

Číslo zakázky
13 0032 - 011
13 0033 - 011

**ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA
TA01020282 ZVYŠOVÁNÍ
OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
VE VAZBĚ NA VÝSKYT
ENDOGENNÍCH POŽÁRŮ DŮLNÍCH
ODVALŮ A SKLÁDEK
PRŮMYSLOVÝCH ODPADŮ,
VČETNĚ JEJICH MODELOVÁNÍ
A PREDIKCE ŠÍŘENÍ**

Ostrava, listopad 2013



Název zakázky:	TA01020282 Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření
Číslo zakázky:	13 0032 - 011 13 0033 - 011
Pořadové číslo na zakázce:	1
Odpovědný řešitel:	Doc. RNDr. František Kresta, Ph.D.
Spolupracovali:	Ing. Pavla Antonínová, Ph.D. Libor Keclík

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

TA01020282

Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření

Ostrava, listopad 2013

OBSAH

1. ÚVOD	5
2. TERMICKÉ PROCESY NA ODVALECH UHELNÉ HLUŠINY	5
2.1 Obecné zákonitosti	5
2.1.1 Interakce uhlí a kyslíku	5
2.1.2 Samovznícení uhlí	6
2.1.3 Příčiny vzniku požárů uhlí	7
2.1.4 Environmentální následky hořících uhelných odvalů a hořících uhelných slojí	9
2.1.5 Lokalizace, sanace a modelování hořícího uhlí	10
2.1.6 Využití termického potenciálu hořících odvalů	11
2.1.7 Normy a předpisy, které se zabývají problematikou uhelných hořících odvalů	12
2.1.8 Obecné zákonitosti - závěry	12
2.2 Termický monitoring	13
2.2.1 Termický monitoring	14
2.2.2 Plynový monitoring	16
2.2.3 Stálý termický monitoring	18
2.2.4 Termický monitoring vysokých teplot	19
2.2.5 Bezpečnostní opatření	21
2.3 Způsoby využití termických procesů probíhajících v odvalech	22
2.3.1 Skutečnosti bezprostředně ovlivňující možnosti využití energetického potenciálu důlních odvalů	22
2.3.2 Nehomogenita horninového prostředí odvalů karbonské hlušiny	23
2.3.3 Spalitelné látky v odvalech	23
2.3.4 Negativní faktory vyskytující se v oblasti termicky aktivního odvalu	25
2.3.5 Využití termických procesů – odval Hedvika	27
2.3.6 Technologie jímání tepla	28
2.3.7 Výsledky jímání tepla na odvale Hedvika	29
2.3.8 Závěry z poloprovozního jímání tepla na odvale Hedvika	30
3. ODVAL HEDVIKA	31
3.1 Charakteristika odvalu Hedvika	31
3.1.1 Historie vzniku a provozu odvalu Hedvika	31
3.1.2 Technické parametry odvalu Hedvika	33
3.1.3 Geologické poměry	33
3.1.4 Odběr vzorků a výsledky laboratorních zkoušek	34
3.1.5 Numerické modelování termických procesů na odvale Hedvika	47
3.2 Historie termické aktivity na odvalu Hedvika	53
3.2.1 Vývoj termických procesů a jejich monitoring	54
3.2.2 Sanační zásahy na odvale Hedvika	58
3.2.3 Současné riziko endogenního zahoření – vzniku rozsáhlého podzemního požáru	59
3.4 Aktuální termický monitoring	59
3.4.1 Letecký termovizní snímek	59
3.4.2 Podpovrchová termometrie	60
3.4.3 Termický monitoring v průběhu řešení projektu	62
4. VÝSLEDKY TERMICKÉHO MONITORINGU V OBDOBÍ 2011-2013	65
5. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ	78
6. LITERATURA	79

Přílohová část

- Příloha 1** **Odval Hedvika - situace sond termického monitoringu**
- Příloha 2** **Odval Hedvika - mapy izoterem**
- Příloha 3** **Odval Hedvika - grafy teplot ve vybraných sondách**
- Příloha 4** **Odval Hedvika – geologické profily vrtů**

Rozdělovník:

ex. 1-3	VŠB TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství
ex. 4-5	ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika

1. ÚVOD

Na základě smlouvy o spolupráci při řešení projektu výzkumu a vývoje TA01020282 "Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření" zpracoval spolupříjemce projektu ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika a.s. pracoviště Ostrava závěrečnou zprávu o řešení části projektu.

Cíle projektu byly definovány následovně:

„Cílem projektu je aplikovaný výzkum v oblasti zvyšování kvality životního prostředí ve vztahu k termickým procesům probíhajícím na důlních odvalech a průmyslových skládkách. Řešení projektu je koncipováno na dvě základní oblasti. Jedna z nich bude spočívat ve vytvoření numerického modelu rozložení termických dějů uvnitř důlních odvalů a průmyslových skládek. S touto oblastí souvisí následné vytvoření predikčního algoritmu šíření uvedených termických dějů, především se jedná o predikci endogenních požárů. Pro tvorbu a ověření modelu a predikčních algoritmů bude sloužit vyvinutý měřicí systém, který bude umožňovat dlouhodobé měření a monitorování termických dějů a kvality ovzduší včetně archivace dat a zpřístupnění vizualizace prostřednictvím www stránek. Vývoj a realizace tohoto systému bude naplní řešení druhé oblasti a bude nasazen na důlním odvale nebo skládce a bude sloužit k dlouhodobému monitorování teplotních veličin ovlivňujících kvalitu jak životního prostředí, tak i kvality ovzduší.“

Závěrečná zpráva byla na základě požadavku příjemce (VŠB TU Ostrava) zpracována do tří okruhů:

- Termické procesy na odvalech uhelné hlušiny
- Odval Hedvika – charakter, vlastnosti uloženého materiálu, termické procesy na odvale
- Vstupní data pro numerické modelování
- Výsledky monitoringu na odvale Hedvika

2. TERMICKÉ PROCESY NA ODVALECH UHELNÉ HLUŠINY

2.1 Obecné zákonitosti

2.1.1 Interakce uhlí a kyslíku

Studium oxidace uhlí se provádí již mnoho desítek let, ale dosud ještě stále nejsou jeho hlubší zákonitosti známy. Je tomu tak především proto, že uhlí je poměrně velice složitý heterogenní systém složený z uhelných macerálů a různorodé minerální hmoty. Rovněž struktura uhlí, i přes četné pokusy ji namodelovat, není dosud známa.

Podle tepelného efektu interakce uhlí a kyslíku lze rozlišit tři základní reakční typy (Taraba a Čáp, 1987; Taraba a kol., 1988). Jsou to

- a) Fyzikální adsorpce kyslíku
- b) Chemická sorpce
- c) Interakce kyslíku s vysoce aktivními centry na uhlí

Podle Taraby (2003) největší vliv na interakci uhlí s kyslíkem mají zejména tyto parametry: doba interakce, teplota, koncentrace kyslíku, velikost zrna uhlí, přítomnost a množství vody, stupeň prouhelnění uhlí a vliv mikropetrografického složení uhlí. Jak zjistil Beier (2000) a kalorimetrickým měřením ověřil Taraba (2003) a jiní autoři, po odběru vzorku uhlí dochází

s nárůstem doby po odběru uhlí *in situ* ke snižování tepla chemické interakce. Po počátečním rychlém úbytku pak následuje velmi pozvolný úbytek tepla chemické interakce ($J \cdot g^{-1}$) a uhlí se kyslíkem ani po velmi dlouhé době vlastně úplně nenasytí. Vliv teploty na interakci kyslíku s uhlím byl stanoven ze zjištěných hodnot oxidačního tepla při různých teplotách a vyhodnocen za použití Arrheniovy rovnice. Bylo zjištěno, že s rostoucí teplotou dochází k nárůstu vývinu tepla (Taraba, 2003; Ismail a Walker, 1989). V porovnání s černým uhlím je reaktivita hnědých uhlí ke kyslíku větší. Výsledky ukazují, že existuje silná pozitivní korelace mezi hodnotami oxidačního tepla a obsahem kyslíku. To znamená, že preoxidovaná uhlí (asi zřejmě i na uhelných odvalech) budou vykazovat daleko větší teplo chemické interakce tohoto uhlí se vzdušným kyslíkem.

Vliv přítomnosti a množství vody v uhlí na teplo chemické interakce s kyslíkem je různými badateli vysvětlován různě. Je zřejmé, že závisí na typu uhlí, takže zde spolupůsobí i celá řada dalších charakteristik, které vliv vody na teplo chemické interakce uhlí s kyslíkem ovlivňují současně. Je pravděpodobné, že obecně platí, že nižší obsah vody v uhlí má pozitivní vliv na interakci uhlí s kyslíkem, zatímco vyšší obsahy vody ji mají negativní (Taraba, 2003). Při posuzování vlivu mikropetrografického složení uhlí na jeho oxidaci se závěry různých autorů tradičně liší. Někteří autoři tvrdí, že nejreaktivnější složkou černých uhlí je vitrinit (např. Banerjee, 1985), jiní dávají prioritu liptinitu (např. Moxon a Richardson, 1985). Skutečností je, že inertinit se považuje za nejméně reaktivní složku.

2.1.2 Samovznícení uhlí

Souvislosti mezi oxidací uhlí za nízkých teplot a jeho samovznícením jsou složité. Teploty vyšší než $100^{\circ}C$ se považují v uhlí uloženém *in situ* jako teploty při kterých dochází k záparu uhlí, tj. probíhá již proces, který vede k samovznícení uhlí (Taraba, 2003). Tento zápar se pak považuje za rozhodující pro samovznícení uhlí. Wang a kol. (2003) navrhl pro reakční mechanismus a kinetiku model umožňující predikci samovznícení v uhelné sloji. Je třeba však uvést, že některé práce považují za příčinu samovznícení uhlí interakci s vodní parou (Panaseiko, 1974), bakteriální činnost (Kossov a kol., 1984), nebo energii při rozpojování uhlí (Medek a Weishauptová, 1989). Tyto názory jsou však ojedinělé a většinovým názorem je, že příčinou vznícování uhlí je vzájemná interakce v systému uhlí-kyslík ve vhodných podmínkách a s přihlédnutím na komplexní vlastnosti uhlí (Banerjee, 2000; Sarančuk a kol., 1994; Makarius a Hofbauer, 1984; Banerjee, 1985).

Co je příčinou, že v uhlí dochází k samovznícení? Traduje se, že proces samovznícení uhlí je iniciován exotermickou reakcí disulfidů železa (pyrit, markazit) přítomných v uhlí prostřednictvím jejich nízkoteplotní oxidace se vzdušným kyslíkem (Banerjee, 2000; Sarančuk a kol., 1994). To však nebylo obecně prokázáno (Singh a Demirbilek, 1987; Šebestová a kol., 1989).

V OKR jsou nejvíce náchylná uhlí k samovznícení ta, která byla již dříve pre-oxidovaná. Jsou to zejména uhlí z oblasti výskytu pestrých vrstev. Vysokou reaktivitu těchto uhlí vysvětlují (Taraba a kol., 1992; 1995; 1999) zejména:

- a) Velkým množstvím polárních center na povrchu oxidovaného uhlí.
- b) Vysokou pórovitostí těchto uhlí.
- c) Odlišnou strukturou a chemickým složením oxidačně alterovaného uhlí.

Kdy vlastně dochází k počátku samovznícování uhlí a jak jej identifikovat? Odpověď lze hledat v tom, jak chápeme samovznícení uhlí. Jestliže se jedná o interakci mezi uhlím a kyslíkem, produktem je vznik oxidovaných sloučenin a exotermní vývin tepla. Jako identifikační metody pak slouží analytické metody používané pro identifikaci plyných

produktů oxidace uhlí, nebo metody monitorující zvýšenou teplotu. Při oxidaci uhlí vzniká a uvolňuje se celá řada plynných produktů. Mezi ně patří: CO₂, CO, H₂O, různé typy uhlovodíků, SO_x, NO_x, H₂S, atd. Oxid uhelnatý, jak již bylo řečeno, je v podstatě klasický produkt, který bývá považován za nejlepší indikátor počátku procesu samovznícení. K identifikaci zvýšené teploty uhlí se používají teplo- nebo teplotoměrné metody, které mohou přímo identifikovat vznik a intenzitu záparu. Termovizní monitorování bylo použito např. na Dole Dukla v OKR (Taraba a Taufer, 1993; Hranoš a kol., 1991). Tento typ metod se používá, kde hrozí nebezpečí vzniku samovznícení uhlí.

Jak tedy hodnotit míru nebezpečí vzniku procesu samovznícení? Vesměs se má za to (Singh, 1986; Ren a Richards, 1994), že nebezpečí vzniku požáru nezávisí jen na faktorech charakterizujících uhelnou hmotu (vnitřní faktory), ale že rovněž svůj vliv mají i faktory vnější (Smith a Glasser, 2005).

Mezi metody které umožňují stanovit náchylnost uhlí k oxidaci (vnitřní faktory) náleží metody, které vycházejí z hodnocení uhlí při jeho oxidaci. Jedná se nikoliv o náchylnost uhlí k samovznícení (kterou nelze exaktně stanovit), ale o stanovení náchylnosti uhlí k oxidaci. Metody stanovení náchylnosti uhlí k samovznícení jsou následující:

- a) Metoda adiabatické oxidace.
- b) Metoda pulzní kalorimetrie.
- c) Olpinského metoda.
- d) Metoda CPT.

2.1.3 Příčiny vzniku požárů uhlí

Mezi vnější faktory se řadí geologicko-technologické faktory, jakými např. jsou: tektonika sloje, mocnost a úklon sloje, hydrogeologické podmínky, způsob větrání, atd. Tyto faktory mají vliv na interakci vzdušného kyslíku s uhlím, akcelerují rychlost oxidace (např. narušením sloje tektonickými poruchami) anebo mají vliv na adiabatické uchování vzniklého tepla.

Je zřejmě těžko upřednostnit, které faktory mají na samovznícení uhlí větší vliv. Asi je správné brát v úvahu jejich společné působení (Singh, 1986; Feng a kol., 1973).

V Kanadě byl navržen systém hodnocení nebezpečí záparu (Feng a kol., 1973), který využívá pouze 2 faktorů: náchylnosti uhlí k samovznícení a vnějších podmínek *in situ*, přičemž větší váha je přisuzována oxireaktivitě uhlí. Naopak ve Velké Británii navržený systém ESSH (Denby a Ren, 1992; Ren a Richards, 1994) používají tři ukazatele: oxireaktivitu uhlí, geologické a důlně-technologické podmínky.

Samovznícení uhlí je proces, který následuje po počáteční oxidaci uhlí. Při kontaktu uhlí s kyslíkem mu podléhají ve větší či menší míře téměř všechna uhlí. Podle některých autorů (např. Banerjee, 2000; Dobal a Valeška, 1982; Cygankiewicz, 2000; Taraba a Čáp, 1985) lze tyto 2 procesy (nizkoteplotní oxidaci a samovznícení uhlí) "rozdělit" s použitím tzv. "kritické teploty samovznícení", která se dá stanovit z Arrheniovy závislosti mezi $\ln(v_{ox})$ a $1/T_{ox}$ (kde v_{ox} je rychlost oxidace uhlí a T_{ox} teplota oxidace). Kritická teplota samovznícení je stanovena podle zlomu této závislosti, kdy pomalejší nizkoteplotní oxidace přechází na rychlejší samovznícení. Tato teplota obvykle bývá v rozmezí mezi 70-120 °C.

Dosud neznáme a ještě dlouho nebudeme vědět, proč u některých uhlí k samovznícení dochází a u jiných ne. Veškerá dosavadní kritéria k hodnocení náchylnosti k samovznícení totiž nefungují zcela spolehlivě. Tato studia byla pochopitelně zaměřena spíše na důlní

požáry ale určitým způsobem je lze aplikovat i na samovzněcování uhelných odvalů. V tomto případě jsou však odlišné vnější faktory ovlivňující vznik záparů.

V České republice jsou iniciace požárů na odvalech obvykle spojené se založením ohně na odvalu, nebo zavážením horkých popelů z topenišť na odval. Iniciace požáru odvalu byla také podmíněná existencí vzrostlých náletových dřevin s vyvinutým kořenovým systémem, kdy požárem rostlin se přes kořenové systémy se inicioval vlastní požár. Tak např. v české části hornoslezské pánve představují vážný ekologický i požární problém. Z 21 případů popsanych v katalogu odvalů (Vašenda a Klát 1996, 1997; katalog OKD) bylo devět požárů na odvalech vyvoláno založením ohně na povrchu, k samovznícení hlušin na odvalu bylo příčinou požáru šesti odvalů s objemem uložených hlušin vyšším než 0.25 mil. m³. Ke vzniku záparu (pod teplotu 75°C) došlo ve čtyřech případech a zápar byl utlumen. V pěti případech zápar přešel do požáru. Zde také patří zahoření železničního tělesa v Ostravě - Kunčicích, násyp železniční vlečky u MCHZ Ostravě. Rovněž byl evidován jeden požár odvalu, u kterého není znám způsob iniciace a jeden požár byl vyvolaný nesprávným otevřením odvalu při jeho odtěžování.

V kladenském revíru (Živor in Martinec a kol., 2006, Kurial a kol. 2006) je evidováno 26 větších odvalů, u kterých není znám způsob iniciace požáru, ani současný rozsah prohoření. Minimálně 4-5 odvalů může být termicky stále aktivní. V Rosicko-oslavanském revíru jsou odvaly vyhořelé, jeden z nich, odval Kukla je využíván k zásypu důlní jámy (Kříž 2009). Lze říci, že v České republice nejsou počátky iniciace požárů odvalů založených na konci 19. a v první polovině 20. století spolehlivě známy, ani nejsou literárně doloženy (Kurial a kol., 2006); Bakala a kol., 1993), Týká se to i obtíží se stanovením ukončení hoření odvalu, protože i odvaly s aktivním požárem v důsledku špatné tepelné vodivosti suchého hlušinového odvalu mají již na povrchu vzrostlé náletové dřeviny s vyvinutým kořenovým systémem (všechny odvaly v OKR, VUD, kladenský revír, rosicko-oslavanský revír). Lze jen doložit odhad hoření středně velkého odvalu typu odvalu Ema v Ostravě na cca 50-60 let (Bakala a kol. 1993).

Novější literatura nepřináší žádné zásadní nové poznatky. V Douro (Portugalsko) v uhelné oblasti S.Pedroda Ciova a Pejao je cca 20 uhelných odvalů a 3 z nich v současné době hoří. Zapálení bylo způsobeno lesními požáry v létě 2005 (Querol a kol., 2008). Vznícení uhlí se často připisuje jeho zapálení bleskem nebo neopatrností lidí při zacházení s ohněm. Zhang a Kuenzer (2007) se domnívají, že iniciaci může dojít i vlivem slunečního záření. Je to zejména možné v zemích, jako je Čína a Indie kde teploty jsou vysoké a kde uhelné sloje se vyskytují na povrchu horských nebo pouštních stepích.

V zásadě jednotlivé etapy vývoje hořícího odvalu z hlediska prognózy vývoje odvalu jsou tyto:

- A) Oxidace uhlí a uhelné hmoty v rozptýlené v horninách.
- B) Spontánní samovznícení uhlí a počátek karbonizace zbytků uhlí a uhelné hmoty v horninách v teplotním intervalu cca od 75°C do cca 400 – 500°C.
- C) Rozvoj hoření, karbonizace uhlí a uhelné hmoty v intervalu teplot od cca 400-500°C do přibližně 900°C.
- D) Vysokoteplotní transformace hornin a uhelných popelů provázené vznikem mullitu, spinelů a alkalického skla nad teplotou cca 900°C.
- E) Postupné vyhoření odvalu spojené s ochlazením odvalu pod teplotu 75°C.

Jednotlivé etapy (spojené s oxidací uhlí) mohou být v kterékoliv etapě ukončeny, avšak etapa E je zastoupena vždy.

2.1.4 Environmentální následky hořících uhelných odvalů a hořících uhelných slojí

Hořící a vyhořelé odvaly představují ekologická rizika v celé historii existence odvalu. Hořící uhelné odvaly a uhelné sloje představují doslova environmentální katastrofu, která je doprovázená silným atmosférickým znečištěním, kyselými dešti, destrukcí flory a fauny, respiračními poruchami a ohrožením zdraví obyvatelstva bydlicích v okolí těchto požárů. Je zřejmé, že dochází i ke kontaminaci podzemních vod a ke korozi nejrůznějších kovových konstrukcí.

Největší požáry se vyskytují v současné době v Číně, Indii, JAR, USA a v Rusku (Stracher a kol., 2004). Například v Yangquanu v provincii Shanxi (Čína), jsou při teplotě dosahující až 1200 °C uvolňovány spaliny které obsahují sloučeniny tvořené prvky C, Cl, F, S, As, Cd, Hg, Pb a Se. Rovněž v kyselých vodách se zvýšeným obsahem síranů a chloridů jsou obsaženy vysoké koncentrace prvků, i když mnohé jsou toxické (Querol a kol., 2008).

Podobná situace, i když v menší míře je i v Evropě. Např. V Douro (Portugalsko) v uhelné oblasti S.Pedroda Ciova a Pejao je cca 20 uhelných odvalů a 3 z nich v současné době hoří. Zapálení bylo způsobeno lesními požáry v létě 2005. Ribeiro a kol., 2009 odebrali z hořících a nehořících zón vzorky a studovali geochemické procesy a minerální transformace, které hoření doprovázelo. Typickými projevy byla oxidace pyritu, vznik puklin oxidačních lemů a pórů vzniklých degazací organické hmoty uhlí. Rovněž v místech s nejvyšší teplotou byla zjištěna přítomnost nově vzniklé skelné hmoty, Fe a Al spinelů což ukazovalo na teplotu až 1000 °C. Na povrchu uhelných odvalů byly zjištěny hojné výskyty elementární síry a salmiaku a v kouřových plynech relativně vysoké koncentrace aromatických, ale i alifatických uhlovodíků (Ribeiro a kol., 2009).

Problémů vznikajících v souvislosti se samovolným hořením uhlí není ušetřeno ani Porúří (Frank, 2009). Působení hořícího odvalu na okolní prostředí není vázáno jen na určité časové období aktivního hoření, ale provází ho po celou dobu jeho existence v krajině. Na krajinu působí především tyto vlivy:

- Plynné emise obsahující mimo vodní páru: CO, CO₂, oxidy síry, dusíku, organické polutanty vč. PCB a vyšších uhlovodíků po celou dobu aktivního hoření odvalu.
- Pevné prachové částice obsahující např. saze a jiné uhlíkaté částice, horninový prach z povrchu odvalu po celou dobu aktivního hoření odvalu.
- Po dobu hoření neproniká do odvalu srážková voda a produkty transformace uhlí a hornin zůstávají v odvalu *in situ*. Z kapalných produktů jsou nejčastějšími kontaminanty dehty a organické makromolekulární sloučeniny.
- V případě že odval je vyhořelý a vychladlý, proniká již do odvalu srážková voda a dochází k vyluhování rozpustných amonných, sodných a vápenatých solí (chloridy, sírany, uhličitany, kamence) deponovaných v odvalu. Rovněž dochází k rozpouštění některých druhotně zvětralých sekundárních minerálů (např. sulfidické minerály As a Se se mohou oxidovat na rozpustné sírany). Dochází tak k ovlivnění chemického složení jak podložních zvodní, tak ke kontaminaci vody ve vodotečích. Z přehledu minerálů z hořících odvalů je zřejmé, že především jsou rozpustné chloridy, sírany, kamence a nestabilní sulfidy. Proto je jim věnovaná pozornost i z technického a environmentálního hlediska.

Nekontrolovatelné uvolňování polutantů z hořícího uhlí a uhelných odvalů může mít za následek environmentální a zdravotní rizika. V globálním měřítku velkých objemů skleníkových plynů z hořících uhelných odvalů nebo slojí mohou přispívat ke změně klimatu. Na regionální úrovni emise z hořících uhelných odvalů a uhelných slojí generují kyselé plyny,

pevné částice, organické sloučeniny a sloučeniny stopových prvků a přispívají tak ke vzniku respiračních a jiných chorob. Tyto vlivy na zdraví člověka jsou zejména značné v Číně a Indii (Finkelman, 2004).

2.1.5 Lokalizace, sanace a modelování hořícího uhlí

Průzkum hořících odvalů má za cíl lokalizovat ohnisko požáru a vyhledat hlavní ekologické kontaminanty vázané na odval případně řešit další ekologická rizika (sesuvy, rozšíření požárů atd.) vázaná na odval. Mimo to průzkum může být zaměřen i na využití hlušin (vypálených hlušin) pro jiné aplikace ve stavebnictví, ve výrobě stavebních hmot (kamenivo, cihlářská ošťřiva, korekční suroviny v cementářství, prekurzory pro výrobu geopolymerů atd.).

Rovněž je věnována i pozornost simulaci hoření uhelných slojí a odvalů. Tak např. Zhang et al. (2005) uvádí výsledky simulovaných uhelných požárů, které byly provedeny za zjednodušených podmínek. Autoři demonstrují rozdíly naměřených dat vztažených k těmto požárům při jejich pozorování z pozorovacích pozemních míst a při pozorování z letadel (Zhang a kol., 2007). Matematické modelování simulující teplotní pole při podzemním uhelném požáru provedl Huang (2001) za použití dvou-dimenzionálního modelu.

Prognózy hoření uhlí v uhelných slojích je možno provádět za použití matematického modelování. Např. Klika a kol. (2004) modelovali vyhoření tří slojí v hornoslezské černouhelné pánvi. K tomuto účelu byl použit numerický model a pro výpočet bylo použito nelineární počáteční rozhraní. Předpokládalo se, že horniny tvořící pestré vrstvy vznikly z hornin šedého vývoje vyhořením tří uhelných slojí. Pro výpočet byly použity rovněž výsledky laboratorních experimentů s termickou a oxidační alterací hornin i uhelné hmoty. Kromě toho byly vzaty v úvahu rovněž informace získané ze studia reálných hornin a uhlí z těles pestrých vrstev a jejich okolí. Výpočty byly provedeny za použití programu FEMLAB s použitím metody konečných prvků. Vypočtené teplotní rozmezí se pohybovalo od 350 do 800 °C a odhadnutá doba hoření činila cca 2000 let.

Samostatným problémem je lokalizace ohniska požáru v odvalu. Lokalizace požárů v opuštěných podzemních dolech se hojně provádí na základě analýz plynů uvolněných z uhelné hmoty (Taraba, 2003). Např. Kim (2004a) doporučuje jako vhodný indikátor záparu uhlí stanovovat z vyvěrajícího plynu poměr uhlovodíků C2-C5 k celkovému obsahu uhlovodíků. Xue a kol. (2008) zase využili jako indikátor záparu uvolňování ²²²Rn z míst zahřáté uhelné sloje. Ověřili také, že mezi touto metodou a některými jinými metodami existuje dobrá korelace. Požáry jsou spojeny s důlní činností. Ať již je to dolování v podzemí, na povrchu, skladování nebo uhelné odvaly. Odhadem v Číně shoří 100-200 mil. tun uhelných zásob za rok, v uhelné pánvi Jharia (Indie) – shoří 40 mil. tun uhelných zásob za rok.

Firma Goodson and Associates, Inc. vyvinula technologii ke snížení a utlumování požárů. Je založená na prevenci, kontrole a hašení. Kombinuje se zde portlandský cement, poletavý popílek, agregáty a speciální pěny. Materiál se rozptýlí na exponovaný povrch a injektuje do puklin. Výsledky jsou velmi dobré (Colaizzi, 2004). Podle Nichola a Toveyho (1998) cílem sanace je vybagrovat hořící uhelnou hmotu, ochladit, promísit s popelem a ztuhnout. Zhotovení příkopů naplněných vápencem, injekční clony z cementové malty a neprostupného jílového materiálu. Velmi účinné tlumení se jeví s použitím kapalného dusíku při -180 °C – injektáž do horkých zón uhelných kalů – autoři sami uvádějí, že se jen snížila teplota, ale nedošlo k uhašení (Kim, 2004b).

V české části hornoslezské pánve byly aplikovány různé sanační technologie. Sanace odvalů se záparem byla provedena na některých odvalech nebo hlušinových násypcích. Líčka (1998), Babušek a Svrčula (2001) uvádějí konkrétní postupy při likvidaci záparu na lokalitách odvalu Vítkovických železáren v Ostravě – Hrabůvce (smíšená deponie odpadů a hlušin z uhelných dolů), odvalu Dolu Zárubek na Hranečnicku a násypu železniční vlečky u MCHZ v Ostravě. Horák (1997) popsal oxidační procesy na odvalu Vrbice. První matematický model proudění vzduchu v termicky aktivních odvarech Heřmanice a Hedvika (OKR) s cílem konfrontovat výsledky s vrtným průzkumem byl proveden Michalcem a kol. (2004 a, b). Poslední sanací bylo hořící železniční těleso vlečky v Ostravě - Heřmanicích, které bylo sanováno vybagrováním ohniska požáru a ochlazením. Z uvedeného je patrné, že se sanace v OKR prováděly jen na omezených hořících zeminových tělesech.

Omezování záparů a hoření odvalů v OKR se provádí izolací zeminami, popílkem i průmyslovým sádrovcem a současným odstraňováním náletových dřevin na odvalu (např. odval Heřmanice).

Dlouhodobě byl řešen problém sanace hořícího starého odvalu Kateřina v Radvancích v Čechách a přenos ohně do nové části odvalu. Zpočátku byly používány injektáže s cementem a bentonitem, cementem a popílkem a jiné). Tyto technologie byly neúčinné. Z tohoto důvodu se přikročilo k rozebrání a rekonstrukci hořícího odvalu Kateřina, kterou provedla v letech 1995-2002 Energie báňská a stavební a.s. Kladno. Byl proveden rozsáhlý průzkum a měření teploty, ověřování existence kaveren v hořícím odvalu, dálkové sledování teplot hořícího odvalu termovizní kamerou a vyhledání indikátorů teploty odvalu na podkladě termických změn v horninách. Důležitým aspektem bylo sledování složení plynů v hořícím odvalu v průběhu rozebírání (lokální vysoké koncentrace CO, CO₂). V souvislosti s technickým řešením byly provedeny poloprovozní zkoušky různých metod tlumení a chlazení odvalu, rozebírání a především pak ověření postupu při desintegraci bloků a těles "porcelanitových spečenců" a třídění hlušin pro výstavbu nového kazetového tělesa. Na této lokalitě byl rovněž řešen problém čištění perkolujících vod.

2.1.6 Využití termického potenciálu hořících odvalů

Teplo na uhelných odvalech vzniká hořením rozptýlené uhelné hmoty a uhlí. Vyvinuté teplo se spotřebovává k ohřevu odvalu a tepelné metamorfóze v něm obsažených hornin. Množství vyvinutého tepla a tepelnou bilanci lze odhadnout z:

- petrografického složení hornin v hlušině (podíly hornin);
- z obsahu uhlí a dispergované uhelné hmoty v horninách;
- z minerálních transformací minerálů, které tvoří daný typ horniny v daném intervalu teplot.

Z energetických bilancí provázejících hoření uhelné hmoty a uhlí a spotřeby energie na výpal silikátové hlušiny (např. Krause a kol., 1982-1988), lze provést odhad uvolněného tepla, které lze považovat za užitečné, produkované teplo v místě proběhlých reakcí. Do výpočtu přenosu tepla v hořícím odvalu je nutné zahrnout celou řadu parametrů, jakými např. jsou: typ a spalné teplo uhlí, vlhkost, obsah popela, chemické a mineralogické složení hornin, tepelná vodivost hlušiny, objem odvalu atd. Tyto údaje jsou neznámé, používají se jen *ad hoc* odhady, stejně jako rychlosti proudění vzduchu v odvalu apod. Důležité je i stanovení objemu aktivní hořící části odvalu v daném čase apod. K tomuto účelu je třeba najít vhodný model.

Bohužel, spolehlivé údaje o počátku a konci zahoření odvalu o známé kubatuře a složení hlušiny nejsou k dispozici. Rovněž současný stav znalostí chemického složení hlavních druhů hornin a jim odpovídajícího mineralogického složení, a to obecně pro karbonské horniny, je

zcela nedostatečný, údaje chybí nebo jsou jen statisticky nevýznamné (pro OKR viz Dopita et al. 1997). Dále pak jsou známy jen chemické analýzy vybraných typů hornin, ale chybí současně identifikace a kvantifikace minerálního složení horniny, především jílové hmoty nebo karbonátů.

2.1.7 Normy a předpisy, které se zabývají problematikou uhelných hořících odvalů

Z legislativy zabývající se fenoménem hořících odvalů, vybíráme následující.

Vyhláška ČBÚ č. 22/1989 Sb. (121, par. 2) která říká, že *“...za důlní požár se považuje i proces samovznícení a to od takového stadia, kdy jeho zplodiny jsou schopny ohrozit zdraví nebo životy lidí, nebo kdy teplota hořlavé hmoty by mohla být příčinou výbuchu. Oxid uhelnatý je chápán jako produkt interakce uhlí a kyslíku a v tomto kontextu je nejdůležitější látkou která indikuje oxidaci uhlí. Při jeho obsahu 0,013 % CO již vzniká ohlašovací povinnost (121, par. 21).“*

Podle OBÚ Ostrava č.j. 10/1990 je pro OKR stanovena hranice pro ohlášení obsahu CO dokonce na 0,003 %, nebo jestliže jeho vývin je větší než 10 dm³/min ((122, čl. 05).

Vyhláška č. 17/2009 Sb. ze dne 5. ledna 2009 o zjišťování a nápravě ekologické újmy na půdě a horninách. Tuto vyhlášku stanovilo Ministerstvo životního prostředí v dohodě s Ministerstvem zdravotnictví podle § 11 odst. 5 zákona č. 167/2008 Sb., o předcházení ekologické újmy a o její nápravě a o změně některých zákonů. Vyhláška stanoví metody a způsob zpracování analýzy rizik, způsob hodnocení vhodnosti a proveditelnosti nápravných opatření, stanovování cílů nápravných opatření a způsobů prokazování jejich dosažení, včetně způsobu srovnání alternativních postupů omezování nebo eliminace rizik pro lidské zdraví, a dále způsob posouzení těchto rizik plynoucích z přímého nebo nepřímého zavedení látek, přípravků, organismů nebo mikroorganismů na zemský povrch nebo pod něj.

Analýza rizik zahrnuje zejména průzkum stavu znečištění půdy nebo hornin a její výsledky slouží jako podklad pro stanovisko krajské hygienické stanice.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. Tento zákon stanoví v souladu s právem Evropských společenství a) pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi při dodržování ochrany životního prostředí, ochrany zdraví člověka a trvale udržitelného rozvoje, b) práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství, c) působnost orgánů veřejné správy. Kromě jiného se podle tohoto zákona posuzují vlivy na veřejné zdraví, na životní prostředí, na živočichy a rostliny, ekosystémy, půdu, horninové prostředí, vodu, ovzduší a přírodní zdroje.

2.1.8 Obecné zákonitosti - závěry

Závěry lze shrnout do následujících bodů:

- Dosud neznáme a ještě dlouho nebudeme vědět, proč u některých uhlí k samovznícení dochází a u jiných ne, neboť dosud používaná kritéria nejsou zcela spolehlivá a je zde tedy stále co zkoumat.
- Uhlí uložená na skládkách anebo v uhelných odvalech zvětrává. Jak dokládá Taraba (2003), zvětralá uhlí jsou náchylnější k oxidaci (samovznícení).
- Hořící a vyhořelé odvaly představují ekologické riziko v celé historii své existence.

2.2 Termický monitoring

Termický monitoring odvalů, výsypek, skládek apod. zahrnuje průběžné sledování a vyhodnocování termických procesů za účelem studia termického pole a zejména prognózy jeho vývoje. Termický monitoring je nedílnou součástí již průzkumných prací na termicky aktivním odvalu.

Komplexní průzkum termické aktivity zahrnuje soubor následujících činností:

1. Rešerše poznatků z dané lokality

Nutno soustředit veškeré dostupné informace o zájmové lokalitě, včetně svědectví pamětníků. Významnou součástí je shromáždění mapové dokumentace.

2. Terénní rekognoskace

Patří zde zakres zájmové lokality v existujícím mapovém podkladu, označení míst s anomálními projevy, stručný popis geologické situace, popis morfologie terénu.

3. Letecká termovize

Zahrnuje letecký termovizní snímek zájmové plochy a jejího okolí. Vyhodnotí se z hlediska výskytu teplotně anomálních oblastí.

4. Povrchová termometrie

Provádí se měření povrchových teplot v pravidelné síti měřených bodů. Pozornost se zaměří na plochy, kde byly zjištěné anomální hodnoty.

5. Podpovrchová termometrie

Vytýčí se pravidelná síť měřících bodů. Teploty se měří v hloubce cca 30-50 cm pod povrchem.

6. Vyhodnocení geologického složení odvalu

Na odebraných vzorcích deponovaného materiálu se uskuteční laboratorní rozborů a to zejména na obsah spalitelných látek. Odběr vzorků musí být v pravidelné síti tak, aby se daly specifikovat místa výskytu materiálu se zvýšeným obsahem spalitelných látek.

7. Hloubková termometrie

V pravidelných sítích ocelových sond, jejichž hloubka je dána výškou deponovaného materiálu se uskuteční měření teplot ve stanovených výškových úrovních.

8. Plynový monitoring – atmogeochemie

Uskuteční se měření plynných zplodin termických procesů a to jak přímo na odvale, tak analýzou odebraných vzorků vzdušin.

9. Komplexní vyhodnocení získaných poznatků

Zpracuje se souhrnná závěrečná zpráva s uvedením výsledků bodů 1-8 s odborným vyhodnocením a doporučením dalšího postupu.

Činnosti 1-6 spadají do etapy vyhledávacího průzkumu, činnosti v etapách 7-9 do etapy podrobného průzkumu lokality s termickou aktivitou.

V návaznosti na výše uvedené pak následuje Systém stálého termického monitoringu, případně Nepřetržitý monitoring teplot s dálkovým přenosem dat, jehož výsledky nám dávají

aktuální přehled o probíhající termické aktivitě. Tyto informace jsou nezbytné pro potenciální využívání termické energie z důlních odvalů zasažených termickými procesy.

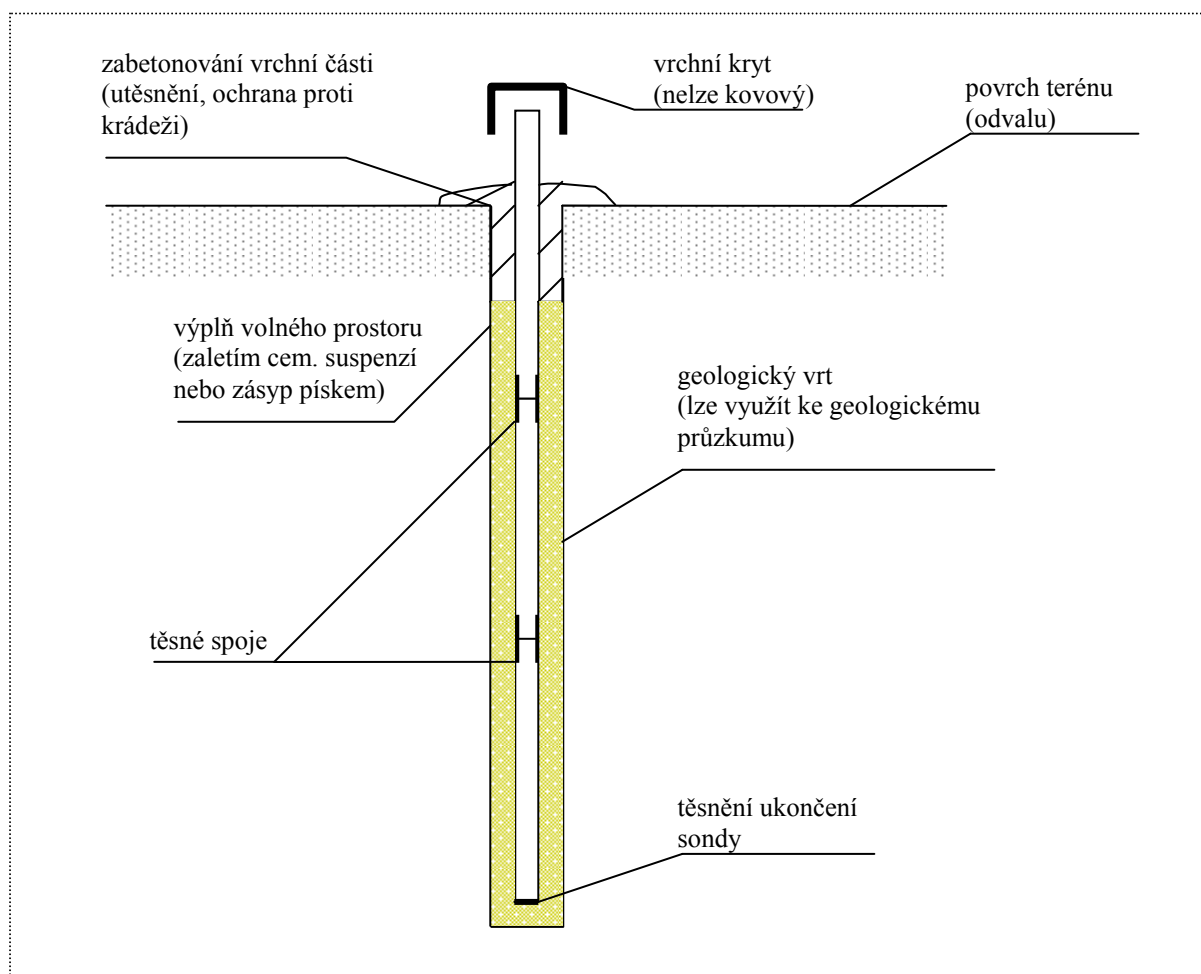
2.2.1 Termický monitoring

Měření teplot se provádí v ocelových sondách vhodně situovaných v prostoru odvalu. Jejich hloubka je obvykle 3-9 m, je však žádoucí, aby některé dosáhly původního terénu.

Situování jednotlivých ocelových sond vychází z výsledků vyhledávacího průzkumu termických procesů. Základem jsou mapy izoterm podpovrchové termometrie.

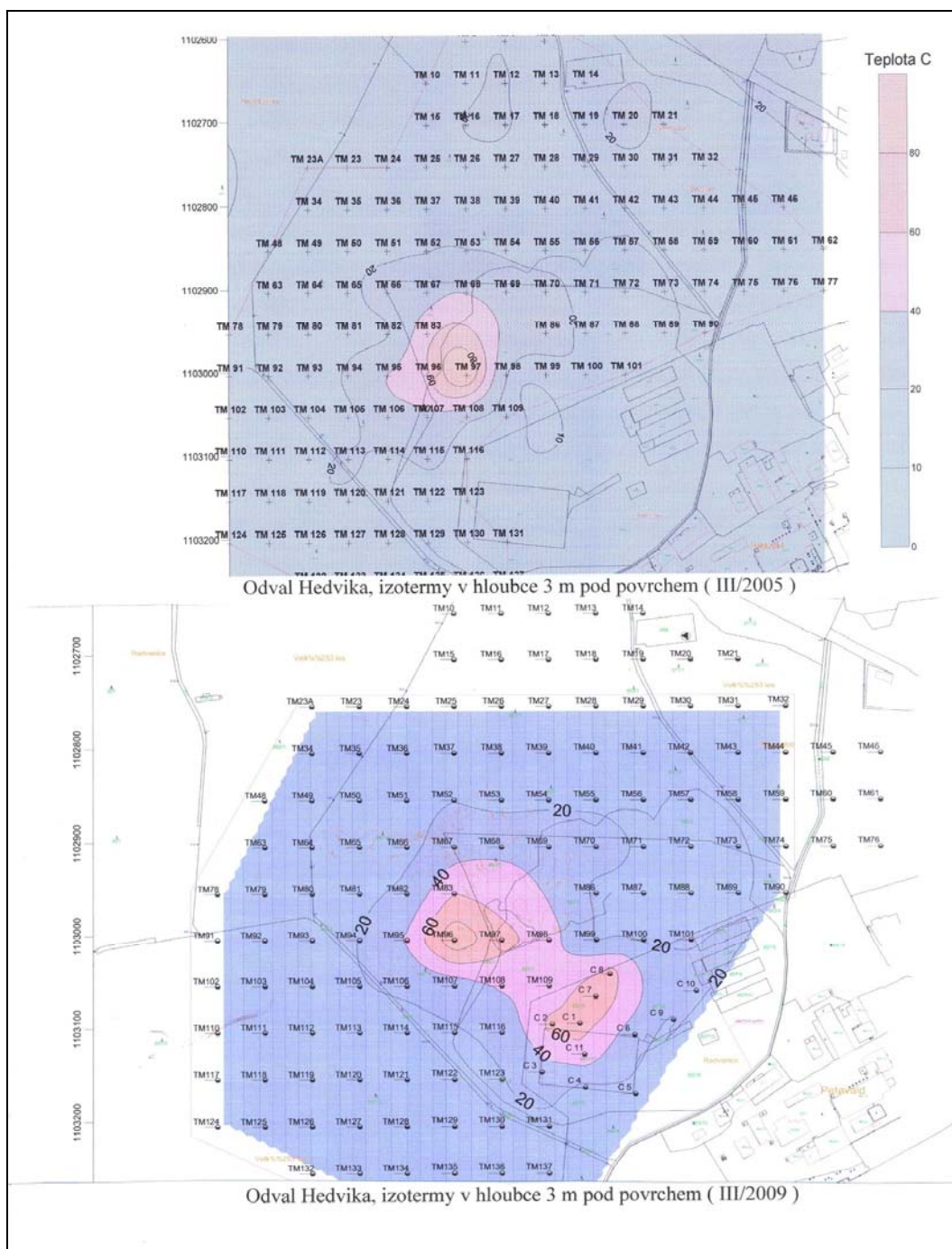
Měřicí sondy jsou tvořeny ocelovými silnostěnnými trubkami spojovanými tak, aby spoje byly těsné. Výjimku tvoří sondy určené pro plyný monitoring. Trubky se usazují obvykle do vrtů, které slouží i pro geologický průzkum dané lokality. Prostor mezi vnější stěnou sondy a okrajem vrtu se vyplní cementovou suspenzí, nebo zasype jemným výplňovým materiálem (např. písek). Ústí sondy na povrch se těsně uzavře. Vzhledem ke skutečnosti, že sondy jsou volně v terénu a může zde docházet k jejich zcizování asociálními osobami, doporučuje se povrchové zabetonování. Schéma sondy je na obrázku 1.

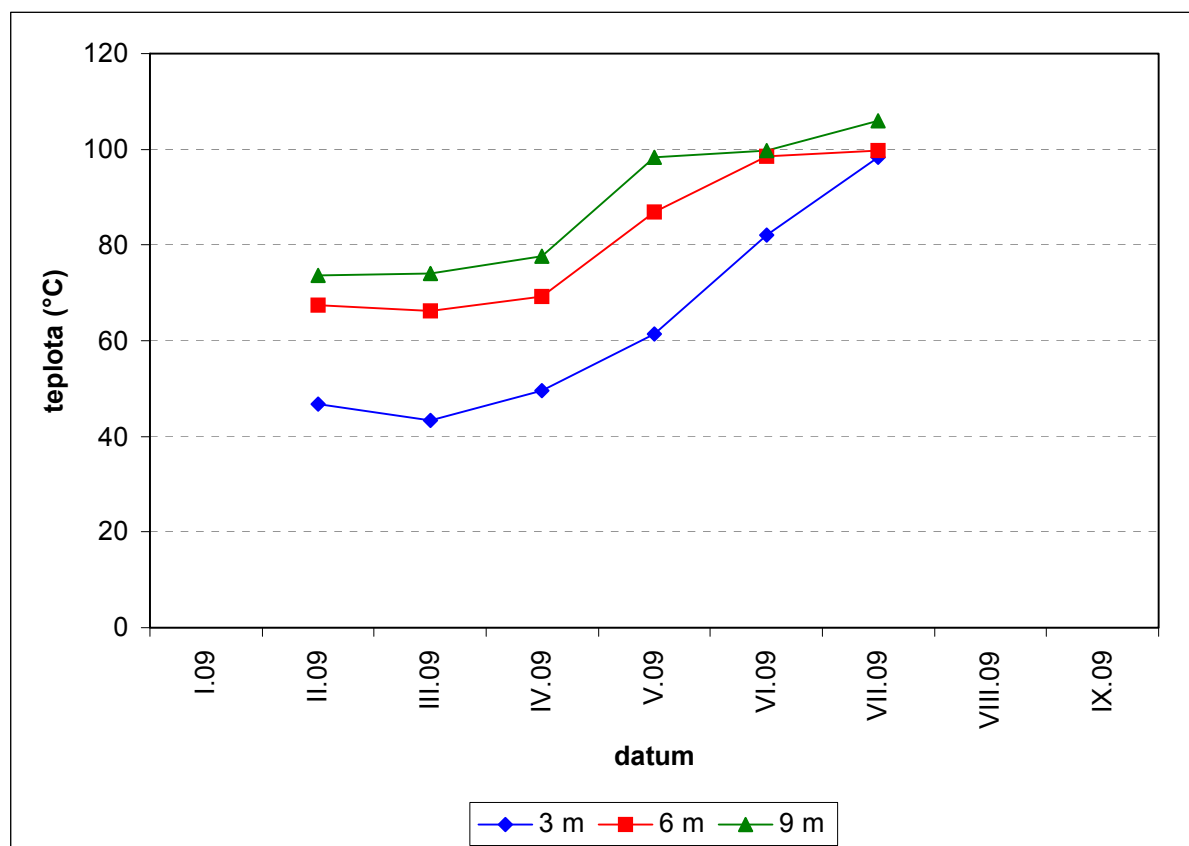
Obrázek 1 Schéma sondy pro termický monitoring



Měření teplot v instalovaných sondách se provádí periodicky ve stanovených intervalech. Obvykle se sleduje teplota v úrovni 3, 6, 9 m pod povrchem. Získané údaje se zpracují do tabulek a návazně graficky do map izoterm a grafu teplot v časové závislosti (vývoj teplot v čase). Srovnáním map izoterm se určuje rozsah termické aktivity a její plošné změny v čase. Vývoj teplot v čase v jednotlivých sondách pak dává přehled o narůstání resp. poklesu termické aktivity v daném místě. Ilustrační obrázky map izoterm a grafu vývoje teplot na odvale Hedvika v letech 2005-2009 jsou uvedeny na obrázcích 2 a 3.

Obrázek 2 Příklady izoterm (odval Hedvika hl. 3.0 m – 03/2005 nahoře a 03/2009 dole)



Obrázek 3 Vývoje teploty v sondě TM 96 (odval Hedvika) v období 01-07/2009


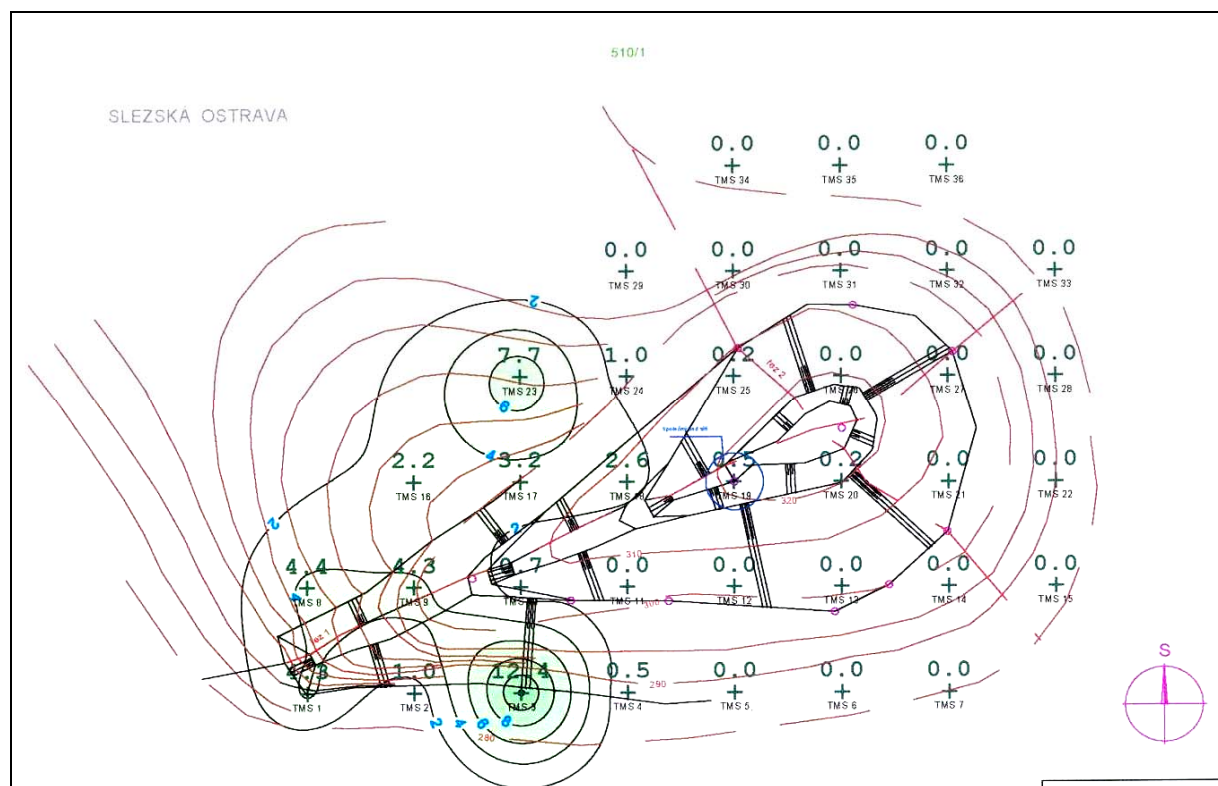
2.2.2 Plynový monitoring

Součástí podrobného průzkumu je rovněž sledování plynů ve vnitřním prostoru odvalu. Plynový monitoring má nezastupitelnou roli v rámci komplexního sledování termické aktivity důlních odvalů. Zahrnuje sledování a vyhodnocování koncentrací plynných zplodin vznikajících při termických procesech ve vnitřním prostoru zájmového prostředí.

Při termickém procesu vzniká celá řada spalných zplodin (plynů), z nichž nejdůležitější jsou oxid uhelnatý, oxid uhličitý, nižší nasycené i nenasycené uhlovodíky (metan, etan, etylén a další), jakož i rozsáhlý výskyt vodní páry. Plyny se sledují jak uvnitř prostoru odvalu, tak bezprostředně na povrchu – zejména při ústí různých trhlin a průduchů.

Sledování plynů se provádí v rámci přímého měření ve vnitřním prostoru odvalu (plynových sondách), případně u ústí nespojitosti, nebo se odebírají vzorky vzdušiny a následně se analyzují v laboratořích. Získané údaje se sestaví do tabulek a následně zpracovávají graficky do forem izolinií koncentrace plynů (obrázek 4).

Obrázek 4 Měření koncentrací CO₂ na odvale Ema (09/2007)



Komplexní problematika plynového monitoringu je značně složitá. Působí zde několik faktorů, které se mohou vzájemně doplňovat a zvyšovat tím svoji závažnost.

Nejdůležitější skutečností působící na výsledný vývoj plyných zplodin při termických procesech jsou:

- teplota půdy a půdního vzduchu,
- velikost a průběh barometrického tlaku,
- rychlost proudění půdního vzduchu,
- stupeň překrytí povrchu zájmové lokality (asfalt, beton), vertikální a horizontální heterogenita horninového profilu,
- přítomnost organické hmoty,
- koncentrace kontaminující směsi v průlinách I.řádu a v průlinách II.řádu, tj. průlinách zrn, či částic (efekt tzv. dvojí pórovitosti),
- podíl průlin obou systémů,
- zrnitostní složení,
- měrný povrch částic, resp. velikost a množství jednotlivých průlin,
- sorpční schopnosti disperzní směsi (jílovité částice atp.), tj. procentní podíl a mineralogické složení (přítomnost montmorillonitu, illitu, hydroxylovaných slíd),
- existence kontaminantů a jejich fyzikální (fyzikálněchemické) složení,
- celková vlhkost,
- stupeň saturace vodou.

V případě hořících odvalů je teplota faktorem, který měření nejvíce ovlivňuje. V místech s probíhajícími termickými procesy může být vliv všech faktorů uvedených výše výrazně snížen vlivem teplotního pole (čím vyšší teplota, tím větší ovlivnění výsledků).

Přes určité existující riziko zkreslení získaných výsledků byla v rámci řešení průzkumů termické aktivity opakovaně na více lokalitách úspěšně využita metoda plynového monitoringu. Idea monitorování půdní atmosféry hořících hlušinových odvalů nebo odvalů potenciálně ohrožených termickou aktivitou, vychází z určitých teoretických předpokladů a je založena na zjišťování koncentrace CH_4 , CO_2 a CO ve vzorcích vzdušin odebíraných z masivu haldy prostřednictvím podpovrchových sond. Již prostý výskyt uvedených plynů může prokázat určité skutečnosti, které se pak dále konkretizují na základě zjišťované změny jejich koncentrace.

Obecně je podle koncentrace jednotlivých uvedených plynů ve vzorcích a podle její změny v určitém časovém horizontu hodnocena:

- Náchylnost deponie ke vzniku a šíření termického procesu. Metan (CH_4), jako produkt rozkladných procesů organických látek, je obsažen již v samotné uhelné hmotě a změny jeho objemu ve vzorcích vzdušin odebraných z tělesa haldy indikují změny obsahu uhelných zbytků (ale i jiných převrstvených organických zbytků) v deponii,
- Úroveň procesu nejprve pozvolné oxidace uhlíku a následně až jeho probíhajícího hoření v tělese haldy indikují CO a CO_2 . Umožní tedy vymežit místo existence záparu případně požáru.

Stanovení obsahu zájmových plynů v půdním ovzduší se provádí přenosnými analyzátory přímo v terénu. Půdní vzduch je přes analyzátor nasáván z natlučené nebo zavrtané měřicí díry určité hloubky. Odběr vzorků je možný z různých hloubkových úrovní (postupné prohlubování děr).

V rámci komplexního průzkumu bývají zpravidla využívány vrty určené pro podpovrchovou termometrii. V tomto případě je plynový monitoring prováděn:

- pouze ve fázi instalace termometrických vrtů (sond), může být průběžný ve více úrovních nebo jenom z konečné hloubky,
- opakovaně po celou dobu teplotního monitoringu (s výjimkou 1.měření ve fázi instalace jsou všechny ostatní jen z konečné hloubky).

2.2.3 Stálý termický monitoring

Pro možnosti dlouhodobého využívání tepelné energie odvalu je ve stanoveném prostoru nutný stálý termický monitoring. Zjištěné teploty a jejich vývoj v čase jednoznačně ukazují na průběh termického procesu v prostoru odvalu. Při využívání termického potenciálu odvalu se jeho prostor postupně ochlazuje a v určitém časovém období je další přenos tepla neefektivní.

Lokalizace sítě stálého termického monitoringu vychází z etap průzkumu termické aktivity na odvale. Sondy jsou tvořeny obvykle ocelovými silnostěnnými trubkami s minimálním vnitřním průměrem 2 cm. Pro měření teplot se doporučují používat monitorovací jednotky M1.

Přenos získaných dat lze uskutečnit ve 2 variantách:

- Systém drátového přenosu do vyhodnocení jednotky umístěné v bezprostřední blízkosti lokality
Zájmový prostor se pohybuje v síti monitorovacích jednotek M1 v pravidelných vzájemných vzdálenostech – cca 10 m. Konektory jednotlivých sond se propojí spojovacím vedením, které vede do vyhodnocovací jednotky poblíž dané lokality. Vyhodnocovací jednotka je umístěna v prostorách zařízení stavby (obvykle stavební buňka).

- Bezdrátový dálkový přenos do dispečinku společnosti
Zájmový prostor se pokryje sítí monitorovacích jednotek jako v předchozí variantě. Jednotlivé řady sond se propojí spojovacím vedením do vysílacích jednotek. Každá řada může mít samostatnou vysílací jednotku, nebo všechny monitorovací jednotky se propojí do jedné centrální vysílací jednotky.

Přenos tepelných údajů je bezdrátový do vyhodnocovacího dispečinku společnosti zajišťující teplotní monitoring. Vzdálenost mezi důlním odvalem a dispečinkem společnosti není omezena. (pozn. je zde nutný příjem signálu).

2.2.4 Termický monitoring vysokých teplot

Při termickém monitoringu dochází často k situaci, že je nutné změřit hodnoty teplot v bezprostřední blízkosti (případně uprostřed) epicentra podzemního požáru.

V těchto případech je nutno řešit řadu závažných problémů

- a) realizace (instalace) měřících sond
- b) použití vhodné monitorovací jednotky
- c) bezpečné manipulace s používaným zařízením
- d) bezpečný přístup k měřícím sondám
- e) nebezpečí plynových exhalací

ad a) Instalace měřících sond

Jedná se o nejobtížnější pracoviště z hlediska bezpečnosti. Pohyb po terénu, pod nímž probíhají termické procesy, je vždy značně riskantní. Hrozí zde propadnutí do vyhořelých prostor a nebezpečí prudce jedovatých plyných zplodin podzemního požáru.

Pro instalaci sond (které musí být silnostěnné ocelové) lze použít pásové vrtné soupravy co nejlehčího typu. Pracovníci obsluhy se musí pohybovat po zajištěném povrchu – lze použít lehké panely nebo speciální rohože, případně vyztužené bezpečnostní sítě. Prostor nad místem instalace je nutné průběžně monitorovat s ohledem na obsah plynů, CO a H₂S.

Po ukončení instalace ocelové sondy je nutno její vnější okolí důsledně utěsnit a ústí uzavřít plynotěsným uzávěrem. Práce se musejí uskutečňovat za stálého technického dozoru.

ad b) Monitorovací jednotka

Pro měření teplot je nutno použít vhodné snímací čidlo s návazným vedením, které ho spojuje s místem odpočtu (nebo odeslání údajů). Teploty v epicentru termického procesu (podzemního požáru) se pohybují v řádu stovek stupňů, nejsou výjimky hodnoty okolo 800 °C. Samotné prostředí v měřící sondě je vysoce agresivní, napadá konstrukci čidla a přenosového vedení.

Teploty se v průběhu času značně mění, běžně se v časovém úseku několika dnů může teplota zvýšit nebo klesnout o několik set stupňů. Snímací čidlo musí tedy mít značnou rezervu v horní úrovni měření.

Dalším nutným požadavkem je ochrana proti asociálním osobám. Zařízení musí být zajištěno proti krádeži a úmyslnému poškození. Jako nejlepší způsob ochrany je umístění pod povrch terénu a důsledné zamaskování ústí sondy.

ad c) Bezpečná manipulace

Při veškeré manipulaci se musí brát zřetel na nebezpečí popálení. Teploty uvnitř měřící sondy se mohou pohybovat značně nad 80 °C a hrozí zde možnost úrazů. Je nezbytné používat vhodné ochranné pomůcky a zabránit styku pokožky se zařízením, jehož teplota může být vyšší než 100 °C.

Výrazným nebezpečím je pravděpodobný výskyt jedovatých zplodin (CO, sirovodík). Pracovník provádějící měření se nesmí nahýbat nad ústí sond. Před měřením je nutné ihned po odstranění uzávěru proměřit koncentraci CO v úrovni zhlaví sondy.

ad d) Bezpečný přístup k sondám

Problematika bezpečného pohybu po povrchu terénu je diskutována výše. Rovněž při měření v sondách hrozí nebezpečí propadu do vyhořelých prostor a nebezpečí náhlých výronů jedovatých plynů. Je proto nutné zajistit přístup k sondám zpevněním povrchu. Lze použít buď stabilně umístěné "r bezpečnostní rohože" nebo přenosné bezpečnostní vyztužené sítě.

Z hlediska nebezpečí exhalací je nutné dodržovat základní pravidlo, a to nenahýbat se k ústí sondy a nenadechovat se v těsné blízkosti terénu.

ad e) Nebezpečí plynových exhalací

Termické procesy jsou vždy doprovázeny vývojem plynných exhalací - spalných zplodin. Ty pronikají na povrch nespojitostmi terénu. Vznikají různě velké průduchy, ze kterých nepravidelně uniká různé množství spalných plynů do atmosféry. Nespojitostmi se tyto plyny dostávají do vnitřního prostoru měřících sond. Nebezpečné koncentrace se nacházejí uvnitř průduchu, pronikají do sond. V úrovni cca 10 cm nad ústím sondy obvykle dochází k rozředění do méně nebezpečné koncentrace. Může se však vyskytnout rozsáhlejší erupce, kdy dojde k vytvoření nahromaděného plynu i v širším okolí. Je tedy nezbytné doplnit termický monitoring i měřením koncentrace nebezpečných plynů – obvykle CO a CO₂.

Nejdůležitější součástí systému je snímací čidlo schopné provozu v prostředí vysokých teplot a agresivního ovzduší.

Samotné čidlo a návazné vedení chráněné pancéřovým ocelovým krytem je umístěno v lokalitě termického procesu, pokračování vedení pak směřuje do prostoru s nižšími teplotami, kde lze umístit vysílací jednotku.

Jako vysílací jednotky lze použít telemetrické stanice Stela. Teploty je možno sledovat v určitém intervalu několikrát denně nebo jednou za několik dnů. Výsledkem jsou grafy vývoje teplot v čase. Z jedné měřící sondy lze snímat teploty v několika hloubkových úrovních.

Obrázek 6 Teploměr s pancéřovou hadicí pro měření vysokých teplot


2.2.5 Bezpečnostní opatření

Při provádění měřicích prací (sledování teplot nebo výstupu plynů), je vždy určité nebezpečí, které vyplývá z podstaty termických procesů. Jedná se zejména o možnost propadnutí do vyhořelých a často i aktivních vnitřních prostor odvalů a dále pak o ohrožení vystupujícími jedovatými zplodinami požáru.

Teploty uvnitř odvalu se mohou pohybovat až v řádu několika set stupňů. Propad osob nebo zařízení by vedlo k těžkým zraněním případně i smrtelným úrazům. Proto byla vyvinuta bezpečnostní rohož pro eliminaci případných propadů. Při vstupu na bezpečnostní rohož musí být přítomni minimálně 2 pracovníci, z nichž pouze jeden může být na rohoži.

Princip bezpečnostní rohože spočívá v jednoduché konstrukci vytvořené popruhy ze syntetického materiálu, které lze stočit do rolí a odvíjet před vstupem do kritických míst (obrázek 7). Pro docílení nehořlavosti syntetického materiálu rohoží je nutný nátěr speciální antipyrogenní hmotou. Osvědčil se nástřik hmotou Texaflam.

Použití bezpečnostní rohože plně zajišťuje bezpečný pohyb pracovníků po povrchu odvalu.

Konstrukční řešení bezpečnostní rohože bylo zpracováno do formy patentově-právní přihlášky. Dne 13.9.2010 bylo Úřadem průmyslového vlastnictví v Praze uděleno Osvědčení č. 21 267 s názvem "Přenosná bezpečnostní rohož".

Obrázek 7 Bezpečnostní rohož


2.3. Způsoby využití termických procesů probíhajících v odvalech

Důlní odvaly s termickou aktivitou mají obrovský termický potenciál. Využití tepelné energie z jejich vnitřního prostoru je však vysoce technicky náročné. Jedná se zejména o možnosti přenosu tepelné energie z termicky aktivního prostoru do případného výměníku a následný přenos do objektu občanské nebo průmyslové zástavby k finálnímu uživateli.

Využívání termické aktivity závisí na intenzitě probíhajících termických dějů ve vnitřním prostoru odvalu. Zcela odlišně se musí přistupovat k využívání tepelné energie z důlního odvalu, kde se vnitřní teploty pohybují cca do 100 °C a úplně jinak postupovat v případech, kde teploty dosahují řádově několika set stupňů, extrémně i nad 1000°C.

Důlní odvaly s termickou aktivitou se vyznačují řadou negativních faktorů, ze kterých některé přímo ohrožují bezpečnost pracovníků nacházejících se v jejich blízkosti. Základní negativní faktory jsou popsány níže.

2.3.1 Skutečnosti bezprostředně ovlivňující možnosti využití energetického potenciálu důlních odvalů

Využití termického potenciálu termicky aktivních odvalů podléhá zvládnutí technické problematiky přenosu jejich tepelné energie do přenosové soustavy a její transport k místu využití. V tomto kontextu je třeba zmínit některé velmi problematické technické okolnosti:

- Zřízení výměníků v termicky aktivních odvalech vyžaduje vždy zásah do povrchu tělesa odvalu, s tím spojené otevření přístupu vzdušin a podstatné zvýšení rizika nezvládnutí rozšíření termické aktivity.
- Vysoké teploty a velmi agresivní prostředí vyžadují použití speciálních materiálů výměníků, které jim mohou odolat.
- Nutno počítat se značnou mobilitou těles termicky aktivních odvalů, klesáním povrchu z důvodu kontrakce hořících materiálů, případně tvorbou dutin v jejich nitru.
- Nutno počítat se značnou dynamikou termických procesů v odvalech a jejich nevyzpytatelném prostorovém pohybu daném obrovskou nehomogenitou prostředí. Tyto procesy jsou samovolné a technicky za současných podmínek neřiditelné.

- Z pohledu bezpečnosti práce je prakticky vyloučena možnost případných oprav poruch na výměnících v místech extrémně vysokých teplot, ale i z důvodu výstupů toxických plynů.

Zvládnutí a vyřešení techniky přenosu termické energie z těles termicky aktivních odvalů ke zdroji využití by vedlo k výrazným ziskům termické energie, která v současnosti nekontrolovatelně uniká do ovzduší. Z dosavadních zkušeností je navíc zřejmé, že se jedná o zdroje dlouhodobé. Některé odvaly v ostravském regionu jsou termicky aktivní po dobu více než 50 let.

2.3.2 Nehomogenita horninového prostředí odvalů karbonské hlušiny

Nehomogenita horninového prostředí odvalů je ovlivněna řadou faktorů. Postihnout a definovat nehomogenitu prostředí odvalů karbonské hlušiny není stávajícími průzkumnými prostředky reálné. Obecně lze konstatovat, že na bázi mocných (vysokých) odvalů je uložena hrubá frakce, v místech transportních tras je uložena jemnější frakce s vyšším obsahem spalitelných látek a tyto partie jsou více zhutněny. V případě, že byla provedena technická rekultivace odvalu, došlo k částečné homogenizaci odvalených materiálů.

S ohledem na tyto skutečnosti, lze i otevřenou pórovitost prostředí odhadovat vyšší mimo transportní trasy. Nutno však vzít v úvahu i skutečnost, že některé odvalené materiály, především jílovce a prachovce mají vysokou náchylnost k rozpadu ve vodě, rozpadu namrzáním a zvětváváním. Tyto procesy ve spojitosti s působením srážkové činnosti v dlouhodobém časovém horizontu vedou k postupné pomalé homogenizaci prostředí spojené se snižováním otevřené pórovitosti prostředí. Pórovitost prostředí horninových odvalů nebyla in situ prozkoumávána a lze ji odhadovat řádově v procentech. Otevřená pórovitost má zásadní vliv na přístupu vzdušín do odvalů a následný vznik endogenních požárů. Pro matematické modelování proudění vzduchu v odvalech byla přijata hodnota všesměrné propustnosti v prostředí odvalů $\alpha = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$.

2.3.3 Spalitelné látky v odvalech

Množství spalitelných látek je rozhodujícím aspektem pro vznik procesu endogenního zahoření. Spalitelné látky, které odvaly obsahují, jsou zastoupeny jednak kusovým uhlím ze slojí, ale také jako dispergovaná složka v průvodních horninách. Jedná se především o jílovce a prachovce. Dispergovaná složka se na termických procesech nepodílí v počáteční fázi endogenního zahoření z důvodu, že nemá kontakt se vzdušinami. Ve fázi rozvinutých termických procesů se však stává jejich nedílnou součástí.

Obsah popela nebo spalitelných látek je definován jako minerální zbytek po spálení průměrného vysušeného vzorku při určité teplotě do konstantní hmotnosti. Vzorky jsou spalovány při teplotě $815^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (ČSN ISO 1171 Tuhá paliva – Stanovení popela).

Zajímavou skutečností je velikost vzorku. Navážka pro zkoušku dle ČSN ISO 1171 je pouhý 1 g. Na odvalech jsou však zásoby v miliónech tun. Výsledky mohou být proto zatíženy velmi výraznou chybou.

Při spalování (žihání) vzorku uhelné hlušiny dochází jednak k uvolňování vody, jednak k rozkladu jílových minerálů a karbonátů, které tvoří podstatnou část horninového materiálu v hlušině. Proto při této zkoušce nelze ztrátu vyžíhané substance ztotožnit s uhelnou složkou.

Při spalování (žihání) vzorku uhelné hlušiny dochází jednak k uvolňování vody, jednak k rozkladu jílových minerálů a karbonátů, které tvoří podstatnou část horninového materiálu v hlušině. Proto při této zkoušce nelze ztrátu vyžíhané substance ztotožnit s uhelnou složkou.

Při zahřívání minerálů na 150°C se nejprve uvolňuje volná a adsorpční voda. V teplotním rozmezí 400-900°C dochází u jílových minerálů k dehydroxylaci (únik vázané vody ve formě OH skupin). Postupně dochází k dehydroxylaci kaolinitu a illitu (550-600°C). Při teplotách cca 900°C dochází k natavení a tvoří se nové krystalické fáze (mullit, cristobalit).

V teplotním rozmezí 500-920°C dochází k tepelné disociaci karbonátů – siderit (500-600°C), dolomit (750-900°C), kalcit (900-930°C).

Vlastní uhelná hmota a uhlí začíná oxidovat v závislosti na stupni prouhelnění v intervalu 290-380°C a končí při 450°C (Martinec 1987).

Provedením série zkoušek hlušiny z úpraven dolů ČSA, ČSM a Paskov na Ostravsku bylo prokázáno, že hodnoty ztráty žiháním rostou s přibývajícím teplotou. Z každé úpravny byly po dobu jednoho měsíce odebrány vzorky hlušiny, u kterých byla postupně stanovována ztráta žiháním při teplotách 500°C, 820°C a 1000°C. Závislost hodnot mediánu jednotlivých souborů hodnot ztráty žiháním na teplotě spalování je uvedena na obrázku 25. Přírůstek ztráty žiháním při zvýšení teploty z 500°C na 820°C se pohybuje v rozmezí 8-16% (Kresta 2012).

V rámci dalšího výzkumu byla vyvinuta nová metodika stanovení obsahu uhelné hmoty v hlušině založená na oddělení uhlíku vázaného v karbonátech v tmelu hornin a rozptýlené uhelné hmotě v horninách (Klika – Kraus - Martinec 2011).

Byly vyvinuty dvě metody, které je však nutno ještě podrobit ověřovacím a srovnávacím zkouškám.

Stanovení celkového uhlíku ve vzorku (C_U) pocházejícího z rozptýleného a kusového uhlí přítomného ve vzorku - metoda 1.

V reprezentativním, dobře zhomogenizovaném vzorku se stanoví celkový obsah uhlíku dle upravené metody podle ČSN 72 0121 Základní postup rozboru silikátů – Stanovení CO_2 vázkovou metodou a z nového podílu téhož vzorku se stanoví obsah oxidu uhličitého, který je vázán v uhličitanech. Uhlík vázaný v uhličitanech se přepočte na uhlík a odečte od celkového obsahu uhlíku. Výsledný obsah uhlíku nazýváme sumární uhlík, neboť může obsahovat. Tento uhlík odpovídá uhlíku přítomnému v organické hmotě ve vzorku uhlí ($\%C_{UH}$).

Výpočet

$$C_{U1} = C_{celk} - \%CO_2 \cdot \frac{12}{44}$$

kde

C_{KU} - % C ve vzorku pocházejícího z kusového uhlí přítomného v původním vzorku

C_{Roz} - % C ve vzorku pocházejícího z rozptýleného uhlí přítomného v původním vzorku

C_U - celkové % C ve vzorku pocházejícího z rozptýleného a kusového uhlí přítomného v původním vzorku ($C_U = C_{KU} + C_{Roz}$)

C_{karb} - % C ve vzorku pocházejícího z uhličitánů přítomných v původním vzorku ($C_{karb} = \%CO_2 \cdot 12/44$)

C_{celk} - % celkového uhlíku v původním vzorku ($C_{celk} = C_U + C_{karb}$)

Stanovení celkového uhlíku ve vzorku (C_U) pocházejícího z rozptýleného a kusového uhlí přítomného ve vzorku - metoda 2.

Uhlíčitany přítomné v původním vzorku se rozloží v zředěné zahřáté HCl. Vzorek, v němž pak zůstává uhlík přítomný v uhelné hmotě, se po promytí destilovanou vodou vysuší a stanoví se v něm celkový obsah uhlíku, který se přepočte na uhelnou hmotu

Výpočet

$$C_{U2} = (C_U)_{louž} \cdot \frac{(100 - ZL)}{100}$$

kde

$(C_U)_{louž}$ je celkové % C ve vzorku pocházejícího z rozptýleného a kusového uhlí přítomného ve vylouženém vzorku;

ZL je ztráta loužením, ZL je procentuální ztráta hmotnosti vzorku loužením

Obsah spalitelných látek v tělesech odvalů je dán celou historií jejich stavby od založení až po rekultivační práce. Heterogenita obsahu spalitelných látek v tělesech odvalů je předurčena odvalovaným materiálem, tvarem odvalu, v tomto případě výše zmíněnou separací frakcí a následnými rekultivačními pracemi na odvalech. Základním atributem obsahu spalitelných látek v odvalu je však jednoznačně původ odvalovaných hornin:

Obsah spalitelných látek v tělesech odvalů má zcela jednoznačně všesměrně heterogenní rozložení. Heterogenní rozložení obsahu spalitelných látek vyplývá z historie jeho vzniku a je dáno složením odvalovaných materiálu z ražeb, dobývek a úpraven, které byly v té které době transportovány na odval. Na heterogenitě rozložení spalitelných látek se podílí také způsob transportu, neboť při všech způsobech dochází různou měrou k propadu drobných částic podél dopravních tras. Tyto oblasti jsou jednoznačně potenciálně nejnebezpečnějšími partiemi pro vznik termických procesů v odvalech. Definování a lokalizace těchto partií je součástí historických rešeršních prací a průzkumných prací realizovaných za tímto účelem.

Heterogenita složení odvalů z pohledu obsahu spalitelných látek tvoří základní komplikaci při eventuálním využívání potenciálu termické energie na hořících odvalech.

2.3.4 Negativní faktory vyskytující se v oblasti termicky aktivního odvalu

Při probíhajících termických procesech dochází ke vzniku řady rizik různého stupně nebezpečí, z nichž některé bezprostředně ohrožují životy lidí.

a) Vývin tepla

Shořením hořlavých součástí odvalu dojde k uvolnění značného tepla. Toto bezúčelně uniká do atmosféry a podílí se na narušení přírodní rovnováhy v daném místě. Množství tepla uvolněného v průběhu řady let trvajících termické aktivity je obrovské a pohybuje se v řádech milionů MJ. 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 75-80% účinnosti spálení, shoří cca 250 tis. tun (uhlí, síra, organický odpad).

b) Uvolňování toxických látek

Každý důlní odval obsahuje nesourodou směs většinou karbonských hornin, uhlí a také domácích i průmyslových odpadů, které se při provozu důlního podniku rovněž nekontrolovatelně vyvážely na haldy. V minulosti se dosti často odvaly používaly i jako skládky různých odpadů i z jiných podniků, které se nacházely v jejich blízkosti. Přes

legislativní opatření se odpady neoprávněně zde ukládaly a o jejich charakteru a množství nejsou žádné zprávy ani dokumentace.

Při požárech dochází k hoření nejen uhelné substance, ale také veškerých organických látek zde se nacházejících a v krajních případech i nelegálně uložených chemikálií.

I v případě, že odval neobsahuje jiné odpady, dochází při termických procesech k aktivaci chemických složek, které jsou součástí hornin a uvolňování buď do ovzduší, nebo jejich splavování vodou s následnou kombinací okolních vodotečí a podzemních vod. Jako nejnebezpečnější se jeví kromě síry rtuť, arzen a další těžké kovy. Nelze zapomínat i na uvolňování aromatických rakovinotvorných uhlovodíků a v některých případech (např. odval Dolu Kateřina v Radvancích v Čechách) i radioaktivní látky.

Největším a nejrozsáhlejším nebezpečím je pak produkce prudce jedovatého CO, který vzniká jako výsledek nedokonalého spalování při nedostatku kyslíku. Zde mohou nastat okamžiky s výskytem smrtelných koncentrací zejména v bezprostřední blízkosti výduchu na hořících odvalech. O tom svědčí i časté nálezy uhynulých drobných živočichů (zajáci, bažanti apod.). Dalším vysoce toxickým plynem je pak sirovodík.

c) Vývin a šíření jemného prachu

Při probíhající termické reakci dochází k vysušování povrchu případně i k jeho prohoření. Tím vzniká jemný prach snadno přemístitelný větrem do velkých vzdáleností od odvalu. Toxické látky se mimo jiné váží i na tento jemný prach.

Dalším nebezpečím při přenosu jemných částí prachu je možnost zvýšené radioaktivity. Některá ložiska černého uhlí doprovázejí horniny s obsahem uranu (VUD). Při termickém procesu je pak vznikající prach kontaminován.

d) Vznik vyhořelých prostor uvnitř odvalu

S hořením organických látek dojde ke zmenšení objemu v daném místě. Obvykle nastává pozvolný pokles povrchu s postupem prohořívání. V některých případech, v místech, kde se při ukládání materiálu nahromadilo větší množství spalitelných látek, dochází po jejich shoření ke vzniku volných prostor – kaveren. Smrtelné nebezpečí hrozí při propadnutí do tohoto prostoru ještě v době, kdy materiál dohořívá a okolní prostředí je rozžhavené. Riziko propadnutí do již vychladlých volných prostor je rovněž vysoké.

e) Vznik povrchového požáru

Při rozvinutém termickém procesu uvnitř odvalu vždy hrozí riziko přechodu na požár povrchový. Staré odvaly jsou vesměs zalesněny s poměrně bohatou vegetací. V některých případech jsou zde postavené různé objekty přímo na odvale nebo v jeho bezprostřední blízkosti. Zapálením vegetace případně povrchových staveb dojde pak ke značným škodám s dlouhotrvajícími následky (nová výsadba vegetace).

K vysoce rizikovým skutečnostem, které je nutno řešit patří zejména:

- Extrémně agresivní prostředí vnitřního prostoru termicky aktivního odvalu.
- Vysoká teplota v ohnisku termálního procesu a její migrace.
- Značně problematická instalace zařízení (pravděpodobně ocelových sond) do prostoru termicky aktivního.
- Technicky obtížný přenos tepla z termicky aktivního prostoru do výměníku.
- Samotné využití získané tepelné energie v místech bez blízké občanské nebo průmyslové zástavby.

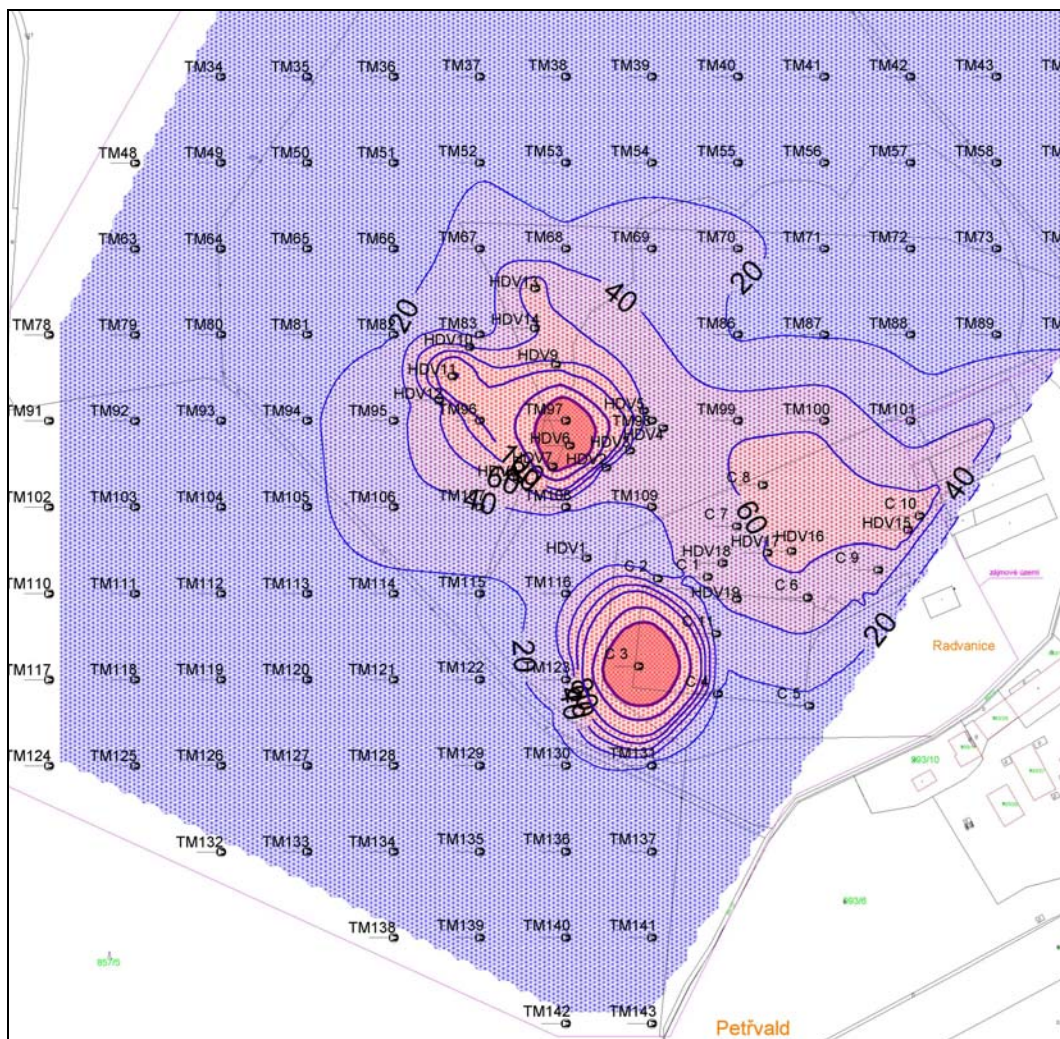
2.3.5 Využití termických procesů – odval Hedvika

První systematické pokusy s jímáním tepla z odvalů byly prováděny v Německu v letech 2006-2010. Na termicky aktivním odvalu v Severním Porýní Westfálsku byly instalovány zkušební sondy pro ověření změn teplotního gradientu při odebrání tepla z ohniska (Kurten et al. 2010). Autoři konstatovali, že pro potenciální využívání tepla z termicky aktivních odvalů je nutno podrobněji stanovit distribuci tepla v tepleném poli odvalu a věnovat se teoretickým aspektům problematiky.

Zatímco zahraniční specialisté se věnovali teoretickému pochopení termických procesů, na odvale Hedvika v areálu firmy Canis Safety a.s. byly provedeny konkrétní kroky k praktickému využití termického procesu, který měl i zajímavý finanční efekt.

Pro poloprovodní jímání tepla byla vybrána oblast v blízkosti ohniska termického procesu východně od haly firmy CANIS Safety a.s. Rozměry oblasti pro jímání jsou cca 150x150 m. V rámci termického monitoringu zde byly naměřeny teploty až 150°C v hloubce 3 m pod terénem a 180°C v hloubce 6 m pod terénem (obrázek 8).

Obrázek 8 Izotermie v hloubce 3 m (stav k 30.9.2012) v oblasti, ze které je poloprovodně jímáno teplo na odvale Hedvika



Dosavadní poloprovozní zkoušky probíhaly ve třech etapách. V první a druhé etapě byla prokázána technická reálnost jímání tepla z prostředí, ve kterém teploty nedosahují 100°C (v prostředí, do kterého byly uloženy jímací nádoby, byla teplota cca 60°C). V poslední etapě (08-10/2012) probíhalo ověření, zda lze jímat teplo i z prostředí o teplotě nad 100°C. Byl vybrán úsek v blízkosti skladovací haly, kde teploty vnitřního prostoru odvalu překračovaly 150°C. Pro vyšší teploty bylo nutno přizpůsobit i technickou stránku zařízení, která musela být konstruována pro tyto vyšší teploty. Zařízení bylo plně funkční, jak prokázala měření v září a říjnu 2012. Na výstupu mělo přenosové medium teplotu v rozmezí 50-60°C, což pro vytápění, resp. temperování větších místností postačuje. Z jímačů instalovaných ve 3.etapě nebylo teplo využíváno k vytápění či ohřevu. Jednalo se pouze o ověřovací provoz.

2.3.6 Technologie jímání tepla

K jímání tepla se zhotovilo speciální zařízení sestávající ze 4 jímacích nádob zaplněných vodou, ve kterých se umístilo potrubí sekundárního rozvodu (obrázek 9). Voda sekundárního rozvodu byla vedena do vytápěcí jednotky "Sahara" MAX typové řady HN umístěné ve skladovací hale společnosti Canis Safety a.s. a zásobníkového ohřívače OKC 300 určeného k přehřívání vody v provozní budově společnosti Canis Safety a.s.

Obrázek 9 Jímací nádoby pro jímání tepla



Cirkulaci vody v sekundárním obvodu zajišťovalo oběhové čerpadlo Wilo Stratos 25/1-8. Součástí technologického zařízení byl průtokový měřič Megatron 2 s tepelnými čidly sledující vstupní a výstupní teploty vody sekundárního rozvodu, dále pak expanzní nádoba vyrovnávající tlakové poměry.

Součástí ověřovacího provozu bylo sledování teplot vnitřního prostředí odvalu. Za tímto účelem byly ve stanovených vzdálenostech od jímacích nádob zaraženy měřicí sondy do hloubky 6m. Tyto sondy se vystrojily snímacími čidly teplot s propojením na vysílací jednotku dálkového přenosu naměřených hodnot. Napájení oběhového čerpadla bylo z běžné sítě.

Z jímacích nádob se voda sekundárního okruhu vedla do sběrného místa, kde bylo umístěno jak oběhové čerpadlo, tak měřič Megatron 2. Rovněž zde byla instalovaná vysílací jednotka dálkového termického monitoringu. Celkový pohled na povrch oblast jímání tepla je na obrázku 10.

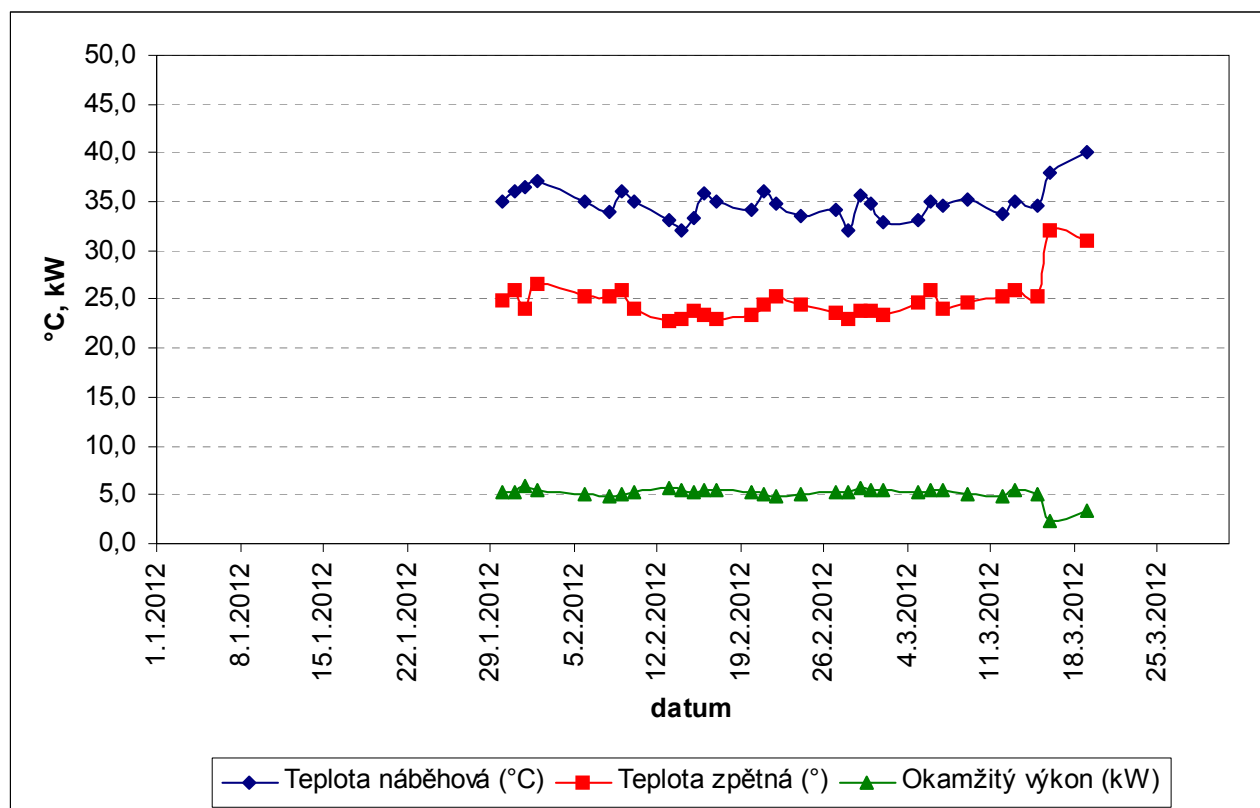
Obrázek 10 Celkový pohled na místo jímání tepelné energie



2.3.7 Výsledky jímání tepla na odvale Hedvika

Po úvodním ověřování možností využití tepla z vnitřního prostoru odvalu Hedvika, které se uskutečnilo v roce 2011, se v roce 2012 přikročilo k širšímu využívání jímání energie k temperování skladovací haly a k ohřevu užitkové vody.

V průběhu období 01-09/2012 byly průběžně sledovány teploty na výstupu z jímacího zařízení, teploty zpětné, jakož i okamžitý výkon nainstalovaného zařízení v kW. Na obrázku 11 jsou uvedeny výsledky za 1.čtvrtletí 2012.

Obrázek 11 Výsledky měření z jímacího okruhu za 1.čtvrtletí 2012


Výsledky měření lze shrnout do následujících bodů:

- Náběhová teplota se průběhu období 01-09/2012 zvyšovala. Bylo to dáno jednak narůstající teplotou vnitřního prostoru odvalu Hedvika v místě jímání, jednak postupným růstem teploty okolí s přechodem do letních měsíců. V letních měsících byly venkovní teploty poměrně vysoké a spotřeba energie poklesla. V letních měsících dosahovala náběhová teploty až 68°C (6.8.2012).
- Byla prokázána možnost ohřevu užitkové vody, kdy při samostatném ohřevu jen z prostoru jímání tepla se dosáhly teploty až 56°C (6.8.2012), přičemž vstupní teplota vody se pohybovala v rozmezí 7-10°C. Celkově bylo po dobu sledování spotřebováno 268 m³ užitkové vody
- Za období od počátku jímání tepla do 31.8.2012 bylo ze zájmového území termicky aktivního odvalu získáno 30 627 kWh tepelné energie. Při ceně 5,568 Kč za 1 kWh došlo k úspoře financí ve výši **170 531 Kč**.

Nutno upozornit, že poloprovozní zařízení bylo konstruováno pouze pro ověření možnosti jímání tepla a nebylo určeno pro komerční využití.

2.3.8 Závěry z poloprovozního jímání tepla na odvale Hedvika

Ověřovací provoz jímání tepla z termicky aktivního odvalu Hedvika přinesl převážně pozitivní výsledky, ke kterým patří:

- Bylo ověřeno, že lze jímát teplo z termicky aktivních odvalů z oblastí o teplotě až 150°C. Pro praktické nasazení bylo využito prostředí odvalu o teplotě 60°C.
- Jímání tepla mělo prokazatelný ekonomický prokazatelný ekonomický přínos pro uživatele vyplývající ze snížení nákladů na teplo a teplou vodu

Pro rozsáhlejší využití tepla z termicky aktivních odvalů bude nutno věnovat pozornost následujícím okruhům otázek:

- jak optimalizovat dodávku tepla od zdroje (termicky aktivního odvalu) k finálnímu uživateli
- jak regulovat termickou aktivitu odvalu při enormním zvýšení teploty v okolním prostředí, které může poškodit jímací technologii
- jak se vypořádat s agresivním prostředím
- jak řešit otázky bezpečnosti při výstupu plynů z okolí termicky aktivní oblasti.

Výzkum jímání tepla na odvale Hedvika bude pokračovat i v následujících třech letech. Tepelný potenciál v daném místě je dostatečný, protože z teoretických předpokladů vyplývá, že odběr v řádech set až tisíc kWh neovlivňuje tepelný potenciál daného prostředí důlní hlušiny (Klika – Kraus - Martinec 2011).

3. ODVAL HEDVIKA

Pro ověřovací provoz a sběr dat pro numerický model šíření tepla, který zpracovává příjemce projektu (VŠB TU Ostrava), včetně kalibrace a kontroly modelu s podmínkami *in situ* (výstup druhé oblasti řešení projektu) byl zvolen odval Hedvika.

Důvody pro výběr úložného místa (odvalu) Hedvika, který je zasažen termickou aktivitou, pro instalaci měřicího systému byly následující:

- Termická aktivita na odvale Hedvika je pracovníky ARCADIS CZ a.s. dlouhodobě sledována a jsou proto k dispozici i archivní údaje o výskytu ohnisek, jejich intenzitě a vývoji.
- Termická aktivita je na odvale Hedvika soustředěna do dvou až tří ohnisek, která nemění svou polohu po více než 10 let. Neměnnost pozice ohniska termického procesu je pro výzkumné účely zásadní, protože odpadají problémy s jeho migrací, která je na většině odvalů a skládek běžná (např. na odvale Heřmanice se ohniska termické aktivity posunula často o více než 100 m za rok).
- Materiálové složení odvalu Hedvika je velmi podobné materiálovému složení jiných odvalů zasažených termickou aktivitou na Ostravsku, a proto lze zjištěné výsledky zobecnit.
- Odval Hedvika je ze všech termicky aktivních odvalů nejpřístupnější, je zde přípojka elektrické energie pro napájení přenosových stanic a část odvalu, na kterém byla prováděna měření v areálu společnosti Canis Safety a.s., je kontrolována kamerovým systémem. To snižuje riziko poškození monitorovacího systému vandaly a hledači kovů, které je na většině odvalů a skládek velmi vysoké.

3.1 Charakteristika odvalu Hedvika

Odval Hedvika je úložným místem materiálu vzniklého při těžbě černého uhlí. Vznikl v prvním desetiletí minulého století. Vznikl na místě dvou údolí, která byla postupně zasypávána. Informace o rozsahu a kubatuře uložených důlních hlušiny jsou uvedeny v následujících kapitolách. Co se týče objemu jedná se o nejisté číslo, jelikož záznamy o ukládání těžebních odpadů se nezachovaly.

3.1.1 Historie vzniku a provozu odvalu Hedvika

Přesné datum založení odvalu Hedvika není známo. Předpokládá se, že zde byla navážena odvalová hornina již od roku 1903, původem z hloubení a otvírkových důlních děl. Nejstarší části se nacházejí v okolí areálu bývalého důlního závodu. Se vzrůstajícím objemem těžby se odval rozšiřoval severozápadním směrem k zástavbě obce Michálkovice. Transport hlušiny na odval byl prováděn důlními vozíky.

Rok 1947

V roce 1947 je odvalování směřováno především směrem na sever a západ od areálu Dolu Hedvika. Směrem na sever se postupně svah odvalu přibližuje k Jámě Hedvika 2 – Výdušná. Hlavní trasy transportu jsou v té době: jedna severozápadním směrem a jedna podél areálu severovýchodním směrem, který se pak stáčí směrem k severu.

Rok 1949

Odval se rozšiřuje ve střední části severozápadně přesně v ose morfologické deprese. Trasy i způsob transportu jsou shodné s předchozím obdobím. Výška odvalu v těchto místech dosahovala úrovně +270 m n.m.

Rok 1957

První požár uložené hlušiny v severní části odvalu. Dle ústní informace byl likvidován na místě přemístěním materiálu a hašením.

Rok 1961

V roce 1961 pokračuje odvalování generelně k západu a k severozápadu ve směru geomorfologické deprese. Tímto směrem je hlušinový materiál dopravován důlními vozy. Směrem na sever k areálu jámy Hedvika 2 – Výdušná byla hlušina v té době transportovaná nákladními vozy a odval se rozšířil až za jámu Hedvika 2 – Výdušná.

Rok 1964

Dynamika odvalování v období mezi roky 1961 a 1964 se stupňovala. Směrem na sever je obnoveno odvalování z důlních vozů a pokračuje i transport nákladními vozy. Odval se rozšiřuje směrem k silnici Michálkovice – Petřvald. Směrem na severozápad pokračuje odvalování z důlních vozů a odval půdorysně dosahuje k rybníčkům v Michálkovicích. Směrem na západ od Dolu Hedvika (za fotbalovým hřištěm) je vymýcená další část Velkého lesa a odval se rozšiřuje i tímto směrem.

Rok 1966

Mezi roky 1964 a 1966 se odval rozšiřuje všemi směry. Na severu se nachází za jámou Hedvika 2 – Výdušná, východním směrem se rozšířil těsně k silnici Michálkovice – Petřvald a velmi rychle se rozrůstá na západ od Dolu Hedvika (za fotbalovým hřištěm). Transport do této části je veden důlními vozy jižně od hřiště. Transport důlními vozy do ostatních částí rozšiřujícího se odvalu je veden severovýchodním směrem v ose morfologické deprese a v centru odvalu se větví do různých směrů podle místa odvalování.

Rok 1971

Mezi roky 1966 a 1971 byly provedeny rozsáhlé rekultivační práce. Severovýchodní hrana odvalu byla zarovnána do dnešní podoby rovnoběžně se silnicí Michálkovice – Petřvald, stejně tak jižní část odvalu za fotbalovým hřištěm. Poslední činnost na odvalu v roce 1971 probíhala v jeho severozápadní části. Jednalo se o další odtěžování a hašení hořící části odvalu a následné dorovnání do finálního tvaru.

3.1.2 Technické parametry odvalu Hedvika

Technické parametry odvalu Hedvika jsou následující:

Objem odvalu:	4,2 mil. m ³
Rozloha:	32 ha
Doba provozu:	počátek 20. stol. – 1998
Technologie dopravy:	důlní vozíky
Technologie ukládání:	postupné odvalování do údolního systému
Průměrná sypná výška:	15 m
Maximální sypná výška:	40 m

V současnosti jsou parcely 866/1, 865/1., 863/2, 871/1, 868, 867/1 v majetku DIAMO s.p., parcely 857/5, 864/1, 863/1, 862/1, 861, 865/2, 865/3 v majetku Lesů České republiky, parcela 859/1 v majetku Statutárního města Ostrava, parcela 6388 v majetku RPG RE Land s.r.o. a parcela 1034/1 bez vlastníka.

3.1.3 Geologické poměry

Území, ve kterém se nachází důlní odval Hedvika, se řadí k vnější části Západních Karpat, náležící k ostravské glacigenní pánvi v soustavě vněkarpatských sníženin. Původní reliéf je dosti zvlněný, zejména v okolí lokality, což bylo využito pro ukládání těžebního odpadu. Současný reliéf je výsledkem terénních úprav a rekultivačních prací. Nadmořské výšky povrchu odvalu jsou cca 280 - 285 m n. m.

Geologickou skladbu od stropu karbonu denudovaného do úrovně porubských vrstev tvoří miocenní jíly, dosahující do hloubky max. 200 m. Jíly jsou uloženy na stropu zvětralého karbonského masívu. Na ně nasedají málo mocné glaciáluviální šedé štěrky o mocnosti do 1 m. Směrem k severu mocnost této vrstvy narůstá. Na ně nasedají žluté glaciakustrinní písky sálského zalednění a jílovitopísčité, žlutohnědé souvkové hlíny sálského zalednění. Tyto tvoří formaci mocnou až 25 m. Sprašové hlíny wurmského stáří, které tvoří obvykle nejsvrchnější část geologického pokryvu v širším okolí byly v průběhu rekultivačních prací sneseny.

Navážky (těžební odpad) mají velmi proměnlivou mocnost v závislosti na původní vertikální členitosti povrchu. Průměrné mocnosti sypaných hmot jsou 15 m, místy v ose původního údolí dosahují mocnosti až 40 m. Navážky jsou tvořeny karbonskými horninami – pískovci, prachovci a jílovci, nezpevněnými, s příměsí uhelné hmoty. Z hlediska zrnitosti převládají drobnější frakce.

Na odvalu jsou uloženy horniny a uhlí z uhelných slojí porubských a jakloveckých vrstev ostravského souvrství. Na odval byly ukládány hlušiny z těžby, horniny z ražeb přípravných a otvirkových důlních děl. S ohledem na technologii těžby a úpravy uhlí od dvacátých let do padesátých let minulého století je v hlušínách vysoký podíl jak volného uhlí, tak aleuropelitů (prachovců až jílovců) s vysokým obsahem uhelné hmoty. Tehdejší způsob úpravy se uskutečňoval pouze ručním vybíráním uhlí z hlušiny na důlním podniku. I když docházelo k dalšímu vybírání drobných kusů uhlí lidmi na odvale, vysoké množství zejména prachové uhelné substance, dispergovaná uhelná hmota v horninách a uhelné laminy v jílovcích zůstávaly hlušínách. Místně se tak může jednat až o 50 % spalitelných látek.

Petrografického složení hlušiny je velmi variabilní v závislosti na dobové technologii a zdrojích ukládaného materiálu. Horniny pocházejí z porubských a jakloveckých vrstev ostravského souvrství. Jílovce až prachovce z porubských vrstev charakterizuje přítomnost kaolinitu spolu s illitem a chloritem (viz Dopita et al. 1997: 85, obr. 35), z karbonátů je to Fe-dolomit až

ankerit (blíže viz Dopita et al. 1997) a dále pyrit. Pískovce jsou bohaté na křemen a stabilní úlomky hornin, draselné živce, slídy a ve tmelu se objevuje dolomit a pyrit (podrobněji viz Dopita et al. 1997).

Jílovce až prachovce z jakloveckých vrstev charakterizuje téměř vymizení kaolinitu a dominují především illit a chlorit (viz Dopita et al.). V jakloveckých vrstvách jsou již patrné již změny ve složení jílové hmoty. Z karbonátů zůstává přítomen Fe-dolomit až ankerit (blíže viz Dopita et al. 1997) a dále pyrit. Pískovce jsou bohaté na křemen a stabilní úlomky hornin, draselné živce, slídy a ve tmelu se objevuje dolomit a pyrit (podrobněji viz Dopita et al. 1997); horniny jsou podobné složením horninám porubských vrstev s nárůstem podílu illitu a chloritu. Průměrné složení hlušin na odvalu Hedvika je 18% pískovců, 50% prachovců a 32% jílovců tj. po sloučení aleuropelitů 18% pískovců a 82% aleuropelitů (jílovců až prachovců) bez rozlišení stratigrafické příslušnosti.

Geologické poměry v zájmové oblasti vystihují popisy vrtů pro instalaci jímacích nádob pro využití termické aktivity k ohřevu vody v areálu společnosti Canis Safety a.s. (příloha 4).

3.1.4 Odběr vzorků a výsledky laboratorních zkoušek

V rámci průzkumu a monitoringu termických procesů na odvalu Hedvika, který byl proveden v letech 2003 až 2006 (Stoniš 2006), byly odebrány vzorky odvalené hlušiny, z nichž byl stanoven obsah spalitelných látek a veškeré síry ve více hloubkových úrovních pod povrchem. Výsledky rozborů jsou uvedeny v tabulce 1.

Pomineme-li analýzy vzorků již termicky přeměněných hornin, pohybují se obsahy spalitelných látek v rozmezí od 11,75 % do 20,68 % a obsah veškeré síry od 0,06 % do 0,23%. Průměrný obsah spalitelných látek v hloubkové úrovni do 5 m pod povrchem činil 16,77 %, v hloubkové úrovni 5-10 m pod povrchem 15,22 %, v hloubkové úrovni 10-15 m pod povrchem 15,73 % a v hloubkové úrovni 15-19 m pod povrchem 15,8 %. Je zřejmé, že v termicky nepřeměněných horninách je podíl spalitelných látek rozprostřen vertikálně bez výrazných změn.

Pro průzkum a monitoring termických procesů byly v prostoru odvalu zřízeny termometrické vrty v síti 50 x 50 m. Tato síť byla rozšířena i do podnikatelského areálu. V rámci všech etap termického průzkumu bylo provedeno opakovaně měření podpovrchových teplot v kopaných sondách a provedeno letecké termovizní snímání.

Tabulka 1 Přehled výsledků stanovení obsahu spalitelných látek a síry ve vzorcích odebraných z uložené hlušiny na odvale Hedvika (Stoniš 2006)

vrt	hloubka [bm vrtu]	obsah spalitelných látek [%]	obsah celkové síry [%]	aritmetický průměr (v termicky nepostižené hornině)	
				obsah spalitelných látek [%]	obsah síry [%]
TM 7	1.	11,75	0,06	16,77	0,13
TM 44	1.	20,68	0,15		
TM 68	1.	4,68	0,30		
TM 92	4.	3,55	0,17		
TM 129	3	17,87	0,17		
TM 7	5.	12,07	0,10	15,12	0,18
TM 44	5.	17,18	0,23		
TM 68	5.	3,97	0,33		
TM 92	8.	2,06	0,19		
TM 129	8.	16,12	0,21		
TM 7	10.	14,58	0,13	15,73	0,16
TM 44	10.	16,64	0,19		
TM 92	12.	1,84	0,04		
TM 129	12.	15,98	0,15		
TM 7	15.	13,12	0,19		
TM 44	14.	18,48	0,21	15,8	0,2
TM 92	16.	1,74	0,05		
TM 7	19.	14,96	0,12		
				14,96	0,12

TM 68 – úsek vrtu postižený tepelnou přeměnou

Z vrtů u skladovacích hal společnosti Canis Safety a.s. byly odebrány vzorky pro mineralogické a chemické analýzy. Soubor sestává z dvou typů vzorků – kusových vzorků pro identifikaci nevypálených a vypálených hornin a přípravy homogenizovaného vzorku nevypálené hlušiny a vzorky připravené z kusových vzorků hornin, kde je znám hmotnostní poměr základních petrografických typů hornin v uměle připraveném směsném vzorku pro analýzy použité jako vstup pro numerické modelování. Laboratorní zkoušky provedla laboratoř Ústavu Geoniky ČAV v.v.i. v Ostravě.

Tabulka 2 Lokalizace, označení vzorků, makroskopický popis a hmotnostní podíl horninových typů v hlušinách

Analytické číslo ÚGN	Odval	Materiál
ODVAL HEDVIKA		
12679	Hedvika 1	nevyhořelá hlušina, uhlí naoxidované jílovce šedé, prorostlé uhlím
12679A	Hedvika 1	homogenizovaný vzorek hlušiny
12680	Hedvika 2	vyhořelá hlušina separované A-pískovce, B- (prachovité jílovce + jílovce), C pelosiderity
12681	Hedvika 3	vyhořelá hlušina A-pískovce, B – (prachovité jílovce až jílovce)
12682	Hedvika 4	nevyhořelá hlušina kusovina
12682A	Hedvika 4	šedý nevypálený jílovec
12680A	Hedvika 2	pískovce šedé separované
HOMOGENIZOVANÝ VZOREK HLUŠINY		
12679A	Hedvika 1	homogenizovaný vzorek hlušiny
SMĚSI HORNIN PRO MODELOVÁNÍ		
12679+12680+12682	H1/1	(Jílovec + prachovitý jílovec + prachovec) (%) pískovec (%)
	H1/2	(Jílovec + prachovitý jílovec + prachovec) (%) pískovec (%)
	H1/3	(Jílovec + prachovitý jílovec + prachovec) (%) pískovec (%)
	H1/4	(Jílovec + prachovitý jílovec + prachovec) (%) pískovec (%)
	H1/5	(Jílovec + prachovitý jílovec + prachovec) (%) pískovec (%)

Výsledky zkoušek RTG práškové difrakce

Vzorky pro tuto analýzu byly rozděleny tak, aby byly analyzovány vybrané horninové typy (pískovce, prachovce a jílovce). Cílem bylo určení mineralogického složení jak tepelně neovlivněných hornin, tak vybraných vzorků vypálených hornin na odvalech. Vzorky pro analýzu byly rozetřeny na analytickou jemnost. Měření bylo provedeno na RTG-difraktometru Phillips v laboratoři CNT (analytik: Ing. Vlastimil Matějka, Ph.D.). Metoda je vhodná pro krystalické látky – minerály, s koncentrací ve směsích nad cca 5-10%. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Výsledky zkoušek RTG práškové difrakce vzorků uhelné hlušiny z odvalu Hedvika

Anal.č. ÚGN	Hornina	Q	Ort	Ab-An	Mu	Kao	Ill	Chl Fe-Mg	Do	Py
12679A	homogenizovaná hlušina	++	+		++	+	++	+	+	
12680A	střednězrnný. pískovec	+++	++	+	+					
12692A	šedý jílovec s laminami uhlí	+			++		++	+		

Vysvětlivky: Q - křemen, Ort – ortoklas, Ab-An – kyselé plagioklasy, Mu – muskovit, Kao-kaolinit, ill – illit, Do – dolomit, py - pyrit

Infračervená spektroskopie

Analýza vzorků hornin a hlušin z odvalu Hedvika byla provedena metodou infračervené spektroskopie s Furieovou transformací (FTIR). Přístroj NICOLET ATAVAR 2000, technika tabletovací, cca 2 mg vzorku rozetřeného na zrnitost pod 0,4 μm bylo homogenizováno v KBr a vylisováno ve vakuu do tablety (laboratorní práce: Renáta Papcúnová. ÚGN AV ČR, v.v.i.). FTIR je vhodná pro rychlou a spolehlivou analýzu jílových minerálů, karbonátů a křemene, problematické bývá stanovení chloritu a při malém množství i identifikace živců.

Z prohlídky rozlomených jednotlivých kusů hornin odebraných z oblasti ovlivněné hořením odvalu v oblasti teplot cca 400 - 800°C je patrné, že na lomu je výrazná barevná zonalita, povrch hornin je hnědočervený a jádro je šedé. V šedém jádru se zachovávají jednak uhlíkaté částice (redukční nebo semiredukční prostředí) nebo tam, kde je dostatek pyritu nebo sideritu vzniká magnetický maghemit. Mocnost kůry oxidačního vlivu (tvorba hematitu) je u vzorků jílovců z lokality cca 10 mm, u prachovců a pískovců až 20-25 mm. Minerální složení povrchu i jádra horninových vzorků se u kusů do velikosti cca 25 cm nemění a dokazuje intenzivní tepelnou transformaci minerálů v hornině.

Intenzivní transformace jílovců proběhne až nad teplotou cca 940-980°C, kdy vzniká nová mullit-spineloidní fáze spolu se zbytky metaslíd, zbytky uhlíkatých látek jsou vypáleny a také případný maghemit je přeměněn na hematit.

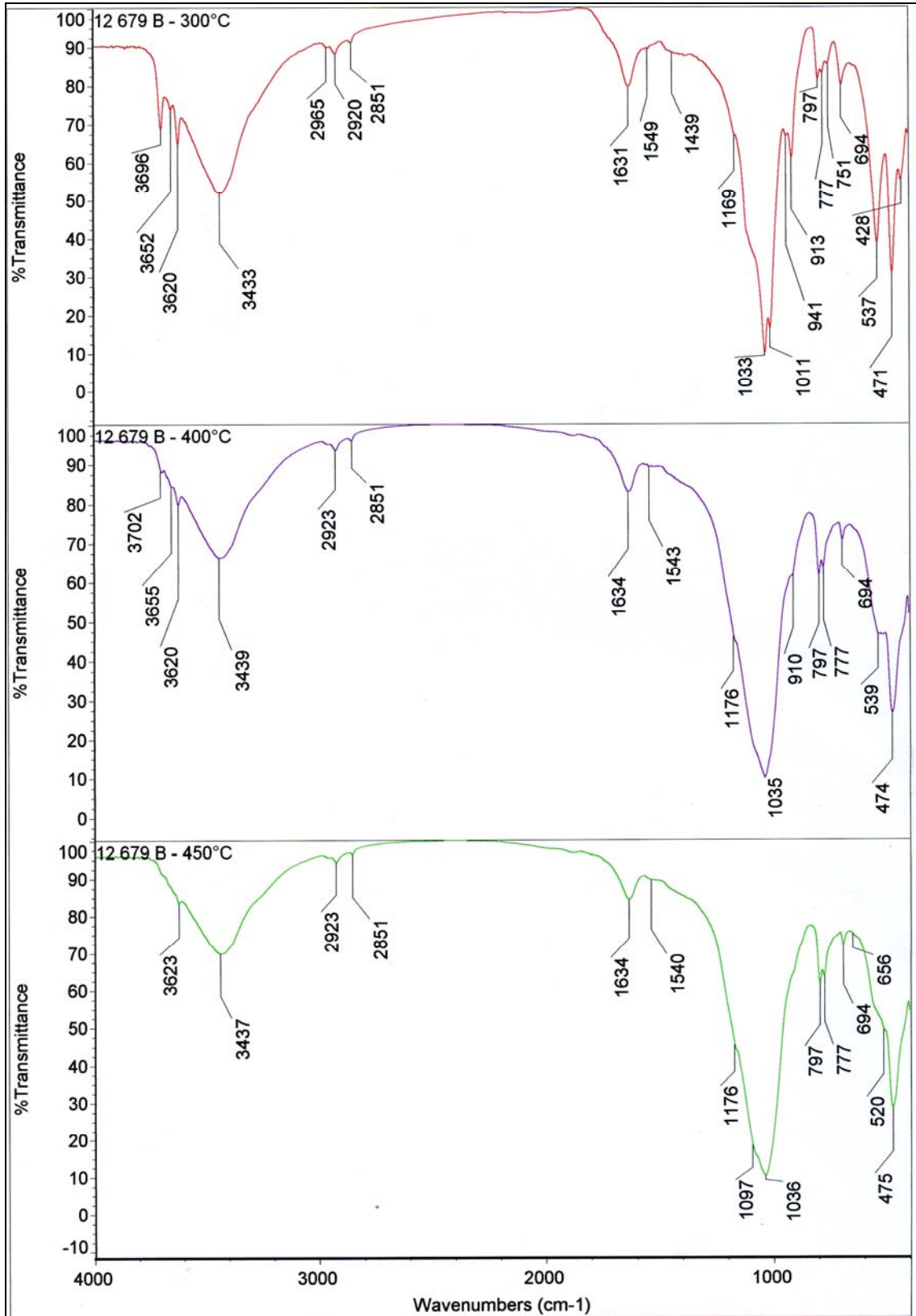
Interpretace minerálního složení vzorků homogenizované hlušiny anal. č. 12679B(A) z odvalu Hedvika ze spekter FTIR je uvedena v tabulce 4.

Tabulka 4 Interpretace minerálního složení vzorků homogenizované hlušiny anal. č. 12679B(A) z odvalu Hedvika ze spekter FTIR

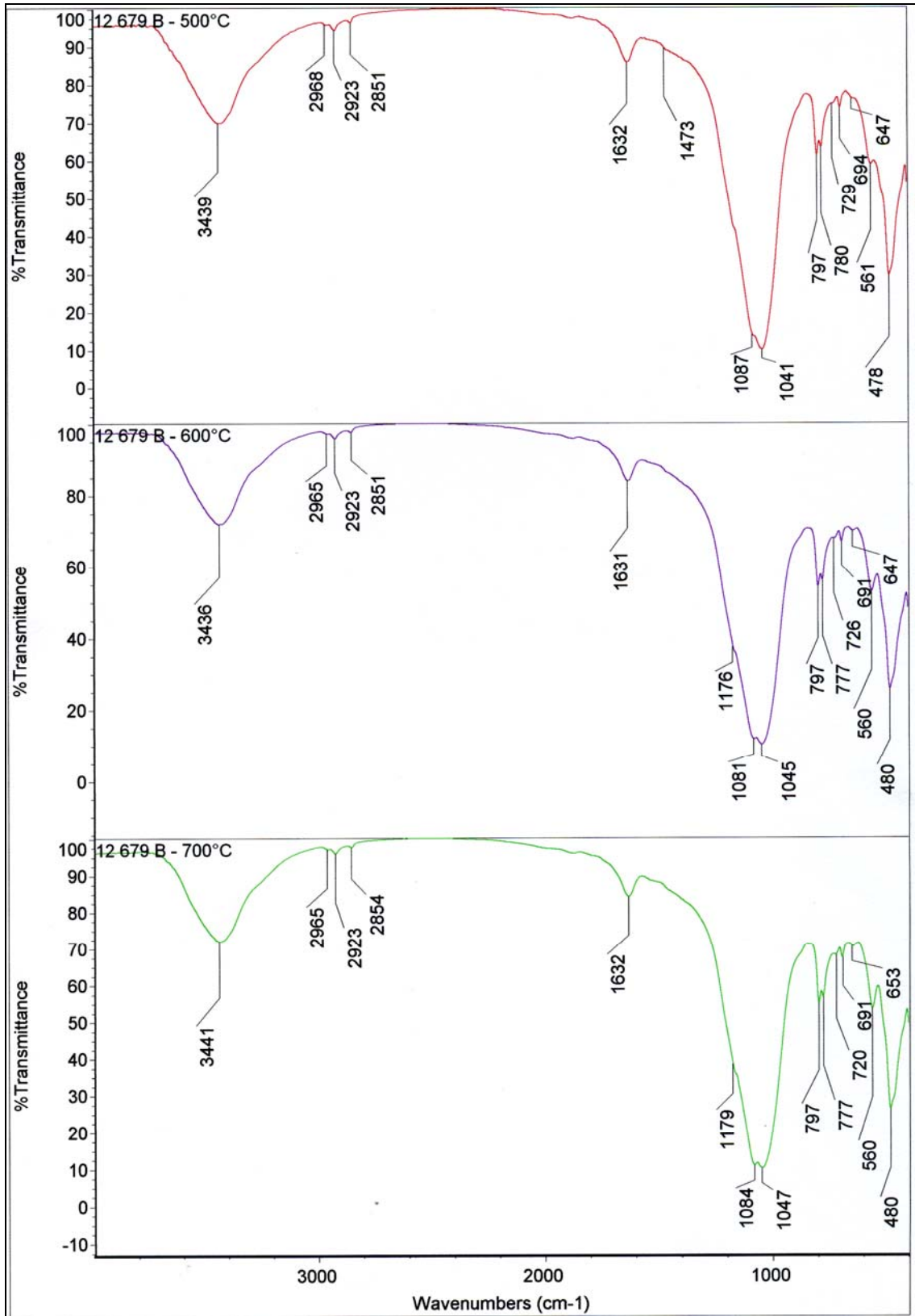
Teplota° [°C]	Q	Fsp	Mu-ill	Kao	Karb	MtKaol /Mtmu	Ztráta žíháním [%]
20	++		+++	++	?		0
300	++		+++	+	?		10,02
400	++		+++	+	?		25,74
450	++		++	?	?	+	26,9
500	++					++	27,31
600	++					+++	27,84
700	++					+++	28,04
800	++					+++	28,4
900	++					+++	28,5
1000	++					+++	28,5

Vysvětlivky: Q - křemen, Fsp-živce,, Mu – muskovit, Kao - kaolinit, ill – illit, Karb - karbonáty, Do – dolomit, Mu-sp - mullit-spinel, MtKaol - metakolinit, MetaMu - metaslidy
Semikvantitativní odhad podílu: +++ - vysoký, ++ - střední, +- nízký, ? - problematické

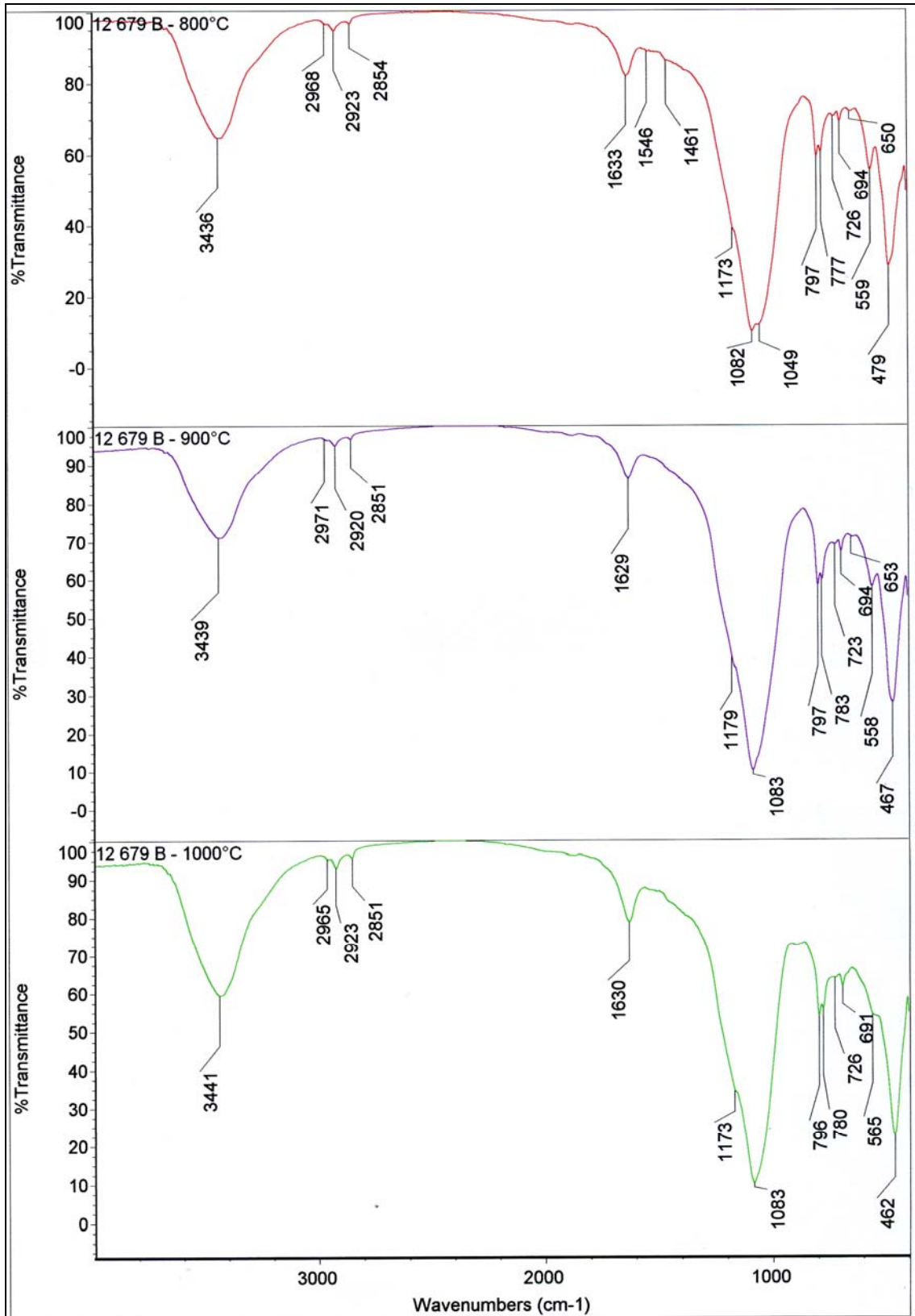
Obrázek 12 Infračervená spektra temperovaných vzorků z odvalu Hedvika, anal. č. 12679A, B - vzorky s temperací 300 - 400 - 450°C



Obrázek 13 Infračervená spektra temperovaných vzorků z odvalu Hedvika, anal. č. 12679A, B - vzorky s temperací 500 - 600 -700°C



Obrázek 14 Infračervená spektra temperovaných vzorků z odvalu Hedvika, anal. č. 12679A, B - vzorky s temperací 800 - 900 -1000°C



Termická a termogravimetrická analýza homogenizovaných vzorků hlušín

Pro posouzení termických změn v homogenizované hlušíně (podrcením a kvartací získaného hrubě podrceného vzorku), která obsahuje mimo termoaktivní minerály uhlí i dispergovanou uhelnou hmotu ve vzorku z odvalu Hedvika (anal. č. 12679) byla provedena termická a termogravimetrická analýza a stanovena ztráta žíháním za statického ohřevu v oxidační atmosféře.

Termická a termogravimetrická analýza byla provedena s rychlostí zahřívání 10°C/min v oxidační vzduchové atmosféře (přístroj SetSys 12 SETARAM, analytik Ing. Eva Plevová, Ph.D.) s cílem identifikovat termoaktivní minerály ve vzorku. Záznam křivky DTA jako výsledného záznamu reakcí, dobře ilustruje exotermní reakci spojenou s vyhořením uhelné hmoty a endotermní reakce s provázející transformací minerálů nebo tvorbu nových fází (nad 930°C - 960°C). Metoda je vhodná pro určení oxidačních vlastností uhlí (viz např. Ivanova et al. 1974).

Z příkladů záznamů průběhu křivek DTA/TG, TG a DTG je evidentní, že v homogenizovaných hlušínách probíhá jako hlavní reakce vyhoření jak volného uhlí, tak dispergované uhelné hmoty v intervalu cca 400-475°C – 540-620°C, které se překrývá s endotermní reakcí spojenou s dehydroxylací jílové hmoty, oxidací pyritu a transformací α - β křemene. Ty jsou na křivkách TG a DTG překryty a nejsou na křivce DTA/TG zřetelné.

Velmi důležité je vymezení počátku tvorby mullit-spineloidní fáze, která začíná u obou vzorků s blízkým chemickým a mineralogickým složením (viz kap. 2.2) kolem teploty 930-960°C (počátek závisí na chemickém složení, především na podílu alkálií a přítomného Fe, SiO₂ a Al₂O₃).

Tabulka 5 Výsledky DTA/TG analýzy homogenizované hlušiny z odvalu Hedvika anal. č. 12679B (vz. Hedvika 1)

Reakce	počátek [°C]	vrchol [°C]	konec [°C]	Interpretace
DTA – exotermní a endotermní reakce				
exotermní	400	450	540	Výsledná exotermní reakce (exotermní pík na DTA) je plochou úměrný uvolněnému teplu z vyhoření uhelné hmoty – teplo spotřebované na endotermní reakce spojené např. s dehydroxylací jílu a slíd a i transformací α - β křemene.
endo-exotermní	540		930	Výsledná křivka DTA indikuje plynulé dohoření uhlíkatých látek, dehydroxylaci karbonátů - je zvlněná a nelze určit jednotlivé reakce.
endotermní	930		1200	Tato reakce probíhá jako exotermní a je spojena s tvorbou spineloidní fáze a mullitu.
Změny hmotnosti				
Reakce	Počátek [°C]	Konec [°C]	Úbytek hmotnosti (%)	Interpretace
TG1	20	200	- 3,8	Vlhkostní změny, změny na uhlí

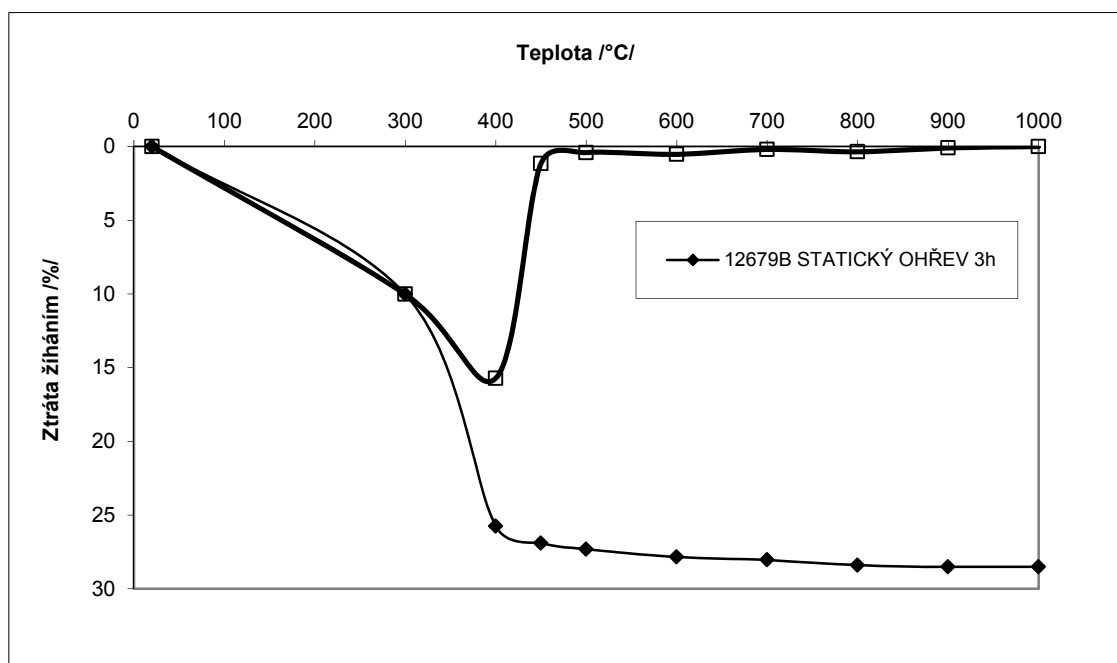
TG2	200	540	- 26,9	Postupná oxidace až vyhoření, karbonizace uhlí + disociace jílové hmoty - oxidace pyritu.
TG3	540	1200	-3,4	Dohoření karbonizovaných zbytků uhlí, disociace karbonátů a doběh dehydroxylace slíd a jílové hmoty.
Celkem	20	1200	- 34,2	

Statická oxidační dekompozice vzorků homogenizovaných hlušín

Byla stanovena ztráta žiháním při statickém ohřevu v oxidační atmosféře s dobou zahřátí vzorků 180 minut při příslušné teplotě v intervalu 300-1000°C s krokem po 100°C (ztráta žiháním v intervalu 100-200°C nebyla z technických důvodů provedena). Výsledek rozboru je spolu s identifikací mineralogických změn pro homogenizovaný vzorek hlušiny anal. č. 12 679A z odvalu Hedvika je uveden na obrázku 15.

Průběh hmotnostních změn pro homogenizovanou hlušinu z odvalu Hedvika (obr. 15) ukazuje na velký vliv působení teploty na průběh reakcí. Oproti rychlosti 10°C/min při analýze DTA/TG je rychlost zahřívání 0.55°C/min ve statickém experimentu proběhne hoření uhlí a uhelné hmoty při nižší teplotě a maskuje ostatní reakce.

Obrázek 16 Statický ohřev homogenizovaného vzorku hlušiny z odvalu Hedvika (anal. č. 12679B). Průměrné hodnoty ze vzorku 1 a 2. Silná linie: průběh změny hmotnosti jako ztráta žiháním, tenká linie: intervalové rozdíly v úbytku hmotnosti.



Tabulka 6 Ztráta žiháním při statickém ohřevu homogenizované hlušiny z odvalu Hedvika (anal.č. 12679A, průměr ze dvou měření (dílní vzorek 1 a 2))

Teplota [°C]	12679A Hedvika	
	ztráta žiháním [%]	
	kumulativní	diference
20	0,00	0,00
300	10,02	10,02
400	25,74	15,72
450	26,90	1,16
500	27,31	0,41
600	27,84	0,53
700	28,04	0,20
800	28,40	0,36
900	28,50	0,10
1000	28,50	,00

Co je příčinou tohoto posunu z hlediska vlastností uhelné hmoty? Nesporně se na průběhu hoření projeví mikropetrografický charakter uhelné hmoty v laminách v jílovcích a charakter dispergované uhelné hmoty v horninách (kap. 2.7) který je v obou pánvích i při podobném stupni prouhelnění odlišný a navíc při pozitivním huminovém testu se musí uvážit i vliv předchozí nízkoteplotní oxidace uhelné hmoty a uhlí na odvalu. Odpovídá to i změnám v prouhelnění, odraznosti i v elementárním složení v uhlí, které popsali Kurková et al. (2003). Dále se potvrzují analytické problémy se stanovením jak volné uhelné hmoty ("uhlí"), tak dispergované uhelné hmoty v horninách v hlušínách, jak na to upozornil Kresta (2003).

Chemické analýzy hornin z odvalu Hedvika

Chemické složení hornin je dané obsahem horninotvorných oxidů. Na rozdíl od mikropetrografického složení hornin, kde mimo minerály jsou součástí horninového složení i horninové úlomky (jako zrna stabilních a nestabilních úlomků s různým petrografickým obsahem) je tedy chemická analýza jednoznačnější. Je pak vhodná i pro výpočet minerálního složení horniny („celkového“, nestanovující ve výpočtu horninové úlomky jako samostatnou složku) metodou CQPA (Klika et al. 2010). Aby toto bylo možné, vyžaduje tento výpočetní postup, aby analýza byla provedena jako stanovení majoritních oxidů a současně byla stanovena ztráta žiháním, obsah CO_2 , S^{2-} , SO_3 , H_2O^+ .

Ze srovnání obou tabulek je evidentní rozdíl především v obsahu SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , které je zapříčiněno lokálním vyšším podílem pískovců a živců bohatých křemene v místě odběru vzorků z odvalu. Ukazuje to na důležitost analýzy konkrétního posuzovaného odvalu.

Tabulka 7 Chemické analýzy horninových směsí z odvalu Hedvika 12679A s různým podílem jílovců a prachovců ku pískovcům Metoda: RTG-fluorescence

Hlušina		1/1	2/1	3/1	4/1	5/1
Materiál		hlušina	hlušina	hlušina	hlušina	hlušina
poměr: jílovců a prachovců /pískovců		0,95/0,05	0,7/0,3	0,63/0,37	0,1/0,9	0,2/0,8
Oxidy						
1	SiO₂	55,20	61,40	63,0	76,20	74,2
2	TiO₂	0,29	0,26	0,21	0,10	0,10
3	Al₂O₃	22,70	18,9	17,9	10,80	12,33
4	Fe₂O₃	0,75	0,50	0,49	0,23	0,31
5	FeO	5,50	4,65	4,76	2,95	3,41
6	MgO	3,73	2,90	3,05	1,83	1,55
7	CaO	0,82	0,80	0,94	0,72	0,65
8	Na₂O	0,91	0,95	0,83	0,71	0,88
9	K₂O	4,50	4,40	4,36	3,15	3,31
10	H₂O+	4,30	3,80	3,87	2,05	1,86
11	S²⁻	0,80	0,40	0,45	0,03	0,14
12	SO³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	CO²	1,20	1,50	1,35	1,10	1,05
14	P₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	SUMA	100,7	100,46	101,21	99,87	99,79

Petrografická analýza hornin z odvalu Hedvika

Základní informace o druhu a složení (sedimentárních) hornin nelze získat jen z jedné analytické metody. Musíme kombinovat podle zrnitosti sedimentů optickou mikroskopii v procházejícím a napadajícím světle s mineralogickými metodami (FTIR, DTA/TG, RTGD) a chemickou analýzou. Pro aplikaci metody přepočtu chemické analýzy CQPA (Klika et al. 2010) poskytují tyto metody především semikvantitativní zastoupení minerálů a upřesňují nebo přímo udávají vhodný krystalochemický model daného minerálu.

Minerální asociace v horninách odvalu Hedvika je uvedena v tabulce 8, dispergovaná uhelná hmota a uhlí v hlušinách pak v tabulce 9.

Tabulka 8 Základní asociace horninotvorných minerálů a složek v horninách z odvalu Hedvika

	pískovce	prachovce s pelosiderity	prachovce	jílovce
křemen	++++	++	++	+
ortoklas, mikroklin	++	++	+	
plagioklas kyselý	++	+	+	
muskovit	+	++	++	++
biotit	+	+		
chlorit		+	+	++
illit	+	++	++	++
kaolinit			+	+
dolomit, Fe-dolomit, ankerit	+			
siderit - ankerit		+	+	+
pyrit	+	+	+	+
nestabilní úlomky (křemen-živcové agregáty, ruly, sedimenty)	++	+	+	
stabilní úlomky hornin (kvarcity, křemenné fylity)	++	+	+	
jemnozrnná dispergovaná uhelná hmota	+	++	++	+++
zuhlňatělé části rostlin	+	++	++	++
laminy až polohy lesklé uhelné hmoty			++	++

Vysvětlivky: relativní zastoupení: +++ vysoké (desítky %), ++ střední (desítky %), ++ nízké (do desítky %), + velmi nízké (jednotky %)

Jaké formy uhelné hmoty v jílovcích z odvalu Hedvika byly nalezeny ve vzorcích je uvedeno v tabulce 9 a základní formy uhelné hmoty jsou uvedeny na obrázku 16.

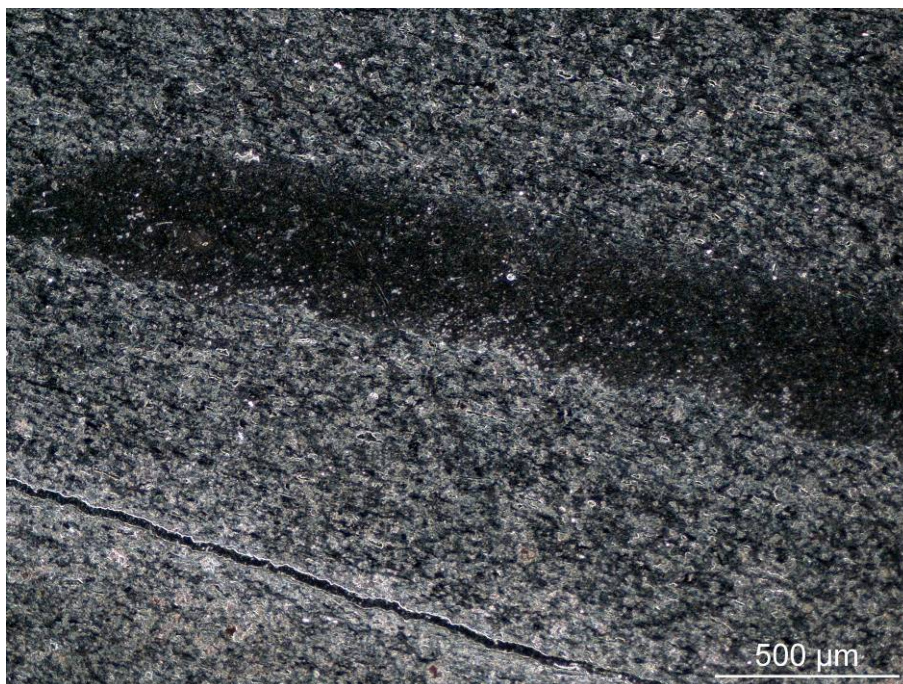
Tabulka 9 Formy uhelné hmoty v horninách z hlušín ze vzorků odebraných z odvalu Hedvika

Analytické číslo ÚGN	Odval	Materiál
	uhelná hmota	materiál
12679	uhlí prach i kusové Jílovce: laminy lesklého uhlí a dispergovaná jemnozrnná uhelná hmota	nevyhořelá hlušina, uhlí naoxidované, jílovce šedé, často prorostlé uhlím
12679A	uhelný prach, prach z jílovců a prachovců a pískovců obsahující dispergovanou uhelnou hmotu	homogenizovaný vzorek hlušiny
12680	bez uhelné hmoty nebo zbytky karbonizovaného uhlí	vyhořelá hlušina separované: A - pí, B - (prjí), C pelosiderit
12681	bez uhelné hmoty nebo zbytky karbonizovaného uhlí	vyhořelá hlušina: separováno A - pí, B - (prjí a jí)
12682	uhlí prach i kusové jílovce: laminy lesklého uhlí a dispergovaná jemnozrnná uhelná hmota	nevyhořelá hlušina kusovina
12680a	pískovce: prouhelněné zbytky rostlin a dispergovaná jemnozrnná uhelná hmota	pískovce šedé separované
12692a	jílovce: laminy lesklého uhlí a dispergovaná jemnozrnná uhelná hmota	šedý nevypálený jílovec

Souhrn

Zásadním problémem, je stanovení podílu uhelné hmoty jako dispergované uhelné hmoty v horninách (především v jílovcích a prachovcích). V případě hlušín se této problematice věnoval Kresta (2003). Za zmínku stojí, že hodnota ztráty hmotnosti po vypálení hlušín po požáru odvozená z průměrné hodnoty objemové hmotnosti nevypálených hlušín pro hlušiny z OKR, která je $1660 \pm 10\% \text{ kg.m}^3$ se po výpalu sníží na hodnotu $1330 \pm 10\% \text{ kg.m}^3$, znamená to, že obsah spalitelných látek a reakčních produktů je cca 17 - 25% (Nešvara 1992).

- Obázek 16** Šedý jílovec bohatý jemnozrnnou dispergovanou uhelnou hmotou, kolem trhliny oxidačně vybělený. Ve střední části snímku je jílovec s nahloučenou jemnozrnnou uhelnou hmotou (uhelný jílovec). Šedý jílovec z odvalu Hedvika, anal. č. 12 682a. Optická mikroskopie v odraženém světle, nábrus. Bez olejové imerze. Měřítka na snímku. Foto J. Ščučka.



3.1.5 Numerické modelování termických procesů na odvale Hedvika

Cílem etapy numerického modelování termických procesů na odvale Hedvika, které bylo provedeno v rámci řešení projektu bylo:

- 1) Sestavení algoritmu pro zjednodušený výpočet obecných bilančních výpočtů pro uhelné odvaly..
- 2) Aplikace tohoto algoritmu s použitím analytických dat pro výpočet tepelných bilancí na uhelném odvale Hedvika.
- 3) Vyhodnocení výsledků tepelných bilancí z uhelného odvalu Hedvika.

Problematika tepelných bilancí

Pro výpočet tepelných bilancí byly vzaty v úvahu následující tepelné děje:

- 1) Teplo potřebné k zahřátí hornin z teploty t_0 na teplotu t .
- 2) Teplo potřebné k zahřátí popela z uhlí z teploty t_0 na teplotu t .
- 3) Teplo potřebné k odpaření vody z hornin a popela a k zahřátí z teploty t_0 na teplotu 300°C .
- 4) Teplo vzniklé nebo spotřebované transformacemi minerálů obsažených v hlušině.
- 5) Teplo vzniklé spálením uhlí při teplotě t_0 .
- 6) Ztrátové teplo (Q_{ZTR}) vzniklé ztrátami tepla do okolního prostředí.

Tepelné bilance jsou provedeny s použitím výpočtů a dat, které vycházejí z hodnocení tepelné bilance při výpalu hornin.

Ve zprávě jsou uvedena data a reakce provázející tyto tepelné změny a transformace minerálů v horninách v procesu neizotermní oxidační transformace v hlušínovém odvalu do teploty cca 1200°C.

Byl zpracován model výpočtu závislosti maximální dosažitelné teploty na hořícím uhelném odvalu v závislosti na vyhořelém množství uhlí přítomném v hlušíně odvalu.

Výpočet maximální dosažitelné teploty se provádí pro daný, předem zvolený obsah uhelné hmoty v hlušíně a její složení. Z údajů průzkumu odvalu lze získat údaje o obsahu uhelné hmoty a porovnáním s výpočtem pak zjistit maximálně dosažitelnou teplotu, na hořícím uhelném odvalu. Teplotě odvalu, jeho složení a množství odpovídá i jeho maximální latentní teplo, jehož určitý podíl by eventuálně bylo možno využít. Navržený nový postup je založen na tepelné bilanci hmoty uložené na hořícím uhelném odvalu.

Předpoklady výpočtu:

Uhelný odval sestává z hlušiny a uhlí.

- ◆ Veškeré uhlí přítomné v uhelném odvalu zcela vyhoří a uvolní teplo (odpovídající spalnému teplu uhlí), které ohřeje uhelný odval z teploty t_0 na teplotu t .
- ◆ Kromě exotermní reakce, která doprovází úplnou oxidaci uhlí, se uplatňují další chemické reakce spojené s transformacemi minerálů. Tyto mají buď exotermní, nebo endotermní charakter a jsou rovněž vzaty v úvahu při tepelných bilancích.
- ◆ Předpokládá se, že ztráty tepla do okolí jsou rovny nule, takže děj je adiabatický.
- ◆ Výpočet celkově vzniklého tepla a vztahu mezi množstvím spáleného uhlí a teplotou tepelného odvalu je proveden na bázi bilančních vztahů mezi exotermními a endotermními teplemi reakcí, které se spalování uhlí zúčastní. Poněvadž se jedná o bilanci, není uvažován vliv času na průběh hoření ani distribuce teploty v hořícím uhelném odvalu.

Pro výpočet tepelné bilance odvalu byl vytvořen program (Tepelná Bilance Odvalu) - TeBilOd.. Vyhodnocení tepelných bilancí bylo provedeno pro uhelný odval Hedvika (bývalý Důl Julius Fučík v Petřvaldě, OKR). Vstupní údaje byly převzaty z výsledů laboratorních zkoušek vzorků uhelné hlušiny odebrané z tohoto odvalu (kap. 3.1.4).

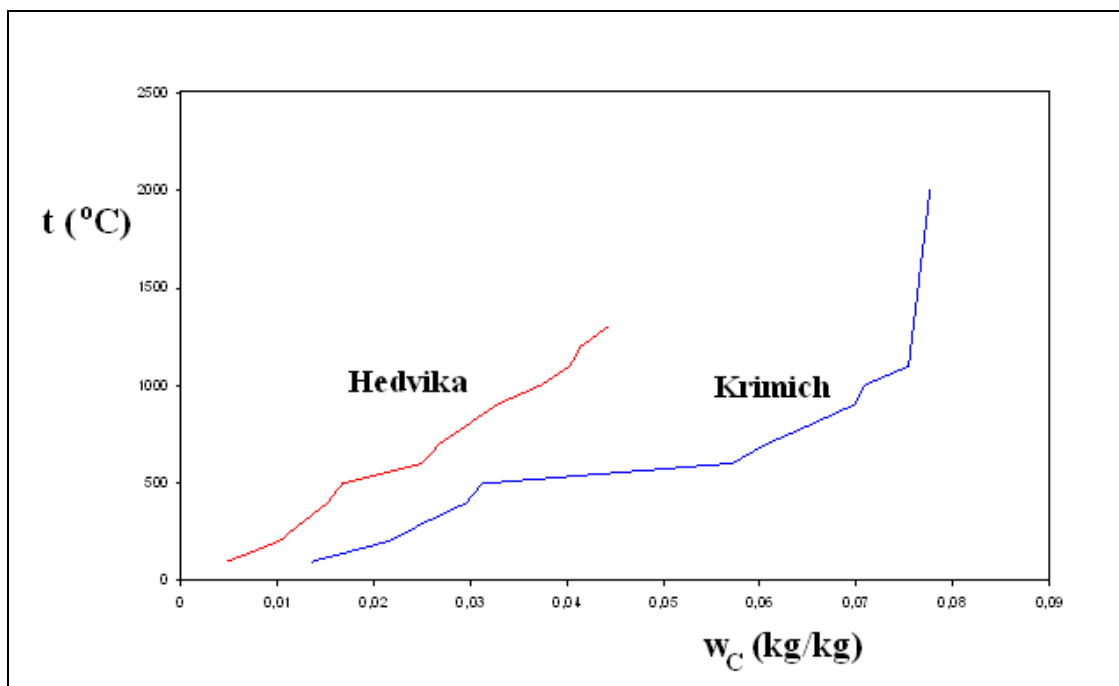
Výsledkové tabulky výpočtů obsahují vypočtený obsah uhlí (w_c) ve vzorku nutný pro dosažení teploty (t) odvalu. Dále jsou pro každou vypočítávanou teplotu uvedeny hodnoty jednotlivých tepel ad 1) – 6) a sumární teplo $Q_{sum} = \Delta H_4 + \Delta H_5 - \Delta H_6$. Výsledkem výpočtu je graf závislosti maximální teploty odvalu, kterou odval dosáhne při spálení uhlí ve vzorku odvalu při jeho obsahu definovaném hmotnostním zlomkem w_c .

Za použití programu TeBilOd a dat získaných z měření pěti různých vzorků hlušiny odebraných na důlním odvalu Hedvika byly provedeny bilanční výpočty. Bylo zjištěno, že mezi oběma odvaly jsou zásadní rozdíly ve složení uhlí i hlušiny.

V důlním odvalu Hedvika má uhlí mnohem vyšší spalné teplo a hlušina obsahuje pouze malé množství kaolinitu.

Na obrázku č.1 jsou porovnány výsledky typických závislostí mezi spáleným množstvím uhlí obsaženým v hlušíně (w_c) a dosaženou maximální teplotou (t) hlušiny v uhelných odvalech Hedvika a Krimich. Extrémní nárůst teploty u teploty cca 1100 °C u všech vzorků z důlního odvalu Krimichu je způsoben silně exotermní reakcí kaolinitu při teplotách mezi 1100-1200 °C za vzniku mullitu a cristobalitu (+1738 kJ. kg⁻¹).

Obrázek 17 Porovnání výsledků typických závislostí mezi spáleným množstvím uhlí obsaženým v hlušině (w_c) a dosaženou maximální teplotou (t) hlušiny v uhelných odvalech Hedvika a Krimich



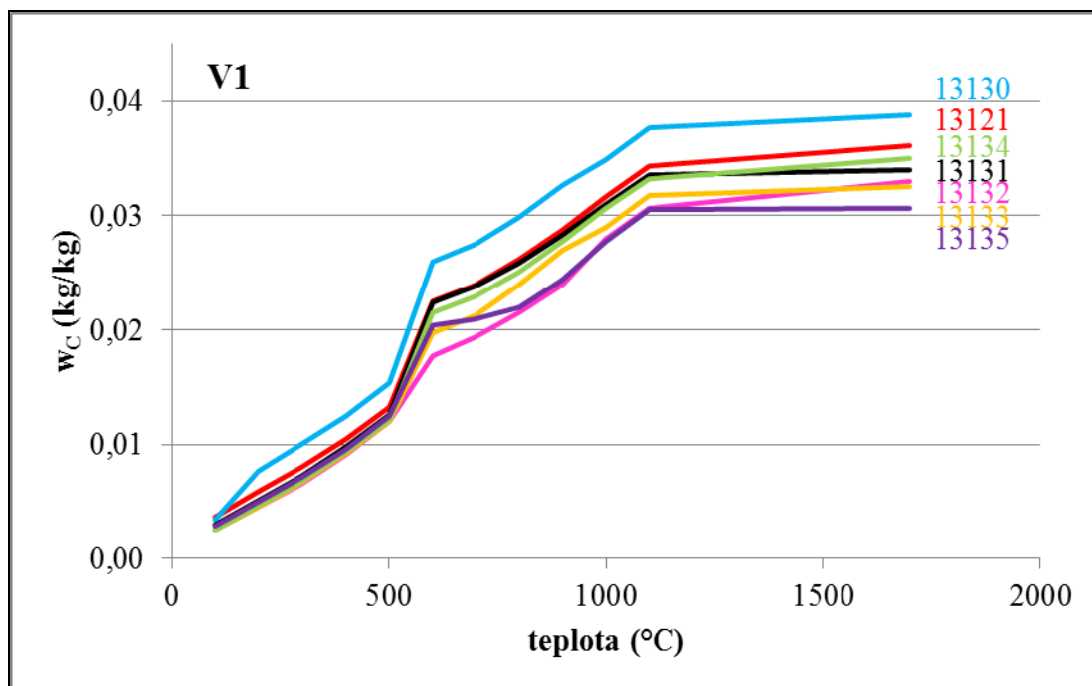
Program TEBILOD předpokládá, že hlušinový odval není tepelně alterovaný, takže vypočtené latentní teplo odvalu a jeho teplota jsou maximální. Pro zjednodušení nebyla uvažována uhelná hmota, která již byla v minulosti tepelně alterována. Pro výpočet rovněž nebyly vzaty v úvahu tepelné ztráty.

Výsledky ověřovací etapy modelování tepelných bilancí na odvale Hedvika

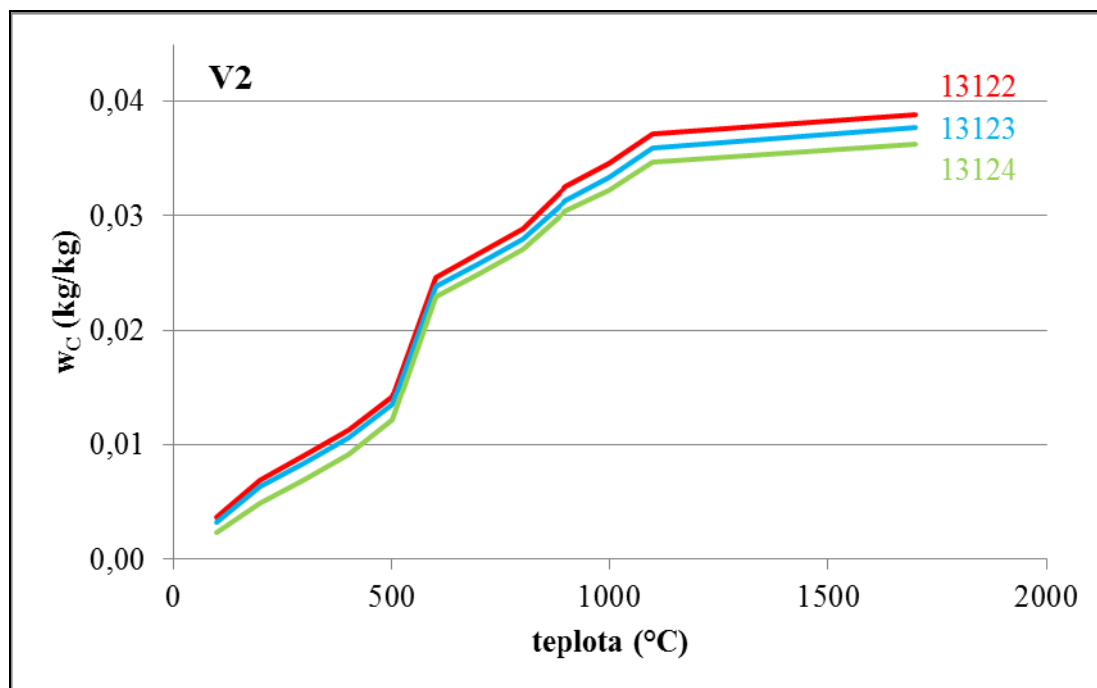
Původní analytická data byla doplněna a přepočtena tak, aby je bylo možno využít pro programy CQPA a TEBILOD. V rámci těchto doplnění byla rovněž připravena a odzkoušena nová metodika pro stanovení rozptýlené (dispergované) uhelné hmoty a metodika na pro stanovení obsahu zbytkového kusového uhlí v horninách uhelného odvalu. Pro stanovení rozptýlené (dispergované) uhelné hmoty byly navrženy a porovnány 2 metody s velmi dobrými výsledky, které umožňují z vypočtených bilancí odhadnout maximálně dosažitelnou teplotu na uhelném odvalu a celkové teplo, které se úplným spálením uhlí uvolní.

Vypočtené výsledky z bilancí vzorků odebraných z vrtů pro jímání tepla na odvale Hedvika v roce 2011 (V1, V2, V3 a V4) jsou znázorněny na obrázku 18-21. Závislosti mezi vypočteným obsahem uhelné hořlaviny (w_c) ve vzorku a maximálně dosažitelnou teplotou (t) odvalu se vzájemně mezi sebou příliš neliší. Poměrně nízký nárůst teploty se zvyšujícím se obsahem uhelné hmoty mezi teplotami 500-600 °C je způsoben zejména spotřebou tepla na dehydroxylaci kaolinitu a illitu/muskovitu. V oblasti od 600-700-750°C v podstatě již žádné reakce doprovázené exo-, nebo endotermní výměnou neprobíhají, a proto je zde pozorovatelný prudší nárůst teploty. Naopak extrémní nárůst u teploty u cca 1100 °C u všech vzorků z důlního odvalu Hedvika je způsoben silně exotermní reakcí kaolinitu při teplotách mezi 1100-1200 °C za vzniku mullitu (-1738 kJ. kg⁻¹).

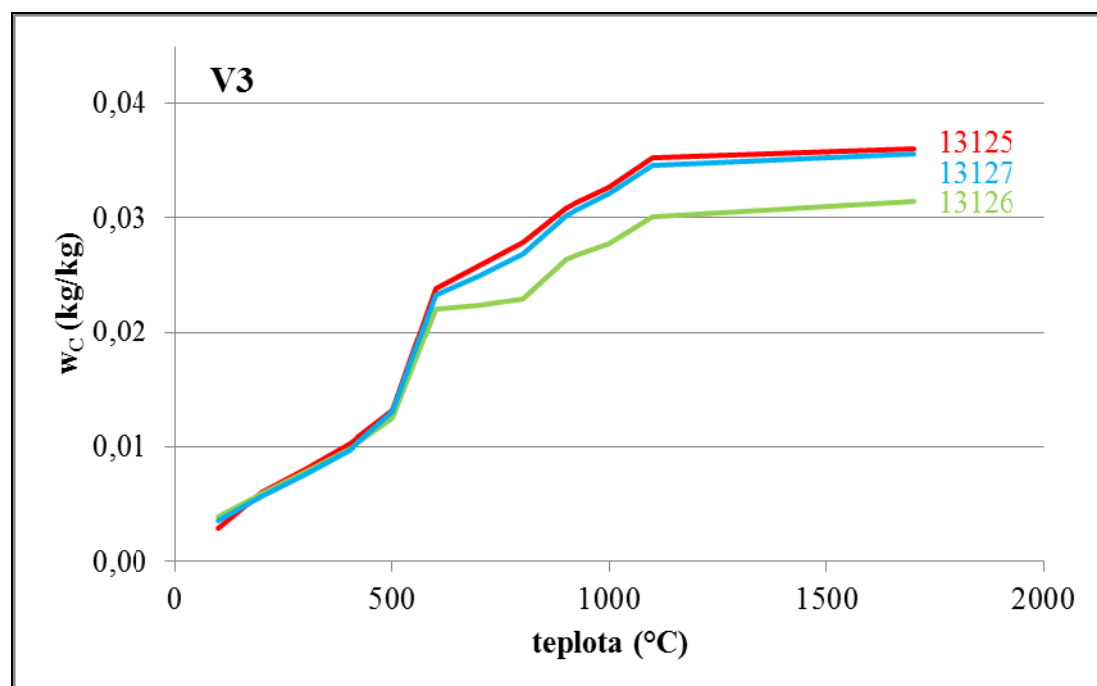
Obrázek 18 Porovnání výsledků závislosti mezi spáleným množstvím uhlí (w_c) obsaženým ve vzorcích z vrtu V1 na uhelném odvalu Hedvika (vz. 13121 a 13130-13135) a dosaženou maximální teplotou (t). (Výpočet proveden pro $Q_{ZTR} = 0$)



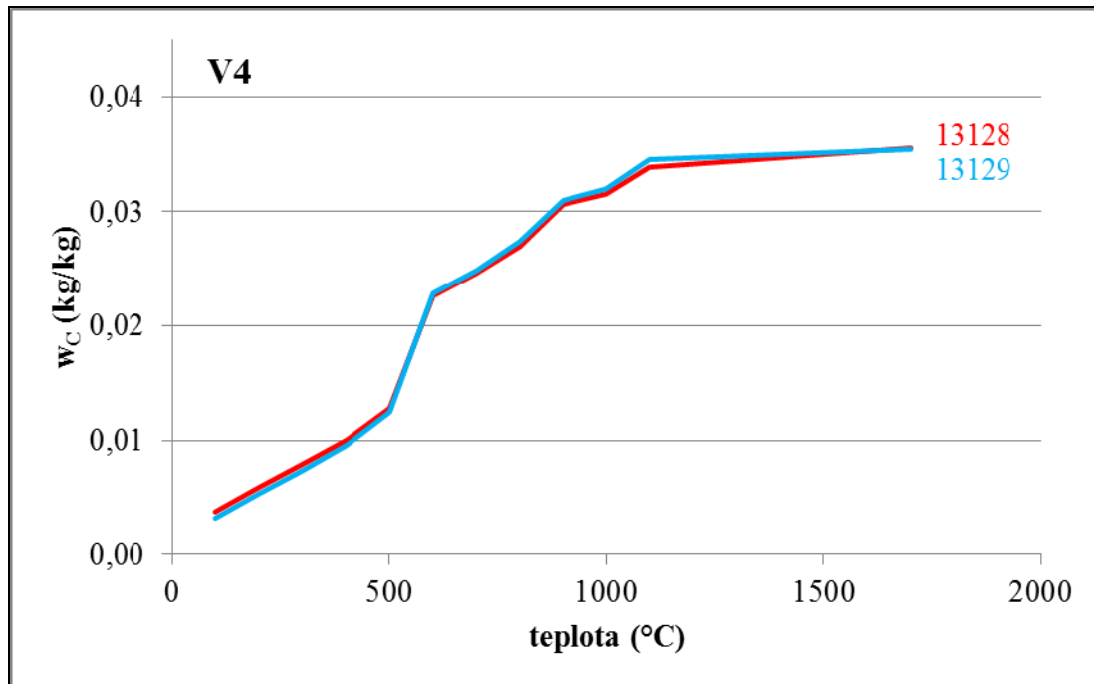
Obrázek 19 Porovnání výsledků závislosti mezi spáleným množstvím uhlí (w_C) obsaženým ve vzorcích z vrtu V2 na uhelném odvalu Hedvika (vz. 13122 - 13124) a dosaženou maximální teplotou (t). (Výpočet proveden pro $Q_{ZTR} = 0$)



Obrázek 20 Porovnání výsledků závislosti mezi spáleným množstvím uhlí (w_C) obsaženým ve vzorcích z vrtu V3 na uhelném odvalu Hedvika (vz. 13125 - 13127) a dosaženou maximální teplotou (t). (Výpočet proveden pro $Q_{ZTR} = 0$)



Obrázek 21 Porovnání výsledků závislosti mezi spáleným množstvím uhlí (w_c) obsaženým ve vzorcích z vrtu V4 na uhelném odvalu Hedvika (vz. 13128 - 13129) a dosaženou maximální teplotou (t). (Výpočet proveden pro $Q_{ZTR} = 0$)

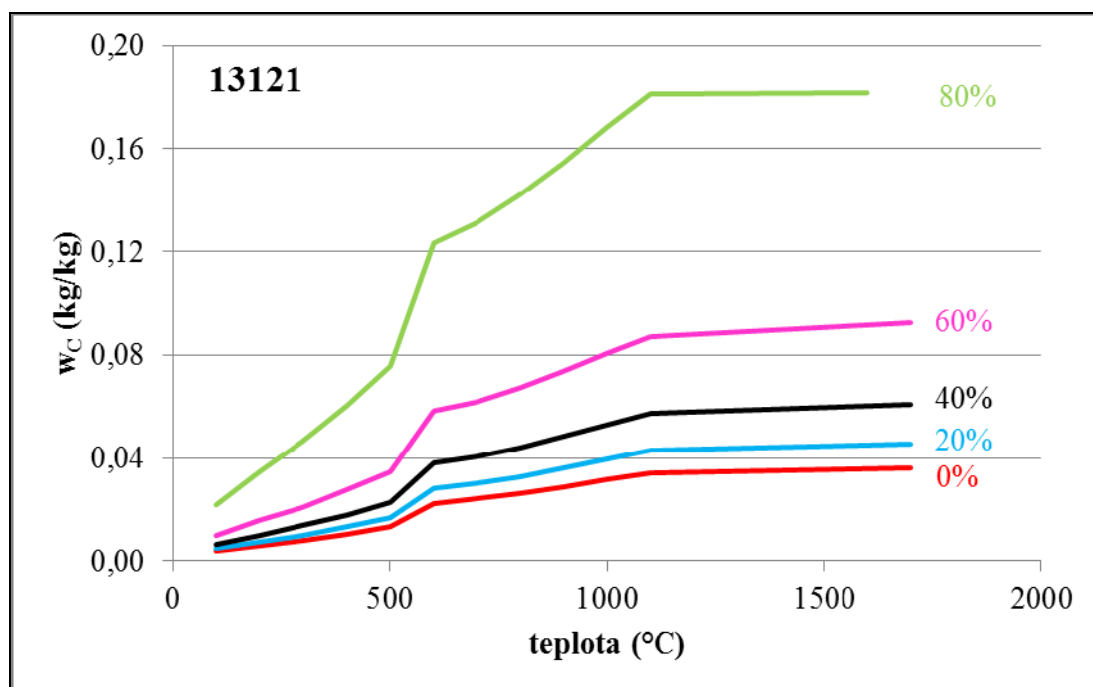


Obsah uhelné hořlaviny (w_c) odpovídající kusovému uhlí se měnil ve vzorcích 13121-13135 v rozmezí od 0 (vzorky 13131 a 13127) do 1,15% (vzorek 13131). Těmto hodnotám odpovídá přibližná maximální teplota na odvalu do cca 300°C. V případě, že budeme uvažovat spálení nejen kusového uhlí ale rovněž i rozptýleného uhlí, obsah uhelné hořlaviny (w_c) se bude měnit ve vzorcích 13121-13135 v rozmezí od 3,92 % (vzorek 13130) do 14,65 % (vzorek 13128). Vyjma jediného vzorku 13130 všechny ostatní mají obsah uhelné hořlaviny (w_c) v rozmezí 9,80-14,65 %. Takto vysoké obsahy uhelné hořlaviny (w_c) a vypočtené teploty jsou pro ztrátové teplo $Q_{ZTR} = 0$ kcal/kg pro tyto vzorky, zcela mimo rámec vypočtených dosažených teplot. Z uvedeného je zřejmé, že:

- a) ztráty tepla jsou velké,
- b) že teplo se spalováním uvolňuje velmi pomalu, odval se zahřívá na nízké teploty po dlouhou dobu.

Program TEBILOD byl upraven tak, aby bylo možno vzít do úvahy i ztrátové teplo Q_{ZTR} , které je procentuálním podílem z celkového tepla vzniklého hořením uhelné hmoty (ΔH_5). Na obrázku 6 jsou znázorněny typické výsledky pro typický vzorek 13121 a různá ztrátová tepla od 0 do 80%. Vzhledem k tomu, že v uhelných odvalech probíhá zápar (nebo hoří) po celá léta, lze předpokládat, že větší část exotermního tepla v jemně dispergovaném palivu v horní části odvalu se realizuje formou ztrátového tepla spotřebovaného na tání sněhu, odpar dešťové nebo sněhové vody, ohřev okolní atmosféry a přenos tepla do okolních hornin, které jsou v kontaktu s uhelným odvalem. Za těchto okolností ztráty tepla mohou být enormní. Jak ukazuje obrázek 6 při $Q_{ZTR} =$ cca 80 % je bez zohlednění časového faktoru, pro w_c cca 10%, možno docílit maximální teplotu cca 500°C. Ta ovšem bude vzhledem k časovému faktoru značně nižší.

Obrázek 22 Porovnání výsledků závislosti mezi spáleným množstvím uhlí (w_c) obsaženým ve vzorku 13121 z vrtu V1 na uhelném odvalu Hedvika a dosaženou maximální teplotou (t). Vypočteno pro Q_{ZTR} od 0 do 80 %



Pomocí matematického modelování a modelování na ekvivalentních materiálech byly studovány termické procesy probíhající v odvalech. Dále byly studovány možnosti jejich ovlivnění. Výsledky řešení budou použitelné zejména pro provádění prognózy vývoje teplotního pole a pro výzkum metod regulace termických procesů.

Program TEBILOG předpokládá, že hlušínový odval není tepelně alterovaný, takže vypočtené latentní teplo odvalu a jeho teplota jsou maximální. Pro zjednodušení nebyla v první etapě uvažována uhelná hmota, která již byla v minulosti tepelně alterována. Pro výpočet rovněž nebyly vzaty v úvahu tepelné ztráty. Ve druhé etapě prací již bylo ztrátové teplo do výpočtu zařazeno.

Objem odvalu Hedvika je odhadován na 150 000 – 4 200 000 m³. Při předpokládané objemové hmotnosti uhelné hlušiny 1500 kg.m⁻³ to činí cca 4 725 000 – 6 300 000 t. Za předpokladu, že v uhelném odvalu je 10% uhelné hořlaviny a její spalné teplo je 34700 MJ/t, množství latentního tepla v tomto odvalu je cca $(4,75 \cdot 10^6 \times 0,10 \times 3,47 \cdot 10^4 \text{ t} \cdot \text{MJ} \cdot \text{t}^{-1} = \text{cca } 1,65 \cdot 10^{10} - 2,19 \cdot 10^{10} \text{ MJ})$. Tento rozsah odpovídá 4,60 - 6,11.10⁶ kWh. S bezztrátovým využitím tohoto tepla vzniklého spálením veškeré uhelné hmoty v odvalu by mohla 1 rok pracovat elektrárna s výkonem cca 525 – 697 MW. (1 MJ = 2,778.10⁻⁴ MWh, 1 rok = 8760 hod).

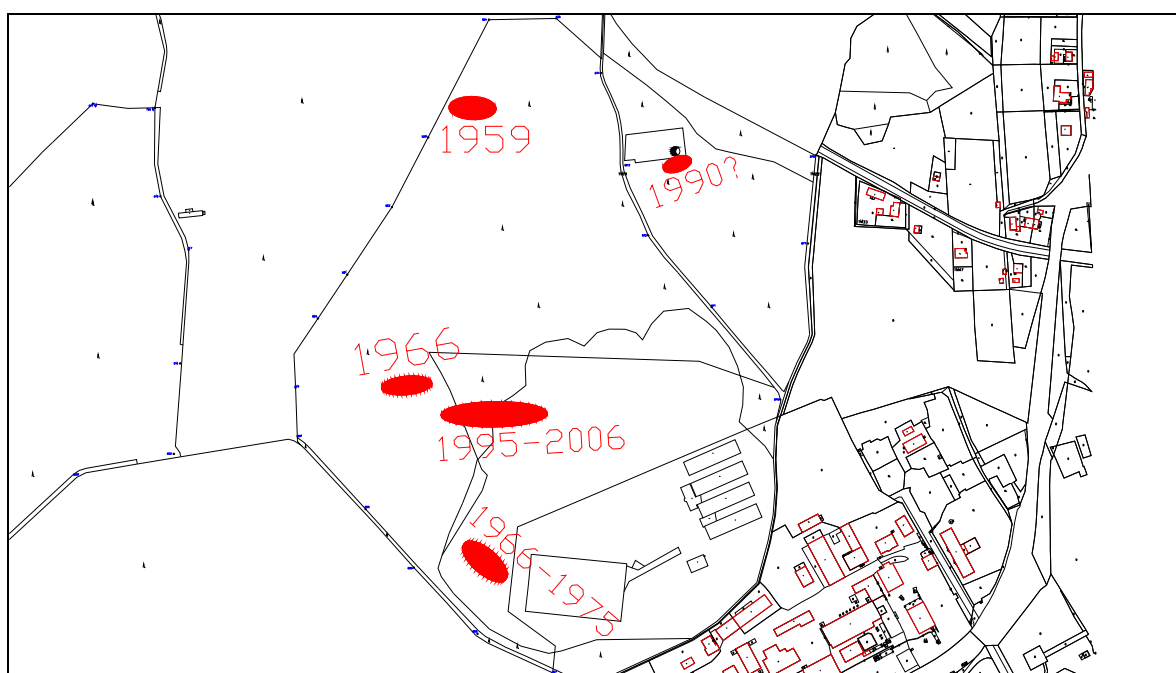
3.2 Historie termické aktivity na odvalu Hedvika

Vznik termické aktivity - oxidace uhelné substance za vzniku tepla vedoucí až k podzemnímu požáru - je pro každý důlní odval výrazně negativní skutečností ohrožující okolní krajinu a samotnou bezpečnost zde se nacházejících živých organizmů. Při zjištění této skutečnosti je nezbytně nutné realizovat patřičná měření (teploty, plyny), z výsledků kterých se zjistí rozsah a intenzita termické aktivity.

3.2.1 Vývoj termických procesů a jejich monitoring

Termické procesy byly na lokalitě odvalu Hedvika registrovány průběžně od konce 50. let 20. století. Jako první byl lokalizován zápar v severní části odvalu, který nabyl charakteru požáru v roce 1959. K jeho aktivizaci a intenzivnímu rozšíření došlo v roce 1960 po uplatnění nevhodné technologie vytváření oddělovací rýhy (pomocí trhací práce). Další ohniska se na ploše odvalu projevila cca v polovině 60. let v jižní části odvalu v blízkosti areálu Dolu Hedvika a v západní části. V devadesátých letech byly lokalizovány dvě termickými procesy zasažené plochy, první v těsné blízkosti staré jámy Hedvika 2 - Výdušná, druhá ve střední části odvalu. Lokality zahoření jsou schematicky uvedené na obrázku 23.

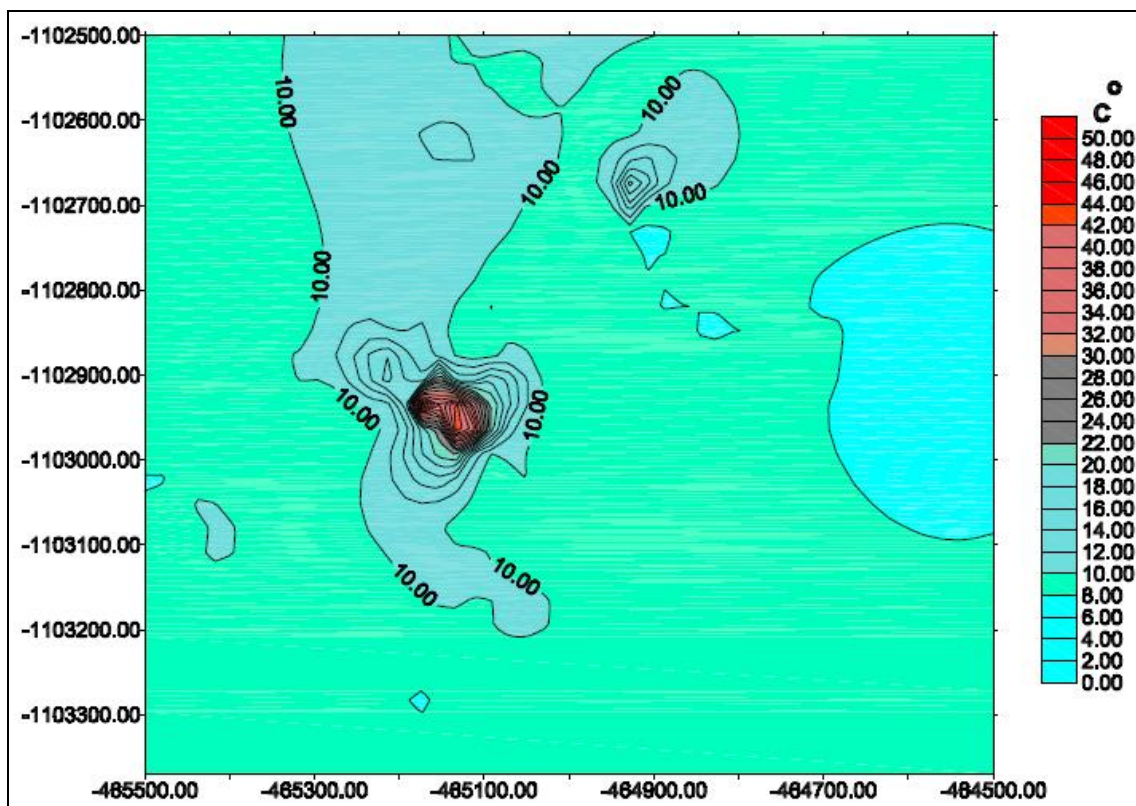
Obrázek 23 Termicky aktivní lokality na odvale Hedvika



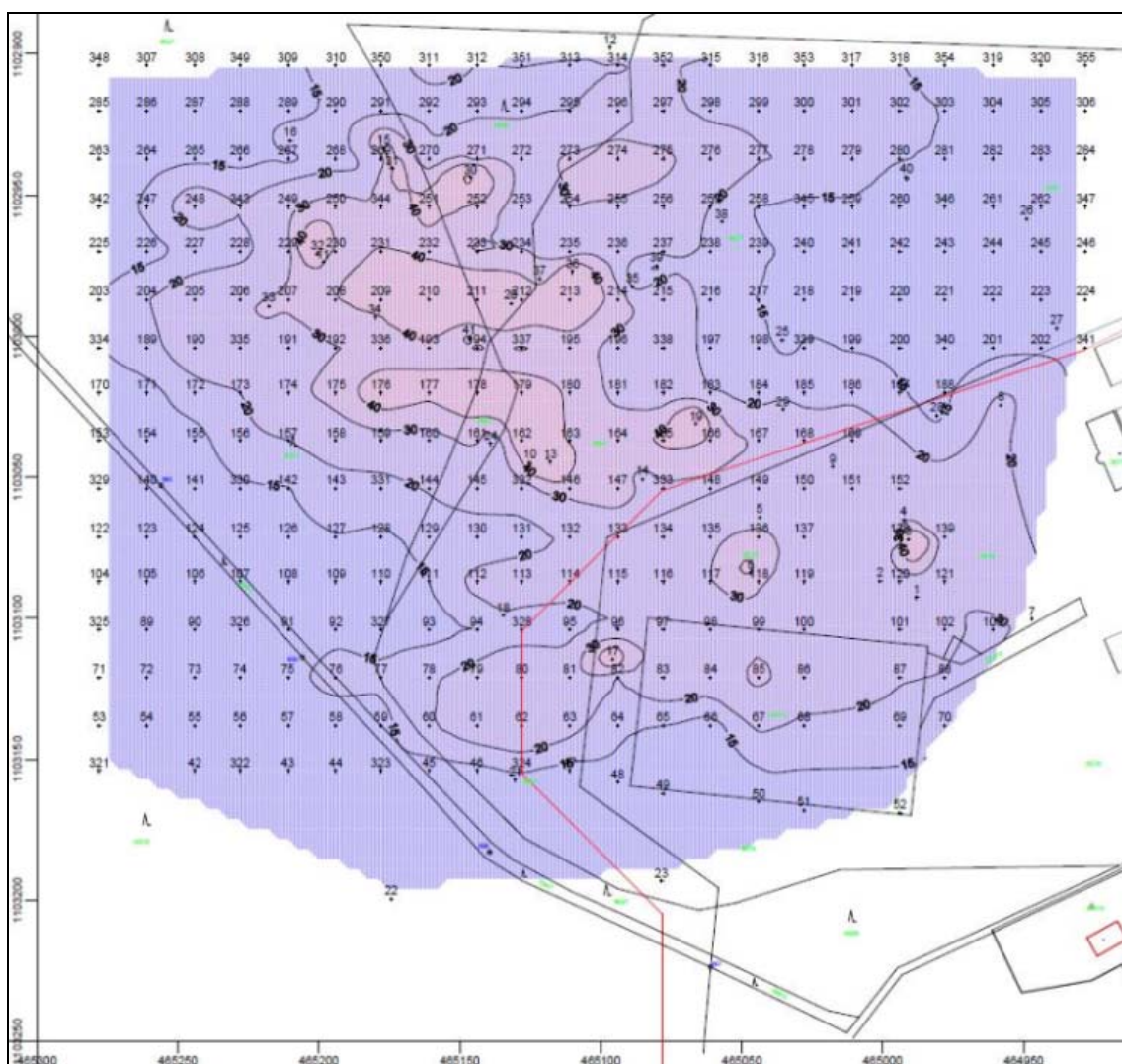
V současné době zůstává termicky aktivní centrální část. V rámci dlouhodobého monitoringu bylo ověřeno, že termické procesy se rozšířily k podnikatelskému areálu vybudovaném v místě bývalého Dolu Hedvika.

Vývoj termické aktivity na odvale Hedvika v letech 2003 až 2011 (zahájení řešení projektu) dokladují mapy izotermem podpovrchové termometrie a měření teplot v hloubce 3 m na obrázcích 24-27.

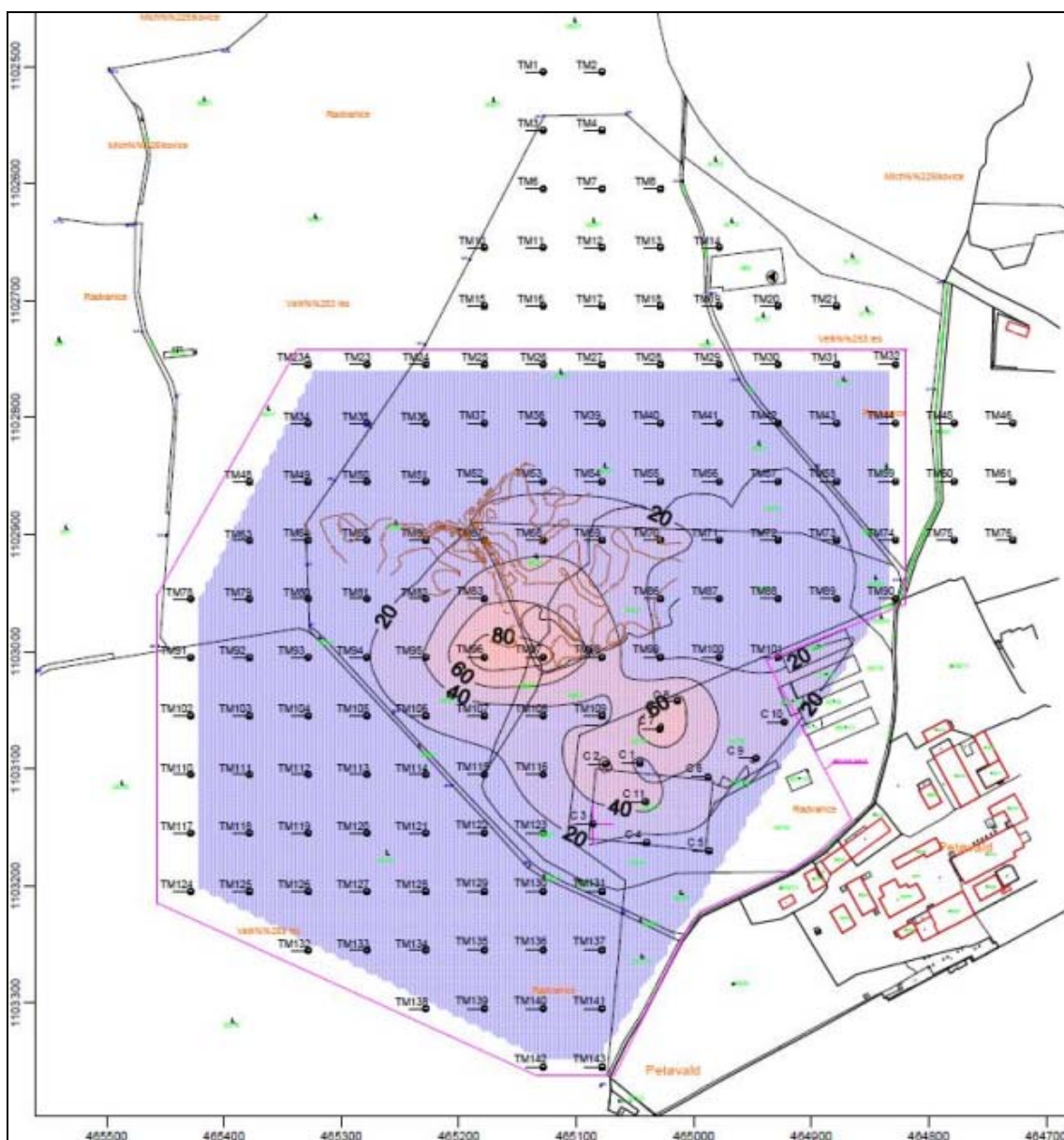
Obrázek 24 Odval Hedvika - mapa izoterem podpovrchových teplot – 2003



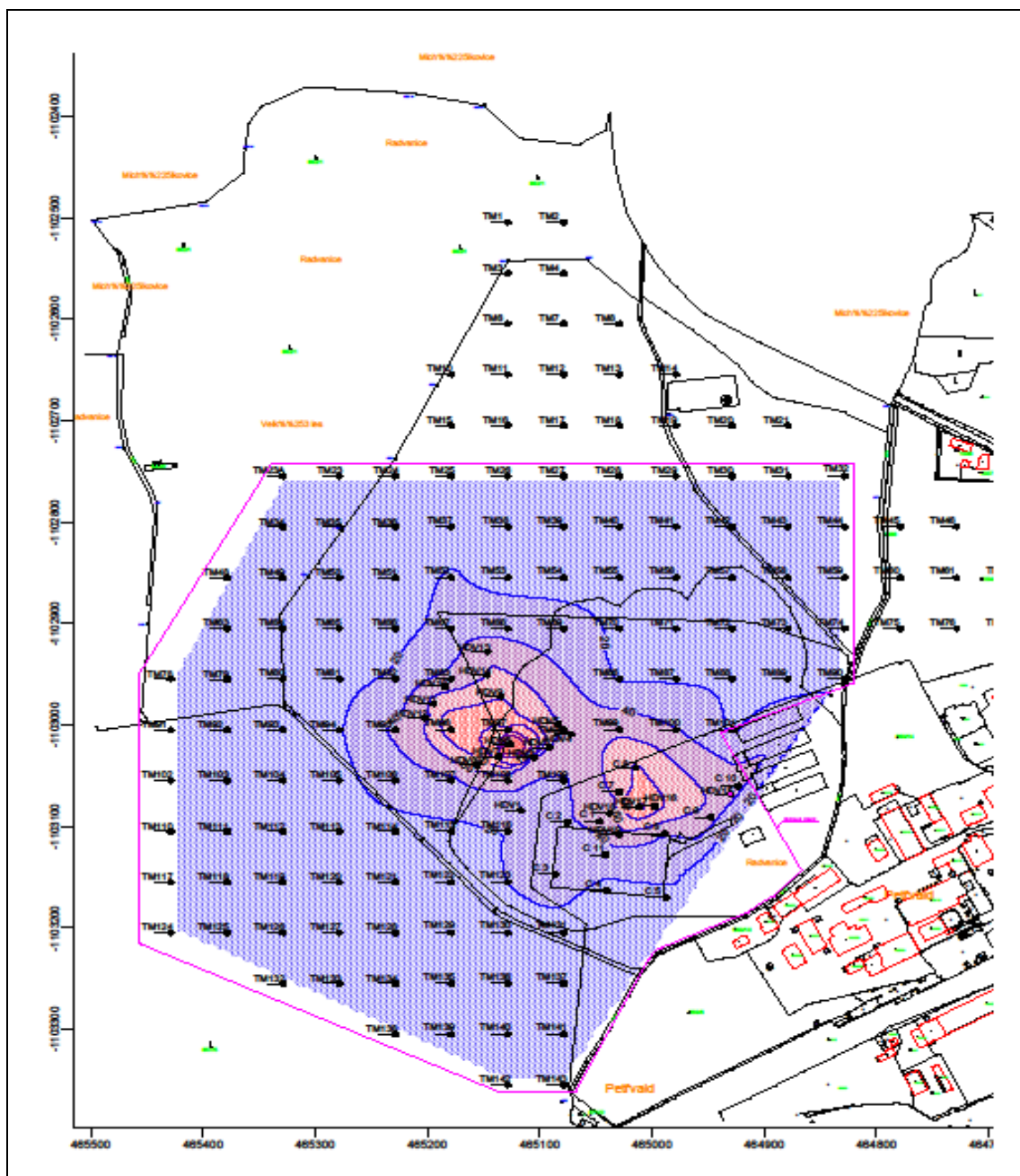
Obrázek 25 Odval Hedvika - mapa izoterm podpovrchových teplot – 2009



Obrázek 26 Odval Hedvika - mapa izoterem v hloubce 3 m pod povrchem – 2009



Obrázek 27 Odval Hedvika - mapa izoterem v hloubce 3 m pod povrchem – září 2011



3.2.2 Sanační zásahy na odvale Hedvika

Z dostupných informací vyplynulo, že historicky první rozsáhlejší sanací bylo odtěžení záparového ohniska (ohniska požáru) v severozápadní části odvalu a zasypání vzniklého prostoru novou hlušinou (po roce 1983).

V jižní části odvalu byla vzniklá ohniska postupně likvidována překrýváním izolačními vrstvami a následně dotvarováním hlušinou. Rovněž centrální část byla v 90. letech "sanována" překrýváním izolačními vrstvami, včetně popílku. Poslední etapou pokusné

sanace lokálních ohnisek (izolace a inertizace) bylo zaplavování termicky aktivních diskontinuit tekutou jílovou směsí po roce 2005.

Účinnost výše uvedených sanačních opatření je diskutabilní. Rozhodně nevedly k úplné likvidaci termických procesů.

3.2.3 Současné riziko endogenního zahoření – vzniku rozsáhlého podzemního požáru

V ploše lze vymezit na odvale Hedvika rozsáhlá místa potenciálně ohrožená vznikem termických procesů.

Vezmou-li se v úvahu obecné poznatky z problematiky vzniku záparů a požárů na uhelných odvalech i všechny získané informace (časové posloupnosti odvalování, tvar odvalu, zdroje deponovaného materiálu a jeho charakter), vyplynou závěry umožňující určitým způsobem vymezit ohrožená místa.

Z hlediska záparu, případně požáru, je možno pro celý odval obecně vymezit rizikové oblasti s vysokou pravděpodobností jejich vzniku. Jedná se zejména o:

- místa s předpokládaným vysokým obsahem uhelné hmoty (deponovaná do cca roku 1965),
- místa zatím nesanovaná a neprohořelá,
- místa povrchově neodizolovaná, ležící v blízkosti náporového svahu,
- místa přímo sousedící s termicky aktivní oblastí.

Jedná se o následující lokality:

- severní, jižní a východní hranice termicky aktivní plochy.
- východní (severovýchodní) část odvalu (předpoklad vyššího obsahu uhelné hmoty, ukládána do r 1965).
- severozápadní část – ukončovací svah, včetně části plochy odvalu, která není překryta izolační vrstvou.

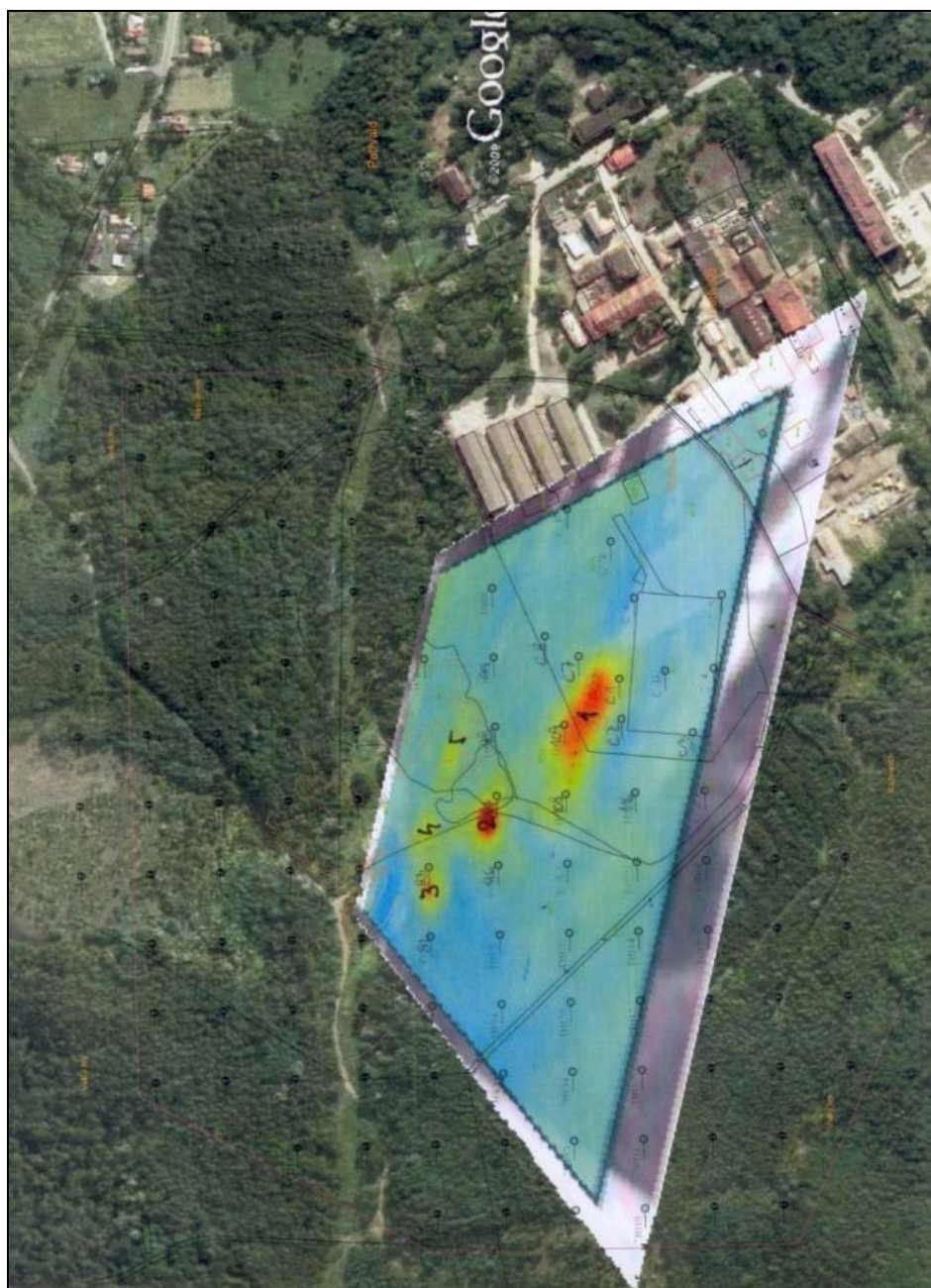
3.4 Aktuální termický monitoring

3.4.1 Letecký termovizní snímek

Pro základní posouzení projevů termické aktivity odvalu Hedvika byl dne 6.12.2009 proveden termovizní snímek.

Z vyhodnoceného leteckého snímku (viz infrasnímek na katastrální mapě – obrázek 28) a ortofotomapě je patrné, že termická aktivita se projevuje na povrchu odvalu na pěti dílčích lokalitách. Toto plně koresponduje se zjištěním podpovrchového termického monitoringu.

Obrázek 28 Letecký termovizní snímek – 12//2009



3.4.2 Podpovrchová termometrie

Podpovrchová termometrie nám podává základní údaje o rozsahu termických procesů a zprostředkovaně i jejich intenzitě ve vnitřním prostoru. Na základě vyhodnocených údajů lze stanovit orientačně povrchové souřadnice hloubkových ohnisek podzemních požárů.

V závěru roku 2009 byla provedena měření podpovrchové termometrie. Cílem bylo získat upřesňující poznatky o plošném rozložení termické aktivity a to zejména v oblasti mezi sondami hloubkového monitoringu a dále v oblasti areálu společnosti Canis Safety a.s..

Pozornost byla zaměřena do míst, kde leteckou termovizí byla objevena nová ohniska termických procesů.

K měření se použila monitorovací jednotka podpovrchových teplot T1p, která slouží pro měření teplot hloubce 20 - 40 cm pod povrchem terénu. Skládá se ze samotného snímače teploty, vyhodnocovací jednotky – digitálního teploměru a přenosového termočlánekového vedení, které je uloženo v ochranném ocelovém pouzdře. Komplex jednotky T1p je uveden na obrázku 29.

Obrázek 29 Monitorovací jednotka podpovrchových teplot T1p



Z vyhodnocených údajů je patrné, že od roku 2003 se prostor zasažený termickými procesy rozšiřuje směrem JJV. Podpovrchovou termometrií bylo rovněž zjištěno nové ohnisko v areálu Canis v blízkosti nově postavené provozní haly mezi sondami č. C6 a C8.

Příklad měření podpovrchové teploty speciálním teploměrem T1p v nově zjištěné termicky aktivní lokalitě je uveden na obrázku 30.

Obrázek 30 Měření teplot podpovrchovým teploměrem T1p

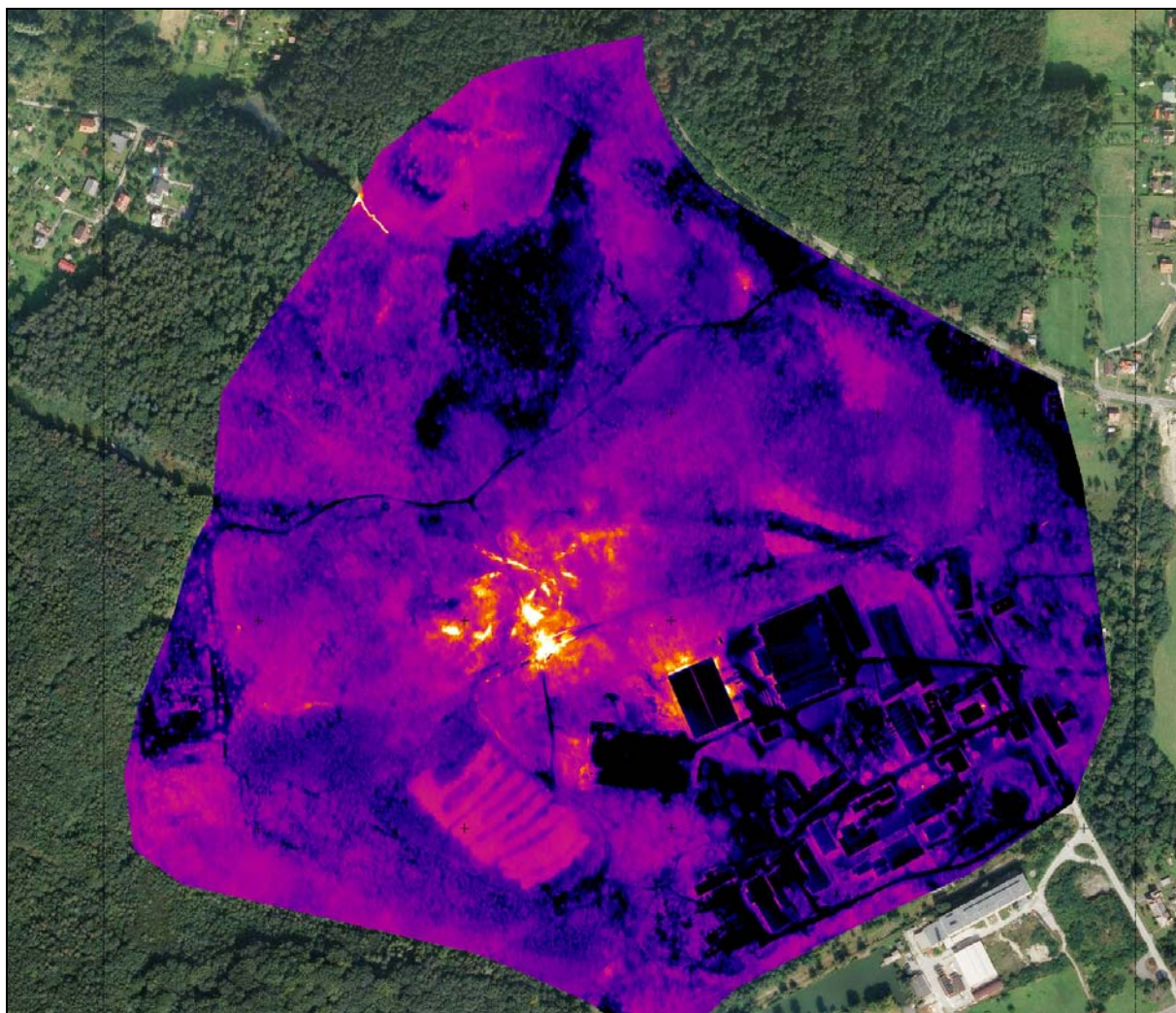


3.4.3 Termický monitoring v průběhu řešení projektu

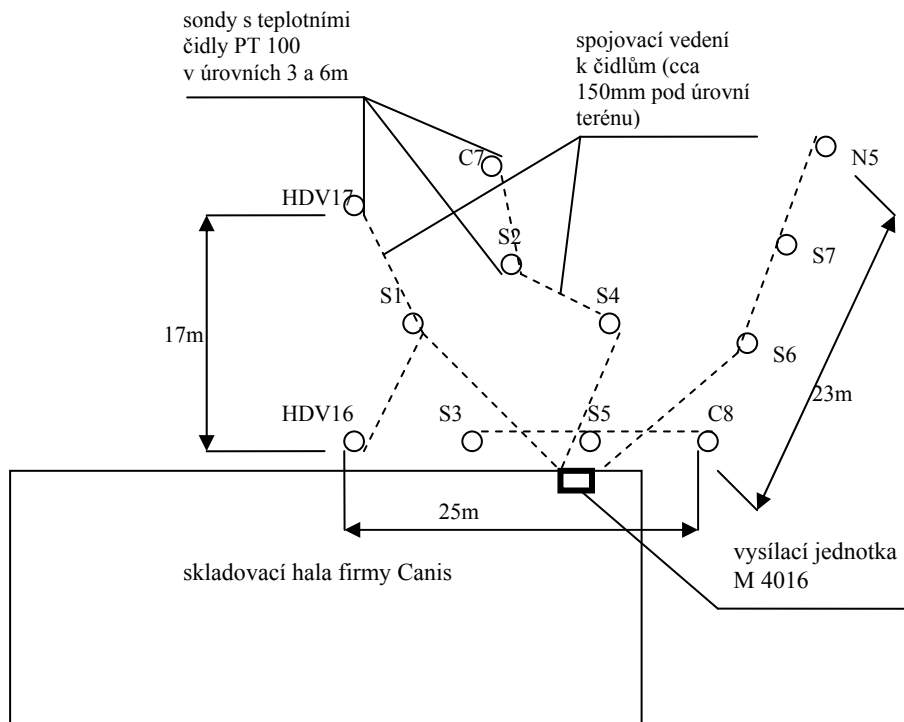
Pro detailní zjištění stavu termické aktivity na odvale Hedvika a zjištění její případně migrace bylo vybráno typické místo s projevem termického procesu v bezprostřední blízkosti skladovací haly Canis Safety a.s..

Ve II. čtvrtletí 2011 zde byl vytvořen speciální polygon měřících sond s možností měření teplot v hloubkové úrovni 3 a 6 m. Podkladem pro lokalizaci sond měřícího polygonu byl letecký termovizní snímek (obrázek 31) Situování sond na ploše odvalu je uvedeno na obrázku 32 a podrobněji pak v příloze 1.

Obrázek 31 Odval Hedvika – letecký termovizní snímek (05/2011)



Obrázek 32 Odval Hedvika – situování sond dálkového monitoringu v areálu firmy Canis Safety a.s.



Podstatou monitoringu je síť ocelových sond instalovaných do hloubky 6 m. Tyto jsou v současné době vybaveny snímači teplot na hloubkové úrovni 3 a 6 m a propojeny spojovacím vedením s vysílací ústřednou M 4016 umístěnou ve skladovací hale společnosti Canis Safety a.s.

Měřicí sondy jsou tvořeny ocelovými trubkami o \varnothing 28/36 mm složené ze dvou částí o délce 3 m. Postup instalace byl následující:

- V určeném bodě byl vrtací soupravou navrtán šnekovým zařízením vrt do hloubky 6 m (obrázek 33).
- Po vytažení sutyčí se do vytvořeného otvoru zarazila měřicí sonda. Po instalaci měřících sond se přikročilo k vybavení měřícími čidly v hloubkové úrovni 3 a 6 m, která jsou propojena s vysílací jednotkou umístěnou ve skladovací hale. Samotné propojovací vedení mezi jednotlivými sondami a vysílací jednotkou je umístěno cca 15-20 cm pod úroveň terénu.

Obrázek 33 Odval Hedvika – realizace vrtů pro termometrické sondy


Od II. čtvrtletí 2011 se zde provádí pravidelný termický monitoring z počátku s manuálním odpočtem teplot, později průběžným sledováním teplot a jejich dálkovým přenosem na dispečink VŠB TU Ostrava, katedry měřicí a řídicí techniky, jakož i do společnosti ARCADIS CZ a.s. Časový průběh zjištěné termické aktivity, tj. hodnoty teplot naměřené v určených intervalech jsou zpracovány do grafů za sledované období a map izoterem. (viz kapitola 4)

4. VÝSLEDKY TERMICKÉHO MONITORINGU V OBDOBÍ 2011-2013

Ve sledovaném období let 2011-2013 probíhalo teplotní měření v sondách TM50-TM131, HDV1-HDV19 a C1-C8. Měření v hloubkových úrovních 3, 6 a 9 m pod povrchem prokázalo výskyt intenzivních termických procesů ve třech relativně samostatných lokalitách odvalu Hedvika.

- První lokalita se nachází v centru odvalu Hedvika, mezi sondami HDV 6, HDV 7, HDV 11 a HDV 13.
- Druhá lokalita se nachází v areálu firmy Canis Safety a.s. na jihovýchodním okraji odvalu, v prostoru sond C8, HDV 16 a HDV 17.
- Třetí lokalita se nachází rovněž v areálu firmy Canis Safety a.s. na jihovýchodním okraji odvalu v prostoru sondy C3

Situace měřicích sond, které byly sledovány v průběhu řešení projektu (2011-2013) je uvedena v příloze 1. Mapy izoterem v jednotlivých hloubkových úrovních jsou součástí přílohy 2 a grafy vývoje teplot ve vybraných sondách jsou součástí přílohy 3.

Do vyhodnocení byly zahrnuty veškeré poznatky získané společností ARCADIS CZ a.s. na odvale Hedvika, včetně dat, která nebyla součástí řešení projektu.

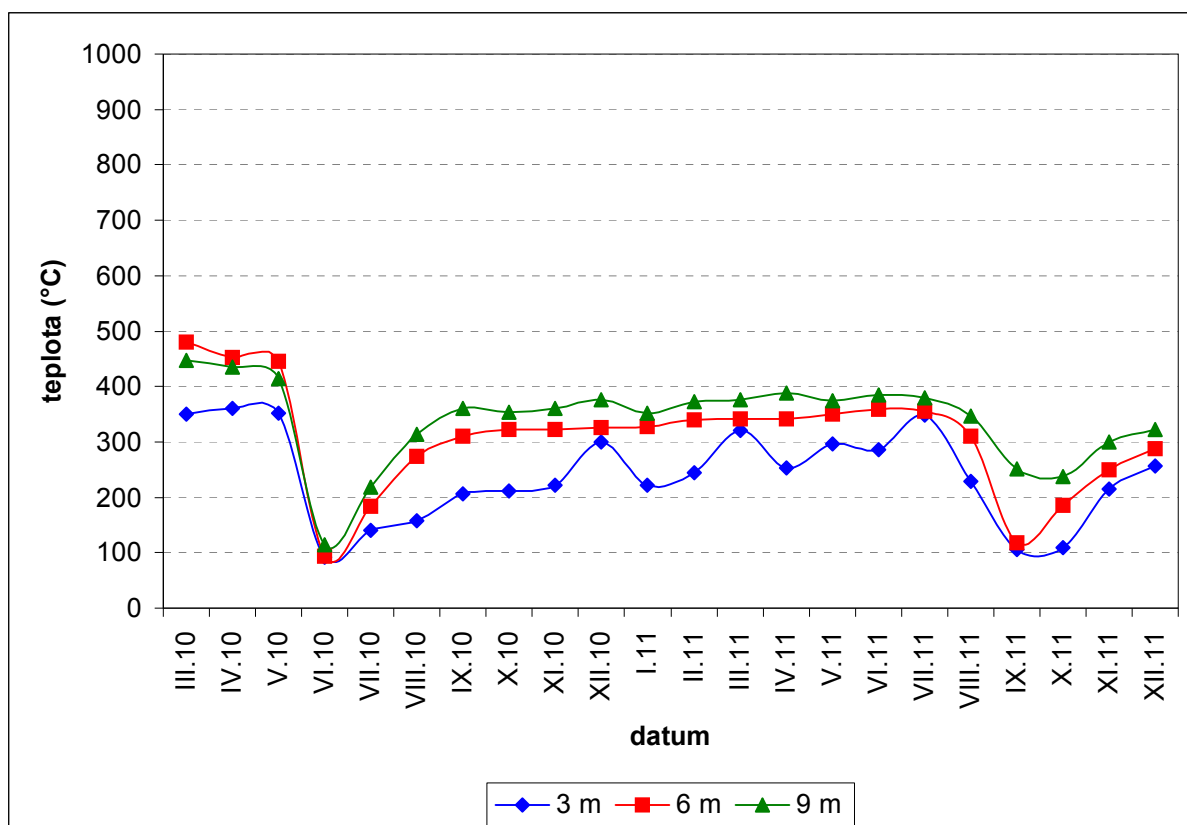
Hodnocení vývoje termické aktivity v roce 2011

V roce 2011 byly největší změny teplot zjištěny v sondě HDV 7, která v průběhu I. a II. čtvrtletí r. 2011 vykazovala nárůst, ve III. čtvrtletí 2011 pak pokles a ve IV. čtvrtletí 2011 opět nárůst. Rovněž u sondy HDV 6 byl zaznamenán nárůst teplot, kdy v závěru roku zde dosáhla teplota 446°C. Během celého období roku 2011 pokračoval pokles teplot v sondách HDV 16, HDV 17 a HDV 18. Nejvyšší teploty byly naměřeny v sondách HDV 7 (440°C/ 3 m) a HDV 6 (446°C/3 m).

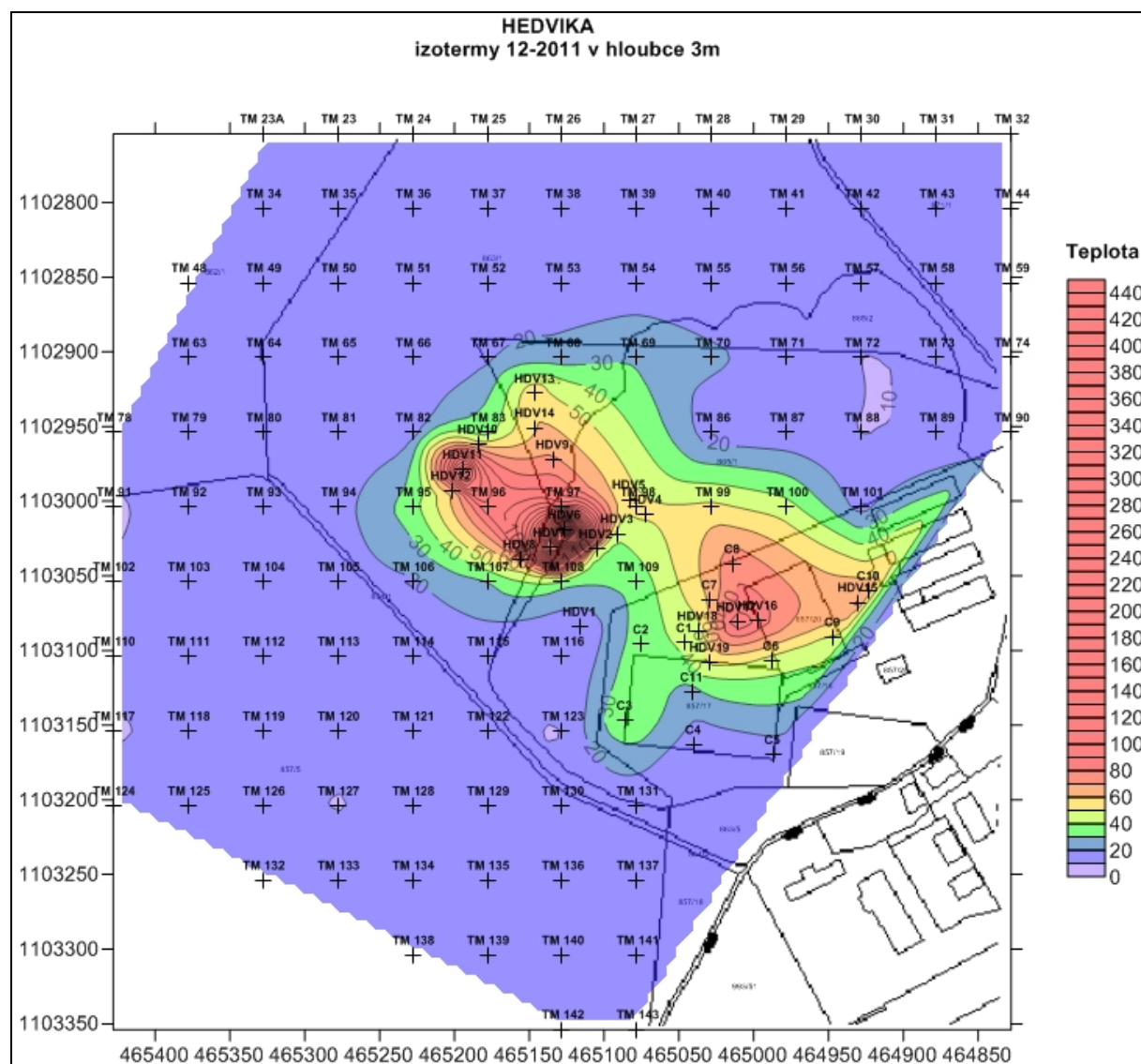
Příznivou skutečností bylo, že v průběhu roku 2011 nedošlo k výraznému plošnému rozšíření ploch termické aktivity.

Vizuálním sledováním však byl zjištěn negativní vliv termických procesů na skladovací halu č. 10 společnosti Canis Safety a.s. a na usychání vegetace.

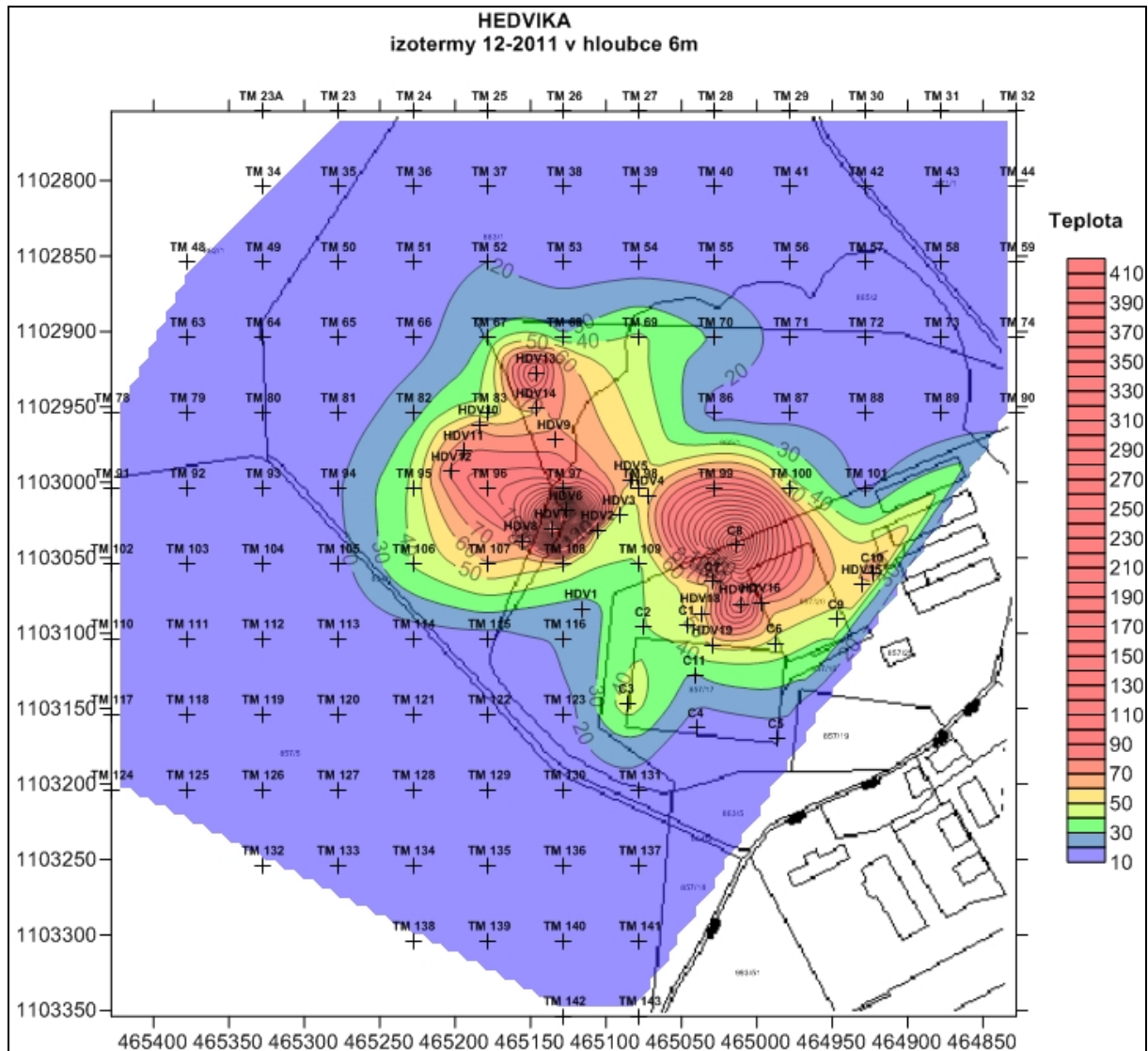
Obrázek 34 Vývoj teploty v sondě HDV7 v letech 2010-2011



Obrázek 35 Odval Hedvika – mapa izoterem v hloubce 3 m (stav 12/2011)



Obrázek 36 Odval Hedvika – mapa izoterem v hloubce 6 m (stav 12/2011)



Hodnocení vývoje termické aktivity v roce 2012

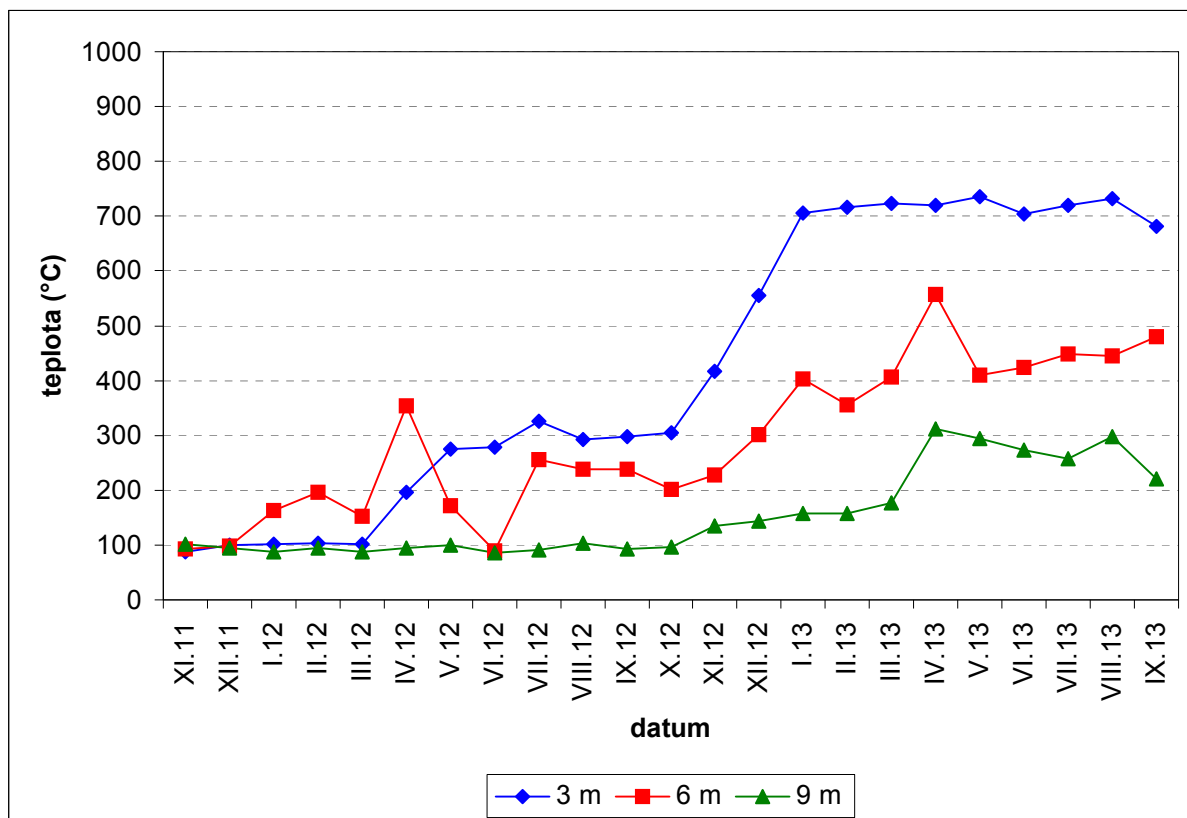
Rok 2012 lze hodnotit u většiny sond jako stav stabilizovaný bez výraznějších výkyvů. Výjimku tvoří sonda TM 97 ve střední části odvalu, kde došlo nejprve k výraznému poklesu ve II. čtvrtletí 2012 v hloubce 6 m a následně k nárůstu teplot v hloubkové úrovni 3 m až na teplotu 556°C v závěru roku 2012. Výrazné změny byly zjištěny u sondy TM 96, kde došlo k nárůstu teplot na 262°C a u sondy HDV 6 s nárůstem teploty, která dosahovala v závěru roku 2012 hodnoty 425°C. Okrajovými sondami byl potvrzen směr mírné migrace termické aktivity a to na jihovýchod.

I v roce 2012 byl vizuálně sledován negativní vliv termické aktivity zejména v rozsáhlém usýchání vegetace a pokračujících deformačních projevech na základových prvcích skladovací haly č. 10 společnosti Canis Safety a.s. (obrázky 41-44).

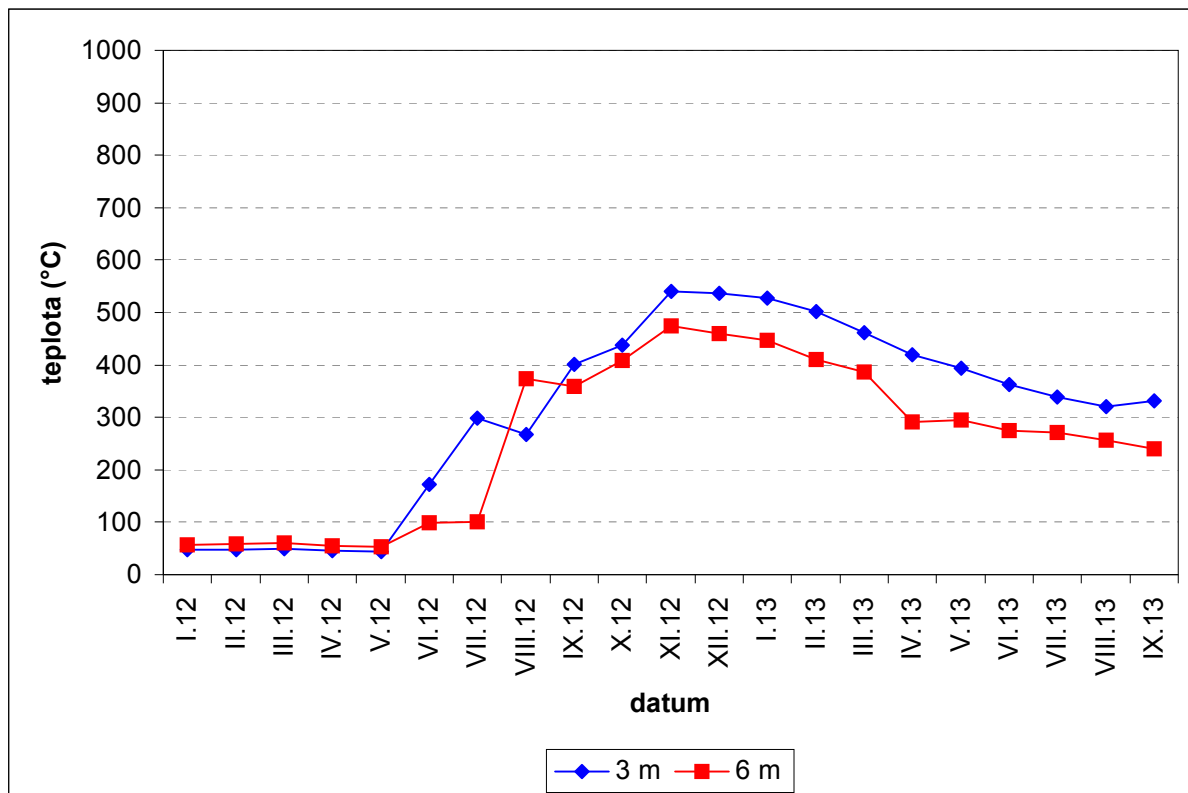
Pokud se výsledky termického monitoringu výrazně zjednoduší, je možno konstatovat, že globálním trendem roku 2012 byla mírně klesající termická aktivita. Existovala však ohniska

s narůstající teplotou, zejména oblast sond HDV 6 a TM 97, jakož i plochy v okolí skladovací haly č. 10. Další anomálii byla sonda C3, která ke konci roku 2012 dosahovala hodnot až 541°C, přičemž se jednalo o prudký nárůst od června 2012.

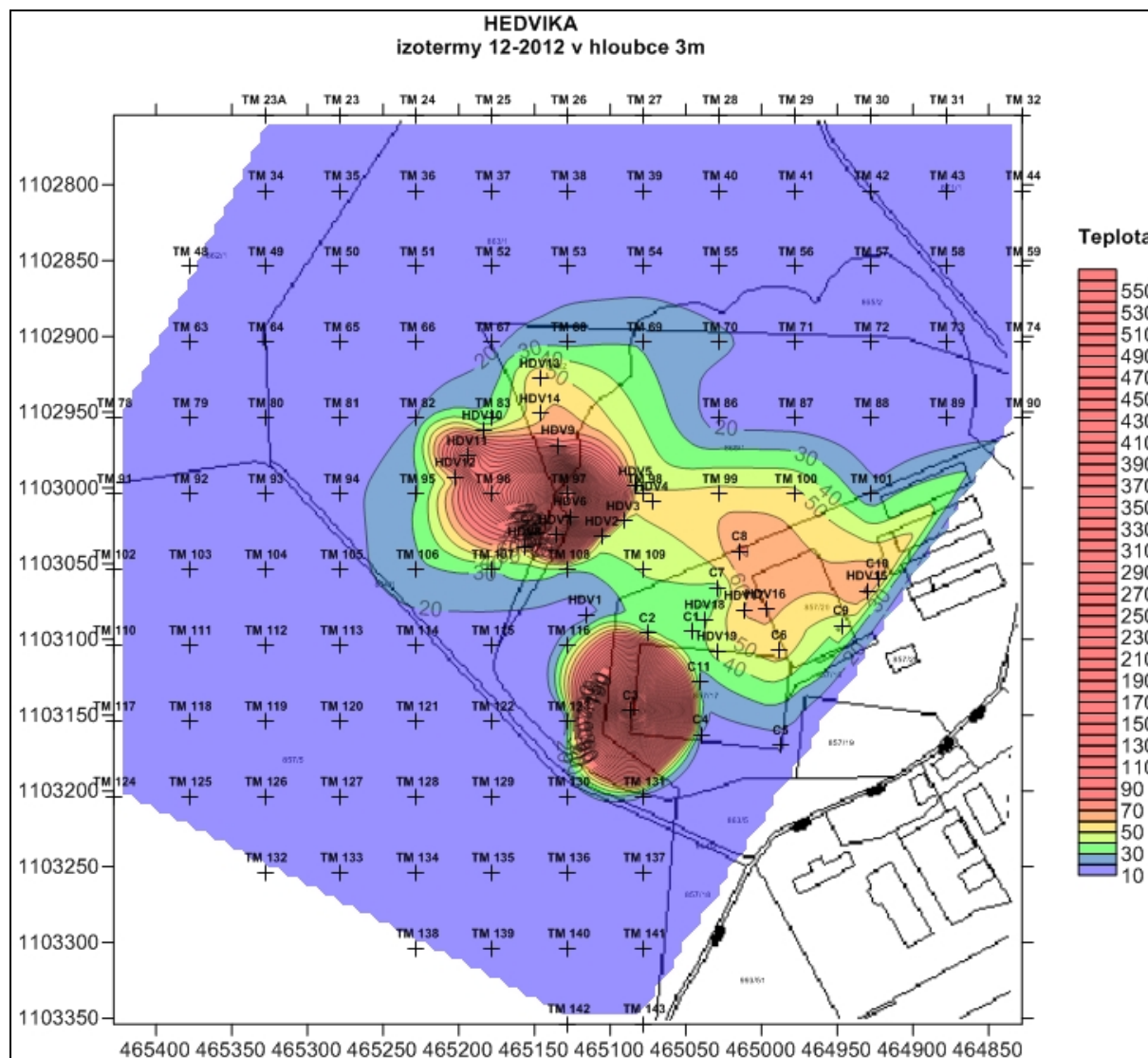
Obrázek 37 Vývoj teploty v sondě TM97 v období 2011-2013



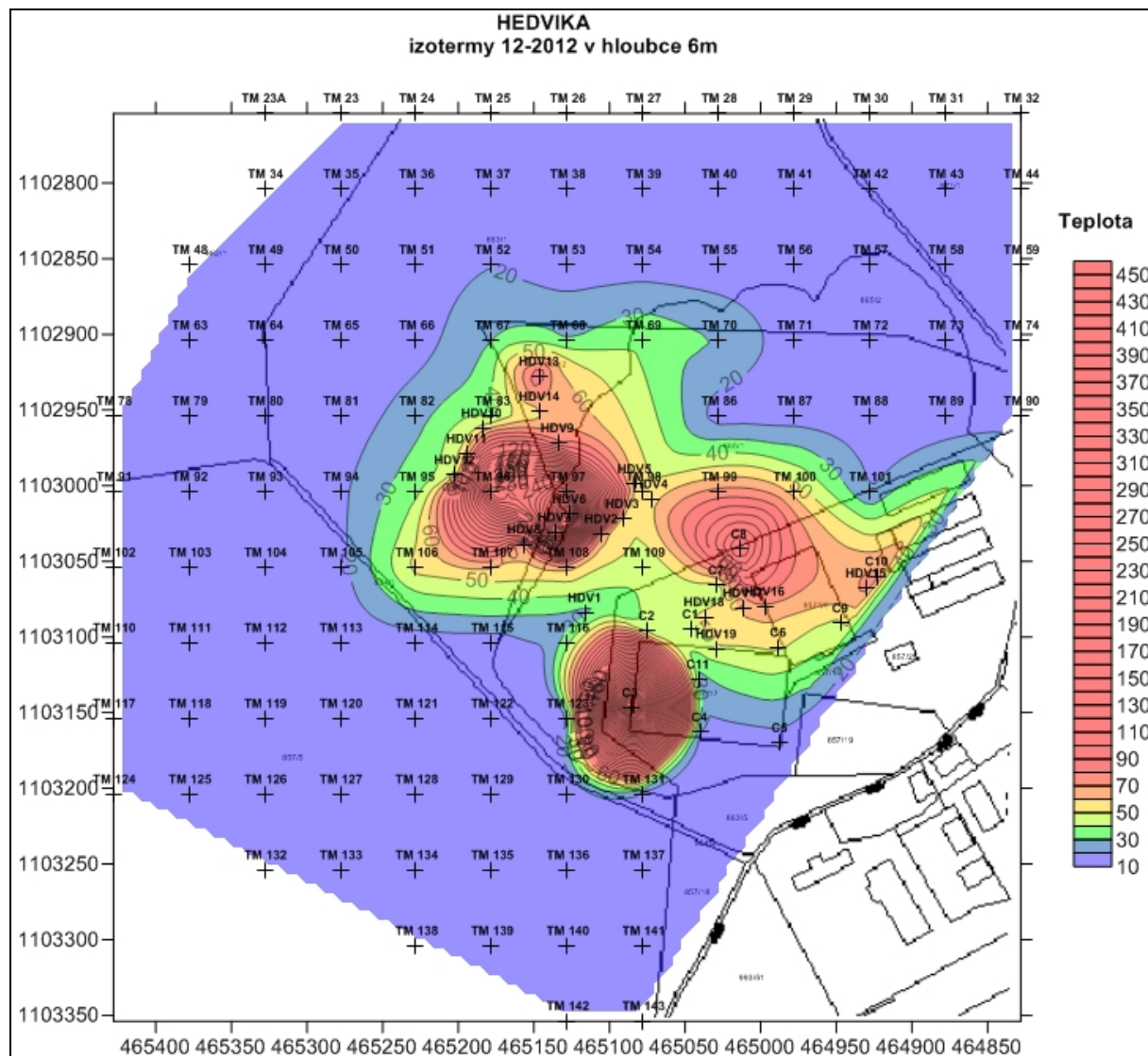
Obrázek 38 Vývoj teploty v sondě C3 v letech 2012-2013



Obrázek 39 Odval Hedvika – mapa izoterm v hloubce 3 m (stav 12/2012)



Obrázek 40 Odval Hedvika – mapa izoterem v hloubce 6 m (stav 12/2012)



Obrázek 41 Odval Hedvika – usychající vegetace na jihovýchodní straně sledovaného prostoru (09/2012)



Obrázek 42 Odval Hedvika - výrazný projev podzemní rozsáhlé termické aktivity v prostřední části sledovaného prostoru (09/2012)



Obrázek 43 Odval Hedvika - důsledky intenzivní termické aktivity (09/2012)



Obrázek 44 Odval Hedvika – devastace povrchu odvalu v centrální části (09/2012)



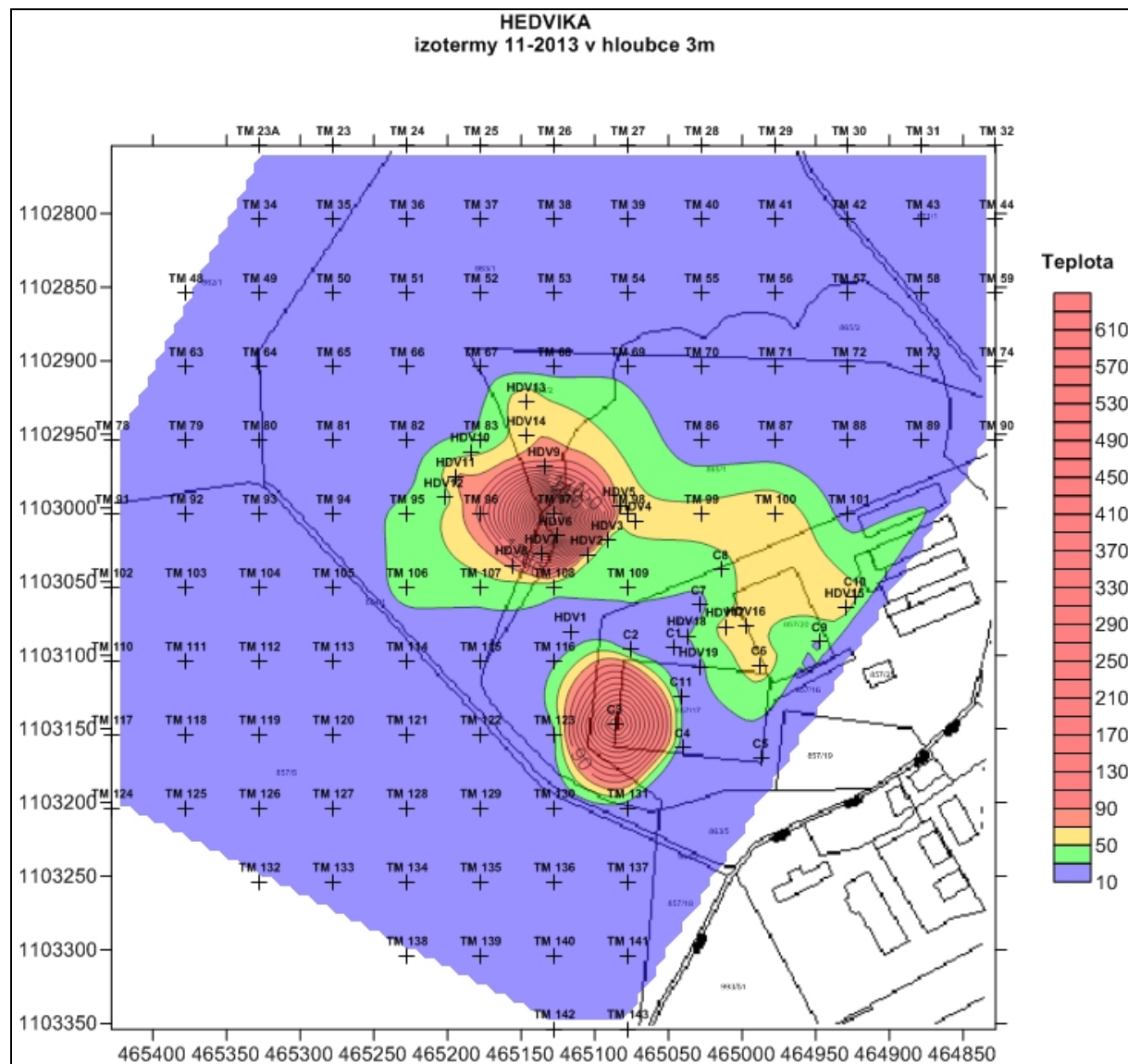
Hodnocení vývoje termické aktivity v roce 2013

Počátkem roku 2013 pokračoval nárůst teplot v sondě TM 97 až na hodnotu 720°C ve 3 m. Tento trend pokračoval i ve II. čtvrtletí 2012, kde byla dosažena teplota 735°C. Ve III. čtvrtletí 2013 však došlo k poklesu teplot v hloubce 3 m, ale k nárůstu teplot v hloubce 6 m na hodnotu 479°C (viz obrázek 37).

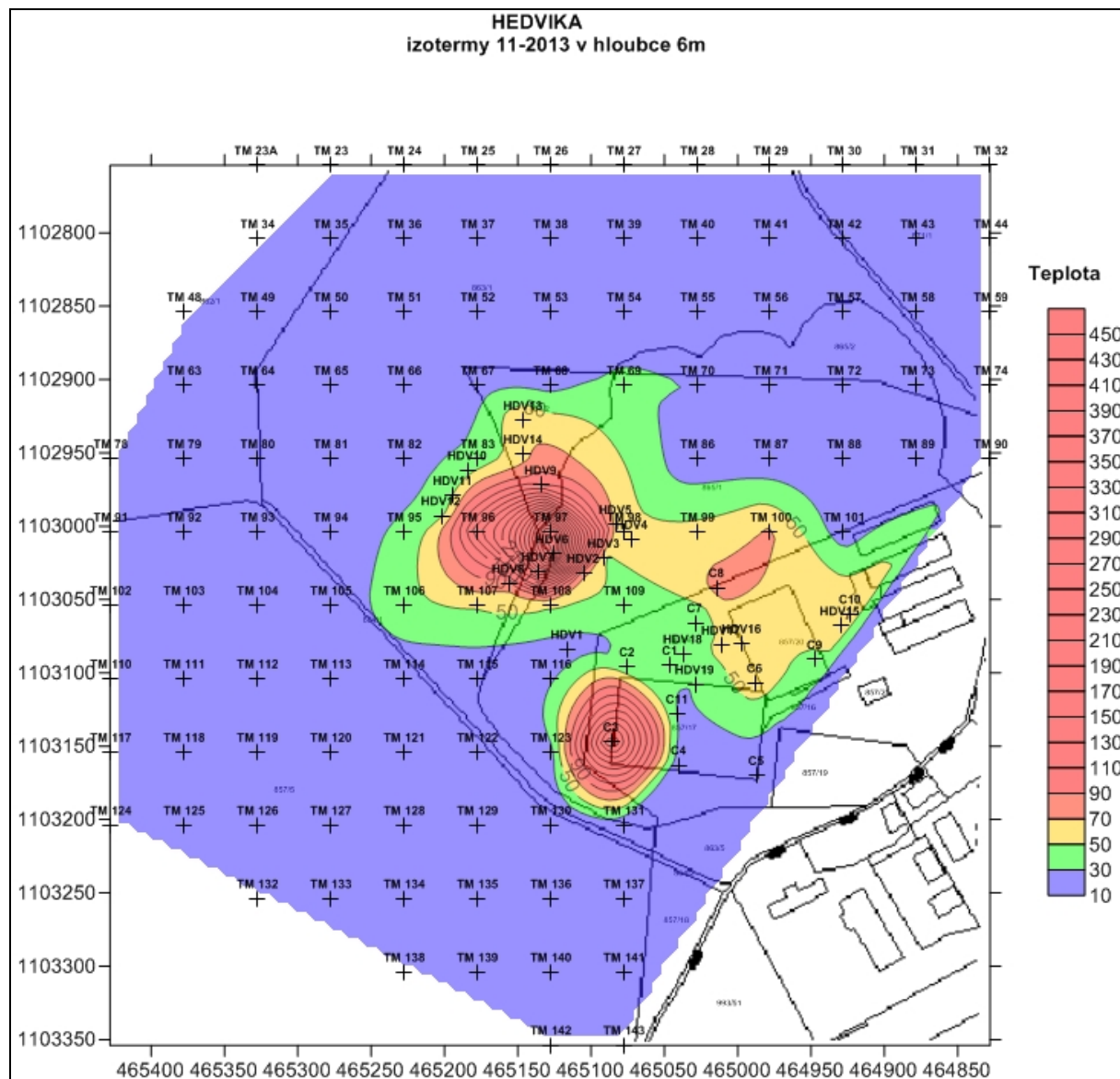
Po celé sledované období roku 2013 pokračoval pokles teplot na sondě C8 až na hodnotu cca 82°C v závěru sledovaného období. Na anomálním místě (sonda C3) byl pozorován pokles v hloubce 3 m až o cca 200°C na cca 362°C (viz obrázek 36).

Nejzávažnější skutečností dokladující negativní dopad termických procesů byl pokles pravé části vstupní brány B do objektu skladovací haly č. 10 společnosti Canis Safety a.s. (obrázek 47). Bylo zde nutno přikročit k okamžitému sanačnímu zásahu, který spočíval ve stabilizaci základových patek vysokotlakou injektáží cementovou suspenzí.

Obrázek 45 Odval Hedvika – mapa izoterem v hloubce 3 m (stav 11/2013)



Obrázek 46 Odval Hedvika – mapa izoterm v hloubce 6 m (stav 11/2013)



Obrázek 47 Poškození vstupní brány B skladovací haly Canis Safety a.s.



Nutno upozornit, že průběh termických procesů je vysoce variabilní a v čase se poměrně značně mění.

5. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Řešení projektu TA01020282 “Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření“ probíhalo v období let 2011-2013.

Pro ověřovací provoz a sběr dat pro numerický model šíření tepla, který zpracovává příjemce projektu (VŠB TU Ostrava), včetně kalibrace a kontroly modelu s podmínkami *in situ* (výstup druhé oblasti řešení projektu) byl zvolen odval Hedvika.

Úkolem spolupříjemce (ARCADIS CZ a.s.) bylo vybudování monitorovacího systému měření teplot na odvale Hedvika, jeho údržba a pravidelná měření a vyhodnocování výsledků.

Závěry lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Dosud neznáme a ještě dlouho nebudeme vědět, proč u některých uhlí k samovznícení dochází a u jiných ne, neboť dosud používaná kritéria nejsou zcela spolehlivá a je zde tedy stále co zkoumat. Uhlí uložená na skládkách anebo v uhelných odvalech zvětrává. Jak dokládá Taraba (2003), zvětralá uhlí jsou náchylnější k oxidaci (samovznícení). Hořící a vyhořelé odvaly představují ekologické riziko v celé historii své existence.
- 2) Zásadním problémem, je stanovení podílu uhelné hmoty jako dispergované uhelné hmoty v horninách (především v jílovcích a prachovcích). V případě hlušín se této problematice věnoval Kresta (2003). Za zmínku stojí, že hodnota ztráty hmotnosti po

vypálení hlušin po požáru odvozená z průměrné hodnoty objemové hmotnosti nevypálených hlušin pro hlušiny z OKR, která je $1660 \pm 10\% \text{ kg.m}^3$ se po výpalu sníží na hodnotu $1330 \pm 10\% \text{ kg.m}^3$, znamená to, že obsah spalitelných látek a reakčních produktů je cca 17 - 25%

- 3) Pomocí matematického modelování a modelování na ekvivalentních materiálech byly studovány termické procesy probíhající v odvalech. Byl připraven program TEBILOD vycházející z předpokladu, že hlušinový odval není tepelně alterovaný, takže vypočtené latentní teplo odvalu a jeho teplota jsou maximální.
- 4) Objem odvalu Hedvika je odhadován na $150\,000 - 4\,200\,000 \text{ m}^3$. Při předpokládané objemové hmotnosti uhelné hlušiny 1500 kg.m^{-3} to činí cca $4\,725\,000 - 6\,300\,000 \text{ t}$. Za předpokladu, že v uhelném odvalu je 10% uhelné hořlaviny a její spalné teplo je 34700 MJ/t , množství latentního tepla v tomto odvalu je cca $(4,75 \cdot 10^6 \times 0,10 \times 3,47 \cdot 10^4 \text{ t.MJ.t}^{-1} = \text{cca } 1,65 \cdot 10^{10} - 2,19 \cdot 10^{10} \text{ MJ})$. Tento rozsah odpovídá $4,60 - 6,11 \cdot 10^6 \text{ kWh}$. S bezztrátovým využitím tohoto tepla vzniklého spálením veškeré uhelné hmoty v odvalu by mohla 1 rok pracovat elektrárna s výkonem cca $525 - 697 \text{ MW}$. ($1 \text{ MJ} = 2,778 \cdot 10^{-4} \text{ MWh}$, $1 \text{ rok} = 8760 \text{ hod}$).
- 5) Stanovit jednoznačné závěry z dlouhodobého termického monitoringu je velmi obtížné. Jak již bylo uvedeno, termické procesy jsou nevyzpytatelné a jejich průběh je variabilní. Celkově lze konstatovat, že nejvyšší absolutní teplota byla naměřena v srpnu 2013 v sondě TM 97, která dosáhla 732°C v hloubce 3 m.
- 6) Stav termické aktivity lze ve sledovaném období (2011-2013) na základě hodnot naměřených na většině stávajících sond charakterizovat jako celkem stabilizovaný s pokračujícím mírným trendem poklesu.
- 7) Určité anomálie lze pozorovat v prostoru areálu společnosti Canis Safety a.s. V květnu 2013 se zde uskutečnily sanační práce a realizovala se měření teplot u vstupní brány B budovy skladovací haly č. 10. V září 2013 zde byla naměřena teplota 380°C . Vzhledem k tomu, že se v červnu 2013 zde byla teplota 225°C , jedná se o výrazný nárůst teploty, který svědčí o aktivním termickém procesu. Při dalším nárůstu již hrozí další poškození konstrukce skladovací haly č. 10 v daném místě.
- 8) Zvýšenou pozornost je nutno zaměřit na areál společnosti Canis Safety a.s. Zde došlo v průběhu dlouhodobého monitoringu k poškození skladovací haly č. 10. I přes celkový pokles teplot je zde minimálně jedno místo s vysokou termickou aktivitou (vstupní brána B skladovací haly č. 10).

6. LITERATURA

A.s. 1093824 SSSR, MKI E 21 F 5/00 Sposob tušenija gorjaščich otvalov

A.s. 1298397 SSR, MKI E 21 F 5/00 Ustrojstvo dlja tušenije porodnyh otvalov

AMIJAYA, H., LITTKE, Ralf.: Properties of thermally metamorphosed coal from Tanjung Enim, Area, South Sumatra Basin, Indonesia with special reference to the coalification path of macerals. International Journal of Coal Geology, 2006, vol. 66, no. 4, s. 271-295. ISSN 0166-5162.

ADAMUS, A., in KRESTA, F., LANGROVÁ, P., TRÁVNÍČKOVÁ, E.: Racionální využití ložisek kameniva z odvalů uhelných ložisek, Záv. zpráva, MS, MPO FD-K/047: Minimalizace negativních důsledků v energetické činnosti. SG - Geotechnika, a.s., 183 str., Ostrava, 2003.

BABUŠEK, M., ŠVRČULA, M.: Zahlazování následků hornické činnosti – sanace odvalů se záparem. Uhlí, rudy, geologický průzkum, 12, 2001, s. 32-34, Praha.

BAKALA, J. a kol.: Dějiny Ostravy. Nakl. Sfinga, 1993, ISBN 80-85491-39-7.

BANERJEE, S.C.: Spontaneous Combustion of Coal and Mine Fires, Oxford & IBH Publishing Co., 1985, ISBN 81-204-0046-1.

BANERJEE, S.C.: Prevention and Combating Mine Fires, A.A. Balkema, Rotterdam, 2000, ISBN 9058092127.

BEIER, E.: Zur Oxidation von Steinkohle und Pyrit an Luft, Gluckauf-Forschungshefte **61**, 2000, s. 88.

BROOKS, J.D., TAYLOR, G.H.: Development of order in the formation of coke, Coal Science 35, 1965, s.549-563.

CALEMMA, V., IWANSKI, P., RAUSA, R., GIRARDI, E.: Changes in coal structure accompanying the formation of regenerated humic acids during air oxidation, Fuel 73, 1994, s. 700.

COLAIZZI, G.J.: Prevention, kontrol and/or extinguishment of coal seam fires usány cellular grout, International Journal of Coal Geology, Volume 59, Issues 1-2, 12 July 2004, pp 75-81

CARPENTER, D.L., SERGEANT, G.D.: The initial stages of the oxidation of coal with molecular oxygen III – Effect of particle size on rate of oxygen consumption, Fuel 45, 1966, s. 311.

CLEMENS, A.H., MATHESON, T.W., ROGERS, D.E.: Low temperature oxidation studies of dried New Zealand coals, Fuel 70, 1991, s. 215.

COOPER, J.R., CRELLING, J.C., RIMMER, S.M., WHITTINGTON, A.G. Coal metamorphism by igneous intrusion in the Raton Basin, CO and NM: Implication for generation of volatiles. International Journal of Coal Geology. 2007, vol. 71, no. 1, s. 15-27. ISSN 0166-5162.

COPARD, Y., DISNAR, J.R., BECQ-GIRAUDON, J.F., LAGGOUN-DÉFARGE, F.: Erroneous coal maturity assessment caused by low temperature oxidation. International Journal of Coal Geology, 2004, vol. 58, no. 3, s. 171-180. ISSN 0166-5162.

CRONAUER A KOL., 1983, D.C., RUBERTO, R.G., SILVER, R.S., JENKINS, R.G., ISMAIL, I.M.K., SCHLYER, R.G.: Liquefaction of partially dried and oxidized coals, 1. Coal drying and oxidation. Fuel 62, 1983, s.1116.

CYGANKIEWICZ, J.: Badanie sklonnosti polskich wegli do samozapalenia metoda testu adiabatycznego, in Sb. Větrání a bezpečnost dolů, str. 22, VŠB-TU Ostrava, říjen 2000

DAVIDSON, R.M.: Natural oxidation of coal, IEA Coal Research, 1990, ISBN 92-9029-181-8

DENBY, B., REN, T.X.: A knowledge-based decision support system for spontaneous combustion control, *The Mining Engineer*, March (1992) s.253.

DOBAL, V., VALEŠKA, F.: Výběr metod pro stanovení aktivity hnědých uhlí ke kyslíku, *Výzk. zpráva, ÚGG ČSAV, Praha* 1982.

DOPITA, M., et al.: Geologie české části hornoslezské pánve, a AUST et al.: Odkrytá geologická mapa paleozoika české části hornoslezské pánve 1:100 000 – Ministerstvo životního prostředí České republiky, 280 s. + přílohy, Praha, 1997.

FENG, K.K., CHAKRAVORTY, R.N., COCHRAINE, T.S.: Spontaneous combustion, a coal mining hazard, *CIM Bulletin* 66, 1973, s. 75.

FRANK, O.: Aspects of surface and environment protection in German mining areas, *Science and Technology (China)*, Volume 19, Issue 5, September 2009, Pages 615-619.

GOODARZI, F., MURCHISON, D.G.: Optical properties of carbonized vitrinites, *Fuel* 51, 1972, s.322-328.

HAIHUI, W., DLUGOGORSKI, B.Z., KENNEDY, E.M.: Coal oxidation at low temperatures: oxygen consumption, oxidation products, reaction mechanism and kinetic modelling, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 29, Issue 6, 2003, Pages 487-513.

HÁJOVSKÝ J.: Problematika hořících odvalů.- *SG-Geoinženýring*, 03/2001

HÁJOVSKÝ J.: Projektová dokumentace průzkumu termických procesů a monitoringu stavby odvalu Heřmanice.- *SG Geoinženýring*, 09/2002

HÁJOVSKÝ J.: Termické procesy důlních odvalů, průmyslových a domovních skládek.- *SG Geoinženýring*, 03/2004

HAMILTON, E.I.: Environmental variables in a holistic evaluation of land contaminated by historic mine wastes: a study of multi-element mine wastes in West Devon, England using arsenic as an element of potential concern to human health, *The Science of The Total Environment*, Volume 249, Issues 1-3, 17 April 2000, Pages 171-221.

HAVLENA, V.: Geologie uhelných ložisek, díl 2, Nakl. ČSAV, s. 440, Praha, 1964

HARAŠTA, M.: Klasifikace uhelných slojí z hlediska jejich náchylnosti k samovznícení-MS, *VZ VVUÚ Ostrava - Radvance*, 1977.

HARAŠTA, M., TARABA, B.: Tepelný efekt oxidace uhlí, *Acta Montana*, č.67, 1984, 5-10, ÚSMH AV ČR, Praha

HRANOŠ, B., HUDECZEK, M., GIECEK, M.: Nová metoda zjišťování raného stádia samovznícení v důlních dílech uhelných dolů pomocí termovizního měření v kombinaci se zjišťováním úrovně vývinu oxidu uhelnatého, *Uhlí* 39, 1991, s. 91.

HUANG, J., BRUINING, J., WOLF, H.A.A.: Modeling of gas flow and temperature fields in underground coal fires, *Fire Safety Journal*, Volume 36, Issue 5, July 2001, Pages 477-489

HUGGINS, F.E.: Overview of analytical methods for inorganic constituents in coal, International Journal of Coal Geology, Volume 50, Issues 1-4, May 2002, Pages 169-214

ISMAIL, I.M.K., WALKER, Jr, P.L.: DSC and TGA measurements of O₂ interaction with coal chars, Fuel 68, 1989, s. 1456.

IVANOVA, V.P., KASATOV, B.K., KRASAVINA, T.N., ROZINOBA, E.L.: Termičeskij analiz mineralov i gornych porod, Nedra, Moskva, 1974, str.398

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

CHOUDHURY, N., BORAL, P., MITRA, T., ADAK, A.K., CHOUDHURY, A., SARKAR, P.: Assessment of nature and distribution of inertinite in Indian coals for burning characteristics International Journal of Coal Geology, Volume 72, Issue 2, 1 October 2007, Pages 141-152

CHOUDHURY, N., BISWAS, S., SARKAR, P., KUMAR, M., GHOSAL, S., MITRA, T., MUKHERJEE, A., CHOUDHURY, A.: Influence of rank and macerals on the burnout behaviour of pulverized Indian coal, International Journal of Coal Geology, Volume 74, Issue 2, 3 April 2008, Pages 145-153.

ISMAIL, I.M.K., WALKER Jr., P.L.: Rates and heats of oxygen chemisorption on Saran chars at 100°C, J.Coll. and Interfac. Sci. 75, 1980, s. 299.

ISMAIL, I.M.K., WALKER Jr., P.L.: DSC and TGA measurements of O₂ interaction with coal chars, Fuel 68, 1989, s.1456.

KIM, A.G.: Locating fires in abandoned underground coal mines, International Journal of Coal Geology, Volume 59, Issues 1-2, 12 July 2004a, Pages 49-62

KIM, A.,G.: Cryogenic injection to control a coal waste bank fire, International Journal of Coal Geology, Volume 59, Issues 1-2, 12 July 2004b, Pages 63-73

KLIKA, Z., KRAUSSOVÁ, J. Properties of altered coals associated with carboniferous red beds in the Upper Silesian Coal Basin and their tentative classification. Int.J. Coal Geol.. 1993, vol. 22, no. 3- 4, s. 217-235. ISSN 0166-5162.

KLIKA, Z.: Geochemistry of Coal from Region of the Red Beds Bodies of the Upper Silesian Coal Basin, Spec. Publ. VŠB-TU, 1998, 85 s., Ostrava, ISBN 80 -7078 – 539 – X.

KLIKA Z. – KRAUS M. - MARTINEC P. (2011): Hořící uhelné odvaly. II. Výpočet tepelných bilancí na uhelném odvalu Hedvika.- VŠB TU Ostrava.

KLIKA, Z., KOZUBEK, T., MARTINEC, P., KLIKOVÁ, CH., DOSTÁL, Z.: Mathematical modeling of three bituminous coal seams burning out at contemporary formation of the variegated beds body. International Journal of Coal Geology 59, 2004, 137-151.

KOSSOV, I.I., ALEXANDROV, I.V., KAMNEVA, A.I.: Burye ugli kak prirodnye elektronoiono obmenniki, Chimija tverdogo topliva, č. 4, 1984, s. 41.

KRÁLÍK, J., POLICKÝ, J.: Stopové prvky ve slojích ostravsko-karvinského revíru, Sborník vědeckých prací Vysoké Školy báňské, řada horn.- geol., 6, 1960, 365-383, Ostrava.

KRÁLÍK, J.: Tepelné změny uhlonosných sedimentů při požárech důlních odvalů a přírodním hoření uhelných slojí, Sborník vědeckých prací Vysoké Školy Báňské, řada hornicko-geologická, XXX, 1, 1984, Ostrava.

KRATOCHVÍLA, L., MARTINEC, P., KRATOCHVÍLOVÁ, L.: Ostrava – Karviná – Studie: Možnosti posouzení výroby netradičního drceného kameniva, MS., Výzkumná Zpráva, 0293000712 365 3803 1, Unigeo a.s. Ostrava, 1994.

KRAUSE, E. a kol.: Technologie der Keramics, Band 1 – 4. Verlag fuer Bauwesen , 1982-1988, Berlin.

KRESTA, F.: Obsah spalitelných látek a náchylnost k samovznícení hlušínové sypaniny, Geotechnika, 1, 2003, str. 7-12, 2003

KRESTA, F.: Racionální využití kameniva z odvalů uhelných ložisek, souhrnná závěrečná zpráva, MS Stavební geologie – Geotechnika a.s., 2003

KRESTA, F.: Hlušínová sypanina v násypech dálnice D47 - srovnání teoretických předpokladů a skutečnosti, Sborník konference Technická problematika výstavby dálnice D47, 2005, VŠB-TU Ostrava.

KRESTA F.: Výsledky poloprovozního jímání tepla z hořícího odvalu Hedvika v Ostravě.- Recyklace odpadů XVI Ostrava, 2012

KRESTA F. – HÁJOVSKÝ J.: Long-term temperature monitoring of the Ema tip in Ostrava (Czech republic).- Proceedings of the 2nd International Conference on Coal Fire Research (ICCFR2), Berlin, 2010.

KRESTA F. – HÁJOVSKÝ J.: Odval Hedvika – Dlouhodobý monitoring termické aktivity. Hodnotící zpráva 2012.- ARCADIS Geotechnika a.s.

KUBÍČEK P. a kol.: Teorie teplotních polí odvalů se záparem a její aplikace v praxi.- VŠB-TU Ostrava 2005

KUERTTEN et al.: Geothermal utilisation of smouldering mining dumps as a substitute of fossil fuels.- Proceedings of the 2nd International Conference on Coal Fire Research (ICCFR2), Berlin, 2010

KURKOVÁ, M., KLIKA, Z., MARTINEC, P., PĚGRIMOČOVÁ, J.: Composition of bituminous coal in dependence on environment and temperature of alteration, Bull. Czech Geol. Survey, roč. 78, 1, 2003, s. 23 – 34, Praha.

KURKOVÁ, M., KLIKA, Z., KLIKOVÁ, CH., HAVEL, J.: Humic acids from oxidized coals: I, Chemosphere, roč. 54.,5, 2004, s. 301-314. Praha.

LÍČKA, M., HORÁK, J. et al.: Stanovení technických a společensko-ekonomických podmínek pro základková hospodářství dolů z hlediska zakládání vyrubaných prostorů, ZZ SÚ P-10-125-402/012 MS, VVUÚ Ostrava - Radvanice, 1986, 97 s., Ostrava.

LÍČKA, M.: Metody prevence, kontroly a likvidace termických procesů v hlušínách na odvalech a tělesech zemních staveb.- MS VVUÚ Ostrava - Radvanice, 1998, Ostrava

LIOTTA, R., BRONS, G., ISAACS, J.: Oxidative weathering of Illinois No. 6 coal, Fuel 62, 1983, s. 781.

LOTTERMOSER, B.G.: Mine waste – Characterization, Treatment and Environmental Impacts, Springer, 2003, 277 stran.

MAKARIUS, R., HOFBAUER, I.: Zdolávání požárů v hlubinných dolech, SNTL Praha, 1984.

MARINOV, V.H.: Self-ignition and mechanisms of interaction of coal with oxygen at low temperatures. 3. Changes in the composition of coal heated in air at 60°C, Fuel 56, 1977, s. 165.

MARTINEC, P.: Vztah střední odraznosti vitrinitu R_o k obsahu prchavé hořlaviny v hořlavině Vdaf černých uhlí české části hornoslezské pánve, Documenta Geonica 1999, Proc. 4th Czech-Polish Conference about Carboniferous Sedimentology and The 2nd Czech-Polish Geomechanical Symposium (ed. Kožušníková A.), ÚGN AV ČR, 1999, 79 – 89, Ostrava.

MARTINEC, P.: Odparky a stabilita porcelanitu na odvalu Dolu Kateřina. MS., Technická zpráva k HS 361/01/10 pro Energie báňská a stavební, 2001, Kladno.

MARTINEC, P., HONĚK, J., STANĚK, F.: Bituminous coal of the Czech part of the Upper Silesian Basin – relationship between mean vitrinite reflectance R_o and content of volatile matter Vdaf and content of Carbon, hydrogen and Nitrogen, Carboniferous and Permian of the World, XIV ICCP Proceedings, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 19, (eds. Hills, L. V., Henderson, Ch.M., Bamber E.W.), 2002, s. 902-910, Calgary.

MARTINEC, P., HORTVÍK, K., LATOVÁ, A., MANÍČEK, J., KRŮL, M., SCHEJBALOVÁ, B., ŠNUPÁREK, R., VOJVODÍLKOVÁ, B.: Atlas map vlivu útlumu hlubinné těžby černého uhlí v české části hornoslezské pánve na povrch a životní prostředí, DOCUMENTA GEONICA, 2003, ÚGN AV ČR Ostrava, 2003, 108 stran +CD ROM, Ostrava.

MARTINEC, P., JIRÁSEK, J., KOŽUŠNÍKOVÁ, A., SIVEK, M.: Atlas uhlí české části hornoslezské pánve, Pro ÚGN AV ČR Ostrava, 2005, vydal Anagram Ostrava + CD ROM.

MARTINEC, P., HONĚK, J., ŽIVOR, R.: Vliv útlumu hlubinného hornictví na povrch a životní prostředí, Pro ÚGN AV ČR Ostrava, 2006, vydal Anagram Ostrava.

MASTALERZ, M., DROBNIÁK, A., SCHIMMELMANN, A.: Changes in optical properties, chemistry, and micropore and mesopore characteristics of bituminous coal at the contact with dikes in the Illinois Basin. International Journal of Coal Geology. 2009, vol. 77, no. 3-4, s. 310-319. ISSN 0166-5162.

MEDEK, J., WEISHAUPTOVÁ, Z.: Kohézní energie jako iniciátor samovolného zvyšování teploty uhlí, in Sb. 2. celostátní konference „Samovolné vzněcování uhlí v teorii a praxi“, ÚGG ČSAV, Smilovice 15. – 17. května 1989.

MATÝSEK, D., RACLAVSKÁ, H.: Vznik sulfátové mineralizace na odvalech a její vliv na kvalitu spodních vod OKR, Uhlí – Rudy – Geologický průzkum, 6, 1999, 7-8: 8–16, Praha.

MATÝSEK, D., RACLAVSKÁ, H.: Sledování vlivů odvalového materiálu na životní prostředí v OKR, Sb. konf. Hornická a pohornická krajina Horního Slezska 2001, str. 114-122, VŠB-TU, Ostrava. (2001b)

MATÝSEK, D., RACLAVSKÁ, H.: Ověření metodiky pro hodnocení acidifikace odvalových materiálů v OKR, Uhlí, Rudy, Geologický průzkum, 4, 2003, str.3 -12, Praha.

MISZ, M., FABIAŃSKA, M., ĆMIEL, S.: Organic components in thermally altered coal waste: Preliminary petrographic and geochemical investigations, International Journal of Coal Geology 71 (2007) s.405-424. ISSN 0166-5162.

MORRIS, R., ATKINSON, T.: Seam factor and the spontaneous heating of coal, Mining Science and Technology 7, 1988, s. 105.

MOXON, N.T., RICHARDSON, S.B.: Development of a calorimeter to measure the self-heating characteristics of coal, Coal Preparation 2, 1985, s. 91.

MURCHINSON, D.G.: Petrographic aspect of coal structure: reactivity of maceral in laboratory and natural environment, Fuel 70, 1991, s.296-315.

NEAVEL, R.C., SMITH, E.J. HIPPO, E.J., MILLER, R.N. Fuel, 65 (1986), 312, in Van Krevelen (1993)

NICHOL, D., TOVEY, N.P.: Remediation and monitoring of a burning coal refuse bank affecting the Southsea Looproad at Brymbo, North Wales, Engineering Geology, Volume 50, Issues 3-4, October 1998, Pages 309-318

PALMER, A.D., CHENG, M., GOULET, C., FURIMSKY, E.: Relation between particle size and properties of some bituminous coals, Fuel 69, 1990, s. 183.

PANASEIKO, S.P.: Vlijanie vlagi na process nizkotemperaturnogo okislenija kamennyh uglej, Chimija tverdogo topliva, č.1, 1974, s. 26.

PETRÁNEK, J., DOPITA, M.: Prouhelnění slojí v ostravsko-karvinském revíru a jeho závislost na geologických činitelích, Sb. Ústř. Úst. geol., odd. geologický, svazek 22, 1955, 593 – 634, Praha.

QUEROL, X, IZQUIERDO, M., MONFORT, E., ALVAREZ, E., FONT, O., MORENO, T., ALASTUEY, A., ZHUANG, X., LU, W., WANG, Y.: Environmental characterization of burnt coal gangue banks at Yangquan, Shanxi Province, China, International Journal of Coal Geology, Volume 75, Issue 2, 7 July 2008, Pages 93-104

RACLAVSKÁ, H., MATÝSEK, D., ŠKROBÁNKOVÁ, H.: Problémové parametry při posuzování využitelnosti hlušin v OKR, Uhlí, rudy, geologický průzkum, 9, 2003, str. 20-26, Praha.

RAUSA, R., CALEMMMA, V., GHELLI, S., GIRARDI, E.: Study of low temperature coal oxidation by ¹³C CP/MAS NMR, Fuel 68, 1989, s. 1168.

REN, T.X., RICHARDS, M.J.: A computerised system for the study of the spontaneous combustion of coal, The Mining Engineer, November 1994 s. 121.

RIBEIRO, J., FERREIRA DA SILVA, E., FLORES, D.: Burning of coal waste piles from Douro coalfield (Portugal): Petrological, geochemical and mineralogical characterization, International Journal of Coal Geology, In Press, Corrected Proof, Available online 18 October 2009

SARANČUK, V.I.: Okislenie i samovzgoranie uglja, Naukova Dumka, Kijev, 1982.

SARANČUK, V.I. a kol.: Okislenie i samovozgoranie tverdogo topliva, Naukova Dumka, Kijev, 1994, ISBN 5-12-003993-6.

SAWICKI, T.: Spontaneous combustion in stock piles as a reason of a fire, Karbo 1, 2004, s.56-59 (in Polish).

SINGH, R.N.: A Practical system of classifying coal seams liable to spontaneous combustion, Journal of Coal Quality, July, 1986, s. 108.

SINGH, R.N., DEMIRBILEK, S.: Effect of sulphur and iron content on the spontaneous combustion of coal, Journal of Mines, Metals and Fuels 17, 1987, s. 354.

SMITH, M.A., GLASSER, D.: Spontaneous combustion of carbonaceous stockpiles. Part I: the relative importance of various intrinsic coal properties and properties of the reaction system, Fuel, Volume 84, Issue 9, June 2005, Pages 1151-1160

SOKOL, E. V., MAKSIMOVA, N.V., NIGMATULINA, E.N., SHYRYGIN. V.V., KALUGIN, V.M.: Combustion metamorphism, Publishing House of the SB RAS–Novosibirsk (2005) 284 pp. (in Russian).

SPEARS, D.A.: Role of clay minerals in UK coal combustion, Applied Clay Science, Volume 16, Issues 1-2, January 2000, Pages 87-95.

STONIŠ M.: Průzkum a monitoring termických procesů na odvalu Hedvika. Závěrečná zpráva, OKD DPB a.s., 2006

STRACHER, G.B., TAYLOR, T.P.: Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe, International Journal of Coal Geology, Volume 59, Issues 1-2, 12 July 2004, Pages 7-17.

STRACHER, G.B.: Elsevier atlas of coal fires and metamorphism. Elsevier (in print).

STRAKA, P.: Chemical structure of coal substance, Acta Montana, ISRM AS CR, 2003, Praha.

STUKALOVA, I.E., RUSINOVA, O.V.: Thermal alteration of coal in the Khasyn coalfield, Magadan region, Russia. International Journal of Coal Geology. 2007, vol. 71, no. 4, s. 462-470. ISSN 0166-5162.

SÝKOROVÁ, I., HAVELCOVÁ, M., KLIKA, Z., TREJTNAROVÁ, H., FOJTÍKOVÁ, M., ŠULC, A.: Uhlíkaté částice v odvalech po těžbě černého uhlí. Documenta Geonica, AVČR, Ostrava, 205-208, 2009. ISBN 978-80-86407-72-2.

ŠAFANDA, J. et al.: Paleogeothermics in the Czechoslovak part of the Upper Silesian basin, Geophys. J. Int, 1991, 104 :625-633.

ŠEBESTOVÁ, E., MACHOVIČ, V., HEMELÍKOVÁ, B., LANG, I.: Studium nízkoteplotní oxidace uhlí elektronovou paramagnetickou rezonancí a infračervenou spektroskopií, Uhlí 37, 1989, s. 15.

SOKOL, E.V., MAKSIMOVA, N.V., NIGMATULINA, E.N., SHYRYGIN, V.V., KALUGIN, V.M.: Combustion metamorphism, Publishing House of the SB RAS–Novosibirsk (2005) 284 pp. (in Russian).

STRACHER, G.B., TAYLOR, T.P.: Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe, International Journal of Coal Geology, Volume 59, Issues 1-2, 12 July 2004, Pages 7-17.

TARABA, B., ČÁP, K.: Studium uhelné hmoty pomocí plynové chromatografie, Uhlí 33, 1985, s. 278.

TARABA, B., ČÁP, K.: Oxidace uhlí z hlediska tepelného efektu, Uhlí 35, 1987, s. 205.

TARABA, B., DOBAL, V., ČÁP, K., HARAŠTA, M.: Differentiation of thermal effects during low temperature oxidation of coal, Fuel 67, 1988, s. 758.

TARABA, B., MARTINEC, P., DOPITA, M., KLIKA, Z., VĚŽNÍKOVÁ, H.: Výzkum uhelných slojí v oblasti pestrých vrstev z hlediska náchylnosti k samovzněcování, ZZ HS 24/22/10, HOÚ AV ČR Ostrava, 1992.

TARABA, B., TAUFER, A.: Thermovision as a tool of early detection of spontaneous heating of coal in mine openings, Proceedings of the 6th US Mine Ventilation Symposium, Salk Lake City, Utah, 21. - 23. červen 1993, s. 501.

TARABA, B., PAVLÍKOVÁ, H., MARTINEC, P., ŠEBERSTOVÁ, E., MACHOVIČ, V., KLIKA, Z.: Důvody zvýšené predispozice k samovzněcování oxidačně alterovaných uhlí, Uhlí – rudy – geologický průzkum 2, 1995, s. 371.

TARABA, B. et al.: Řešení problematiky zvýšené záparovosti uhelných slojí v oblastech s pestrými vrstvami, Uhlí - Rudy - Geologický průzkum, roč. 3, č. 3, 1996, s. 76 – 79, Praha. (1996a).

TARABA, B. et al.: Sledování plynodajnosti uhelné hmoty v laboratorních podmínkách metodou ÚGN AV ČR, Uhlí - Rudy - Geologický průzkum, roč. 3, č. 12, 1996, s. 382 – 384, Praha. (1996b)

TARABA, B., MARTINEC, P., DOPITA, M., KLIKA, Z.: Solution of problems connected with high spontaneous combustion susceptibility of oxidative altered bituminous coals, Bulletin of the Czech Geological Survey 74, 1999, s. 163.

TARABA, B.: Nízkoteplotní oxidace a samovzněcování uhelné hmoty. Ostravská universita, Ostrava 2003, 110 str.

TAYLOR, G.H., TEICHMÜLLER, M., DAVIS, A., DIESSEL, C.F.K., LITKE, R., ROBERT, P.: Organic Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart 1998.

TVRDÝ J., SEJKORA, J.: Novotvořené minerální fáze na hořícím odvalu v Radvanicích, Uhlí – Rudy – Geologický průzkum, 7, 3, 2000, 19-24, Praha.

URBAŃSKI, J.: Technical Recultivation of Mine Waste Dumps with Particular Consideration of Fire Protection, Training Materials, The Association of Mining Engineers and Technics, 1983 Katowice (in Polish), 61pp.

VAN KREVELEN, D.W.: Coal: Typology-Physics-Chemistry-Constitution, Elsevier, 1993, 979 pp.

VAŠENDA, A., KLÁT, J.: Katalog báňských hlušínových násypů a odvalů v ostravské části OKR, 1. část, č. 1-61, 1996, 1997, Památkový ústav Ostrava.

VEJPUSTKOVÁ, J.: Zlepšení ekologických podmínek uhelných revírů vhodným využíváním odpadních produktů, Sborník IV. Vědecké konference HGF-VŠB v Ostravě, sekce 6 – úprava druhotných surovin, 1990.

WAGNER, N.J.: The Abnormal Condition Analysis used to characterize weathered discard coals, International Journal of Coal Geology, Volume 72, Issues 3-4, 22 November 2007, Pages 177-186.

WANG, H., DŁUGOGORSKI, B.Z., KENNEDY, E.M.: Coal oxidation at low temperatures: oxygen consumption, oxidation products, reaction mechanism and kinetic modelling, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 29, Issue 6, 2003, Pages 487-513

WEISS, G.: K průběhu změn stupně prouhelnění s hloubkou v čs. části hornoslezské pánve, Sborník GPO, č.11/IV, Geologický průzkum n.p. Ostrava, 1976, s. 7-33, Ostrava.

WEISS, G.: Průběh změn stupně prouhelnění v závislosti na hloubce podle světelné odraznosti vitritu (R_o) stanovené z vrtných vzorků v čs. části hornoslezské pánve, Sborník GPO, č.22/XII, Geologický průzkum n.p. Ostrava, 1980, s. 29-36, Ostrava. (1980a)

WEISS, G.: Studium vztahu R_o/V_{daf} na základě vzorků uhlí z vrtů v průzkumných polích čs. části hornoslezské pánve, Sborník GPO, č.22/XII, Geologický průzkum n.p. Ostrava, 1980, s. 37 – 42, Ostrava. (1980b)

XUE, S., DICKSON, B., WU, J.: Application of ^{222}Rn technique to locate subsurface coal heatings in Australian coal mines, International Journal of Coal Geology, Volume 74, Issue 2, 3 April 2008, Pages 139-144

ZBORŠČIK M.P. – OSOKIN V.V. et al.: Samonagrevanie gornych porod i jeho predstavščenie. Ugol' Ukrainy, 1981, č. 2, str. 30-32

ZBORŠČIK M.P. – OSOKIN V.V. et al.: Ispolzovanie nových sposoboch tušenija porodných otvalov - neotložnaja zadač. Ugol' Ukrainy, 1985, č. 11, str. 30-32

ZBORŠČIK M.P. – OSOKIN V.V. et al.: Predstavščenie ekologičeski vědných projavlenij v porodach ugol'nyh mestoroždenij. Don GTU, Doněck, 199

ZBORŠČIK M.P. – OSOKIN V.V. et al.: Predstavščenie samovozgoranija gornych porod, vyd. TECHNIKA, Kijev, 1990


ZHANG, J., KUENZER, C.: Thermal surface characteristics of coal fires 1 results of in-situ measurements, Journal of Applied Geophysics, Volume 63, Issues 3-4, 5 December 2007, Pages 117-134.


V Ostravě, 30.11.2013



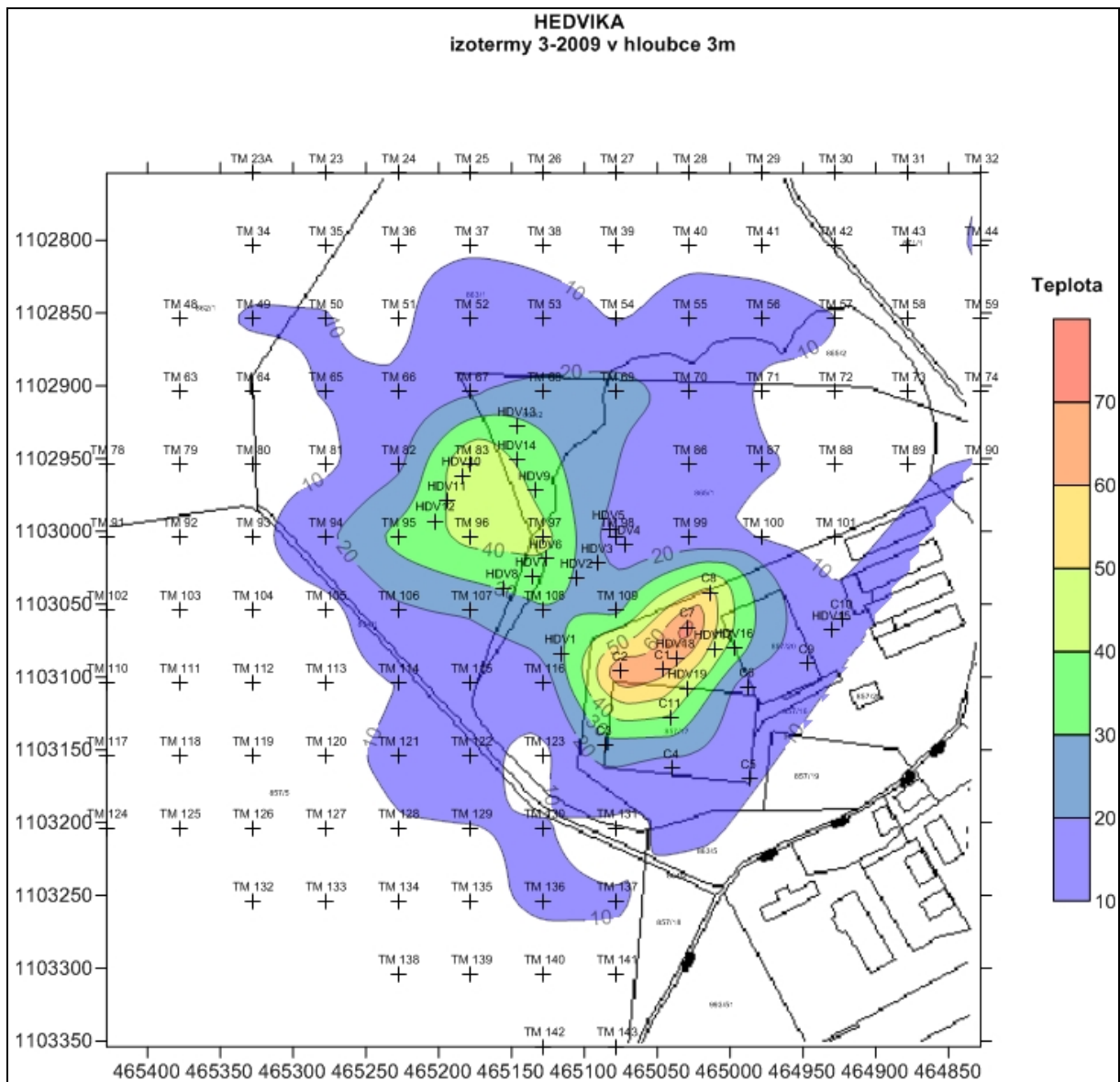
• Sondy termického monitoringu



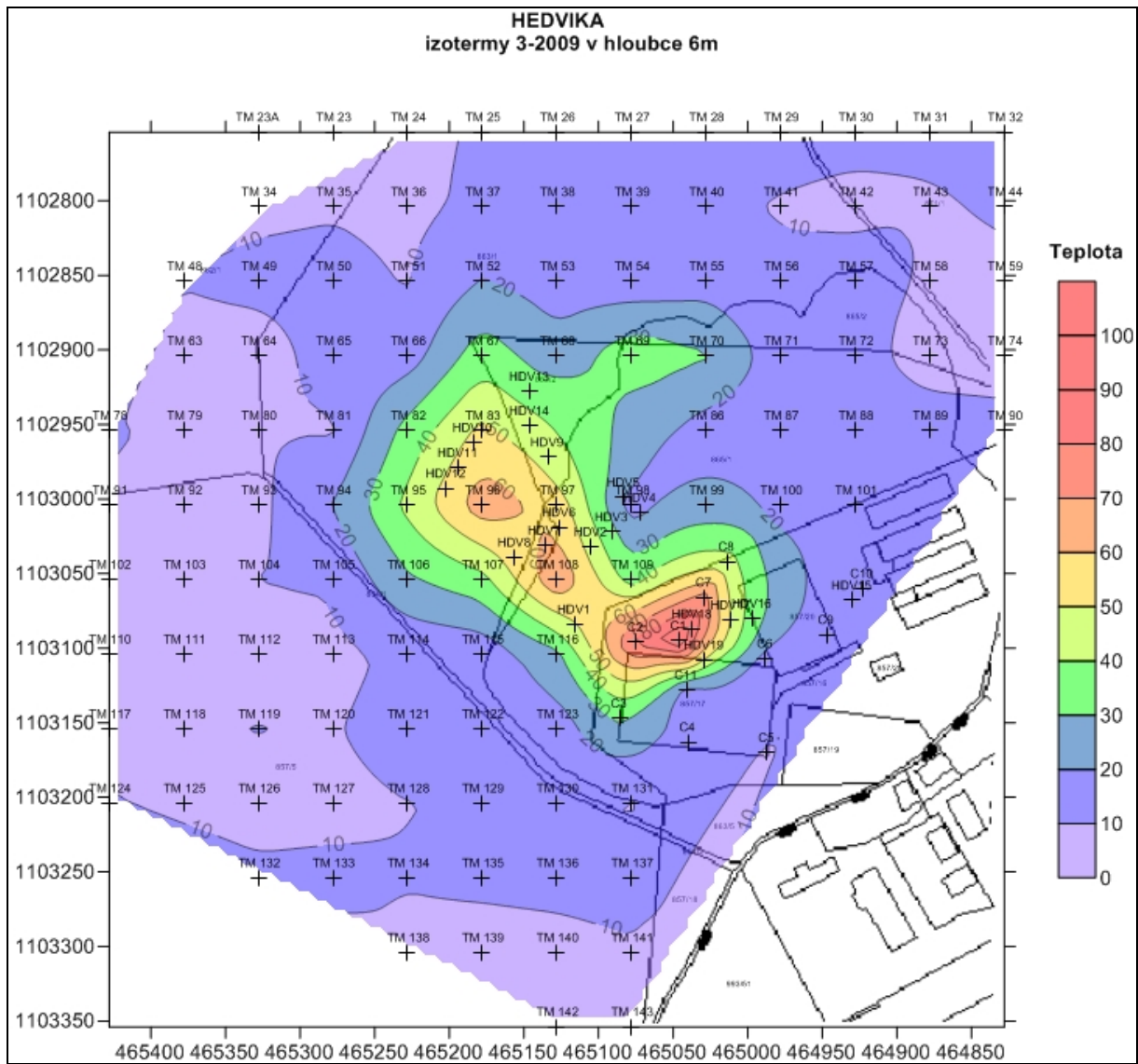
	ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika	
	Objednatel:	VŠB TU Ostrava, Fakulta elektrotechnická
Číslo zakázky:	Název zakázky:	TA01020282 Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření
13 0032 - 011	Měřítko:	1: 1000
ODVAL HEDVIKA - SITUACE SOND TERMICKÉHO MONITORINGU		Číslo přílohy:
		1.

	ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika			
	Objednatel:	VŠB TU Ostrava, Fakulta elektrotechnická		
Název zakázky:	TA01020282 Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření			
Číslo zakázky:	Zpracoval:	Schválil:	Počet listů:	Datum:
13 0032 – 011 13 0033 – 011	L. Keclík	RNDr. Kresta, Ph.D.	24	listopad 2013
ODVAL HEDVIKA – MAPY IZOTEREM				Číslo přílohy:
				2.

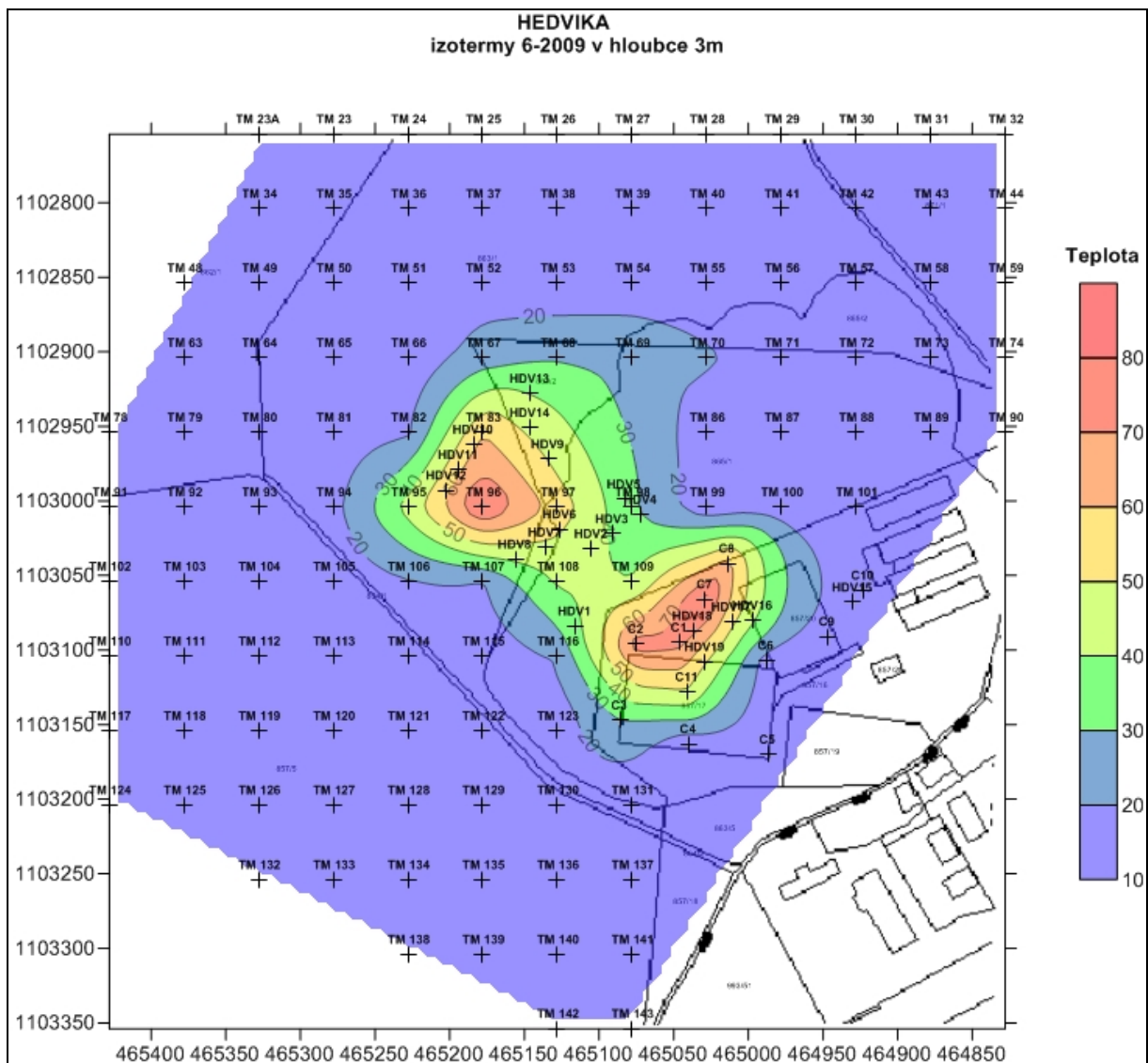
Obrázek 1 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (03/2009)



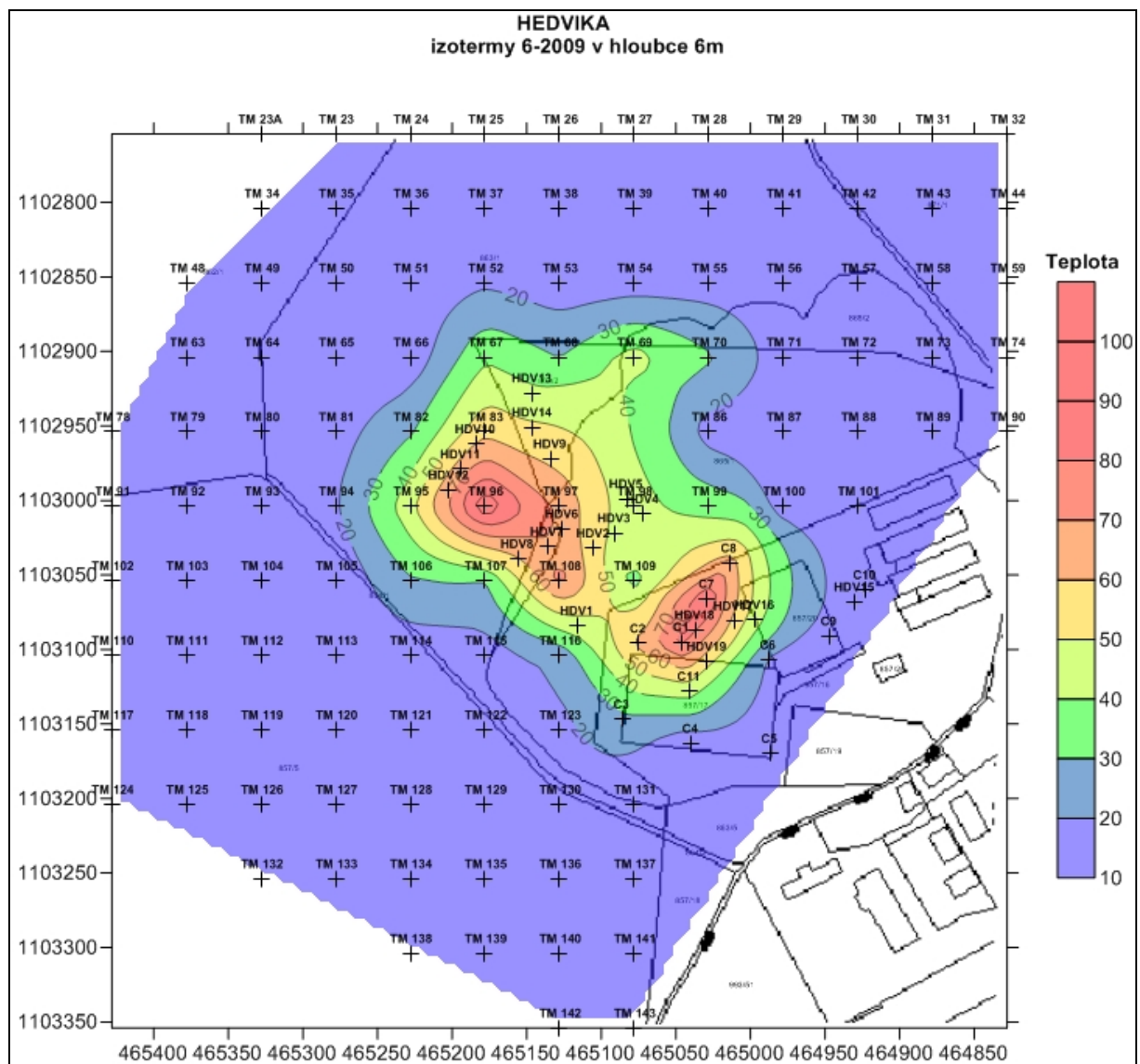
Obrázek 2 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (03/2009)



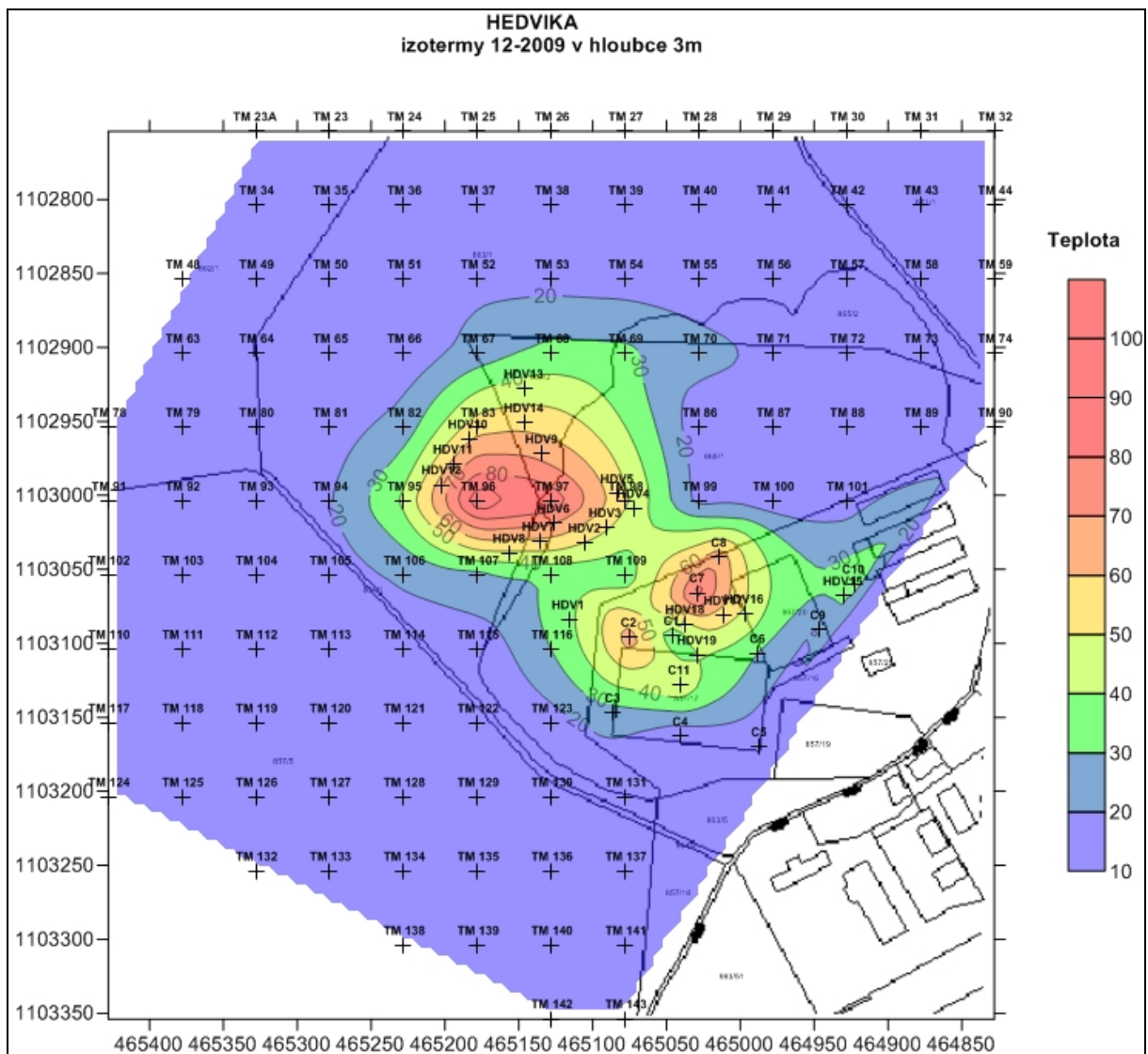
Obrázek 3 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (06/2009)



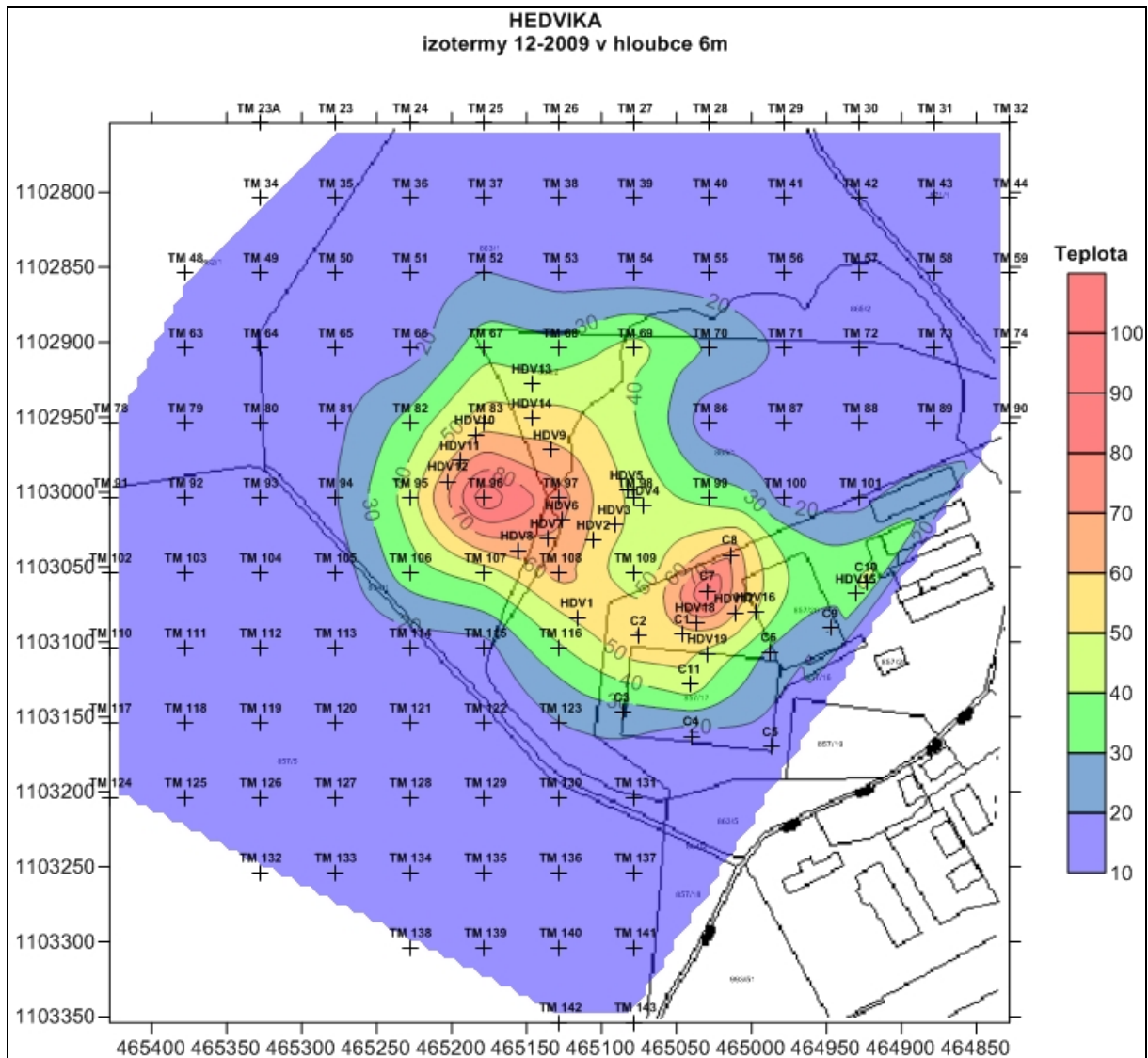
Obrázek 4 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (06/2009)



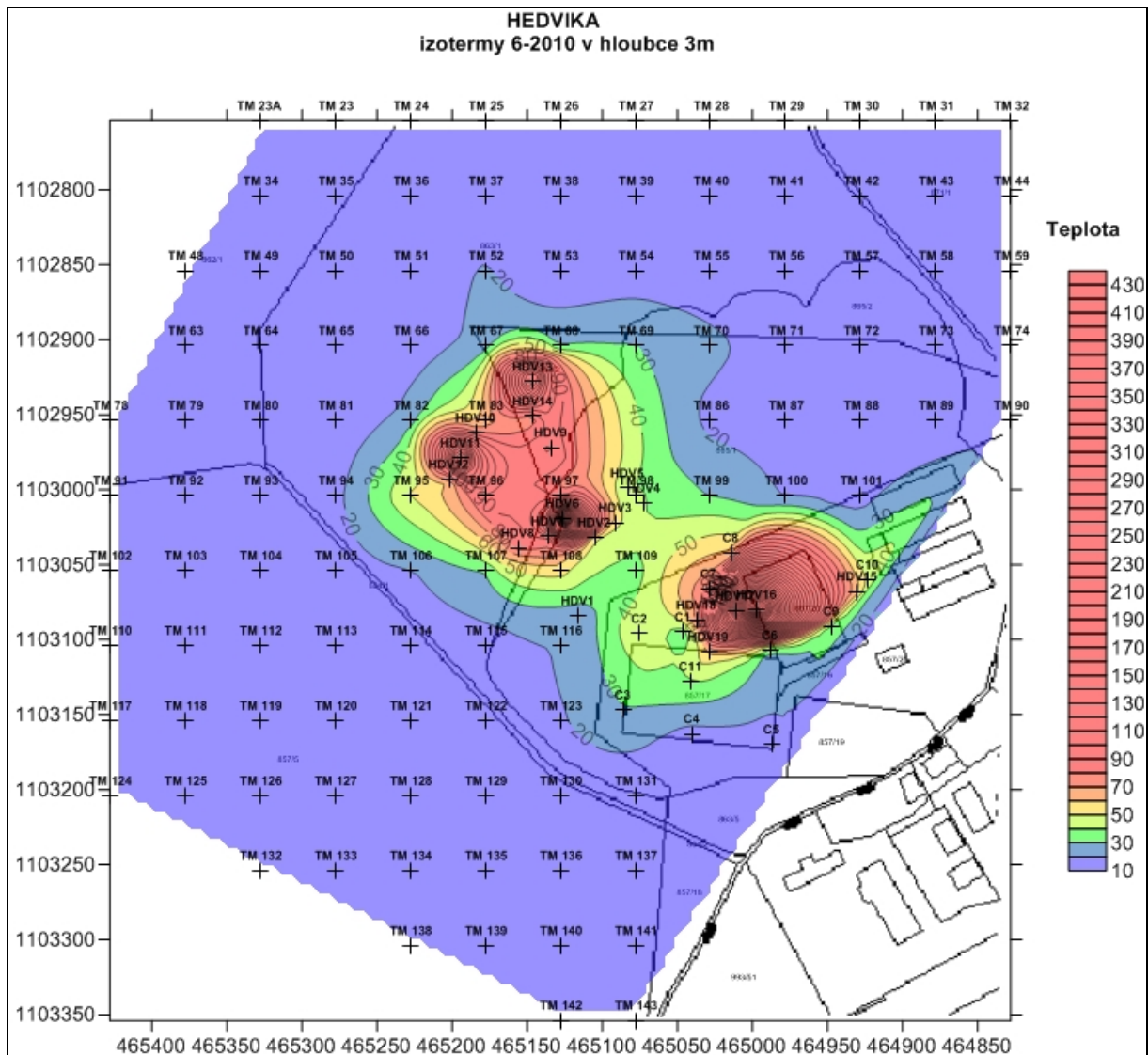
Obrázek 5 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (12/2009)



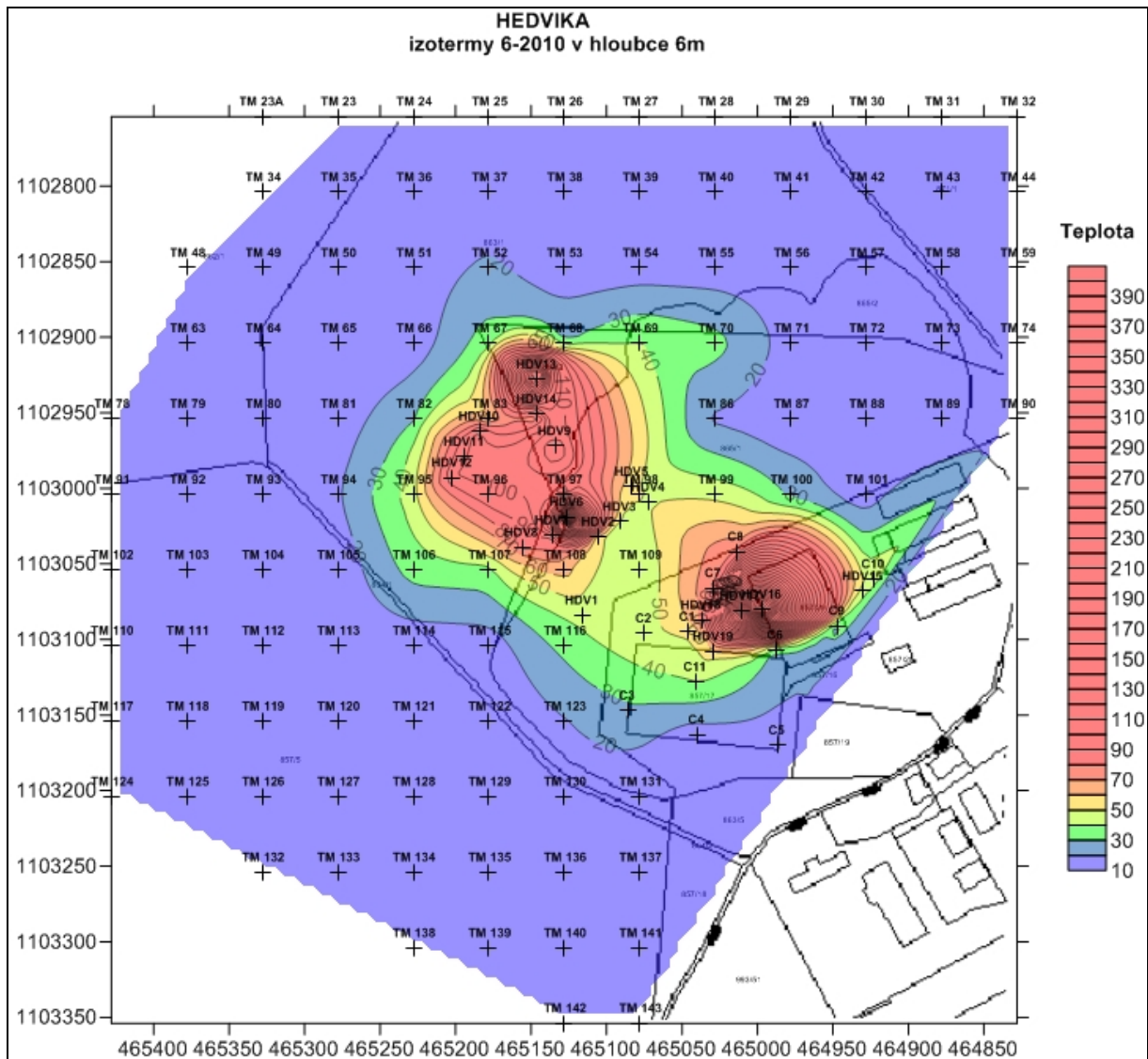
Obrázek 6 Odval Hedvika – izotermny v hloubce 6 m (12/2009)



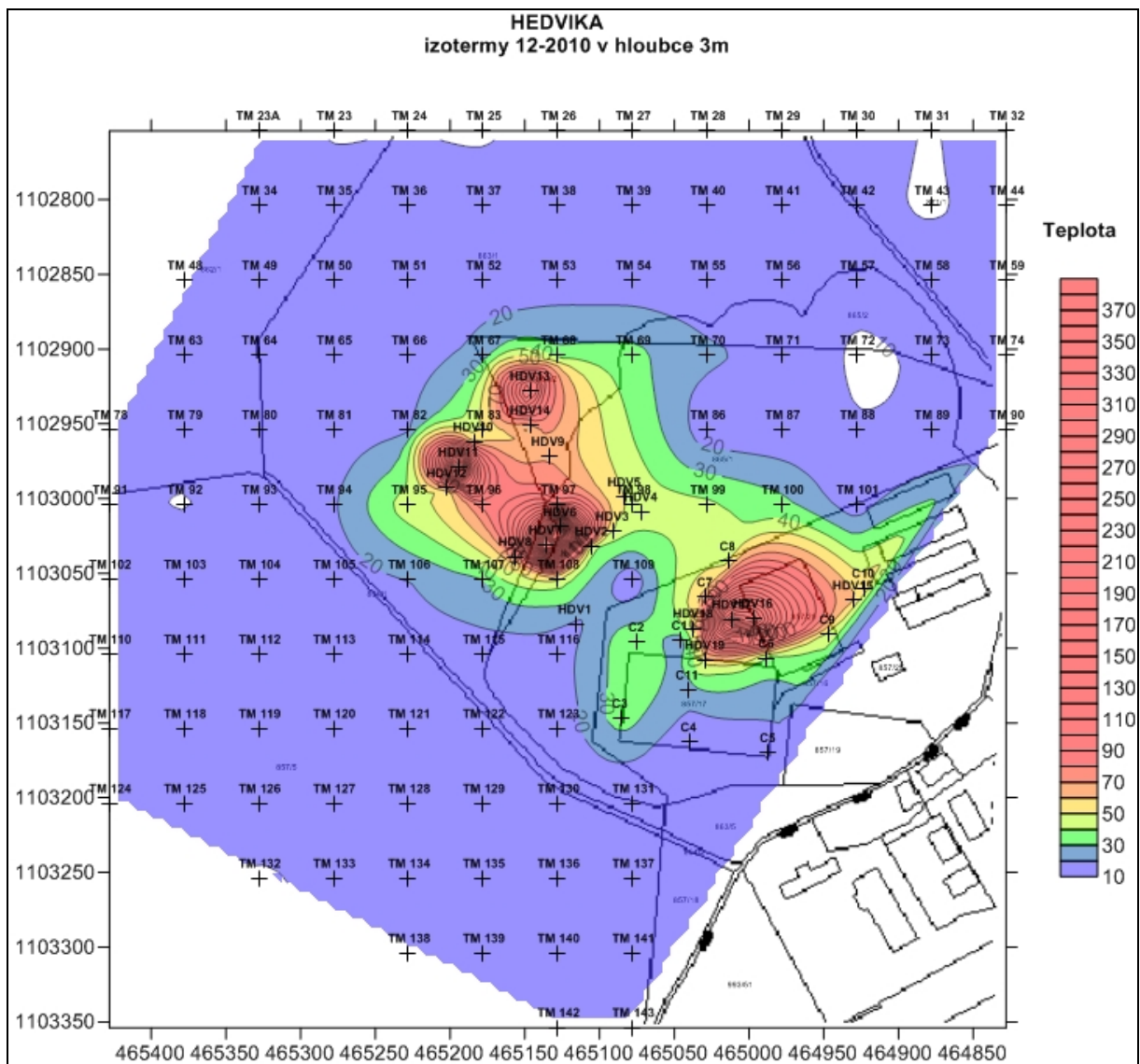
Obrázek 7 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (06/2010)



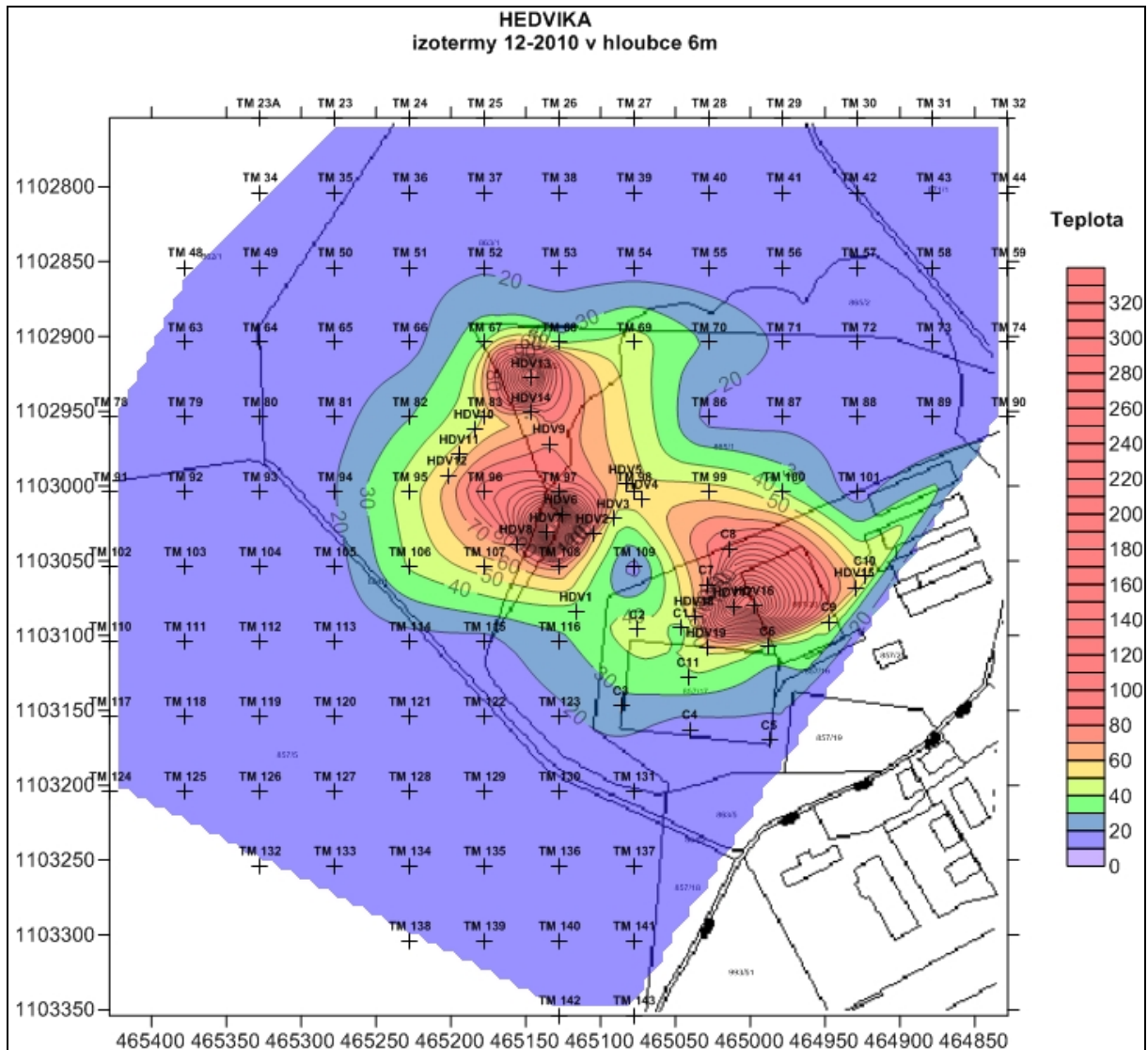
Obrázek 8 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (06/2010)



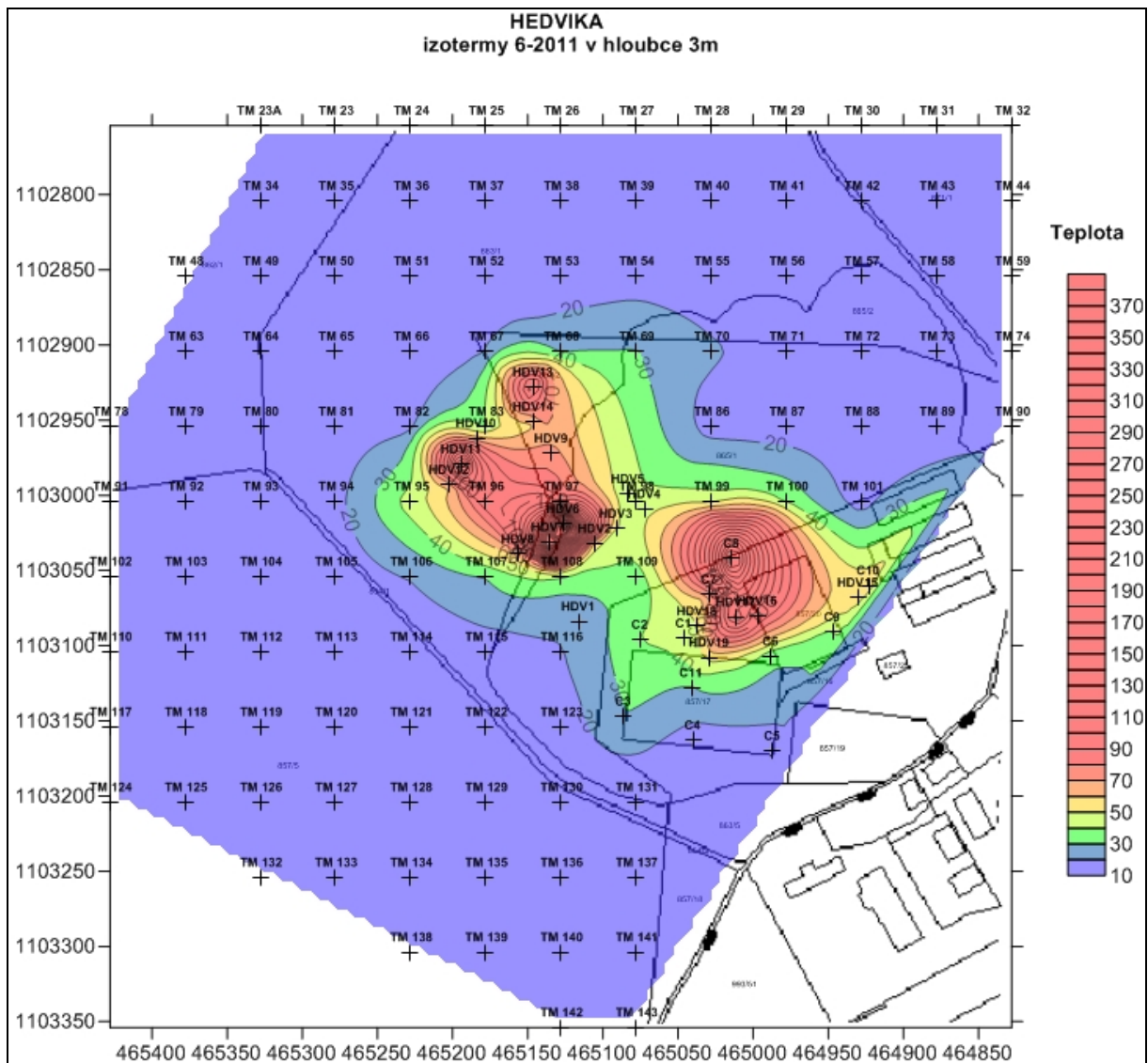
Obrázek 9 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (12/2010)



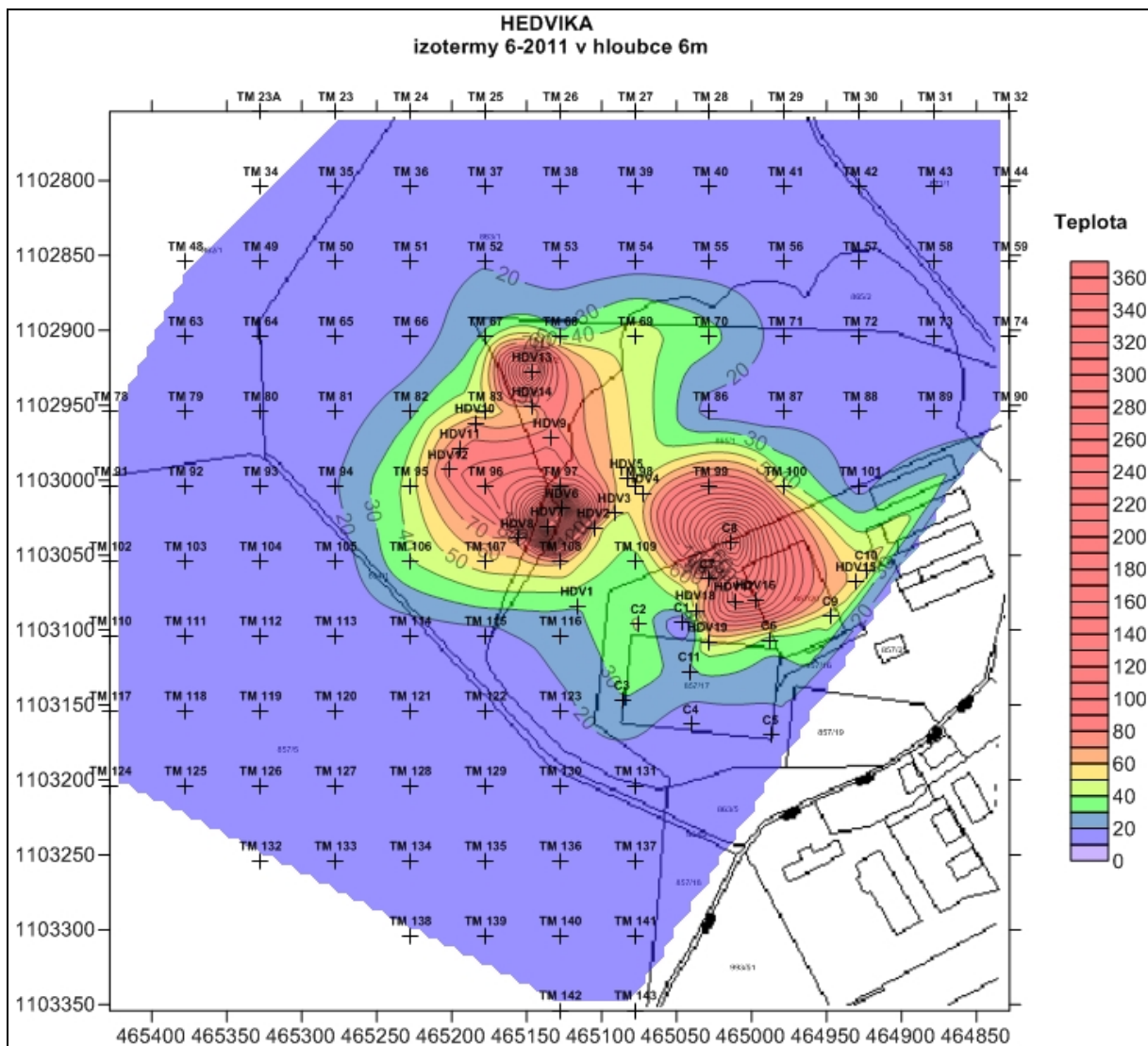
Obrázek 10 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (12/2010)



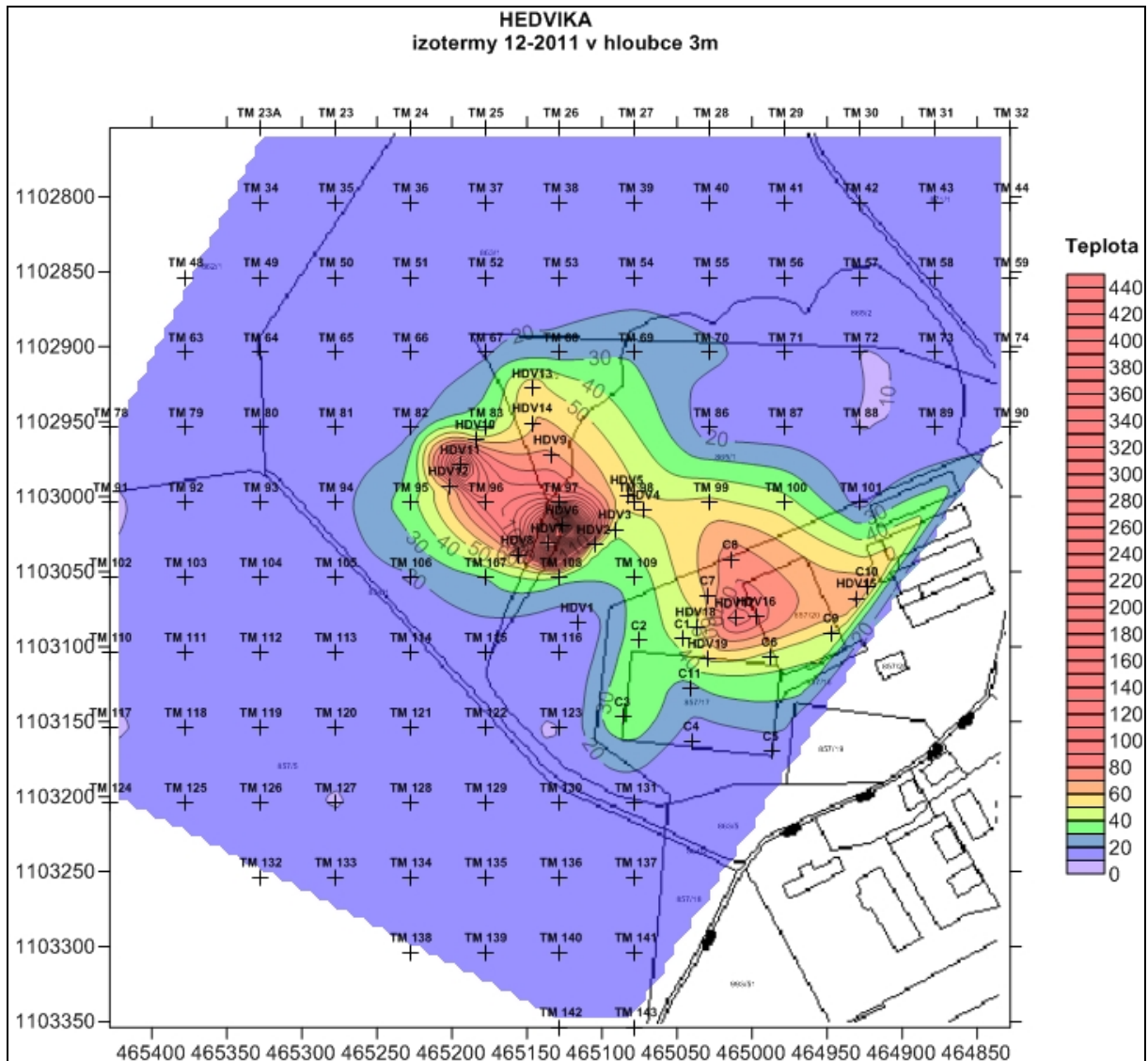
Obrázek 11 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (06/2011)



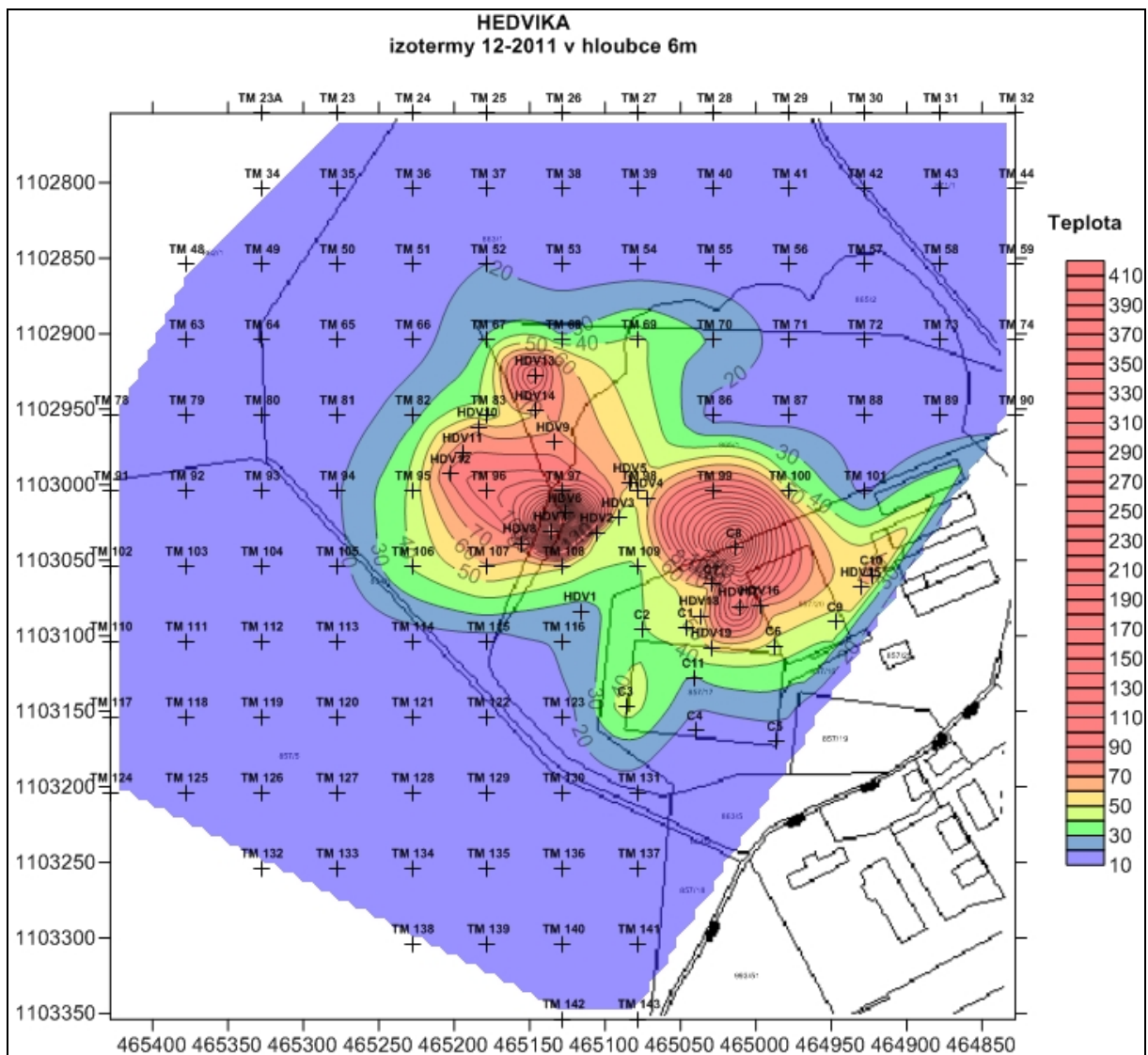
Obrázek 12 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (06/2011)



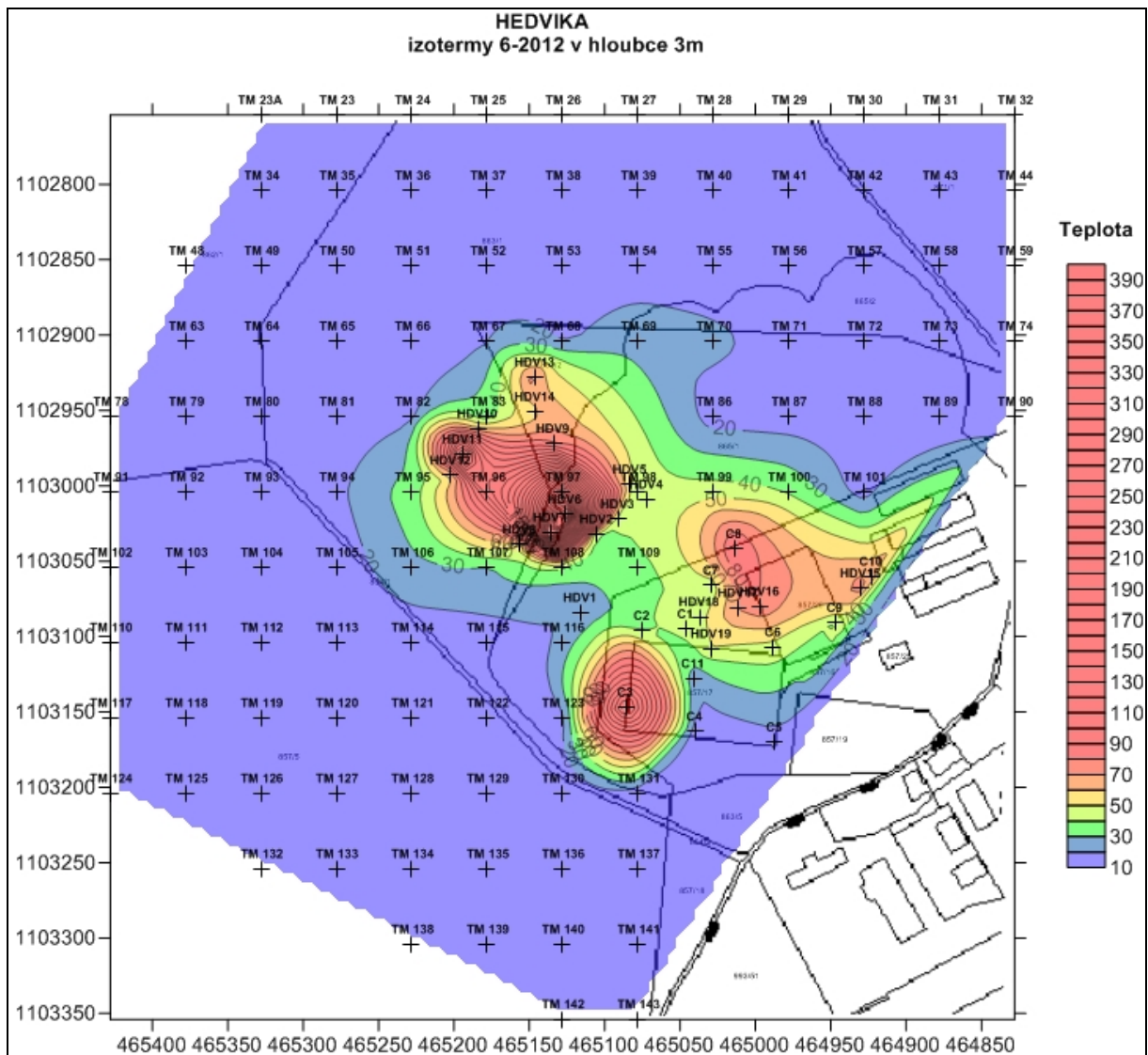
Obrázek 13 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (12/2011)



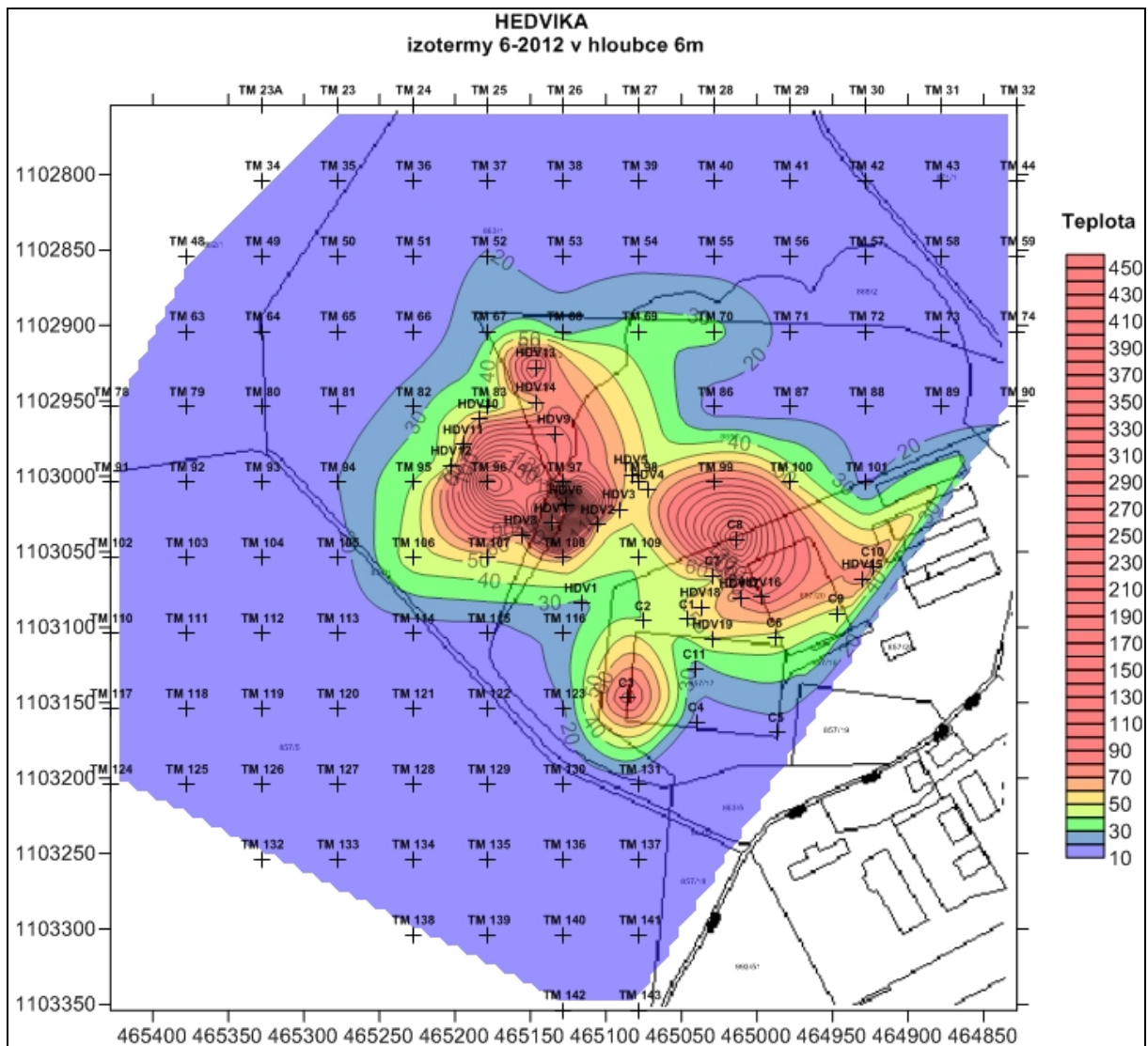
Obrázek 14 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (12/2011)



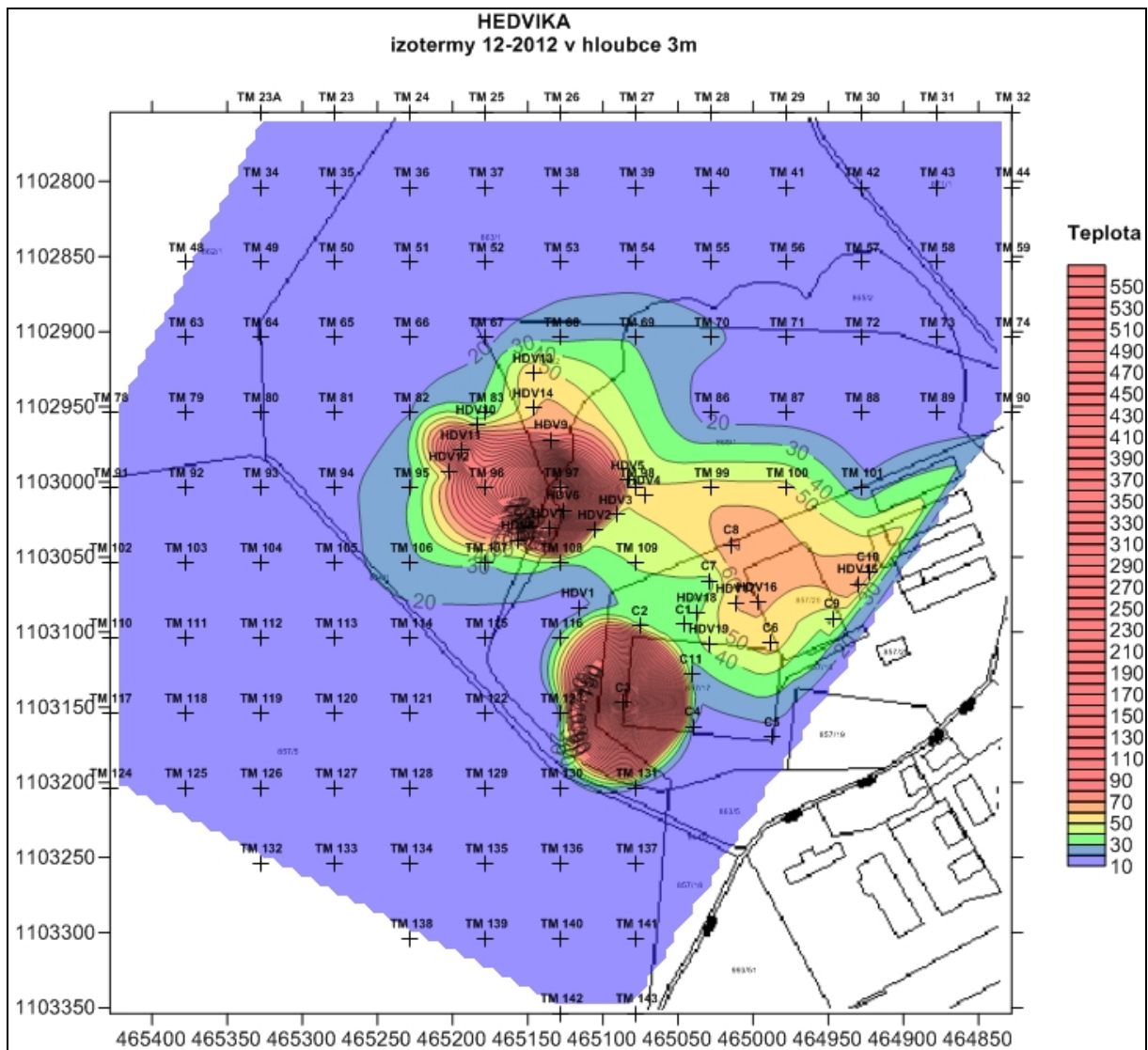
Obrázek 15 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (06/2012)



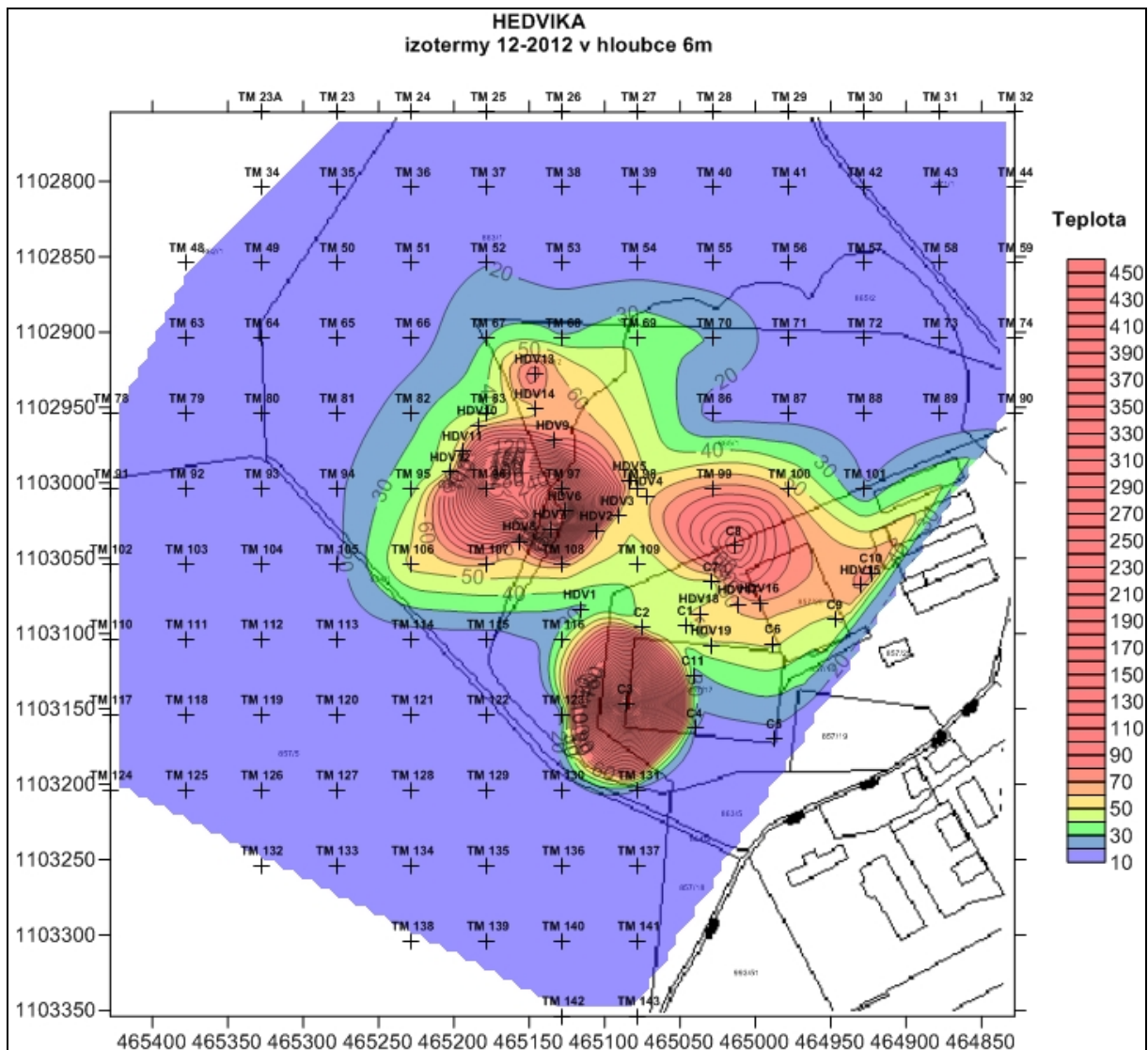
Obrázek 16 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (06/2012)



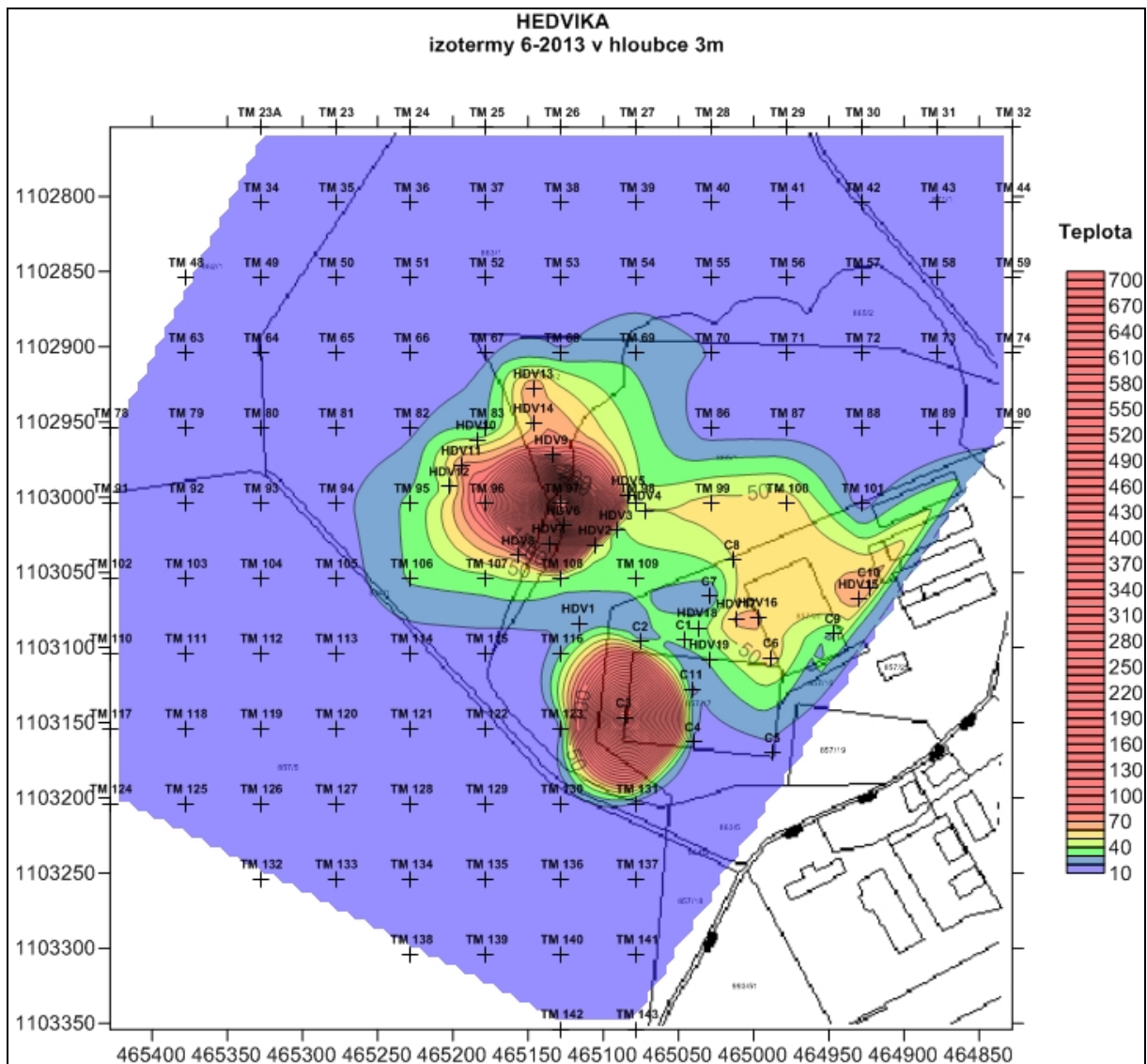
Obrázek 17 Odval Hedvika – izotermny v hloubce 3 m (12/2012)



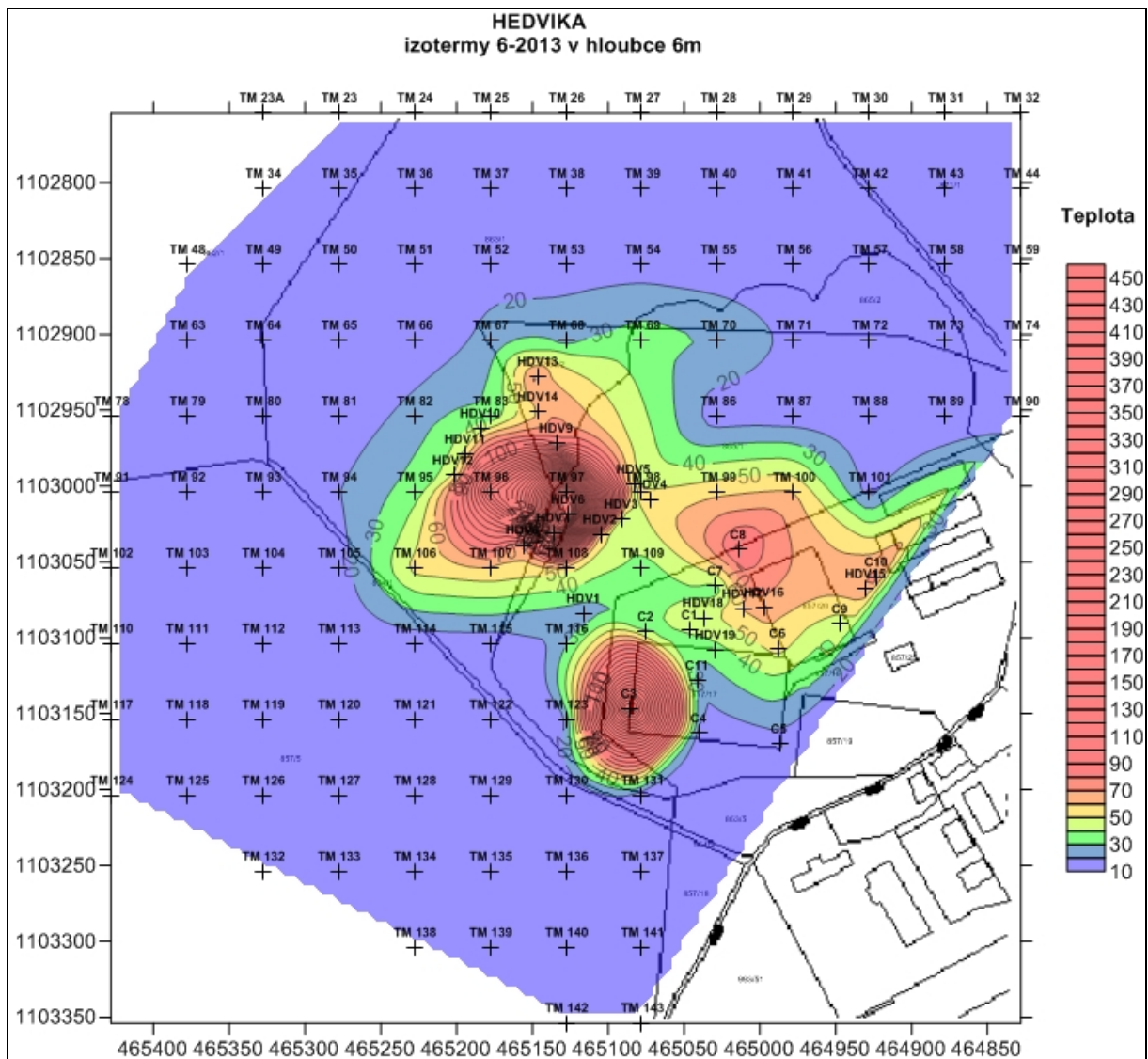
Obrázek 18 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (12/2012)



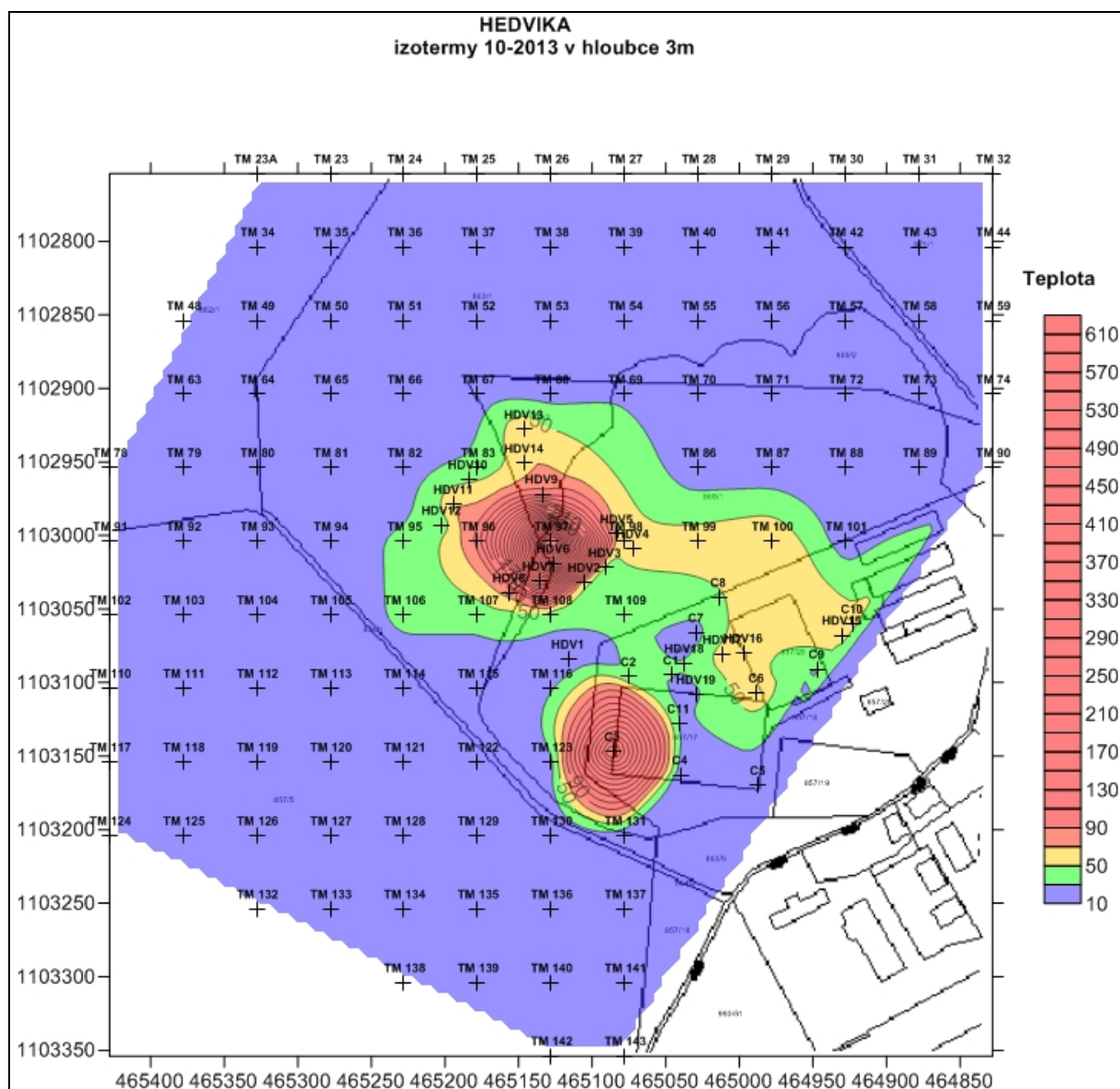
Obrázek 19 Odval Hedvika – izotermny v hloubce 3 m (06/2013)



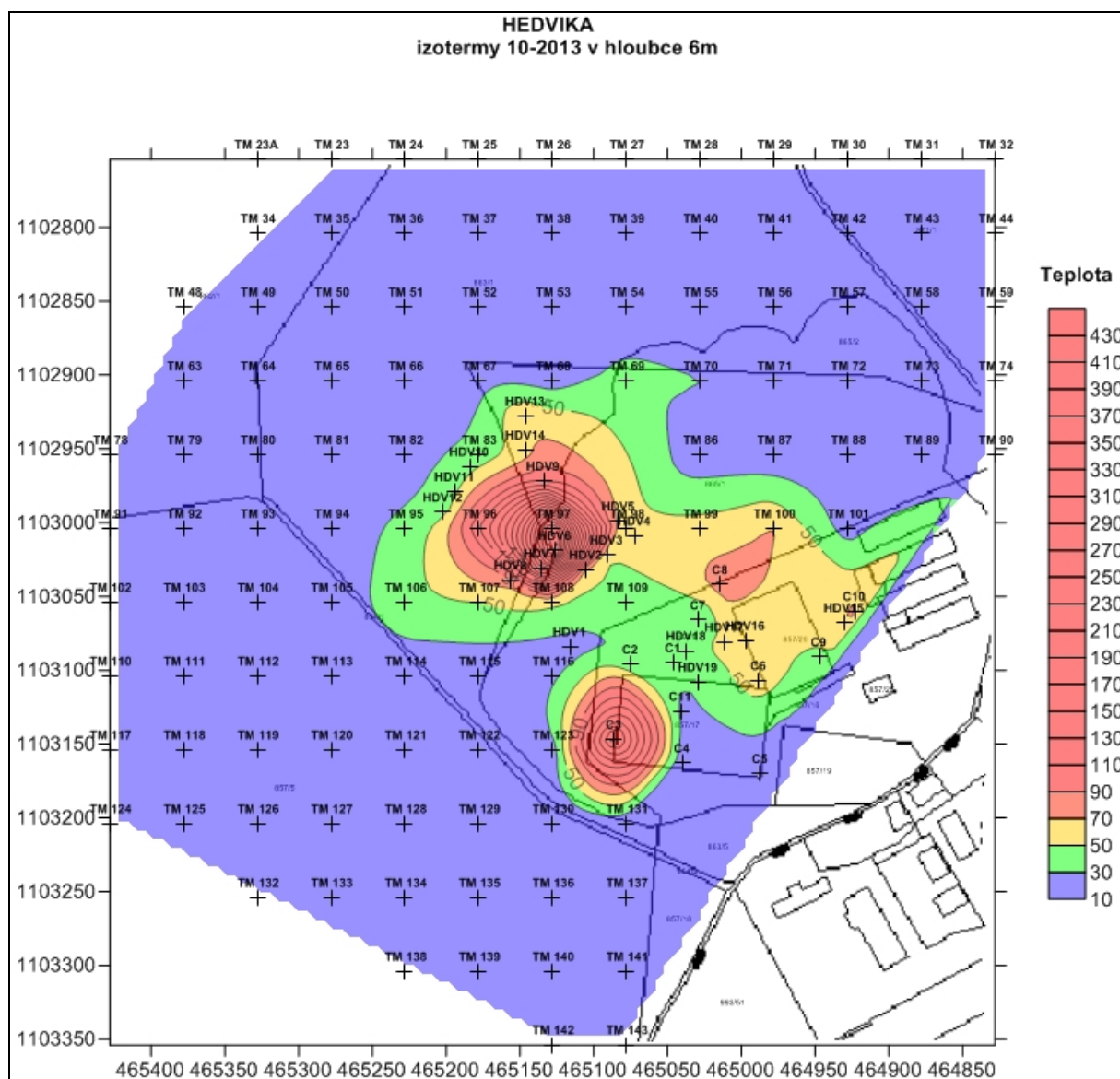
Obrázek 20 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (06/2013)



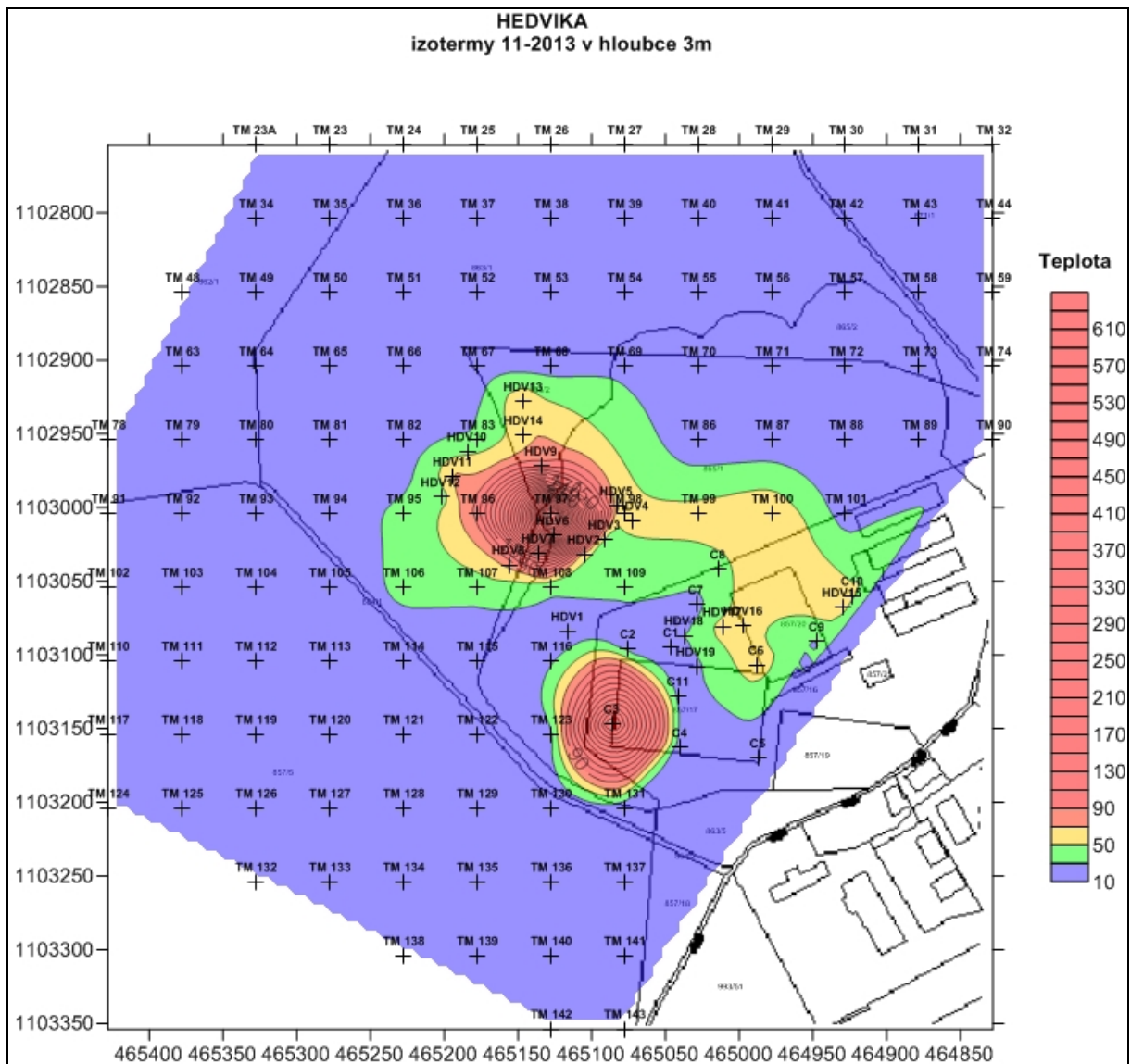
Obrázek 21 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (10/2013)



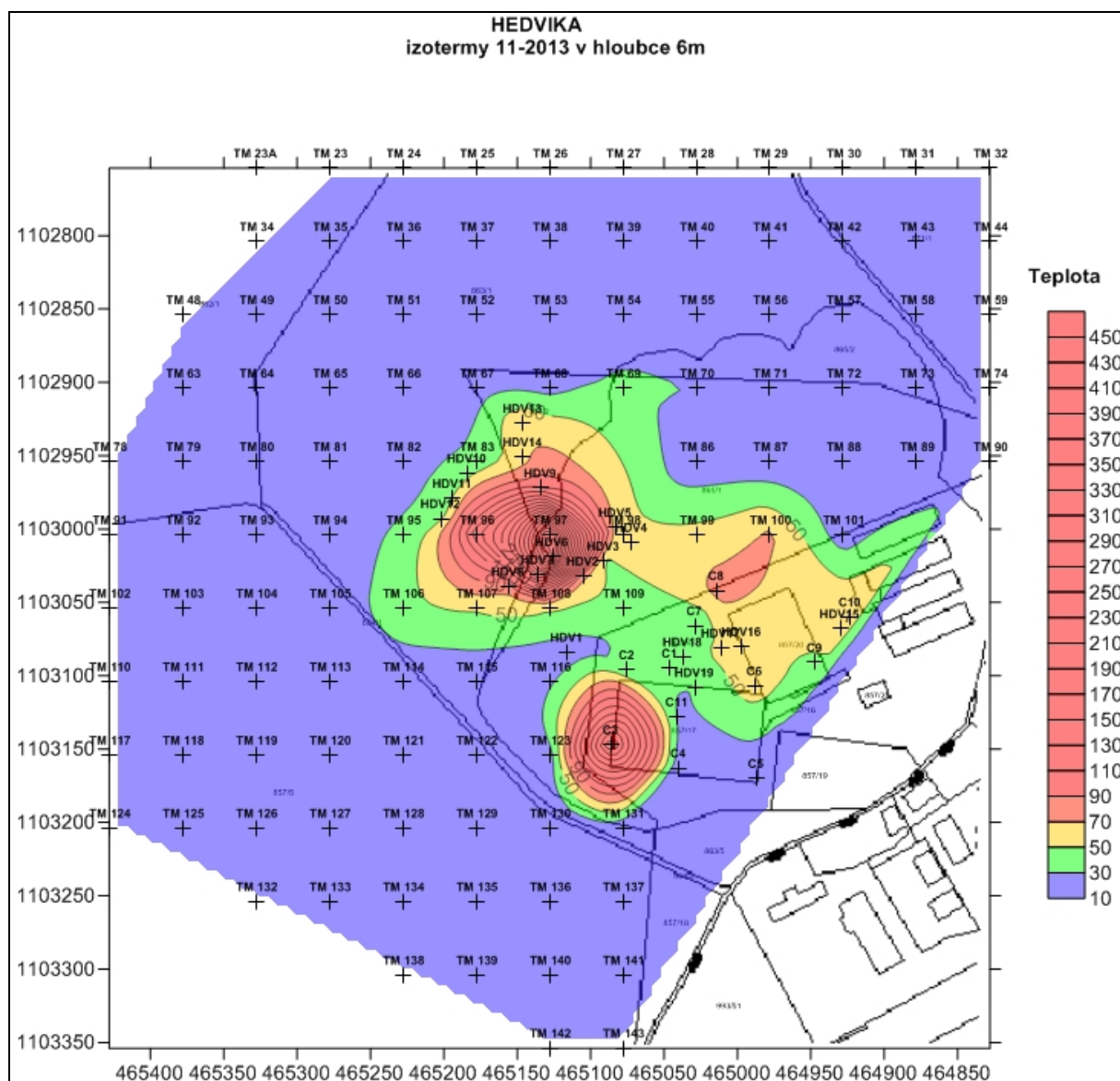
Obrázek 22 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (10/2013)



Obrázek 23 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 3 m (11/2013)

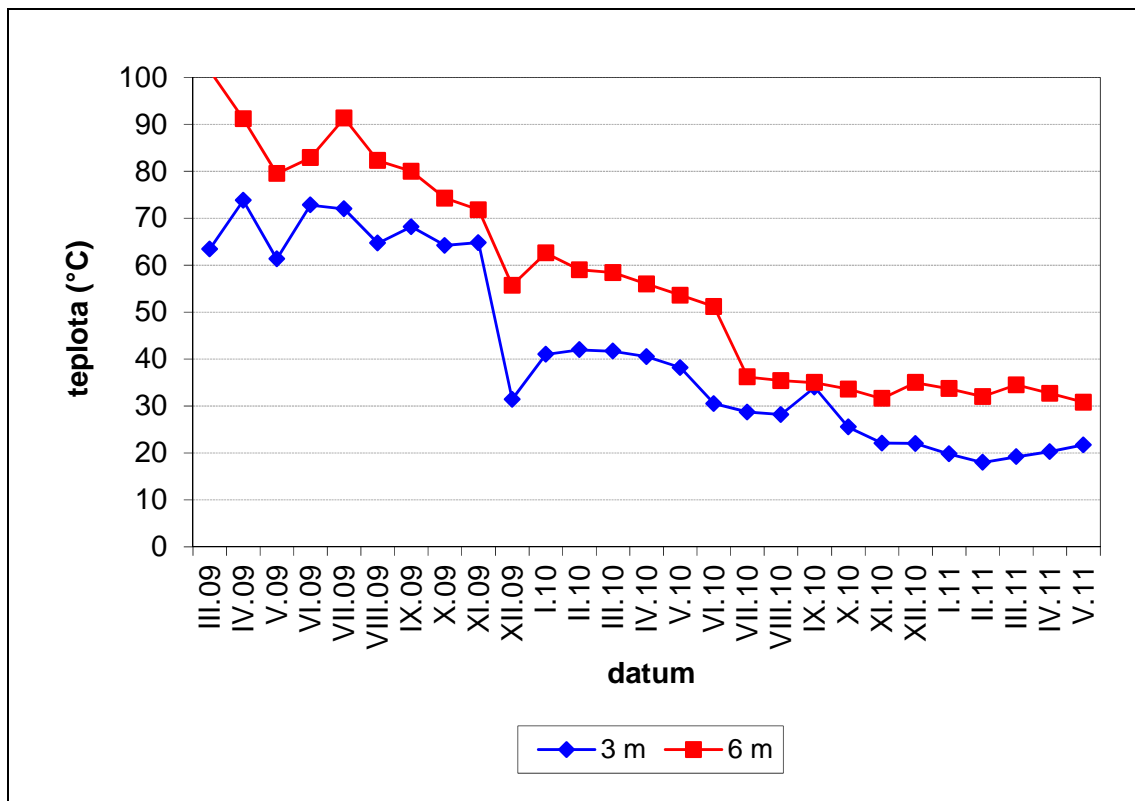


Obrázek 24 Odval Hedvika – izotermie v hloubce 6 m (11/2013)

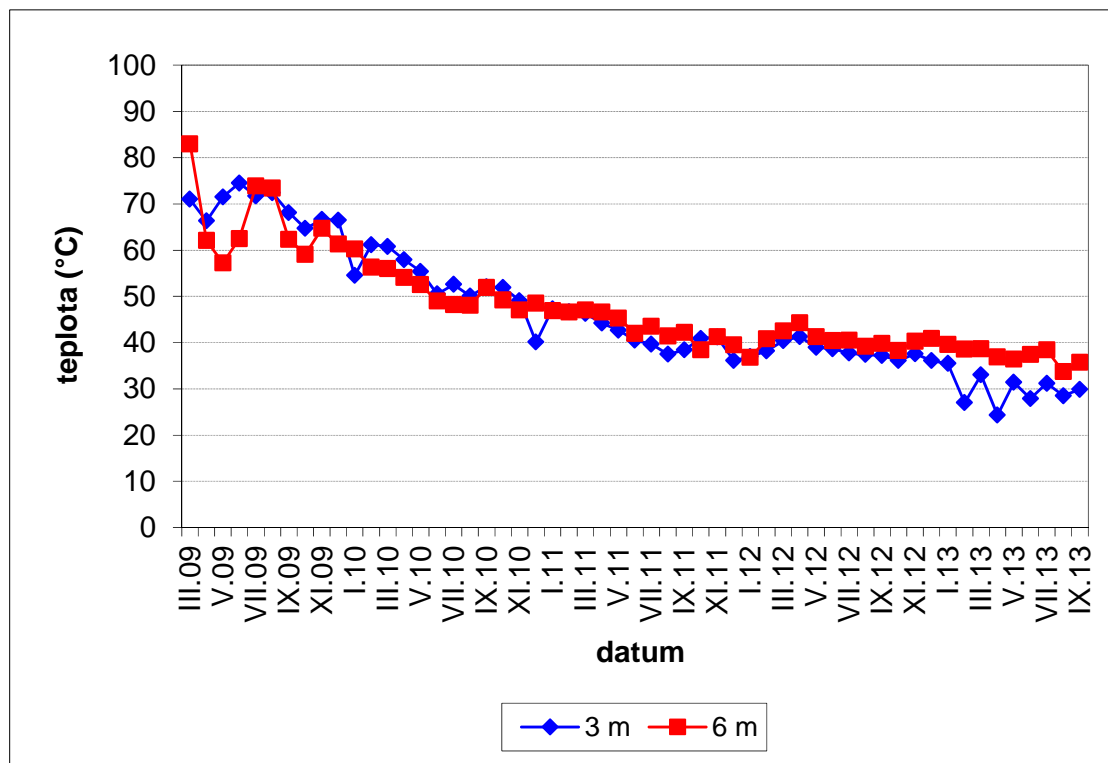


	ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika			
	Objednatel:	VŠB TU Ostrava, Fakulta elektrotechnická		
	Název zakázky:	TA01020282 Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření		
Číslo zakázky:	Zpracoval:	Schválil:	Počet listů:	Datum:
13 0032 – 011 13 0033 – 011	L. Keclík	RNDr. Kresta, Ph.D.	6	listopad 2013
ODVAL HEDVIKA – GRAFY TEPLIT VE VYBRANÝCH SONDÁCH				Číslo přílohy:
				3.

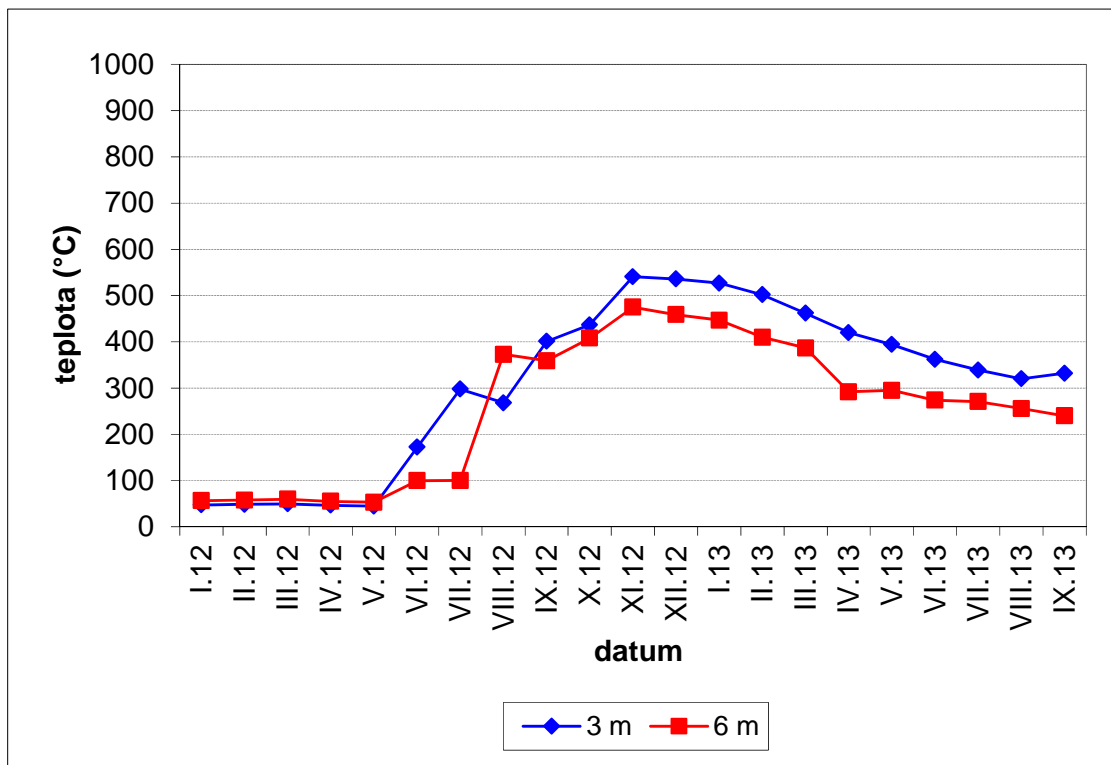
Odval Hedvika – sonda C1 (vývoj teploty v období 03/2009-05/2011)



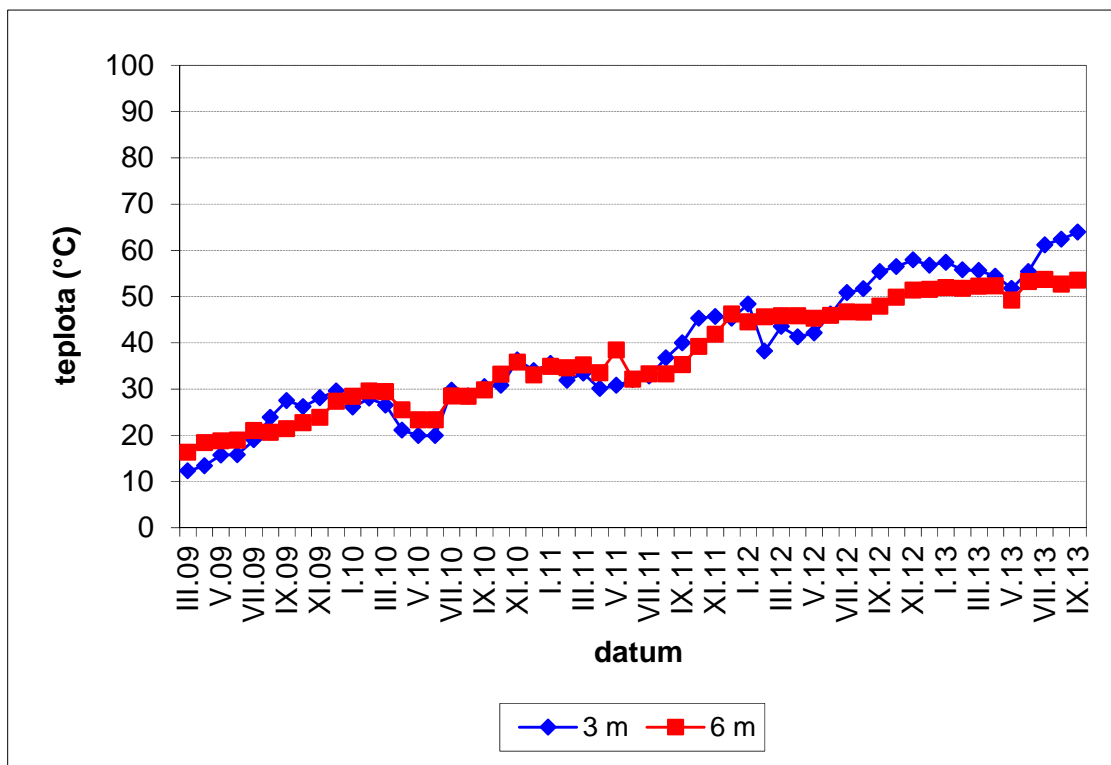
Odval Hedvika – sonda C2 (vývoj teploty v období 03/2009-09/2013)



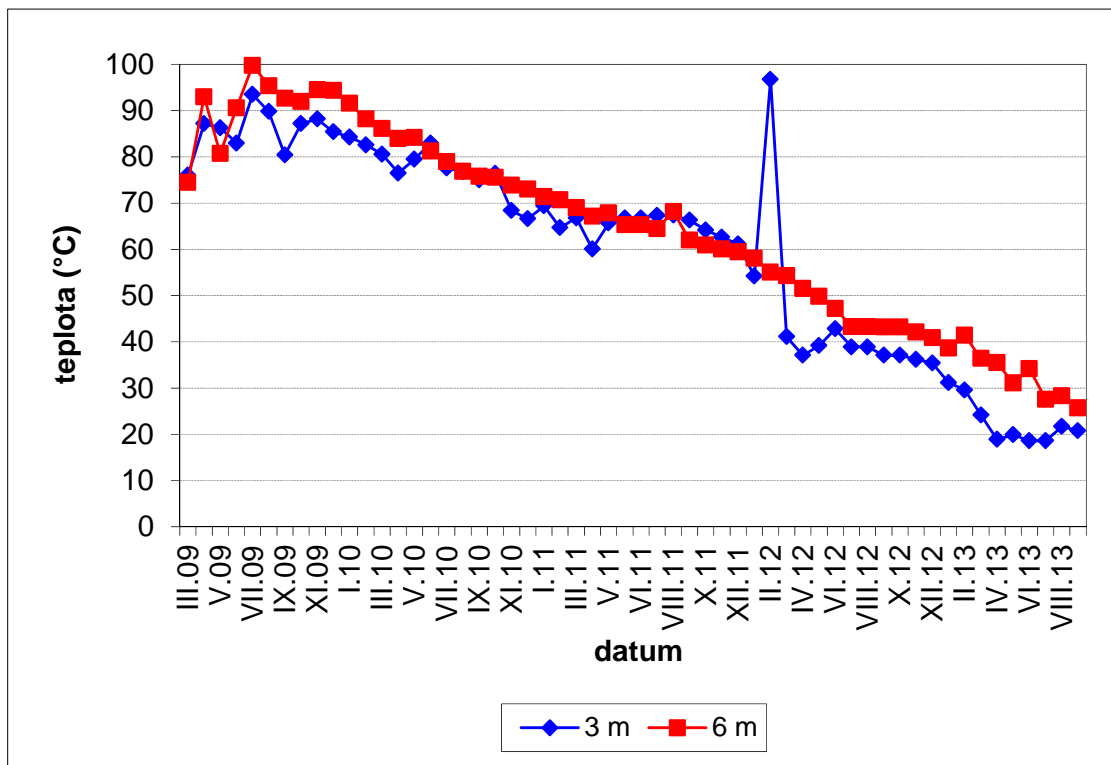
Odval Hedvika – sonda C3 (vývoj teploty v období 01/2012-09/2013)



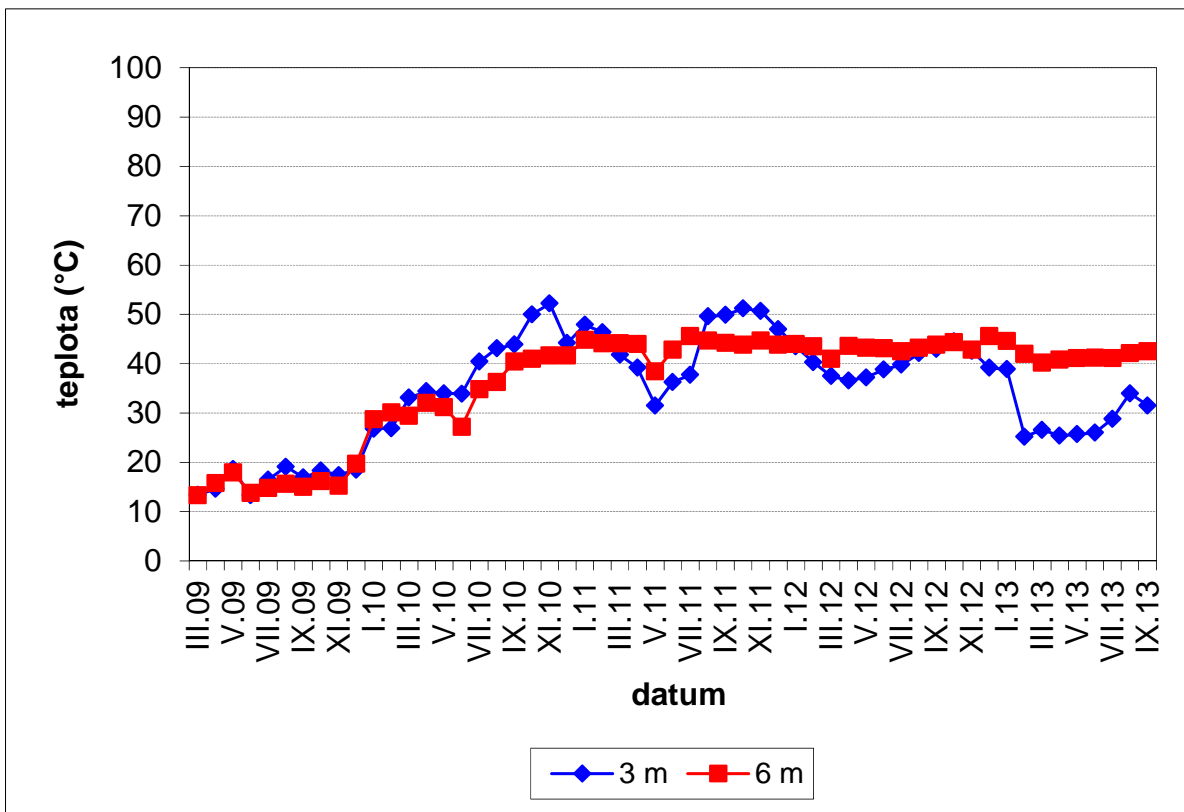
Odval Hedvika – sonda C6 (vývoj teploty v období 03/2009-09/2013)



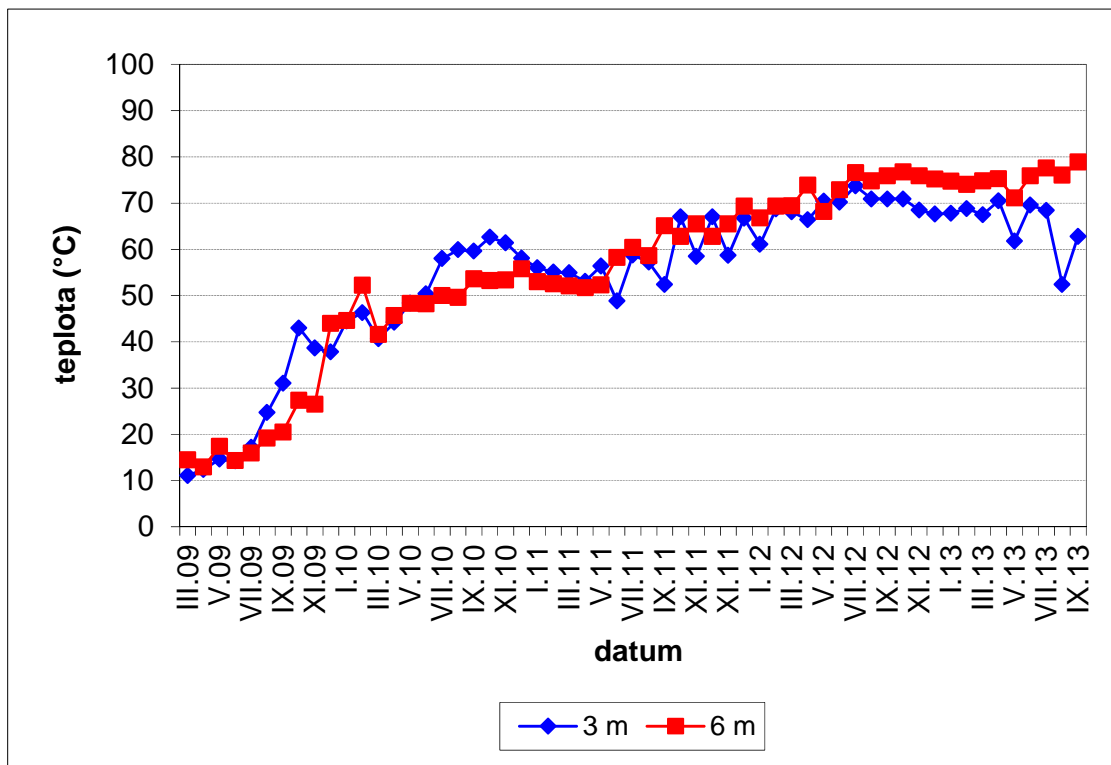
Odval Hedvika – sonda C7 (vývoj teploty v období 03/2009-09/2013)



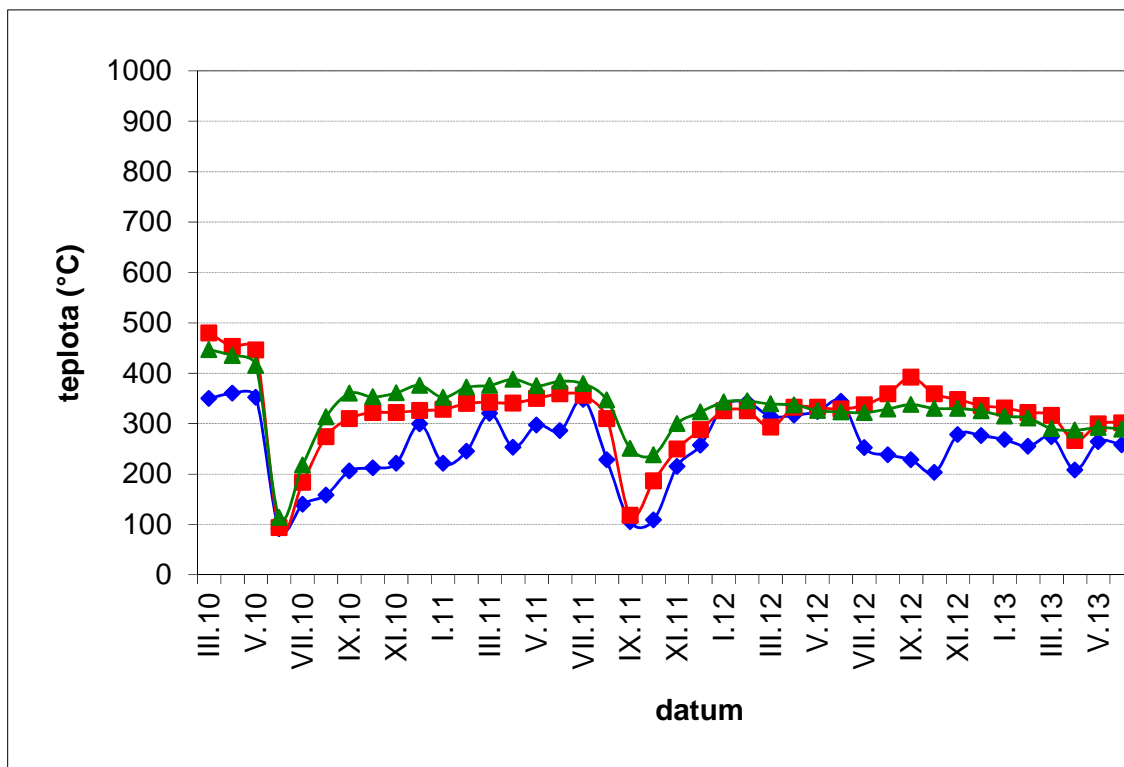
Odval Hedvika – sonda C9 (vývoj teploty v období 03/2009-09/2013)



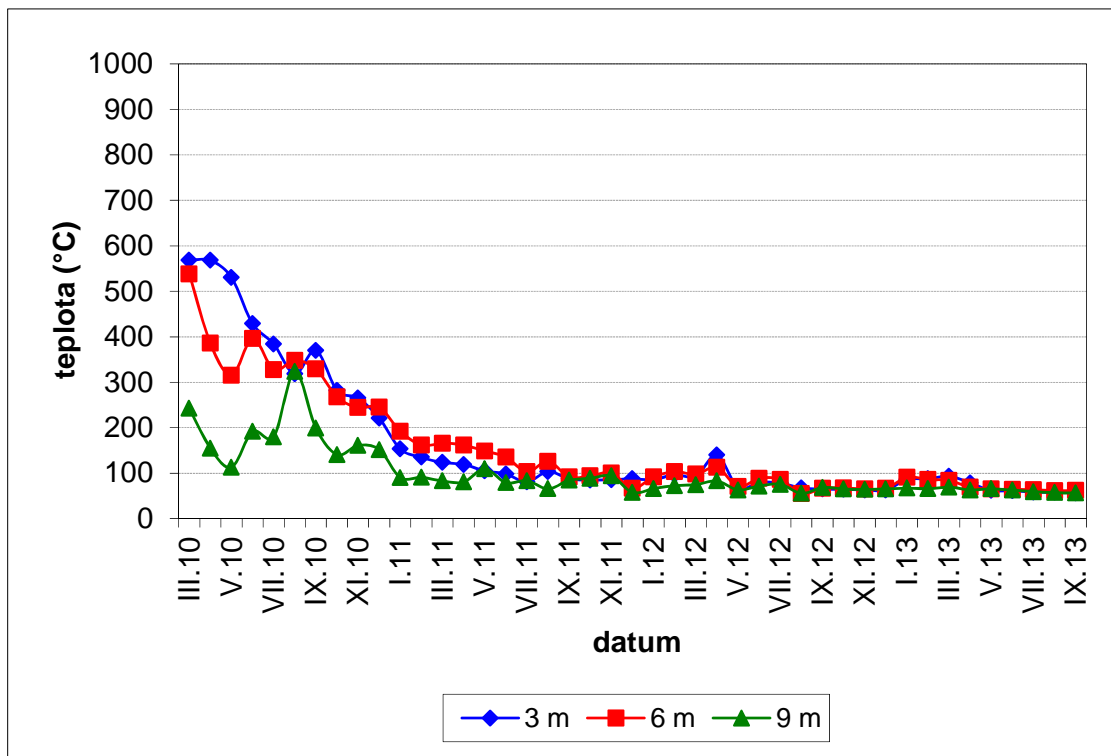
Odval Hedvika – sonda C10 (vývoj teploty v období 03/2009-09/2013)



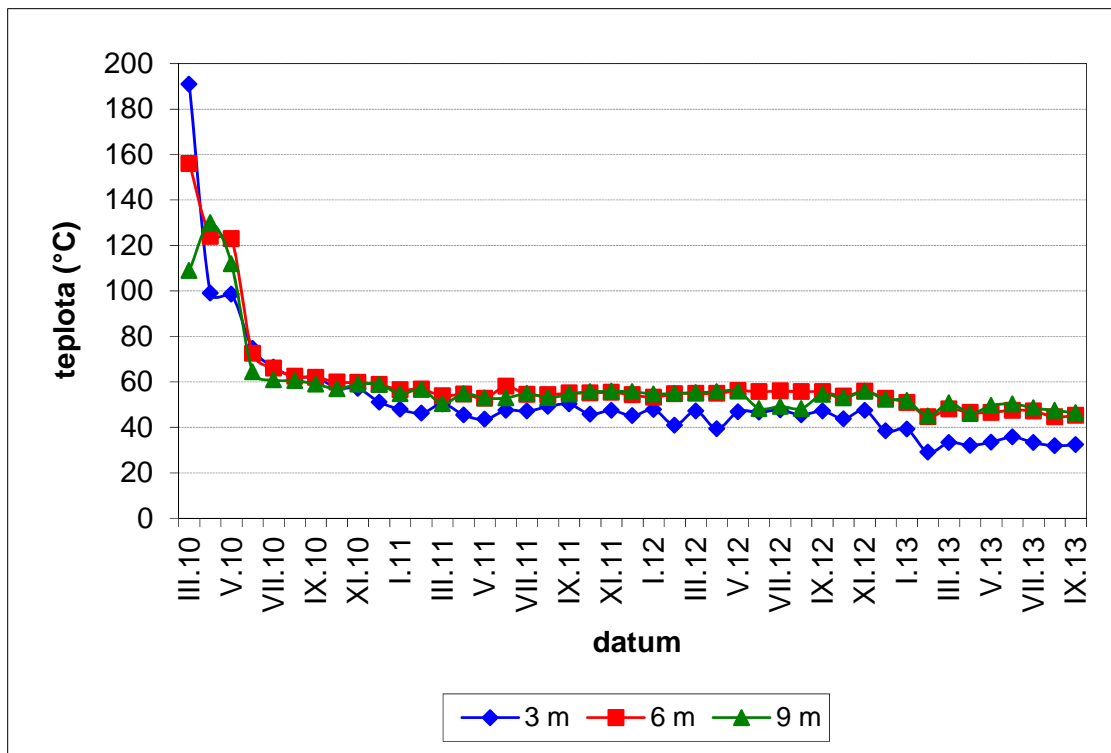
Odval Hedvika – sonda HDV7 (vývoj teploty v období 03/2010-09/2013)



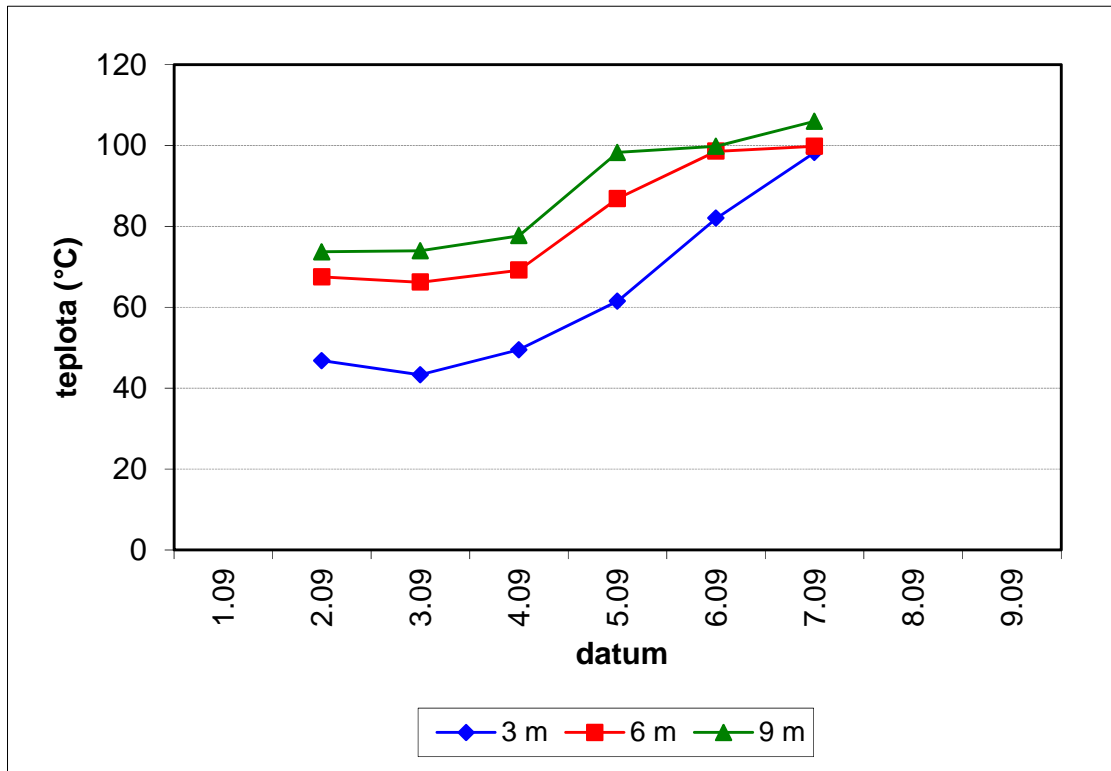
Odval Hedvika – sonda HDV16 (vývoj teploty v období 03/2010-09/2013)



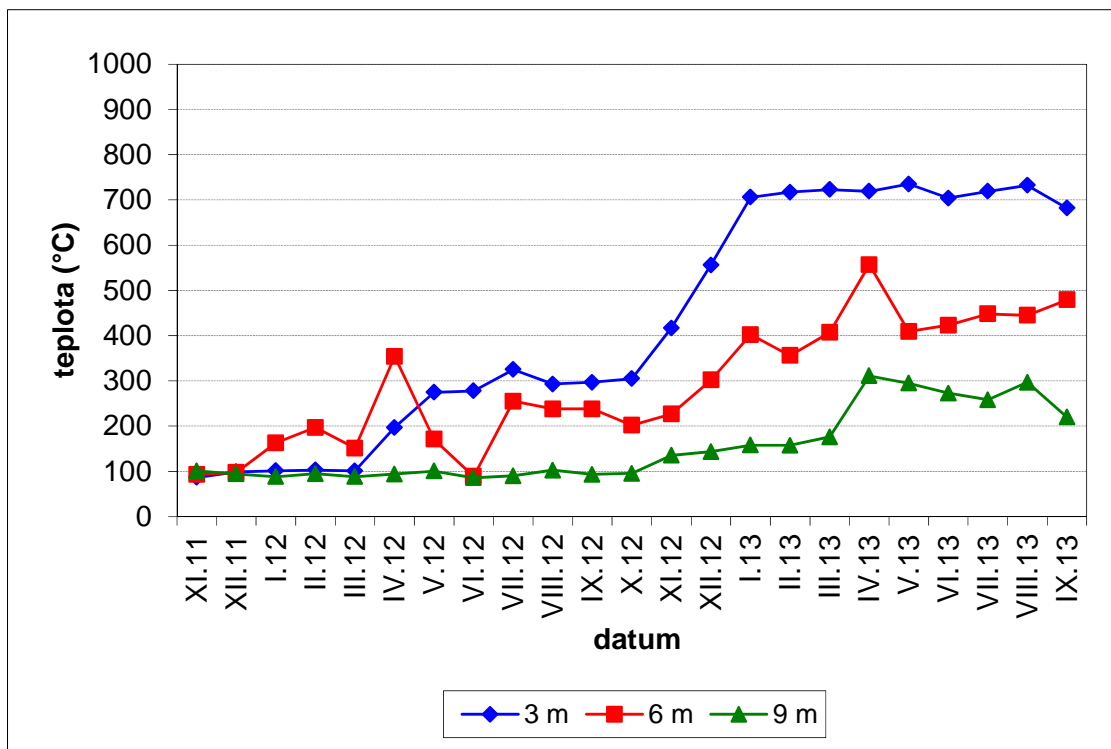
Odval Hedvika – sonda HDV18 (vývoj teploty v období 03/2010-09/2013)



Odval Hedvika – sonda TM96 (vývoj teploty v období 02/2009-07/2009)



Odval Hedvika – sonda TM97 (vývoj teploty v období 11/2011-09/2013)





ARCADIS CZ a.s., divize Geotechnika

Objednatel:

VŠB TU Ostrava, Fakulta elektrotechnická

Název zakázky:

TA01020282 Zvyšování ochrany životního prostředí ve vazbě na výskyt endogenních požárů důlních odvalů a skládek průmyslových odpadů, včetně jejich modelování a predikce šíření

Číslo zakázky:

Zpracoval:

Schválil:

Počet listů:

Datum:

13 0032 – 011
13 0033 – 011

**Ing.
Antonínová**

RNDr. Kresta, Ph.D.

4

listopad 2013

**ODVAL HEDVIKA – GEOLOGICKÉ PROFILY
VRTŮ**

Číslo přílohy:

4.

V1 (15.3.2011)

- m 0.00-0.15 navážka – shora drn s ostrohrannými úlomky velikosti 2 cm (prachovce, jílovce), Y
- m 0.15-0.30 navážka – jíl s nízkou plasticitou, žlutý, šedě smouhovaný, pevný s úlomky hornin velikosti do 0.5 cm (jílovce), F6 CLY
- m 0.30-1.30 navážka – písek hlinitý, hnědočerný, s úlomky hornin 0.5-4 cm, ojediněle až 8-10 cm (prachovce), suchý, S4 SMY
- m 1.30-1.70 navážka – písek hlinitý, žlutý, s podílem kusů cihel, škváry a strusky, S4 SMY
- m 1.70-2.20 navážka – prachovec (kusy o velikosti 10-20 cm) šedý s rezavými povlaky, místy se stopami prohoření (růžové povlaky), G3 GFY
- m 2.20-3.50 navážka - písek s příměsí jemnozrnné zeminy, úlomky a střípky jílovců o velikosti 0.5-2 cm, ojediněle až 8 cm, s patrnými stopami prohoření, černý, S3 SFY
- m 3.50-5.25 navážka – písek s příměsí jemnozrnné frakce tvořený uhelnou hlušinou s úlomky jílovců 0.5-1.5 cm, lokálně prohořelé, černé barvy, S3 SFY
- m 5.25-5.60 navážka – jíl se střední plasticitou, žlutý, rezavě smouhovaný, tuhý, F6 CLY
- m 5.60-6.80 navážka – písek s příměsí jemnozrnné frakce tvořený uhelnou hlušinou s úlomky jílovců 0.5-1.5 cm, lokálně prohořelé, černé barvy, S3 SFY
- m 6.80-8.00 navážka - prachovec, šedý, s velikosti úlomků 0.5-6 cm, max. 10 cm, R6
- m 8.00-8.35 navážka – hlína s úlomky prachovce, hnědá až černá, s polohami zpevněných termickou aktivitou (spečence) (F1 MGY)
- m 8.35-8.50 navážka - prachovec, šedý, s velikosti úlomků 0.5-6 cm, max. 10 cm, R6
- m 8.50-9.00 navážka – hlína černá s kusy prachovce, šedé barvy, ojediněle prohořelé polohy červené barvy, s úlomky 8-10 cm

Odběr vzorků:

- 1.80-2.20
2.20-3.50
3.60-5.25
5.80-6.80
6.80-8.00
8.00-8.35
8.50-9.00

V2 (16.3.2011)

- m 0.00-0.35 navážka – shora drn(hlína humózní) s ostrohrannými úlomky velikosti 0.5-4 cm (prachovce, jílovce), hnědá, Y
- m 0.35-1.10 navážka - jíl s nízkou plasticitou, žlutý, černě smouhovaný, pevný s úlomky hornin velikosti do 0.-4 cm (jílovce), F2 CGY
- m 1.10 –2.50 navážka – úlomky prachovce a jílovce o velikosti 0.5-6 cm, ojediněle i 10 cm, šedé barvy, místy železité povlaky, G3 GFY
- m 2.50-3.10 navážka – písek s příměsí jemnozrné zeminy, tvořený úlomky prachovce, šedé až šedočerné barvy, s červenými povlaky, S3 SFY
- m 3.10-3.40 navážka – úlomky prachovce šedé barvy s výraznými žlutými, rezavými a červenými povlaky, velikost kusů 15-20 cm, G3 GFY + cBY
- m 3.40-4.40 navážka - písek s příměsí jemnozrné zeminy, tvořený úlomky prachovce, s příměsí škváry, šedé až šedočerné barvy, s červenými povlaky, S3 SFY
- m 4.40-5.10 navážka – úlomek prachovce šedé barvy, s rezavým povlakem, lokálně s termickým spečencem (R5)
- m 5.10-6.30 navážka – písek s příměsí jemnozrné zeminy a škváry, hnědočerný, úlomky jsou tvořeny prachovcem o velikosti do 4 cm, S3 SFY
- m 6.30-7.00 navážka – úlomky prachovce šedé barvy, o velikosti 0.5-5 cm, ojediněle až 15 cm, s rezavými povlaky (R5)
- m 7.00-8.00 navážka – hlína černé barvy (kal?, s úlomky prachovců velikosti 0.5-2 cm a strusky (prohořelé hlušiny) do 3 cm, F1 MGY
- m 8.00-8.50 navážka – hlína s nízkou plasticitou, s úlomky prachovců do 20 cm, žluté barvy, tuhá, F5 MIY
- m 8.50-9.00 navážka – hlína s úlomky prachovce šedé barvy, s úlomky o velikosti do 15 cm, F6 CLY

Odběr vzorků:

- 2.00-3.50
5.00-6.30
7.00-8.00

V3 (16.3.2011)

- m 0.00-0.40 navážka – shora drn(hlína humózní) s ostrohrannými úlomky velikosti 0.5-4 cm (prachovce, jílovce), hnědá, Y
- m 0.40-0.80 navážka – jíl s nízkou plasticitou, žlutý, tuhý, na bázi poloha černé organické zeminy tl. 2-3 cm, F6 CIY
- m 0.80-1.20 navážka – hlína černá s organickou příměsí, s úlomky prachovců do 2 cm, F2 CGY
- m 1.20-1.90 navážka – jíl s nízkou plasticitou, žluté barvy, tuhé konzistence, s úlomky prachovců do 6 cm, s oranžovými povlaky, F6 CLY
- m 1.90-3.00 navážka – prachovec šedý, v intervalu 1.90-2.00 m a 2.90-3.00 m s výrazně rezavými povlaky, úlomky o velikosti 0.5-6 cm, ojediněle do 20 cm, G3 GFY + cB
- m 3.00-5.25 navážka – škvára černošedá s úlomky prachovce s rezavými povlaky o velikosti 0.5-4 cm, S3 SFY
- m 5.25-5.60 navážka – hlína žlutá, s úlomky prachovce o velikosti 2-4 cm, tuhá, F2 CGY
- m 5.60-6.00 navážka – prachovec šedý, v intervalu 1.90-2.00 m a 2.90-3.00 m s výrazně rezavými povlaky, úlomky o velikosti 0.5-6 cm, ojediněle do 20 cm, G3 GFY + cB
- m 6.00-6.50 navážka – hlína žlutá, s úlomky prachovce o velikosti 2-4 cm, tuhá, F2 CGY
- m 6.50-8.15 navážka – úlomky prachovce do 4 cm, ojediněle do 20 cm, bez povlaků, G3 GFY + cB
- m 8.15-9.00 navážka – písek s příměsí jemnozrnné frakce se škvárou, černé barvy, úlomky prachovce do 2 cm

Odběr vzorků:

2.00-3.00

3.00-5.00

8.15-9.00

V4 (17.3.2011)

- m 0.00-0.30 navážka – shora drn(hlína humózní) s ostrohrannými úlomky velikosti 0.5-4 cm (prachovce, jílovce), hnědá, Y
- m 0.30-1.00 navážka – jíl se střední plasticitou, žlutý, tuhý, F6 CIY
- m 1.00-2.00 navážka – písek hlinitý, šedý, v hl. 1.30 m s úlomky jílovce a prachovce o velikosti do 5 cm, S4 SMY
- m 2.00-3.00 navážka – úlomky prachovce do 10 cm, šedé barvy, G3 GFY + cB
- m 3.00-3.85 navážka – škvára a struska (propálená hlušina), černé barvy, s kusy do 5 cm, G3 GFY
- m 3.85-4.00 navážka – jíl se střední plasticitou, žlutý, tuhý, F6 CIY
- m 4.00-4.70 navážka – struska (propálená hlušina) s úlomky prachovce do 4-8 cm, G2 GPY
- m 4.70-4.85 navážka - jíl se střední plasticitou, šedý, tuhý, F6 CIY
- m 4.85-9.00 navážka – škvára s úlomky prachovce o velikosti 2-12 cm, G3 GFY + cB

Odběr vzorků:

3.00-3.85

5.00-6.00