovznícení byla Grahamem navržena metoda, která spočívala ve stanovení poměru CO nebo CO₂ se spotřebou kyslíku, známá jako Grahamův poměr (Grahamova čísla). V současné době patří tato metoda k nejstarším, ale v řadě zemí je stále využívána zejména pro detekci teploty v ohnisku. Výhodou této metody je nezávislost na ředění monitorovaných plynů v místě odběru, naopak nevýhodou je nepoužitelnost v důlních dílech (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

Při aplikaci této metody v praxi bylo zjištěno, že pro vznik záparu je typický úbytek kyslíku, potom poměr $\text{CO}_2/\Delta\text{O}_2$ a nakonec poměr $\text{CO}/\Delta\text{O}_2$. Tento jev se zakládá na fyzikální absorpci kyslíku na uhelné hmotě s přechodem na chemisorpci kyslíku a uvolněním povrchu pro další fyzikální absorpci. Chemisorpce kyslíku je doprovázena exotermní reakcí. KITTAGOWAM (1959) uváděl ve výsledcích svých výzkumů, že se v důlním ovzduší vyskytují některé uhlovodíky, zejména etylén. Koncentrace etylénu byla velmi nízká v té době špatně měřitelná, tudíž Kittagowam navrhl vlastní detekční trubičky pro sledování CO a C_2H_4 . (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

Začátkem šedesátých let se touto problematikou začali zabývat výzkumníci z Velké Británie, konkrétně Pursall, Banerjee a Gosh, 1962 - 63. Zaměřili se na chromatografické stanovení vyšších uhlovodíků v důlním ovzduší. Na základě svého výzkumu potvrdili, že výskyt a růst složek etylénu, propylénu a acetylénu (v tomto pořadí) signalizuje zahřívání uhelné hmoty. A naopak s poklesem teploty dochází k postupnému mizení výše uvedených nenasycených uhlovodíků a to v opačném pořadí (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

J.F. CUDMORE (1964) z Austrálie zjišťoval původ zápachu záparu, kteří zkušenější horníci dokázali rozlišit dříve než Grahamův poměr. Ze svých výzkumů potvrdil, že zápach je způsoben uhlovodíky a doporučil měření uhlovodíků pomocí citlivých plynových chromatografů s plamenoionizačními detektory FID (Flame Ionization detektor) (ŠANCER 2004).

MUZYCZUK (1966) potvrdil, že během nízkotepebné oxidace dochází k vývinu alifatických uhlovodíků, jejichž koncentrace se zmenšuje s počtem atomů uhlíku a částečně zvyšuje s růstem teploty při oxidaci uhlí. Uvedený experiment neprokázal výskyt aromatických uhlovodíků pod $300\text{ }^\circ\text{C}$. Zjištěna byla pouze přítomnost par benzenu a toluenu ve vzorcích plynů, které byly odebrány z hořících hald nebo v laboratorních podmínkách za vysokých teplot (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

CHAMBERLAIN (1976) společně se svým kolektivem prováděl několik pokusů zaměřených na alifatické i aromatické uhlovodíky. Upozornili na skutečnost, že i když je CO nejvhodnější indikační plyn pro detekci tepelného stavu uhlí, jeho koncentrace narůstá až po překročení kritické teploty, která se pohybuje v rozmezí $30 - 70\text{ }^\circ\text{C}$ v závislosti na stupni karbonifikace (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

CHAKRAVORTY et FENG (1978) prováděli obdobný výzkum jako Chamberlain. Předmětem pokusu bylo postupné zahřívání odebraných vzorků uhlí a sledování, resp. analýza oxidačních produktů. Z měření vyplynulo, že do 74 °C byly produkty oxidace CO₂ a CO. Při teplotě 110 °C se začaly objevovat stopy vodíku a etanu, přičemž množství těchto plynů bylo menší v porovnání s CO. Za vyšších teplot se začaly uvolňovat další uhlovodíky (propan, butan atd.) (ŠANCER 2004).

EICKER (1993) uvádí, že pro hodnocení samovznícení se hodí vodík, neboť se rychle dostává difúzí z ohniska do větrního proudu a je jen ztěžá adsorbován na uhlí a horninách. Pro přesné stanovení vodíku použil chromatograf v nevybušném provedení, který dokázal analyzovat metan, etan či etylén. V laboratorních podmínkách bylo zjištěno, že vývin CO se stoupající teplotou graduje a při teplotách 150-250 °C se koncentrace vodíku mění nepatrně. Ethylen stoupá z 1 ppm při 150 °C na 100 ppm při 350 °C. Dále zdůrazňuje, že poměr H₂/CO s růstem teploty do 300 °C klesá, poměr C₂H₄/H₂ roste. Na závěr konstatuje, že pokud má poměr H₂/Co klesající tendenci, teplota v ohnisku stoupá. Pokud jsou zaznamenány stopy C₂H₄ znamená to, že teplota musí být vyšší než 150 °C (ŠANCER 2004).

Skupina výzkumníků z Hokaidské univerzity představila v devadesátých letech „čichový“ detektor sloužící pro včasnou detekci samovznícení. Detektor tvoří dvouvrstvá lipidová receptorová membrána. Pachy, které jsou absorbovány membránou jsou určovány pomocí piezoelektrické krystalové jednotky. Jednotka je oscilátor, který vibruje rychlostí řádu MHz.. Princip je následující: membrána absorbuje pachy, dochází k nárůstu její hmotnosti a ke změně frekvence piezoelektrické jednotky. Detektor měří velikost frekvenčních změn a výstupem je elektrický signál, jež identifikuje absorbované pachy a současně umožňuje měření frekvence. Výhodou detektoru je, že může obsahovat až 5 odlišných senzorů s variabilní citlivostí dle různých plynů (ŠANCER 2004).

Začátkem 70. let se výzkumem vývinu uhlovodíků z hnědého uhlí zabývali Hrubý a Charamza s Kusým. Při zahřívání uhlí zaregistrovali stopy etylénu při teplotě 60 °C, při 100 °C již měřitelné koncentrace nad 1 ppm (ŠANCER 2004).

LANKOVÁ et al. (1975) provedla první oxidační zkoušku v OKR. Zkoušky byly prováděny při teplotách 150, 200 a 240 °C. Za těchto teplot byly pomocí chromatografu určovány koncentrace metanu, etanu, propanu, n-butanu a propylénu. Zkoušky potvrdily výše uvedené skutečnosti (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

V sedmdesátých a osmdesátých letech probíhal jeden z nejrozsáhlejších výzkumů v ČR. Byl realizován pod záštitou VVUÚ v Ostravě Radvanicích, konkrétně HARAŠTOU et al. (1979). Hlavním cílem výzkumu bylo nalézt koncentrační změny uhlovodíků, CO a CO₂ v závislosti na teplotě oxidace uhelné hmoty a dále pak stanovit metodiku sledování průběhu samovznícení na základě změn koncentrace plyných produktů (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

Současně s tímto výzkumem probíhaly další výzkumné práce na HBZS v Ostravě. Předmětem těchto prací bylo stanovit metodiku pro zjištění počátečního stádia samovznícení a to pomocí chromatografické analýzy uvolněných uhlovodíků. Tato metoda umožnila včasné zahájení prací souvisejících s utlumením procesu samovznícení, zmenšení škod jeho rozsahu či bezpečnost provozu. Tento způsob byl založen na pečlivém odběru vzorků ovzduší suchým způsobem a jeho stanovení pomocí chromatografie (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

Tato metodika byla upřesněna o výsledky z laboratorního prostředí a začala se aplikovat v praxi.

Na základě této metodiky lze vyhodnocovat stav procesu samovznícení dvěma způsoby:

- 1) z míst mimo průchodní větrný proud
- 2) z průchodního větrního proudu

První metoda slouží pro hodnocení koncentrace indikačních plynů, na základě kterých lze odhadnout teplotu v ohnisku záparu případně určit fázi procesu samovznícení. Sledují se koncentrace plynů v těchto fázích: zapařování, inkubační fázi a přechodové fázi samovznícení. Pomocí druhé metody se hodnotí vzorky důlního ovzduší, které byly odebrány suchým způsobem v přesně stanoveném místě. Hodnotící kritérium je absolutní vývin indikačních plynů (Q v dm³/min) (ŠANCER 2004; SNOPEK et ADAMUS 2012).

Z výše uvedeného souhrnu informací vyplývá, že indikace včasného stadia samovznícení trvala více než 100 let. Přesto nelze jednoznačně konstatovat, že je daná problematika dostatečně probádána. Naopak je potřeba se uvedenou problematikou dále zabývat a pokračovat ve výzkumu (ŠANCER 2004).

3.5 Inventarizace uhelných hald v ČR

V ČR se nachází několik uhelných hald, které by mohly v budoucnu posloužit jako alternativní (periferní) zdroje energie.

Jedná se o zdroj energie z deponovaných odpadů hald, ke kterému došlo při samovznícení zbytků pevných kaustobiolitů z těžby a úpravy. Podle některých odhadů dosahuje podíl odpadní uhlé složky např. na Kladensku až 20 %. Řada hald přitom v minulosti již prohořela a proto jsou dále energeticky nevyužitelné (CÍLEK 2006)

Některé hořící haldy jsou přitom pro svoji výjimečnou skladbu a výskyt teplomilných rostlin i předmětem speciální ochrany. Jiné, např. u obce Švermov, byly v 90. letech považovány za potenciálně využitelný zdroj pro výrobu teplé vody, která pak měla sloužit pro vyhřívání skleníků. Lokality hořících či vyhořelých hald bývají významnými nalezišti řady minerálů (TVRDÝ et SEJKORA 1999).

3.5.1 Haldy v Kladensko-rakovnické pánvi

Po roce 1870 představovalo Kladensko industrializovaný region, který v krátkém časovém horizontu ztratil svůj původní zemědělský ráz. V okolí Kladenska se nachází asi 200 různých uhelných šachet a štol a dále zde vzniklo kolem 150 hald. Většina z nich byla rozvezena, případně zarovnána s terénem nebo zmizela pod zástavbou. V současnosti zde můžeme dohledat haldy, případně jejich pozůstatky asi na 40 lokalitách. Kladenské haldy vznikaly v průběhu více než 100 let a z tohoto důvodu se liší jejich složení, velikost, slehlost a také náchylnost k hoření. Haldy z období 1850 – 1920 obsahovaly poměrně málo uhlé substance, neboť byly ručně těženy. V některých případech byly rozvezeny či překryty městskou a venkovskou zástavbou. Někdy se staly součástí, resp. jádry nových odvalů. Haldy z období 1920 – 1950 jsou větší a jejich materiál je hůře protříděný následkem využití mechanizace. Dalším charakteristickým znakem je, že bývají již tepelně alterované, sesedlé a obsahují kontaminanty buď v malém množství, nebo vůbec (SPUDIL 1998; NOVÁK et SVOBODA 1980).

V roce 1950 se začala využívat těžká mechanizace a zvyšovat produktivita práce, jež byla příčinou vzniku „nových“ hald. Následkem toho nebyly uhlé sloje vybírány, ale končily v odvalech, které často zahořivaly. Pokud byl uhlý materiál rychle zakryt a vyskytl se v anoxickém prostředí, mohl způsobit zahořívání i dnes.

Haldy z tohoto období jsou velké, mají vysoký sypný úhel, místy bývají náchylné ke stružkové erozi, sesuvům a jsou zdrojem prašnosti. V letech 1970 – 1990 se objevuje několik ústních zpráv pracovníků dolů, kteří uvádějí, že do hald byl často skladován toxický a jiný nebezpečný materiál. Haldy také obsahují stavební či komunální odpad, v některých případech bitumeny nebo použité oleje.

Odvaly Kladenska se skládají z několika druhů materiálů, které se liší chemickým složením a vlastnostmi a mají vliv na chování tělesa haldy nebo jejího okolí. Obsahují zejména horniny s uhelnou příměsí, uhelných prach pocházející z čištění překopů, škváru, odpad z uhelných prádel (JELÍNEK et DANĚK 2007).

Jak již bylo uvedeno, horniny s uhelnou příměsí podléhají zahořívání. Mezi charakteristické produkty zahořívání patří bílé vypálené jílovce, červené popely a škvára (JELÍNEK et DANĚK 2007).

3.5.2 Haldy v Ostravsko-karvinské pánvi

V ostravsko-karvinském revíru (OKR) se již přes 200 let dobývá černé uhlí a nacházejí se zde rozsáhlé stopy po hornické činnosti. Během tohoto období vznikla řada odvalů, přičemž některé z nich již nelze v krajině lokalizovat. V minulosti vznikaly odvaly kuželovitého tvaru, později docházelo k soustředění hlušiny na haldy plošného charakteru. V OKR lze charakterizovat dvě oblasti s výskytem odvalů a to: ostravskou a karvinskou (SLIVKA et JELÍNEK 2006; JELÍNEK et DANĚK 2007).

Pro slezskoostravskou oblast je typický výskyt malých a starších odvalů. Mezi plošně největší patří centrální odval Zárubek, pak odval v Hrušově-Heřmanicích a odvaly kuželovitého tvaru u dolu Petr Bezruč. Další haldy se nacházejí u dolu Ignác v Mariánských horách. Terasové a nižší odvaly jsou podél pravého břehu Ostravice. Naopak na protějším břehu je smíšená halda dolu Luis (Jeremenko) (SLIVKA et JELÍNEK 2006; JELÍNEK et DANĚK 2007).

Odvaly obsahují materiál z otvírkových a přípravných důlních děl (hlušinu, proplástky, podložní a nadložní horniny). Charakter odvalů se liší obsahem hornin, což je způsobeno vrstevní jednotkou v místě těžby, ale také např. technologií úpravy uhlí a hlušiny. Pokud chceme zjistit petrografické složení deponované hlušiny, je potřeba znát geologickou stavbu hornoslezské pánve (JELÍNEK et DANĚK 2007).

DOPITA et AUST (1997) uvádějí, že na území Ostravska bylo uloženo zhruba 73,9 mil. m³ hlušiny, na Frýdecku-Místecku 21,9 mil. m³ hlušiny a

v Karvinsku 45,3 mil. m³ hlušiny. Do roku 1994 bylo evidováno 279 odvalů, z toho na Ostravsku 115 odvalů. Údaje o počtu odvalů a celkovém množství deponované hlušiny se liší dle jednotlivých autorů odborných periodik.

Autor HAVRLANT et al. (1967) uvádějí počet odvalů 117 pro rok 1966. Pro rok 2000 je již evidováno 46 hald složených z hornického materiálu (HAVRLANT 2004). K redukci počtu odvalů docházelo vlivem slučování hald do větších komplexních celků a dále pak z důvodu využití jako stavební suroviny. Část odvalů byla již zrekultivována. Zejména v druhé polovině 20. století byla hlušina využívána pro rekultivaci nádrží, do základů silnic, pro výstavbu zemních těles nebo jako zakládka vyrubaných prostor (HAVRLANT 2004). V minulosti stejně jako dnes docházelo k záparům a samovznícení. HAVRLANT et al. (1967) uvádějí, že v roce 1967 v OKR hořelo 10 odvalů a dalších 8 již vyhořelo. Konkrétně se jednalo o tyto odvaly: odval dolu Jan Šverma, odvaly dolů Petr Bezruč (odval Ema) a Trojice, odval Dolu Odra. Menší požáry byly zaznamenány na těchto odvalech: odval dolu Jan Maria, odval Eduard Urx, odval v Heřmanicích, odval Vrbice, odval dolu Alexander a odval dolu P. Cingr.

V současnosti se odhaduje, že na území OKR prohořívá nebo prokazuje zvýšenou termickou aktivitu přes 20 odvalů. Nejvíce se jedná o tyto lokality: odval v Hrušově-Heřmanicích, odval Odra nebo odval Ema (JELÍNEK et DANĚK 2007).

3.5.3 Haldy v Severočeské pánvi

V této oblasti je výskyt odvalů malý v porovnání s jinými uhelnými oblastmi. ŠTÝS et al. (1981) uvádějí, že ačkoli je na haldy ukládáno velké množství skryvkového materiálu, obsah organické hmoty v odvalu je nízký. Mezi nejvýznamnější odvaly patří: odval u obce Nové Dvory a odval Želenky, který je již rekultivován.

Na odvalu Nové Dvory byly deponovány přírodní porcelanity. Uhelne požáry vznikající při výchozech uhelných slojí v období od svrchního pliocénu do konce pleistocénu zapříčinily vznik přírodních porcelanitů. Vyskytují se zde přechody od jílu, vypálené jíly a porcelanity. Intenzita protavení je závislá na řadě faktorů např. na teplotě, tepelné vodivosti horninového prostředí, petrografickém složení, délce trvání požáru atd. (BOUŠKA et DVOŘÁK 1997).

Pokud uhelná sloj vyhořela, byly termicky zasaženy především nadložní jíly, jílovité proplástky, podložní titanové jíly či sprašové hlíny. Na místech vypálených

hornin lze pozorovat strusku. Dalším typickým znakem je pestrá barva vypálených hornin (BOUŠKA et DVORÁK 1997).

3.5.4 Haldy v Rosicko-oslavanské pánvi

V Rosicko-oslavanském uhelném revíru se těží uhlí již od konce 18. století. V této oblasti se nachází celkem 11 (z toho 4 haldy v katastru obce Oslavany, 3 haldy v k.ú. Zbýšov, 2 haldy v k.ú. Babice u Rosic, 1 halda v k.ú. Zastávka a poslední halda v k.ú. Rosice) hald a 35 deponií (PLCHOVÁ 2002; 2008).

Haldy v Rosicko-oslavanském uhelném revíru jsou složeny zejména z hlušiny pískovcového charakteru, dále obsahují slepence, jílové a fylitické břidlice. Hlušina vznikala vlivem různých překopů a z třídíren uhlí (PLCHOVÁ 2002; 2008).

Haldy mají ve většině případů kuželovitý tvar, přičemž v několika posledních letech byly sypány za pomoci vrátku s výklopníkem. Sypání shora mělo za následek heterogenní rozvrstvení dle velikosti sypané hmoty a materiálu, přičemž největší kameny zůstávaly na úpatí odvalu. Některé dovaly obsahovaly více uhlí, což vedlo k jejich postupnému prohořívání. Jedním z příkladů je halda u dolu Františka, která hořela ještě v roce 1986 (těžba zde byla ukončena v roce 1955). Dalším příkladem je halda u dolu Kukla, která prohořívala v roce 1982, i přesto, že se zde přestalo těžit již v roce 1973 (PLCHOVÁ 2002; 2008).

V současné době dochází na Rosicko-Oslavansku k rekultivačním zásahům, které mají zahladit následky důlní činnosti (PLCHOVÁ 2002; 2008).

3.5.5 Haldy v Žacléřsko-svatoňovické pánvi

Žacléřsko-svatoňovická uhelná pánev vznikla ve spodním karbonu a je mořského původu. Oblast tvoří 30 slojí (Žacléřsko) a 13 slojí (Svatoňovicko). Černé uhlí pocházející z těchto míst se vyznačuje dobrou výhřevností, ale také vysokým obsahem popelovin (SMOLOVÁ 2008).

Počátky těžby jsou datovány již v roce 1811 (SMOLOVÁ 2008). V roce 1964 byla zaznamenána nejvyšší těžba uhlí, která dosáhla 905 tis. tun. Východočeský uhelný revír představoval během své existence zhruba 3 % těžby černého uhlí na území ČR. V porovnání s ostravsko karvinským revírem má oblast Žacléřsko-svatoňovicko menší význam. V současné době jsou již veškeré zásoby černého uhlí vyčerpány (ČSÚ 2013).

Významnými haldami v této oblasti byly odval dolu Kateřina v Radvanicích, jež je známý intenzivním hořením haldoviny a nákladnými sanačními opatřeními². Dalším je odval dolu Jan Šverma či odval Eliška v k.ú. Žacléř³.

3.6 Termická aktivita a monitoring hald v ČR

3.6.1 Termická aktivita a monitoring haldy Ema v Ostravě

3.6.1.1 Základní informace

Odval Ema je nejznámější hořící haldou na Ostravsku. Někdy bývá označována jako Ema - Terezie nebo Terezie - Ema. Má kuželovitý tvar a je významnou dominantu města. Nachází se na pravém břehu řeky Ostravice ve Slezské Ostravě. Rozloha je cca 22 ha. Terén je k JZ svažité (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

3.6.1.2 Charakteristika přírodních poměrů

Území lokality se řadí do vnější části západních Karpat (ostravská glacigenní pánev v soustavě vněkarpatských sníženin). Morfologie terénu haldy je přizpůsobena tvaru Trojického údolí, přičemž současný stav je výsledkem terénních úprav v tomto údolí (VŠB 2013).

Geologické složení předmětné lokality je značně složité a variabilní. Nacházejí se zde horniny uhlonosného karbonu (mělce pod povrchem). Převážná část území obsahuje zvětralá eluvia a skalní výchozy karbonu. Dále se zde nacházejí šedo zelené vápnitě jíly, zejména v severních částech lokality. Na celém území se střídají písky a hlíny, sprašové hlíny. V nižších částech svahů se vyskytují deluviální hlíny. Mezi hlavní geologický prvek, který modeluje původní přirozený tvar údolí v místě odvalu, patří vrstva navážkových formací, které v některých částech dosahují až desítek metrů a tvoří centrální kužel haldy Ema (SLIVKA et JELÍNEK 2006; VŠB 2013).

² Pozn. Odval dolu Kateřina v Radvanicích je v současné době zrekultivován a výzkum neprokázal termickou aktivitu.

³ Pozn. Na odvalech dolu Jan Šverma a haldě Eliška byla v rámci realizovaného výzkumu prokázána termická aktivita.

3.6.1.3 Historie vzniku odvalu

Halda Ema je komplexem odvalů bývalých dolů Ema, Trojice a Petr Bezruč. Jedná se o nejstarší odval na Ostravsku, který byl v provozu od roku 1920. Na základě svědectví pamětníků se těsně po válce do odvalu ukládaly sutě ze zničených domů, dřevěné piliny, výpěrky atd. Termická aktivita, včetně otevřených požárů zde probíhá řadu let (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

Uvádí se, že je zde uloženo až 8 mil tun hlušiny, která zde byla ukládána přibližně od roku 1920, kdy docházelo k prudkému rozvoji těžby uhlí na Ostravsku. Předpokládá se, že k zahoření došlo ještě před II. světovou válkou, přičemž projevy hoření jsou patrné dodnes.

3.6.1.4 Sanace odvalu

Na základě výše uvedených skutečností se prováděly pokusy o sanaci centrálního kužele. V 60. letech probíhal pokus sanace, jehož principem bylo společné sypání haldoviny a elektrárenského popílku. Tento pokus měl řadu nevýhod, např. vlivem separace hornin při vysypávání docházelo k sesouvání na úpatí kužele, což způsobilo, že se popílek dostal pouze do jednoho svahu. Vlivem srážek docházelo ke splachu popílku a k sesuvu svahu (SLIVKA et JELÍNEK 2006; VŠB 2013).

Přílehlý odval dolu Trojice obsahoval velké množství spalitelných látek a tak došlo k samovznícení a požáru. V roce 1977 probíhala sanace metodou plošného rýhování povrchu odvalu za využití suspenze elektrárenského popílku a vody. Touto směsí byla vytvořena izolační bariéra, která zamezila rozšíření požáru na haldu Ema. V roce 1982 musela havarijní komise OKD řešit zápar na SZ svahu odvalu, který by se mohl rozšířit na odval dolu P. Bezruč. Metoda sanace spočívala v pravidelném navážení elektrárenského popílku a překrytí vrstvou úpravárenských výpěrků (pozn. obsah spalitelných látek byl kontrolován). Tímto způsobem byla vytvořena izolační bariéra. Poté zde byly prováděny rekultivační práce.

Termická aktivita v současné době probíhá na JZ části svahu centrálního odvalu a to v pásu širokém 7 - 12 m na ploše 2 000 m². Lze zde pozorovat otevřené průduchy s únikem plynných zplodin (SLIVKA et JELÍNEK 2006; VŠB 2013).

Na komplexu odvalů byla zatím realizována rekultivace obvodového prstence, stabilizace a zploštění svahů a rovněž zalesnění (SLIVKA et JELÍNEK 2006; VŠB 2013).

3.6.1.5 Termický monitoring

Termická aktivita na haldě Ema byla zaznamenána již v minulosti a pokračuje i v současnosti. Realizovaný monitoring prokázal obsah spalitelných látek okolo 6 – 22 %, což je dostačující ke vzniku procesu samovznícení a rozvoje endogenního požáru. Screening plynů v odvalu indikoval obsah CH₄ (na spodní hranici citlivosti přístroje) a dále pak CO₂ (v půdním vzduchu v rozmezí 0,2 – 2,6 %, v otevřených průduchách až 9,7 %). Termický monitoring indikoval v hloubce 1m teploty cca 17 – 22 °C. V místech otevřených průduchů dosahovala teplota 65 – 67 °C (VŠB 2013). V letech 2007 – 2009 probíhaly další výzkumné práce, které spočívaly v pořízení termovizních snímků a termickém monitoringu, který probíhal v pravidelné síti 10 x 10 m v hloubce 30cm. Podpovrchové teploty byly měřeny ve stejné síti ale v hloubce 3m. Současně probíhal monitoring plynů v termometrických sondách (KRESTA et HÁJOVSKÝ 2010).

Státní podnik DIAMO zahájil v září 2009 výzkum zaměřený na analýzu rizik odvalů, zasažených endogenním hořením. Součástí tohoto výzkumu byla i halda Ema. Z analýzy rizik pro tento odval vyplynulo několik faktů a doporučení. Např. rizika spojená s deponovanou karbonskou hlušinou jsou trvalá a hrozí zde uvolňování škodlivin do vod. Je důležité vyhodnotit zdravotní rizika pro obyvatele žijící v okolní zástavbě v bezprostřední blízkosti odvalu a to formou rozptylových studií. Stále zde hrozí vznik samovznícení a rozvoje endogenního požáru, uvolnění plyných zplodin. Je doporučeno trvale provádět termický monitoring, který bude doplněn o leteckou termovizi. Pokud dojde ke zvýšení teploty uvnitř haldy nad 100 °C bude třeba provést v místě monitoring benzenu (HEJNIC 2009).

3.6.2 Termická aktivita a monitoring odvalu Krimich v Tlučné u Plzně

3.6.2.1 Základní informace

Jeden z nejvýznamnějších odvalů, který vykazuje intenzivní termickou aktivitu je odval Krimich na Plzeňsku. HÁJOVSKÝ (2009) uvádí, že v minulosti byl

tento odval zasažen značnou termickou aktivitou. Odval zaujímá plochu cca 11 ha. Max. výška je 72 m a objem cca 3,5 mil. m³.

3.6.2.2 Charakteristika přírodních poměrů

Odval se skládá ze dvou částí, přičemž jedna partie byla sypána jako ostrý odval a druhá jako plochý. Odval obsahuje zejména karbonské sedimenty, dále arkóзовé pískovce, prachovce a jílovce. Některé partie odvalu jsou prohořelé z důvodu obsahu uhelné substance (HÁJOVSKÝ 2009). Na odval byly v minulosti rovněž ukládány uhelné kaly a kaly z rybníků, které jsou též náchylné k samovznícení (ZUD 1994).

3.6.2.3 Historie vzniku odvalu

V roce 1928 byl založen důl Krimich II v Tlučné. Těžba byla ukončena v roce 1995. Vytěžilo se zde miliony tun kvalitního černého uhlí (HERNANDEZOVÁ 2013).

3.6.2.4 Sanace odvalu

Pro utlumení termické aktivity bylo provedeno povrchové těsnění jílovitou zeminou a jílem o síle 0,3 až 0,5 m. V letech 1998 – 2001 byl odval Krimich sanován a rekultivován. Metoda sanace a rekultivace spočívala v částečném rozhrnutí materiálu, což vedlo ke snížení svahů (ZUD 1994).

3.6.2.5 Termický monitoring

Firma ZUD a.s. v roce 2009 realizovala rozsáhlý výzkum odvalu zaměřený na termický monitoring. A poté na základě zjištěných poznatků vypracovala návrh na využití energie z odvalu (ZUD 1994).

Průzkum byl realizován ve dvou etapách. První etapa spočívala v rekognoskaci povrchu odvalu, jejíž součástí bylo měření povrchových teplot odvalu pomocí infrateploměru v síti 25 x 25 m. Vybrané body byly zaměřeny pomocí GPS a poté graficky zpracovány ve formě izoterem (ZUD 1994).

Druhá etapa zahrnovala měření teplot pod povrchem a to v hloubce 30 cm. Měření probíhalo ve stejných bodech jako v první etapě (ZUD 1994).

Z provedeného průzkumu bylo lokalizováno jedno místo s výskytem anomálního termického projevu. Naměřené povrchové i podpovrchové teploty byly

poměrně nízké a nesignalizovaly výskyt termické aktivity uvnitř odvalu. Na základě zjištěných výsledků bylo doporučeno provést tzv. hloubkovou termometrii hloubkovými měřicími sondami na vybraných 28 místech. Sondy umístěné do vrtů současně sloužily pro geologický průzkum dané lokality. Minimální vnitřní průměr sond byl 20 mm a byly umístěny do hloubky cca 20 m (HÁJOVSKÝ 2009).

V roce 2010 firma provedla hloubkový termický monitoring zahrnující instalaci 28 ocelových sond do hloubky 3, 1 a 0,8 m, které byly mechanicky zaráženy. Sondy představují silnostěnné ocelové trubky opatřené zářezem hrotem. Po zaražení sond do země musí být prostor mezi trubkou a zemním tělesem utěsněn rychletuhnoucí polyuretanovou hmotou, aby se zabránilo pronikání vzduchu do hloubi odvalu. Teploty se měřily v hloubce 3, 1 a 0,8 m pod povrchem speciální monitorovací jednotkou. Získané hodnoty byly graficky zpracovány do tvaru izoterem. Současně bylo provedeno letecké snímání Krimichu společně s Týneckou a Zbušskou haldou. Za pomoci termovize lze určit místa s největším zdrojem tepla. Snímání je nutno provést za vhodných podmínek pro termovizi a to z důvodu možného zkreslení vykazovaných hodnot (ZUD 1994; HÁJOVSKÝ 2009).

V únoru 2010 docházelo při měření teplot k abnormálnímu tání sněhu na ploše 1500 m² (HÁJOVSKÝ 2009).

Měření sloužilo pro stanovení hloubky, ze které by bylo možno jímat teplo (HÁJOVSKÝ 2009).

3.6.2.6 Způsob technologie pro jímání tepla

Navrhovanou technologií pro jímání tepla je tepelné čerpadlo země – voda. Ideální hloubka pro čerpání tepla je 50 – 100 cm, kde se předpokládá teplota okolo teplota 50 až 60 °C. Teplota dodávaná do výměníku tepla by se pohybovala okolo 35 °C (HÁJOVSKÝ 2009). Technologie je složena z kompresoru, deskových výměníků a kompletní automatiky s ochrannými prvky. UJHÁZY et al. (2012) uvádějí, citují: „Použitý kompresor má chladičový výkon +/- 13 kW při To -5 °C a TK 55 °C s chladivem R134a a napájením 400V a maximálním provozním odběrem 16 A. Deskový výparník je napočítán s médiem na primární straně s nemrznoucí kapalinou s bodem tuhnutí při – 25 °C. Deskový kondenzátor je v provozu s vodou“. Technologie je ovládána pomocí regulátoru, který lze napojit na monitoring s monitorovací jednotkou. Navíc je doplněna aditivním vyhříváním kompresoru, které se řídí teplotou v místnosti.

Zemní kolektor je složen z 5 okruhů, přičemž délka jednoho okruhu je maximálně 100 m. Zemní kolektory využívají 2 druhy vedení s lineárním prouděním média, konkrétně plast odolávající vysokým teplotám pro cca 90 °C (3 okruhy) a měděné vedení (2 okruhy) (UJHÁZY et al. 2012).

V zemi je provedena instalace sítě podzemních trubek, které jímají teplo a odvádí ho do tepelného čerpadla pro stabilizaci teploty a poté do výměňkové desky (výměňkové akumulční nádoby) (HÁJOVSKÝ 2009). Je doporučeno instalovat výměňkovou stanici v bezprostřední blízkosti odvalu. Technologicky musí být navržena tak, aby nedocházelo k teplotním anomáliím (zejména kolísání teplot) a aby zajišťovala stabilitu vlastního výkonu (HÁJOVSKÝ 2009; UJHÁZY et al. 2012).

Na základě vyhodnocení průzkumných měření se stanoví kapacita. Pokud by docházelo k jímání tepla z teplejších lokalit, může se technologie prodražit (např. z důvodu využití jiného materiálu). Současně by docházelo k postupnému ochlazování odvalu, což je nežádoucí, neboť se zkracuje doba využitelnosti. Cílem je tedy zachovat termický potenciál a pozvolné prohořívání odvalu. Rovněž je potřeba zamezit narušení procesu v hloubi odvalu, čehož se dosáhne tím, že se vyhloubí jamky do předem stanovené hloubky a poté se zaizolují. Tímto způsobem lze vytvořenou síť regulovat a docílit rovnovážného stavu. Čerpat se bude z potřebného počtu míst, nikoliv z celé sítě najednou. Tento systém umožní aplikace vhodných regulátorů, které budou součástí sítě (HÁJOVSKÝ 2009; UJHÁZY et al. 2012).

3.6.2.7 Využití technologie jímání tepla pro skleník

Ve druhém kvartálu 2012 probíhaly přípravné práce sloužící pro zajištění měření jímaného tepla pro potřeby skleníku o rozměrech 10 x 5 m, cca 80 m³. Cílem provozního pokusem ve skleníku bylo navodit zcela reálné podmínky s danými parametry pro dosažení nejpřesnějších hodnot. Důraz byl kladen na zajištění stability teplotních podmínek pro pěstování zemědělských komodit, v tomto případě jahod (od sazenic až po plody) a to i v období zimy.

Z tohoto experimentu lze pak vyvodit závěr, který umožní zhodnotit provoz získávání tepla z prohořívajícího odvalu (UJHÁZY et al. 2012).

3.6.2.8 Výsledky termického monitoringu

Výsledky termického monitoringu prokázaly pokles teplot od roku 2010 v zóně při povrchu odvalu. Dále byly zjištěny 3 teplotní pole s teplotou vyšší než 40 °C

v hloubce 3 m. V současné době jsou na haldě detekována další 2 pole s teplotami nad 40 °C jak ve 3 m, tak v hloubce 0,8 resp. 1,0 m (UJHÁZY et al. 2012).

Průzkum prokázal přímou závislost teplot povrchu odvalu na okolním ovzduší. Rovněž byla zjištěna přímá závislost teplot v hloubce 3, 1 a 0,8 m na teplotě ovzduší. Pro tento případ se zde projevuje setrvačnost řádově cca 1 měsíce při zahřívání a chladnutí odvalu (UJHÁZY et al. 2012).

Odebírané teplo z odvalu by v budoucnu mohlo posloužit pro sídliště, školu či bazén nacházející se v blízkosti odvalu. Na odvalu je plánována fotovoltaická elektrárna (HÁJOVSKÝ 2009).

3.6.3 Termická aktivita a monitoring haldy Hedvika v Ostravě

3.6.3.1 Základní informace

Odval Hedvika je hlušínový odval bývalého dolu J. Fučík. Je složen z hlušínových navážek, které navazují na S a Z okraj závodu Hedvika. Odval je rekultivován v podobě náletů, zčásti osázen rekultivačními dřevinami. Severní část odvalu tvoří násypy hlusiny. Odval má plochu 32 ha a objem činí 4,2 mil. m³. Průměrná sypná výška činí 15 m a maximální 40 m (HÁJOVSKÝ et KRESTA 2012).

3.6.3.2 Charakteristika přírodních poměrů

Odval leží na východním okraji katastrálních území Radvanice a Michálkovice. Východní partie odvalu se řadí pod Karvinou. Okolí odvalu obklopují Panský les a Velký ostravský les. Na odvalu se nachází místní komunikace. Odval obsahuje hlušinu, prachovce, jílovce, strusku, střípky černého lesklého uhlí (HÁJOVSKÝ et KRESTA 2012).

3.6.3.3 Historie vzniku odvalu

Doposud není známo přesné založení odvalu, nicméně se předpokládá, že k navážení docházelo již v roce 1903 a to zejména z hloubení a otvírek. Nejstarší partie odvalu leží v okolí bývalého důlního závodu. Postupem času vzrůstal objem těžby a halda se začala rozšiřovat na SZ k Michálkovicím. K transportu hlusiny docházelo pomocí důlních vozíků. Chronologie rozvoje odvalu byla zdokumentována na základě vojenského leteckého snímkování (VŠB 2013).

Odvalování je v roce 1947 směřováno na S a Z směrem od areálu dolu Hedvika. V roce 1949 dochází k rozšiřování odvalu ve střední partii SZ a to v linii morfologické deprese. Výška haldy se v tomto místě pohybuje okolo 270 m n. m. V roce 1957 byl zaznamenán první požár deponované hlušiny a to v severní partii haldy. Dle ústního sdělení byl zlikvidován metodou přemístění a hašením. V roce 1961 dochází k odvalování k Z a SZ a to pomocí důlních vozů a rovněž nákladními vozy. V roce 1964 dochází ke gradaci odvalování a v roce 1966 se již halda rozšiřuje všemi směry. V období 1966 – 1971 proběhla rozsáhlá rekultivace. Pro rok 1971 je navíc typické odtěžování a hašení odvalu s následným dorovnáním do finální podoby (VŠB 2013).

3.6.3.4 Sanace odvalu

V minulosti proběhla na odvale rozsáhlá rekultivace, přičemž v současnosti je značná část porostlá vegetací. Severovýchodní část odvalu je bez známek termické aktivity, naopak v centrální části jsou patrné projevy termických procesů (HÁJOVSKÝ 2014).

3.6.3.5 Termický monitoring

V letech 2009 – 2012 byl realizován rozsáhlý výzkum zaměřený na termické procesy vzniklé při těžbě uhelných ložisek, vývoj metod a zařízení pro využití jejich termického potenciálu. Výzkum realizovala firma Arcadis Geotechnika a.s. ve spolupráci s SG Geoinženýring s.r.o., ZUD a.s. a Ústavem struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i. pod záštitou Ministerstva průmyslu a obchodu (HÁJOVSKÝ et KRESTA 2012).

3.6.3.6 Způsob a technologie pro jímání tepla

Pro jímání tepla bylo zhotoveno speciální zařízení, které bylo složeno ze 4 jímacích nádob. Tyto nádoby byly zaplněny vodou a současně zde bylo umístěno potrubí sekundárního rozvodu. Voda ze sekundárního rozvodu byla dále vedena do vytápěcí jednotky, která byla umístěna ve skladovací hale a do zásobníkového ohříváče, jež slouží k přehřívání vody. Cirkulace vody v sekundárním obvodu byla zajištěna pomocí oběhového čerpadla.

Technologické zařízení dále obsahovalo průtokový měřič s tepelnými čidly, jež monitorovaly vstupní a výstupní teploty tohoto rozvodu. Pro vyrovnávání tlaků sloužila expanzní nádoba.

Během provozu technologického zařízení docházelo k monitoringu vnitřního prostředí haldy. Z toho důvodu byly na odvale do hloubky 6 m zaraženy měřící sondy a to v předem určených vzdálenostech od jímacího zařízení. Sondy obsahovaly teplotní čidla a byly propojeny na jednotku sloužící pro dálkový přenos naměřených hodnot. Provoz čerpadla byl zajištěn z klasické sítě.

První etapa ověřování jímání tepla byla realizována v období 3 – 4/2011. Pro instalaci jímacích nádob byly do hloubi odvalu vyvrtány vrty s průměrem 400 mm a hloubkou 6 m. Poté zde byly umístěny jímací nádoby společně se spirálami sekundárního okruhu. Během vrtání byly odebírány vzorky materiálu ukládaného na haldu a analyzovány geologem. Z jímacích nádob byla voda vedena do sběrného místa, kde bylo instalováno oběhové čerpadlo a průtokový měřič. Současně zde byla nainstalována jednotka sloužící pro dálkový termický monitoring.

Druhá etapa ověřování jímání tepla byla realizována v prvním kvartále 2012 a využívala získané poznatky a praxi z první etapy. Na začátku března byla provedena instalace nových typů jímacích zařízení do stejné hloubky a o stejném průměru. Z jímacích nádob byla voda vedena do kontejneru s průtokovým měřičem a poté vysílací jednotkou sloužící pro dálkový termický monitoring. Z tohoto místa je pak voda vedena do kontejneru z první etapy a následně propojena s okruhem, který slouží pro vytápění budovy skladu a ohřev vody. Stejně jako v předchozí etapě docházelo k odebírání vzorků deponovaného materiálu z odvalu a jeho vyhodnocení geologem.

Základní rozdíl mezi výše uvedenými etapami spočívá v konstrukci jímacích nádob, kdy voda (sloužící pro vytápění a ohřev vody) byla přímo ohřívána termickou aktivitou haldy (HÁJOVSKÝ et KRESTA 2012).

3.6.3.7 Možnosti jímání tepla z míst s intenzivní termickou aktivitou

První a druhá etapa prokázala, že je technicky reálné jímat teplo z míst, kde jsou teploty pod 100 °C. Pro zjištění technické možnosti využívání tepla z prostředí, kde jsou teploty vyšší než 100 °C byla realizována třetí etapa. Pro tento experiment byla vybrána partie v blízkosti haly s teplotou vyšší než 150 °C.

Do tohoto místa bylo instalováno zařízení, jež bylo schopné odolávat vysokým teplotám do 250 °C a přenosové médium na bázi oleje. Pro spotřebu získaného tepla sloužila vytápěcí jednotka.

V období 9-10/2012 byla ověřena funkčnost jímacího zařízení, což potvrdily výstupní teploty, které dosahovaly 50 – 60 °C, což je plně dostačující pro vytápění. Tento experiment prokázal, že lze jímat teplo i z míst s vyšší termickou aktivitou, kde se teploty pohybují v rozmezí 100 – 250 °C (HÁJOVSKÝ et KRESTA 2012).

3.6.3.8 Výsledky termického monitoringu

Termický monitoring byl realizován na dvou samostatných okruzích. Nejprve byla monitorována vstupní teplota vody v sekundárním okruhu a poté výstupní teplota. Vše probíhalo v rámci první, druhé a třetí etapy pomocí průtokoměru s tepelnými čidly.

Ve druhé fázi se monitorovala teplota uvnitř odvalu a to pomocí snímacích čidel, které byly propojeny s vysílací jednotkou. Tato jednotka zasílala zjištěné hodnoty denně do dispečinku. Termický monitoring probíhal v hodinových intervalech. S monitoringem teplot probíhal současně monitoring ovzduší ve sběrném místě.

Z výzkumu bylo zjištěno, že teplota v okolí jímacího zařízení č. 1 v průběhu čtvrtého kvartálu stoupala a to až k 90 °C. Naopak během roku 2012 došlo ke stagnaci až poklesu teplot (týká se pouze některých sond).

Některé sondy byly záměrně perforovány z důvodu možného vzniku požáru a umožnění snadného hašení. Tyto sondy současně umožňují monitoring koncentrací škodlivých (toxických) plynů.

Během dubna a května byly sledovány koncentrace CO a CH₄. Výskyt CO nebyl potvrzen. Metanu bylo naměřeno kolem 6 %. Opakovaná měření prováděná v červenci zaznamenala úbytek metanu na 2 – 3 %.

Pro jímání tepla sloužily 4 vertikální tepelné výměníky umístěné do termicky aktivních partií haldy. Z odvalu byla tepelná energie transportována do vodního prostředí. Oběhová čerpadlo zajišťovalo ohřev vody pro sprchy.

Zkušební provoz probíhající od června do listopadu 2011 získal 367 kWh tepelné energie, která ohřála 9 564 l vody a to tak, že její teplota byla zvýšena o 30 °C.

Od začátku jímání tepla do srpna 2012 bylo spotřebováno 30 627 kWh energie.

Termický monitoring prokázal postupný nárůst teplot, v některých místech event. stagnaci teplot s určitým kolísáním. Naopak vyloučil ochlazování odvalu.

Provedený výzkum jednoznačně prokázal reálnost instalace zařízení pro jímání tepelné energie z odvalu a stejně tak efektivitu využití pro ohřev vody a k temperování budov. Dále nebylo potvrzeno, že jímání tepla způsobí ochlazení okolního prostředí. Vědecké práce Ústavu geoniky AV ČR ve spolupráci s VŠB TU Ostrava prokázaly, že odběr několika set až tisíc kWh nemá vliv na termický potenciál odvalu.

Výše popsaný výzkum měl prokázat technologickou reálnost odběru tepla a nebyl dimenzován ke komerčním účelům.

Závěrem lze konstatovat, že pokud bude navrženo vyhovující technologické zařízení pro jímání tepelné energie, je možné efektivně a účelně využívat potenciál termicky aktivního odvalu (HÁJOVSKÝ et KRESTA 2012).

3.6.4 Termická aktivita a monitoring haldy Heřmanice v Ostravě

3.6.4.1 Základní informace

Odval je složen z rozsáhlého komplexu vzájemně propojených navážek, které převyšují terén. Tvar odvalu je kombinovaný a má nepravidelnou kupu ve střední části. Plocha odvalu činí cca 110 ha a maximální výška je 60 m. Objem odvalu je cca 17 mil. m³ (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

3.6.4.2 Charakteristika přírodních poměrů

Odval leží mezi bývalým dolem na jihu, železnicí Ostrava – Bohumín na západě a Heřmanickým rybníkem na východě. Součástí komplexu tohoto odvalu jsou i kalové nádrže. Halda Heřmanice je jednou z nejrozsáhlejších komplexů deponované karbonské hlušiny nacházející se v OKR (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

3.6.4.3 Historie vzniku odvalu

Sypání odvalu bylo zahájeno v roce 1930 a ukončeno v roce 1996. Odval byl nasypáván v Oderské nížině v lokalitě, kde se nacházely rybníky. Z hlediska historie byl odval složen ze dvou samostatných celků. K jejich sjednocení došlo až po roce

1976. Prvním z odvalů byla Karolína nacházející se severně od bývalého dolu Ida. V současnosti je zalesněn. Druhým odvalem je Svoboda ležící severně od bývalého dolu Heřmanice. Tento odval je převážně zalesněn (náletem břízy). Dalšími dílčími jednotkami nacházejícími se v komplexu odvalu Heřmanice jsou: autoodval (založen v roce 1970, povrch tvoří hlušina, svahy na J byly zalesněny), odkaliště (3 nádrže pro ukládání uhelných kalů, nyní jsou mimo provoz), dočišťovací rybníky a skládka koksárenských odpadů (sloužící pro ukládání tekutých chemických odpadů s obsahem dehtovitých látek z koksovny Svoboda, úložiště již bylo sanováno) (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

3.6.4.4 Sanace odvalu

Odval dlouhodobě vykazuje termickou aktivitu. Anomálie byly zaznamenány na odvale Svoboda. Deponovaný materiál je složen z prachovců, jílovců a karbonských pískovců. Obsah spalitelných látek v hlušíně činil v průměru 15 % (STONIŠ et al. 2004).

V 50. letech byly pozorovány menší projevy termických procesů. Výraznější projevy byly monitorovány v roce 1968. K utlumení termické aktivity byla zvolena sanační opatření zahrnující překryv vrstvou jílu o mocnosti 2 m. Ve třetím kvartálu roku 1998 byl zaznamenán větší zápar, který vyústil v požár, což vedlo k dalším sanacím (vykácení náletových dřevin, ochlazení odvalu vodou). Následně byl odval překryt jílovitou zeminou, popílkem a výpěrky z prádla (STONIŠ et al. 2004).

V roce 2013 byla znovu provedena termovize, která prokázala útlum termické aktivity na jižní terase odvalu. Na základě této skutečnosti byl zpracován návrh na sanaci části odvalu, jež spočívá v terénních úpravách zahrnujících vytvoření drenážní vrstvy a překryv vrstvou zeminy o mocnosti 40 cm. Poté bude provedena výsadba vegetace (HÁJOVSKÝ et JELÍNEK 2014).

3.6.4.5 Výzkum termických procesů

Termický monitoring prokázal teploty okolo 200 °C při povrchu odvalu (HÁJOVSKÝ et HORÁK 1998). Provedená sanace stabilizovala termickou aktivitu pouze částečně z důvodu malé mocnosti navezené zeminy.

V roce 2002 byl zpracován odborný posudek, který potvrdil intenzivní termickou aktivitu v J partii a rozšiřující se endogenní požár. Termické procesy potvrdila i zvýšená koncentrace CO (0,3 %) (HÁJOVSKÝ et HORÁK 1998).

V roce 2003 se přistoupilo ke komplexnímu leteckému infračervenému snímkování, které indikovalo ohniska zahoření (povrchová teplota byla vyšší než 40 °C). Ve stejném období byla realizována podpovrchová termometrie v hloubce 0,3 m pomocí zarážených sond. Terénní rekognoskace a výsledky měření prokázaly postupně se šířící termické procesy směrem k S a SZ. Koncem roku proběhla sanace inertní vrstvou granulátu (HÁJOVSKÝ 2003).

V období 2003 – 2004 byl uskutečněn dlouhodobý termický monitoring pomocí instalace ocelových sond v síti 50 x 50 m v hloubkách 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 a 30 m. K měření byly využity mobilní monitorovací soupravy (SLIVKA et JELÍNEK 2006).

V souvislosti s monitoringem byl proveden rozbor odebraných jader, který potvrdil výskyt tepelně alterovaných hornin (STONIŠ et al. 2004).

SLIVKA et JELÍNEK (2006) uvádějí, že v hloubce 6 m pod povrchem probíhá termická aktivita nejintenzivněji.

Dosavadní výsledky monitoringu prokázaly několik faktů a to:

- Odvalová hlušina s obsahem spalitelných látek vytváří materiál náchylný k samovznícení.
- Nejvíce probíhá termická aktivita v hloubce do 9 m.
- Projevy endogenního požáru lze pozorovat již na povrchu haldy v podobě výstupů kouře s úniky jedovatých plynů, propadů povrchu či trhlin s výskytem chemických produktů.
- Termické procesy dosahovaly maxima v letních měsících a byly lokalizovány na ploše 24 ha.
- Do budoucna lze předpokládat další šíření termických procesů a endogenních požárů, které způsobuje úbytek vegetace na povrchu haldy.
- Nedoporučuje se odtěžení hlušiny ve východní partii odvalu Heřmanice, neboť by způsobilo kontakt kyslíku s ložisky záparu a vedlo k samovznícení.
- Projevy termických procesů v jižní partii mohou způsobit ekonomické ztráty firmám působícím v této lokalitě.
- Do budoucna je plánováno s rozšířením sítě pro termometrii směrem na západ.
- Současný stav odvalu zatím neumožňuje jiné využití.

3.6.5 Termický monitoring a sanace odvalu dolu Kateřina (Radvanice v Čechách)

3.6.5.1 Základní informace

Odval dolu Kateřina, dříve nazývaný Stachanov, vznikl více než 100 let a jeho objem činí cca 2,3 mil. m³. Na dole nebyla úpravna, tudíž se muselo uhlí připravovat v třídírně. Zbytky uhlí, proplástek a další odpady byly odváženy na odval (NĚMEC 2006).

3.6.5.2 Charakteristika přírodních poměrů

Bývalý důl Kateřina se nachází na JZ svahu Chvalečských vrchů, konkrétně na jihu obce Radvanice v Čechách (okr. Trutnov). Nadmořská výška činí 530 m n. m (POLÁČEK 2003).

3.6.5.3 Historie vzniku odvalu

V letech 1840 – 1993 bylo těženo zejména černé uhlí. V padesátých letech převzaly důl Jáchymovské doly a začaly těžit uranové rudy, což vedlo k heterogennímu složení odvalu, který obsahoval vedle hlušiny, proplástek, uhlí i množství radioaktivních látek. Údaje týkající se těžby uranové rudy se utajovaly a tak nebylo v dokumentaci zaznamenáno přesné množství či rozsah ukládané suroviny (POLÁČEK 2003; NĚMEC 2006).

3.6.5.4 Termická aktivita a sanace odvalu

Oxidační procesy uvnitř odvalu se začaly projevat v 2. pol. 70 let. V roce 1979 začal požár ohrožovat nejen ŽP, ale také obyvatelé obce Radvanice. V osmdesátých letech došlo k rozšíření zářar na další partie. Provedený zásah spočíval v odvozu 400 tis. m³ hlušiny a 1 100 m³ popílku. Zářar se přesto dále šířily směrem k provozním budovám areálu dolu Kateřina (NĚMEC 2006).

Na základě těchto událostí bylo potřeba rozhodnout o sanaci odvalu. Nejprve docházelo k hašení ohnisek injektážemi vody či vápenného mléka, což mělo pouze dočasný účinek (NĚMEC 2006).

Od roku 1995 se začaly připravovat sanační opatření, kterým předcházela podrobný výzkum zahrnující průzkumné vrty (pro získání teplotních a geologických údajů), termovizee apod. (NĚMEC 2006). Na základě průzkumu bylo zjištěno, že

v místech kde došlo k intenzivnímu hoření se nachází přepálená, místy propojená, haldovina s obsahem sklovité taveniny. Na odvalu byl realizován i výzkum zahrnující radiometrická měření (POLÁČEK 2003; NĚMEC 2006).

Pro zneškodnění termických procesů tohoto odvalu byla zvolena komplexní metoda trvalé sanace s následnou rekultivací.

Princip sanačních opatření spočíval v:

- postupném rozebírání odvalu
- předchlazení „in situ“ na max. teplotu 80 °C
- následném dochlazení na teplotu 30 °C
- ukládání vychlazeného a hutněného materiálu odvalu do předem připravených kazet, které byly utěsněny a odvodněny
- utěsnění kazet (jílem či těsněním)
- zakrytí izolačních vrstev 1 m silnou vrstvou (prevence proti promrzání a rovněž pro udržení přirozené vlhkosti)
- biologické rekultivaci odvalu

Pro posouzení úspěšnosti sanace byl zvolen monitoring, zahrnující měření teplot vychlazeného odvalu, odběr a analýza vzorků vody a plynů v kazetách atd. Z výsledků bylo zřejmé, že navržená a aplikovaná sanace zcela utlumila proces hoření (ENERGIE STAVEBNÍ A BÁŇSKÁ 2007).

3.6.6 Termický monitoring a sanace odvalu dolu Schöller v Němcích

3.6.6.1 Základní informace

Nachází se v erozním údolí, kde leží i prameniště Libušínského potoka. Dle odhadů bylo v odvalu uloženo cca 12 mil. m³ odvalového materiálu. Během ukládání materiálu na odval často docházelo k čelním sesuvům, které byly způsobeny zejména technologickými problémy (NĚMEC et OSNER 2005).

3.6.6.2 Historie vzniku odvalu

Odval dolu Schöller vznikl v letech 1953 – 2002. V průběhu navážení odvalu došlo k jeho zahoření, které nebylo likvidováno, pouze převrstveno objemem hlušiny. Problém zahoření nebyl řešen ani po definitivním ukončení těžby. V roce 2004 bylo zjištěno, že odval stále prohořívá, důkazem byly zvýšené povrchové

teploty, propadliny, hluboké erozní rýhy, nálety sirného květu a dehtovitých látek v okolí trhlin. Z toho důvodu byl pro tento odval vyhlášen havarijní stav a nutnost sanace (NĚMEC et OSNER 2005).

3.6.6.3 Termická aktivita a sanace odvalu

Na odvalu probíhala opakovaná měření povrchových teplot a to v srpnu a září roku 2004. V měřících bodech V - 1 až V - 21, která se nacházela na temeni odvalu ve vzdálenosti 40 – 120 m od SV hrany odvalu a 40 m od postranních hran byla naměřená teplota povrchu 25 ± 5 °C. Naopak body IV - A až IV - H, nacházející se v blízkosti SV hrany odvalu dosahovaly vyšších teplot okolo 100 ± 50 °C. Tyto teplotní anomálie signalizovaly zahoření odvalu. Dalším důkazem byly unikající plyny, zejména CO a H₂. Další měřící body III - A až III - E a II - A až II - D jednoznačně potvrdily proces hoření (NĚMEC et OSNER 2005).

Součástí termického monitoringu bylo provedení 71 vrtů, jejichž cílem bylo ověřit stav a průběh termických procesů. Vrty byly průběžně jádrovány a části jader byly odebírány ke stanovení petrologického složení. Pro opakované měření teplot bylo důležité tělesa vrtů pažit a zatěsnit kvůli snížení vlivu atmosféry. Hloubka vrtů byla dimenzována přes plnou mocnost odvalu, avšak v některých případech nebyl tento záměr splněn, neboť vysoké teploty (okolo 250 – 300 °C) způsobovaly zborcení vrtných korunek (NĚMEC et OSNER 2005).

Z vrtného průzkumu dále vyplývá, že pouze malá část odvalu má teplotu nižší než 40 °C. Avšak i v těchto místech docházelo k postupnému vzrůstu teploty, která souvisí s nárůstem reakční rychlosti oxidace (NĚMEC et OSNER 2005).

Pro tento odval bylo navrženo sanační opatření, které spočívalo v utěsnění povrchu odvalu (sarkofágu – izolačním pláští), jež má omezit přístup kyslíku a postupně utlumit intenzitu termické aktivity (NĚMEC et OSNER 2005).

V rámci termického monitoringu byly z těles vrtů odebírány a analyzovány vzorky plynů (zejména CO a CH₄). Průměrné obsahy uhelné hmoty činily cca 18 % (k září 2004). Stupeň tepelné alterace potvrdil pouze u dvou vrtů úplnou tepelnou transformaci uhelné a minerální složky. U dalších deseti vrtů byla tepelná alterace malá. Stupně tepelné alterace jsou důkazem probíhající termické aktivity odvalu (NĚMEC et OSNER 2005).

Na základě těchto skutečností lze konstatovat, že prohořívání odvalu bude dlouhodobé a může trvat i několik desetiletí (pokud nebude sanován výše uvedeným

způsobem). V roce 2007 byla ukončena celková likvidace havarijního stavu odvalu Schöller (NĚMEC et OSNER 2005).

3.7 Negativní vlivy samovznícení uhlí a termické aktivity uhelných hald ve světě

Z hlediska energetického využití uhelných hald má zásadní význam termická aktivita. Hořením hořlavých součástí hald dochází k uvolňování značného množství tepelné energie, přičemž tento proces může trvat i řadu let. Teplo bezúčelně uniká do atmosféry a významným způsobem se podílí na narušení přírodní rovnováhy v daném místě. Pro orientaci lze uvést, že při prohoření prostoru o objemu 1 mil. tun uloženého odpadu, ve kterém se nachází cca 30 % obsahu hořlavých látek a při 75 % - 80 % účinnosti spálení shoří cca 250 tis. tun (uhlí, síra, organický odpad) (ARCADIS GEOTECHNIKA 2009).

Jak uvádějí STRACHER et TAILOR (2004) představují hořící haldy a samovznícení uhlí značný ekologický problém, který může mít zásadní ekologické důsledky. Autoři upozorňují, že díky samovznícení ložisek uhlí a hald dochází k produkci CO₂ a tudíž lze tyto zdroje považovat za termodynamické ohnisko zatím podceňované ekologické katastrofy. Ke svým závěrům docházejí na základě skutečnosti, že jen v Číně je ročně produkováno 1,294 mld. tun uhlí, v USA 0,945 mld. tun uhlí za rok a v Indii 0,312 mld. tun uhlí za rok. Pro srovnání Polská republika produkuje pouhých 0,1 mld. tun za rok a Ukrajina 0,082 mld tun za rok. Z toho je zřejmé, že největší evropští producenti černého uhlí hluboce zaostávají za produkcí uhlí v Číně, USA a Indii. Určitou zvláštností je, že v Číně a v USA dochází k zahoření i hnědému uhlí kdy v důsledku zahoření může dojít až k ohřevu sloje na teploty vyšší než 1 000 °C (HEFFERN et COATES 1997), Např. hořící ložiska a haldy jsou rámcově evidovány ZHANG et KROONENBERG (1996; 1997). Další zajímavé údaje o světové produkci uhlí uvádí WORLD COAL INSTITUTE (2002; 2003) a dále pak autoři STRACHER et TAILOR (2004) zmiňují, že zahoření uhelných hald a slojí vedlo v Číně dokonce k úmrtí lidí a má zásadní vliv na hospodářskou činnost v těžebních oblastech. Zahoření uhlí tudíž považují s odkazem na WORLD COAL INSTITUTE (1999) za jedno z nejzávažnějších rizik při těžbě

uhlí. Stejně tak jako emise vznikající při spalování odplynu na ložiscích ropy a zemního plynu.

Podle MINE SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (1996) a PENNSYLVANIA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION (2001) může dojít ke vznícení v důsledku elektrických impulsů při těžbě uhlí, kdy dochází ke vznícení metanu a vodíku. Jde o příčinu samovznícení přímo v uhelných slojích. Druhá příčina je vznícení lesů a stepí (DEKOK 1986; GEISSINGER 1990; DISCOVER 1999).

Spontánní vznícení zbytků uhlí a olejnatých složek v průběhu exotermických oxidačních reakcí, kdy se uplatňuje katalýza v důsledku proudění kyslíku skrz uhelné sloje (JONES et SCOTT, (1939), ANTHONY et al. (1977), U.S.DEPARTMENT OF ENERGY, (1993) et INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION (2003). Jedna z oxidačních reakcí probíhá podle LIMACHER (1963) následovně:



Spontánní zahoření vede k tomu, že se uvolňuje CO₂ nebo N₂ (U.S. DEPARTMENT of ENERGY 1993; MITCHELL 1996). Oxid uhličitý, vodík, ethylen (C₂H₄), propylen (C₃H₆) a acetylen (C₂H₂) jsou plyny, které umožňují detekovat počáteční fáze samovznícení uhlí.

Výzkumy v zahoření v Číně ukazují, že dochází ke vzniku termických mikrovln, které jsou identifikovatelné satelity (PRAKASH et al. 2000). Pro lokalizaci ohnisek zahoření se používají speciální termoradary (SAR – synthetic aperture radar), (PRAKASH 2003). Využití optické a termické složky pro identifikaci zahoření studuje Bejing Remote Sensing Corporation (BRSC). Podle výzkumu PRAKASHE et GUPTY (1999) dosahuje teplota na povrchu až 800 °C. Pro přesnou identifikaci těchto míst se používají i informační systémy GIS. Konkrétně pak systém COALMAN (VEKERDY et al. 1999; 2000). Systém COALMAN se používá pro mapování v Číně.

Zajímavé informace uvádějí KUENZER et al. (2007), kde popisují vliv samovznícení uhlí ve střední části centrální Číny, která patří do aridních oblastí. Jde o těžební oblasti Wuda a Ruqigou-Gulaben. Jako hlavní kontaminující látky považují CO₂, CO, SO₂, CH₄, atd. a přitom uvádějí, že uhelné požáry v Číně vyprodukují v

přepočtu na CO₂ ekvivalent 55 mil. tun CO₂, přitom roční produkce v Německu celého průmyslu domácností a dopravy dosahuje cca 75 mil. tun CO₂.

V důsledku zahoření dochází ke kontaminaci ovzduší, přičemž největší anomálie jsou patrné v Číně (JOHNSON et al. 1997), vznikají kyselá deště s SO₂, NO_x, které negativně ovlivňují 88 % čínských měst, přes Taiwan, Japonsko, Thajsko a Filipíny (WORLD RESOURCES INSTITUTE 1999).

Uvádí se, že těmito požáry uhlí v provincii Guizhou je negativně ovlivněno 10 mil. obyvatel, kdy se u nich projevují onemocnění jako je fluoróza a arsenicosis (FINKELMAN et al. 1999; 2001; 2002).

STRACHER et TAILOR (2004) velmi podrobně popisují případy zahoření uhelných slojí a hald v Pensylvánii, kde se těží uhlí, již počínaje rokem 1750.

Požáry v oblasti Pensylvánie popisuje např. GLOVER (1998), které jsou v této oblasti zaznamenány již v roce 1772. V důsledku těchto požárů např. v roce 1869 zahynulo 110 horníků atd. Zahoření mělo v historii těžby často vliv na vznik důlních neštěstí. V Pensylvánii je popsáno 140 případů hoření podzemních požárů a 58 hořících hromad odpadů.

V Indii se těží uhlí od roku 1774 a problém zahoření hald a uhelných slojí popisují BHARAT COKING COAL LIMITED (2003) et MINISTRY OF COAL AND MINES (2003). Hořící uhlí a uhelné sloje představují zásadní emisní zdroj ovlivňující kvalitu ovzduší.

NICHOL et TOVEY (1998) popisují podrobně sanaci a monitorování hořících hald v oblasti South seat Looprat a Brymbo v Severním Walesu. Popisují případ, kdy bylo nutno zahájit v blízkosti Wrexhamu v roce 1991 sanační práce. V této oblasti se těží uhlí od počátku 19. století. V důsledku zahoření sloje došlo k poklesu terénu až o 1,2 m. Jde o uhelnou sloj, nacházející se v pískovcích.

Na exotermické oxidaci se podílela přítomnost pyritu, kdy NATIONAL COAL BOARD (1970) změřil teplotu 600 °C. V důsledku zahoření došlo k redukci uhelné sloje o 40 – 60 %. Díky poklesu došlo k deformaci místní komunikace. Bylo nutné odtěžit 15 tis. m³ plochy.

Otázky vlivu zahoření uhlí na životní prostředí mají příčinnou souvislost se spalováním uhlí a biomasy. Na tuto skutečnost upozorňuje např. HEIN et BEMTGEN (1999). Určitá pozornost mající nepřímou souvislost s řešeným tématem představuje studium speciálních otázek, spojených se samovznícením

skládek, např. SIDENKO et al. (2001), kde popisují případ mobility těžkých kovů v důsledku samovznícení skládky odpadu.

Ukazuje se, že značný počet prací v impaktovaných časopisech je věnován otázce vlivu toxických prvků na zdraví obyvatel, jak je uvedeno v práci FINKELMAN (2004).

Mezi další efekty hořících hald patří výskyt dusíkatých a fosfátových sloučenin v půdách v blízkosti hnědouhelných dolů, jak uvádí např. ŠOURKOVÁ et al. (2004).

3.8 Uhelné požáry

Uhelné požáry se vyskytují po celém světě a představují environmentální riziko, které je charakteristické únikem škodlivých emisí, částicemi a kondenzačními vedlejšími produkty, jež způsobují znečištění půdy.

Nekontrolovatelné uhelné požáry byly hlášeny z mnoha zemí zahrnující USA, Kanadu, Čínu, Austrálii, Polsko, ČR, Rusko, Ukrajinu, Turecko, Thajsko a další země. Bohužel existují málo přesné informace o uhelných požárech (WALKER 1999).

ČR se v porovnání s jinými státy světa setkává s menšími problémy s uhelnými požáry, stejně tak Německo. V těchto státech byly pozorovány problémy zejména s hořícími nebo doutnajícími uhelnými haldami (KLIKA et al. 2004).

Největší uhelné požáry a s tím spojené značné problémy jsou monitorovány v Číně (SAUER 2002) USA, (NOLTER et VICE 2004), Indii, Indonésii a jižní Africe (BELL et al. 2001; STRACHER et TAYLOR 2004). Zde jsou zaznamenány vůbec jedny z nejstarších a největších uhelných požárů (STRACHER et TAYLOR 2004).

Čína vede prvenství ve světové produkci uhlí, přičemž 1/3 světové produkce uhlí se podílí ze 3/4 na totální spotřebě energie v Číně. Uhelny požáry zde spotřebují až 200 mil. t uhlí/rok a tvoří 2-3 % ročních světových emisí CO₂ z hořících fosilních paliv. Toto množství představuje ekvivalent k CO₂ emitovanému ročně ze všech vozidel v USA, přičemž zde nejsou zahrnuty emise CO₂ z uhlí a dalších paliv používaných čínskými průmyslovými a obytnými sektory (ROSEMA et al. 2001).

Uhelná pánev Rujigou v Číně uvádí roční ztrátu 300 tis. tun uhlí v důsledku uhelných požárů, což představuje hodnotu 15 mil. US dolarů (ROSEMA et al. 2001).

Problém znečištění ovzduší v Číně spojený se spalováním uhlí a uhelnými požáry představuje jeden z největších na světě. Pro 88 velkých měst v Číně je velký problém kyselý déšť. Všechny tyto problémy se projevují na zdraví místních obyvatel a souvisí se vzrůstem rakoviny plic, mrtvicí, bronchitidou a dalšími kardiovaskulárními onemocněními (ROSEMA et al. 2001).

Těžba uhlí v Pensylvánii začala zhruba v pol. 17 století. V současné době je zde evidováno 140 podzemních požárů a 58 uhelných hald (STRACHER et TAYLOR 2004). V roce 1962 začal podzemní uhelný požár v Centralia v Pensylvánii a přilákal značnou pozornost veřejnosti. V letech 1980 – 1998 došlo k evakuaci celého města, neboť požár ohrožoval domy a infrastrukturu (GLOVER 1998).

Oheň v uhelné oblasti v Jharia v Indii hořel od roku 1916 a je příčinou vylidnění, protože hořel ještě v roce 1962. Neexistují žádné známky o tom, že by oheň polevil (HEFFERN et COATES 1997).

Požáry vyskytující se v uhelných pánvích jsou povrchové požáry ve slojích, z nichž některé se vyskytují v otevřených důlních jámách. Důlní uhelné požáry zahrnují jak podzemní tak povrchové požáry ve státních i soukromých dolech (FINKELMAN 2004).

Nekontrolovatelný únik znečišťujících látek ze spalování uhelných slojí představuje potenciální nebezpečí pro zdraví lidí a životní prostředí. Spalování uhlí mobilizuje velké množství znečišťujících látek jako oxidy síry a dusíku (kyselé plyny), oxid uhličitý, organické sloučeniny a toxické stopové prvky jako arzen, rtuť a selen (FINKELMAN 2004).

Mezi problémy, které způsobují povrchové a podpovrchové uhelné požáry patří:

- znečištění atmosféry
- zničení a ztráta orné půdy
- sesuvy nebo poklesy půdy
- destrukci stanovišť flóry a fauny
- destrukce okolních ekosystémů
- lesní požáry
- zdroj navátého prachu a zanesení potoků
- poškození kulturní infrastruktury kyselými plyny

- fyzické ohrožení zdraví v důsledku dýchání prachu a aerosolů, působením kyselých plynů, toxických stopových prvků a organických sloučenin
- lidská úmrtí a vzrůstající onemocnění (zejména infarkty a respirační onemocnění)
- znečištění povrchových a podzemních vod
- ztráta cenných zdrojů energie
- významný zdroj emisí CO₂, jakožto hlavního skleníkového plynu (FINKELMAN 2004).

Společenské náklady na problémy, které jsou způsobené povrchovými a podpovrchovými uhelnými požáry dosahují miliardy dolarů. Jako příklad pouze jednoho hlediska společenských nákladů uvádí WALKER (1999), který poskytuje odhad nákladů na uhašení 150 uhelných požárů v USA na téměř 675 mil. US dolarů.

Uhelné požáry přispívají ke globálnímu oteplování a představují vážný celosvětový problém.

3.8.1 Vznik a likvidace uhelných požárů

Přírozeně vyskytující se podpovrchové uhelné požáry se nepochybně vyskytly s prvními uhelnými slojemi, které byly vystaveny zemskému povrchu před několika sty milióny let.

Většina uhelných dolů a souvisejících požárů je způsobena:

- 1) těžbou, případně doplňujícími činnostmi (např. svařování)
- 2) explozivními a elektrickými pracemi
- 3) vykuřováním, kdy se mohou vznítit plyny jako CH₄ a H₂
- 4) povrchovými požáry, které přenášejí uhelný prach nebo v uhelných slojích el. výboji, lesními nebo křovinnými požáry, hořícími odpadky
- 5) spontánním hořením, které bylo vyvoláno uhlím, dřevem nebo hnojivem v uhelném prachu nebo exotermickou oxidací charakterizovanou katalyzací O₂ cirkulujícím skrz uhelné spoje v uhlí

Příklad oxidační reakce, která dokazuje, že vlhkost přispívá k spontánnímu hoření:



Další uhelné podzemní požáry jsou uvedeny v pracích HEFFERN et COATES (1997) a z Číny je uvádějí ZHANG et KROONENBERG (1996).

Požáry začaly přírodními procesy, jako jsou např. údery blesku. Přímou či nepřímou příčinou lesních a stepních požárů, které zapálily uhelné sloje na povrchu. Navíc některá méně kvalitní uhlí mají tendenci spontánního vznícení, pokud jsou vystavena kyslíku (ZHANG et KROONENBERG 1996).

Výskyt nekontrolovaných uhelných požárů se zvýšil po nástupu těžby a kvůli zvýšenému množství uhlí, které bylo vystaveno kyslíku, stejně tak jako náhodné či úmyslné požáry na uhelných odvalech. Mnoho z těchto požárů trvají krátce, ale některé uhelné sloje jsou obrovské, spotřebovávají mnoho arů a hoří několik desetiletí.

HEFFERN et COATES (1997) uvádějí, že spékané uhlí, příp. vypálené či roztavené horniny jsou výsledkem hoření uhelných slojí. Odhadují, že to přibližně představuje 30 až 40 mld. tun spáleného uhlí a že tam může být 10x více rozrušeného spékaného uhlí.

Neoficiální odhady z Úřadu povrchové těžby v USA naznačují, že i přes mnoho let soustředěného úsilí k hašení těchto požárů, stále existuje přibližně 150 nekontrolovaných povrchových a podpovrchových požárů (WALKER 1999).

Autoři STRACHER et TAYLOR (2004) uvádějí techniky, které se používají v boji proti uhelným požárům a zahrnují: povrchové a tunelové těsnění, kalovou a popelovou injektáž, kombinace vodních a pěnových technologií, DPZ a PC software.

Autoři Němec et Osner (2005) uvádějí, že likvidace endogenních požárů a ohnisek se musí provádět metodami, které budou zohledňovat charakteristiky daného odvalu včetně vlivu vnějších a vnitřních faktorů (rozměr odvalu, poloha ohnisek, místní podmínky, ekologická hlediska apod.)

Metody likvidace endogenních požárů a ohnisek zahrnují:

- 1) prolévání odvalu vodou (hrozí zde vznik nových průduchů a tvorba výbušné plynné směsi)
- 2) injektáž pomocí inertní suspenze (používá se u termicky aktivních míst a má obvykle časově omezený účinek, většinou 1 – 3 roky)
- 3) povrchové utěsnění odvalu (prolévání vodou, zhutňování, povrchová izolace pomocí inertního materiálu)

4) vytvoření sarkofágu (zamezení přístupu vzduchu do haldy) (NĚMEC et OSNER 2005).

Pro stanovení optimální metody likvidace, resp. sanace odvalu je potřeba znát stav procesu samovznícení a dále konkrétní podmínky, které jsou dány velikostí haldy, rozsahem a historií zahoření čiendogenního požáru, polohou v tělese odvalu a technickými možnostmi samotné realizace (NĚMEC et OSNER 2005).

Mezi významné faktory ovlivňující samovznícení uhlí a podílející se na sanaci patří: velikost a tvar systému, intenzita oxidačního procesu a možnost vytvoření sarkofágu (NĚMEC et OSNER 2005).

Při likvidaci a sanaci odvalu je potřeba znát současný stav a dále pak intenzitu termických procesů. Průzkumy pro zjišťování stavu ve většině případů zahrnují kombinaci několika metod, např. opakované měření povrchových teplot pomocí bezdotykového teploměru, detekci obsahu unikajících plynů, vrtný průzkum (zahrnující odběr vrtných jader, pažení vrtů či opakovaná měření teplotních anomálií v závislosti na hloubce vrtu), zpracování informací o geologických profilech vrtů (konkrétně stanovení obsahu uhelné hmoty a stupně tepelné alterace uhelné hmoty, hlušiny a minerálů) (NĚMEC et OSNER 2005).

3.9 Monitoring odvalu v údolí Bjørndalen – Svalbard

3.9.1 Základní informace

Cílem tohoto výzkumu bylo zjistit teplotní režim uhelných hald a poté provést simulaci podpovrchových teplot pomocí 1D modelu, jež zohledňuje aktuální stav počasí, fyzikální vlastnosti odvalu a produkci tepla uvnitř haldy. Jedno-dimenzionální model tepla a proudění vody (CoupModel) je kalibrován a ověřován na základě získaných dat ze studované oblasti. Konfigurace modelu slouží k ověřování citlivosti analýz změn v teplotách vzduchu, obsahu vody atd. a zkoumá jak klimatické změny a sanace ovlivňují teploty uvnitř odvalu (HOLLESEN et al. 2009; 2010)

3.9.2 Charakteristika přírodních poměrů

Monitorovaný odval se nachází v údolí Bjørndalen 10 km od norské osady Longyearbyen v západní centrální části Špicberk (Svalbard). Průměrné roční teploty

se zde pohybují okolo $-6 \pm 1,3$ °C, roční množství srážek dosahuje 187 ± 44 mm (z nichž téměř 50 % tvoří sněh) (HOLLESEN et al. 2009). HUMLUM et al. (2003) uvádějí, že Svalbard leží v oblasti kontinuálního permafrostu, kde vrstva dosahuje tloušťky okolo 1,5 m.

3.9.3 Historie vzniku odvalu

Odval vznikl v roce 1986 a byl dokončen v roce 1990. Průměrná výška odvalu činí 22 m a objem 200 tis. m³ hlušiny. Odval je po obou stranách strmý a na vrcholu je plochá náhorní plošina. Na odvalu neroste žádná vegetace (HOLLESEN et al. 2009).

Deponovaný materiál je velmi heterogenní a zahrnuje pískovce, prachovce, konglomeráty a břidlice z uhelné sloje. Z mineralogického hlediska obsahuje pyrit, kaolinit, ilit, křemen, amorfni uhlík atd. (ELBERLING et al. 2007).

3.9.4 Měření a monitoring odvalu

Práce v terénu začaly v srpnu v roce 2004 a data byla monitorována v období 9/2006 – 8/2006. Jeden z vrtů byl vyhlouben uprostřed vrcholu odvalu do hloubky 7 m. Místo bylo vybaveno čidly na měření obsahu kyslíku, vody a teploty v hloubkách po 50 cm až do 7 m. Součástí měřicí aparatury byla mobilní meteorologická stanice umístěná na vrcholu odvalu, jež pravidelně v 30 minutových intervalech zaznamenávala rychlost a směr větru, relativní vlhkost, tlak a výšku sněhu (HOLLESEN et al. 2009).

Součástí výzkumu byla analýza odebraných vzorků deponovaného materiálu. Pro tyto odběry byly vyhloubeny další dva vrty do hloubky 3 m. Vzorky byly odebírány po 0,5 m až do hloubky dle konkrétního vrtu. Výzkum prokázal, že obsah pyritu je menší než 1 % ve frakci menší než 2 mm. Hrubší frakce pyritu obsahují viditelně větší zrna, přičemž více než 40 % je v průměru nad 100 mm. Frakce pod 100 mm jsou dominantní v rozmezí 2 - 100 mm fragmenty (HOLLESEN et al. 2009).

3.9.5 Výsledky měření

Průměrné roční teploty kolísaly v rozmezí -1 °C až $+4,2$ °C v hloubkách 1 – 5 m a ustálily se okolo $4,5$ °C v hloubkách 5 – 7 m. Teploty pod bodem mrazu se vyskytují zejména v horních vrstvách profilu v hloubce 2 m a teploty nad

0 °C v hloubce 3 m (po celý rok). Teplotní amplituda je 11,5 °C na povrchu a snižuje se s hloubkou, konkrétně 7,5 °C v hloubce 1 m, 3,3 °C v hloubce 3 m a 0,7 °C v hloubce 7 m. Maximální průměrné denní teploty byly naměřeny 7. července na povrchu, 8. srpna v hloubce 1 m, 12. září 3 m pod povrchem a 9. prosince v hloubce 7 m (HOLLESEN et al. 2009).

Obsah vody je nízký, zejména v hloubce 2 m, kde se pohybuje okolo 0 – 1,5 %. Nejvyšší obsah vody (6 – 16 %) byl detekován v hloubce 3 m (HOLLESEN et al. 2009).

Množství kyslíku se pohybovalo okolo 19,5 % a to ve všech hloubkách. Předpokládá se, že oxidace pyritu uvnitř odvalu je částečně biologicky kontrolovaná a rychlost není limitována dostupností kyslíku (HOLLESEN et al. 2009).

3.10 Geotermální využití a monitoring odvalu v Porúří

3.10.1 Základní informace

Na západě Porúří se uskutečnil projekt zaměřený na Geotermální využití uhelných hald jako náhrady za fosilní paliva. Projekt byl financován Ministerstvem školství a podílely se na něm dvě výzkumné instituce, konkrétně RWTH Aachen University (Geotechnical Engineering and Technology of Fuels) a instituce Fraunhofer UMSICHT.

Cílem výzkumu bylo kvantifikovat využitelnost geotermální energie a zvýšit znalosti o procesech probíhajících uvnitř hald a dále pak testovat technické a ekonomické metody pro aplikaci využití.

3.10.2 Historie vzniku odvalu

Poslední navážka odpadního materiálu byla v červenci v roce 1984. Do roku 1943 byl na odval deponován zejména odpad z těžební činnosti. V této době odval obsahoval 50 % odpadu z těžební činnosti a 50 % nehořlavého materiálu. Novější výzkumy ukázaly, že odval obsahuje okolo 64 % těžebního materiálu a 24 % odpadu ze slévárenství. Dále obsahuje stavební suť, kaly, prach, strusku, popílek atd.

V současnosti odval pokrývá plochu cca 43 ha a dosahuje výšky 45 m. Celkový objem lokality činí cca 15 mil. m³.

Halda je stále monitorována z důvodu prohořívání. Navíc byla uzavřena veřejnosti z důvodu provádění různých terénních zkoušek.

3.10.3 Měření a monitoring odvalu

Pro potřeby výzkumu je potřeba znát podrobné složení uloženého materiálu z důvodu posouzení termických vlastností a stability energetického využití. Za tímto účelem bylo realizováno 5 zkoušek, které spočívaly v provedení vrtů do hloubky 9 m a odebrání vzorků deponovaného materiálu. Vrty hlubší než 3 m jsou vyztuženy bočními opěrami, zejména z bezpečnostních důvodů a minimalizace přístupu kyslíku do odvalu. Vrty byly vykopány u termicky aktivních míst a potvrdily teploty 60 °C.

Naměřené hodnoty vykazovaly velké rozdíly, což je pro přesnou klasifikaci využití geotechnických metod obtížné.

Pro podrobnější analýzu měřených lokalit byla instalována na náhorní plošině a svazích měřicí čidla v šesti vybraných místech, která sledovala termickou aktivitu a plochy náchylné k samovznícení, resp. ke vzniku endogenních požárů. Čidla byla umístěna do maximální hloubky 10 m. Nejvyšší naměřená teplota dosahovala 140 °C u sondy č.6. Na těchto 6 místech byly umístěny geotermální sondy pro testování. Dále zde byly instalovány tři výměníky tepla a pět měřidel umístěných do půlkruhu kolem každé geotermální sondy ve vzdálenosti 2,5 a 5 m pro kontrolu šíření tepla na haldě. Všechny geotermální sondy byly nakonec zapuštěny do hloubky 25 m.

Během vrtání byla na sondě č.1 zaznamenána teplota 100 °C, na sondě č. 2 - 300 °C a na sondě č. 3 – 200 °C. Pro geotermální využití by byly nejvhodnější sonda č. 2 a 3.

Kromě toho byly na sondě č.2 zaznamenány zvýšené koncentrace CO₂, přes 1 000 ppm, jež signalizovaly, resp. indikovaly přítomnost endogenního požáru.

3.10.4 Výsledky měření a geotermálního využití

Výzkum prokázal, že uhelné požáry se šíří pomalu, což je způsobeno nízkou tepelnou vodivostí deponovaného materiálu. Pomalé šíření požáru je výhodou pro energetické využití uhelných hald, neboť v praxi to znamená, že vysoké teploty jsou k dispozici v průběhu delšího časového období, kdy se teplo postupně uvolňuje z odvalu.

Realizovaný projekt potvrdil, že geotermální využití uhelných hald je technicky a ekonomicky možné. Tepelnou energii lze extrahovat téměř dvakrát než z běžných geotermálních elektráren. Účinnost se zvyšuje tím, že není potřeba využívat žádné tepelné čerpadlo. Přesnou dobu, po kterou lze jímat teplo ze skládky zatím nelze vyčíslit. Ekonomickou alternativou může být snížení výkonu a použití tepelného čerpadla za určitých okolností.

Výzkumný projekt poukázal na obecnou proveditelnost využití geotermální energie. Nicméně do budoucna je potřeba realizovat další, jež bude zaměřen na tepelné spojení mezi zemními sondami a haldou a to předtím, než bude tento systém připraven pro trh. Navíc stávající systém poskytuje informace pouze o části lokality ve velmi malém prostoru. Rovněž musí být zohledněna skutečnost, že lokalita je velmi nehomogenní.

3.11 Využití matematického modelování pro simulaci tepla uvnitř odvalu

Matematické modelování umožňuje simulaci tepelných toků uvnitř hald. Ze vstupních dat a získaných výsledků lze pak predikovat potenciální (budoucí) vývoj teplotního pole.

VESELÝ (2010) definuje matematický model jako formální vyjádření problému pomocí fyzikálních a matematických termínů. Model je tvořen soustavou matematických vztahů, které popisují zkoumaný jev nebo proces. Patří sem rovnice algebraické, parciální, diferenciální a popřípadě jejich soustavy.

Tyto vztahy a rovnice se stávají matematickým modelem ve chvíli, když jsou přiřazeny k určitému procesu nebo jevu, který zohledňuje, resp. zahrnuje okrajové a počáteční podmínky, dále tvar oblasti a další fyzikální parametry (VESELÝ 2010).

Těmito parametry mohou být např. teplota vzduchu, povrchová a podpovrchová teplota, srážky, rychlost větru, relativní vlhkost atd. (HOLLESEN et al. 2009; 2010).

Modelování tepelných toků uvnitř hald je poměrně složité, neboť je potřeba zohlednit způsoby šíření tepla (kondukcí, konvekci, radiaci), vliv místních klimatických podmínek, případně další fyzikální a meteorologické veličiny. Mnoho modelů je založeno na experimentálních podmínkách v laboratořích s využitím

specifických vzorků uhlí a různých technologií. Pouze malá část byla simulována a predikována na základě skutečně naměřených dat z terénu.

Jedním z hlavních představitelů programů pro matematické modelování je Fluent (ŠTĚTINA 2007). Pomocí tohoto programu můžeme simulovat numerické simulace proudění, které se týkají chemických reakcí a přenosů tepla. Často se užívá zjednodušeného modelu, kdy hlavní zásadou řešení je např. modelování spalovacích procesů s ohledem na přenos tepla. Toto zjednodušení je plně dostačující pro získání vhodného řešení z hlediska využití tepelné energie (BOJKO et BRANČ 2009).

Existují práce např. ADVANI et al. (1983), které se zabývají modelováním podmínkami podzemního zplyňování uhlí s cílem využití jeho nebilančních zásob. Princip této metody spočívá v tom, že se uhlí řízeně zapálí, avšak co se týče podmínek, za jakých proces probíhá, chybí podrobnější údaje. Otázkami hodnocení tzv. spektrálního tepelného radiačního přenosu při vznícení uhlí a otázkami matematického modelování v 2D a 3D aproximací se zabývají např. MENGUC et VISKANTA (1986). S touto tematikou souvisí i modelování tepla při spalování práškového uhlí, které uvádí VARMA et MENGUC (1989).

SINGH et. al. (1990) modelují podmínky přenosu tepla v tzv. Rijkeho spalovací komoře. Zvláštní pozornost je pak věnována šíření a přenosu tepla v technických zařízeních, např. GHIRIBELLI (2005) analyzuje šíření tepla v kotlích s dohoříváním. BHAMBARE et al. (2007) se zabývají např. modelováním hoření uhlí s přírodní cirkulací v kotlích. Při modelování rozdělili celé zařízení na sedm složek, které tvoří sekce pro tzv. konzervativní masový přenos, kdy jsou analyzovány odlišné tlakové podmínky v jednotlivých sekcích a rozdílné koeficienty přenosu. Pro korelaci používá empirický korelační koeficient. Všechny výpočtové varianty jsou ve stacionárním režimu a jako proměnné se používají teplota, tlak, proudění vzduchu, tok vody a tento model je použit pro vyprojektování novějšího zařízení.

Teoretickým aspektem tepelného přenosu práškového uhlí se dále zabývají i jiní autoři např. CORREA et al. (2009), kteří se zaměřili na přenos tepla při hoření v komorách s kyslíkem a CO₂ atmosférou.

Problematikou 3D modelování hořícího práškového uhlí se dále zabývají např. BOYD et LOWE (1987), kdy jsou zohledňovány takové efekty jako vliv vertikálních tepelných bariér, vliv trojrozměrného turbulentního proudění plynu v kotlích atd.

Modelováním procesů uvnitř hald se zabývali (KRAJČIOVÁ et al. (2004), HOLLESEN et al. (2010), ZHANG et KUENZER (2007), KRISHNASWAMY et al. (1996). Ti se zabývali zejména simulací poměrů vedoucí k zahoření haldy což může mít negativní vliv na okolní prostředí a bezpečnost obyvatel a zároveň minimalizuje možnost dalšího využití hald pro energetické účely.

Pro simulaci tepelných toků uhelných hald lze využít tzv. CoupModel. Tento model představuje 1D numerický model pro proudění vody a tepla v půdě či jiném porézním médiu a je založen na Darcyho a Fourierovo rovnici (JANSSON et KARLBERG 2004). Model zohledňuje atmosféru, sníh, vegetaci, půdu atd. jako integrovaný systém, který umožňuje řadu volitelných přístupů zvážit variabilní procesy a spojení mezi různými složkami. Podmínky atmosféry se řídí dle různých meteorologických veličin a model zahrnuje procesy rozhraní sníh – vegetační kryt na hranici atmosféry a půdy. Tepelný tok v půdě je souhrnem kondukce a konvekce (HOLLESEN et al. 2009; 2010).

Další z modelů, který lze aplikovat pro simulaci procesu samovznícení uhelných hald formuloval Frank Kamenetskii. Tento 1D model předpokládá, že přenos tepla se děje vlivem kondukce. Model byl rozšířen o další geometrie, okrajové podmínky a reakční řady a rovněž zahrnuje difúzní transport kyslíku a to vlivem reaktivního média (KRISHNASWAMY et al. 1996).

Nordon spočítal, že difúze je jediným mechanismem transportu kyslíku, který vede k maximálnímu zvýšení teploty. Poté, kdy dochází ke zvyšování teploty, objevuje se jako dominantní konvekce, která dodává čerstvý vzduch k udržení oxidační reakce a podmínkám pro vznícení. Jednorozměrné zachování rovnice pro kyslík, vodní páru a energii je řešeno pomocí Elovichovy rovnice, která se využívá pro modelování spotřeby kyslíku. Rychlost proudění vzduchu skrz sloj (ložisko, vrstvu) různých parametrů předpokládá, že vzniknou rozdíly tlaku větru mezi interním a externím prostředím odvalu (KRISHNASWAMY et al. 1996).

Schmal et al. vytvořili 1D model pro samovznícení suchého i mokrého uhlí s ohledem na vliv různých parametrů např. tepelné vodivosti uhlí, rychlost proudění plynu, počáteční teplotu uhlí apod. (KRISHNASWAMY et al. 1996).

Young et al. formulovali model 2D, jež předpokládá ustálený stav. Zdroj tepla se umístí do reakčního média s cílem identifikovat význam přirozené konvekce řízené prouděním vzduchu. Edwards formuloval tři rozdílné modely a zabýval se jejich využitím v různých metodách. První dva modely byly 2D. Zdroj tepla byl

bložen do reakčního média a simuloval samovznícení. První model předpokládal konstantní proudění vzduchu uvnitř haldy, naopak druhý model pracoval s variantou řízeného proudění vzduchu. Třetí model byl 1D přechodný model. Proudění vzduchu skrz sloj (ložisko, vrstvu) předpokládá vznik specifického tlaku na jedné straně uhelného ložiska a simuluje účinek proudění vzduchu a větru skrz odval (KRISHNASWAMY et al.1996).

Závěrem lze konstatovat, že konvekce je převládajícím transportním kyslíkovým mechanismem pro nárůst teplot v uhelných haldách. Nejnovější modely předpokládají, že proudění vzduchu v odvalu vzniká pomocí přírodní konvekce a to vlivem teplotních rozdílů mezi interním a externím prostředím odvalu (KRISHNASWAMY et al. 1996).

GRIGOREVICH et al. (1995) uvádějí, že matematické modelování představuje pouze jednu z alternativ ve vývoji modelového výzkumu. Je však považováno za etapu vedoucí k abstraktním formám a je důležité zaměřit se na to, aby nedošlo k odtržení od reality, což je v tomto případě poměrně snadné.

3.12 Nakládání s haldami v Porúří

Ruhrská pánev se řadí mezi nejvýznamnější uhelný revír v Evropě. Těží se zde již od 13. století. Během těžby vzniká velké množství hlušiny, která se ve většině případů ukládá na haldy a mění krajinný ráz této oblasti. Rovněž se negativně podílí na znečištění životního prostředí (RENÉ 1992).

Od druhé poloviny 18. století se v oblasti Porúří rozvíjí těžba uhlí, která dosahovala až 230 tis. tun uhlí. V průběhu 19. století došlo k masivnímu nárůstu těžby na 100 mil.tun uhlí. V roce 1939 bylo vytěženo největší množství uhlí a to cca 130 mil. tun. Od poloviny 50. let docházelo k postupné redukci uhlí, která postupně stagnovala na úrovni 56 mil. tun. Celkový odhad vytěženého množství uhlí v období 1800 – 1989 se odhaduje na 9,5 mld. tun.

V souvislosti s těžbou uhlí se zvyšovalo množství vytěžené hlušiny, které v roce 1940 činilo 18 % a v roce 1980 47 %. Přičemž největší objem hlušiny (68 %) vznikal v bezprostředním okolí uhelné sloje (RENÉ 1992).

Autor RENÉ (1992) uvádí, cituji:„V roce 1989 bylo v Porúří vytěženo 55,7 mil. tun hlušiny. Z tohoto množství bylo 11,6 mil. tun prodáno na různé účely,

2,8 mil. tun bylo použito na foukanou základku a 35,9 mil. tun hlušiny bylo uloženo na haldách“.

V posledních 150 letech došlo k rozvoji haldového hospodářství, které změnilo krajinný ráz Porúří. V 70. letech bylo zmapováno 170 hald, přičemž průměrná plocha odvalu se pohybovala mezi 5 – 7 ha.

První odvaly byly nasypávány ve tvaru komolých kuželů, ale tento tvar byl příčinou tvorby vodní a větrné eroze, která neumožnila jejich začlenění do krajiny. Z toho důvodu vydal báňský úřad směrnici zabývající se výstavbou hald. Odvaly první generace, kam se řadí haldy kuželovitého tvaru, dosahovaly průměrné výšky 19 m a plochy 10 ha (RENÉ 1992).

Nová směrnice řešila způsob nasypávání odvalů, jejich členění a rekultivaci. Dle této směrnice musely být haldy upravovány do terasovitě uspořádaných vrchů s ostrými hranami svahů. Odvaly první generace byly tímto způsobem začleňovány do podoby plochých hald. Plocha těchto odvalů se zvětšila na 40 – 60 ha. Začátkem 70. let se objevily protesty obyvatel obcí proti tvorbě odvalů výše popsaným způsobem. To bylo podnětem pro vytvoření lepší koncepce rekultivace odvalů v souladu s územním plánem. Docházelo k vytváření velkých odvalů, které respektovaly územní plán a urbanistickou koncepci (RENÉ 1992).

V roce 1977 byl novelizován zákon o územním plánování. V roce 1982 vstoupila v platnost smlouva uzavřená mezi báňskou společností a zemskými ministerstvy pro rozvoj měst a obcí. Ve smlouvě byly stanoveny zásady prováděné rekultivace, způsob dopravy hlušiny (s apelem na železniční přepravu), včetně projednávání problémů, které mohou zatížit ŽP s dotčenými obcemi. Smlouva zohledňovala i zákon posuzování vlivů na životní prostředí.

Dle současné koncepce tvorby odvalů musí být haldy ploché a svyhy musí být pokryty 5 – 10 cm mocnou vrstvou ornice. Sklon ochranného valu odvalu musí být maximálně 35 - 40°. Sklon svahů vybudovaných teras by měl mít poměr 1 : 2 či 1 : 1,5. Budoucí tvar hald musí schválit obce. Výška odvalů by neměla převyšovat 40 m, i když existuje výjimka a to odval v Bottropu, který dosahuje výšky 90 m. Průměrná plocha těchto odvalů byla více než 100 ha. Předpisy týkající se tvorby odvalů byly postupem času novelizovány, zejména v letech 1984 – 1985 a poté v letech 1988 – 1989 (RENÉ 1992).

Poslední novelizace ukládá povinnost omezit negativní vliv haldového hospodářství na podzemní a povrchové vody. Odval musí být na dně utěsněn izolační

vrstvou, která zabrání průsakům do geologického podloží. Izolační vrstva bývá složena ze dvou vrstev a propustnost nesmí být vyšší než 10^{-8} m s⁻¹. Také zde musí být zajištěn odvod vod vytékajících z odvalů či po jejich povrchu. Voda je jímána ve stružkách kolem obvodu odvalů a předtím musí projít usazovací nádrží. Voda vytékající ze sedimentační nádrže musí splňovat podmínky a normy dle zákona o odpadních vodách, případně podmínky dalších souvisejících předpisů (RENÉ 1992).

Jedním ze závažných problémů hald v Porúří je proces samovznícení, neboť množství uhelné substance zde dosahuje až 20 %. Samovznícení se ve většině případů řeší skrápěním nebo překrytím odvalů pomocí inertního materiálu. Jako inertní materiál slouží jemné hlušinové frakce z uhelných prádel s důrazem na dodržení mocnosti inertní vrstvy, která má být 2 – 3 m (RENÉ 1992).

Dalším problémem haldového hospodářství je biologická rekultivace, která je v podmínkách Porúří realizována zejména v podobě lesnické rekultivace či vytváření sídel k rekreačním účelům (RENÉ 1992).

Do roku 1969 byly odvaly při zalesňování pokrývány vrstvou o mocnosti 25 – 50 cm. Výsledkem byla skutečnost, že zasazené stromy kořenily pouze v této orniční vrstvě a později usychaly, což vedlo k vývrátům. Po této zkušenosti se již rostliny sázely přímo do odvalového materiálu (RENÉ 1992).

V 70. letech probíhal výzkum zabývající se zakládáním a rekultivací odvalů vzniklých po těžbě uhlí. Výzkum dal základ vzniku nové směrnice, která řešila metodiku vzorkování a analýzy materiálu odvalu ve vztahu k biologické rekultivaci (RENÉ 1992).

Současná podoba haldového hospodářství je založená na výzkumu, který je podložen veřejno-právním řízením, které je součástí územního plánování, schvalovacího řízení báňského úřadu a které zohledňuje posouzení vlivů na ŽP (RENÉ 1992).

Založení nového odvalu musí splňovat tyto podmínky: kapacita haldy musí být pokryta na období 10 let (nejméně), nutnost zajištění ochrany vod, redukce emisí, ochrana přírody a krajiny, využití rekultivované krajiny, redukce nákladů na likvidaci těžební činnosti atd.

Územní plán řeší haldové hospodářství v těchto ohledech: založení a provoz odvalu s minimálním vlivem na ŽP, používání energeticky málo náročných dopravních prostředků s redukcí emisí, začlenění odvalů do krajiny s důrazem na

možné další využití, postupná rekultivace odvalu již během vzniku, minimalizace rozsahu haldového hospodářství (RENÉ 1992).

Součástí schvalovacího řízení, které se týká haldového hospodářství je provozní plán pod záštitou báňského závodu. Provozní plány se dle plánovacího období dělí na rámcové, hlavní a zvláštní. Hlavní provozní plány se sestavují pro nejbližší dva roky. Zvláštní plány se sestavují pro dílčí etapy báňského závodu nebo pro konkrétní etapu projektu. Součástí těchto plánů jsou např. údaje o flóře, která bude využita při následné rekultivaci. Dále např. údaje o charakteru povrchu odvalu, pH, výživě pro rostliny atd. Pokud se jedná o lesnickou rekultivaci, musí zde být uveden budoucí záměr lesního hospodářství. Po skončení těžební činnosti se sestavují likvidační plány. Hlavním předmětem řešení těchto plánů je: bezpečnost budoucích uživatelů pozemku, ochrana nerostného bohatství, ovlivnění sousedních báňských provozů atd. (RENÉ 1992).

Z výše specifikované charakteristiky haldového hospodářství v Porúří vyplývá, že projekční činnost musí zohlednit všechny získané poznatky z krajinné ekologie a ochrany ŽP (RENÉ 1992).

4 METODIKA

4.1 Stanovení hypotézy

Hypotéza: S rostoucí teplotou vzrůstá koncentrace CO₂.

4.2 Oblast výzkumu

Několik výzkumů zaměřených na termický monitoring a atmoscreening uhelných hald bylo provedeno v ČR konkrétně na lokalitách Ema (Ostrava), Hedvika (Ostrava) a v k.ú. obce Tlučná (odval Krimich). Z těchto důvodů byla pro měření vybrána oblast východních Krkonoš.

Výzkum v podobě termického monitoringu byl realizován na 4 lokalitách – A (k. ú. Žaclěř – odval dolu Jan Šverma), B (k.ú. Žaclěř – odval Eliška), C (k.ú. Markoušovice, odval dolu Ignác), D (k.ú. Radvanice v Čechách, odval dolu Kateřina). Obr. 1 Na každé lokalitě se nacházel uhelný odval po těžbě černého uhlí.

4.3 Popis monitorovaných lokalit

Lokalita A (k.ú. Žaclěř - odval dolu Jan Šverma) má výměru 18 ha. Plocha tohoto odvalu je 189,461 tis. m² a výška 69,5 m. Nadmořská výška je 530 – 633 m n.m, přičemž konečná kóta vrcholu po následné rekultivaci činí 629 m n.m. Svrchní část odvalu je tvořena výpěrky z uhelného prádla. Dále obsahuje jílovité a písčité prachovce, uhelný detrit a uhelné laminy. Spodní část odvalu tvoří valouny a balvany. Podíl uhelné složky se pohybuje v rozmezí 25 – 30 % (JIŘÍ KOKEŠ, IX. 2011, in litt.).

Lokalita B (k.ú. Žaclěř – odval Eliška) má výměru 2,64 ha a rozkládá se na ploše 33,104 tis. m², přičemž výška činí 13 m. Nachází se v nadmořské výšce 531 – 544 m n. m. Odborný posudek na tuto lokalitu nebyl nikdy zpracován, tudíž nebylo možné získat zcela přesné informace o složení odvalu. Lokalita B obsahuje poměrně vysoký obsah uhelných zbytků až 30 %), popel, škváru a zbytky uhlí. Tento hlušinový odval byl v období 1968 – 1995 ve stavu zahoření. V současnosti je porostlý přirozeným náletem. V roce 1996 bylo provedeno odvodnění paty odvalu (JIŘÍ KOKEŠ, IX. 2011, in litt.).

Lokalita C (k.ú. Markoušovice – odval dolu Ignác) se rozkládá na ploše 1 800 m². Dosahuje délky 150 - 200 m a výšky 20 m na údolní straně. Lokalita C obsahuje důlní jalovinu s převahou pískovců, slepenců, prachovců, jílovců, uhelný proplástek a nekvalitní uhlí. Halda má objem cca 36 tis. m³ a obsahuje 40 % hořlavých složek (uhlí). Pokud odečteme 3 000 m³ čistého kamene z hloubení šachty a z ražby překopů do slojí, představuje to cca 18 tis. tun uhlí v různé podobě od uhelných proplástků až po uhelný prach. V roce 2006 došlo na haldě k uhelnému požáru, který byl způsoben lesními dělníky a také vlivem vysokého obsahu uhelné substance v haldě. Teplota na povrchu haldy se pohybovala v rozpětí 100 až 120 °C, zatímco podpovrchová teplota dosahovala až 1000 °C (JIRÁSEK 2007). Za pomoci dvoumetrových sond byla do větších hloubek dopravována voda, které se při těchto teplotách rozkládala na kyslík a vodík, což vedlo k výbuchům. Údajně zde dohořelo 800 tun uhelné hmoty rozptýlené v haldovině (JIRÁSEK 2007).

Lokalita D (k.ú. Radvanice v Čechách, odval dolu Kateřina). se rozkládá na ploše 212,137 tis. m². Výška činí 50 m. Celkový objem odvalu je 2,331 mil.m³ hmoty, přičemž celkový objem uhelné hmoty činil 443 tis. m³ tj. v průměru 19 %. Množství uhelné substance bylo nerovnoměrně rozloženo a místy činilo až 40 % obj. (JIRŮ KOKEŠ, IX. 2011, in litt.). Na odval byla ukládána rubanina, kámen, škvára, hlušina a uhlí. Před rokem 1979 se začala projevovat malá ohniska zápary, došlo k zahoření a tak bylo nutné přistoupit k sanaci odvalu. Zahoření odvalu bylo dlouhodobé a velice intenzivní, o čemž svědčí měřené teploty uvnitř odvalu, které dosahovaly 1000 a více °C. Pokud by nebyl odval sanován a zrekultivován, existuje zde pravděpodobnost, že by samovolné vyhoření trvalo dalších 50 – 100 let (POLÁČEK 2003; NĚMEC 2006).

4.4 Termický monitoring a atmoscreening

Termický monitoring byl realizován v pravidelné síti na celé ploše uhelných odvalů. Vzdálenost mezi jednotlivými měřeními body činila 10 m v případě lokalit A – C, v případě lokality D činila vzdálenost mezi jednotlivými měřeními body 60 m – vzhledem k velikosti odvalu. Pro vyměření stejné vzdálenosti v rámci jednotlivých bodů bylo použito pásmo.

Metoda termického monitoringu spočívala v měření povrchové (1 – 2 cm pod povrchem) a podpovrchové teploty (v hloubce 50 cm). Měření bylo prováděno ve

dnech bez srážek, aby výsledky nebyly zkresleny. Důraz byl kladen také na to, aby nepršelo 2 - 3 dny před měřením, což by též mělo negativní vliv na výsledky měření.

Po dokončení plošného termického monitoringu byla přeměřena termicky nejaktivnější místa na konkrétním odvalu v tzv. kontrolním čtverci 3 x 3m.

Kontrolní čtverce mají rozměr 3 x 3 m (čili 16 bodů) na odvalu Eliška (2 kontrolní čtverce) a rozměr 2 x 2 m (čili 9 bodů) na odvalu dolu Jan Šverma. Zbylé dvě lokality nebyly termicky aktivní, tudíž zde nebyla prováděna měření v kontrolních čtvercích.

4.5 Měření teploty

Povrchová teplota byla měřena autonomním měřícím zařízením dvanáctibitového rozhraní Vernier Labquest, na který lze připojit další senzory např. senzor vlhkosti, senzor CO₂ atd. Pomocí tohoto přístroje lze data sbírat s maximální vzorkovací frekvencí 100 kHz, pokud není některý konkrétní senzor konstrukčně omezen nižší frekvencí. Teplotní rozhraní je 0 až 70 °C. Přístroj dále obsahuje vysokokapacitní akumulátor, který vydrží přibližně 8 hodin. V případě vybití byl k dispozici externí adaptér. Povrchová teplota byla měřena čidlem pro měření teploty, které bylo napojené na LabQuest. Teplotní čidlo má rozsah -20 až 110 °C. Je spolehlivě odolné až do teploty 130 °C. Přesnost je ± 0,5 °C.

Podpovrchová teplota byla měřena zapichovacím teploměrem GTH 1170, jehož teplotní rozhraní je -65 °C až +199,9 °C s přesností ± 0,05 % z měřené hodnoty a ± 0,2 % rozsahu a při teplotním rozhraní -65 °C až +1150 °C činí přesnost ± 0,1 % z měřené hodnoty a ± 0,2 % rozsahu.

Při měření povrchové a podpovrchové teploty odvalu byla současně zjišťována (měřena) koncentrace CO₂. K měření byl použit přístroj rozhraní Vernier Labquest se senzorem CO₂. Měření koncentrace CO₂ probíhalo tak, že po vyhloubení sondy do hloubky 50 cm se spustil senzor do uvedené hloubky a docházelo k automatickému snímání koncentrace. Bylo důležité počkat, až se hodnota koncentrace ustálí. Toto měření bylo prováděno záměrně, neboť mnozí autoři v odborné literatuře uvádějí, že emise, zejména oxidy uhlíku, jsou přímo spojovány se vzrůstem teploty v haldě. Přítomnost oxidů uhlíku v haldě či v uhelné sloji indikuje samovznícení. Je dokázáno, že při vzrůstu teploty ze 40 do 80 °C vzrůstá

koncentrace CO z 50 na 300 ppm. Co se týče koncentrace CO₂, tak ta dosahuje vyšších hodnot, řádově ve stovkách ppm (WANG et al. 2003).

Ke každému změřenému bodu byl zaznamenán údaj o polohopisu a výškopisu na GPS přijímači Leica GPS 1200+ s přesností 0,01 m. Souřadnice jsou zaznamenány v systému WGS 84. Zpracování dat proběhlo v programech Leica GeoOffice, ArcGIS 9.3 a Surfer 9.

Před vlastním měřením podpovrchové teploty byla ocelovou tyčí o průměru 2 cm „vyhloubena“ sonda do hloubky 50 cm z důvodu snazšího zavádění teploměru pro hloubkové měření.

Lokalita A (k. ú. Žacléř – odval dolu Jan Šverma,) byla měřena 2. 4. 2011, teplota vzduchu činila 9 °C a počasí bylo oblačné. Lokalita B (k.ú. Žacléř – odval Eliška) byla měřena 17. 4. 2011, teplota vzduchu činila 11 °C a počasí bylo oblačné. Lokalita C (k.ú. Markoušovice, odval dolu Ignác) byla měřena 24. 4. 2011, teplota vzduchu činila 12 °C a počasí bylo oblačné. Lokalita D (k.ú. Radvanice v Čechách, odval dolu Kateřina) byla měřena 6. 7. 2011, teplota vzduchu byla 22 °C a počasí bylo oblačné. Níže uvedená tabulka uvádí souhrnné informace o měřených lokalitách, včetně počtu změřených bodů na jednotlivých odvalech.

Tabulka 3: Přehled měřených lokalit

Lokalita	Datum měření	Teplota (° C)	Počasí	Počet změřených bodů
A	2. 4. 2011	9 °C	oblačno	297
B	17. 4. 2011	11 °C	oblačno	142
C	24. 4. 2011	12 °C	oblačno	45
D	6. 7. 2011	22 °C	oblačno	50

Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

4.6 Matematické modelování teplotního pole

4.6.1 Matematický model

Hlavním cílem modelových prací bylo pomocí matematického modelu zhodnotit objem potenciálně využitelné energie pro energetické účely a možnou dobu využívání haldy.

Velikost potenciálně využitelné energie je dána: vlastnostmi haldy (velikostí, složením, stářím a historií zahoření hald), fyzikálními a chemickými procesy v haldách (tepelnými vlastnostmi jednotlivých materiálů – tepelná vodivost, tepelná kapacita, obsahem kyslíku v tělese haldy, pórovitostí, chemickými procesy uvnitř hald), okolním prostředím hald (zejména klimatickými poměry regionu).

Pokud jsou známy teploty na povrchu haldy, lze inverzním modelováním určit velikost zdroje energie tak, aby teploty na povrchu dosahovaly měřených hodnot. Tak získáme množství energie, které musí být do haldy dodáno, aby dosáhla měřených hodnot na povrchu a 50 cm pod. Jestliže zjistíme kolik energie je v haldě vytvářeno v současnosti a vynásobíme ho tepelnou výhřevností a objemem uloženého materiálu, dostaneme maximální množství energie, které by se mohlo z haldy uvolnit.

Metodika modelových prací vycházela z úvahy, že velikost měřených teplot na povrchu a 50 cm pod povrchem je dána velikostí energie proudící z tělesa haldy a klimatickými poměry. Účelem bylo kvantifikovat velikost tepla tak, aby teploty měřené odpovídaly teplotám modelovým.

Nejprve bylo zjištěno složení haldy a tepelné vlastnosti jednotlivých materiálů pro určení průměrných parametrů prostředí. Poté byl sestaven konceptuální model a specifikovány procesy ovlivňující proudění tepla v haldě a jejím okolí. Na základě konceptuálního modelu byl vybrán takový matematický model, který umožní simulovat procesy v haldě. Pak byl vytvořen vlastní matematický model a v rámci kalibrace stacionárního modelu měněny parametry prostředí a velikost dodávaného tepla tak, aby bylo dosaženo maximální shody měřených a modelových teplot pod a na povrchu haldy.

Po kalibraci stacionárního modelu bylo použito vypočítané tepelné pole jako počáteční podmínky pro transientní simulace, u kterých dojde k vypnutí okrajových podmínek simulujících dotaci tepla do systému (simulace zahoření). Pomocí

transientních simulací určíme dobu, za kterou dojde k ustálení podmínek v případě, že by nedocházelo (kromě přirozeného tepelného toku země) k dotaci tepla do systému.

4.6.2 Konceptuální model

Schematický konceptuální model je zobrazen na obr. 2. Teplo je do modelu dodáváno přirozeným tepelným tokem země a vznikem uvnitř haldy. Tepelná energie je spotřebována na ohřátí infiltrované dešťové vody a únikem do atmosféry kde je pomocí konvekce unášeno. Rozhraní halda/vzduch a zem/vzduch tedy funguje jako prakticky neomezený odběratel tepla dodávaného do prostředí. Přenos tepla ve vzduchu je realizován zejména za přispění konvekce. Proudění tepla v horninovém prostředí je realizováno zejména vlivem kondukce v závislosti na velikosti pórového prostředí a jeho saturaci. Pro účely modelu není nutné simulovat proudění tepla ve vzduchu. Důležité je simulovat rychlý přestup tepla do atmosféry. Konvekci vzduchu je tedy možné zanedbat. Podle LIENHARD et LIENHARD (2011) záření roste s teplotou a v nejteplejších částech odvalu může mít významný vliv na přenos tepla. Vliv vyššího záření je simulován pomocí hodnot tepelné vodivosti.

V prostoru haldy se nenachází ustálená hladina podzemní vody. Vlhkost haldy je dána velikostí srážkové infiltrace. Pod povrchem haldy dosahovaly měřené teploty až 70 °C. Lze tedy předpokládat, že uvnitř v haldě mohou teploty dosahovat několikanásobných hodnot. Při takto vysokých teplotách dochází ke zvýšenému výparu a je pravděpodobné, že voda se v nejteplejších místech haldy vyskytuje spíše ve formě vodní páry. Konvektivní přenos tepla je tedy v haldě realizován spíše pohybem vodních par než přenosem s ohřátou vodou.

V rámci matematického modelu byl simulován přenos tepla pomocí kondukce. Výsledné parametry prostředí haldy byly zadány tak, aby v co největší míře byly simulovány všechny faktory ovlivňující proudění tepla v haldě a v okolním prostředí.

4.6.3 Matematický model odvalu Eliška

Pro simulaci proudění tepla byl pro lokalitu v k.ú. Žacléř – odval Eliška výsledně zvolen matematický model SHEMAT a pre a post procesor Processing SCHEMAT (CLAUSER 2003).

Přenos tepla v horninovém prostředí je realizováno pomocí mechanismu:

- Kondukcce: přenos tepelné energie ve směru teplotního gradientu v prostředí,
- Konvekce: přenos tepelné energie vlivem proudění nosného média (voda, vzduch).

Přenos tepla v prostředí (CLAUSER 2003) popisuje parciální diferenciální rovnice druhého řádu založené na rovnice kontinuity:

$$\nabla(\lambda\nabla T - \rho_f c_f Tq) = \frac{\partial T}{\partial t}(n\rho_f c_f + (1-n)\rho_s c_s) - H$$

kde:

1. tok tekutiny, q (m/s)
2. tepelná vodivost, λ ($\text{Js}^{-1}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$)
3. hustota tekutiny, ρ_f ($\text{kg}^{-1}\text{m}^{-3}$)
4. hustota prostředí, ρ_s ($\text{kg}^{-1}\text{m}^{-3}$)
5. specifická tepelná kapacita tekutiny, c_f ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
6. specifická tepelná kapacita prostředí, c_s ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
7. čas, t (s)
8. počáteční teplota, T (K),
9. pórovitost, n (-)
10. intenzita dotace/odběrů tepelné energie, H ($\text{J s}^{-1}\text{m}^{-3}$)

Levá strana rovnice popisuje změnu teploty vlivem konvekce a kondukcce. Pravá strana popisuje rychlost změny teplotního pole prostředí (materiál + pórový prostor) a dotace/odběry tepelné energie do modelové domény.

Výsledný model má rozměry 340 x 160 m a je tvořen 136 řádky a 64 sloupci o délce základny 2,5 m. Ve vertikálním směru je model rozdělen do 43 vrstev s proměnlivou mocností. Výsledné mocnosti jednotlivých vrstev jsou zobrazeny v Tabulce 4. Prostedí nad haldou (v závislosti na poloze) je rozděleno do 10 vrstev s mocností od 0,5 do 10 m. Vlastní těleso haldy je rozděleno do 25 vrstev s mocnostmi od 0,15 do 1 m. Nejmenší mocnosti jsou zadány v místech měřených teplot a na styku halda/vzduch a halda/podložní hornina. Celková mocnost haldy je 13,2 m. Podloží haldy je rozděleno do 7 vrstev s mocnostmi od 1 do 10 m.

4.6.3.1 Okrajové podmínky

ŠAFANDA et al. (1997) uvádí hodnotu povrchového tepelného toku v Českém masivu v rozmezí $43 - 71 \text{ m}^{-1} \text{ W m}^{-2}$. Přirozený tepelný tok $60 \text{ m}^{-1} \text{ W m}^{-2}$ je simulován okrajovou podmínkou druhého typu zadanou do 43. modelové vrstvy (báze modelu), charakterizovanou konstantním přísunem tepelné energie do modelu.

Okrajovou podmínkou 2. typu je simulována dotace tepla uvnitř haldy. Okrajová podmínka je zadána do 35. modelové vrstvy. Velikost okrajové podmínky byla během kalibrace matematického modelu měněna tak, aby došlo k co nejlepší shodě měřených a modelových hodnot.

Odtok tepla je simulován pomocí okrajové podmínky 1. druhu zadané do 1. modelové vrstvy a představuje dlouhodobý průměr teploty pro lokalitu.

4.6.3.2 Parametry prostředí

Protože je přenos tepla v atmosféře realizován zejména vlivem konvekce, bylo nutné zadat parametry prostředí nad haldou a zemským povrchem tak, aby bylo minimalizováno ovlivnění teplot okrajovou podmínkou zadanou do 1. modelové vrstvy. Parametry prostředí jsou tak několikanásobně zvýšeny oproti reálným parametrům vzduchu tak, aby kladly co nejmenší odpor úniku tepla z haldy. V reálném stavu se tak děje vlivem konvekce vzduchu.

Parametry vlastního tělesa haldy byly ve stacionárním modelu zadány tak, aby reprezentovaly vlastnosti parametrů jednotlivých uložených materiálů, objemu vzduchu a vody v porézním prostředí. Výsledné parametry jsou vypočteny způsobem použitým v MODFLOW/MT3DMS od THORNE et al. (2006) pomocí vážených průměrů. V průběhu kalibrace modelu byly velikosti jednotlivých parametrů měněny tak, aby došlo k největší shodě měřených a modelových teplot. Konečná tepelná kapacita prostředí byla stanovena na $2,17 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a tepelná vodivost na $3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. V transientním modelu byly hodnoty zmenšeny 0,5 a 1,5 x pro vyhodnocení parametrů vlivu teplot (viz grafy 1 a 2).

Parametry podloží jsou zadány pomocí tabulkových hodnot hornin tvořících podloží jednotlivých vrstev (hodnoty $1.6 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a $2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

4.7 Statistika

Statistika byla vypočtena v programu Statistica 9. Byla provedena korelace podle Spearmanova korelačního koeficientu.

Z grafu č. 3 – Uhelná halda A (k.ú. Žacléř - odval dolu Jan Šverma) a výsledků statistické analýzy lze usuzovat, že více než 60 % ($R^2 = 0,62$) celkové variability naměřených dat vysvětluje lineární závislost mezi vývěrem CO₂ a teplotou.

Z grafu č. 4 – Uhelná halda B (k.ú. Žacléř - odval Eliška) a výsledků statistické analýzy lze usuzovat, že více než 40 % ($R^2 = 0,41$) celkové variability naměřených dat vysvětluje lineární závislost mezi vývěrem CO₂ a teplotou.

Z grafu č. 5 – Uhelná halda C (k.ú. Markoušovice, odval dolu Ignác) a výsledků statistické analýzy lze usuzovat, že 20 % ($R^2 = 0,20$) celkové variability naměřených dat vysvětluje lineární závislost mezi vývěrem CO₂ a teplotou.

U grafu č. 6 – Uhelná halda D (k.ú. Radvanice v Čechách, odval dolu Kateřina) nebyla prokázána lineární závislost.

5 VÝSLEDKY

5.1 Výsledky matematického modelu

5.1.1 Stacionární simulace

Počáteční podmínky v celém modelu byly zadány na úrovni 10 °C. Do míst největších měřených teplot (Obr. 4 – Povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Žacléř – odval Eliška) byla pomocí okrajové podmínky 2. typu simulována celková dotace 5.3 kW na plochu 100 m². Zadaná hodnota vychází z kalibrace matematického modelu, při které byly měněny její hodnoty tak, aby došlo k co nejlepší shodě modelových a měřených hodnot teploty 50 cm pod povrchem. Na obrázku č. 3 (Modelové izotermy a tepelné pole tělesa haldy - 15. modelová vrstva) jsou zobrazeny modelové izotermy a teplotní pole simulace ustáleného proudění 50 cm pod povrchem haldy. Pro přehlednost jsou v obrázku uvedeny měřené teploty pomocí škálovaných značek. Největší modelové teploty dosahují 58 °C. Nejvyšší měřené teploty lokálně dosahují až 75 °C. Měřené teploty vykazují vysokou prostorovou variabilitu, kdy v těsné blízkosti měřených maximálních hodnot jsou naměřeny hodnoty nedosahující ani 15 °C. V těchto místech dochází k největším rozdílům mezi modelovými a měřenými hodnotami.

Teploty v tělese haldy, v místech dotace energie dosahují hodnot převyšující 100 °C.

5.1.2 Transientní simulace

Cílem transientní simulace bylo určit vývoj teplotního pole po ukončení dotace tepelné energie do systému haldy (vyhoření aktuálního zdroje tepla).

Jako počáteční teplotní pole bylo použité modelové tepelné pole simulované ve stacionární simulaci. Zadání transientního modelu je shodné se stacionárním, pouze nebyla simulována dotace tepla uvnitř haldy.

Grafy 1 a 2 zobrazují vývoj teplot v pozorovacích bodech umístěných v 15. a 35. modelové vrstvě v místech předchozí dotace tepla. Nejrychlejší pokles teploty nastává v prvních letech od ukončení dotace tepla do haldy. Ještě po 20. letech po ukončení dotace tepla překračuje teplota v tělese haldy 20 °C. Těsně pod povrchem haldy dojde k poklesu teploty na 10 °C po cca 10 letech.

5.2 Výsledky měření

Z výsledků bylo zřejmé, že lokalita A (k. ú. Žaclěř – odval dolu Jan Šverma) je termicky aktivní, což bylo potvrzeno i na základě kontrolního čtverce. Nejvyšší teplota dosahovala 31,3 °C v hloubce 50 cm pod povrchem při povrchové teplotě 28,8 °C a teplotě okolního vzduchu 9 °C. V kontrolním čtverci byla nejvyšší teplota 27,1 °C v hloubce 50 cm pod povrchem při povrchové teplotě 24,1 °C a teplotě okolního vzduchu 9 °C. Naopak nejnižší teplota 50 cm pod povrchem činila 5,1 °C při povrchové teplotě 2,7 °C a teplotě okolního vzduchu 9 °C. Dalšími důkazy termické aktivity byl výskyt vegetace v oblasti kontrolních čtverců, přepálené horniny na bočním svahu odvalu a nezasněžená místa v období zimy. Naměřené povrchové a podpovrchové teploty jsou zobrazeny na obr. 4.

Lokalita B (k.ú. Žaclěř – odval Eliška) v porovnání s lokalitou A vykazovala značnou termickou aktivitu. Nejvyšší podpovrchová teplota dosahovala 64,2 °C při povrchové teplotě 25,3 °C a teplotě okolního vzduchu 11 °C. Kontrolní čtverec potvrdil zvýšenou lokální termickou aktivitu, kdy nejvyšší podpovrchová teplota činila 70,4 °C při povrchové teplotě 25,3 °C a teplotě okolního vzduchu 11 °C, což je tedy značný rozdíl. Naopak nejnižší podpovrchová teplota činila 4,9 °C, při povrchové teplotě 6,5 °C a teplotě okolního vzduchu 11 °C. Značná termická aktivita byla prokazatelná na základě vizuálního posouzení, kdy v blízkosti kontrolního čtverce unikal ventarol a dále pak dle výskytu zeleně. Vysoká teplota odvalu v tomto místě byla již patrná při položení ruky na termické místo. Dalším prokazatelným důkazem termické aktivity byl nález přepálených hornin, které jsou důkazem procesu samovznícení a postupného prohořívání. (Obr. 5)

Lokalita C (k.ú. Markoušovice, odval dolu Ignác) nevykazovala žádnou termickou aktivitu. Nejvyšší podpovrchová teplota byla 18,6 °C, při povrchové teplotě 18,9 °C a teplotě okolního vzduchu 12 °C. Vzhledem k tomu, že zde nebyly objeveny výrazné hodnoty podpovrchové teploty, nebyl realizován kontrolní čtverec. Naopak nejnižší teplota činila 4,9 °C při povrchové teplotě 5,9 °C a teplotě okolního vzduchu 12 °C. (Obr. 6)

Lokalita D též (k.ú. Radvanice v Čechách, odval dolu Kateřina) nevykazovala žádnou termickou aktivitu. Nejvyšší naměřená podpovrchová teplota byla 24,3 °C při povrchové teplotě 28,3 °C při teplotě okolního vzduchu 22 °C. Vzhledem k historii

odvalu, spojené s jeho rekultivací za účelem utlumení termické aktivity, bylo cílem měření ověřit, že již není termicky aktivní, což následně potvrdily i výsledky měření, kdy nejnižší podpovrchová teplota byla 14,4 °C při povrchové teplotě 19,8 °C a teplotě okolního vzduchu 22 °C. (Obr. 7)

6 DISKUSE

Pro měření lokalit bylo záměrně zvoleno období, kdy je půda nasycena zimní vláhou, resp. kdy je v půdě podstatný podíl množství zásoby zimní vláhy. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že skutečný objem tepla (dotace tepla, energie) může být i daleko vyšší (než prokázalo měření) a naopak se snižuje pravděpodobnost, že by byl menší. Jedná se pouze o kvalifikovaný odhad potenciálu energie (tepla).

Výzkum prokázal termickou aktivitu na dvou měřených lokalitách ze čtyř. Dále prokázal fakt, že i přesto, že se na lokalitě vyskytují ozeleněné plochy, může být odval stále termicky aktivní. Stejně tak jako důkazy v podobě přepálených hornin, které poukazují na proces samovznícení a postupného prohořívání. Autoři ZHANG et KUENZER (2007) ve svém výzkumu dále uvádějí, že vegetace způsobuje stínění a chladnější teplotu i krátce po východu slunce. Nicméně dle našeho názoru je tento jev pouze dočasný, neboť naopak v případě našeho výzkumu byla vegetace projevem teplotních anomálií a důkazem procesu samovznícení. I na ozeleněných plochách byly naměřeny poměrně vysoké teploty, jak je uvedeno u lokality B (k.ú. Žaclěř – odval Eliška). Kdy unikající teplo z hloubi odvalu způsobovalo a podporovalo růst vegetace v jarním období.

Matematický model neuvažoval ohřívání povrchu terénu vlivem dotace tepla ze slunečního záření a ochlazování vlivem průniku atmosférických srážek do tělesa skládky. Tento zdroj byl pomocí tohoto modelu určen minimálně na hodnotu 5,3 kW/100 m². Z časového hlediska by za předpokladu vyhoření aktuálního zdroje tepla při zadaných parametrech prostředí haldy teplota uvnitř jejího tělesa nepoklesla pod 20 °C následujících minimálně 20 let.

Vzhledem ke složení hald a jejich prostorové nerovnoměrnosti a množství potenciálně termických materiálů by ve skutečnosti mohla doba termické aktivity mnohem delší a intenzivnější, což by vyžadovalo další výzkum tzv. hloubkovou termometrií za pomoci ocelových sond, které by byly instalovány min. do hloubky 2 – 3 m. Teploty by se měřily v této hloubce po delší období např. 1 rok speciální monitorovací jednotkou (tak by se mohl sledovat i přesný vliv počasí na odval). Toto měření by bylo navíc doplněno termovizí, která by určila místa s největším zdrojem tepla. Ze získaných výsledků lze určit místo, ze kterého by se jímalo teplo.

Údaje získané ze satelitní termovize nejsou příliš vhodné z důvodu jejich teplotního rozlišení. Alternativou může být tzv. bezpilotní letoun (UAV - Unmanned Aerial Vehicle), který může být řízen ze vzdáleného přístupu či létat na základě přeprogramovaných letových plánů. Údaje získané touto formou mají dobrou přesnost, jsou nižších nákladů a lze s nimi shromažďovat další údaje (např. digitální model terénu, ortofoto, tepelné mapy atd). (STRAKOVÁ et ŘEZNÍČEK 2013). Bohužel termovizní metody neumožňují měření oxidu uhličitého či vlhkosti půdy.

Získané výsledky by bylo možné určit místo, ze kterého teplo mohlo být shromažďováno.

Podobný výzkum byl uskutečněn v údolí Bjørndalen nedaleko Svalbardu, kde byly měřeny teploty v hloubce 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 7 m pod povrchem, přesněji pod vrcholem odvalu. Teploty byly měřeny v období od srpna 2004 do srpna 2009. Součástí měření byla instalace meteorologické stanice, umístěné zhruba 1 km na severozápad od odvalu. Stanice zaznamenávala teplotu vzduchu, povrchovou teplotu a vlhkost vzduchu a to každou půl hodinu. HOLLESEN et al. (2009) Získaná data ze stanice byla použita jako vstup pro CoupModel. Tento jedno-dimenzionální číselný model slouží pro analýzu tepla a proudění vody v půdě či jiných médiích, přičemž využívá Fourierovu a Darcyho rovnici. JANSSON et KARLBERG (2001)

Z výzkumu byly zjištěny tyto výsledky: průměrná naměřená teplota pod zemským povrchem dosahovala až 10 °C při průměrné teplotě vzduchu -5,8 °C. S tím, že v současné době dochází naopak ke snižování podpovrchových teplot až k 0,5 °C. Dále bylo zjištěno, že vysoké teploty pod zemským povrchem a stejně tak povrchové teploty, které unikají z hlubších vrstev způsobují tání sněhu HOLLESEN et al. (2009) Tento fakt byl potvrzen na lokalitě A (k. ú. Žaclěř – odval dolu Jan Šverma), kdy v důsledku vysokých podpovrchových teplot docházelo k tání sněhu, které bylo zřetelné pouze na některých místech odvalu. Některé studie poukazují na to, že rychlost oxidace vzrůstá s teplotou nad 70 °C, přičemž tato teplota je kritická pro termický rozklad a vede k procesu samovznícení. Tento jev byl pozorován na lokalitě B, kde byla naměřena nejvyšší teplota 70,4 °C a byly zde sledovány projevy postupného prohořívání (únik ventarolu, výskyt zeleně, teplo na rukou po přiložení na termicky aktivní místo). I když v rámci našeho výzkumu byly teploty měřeny pouze v hloubce 50 cm pod zemským povrchem dosahovaly daleko vyšších hodnot než ve výše zmíněné studii. Z toho vyplývá, že pakliže by byl náš výzkum realizován ve větších hloubkách, existuje zde velký předpoklad vyšších naměřených hodnot.

Další výzkum byl realizován v uhelné těžební oblasti Wuda in north central China. Cílem výzkumu bylo průběžné měření povrchových a podpovrchových teplot během dne. Přičemž teploty byly měřeny na povrchu a dále pak 1 cm, 3,2 cm, 6,4 cm, 9,6 cm a 12,8 cm pod povrchem. Nejvyšší naměřená teplota v hloubce 1 cm pod povrchem byla 36 °C a to v dopoledních hodinách. V našem případě byla nejvyšší naměřená povrchová teplota 28,8 °C a to na lokalitě A (k. ú. Žacléř – odval dolu Jan Šverma).

Fyzikální a chemické procesy probíhající v haldách jsou značně složité a dosud nebyly jednoznačně specifikovány, tzn., že se většinou jedná o hrubé odhady. Značný vliv na odvaly mají určité klimatické poměry regionu, jako teplota, vlhkost, srážky, povětrnostní podmínky atd. Nejen že tyto faktory mohou značně zkreslit výsledky měření, ale také mohou ovlivňovat procesy samovznícení. Např. teplota zahřívá zemský povrch a tím i těleso odvalu, z toho důvodu je důležité provádět měření ve větších hloubkách, kde už nebudou působit teplotní vlivy. Srážky též způsobují nepřesné výsledky měření (v tomto případě je dobré, měření provádět v době, kdy neprší).

7 ZÁVĚR

Donedávna se na uhelné haldy nahlíželo jako na neobvyklé geomorfologické tvary, jež ve většině případů narušují krajinný ráz a představují ekologickou zátěž pro životní prostředí. Jsou zdrojem endogenních požárů, které způsobují degradaci životního prostředí. Jejich sanace je finančně velmi nákladná. Z uhelných odvalů dochází k uvolňování toxických a skleníkových plynů (např. CO₂, H₂S, SO_x atd.), které mají negativní vliv na zdraví člověka a ŽP.

V posledních letech se vědci a výzkumníci soustředí na možnosti využití termických procesů v praxi a nahlíží na uhelné haldy jako na obdobu alternativních (periferních) zdrojů energie. Realizované výzkumy (včetně našeho) potvrdily skutečnost, že odvaly disponují významným energetickým potenciálem, který lze za použití vhodné technologie využívat několik let.

Provedený výzkum v oblasti východních Krkonoš potvrdil termickou aktivitu na dvou ze čtyř odvalů. Dále byla prokázána skutečnost, že i když se na odvalu nachází vegetace, může být odval i nadále termicky aktivní. Důkazem jsou rovněž tepelně alterované horniny, jež indikují proces samovznícení a postupné prohořívání. Výsledky matematického modelu určily zdroj tepla na hodnotu 5,3 kW/100 m². Dalším důležitým výsledkem modelování je, že teplota uvnitř tělesa haldy by nepoklesla pod 20 °C následujících minimálně 20 let.

Hypotéza - S rostoucí teplotou vzrůstá koncentrace CO₂ byla potvrzena u dvou ze čtyř měřených lokalit, zejména u lokality A (k.ú. Žaclěř - odval dolu Jan Šverma) a lokality B (k.ú. Žaclěř - odval Eliška).

8 POUŽITÁ LITERATURA

ADAMEC, Z., 2005: Likvidace dolu Jan Šverma v Žacléři. Uhlí – rudy – geologický průzkum. Roč. 12, č.5: 32 – 33.

ADVANI, S.H., LEE, J.K., MIN, O.K., 1983: Formulations, Simulations and Evaluations Associated with Thermo-Mechanical Models for Underground Coal Gasification. Volume 7, no.2: 121 p.

AKGÜN, F., ARISOY, A. 1994: Effect of particle size on the spontaneous heating of a coal stockpile. Combustion and Flame 99 (1), 137 – 146.

ANTHONY, J.W., WILLIAMS, S.A., BIDEAUX, R.A., 1977: Mineralogy of Arizona. University of Arizona Press. Tucson, 508 s.

ARCADIS GEOTECHNIKA, a.s., 2009: Programový projekt – Výzkum termických procesů odvalů vzniklých při těžbě uhelných ložisek, vývoj metod a zařízení pro využití termického potenciálu. 30 s.

BARGHOORN, E.,S., 1952: Degradation of plant materials and its relation to the origin of coal. 2nd Conference on the origin and const.of coal. Nova Scotia. 181 – 203.

BEAMISH, B. B., BARAKAT, M.A., GEORGE, J.D.S., 2000: Adiabatic testing procedures for determining the self-heating propensity of coal and sample ageing effects. Thermochemica Acta 362 (1-2), 79 – 87.

BEAMISH, B.B., BARAKAT, M.A., St. GEORGE, J.D., 2001: Spontaneous-combustion propensity of New Zealand coals under adiabatic conditions. International Journal of Coal Geology 45 (2-3), 217 – 224.

BELL, F. G., BULLOCK, S. E. T., HÄLBICH, T. F. J., LINDSAY, P. 2001: Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfire, South Africa. Int. J. Coal Geology, 45, 195 – 216.

BHARAT COKING COAL LIMITED, 2003: In: Brief History of BCCL, Coal India, Koyla, Bhavan, Dhanab. 1 – 3, online: <http://bccl.nic.in/About-us.htm>, cit. 2.12.2003.

BHUTTO, A. W., BAZMI, A. A., ZAHEDI, G., 2013: Underground coal gasification: From fundamentals to applications. Progress in Energy and Combustion Science. Volume 39, no. 1, 189 – 214.

BOJKO, M., BRANČ, M., 2009: A definition of the mathematical model of combustion process in the stove. VŠB-TU, Ostrava. 5 s.

BOUŠKA, V., DVOŘÁK, Z., 1997: Nerosty Severočeské hnědouhelné pánve. Nakladatelství Dick, Praha, 158 s.

BOYD, R., LOWE, A., 1987: Three-dimensional modeling of a pulverised-coal fired utility furnace. International Symposium on Coal Combustion, Beijing, September 1987.

BROOKS, K., BRADSHAN, S., GLASSER, D., 1988: Spontaneous combustion of coal stockpiles – an unusual reaction engineering problem. Chemical Engineering Science, 43 2139 – 2145.

CARRAS, J.N., YOUNG, B.C., 1994: Self-heating of coal and related materials: models, application and test methods. Progress in Energy and Combustion Science 20, 1-15.

CIGÁNEK, J. 1998: Likvidace hořících odvalů. In: Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava: problémy spojené s technickou likvidací dolů: sborník referátů semináře. Ostrava, VŠB – technická univerzita Ostrava, 29 – 33.

CÍLEK V., 2006: Z čeho jsou haldy složeny? In: KRINKE L. et ŠUBRTOVÁ D. [eds.]: Haldy / Arizona. Hornický skanzen Mayrau, Vinařice u Kladna. 6 - 9.

CLAUSER, C., 2003: Numerical Simulation of Reactive Flow in Hot Aquifers, using SHEMAT/Processing Shemat, Springer Verlag, Heidelberg-Berlin, 332 s.

CORREA, S., RODRIGO, KRAUTZ, H., MIYAKE, G., RAPHAEL, BAZZO, E., 2009: Theoretical Analysis of Heat Transfer in a pulverised Coal Combustion Chamber under O₂/CO₂ Atmosphere. 20 th Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2009), The Convention Center of FAURGS (UFRGS), Gramado, Rio Grande do Sul, 15 – 20, November 2009.

CUDMORE, J.F., 1964: Spontaneous Combustion of the Greta Seam-New South Wales, Colliery Guardian, 487 – 489.

ČESNOKOV, B.V., ŠČERBAKOVA, E.I., 1991: Mineralogija gorelych otvalov Čeljabinskogo ugolnogo bassejna (opyt mineralogii technogeneza). Nauka, Moskva. 152 s.

DEKOK, D., 1986: Unseen Danger. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, iUniverse.com, New York.

DEMEK, J., 1984: Obecná geomorfologie III. SPN, Praha, 139 s.

DIAMOS, 1993: Technické vyjádření k ukládání materiálů z hornické činnosti na odvale R1. DIAMOS, Ostrov, 7 s.

DIDARI, V., ÖKTEN, G. 1994: Spontaneous combustion of coal and prevention methods. In: Kural, O. editor. Coal-resources, properties, utilization, pollution. 215 – 221.

DIESSEL, C. F. K., 1992: Coal-Bearing Depositional Systems. Springer-Verlag, Berlin, 721 s.

- DISCOVER, 1999: China 's on fire. R&D News 20 10, 20 s.
- DOPITA, M., AUST, J., 1997: Geologie české části hornoslezské pánve. MŽP ČR, Praha, 278 s.
- DOPITA, M., HAVLENA, V., PEŠEK, J., 1985: Ložiska fosilních paliv. Nakladatelství technické literatury, Praha. 264 s.
- DRLÍK, R., 1964: Ostravskokarvinský revír bez hald. Ostrava: Krajské nakladatelství, Sborník příspěvků k dějinám a výstavbě města 2. 143 – 157.
- EICKER, H., 1993: Early detection of mine fires with intrinsically safe gaschromatographs. 25 th International Conference of Safety in Mines Research Institutes, 13 – 17 September, Pretoria.
- ELBERLING, B., SØNDERGAARD, J., JENSEN, L.A., SCHMIDT, L.B., HANSEN, B.U., ASMUND, G., BALIC-ZUNIC, T., HOLLESEN, J., HANSSON, S., JANSSON, P.E., FRIBORG, T., 2007: Arctic vegetation damage by winter-generated coal mining pollution released upon thawing. Environmental Science and Technology 41 (7), 2407 – 2413.
- ENERGIE STAVEBNÍ A BÁŇSKÁ, 2007: Báňské a ekologické stavby. 7 s.
- FINKELMAN, R.B., 2004: Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. International Journal of Coal Geology 59: 19 – 24.
- FINKELMAN, R.B., SKINNER, H.C., PLUMLEE, G.S. BUNNELL, J.E., 2001: Medical geology. Geotimes 46 11: 21 – 23. View Record in Scopus, cited by in Scopus (12).
- FINKELMAN, R.B., BELKIN, H.E., ZHENG, B., 1999: Health impacts of domestic coal use in China. Proceedings of the National Academy of science of the USA 46: 3427 – 3431. View Record in Scopus, cited by in Scopus (93).
- FLIR SYSTEMS, 2005: ThermoVision™ keeps fire risk under control in coal pile storage site. 2 s.
- GEISSINGER, J., 1990: Managing underground mine fires: the case of Centralia, Pennsylvania. The Pennsylvania Geographer 28 (2), 22 – 26.
- GHIRIBELLI, L., 2005: Heat transfer in a boiler with coal reburn. Clean Air. Volume 6, no. 2: 99 – 112.
- GLOVER, L., 1998: Underground Mine Fires Spark Residents Fears. Tribune-Rewiev, Greensburg, PA (May 3), A-1, A-10.
- GRAPES, R., 2006: Pyrometamorphism. Springer Verlag Berlin Hiedelberg, Germany, 276 s.

GREMLICA, T., BUREŠ, J., CÍLEK, V., MARTIŠ, M., PŘIKRYL, I., SÁDLO, J., VOLF, O., ZAVADIL, V., ZDRAŽIL, V., 2005: Analytická studie stavu krajiny Kladenska v částech narušených těžbou černého uhlí – doplněná a upravená verze. Ústav pro ekopolitiku, o.p.s. Praha, 155 s.

GRIGOREVICH, V., D., MASLOV, V.,P., VOLOSOV, K.,A., 1995: Mathematical modelling of heat and mass transfer processes. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 316 p.

GUATAM, P.K., SURANA, D.M., 2001: Characteristics and effects of spontaneous heating in Barmer lignite – A case study. Panigrahi DC. 1 st International Mine Environment and Ventilation Symposium, Dhanab, India, DEC 12, 2000: 471 – 477.

HÁJOVSKÝ J., 2009: Základní vyhledávací průzkum termických procesů na odvale Krimich. VUD, a.s. ZBUCH. Ostrava, 15 s.

HÁJOVSKÝ, J., 2003: Závěrečná zpráva o výsledcích podpovrchových termometrických měření za rok 2003, projekt 08/01. Ostrava:MS, Stavební geologie – Geotechnika a.s., 6 s.

HÁJOVSKÝ, J., 2014: Příklady termických procesů v hlušinových odvalech OKR. online:http://fast10.vsb.cz/brownfield/documents/Hajovsky_termika.pdf, cit.25.6.2014

HÁJOVSKÝ, J., HORÁK, V., 1998: Heřmanice – Svoboda. Ostrava: MS, odborný posudek, VVUÚ, a.s., Ostrava – Radvanice. 5 s.

HÁJOVSKÝ, J., JELÍNEK, P., 2014: Současný stav a budoucnost důlního odvalu Heřmanice, zasaženého termickými procesy.SG-Geoinženýring, s.r.o., DIAMO, s.p.,o.z. Odra, 21 s.

HÁJOVSKÝ, J., KRESTA, F., 2012: Výzkum termických procesů odvalů vzniklých při těžbě uhelných ložisek, vývoj metod a zařízení pro využití jejich termického potenciálu. Etapa XIII Pilotní projekt. Jímání termické energie z termicky aktivního odvalu Hedvika. Dílčí zpráva projektu ev.č. FR-TI1/307. 26 s.

HAVÍŘ, J., 2005: Historie dobývání černého uhlí ve Východočeských uhelných dolech. Uhlí – rudy – geologický průzkum. Roč. 12, č.5, 29 – 31.

HAVLENA, V., 1964: Geologie uhelných ložisek 2. Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 440 s.

HAVRLANT, M., 2004: Antropogenní formy reliéfu Ostravska. AV ČR. Ústav geoniky, Brno, 115 s.

HAVRLANT, M., KINCL, M., GERLICH, V.,1967: Přírodní podmínky a současný stav vegetačního krytu na černouhelných haldách ostravsko-karvinského revíru. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 81 s.

HEFFERN, E.L., COATES, D.A., 1997: Clinker – Its occurrence, use, and effects on coal mining in the Powder River Basin. Wyoming State Geological Survey Public Information Circular 38, 151 – 166.

HEIN, K.R.G., BEMTGEN, J.M., 1999: EU clean technology –co-combustion of coal and biomass. Fuel processing Technology. Volume 54, Issues 1 – 3: 159 – 169.

HEJNIC, O., 2009: Jak dál s největší ostravskou „doutnající haldou“? Diamo, s.p. online:<http://www.hornickyklub.info/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2009020014>, cit.5.3.2011.

HEJNIC, O., 2009: Jak dál s největší ostravskou „doutnající haldou“? Diamo, s.p. online:<http://www.hornickyklub.info/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2009020014>, cit.5.3.2009.

HEJTMAN, B., 1977: Petrografie, Nakladatelství technické literatury, Praha, 264 s.

HERNANDEZOVÁ, S., 2013: Plzeňsko skrývá miliony tun uhlí. online: http://plzensky.denik.cz/zpravy_region/plzensko-skryva-miliony-tun-uhli-20130211.html, cit.11.2.2013

HOLLESEN, J., ELBERLING, B., HANSEN, B.U., 2009: Modelling subsurface temperatures in a heat producing coal waste rock pile, Svalbard (78°N). Cold Regions Science and Technology 58, 68 – 76.

HOLLESEN, J., ELBERLING, B., HANSEN, B.U., 2010: Modelling temperature-dependent heat production over decades in High Arctic coal waste rock piles. Cold Regions Science and Technology 65, 258 - 268.

HOLLESEN, J., ELBERLING, B., JANSSON, P.E., 2009: Modelling subsurface temperatures in a heat producing coal waste rock pile, Svalbard (78°N). Cold Regions Science and Technology 58 (2009), 68 – 76.

HOLLESEN, J., ELBERLING, B., JANSSON, P.E., 2010: Modelling temperature-dependent heat production over decades in High Arctic coal waste rock piles. Cold Regions Science and Technology 65 (2011), 258 – 268.

HONĚK, J., 1979: Jednotná makropetrografická klasifikace uhlí. Čas. Mineral. Geol., 24, Praha, p. 446 .

HOŘČIČKA, L., 2002: Klasifikace a možnosti využití odvalových hald na Kladensku. Geologické služby s.r.o., Chomutov, 59 s.

HUBÁČEK, J., 1962: Chemie uhlí. SNTL, Praha, 472 s.

HUMLUM, O., INSTANES, A., SRACEK, O., 2003: Permafrost in Svalbard; a review of research history, climatic background and engineering challenges. Polar Research 22 (2), 191 – 215.

CHAKRAVORTY, R., N., FENG, K., K., 1978: Studies on the Early Detection of Spontaneous Combustion in a Hydraulic Coal Mine. CIM Buletin, s. 83.

CHAMBERLAIN, A.C., BARRAS, G., THIRLAWAY, J.T., 1976: Gases evolved and possible reactions during low-temperature oxidation of coal, Fuel, vol. 55, 217 s.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION, 2003: ITC 'S Coal fire home page. Online: <http://www.itc.nl/personal/coalfire/index.html>, November (2003) cit.14.12.2003.

JANSSON, P.E., KARLBERG, L., 2004: Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm. Report 3087.

JELÍNEK, J., DANĚK, T. 2007: Vyhořelé odvaly uhelných dolů – zdroj antropogenních porcelanitů. Zapobieganie Zanieczyszczeniu, Przekształcaniu i Degradacji Środowiska XIV; 307 – 315.

JELÍNEK, P., 2010: Termicky aktivní odvaly v ostravské a petřvaldské části OKR a jejich rizika pro životní prostředí. DIAMO, 8 s.

JIRÁSEK, V., 2003: Ve znamení mlátka a želízka: o hornictví na Jestřebích horách a okolí. Liberec, Bor, 206 s.

JIRÁSEK, V., 2006: O dolování černého uhlí v markoušovicko-svatoňovické oblasti na Jestřebích horách. Obec Malé Svatoňovice, Trutnov, 87 s.

JIRÁSEK, V., 2007: Poklady hořící haldy. Časopis Krkonoše – Jizerské hory, online: http://krkonose.krnep.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=9462&Itemid=27, cit.12.8.2013.

JIRÁSEK, V., 2008: O dolování černého uhlí v oblasti Malých Svatoňovic na Jestřebích horách. Malé Svatoňovice, OÚ Malé Svatoňovice, 167 s.

JOHNSON, T.M., LIU, F., NEWFARMER, R., 1997: In: Clear Water, Blue Skies: China 's Environment in the New Century, World Bank, Washington, DC.

JONES, G.W., SCOTT, G.S., 1939: Chemical considerations relative to fires in anthracite rouse. U.S. Bureau of Mines Report of Investigations, p.3468.

KLIKA, Z., KOZUBEK, T., MARTINEC, P., KLIKOVÁ, C., DOSTÁL, Z., 2004: Mathematical modeling of bituminous coal seams burning contemporaneously with the formation of avariegated beds body. Int. J. Coal Geology, 59, 137 – 151.

KRAJČIOVÁ, M., JELEMENSKÝ, L., KIŠA, M., MARKOŠ, J., 2004: Model predictions on self-heating and prevention of stockpiled coals. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 17, 205 – 216.

KRÁLÍK, J., 1984: Tepelné změny uhlonosných sedimentů při požárech důlních odvalů a přírodním hoření uhelných slojí. Ostrava: Sborník vědeckých prací VŠB, řada hornicko-geologická, roč. 30, č.1: 171 – 198.

KRESTA, F., HÁJOVSKÝ, J., 2010: Long-term temperature monitoring of the Ema tip in Ostrava (Czech Republic). Second International Conference on Coal Fire Research, Berlin. 8 s.

KREVELEN van D.W. 1993: Coal. Typology, physics, chemistry, constitution. Elsevier, Amsterdam, 771 s.

KRISHNAN, M.,S., 1940: Classification of Coal. Geological Survey of India. Vol.VI-No.3: 549 – 559. August 1940.

KRISHNASWAMY, S., PRADEEP, K.A., GUNN, R.D., 1996: Low-temperature oxidation of coal – 3. Modelling spontaneous combustion in coal stockpiles. Fuel Vol. 75, No. 3, 353 – 362.

KUCUK, A., KADIOGLU, Y., GULABOGLU, M.S., 2003: A study of spontaneous combustion characteristics of a Turkish lignite: particle size, moisture of coal, humidity of air. Combustion and Flame 133, 255 – 261.

KUENZER, C., 2005: Demarcating coal fire risk areas based on spectral test sequences and partial unmixing using multi sensor remote sensing data. Ph.D. thesis, Technical University Vienna, Austria, 199 s.

KUENZER, C., ZHANG, J., TETZLAFF, A., DIJK, P.V., VOIGT, S., MEHL, H., WAGNER, W., 2007: Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two arid mining regions in north-central China. Applied Geography. Volume 27, Issue 1: 42 – 62.

KÜRTEEN, S., FEINENDEGEN, M., NOEL, Y., GASCHNITZ, R., SCHWERDT, P., KLEIN, A., 2010: Geothermal utilization of Smouldering Mining Dumps as a Substitute for Fossil Fuels. *In: Latest Developments in Coal Fire Research Bridging the Science, Economics, and Politics of a Global Disaster Proceedings of "ICCFR2 I Second International Conference on Coal Fire Research" 19-21 May 2010, dbb forum Berlin, Germany / Compilation: Richard A. Eichler, Freiberg 2010, ISBN: 978-3-86012-397-3*

KÜRTEEN, S., FEINENDEGEN, M., NOEL, Y., GASCHNITZ, R., SCHWERDT, P., KLEIN, A., 2010: Geothermal utilization of Smouldering Mining Dumps as a Substitute for Fossil Fuels. *In: Latest Developments in Coal Fire Research Bridging the Science, Economics, and Politics of a Global Disaster Proceedings of "ICCFR2 I Second International Conference on Coal Fire Research" 19-21 May 2010, dbb forum Berlin, Germany / Compilation: Richard A. Eichler, Freiberg.*

KUS, J., HILTMANN, W., BALKE, A., 2006: In-Situ gasification of coal, a natural example: micropetrography of coal oxidation, carbonisation and combustion. ERSEC Ecological Book Series - 4 on Coal Fire Research, ERSEC UNESCO Office Beijing.

LANKOVÁ, S., ČERNÝ, V., DOBAL, V., 1975: Vývoj uhlovodíků při oxidaci uhlí . Hornický ústav ČSAV, Praha.

LIENHARD IV, H.J., LIENHARD V, H.J. (2011) A Heat Transfer Textbook, 4th ed., Phlogiston Press, Cambridge, MA, 762 s.

LIMACHER, D.,1963: A propos de la formativ de minéraux lors de la combustion des Charbons. Societe Geologique du Nord. Annales 83 Part 4, 287 – 288.

MASALEHDANI, M.N.N, POTDEVIN, J.L., CAZIER, F., COURCOT, D. 2007: Coal waste heap fire: emission of toxic gases and condensation minerals, northern France: measurements and analyses. *In* Ecological Research for Sustaining the Environment in China. ERSEC Ecological Book Ser. 4, UNESCO Publ., Beijing, China,103-131.

MATÝSEK, D., RACLAVSKÁ, H., 1999: Vznik sulfátové mineralizace na odvalech a jejich vliv na kvalitu spodních vod v OKR. Uhlí – rudy – geologický průzkum. Roč. 7, 8 – 16.

MENGUC, M.P., VISKANTA, R.,1986: An Assessment of Spectral Radiative Heat Transfer Predictions for a Pulverized Coal-Fired Furnace. Volume 2, 815 s.

MINE SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, 1996: Underground electrical installation. U.S. Department of labor 61 18, 2543 p. (Section 75.340).

MINISTRY OF COAL AND MINES, 2003: Coal India limited and its subsidiarit. *In*: Department of Coal, Shastri Bhawan, New Delhi, India, p.1 online: http://coalnic.in/coal_india_limited.htm, cit.6.3.2004.

MITCHELL, D.W., 1996: Mine Fires, Prevention-Detection-Fighting, Inertec Publishing, Chicago.

MOTT, R.A., 1943: The Origin and Composition of Coals. Fuel. Vol.22: 20 - 26.

MOTT, R.A.,1942: The Origin and Composition of Coals. Fuel. Vol.21: 129 – 135.

MUZYCZUK, J., KOŁODZIEICZYK, B., 1966: Współczesne kierunki rozwoju metod wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych w kopalnách węgla kamiennego. Przegląd górniczy, 364 – 370.

NATIONAL COAL BOARD, 1970: Spoil heaps and lagoons. Technical Handbook, London.

NELSON, M.I., CHEN, X.D., 2007: Survey of experimental work on the self-heating and spontaneous combustion of coal. Reviews in Engineering Geology 18, 31 – 83.

NĚMEC, I., 2006: Likvidace hořící haldy. Sanace a rekultivace odvalu Dolu Kateřina v Radvanicích. Vesmír 85: 624 – 625.

NĚMEC, J., OSNER, Z., 2005: Výsledky průzkumu intenzity termických procesů probíhajících v Němečích dolu Schöller. Uhlí – rudy – geologický průzkum. Roč. 12, č.2, 3-10.

NICHOL, D., TOVEY, N.P.,(1998): Remediation and monitoring of a burning coal refuse bank affecting the Southsea Looproad et Brymbo North Wales. Engineering Geology 50: 309 – 318.

NOLTER, M. A., VICE, D. H. 2004: Looking back at the Centralia coal fire: a synopsis of its present status. Int. J. Coal Geology, 59, 99 – 106.

NOVÁK, F., SVOBODA, B., 1980: Posouzení vhodnosti haldovin na násypy a zásypy Kladno-Kročehlavy. MS Geofond, Praha.

NUGRUHO, Y.Y., McINTOSH, A.A., Gibbs, B.M. 2000: Low temperature oxidation of single and blended coals. Fuel 79 (15), 1951-1961.

PENNSYLVANIA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2001: Questions and answers on mine rescue and recovery operations following coal mine fires and explosions. Pottsville District Mining Office, Pottsville, PA. online: <http://www.dep.state.pa.us>, cit.7.9.2003.

PETRÁNEK, J., 1963: Usazené horniny, jejich složení, vznik, ložiska. Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha. 720 s.

PETRÁNEK, J., SYNEK, J., 1993: Uhlí. Geologická encyklopedie online: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?uhli>, cit.5.5.2010.

PLCHOVÁ, J., 2002: Rosicko-oslavanská černouhelná pánev v datech. 1. Amaprint Kerndl s.r.o., Třebíč, 257 s.

PLCHOVÁ, J., 2008: Zbýšov - Kapitoly z minulosti a těžba uhlí. 1. Gloria, Rosice, 157 s.

POLÁČEK, A., 2003: Některé problémy hlušinových odvalů ve vztahu k životnímu prostředí. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 137- 144.

PRAKASH, A., 2003: Coal Fire Web Page, Geophysical Institute, University of Alaska-Fairbank. online: <http://www.gi.alaska.edu/prakash>, cit.16.4.2005.

PRAKASH, A., FIELDING, E.J., GENS,R., VAN GENDEREN, J.L., EVANS, D.L., 2000: Data infusion for investigating land subsidence and coal fire hazards in a coal mining area. International Journal of Remote Sensing 22 6, 921 – 932.

PRAKASH, A., GUPTA, R.P., 1999: Surface fires in Jharia coalfield, India – their distribution and estimation of area and temperature from TM data. International Journal of Remote Sensing 20 10: 1935 – 1946.

PROS, R. 2001: Rekultivace území po těžbě nerostných surovin (okr. Žďár nad Sázavou). Diplomová práce, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav krajinné ekologie, 88 s.

REIL, R., 2011: Radvanické kutání a dolování černého uhlí od Chvalče po Bystré. Radvanice, OÚ Radvanice. 136 s.

RENÉ, M., 2007: Aktuální problémy geologie 3. Vyhledávání, průzkum a oceňování nerostných surovinových zdrojů. Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, Praha, 22 s.

ROSEMA, A., GUAN, H., VELD, H. 2001: Simulation of spontaneous combustion, to study the causes of coal fires in the Rujigou Basin. Fuel, 80, 7 – 16.

ROUBÍČEK, V., BUCHTELE, J., 2002: Uhlí: zdroje, procesy, využití. Montanex, Ostrava, 173 s.

RUIZ, S.I., CRELLING, J.C., 2008: Applied Coal Petrology: The Role of Petrology in Coal Utilization. Academic Press, 408 s.

SAUER, H. D. 2002: Verbrennung am falschen Ort. NZZ Online, May 2002.

ŠAFANDA, J., ČERMÁK, V., ŠTULC, P., VRÁNA, S., ŠTĚDRÁ V. 1997: Geological model of Western Bohemia related to the KTB borehole in Germany, Sb. Geol. Věd., Vol. 47, pp.196–204.

SEJKORA, J., 2002: Minerální asociace hořícího odvalu dolu Kateřina v Radvanicích u Trutnova a procesy jejího vzniku. MS, doktorská disertační práce, PŘF MU Brno, 144 s.

SCHLOEMER, S., FISCHER, CH., ZHONGYONG, C., WUTTKE, M.W., EHRLER, CH., VASTERLING, M., 2010: Ground based temperature measurements over subsurface coal fires – lesson learned and guidelines. Second International Conference on Coal Fire Research, Berlin.

SIDENKO, N.V., GIERÉ, R., BORTNIKOVA, S.B., COTTARD, F., PAL 'CHIK, N.A., 2001: Mobility of heavy metals in self-burning waste heaps of the zinc smelting plant in Belovo (Kemerovo Region, Russia). Journal of Geochemical Exploration. Volume 74, Issues 1 – 3: 109 – 125.

SINGH, L.K., RAJASHEKAR, C., GUPTA, S.B., SHESHADRI, T.S., JAIN, V.K., 1990: Heat transfer Performance of Coal-Burning Rijke Combustor. International Journal of Energy Research. Volume 14, no.7, 795 s.

SLIVKA, V., JELÍNEK, V., 2006: Inventarizace vyhořelých nebo hořících hlušínových odvalů – část III. VŠB – TU Ostrava, 85 – 105 .

SMITH, M.A., GLASSER, D., 2005: : Spontaneous combustion of carbonaceous stockpiles. Part I: the relative importance of various intrinsic coal properties and properties of the reaction system. *Fuel* 84, 1151 – 1160.

SMOLOVÁ, I., 2005: Těžební tvary jako významné krajinné prvky. Přírodovědecká fakulta. Univerzita Palackého v Olomouci, online: http://slon.diamo.cz/hpvt/2006/sanace/s_17.htm, cit.3.2.2010.

SMOLOVÁ, I., 2008: Těžba nerostných surovin na území ČR a její geografické aspekty. 1.vyd. Univerzita palackého v Olomouci, Olomouc, 195 s.

SMOLOVÁ, I., 2010: Lexikon tvarů reliéfu České republiky. Katedra geografie Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci. online: <http://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/Smolova-2010/index.html>, cit.20.4.2013

SNOPEK, L., ADAMUS, A., 2012: A brief overview of development in the use of indicator gases for coal spontaneous combustion and prospects for further solution. *GeoScience Engineering*. Vol.LVIII. No 3, 13 – 22.

SOKOL, E. V., NIGMATULINA, E.N., VOLKOVA, N.I., 2002: Fluorine mineralisation from burning coal spoil-heaps in the Russian Urals. *Mineralogy and Petrology*. Vol 75, no 1-2, 23 – 40.

SPUDIL, J., LAŇAR, M., 1998: Studie možností využití odpadních hald po těžbě. GET, s.r.o., Praha, 138 s.

STONIŠ, M. et al., 2004: Průzkum a monitoring termických procesů na odvaňu Heřmanice – projekt 08/01. Ostrava: MS, závěrečná zpráva, 22 s.

STRACHER, B.G., TAYLOR, T.P., 2004: Coal fires burning out of control around the World: thermodynamic recipe for environmental catastrophe. *International Journal of Coal Geology*. Volume 59, Issues 1 – 2: 7 – 17.

STRAKOVÁ, H., ŘEZNÍČEK, J., 2013: Documentation of dumps and heaps by use of UAV, in Proceedings of 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013, STEF92 Technology Ltd., Sofia, 151–158.

SVOBODA, J. V., BENEŠ, K., 1955: Petrografie uhlí. Československá akademie věd, Praha, 263 s.

ŠANCER, J., 2004: Historický vývoj metod hodnocení indikačních plynů samovznícení uhlí. *In: Studie z dějin hornictví / odborná redakce Josef Petrik Praha: Národní technické muzeum* 33, 19-27.

ŠOURKOVÁ, M., FROUZ, J., ŠANTRŮČKOVÁ, H., 2004: Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formativ on alder spoil Caps after brown-coal mining, Near Sokolov (Czech Republic). *Volume 124, Issues 1-2: 203 – 214.*

ŠTĚTINA, J., 2007: Dynamický model teplotního pole odlévané bramy. VŠB, Ostrava. Disertační práce. online: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/disertace/index.htm>, cit.4.5.2010.

ŠTÝS et al., 1981: Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin, Nakladatelství technické literatury, Praha, 678 s.

TARABA, B., MARTINEC, P., DOPITA, M., KLIKA, Z., 1999: Solution of problems connected with high spontaneous combustion susceptibility of oxidative Alfred bituminous coals. Věstník Českého geologického ústavu. Vol 74, no 2, 163 – 167.

TARABA, B., VORÁČEK, V., KRÁL, V., 2006: Analýza případů samovznícování uhlí v dolech OKR. Uhlí – rudy – geologický průzkum. Roč. 13, č.11, 34 – 37

TARAN, J.A., HEDENQUIST, J.W., KORŽINSKI, M. A., TKAČENKO, S.I., ŠMULOVIČ, K.I. 1995: Geochemistry of magmatic gases from Kudriavy volcano, Iturup, Kuril Islands. Geochimica et Cosmochimica. Acta, 1749 – 1761.

TÁSLER, R., ČADKOVÁ, Z., DVOŘÁK, J., FEDIUK, F., CHALOUPSKÝ, J., JEETEL, J., KAISEROVÁ-KALIBOVÁ, M., PROUZA, V., SCHOVÁNKOVÁ-HRDLIČKOVÁ, D., STŘEDA, J., STRÍDA, M., ŠETLÍK, J., 1979: Geologie české části vnitrosudetské pánve. ÚÚG v Akademii, Praha, 296 stran.

THORNE, D., LANGEVIN, C.H., SUKOP, M., 2006: Addition of simultaneous heat and solute transport and variable fluid viscosity to SEAWAT', Journal Computers & Geosciences, Vol. 32, No. 10, pp.1758–1768.

TVRDÝ J., SEJKORA J. (1999). Hořící uhelné haldy a redepozice toxických látek při samovolném termickém rozkladu uhelné hmoty. EKO 10, 4: 11 – 15.

U.S. DEPARTMENT of ENERGY, 1993: The fire below. In: Spontaneous Combustion in Coal. Environmental Safety and Health Bulletin, No.EH-93-4, Washington, D.C., 1 - 5.

UJHÁZY, O., DRGO, P., ANDRYSÍK, A., ŠATRA, V., NOVÁK, P., 2012: Vývoj, zhodnocení a využití termických procesů v odvalu bývalého dolu Krimich v Tlučné. Závěrečná technická zpráva. ZUD, a.s., 75 s.

ULDRYCH P. et al., 2006: Vliv těžby na životní prostředí. In: KURIAL J., ŠARBOCH P., PRAVNĀNSKÝ D., FOJTÍK M., VYBÍRAL P., KHESTL M., LOVÍŠKOVÁ T. [eds.]: Dobývání uhlí na Kladensku. Kartis, Praha, 603 - 620.

VARMA, K.R., MENGUC, M.P., 1989: Effects of Particulate Concentrations on Temperature and Heat Flux Distributions in a Pulverized-Coal Fired Furnace. International Journal of Energy research. Volume 13, no.5: 555 s.

VEKERDY, Z., PRAKASH, A., GENS, R., 1999: Data integration for the study and visualization of subsurface coal fires. In: Thirteenth International Conference on

Applied Geologic Remote Sensing, Vancouver, British Columbia, Canada vol.2: 150 – 151.

VEKERDY, Z., TEN KATEN, A.M., VELD, H., 2000: Handbook of the Coal Fire Monitoring and Management System (COALMAN), software manual. International Institute for Geo_Information Science and Earth Observation, the Netherlands. online: <http://www.itc.nl/personal/coal/fire/index.html>, cit.16.5.2004.

VESELÝ, Z., 2010: Metodologie modelování, tepelné systémy a procesy, matematické modely asymptotické. Západočeská univerzita v Plzni. 139 p. online: http://ftp.zcu.cz/files/pdf/prednaska_01_MTP_2010_zakladni.pdf, cit.3.4.2010.

VŠB, 2013: Monitoring hald. online: <http://monitoring-hald.com/>, VŠB – TU, OSTRAVA, cit. 3.4.2014.

WALKER, S., 1999: Uncontrolled fires in coal and coal Wales. International Energy Agency, London. Report CCC/16, 72 s.

WANG, H., DLUGOGORSKI, B.Z., KENNEDY, E.M. 2003b: Analysis of the mechanism of the low-temperature oxidation of coal. Combustion and Flame 134 (1-2), 107 – 117.

WANG, H., DLUGOGORSKI, Z.B., KENNEDY, M.E., 2003a: Coal oxidation at low temperatures: oxygen consumption, oxidation products, reaction mechanism and kinetic modelling. Progress in Energy and Combustion Science 29 (2009), 487 – 513.

WINGFIELD-HAYES, R., 2000: China battles coal fires (August 3). BBC News Online and BBC News on FireNet (Electronic Pages for the British Fire Service). Online: <http://news.bbc.co.uk> and <http://www.fire.org.uk>, cit.20.2.2001

WORLD COAL INSTITUTE, 1999: 1998 – 1999 World Resources. A guide to the Global Environment, Environmental Change and Human Health. Oxford University. Press <http://www.wri.org> (September 2001)

WORLD COAL INSTITUTE, 2002: Coal facts. Ecoal 44, 8 s.

WORLD COAL INSTITUTE, 2003: Coal and steel facts. Ecoal 45, 8 s.

WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1999: United Nations Development Program, 2000. 63 – 67.

XIE, J., XUE, S., CHENG, W., WANG, C., 2011: Early detection of spontaneous combustion of coal in underground coal mines with development of an ethylene enriching system. International Journal of Coal Geology 85, 123 – 127.

ZHANG, J., KUENZER, C., 2007: Thermal surface characteristics of coal fires 1 results of in-situ measurements. Journal of Applied Geophysics 63 (2007), 117 – 134.

ZHANG, X., KROONENBERG, S.B., 1996: Pleistocene coal fires in Xinjiang, Northwest China. 30 th International Geological Congress, vol.1, 457 p.

ZHANG, X., KROONENBERG, S.B., 1997: Pleistocene coal fires in northwestern China, Energy for early man. *In*: van Hinte, J.E., Editor, 1997. One Million Years of Anthropogenic Global Environmental Change. Proceedings of the ARA Symposium at the Royal Netherlands Academy of Art and Sciences (KNAW) Amsterdam, 39 – 40.

ZUD a.s., 1994: Technický projekt likvidace Dolu Krimich v Tlučné a ukončení těžební činnosti, ZBÚCH – sociální program.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Mapa měřených lokalit	120
Obrázek 2: Schématický konceptuální model	120
Obrázek 3: Modelové izotermy a tepelné pole tělesa haldy - 15.modelová vrstva..	125
Obrázek 4: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Žacléř - odval dolu Jan Šverma).....	126
Obrázek 5: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Žacléř - odval Eliška)	126
Obrázek 6: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Markoušovice, odval dolu Ignác)	127
Obrázek 7: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Radvanice v Čechách, odval dolu Kateřina).....	127

10 SEZNAM FOTODOKUMENTACE

Foto 1: Areál dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř).....	128
Foto 2: Odval dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř).....	128
Foto 3: Body kontrolního čtverce - Odval dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř).....	129
Foto 4: Měření teploty pod povrchem - Odval dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř).....	129
Foto 5: Tepelně alterované horniny – odval Eliška (k.ú. Žacléř).....	130
Foto 6: Měření teploty, CO ₂ a zaměření GPS Leica - odval Eliška (k.ú. Žacléř) ...	131
Foto 7: Kontrolní čtverce - odval Eliška (k.ú. Žacléř).....	132
Foto 8: Měření v kontrolním čtverci - odval Eliška (k.ú. Žacléř).....	132
Foto 9: Odval dolu Ignác (k.ú. Markoušovice).....	133
Foto 10: Měření koncentrace CO ₂ - Odval dolu Ignác (k.ú. Markoušovice).....	133
Foto 11: Vytyčení bodů pro měření - Odval dolu Ignác (k.ú. Markoušovice).....	134
Foto 12: Odval dolu Kateřina (k.ú. Radvanice v Čechách).....	135
Foto 13: Měřicí body - Odval dolu Kateřina (k.ú. Radvanice v Čechách).....	135

11 SEZNAM TABULEK

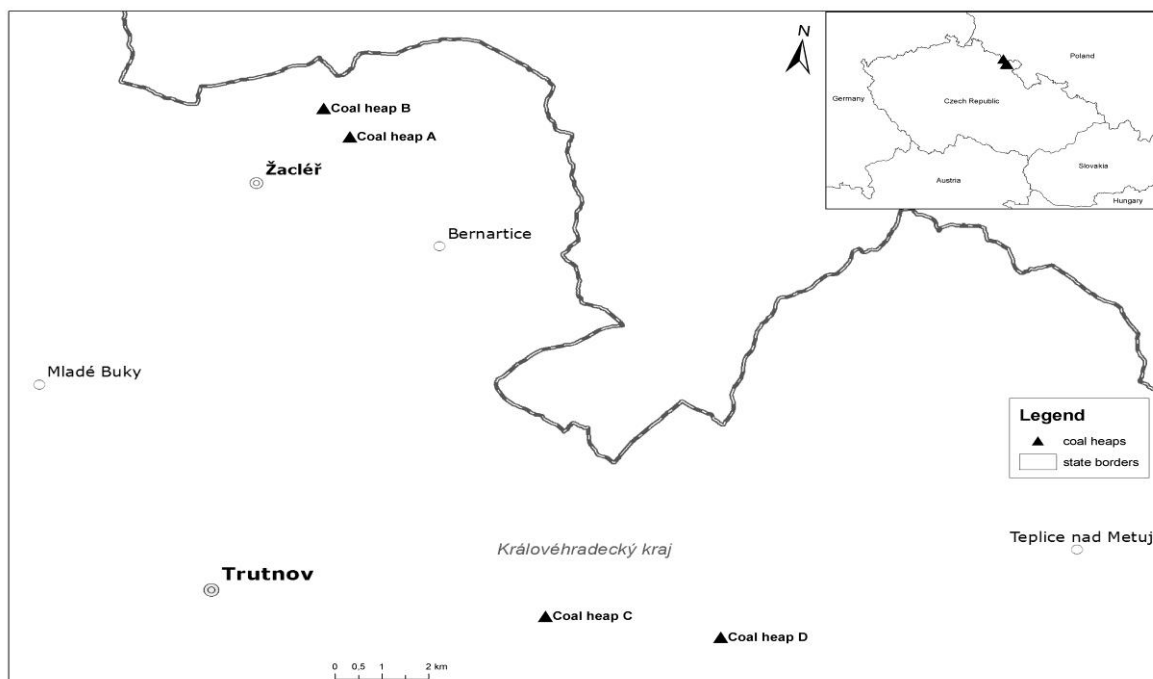
Tabulka 1: Druhy uhlí a jejich chemické vlastnosti	22
Tabulka 2: Složení materiálu hald v %	28
Tabulka 3: Přehled měřených lokalit	89
Tabulka 4: Vertikální diskretizace modelové domény.....	121

12 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vývoj teplot v pozorovacích bodech - 35.modelová vrstva	121
Graf 2: Vývoj teplot v pozorovacích bodech - 15.modelová vrstva	122
Graf 3: Uhelňá halda A	123
Graf 4: Uhelňá halda B	123
Graf 5: Uhelňá halda C	124
Graf 6: Uhelňá halda D	124

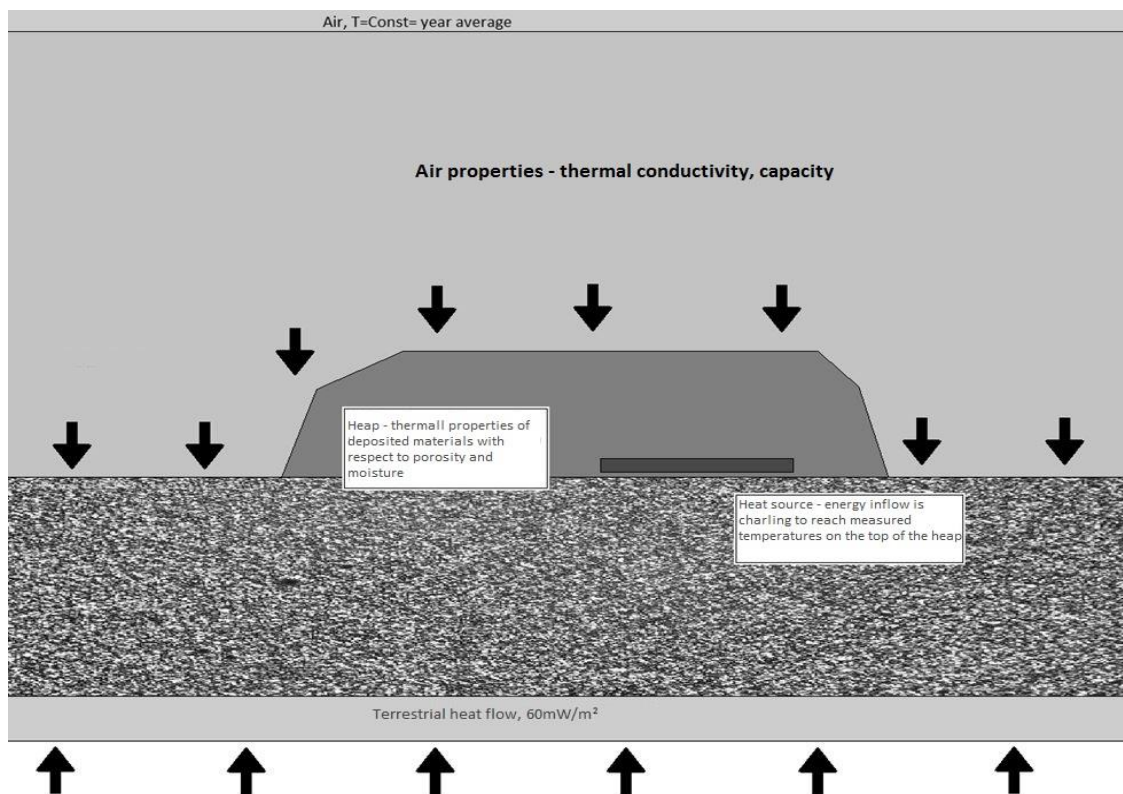
13 PŘÍLOHY

Obrázek 1: Mapa měřených lokalit



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Obrázek 2: Schématický konceptuální model



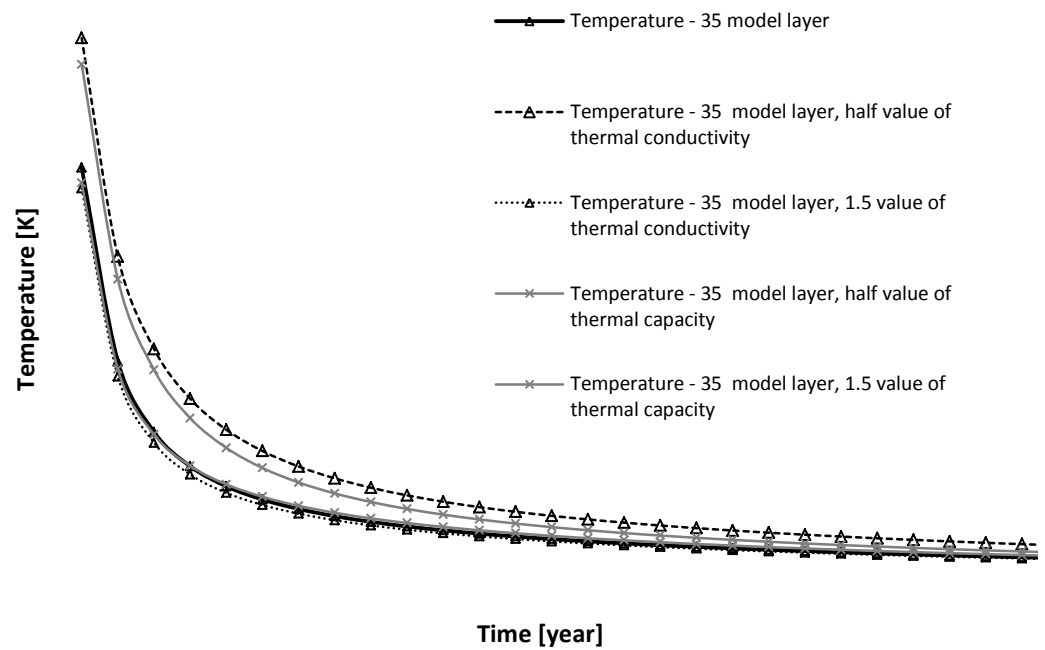
Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Tabulka 4: Vertikální diskretizace modelové domény

Environment above the heap		Environment of the heap		Subgrade of the heap	
Model Layer	Layer thickness [m]	Model Layer	Layer thickness [m]	Model Layer	Layer thickness [m]
1 - 3	10	11 - 18	0.15	37 - 40	1
5 - 6	5	19 - 22	0.5	41 - 43	10
7 - 10	0,5	23 - 28	1	SUM	34
SUM	52	29 - 36	0.5		
		SUM	13.2		

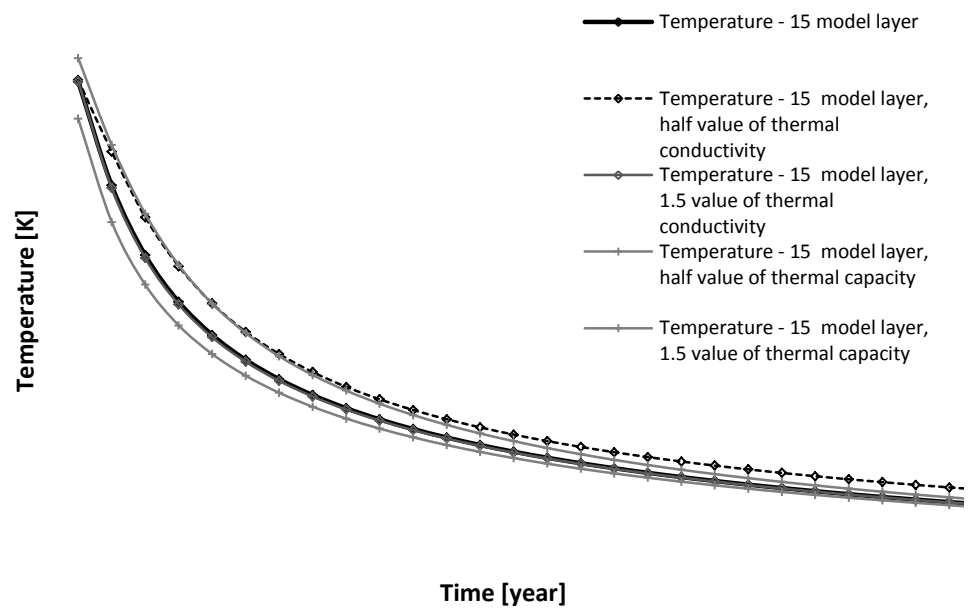
Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ et al. (2014)

Graf 1: Vývoj teplot v pozorovacích bodech - 35.modelová vrstva



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ et al. (2014)

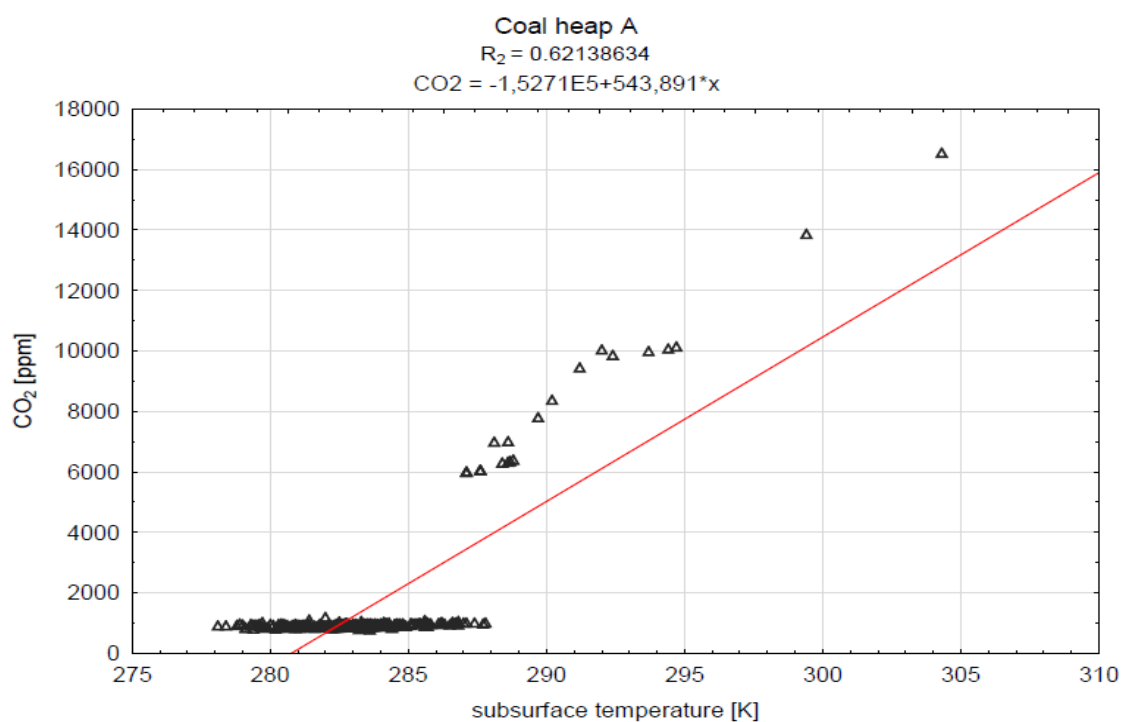
Graf 2: Vývoj teplot v pozorovacích bodech - 15.modelová vrstva



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

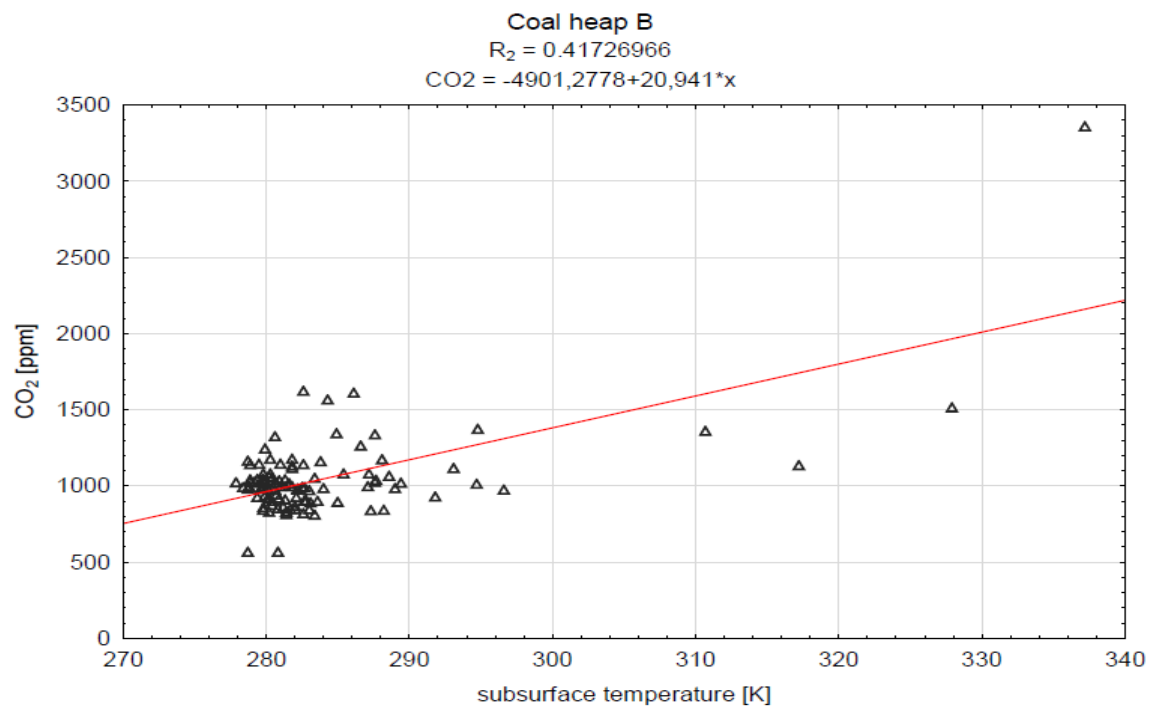
Grafy č.1 a 2 zobrazujú vývoj teplot v pozorovacích bodech umiestnených v 15. a 35. modelovej vrstve v miestach predchodzí dotace tepla. Najrychlejší pokles teploty nastáva v prvých letech od ukončení dotace tepla do haldy. Ještě po 20. letech po ukončení dotace tepla překračuje teplota v tělese haldy 20 °C. Těsně pod povrchem haldy dojde k poklesu teploty na 10 °C po cca 10 letech.

Graf 3: Uhelná halda A



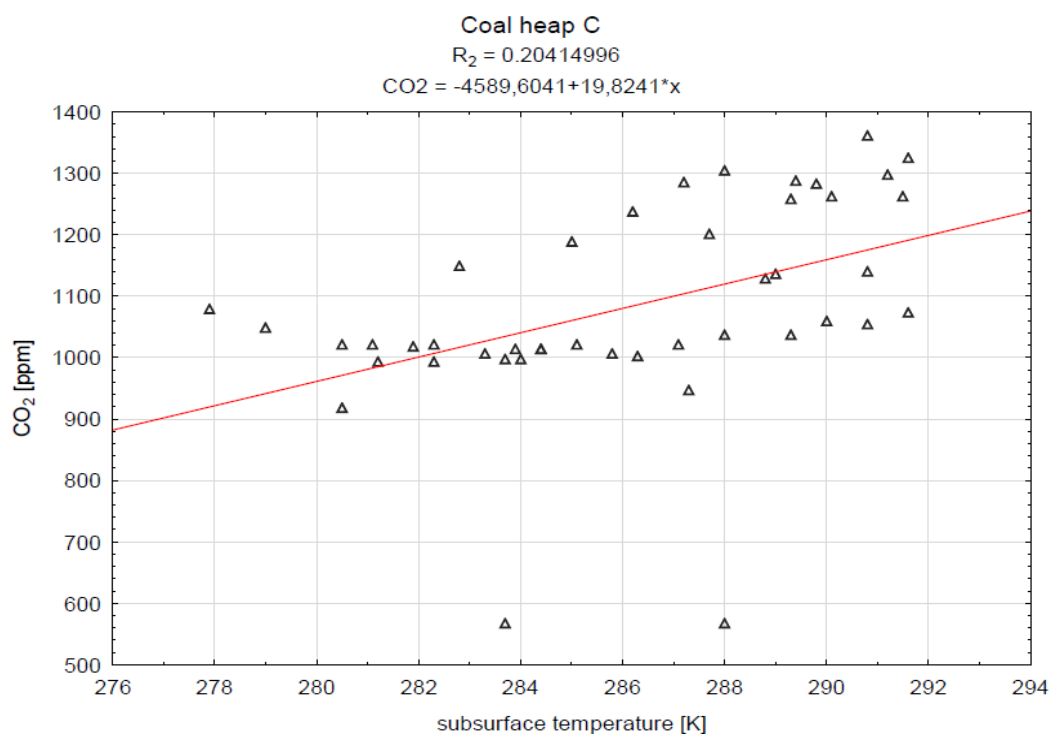
Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Graf 4: Uhelná halda B



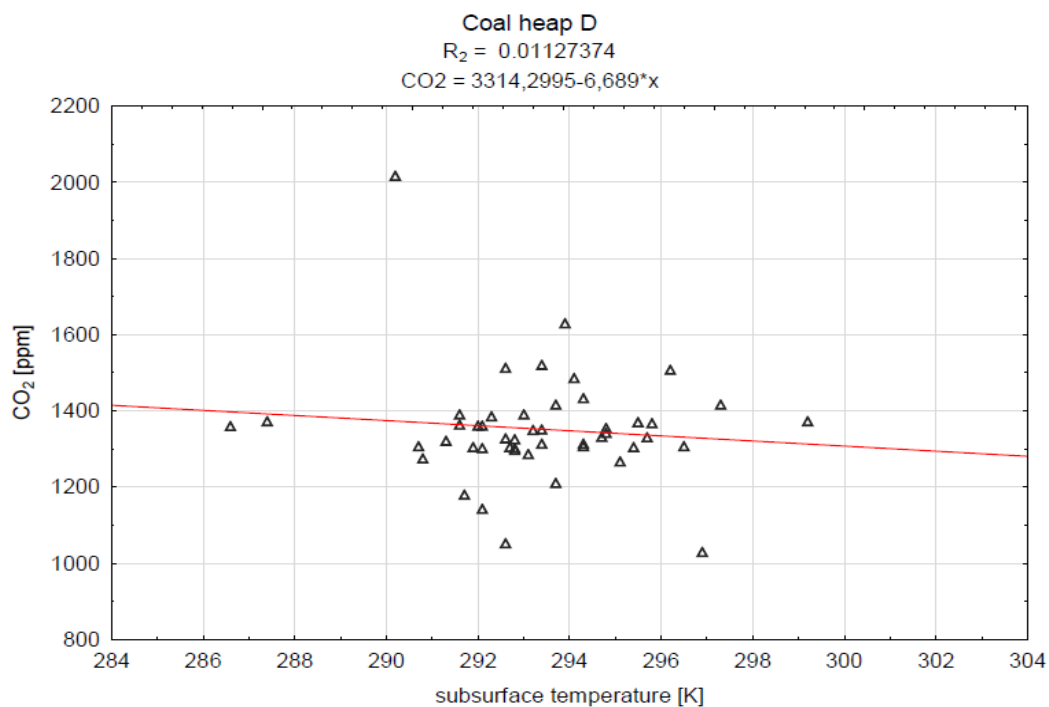
Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Graf 5: Uhelná halda C



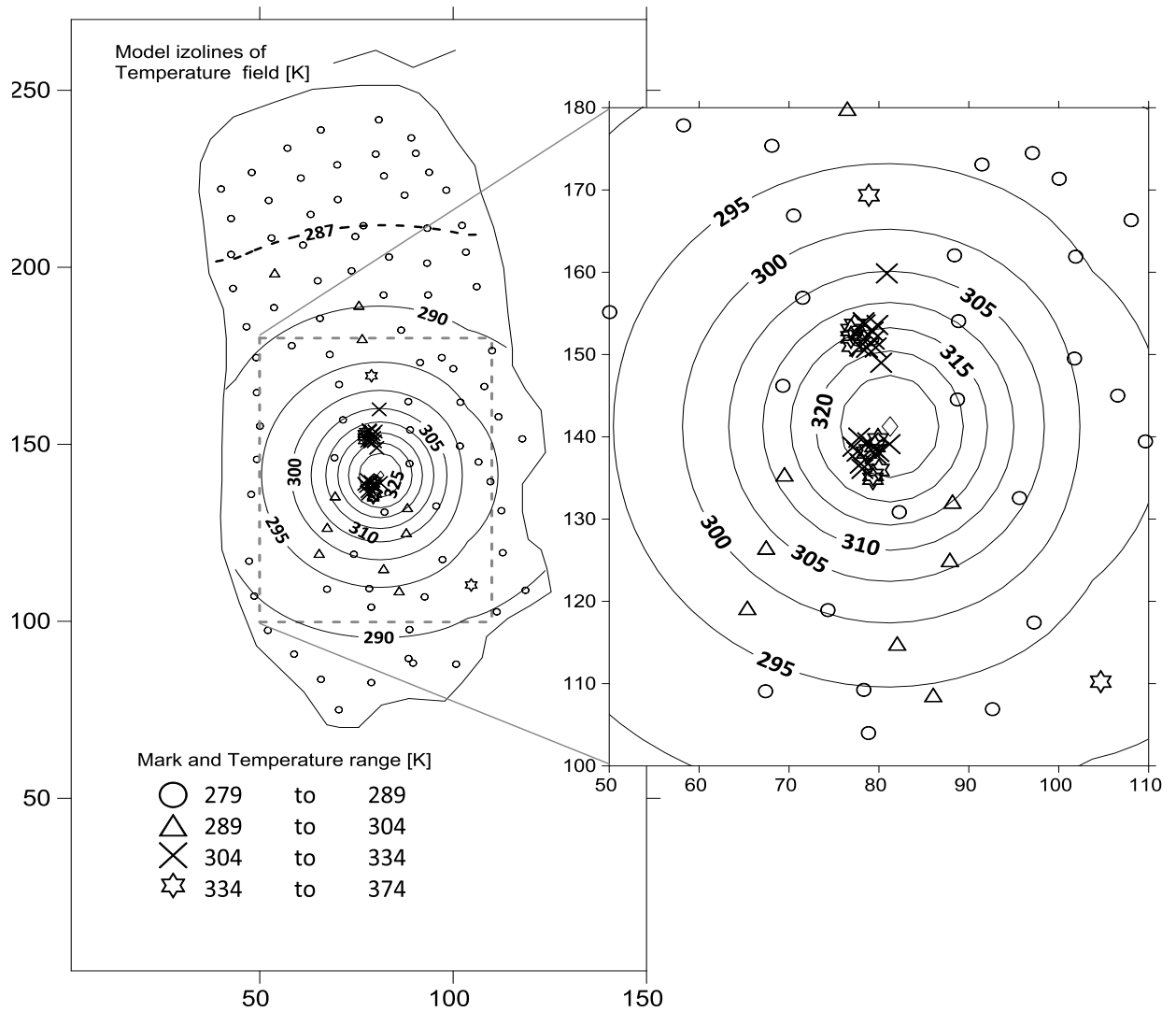
Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Graf 6: Uhelná halda D



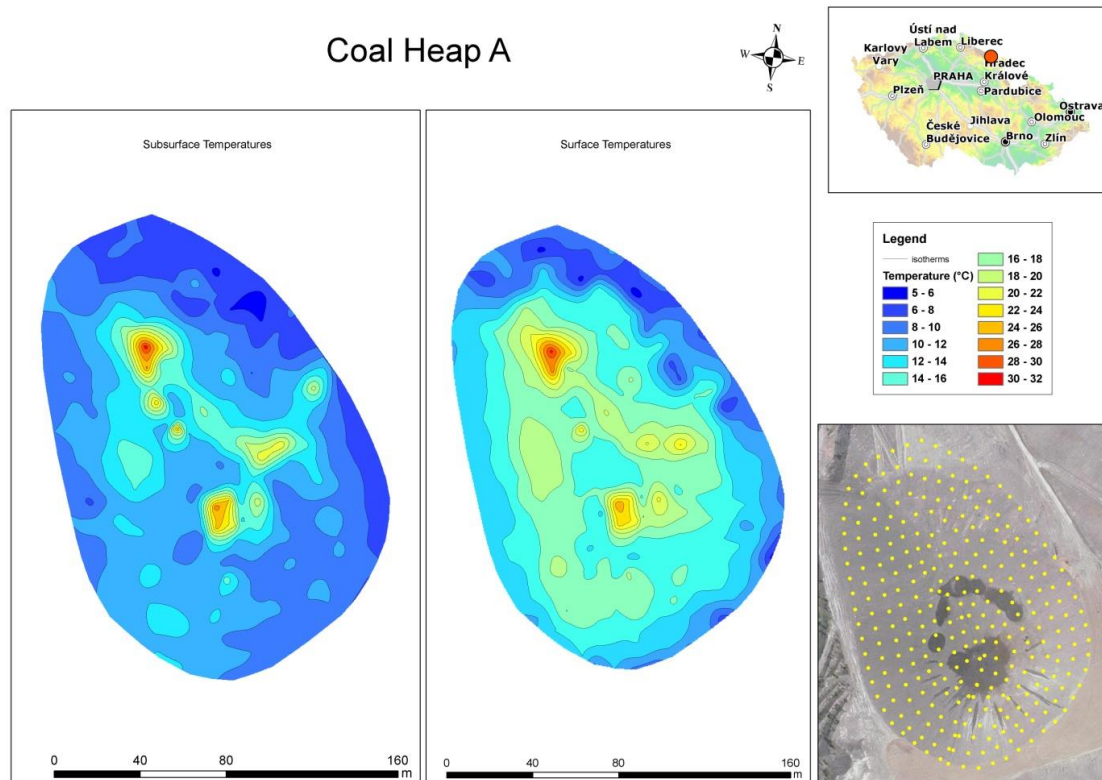
Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Obrázek 3: Modelové izotermy a tepelné pole tělesa haldy - 15.modelová vrstva



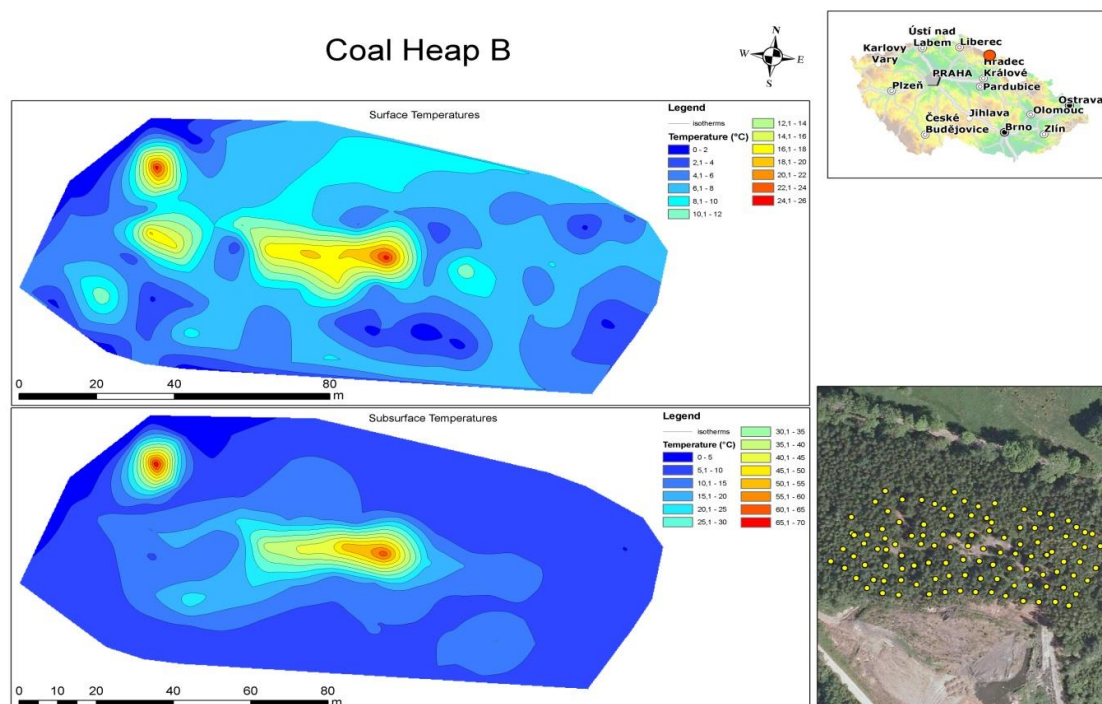
Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Obrázek 4: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Žaclěř - odval dolu Jan Šverma)



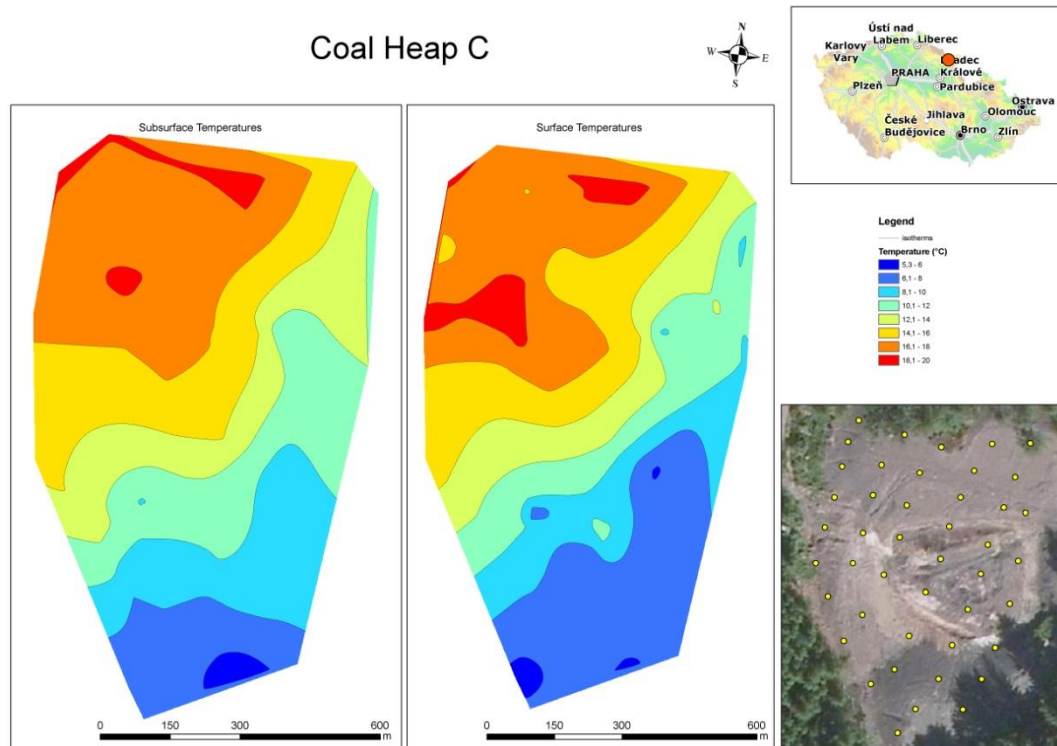
Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Obrázek 5: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Žaclěř - odval Eliška)



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ et al. (2014)

Obrázek 6: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Markoušovice, odval dolu Ignác)



Obrázek 7: Naměřené povrchové a podpovrchové teploty (k.ú. Radvanice v Čechách, odval dolu Kateřina)

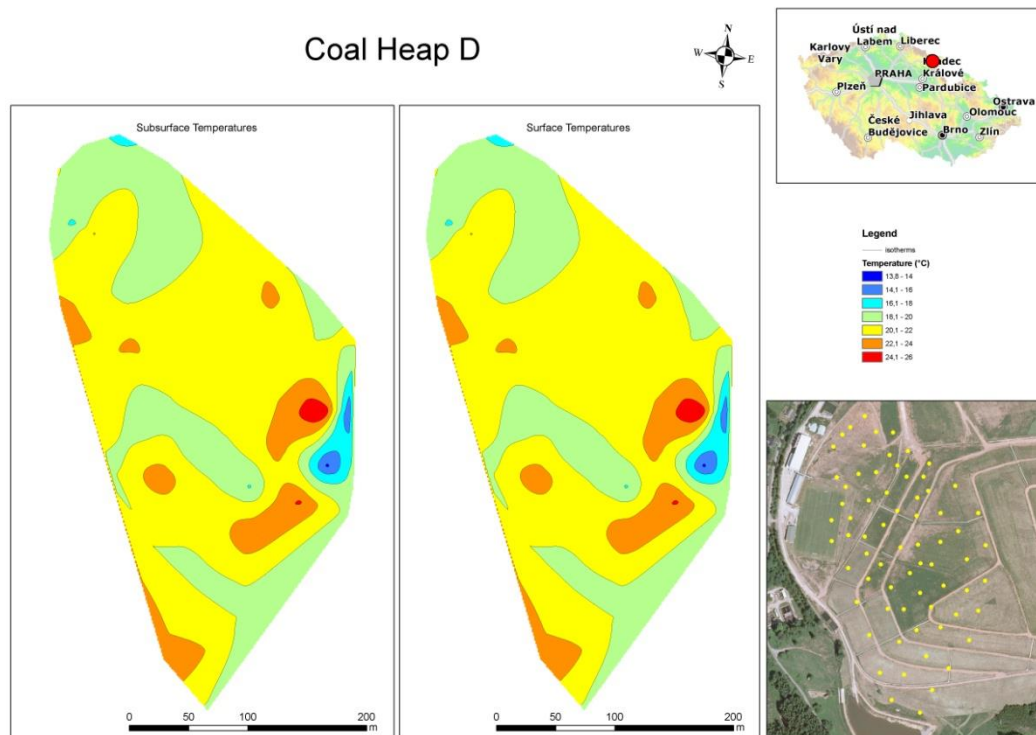


Foto 1: Areál dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř)



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ (2011)

Foto 2: Odval dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř)



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ (2011)

Foto 3: Body kontrolního čtverce - Odval dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř)



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

Foto 4: Měření teploty pod povrchem - Odval dolu Jan Šverma (k.ú. Žacléř)



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

Foto 5: Tepelně alterované horniny – odval Eliška (k.ú. Žacléř)



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

Foto 6: Měření teploty, CO₂ a zaměření GPS Leica - odval Eliška (k.ú. Žacléř)



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

Foto 7: Kontrolní čtverce - odval Eliška (k.ú. Žacléř)



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ (2011)

Foto 8: Měření v kontrolním čtverci - odval Eliška (k.ú. Žacléř)



Zdroj: RESLER (2011)

Foto 9: Odval dolu Ignác (k.ú. Markoušovice)



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ (2011)

Foto 10: Měření koncentrace CO₂ - Odval dolu Ignác (k.ú. Markoušovice)



Zdroj: KALUŽNIČINOVÁ (2011)

Foto 11: Vytyčení bodů pro měření - Odval dolu Ignác (k.ú. Markoušovice)



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

Foto 12: Odval dolu Kateřina (k.ú. Radvanice v Čechách)



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

Foto 13: Měřicí body - Odval dolu Kateřina (k.ú. Radvanice v Čechách)



Zdroj: KALUŽNÍČINOVÁ (2011)

The coal heap as an energy source – evaluation of its utilisation potential based on detailed field measuring and numerical model simulations

Šárka Kalužničínová*

Department of Environmental Geosciences,
Faculty of Environmental Sciences,
Czech University of Life Sciences Prague,
Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 – Suchbát, Czech Republic
E-mail: kaluznicinova@fzp.czu.cz

*Corresponding author

Helena Straková

Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning,
Faculty of Environmental Sciences,
Czech University of Life Sciences Prague,
Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 – Suchbát, Czech Republic
E-mail: strakova@fzp.czu.cz

Jan Baier

Department of Applied Ecology,
Faculty of Environmental Sciences,
Czech University of Life Sciences Prague,
Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 – Suchbát, Czech Republic
E-mail: baier@fzp.czu.cz

Vladislav Chrástný

Department of Environmental Geosciences,
Faculty of Environmental Sciences,
Czech University of Life Sciences Prague,
Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 – Suchbát, Czech Republic
E-mail: chrastny@fzp.czu.cz

Abstract: This article deals with thermal monitoring of coal heaps in the eastern Krkonoše Mountains of the Czech Republic. Thermal activity was determined at four localities by means of contact thermometers and carbon dioxide emission measurements. Measured temperatures were used to calibrate the numerical model. A prognosis of the thermal field development was drawn. The highest temperatures found in the (thermally) most promising site for potential energy production (the Eliška coal heap in the Žacléř region) reached 337.35 K at a depth of 50 cm below the surface, where the surface temperature was 298.45 K and ambient air temperature was 284.15 K. On this site, the highest subsurface temperature reached 343.55 K in the control quadrat. The

14 PUBLIKACE

Článek – impakt faktor

KALUŽNIČINOVÁ, Š., STRAKOVÁ, H., BAIER, J., CHRASTNÝ, V., 2013: The coal heap as an energy source – calculation of its utilization potential based on a model. 2013. In International Journal of Oil, Gas and Coal Technology (accept 03/2014)

Článek v nerecenzovaném časopise

LANDA, I., KALUŽNIČINOVÁ, Š., 2009: Etické aspekty ovlivňování globálního klimatu 15000 let. EKO-ekologie a společnost 20: 46 – 49 s.

Příspěvky na konferencích

KALUŽNIČINOVÁ, Š., LANDA, I., HLAVOVÁ, A., 2009,: Ethical aspects of influencing the global climate. In The mining Příbram symposium 2009 the international section, Geoethics proceedings volume. Vyd. Diamo, Příbram, s. 1 – 8. ISBN 978-80-254-5090-1

Příspěvky ve sborníku

KALUŽNIČINOVÁ, Š., LANDA, I.: Periferní alternativní zdroje energie. Symposium Odpadové fórum, 2010. Vyd.CEMC, Kouty nad Desnou, 2010. ISBN 978-80-85990-12-6

STRAKOVÁ, H., HESSLEROVÁ, P., KALUŽNIČINOVÁ, Š., 2010: Field Measurements of thermally active coal heaps. Praha, ČZU, Ucolis. 83 – 93 s.

KALUŽNIČINOVÁ, Š., LANDA, I., 2009.: Využití tepla alternativních zdrojů a jejich ekologický dopad. In První konference environmentálního inženýrství 2009. vyd. Praha : ČZU, 96 s. ISBN 978-80-213-2025-3

KALUŽNIČINOVÁ, Š., LANDA, I., RŮŽIČKOVÁ, L., 2009: Peripheral renewable energy resources from waste dumps. In Environment, Energy, and Sustainability Symposium and Exhibition, Colorado. vyd. Praha : ČZU, 9846

LANDA, I., JUANOLA FREIXAS, A., RŮŽIČKOVÁ, L., BORÝSEK, A., KALUŽNIČINOVÁ, Š., 2009: Strategically Meaning of Dumps of Fourth Generation by Disposal of Selected Waste. Sweden, Stockholm; Proceeding DEFNET NATO, Sweden Ministry of Defence, 15 – 20 s.

On-line příspěvky – rozhovory:

ŠRÁMKOVÁ, J., UJHÁZY, O., KALUŽNIČINOVÁ, Š., TAUER, J., HANAUEROVÁ, V., 2014: Halda, která zůstala po těžbě uhlí, by možná mohla vytápět část Tlučné. online: http://plzen.idnes.cz/halda-vytapeni-technologie-vyuziti-tepla-doly-uhelne-pdh-/plzen-zpravy.aspx?c=A140520_090242_plzen-zpravy_pp

ŠRÁMKOVÁ, J., UJÁZY, O., KALUŽNIČINOVÁ, Š., TAUER, J., HANAUEROVÁ, V., 2014: Chtějí spoutat teplo unikající z hald po těžbě. online: <http://publroedu.com/data/documents/pressreleases/doc42854/original/0001.pdf>