

Dagmar LÉTAVKOVÁ*

STATICKE A DYNAMICKÉ CHARAKTERISTIKY ODPLYŇOVACÍCH VRTŮ

STATICS AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF DEGASSING BOREHOLES

Abstrakt

Na Ostravsku existují velká poddolovaná území s horninovým masivem velice narušeným bývalou činností černouhelných dolů. Tato území jsou, kvůli bezpečnosti, ošetřena odplyňovacími vrtvy. Situace na vrtech se průběžně monitoruje a získané údaje se ukládají. Článek popisuje statistickou analýzu těchto údajů a osvětluje tendence v chování odplyňovacích vrtů. Vysvětluje jak statické vztahy mezi monitorovanými fyzikálními veličinami, tak dynamiku změn.

Abstract

In Ostrava region there are extensive undermined territories with rock massif which as very disturbed and faulted by former mining activities of hard coal underground mine. Such territories are due to safety reasons provided with degassing boreholes. Actual conditions of the degassing boreholes are continuously monitored and gained data are saved. A statistic analysis of such data is described and trends in behaviour of degassing boreholes are discussed in the article. There are explained both the statistic correlations between monitored physical magnitudes and dynamics of variations.

Key words: degassing borehole, pressure, methane, closed underground mines, regression model, statistical analysis.

Úvod

V tomto článku popisují statistickou analýzu údajů naměřených na odplyňovacích vrtech tzv. Jakloveckého dolu. Jaklovecký důl, se nachází v jihozápadní části bývalého dobývacího prostoru Slezská Ostrava III. Jedná se o území, které je silně narušeno bývalou hornickou činností a dá se předpokládat, že ke změnám v horninovém masívu dochází vzhledem k jeho narušené soudržnosti i v současné době. O skutečných poměrech v podzemí se můžeme pouze „domnívat“ a nikoli „vědět“. Na tomto území se nachází 2 podstatná otvirková díla, a to Jaklovecká dědičná štola (směr SSZ – JJV) a překop na 1. patře navazující na jámu Jindřich (směr S – J). Je zde 9 uhelných slojí (Nováček 2002).

Jak známo, výskyt černého uhlí je provázen také výskytem důlních plynů, složených zejména z CO, CO₂ a CH₄. I po zastavení hornické činnosti se tyto plyny ze stařin postupně uvolňují, ale protože nejsou větracími systémy aktivně odváděny na povrch, mohou se hromadit ve volných podzemních prostorách, které působí jako plynové zásobníky. Vytváří se tak stálá potenciální hrozba, protože metan je v koncentraci 5-15 % s kyslíkem prudce výbušnou směsí.

Popis monitorovaných fyzikálních veličin a naměřených údajů

V roce 1998 byl na území Jakloveckého dolu prováděn plošný atmogeochemický průzkum, při kterém vyšlo najevo, že zhruba na deseti místech dosahují koncentrace metanu v půdě 1-16 %. Proto byl v roce 1999

* Ing., Institut ekonomiky a systémů řízení, HGF VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15,
708 33 Ostrava-Poruba, e-mail: dagmar.letavkova@vsb.cz

realizován odplyňovací systém sestávající se z 38 odplyňovacích vrtů. Tyto vrty s názvy JD1 až JD38 byly směřovány do stařin slojí Jaklovecké dědičné štoly tak, aby byly situovány co nejbližší výchozům v jednotlivých slojích, aby zastihly pokud možno stařiny více slojí a místa se zvýšeným výskytem metanu, a aby jejich realizace byla možná s ohledem ke vstupu na pozemky.

Na vrtech JD1 až JD38 se v rámci grantu č.105/98/K 045 monitorovaly v průběhu roku 2001 a 2002 některé fyzikální veličiny. Mým úkolem bylo naměřené údaje podrobit statistické analýze s cílem získat co největší informační obsah.

Tab. 1: Přehled analyzovaných veličin

Fyzikální veličina	Označení proměnné	Jednotky
Barometrický tlak	p_B	[hPa]
Rozdíl tlaku ve vrtu a na povrchu	Δp	[Pa]
Koncentrace metanu ve vrtu	CH_4	[%]
Rychlost průtoku plynů ve vrtu	V	[m/s]
Teplota na povrchu	T	[°C]

Statistické analýze bylo podrobeno všech 38 vrtů bez výjimky a žádné měření nemuselo být z analýzy vyjmut jako odlehlé pozorování. Všechny vrty (s výjimkou vrtu JD8) vykazují stejné tendence v chování. Vzhledem k tomu, že se jedná o komplex 14 vrtů aktivních, 10 vrtů se střední aktivitou a 14 vrtů pasivních, které jsou umístěny ve značně narušeném horninovém masivu a jejichž chování bylo monitorováno za různé úrovně barometrického tlaku a ve všech 4 ročních obdobích, tzn. za nejrůznějších podmínek, můžeme říci následující. Zjištěné tendence v chování odplyňovacích vrtů jsou platné přinejmenším pro oblast bývalého Jakloveckého dolu a je velmi pravděpodobné, že obdobné tendence v chování budou vykazovat také jiná území narušená dřívější hlubinnou těžbou černého uhlí.

Veškerá pro mne dostupná data je možno rozdělit do dvou celků:

- Data naměřená za běžného „provozu“.
- Data naměřená v průběhu odsávacích zkoušek (nejsou předmětem tohoto příspěvku).

Statistická analýza dat

Analýzované údaje byly naměřeny zcela nepravidelně v průběhu období od 4.5.2001 do 14.9.2002 a proto z nich nelze sestavit pravidelnou časovou řadu v dostatečné délce ani využít speciálních analýz ke zpracování časových řad anebo dataminingových technik. Umožňují aplikovat pouze nejzákladnější statistické analýzy založené na **statických** charakteristikách. Veškeré dynamické změny příslušných fyzikálních veličin jsou tak opominuty a zahrnuty v rámci analýzy do tzv. residuální složky (vysvětleno bude níže). Dynamika ovšem hraje v chování vrtů nemalou úlohu, protože doba přechodového děje u analyzovaných veličin v případě změny barometrického tlaku činí několik hodin a my nevíme, kolik času uplynulo od začátku přechodového děje do okamžiku měření. Kdyby všechna měření probíhala až po odeznění přechodových dějů, tzn. zhruba v období, kdy je barometrický tlak konstantní, veškeré zde uvedené statistické analýzy by se velice zpřesnily. I tak je ale možné z vykonaných analýz usuzovat na tendence odplyňovacích vrtů. Tendence a jejich charakter se změnit nemohou, je možno je pouze upřesnit.

Za zmínku stojí použitý software. Veškerá data jsou uložena v relačních tabulkách tabulkového procesoru Microsoft Excel, který byl vybrán pro svou všeobecnou dostupnost, jednoduchost a přehlednost. Veškeré statistické analýzy byly provedeny ve specializovaném statistickém balíku SAS americké firmy SAS Institute, konkrétně v modulu Guide. Modul Guide jsem vybrala proto, že je přizpůsoben ke spolupráci s programy Microsoft Office, práce v něm je uživatelsky velice příjemná, spolehlivá, rychlá a srozumitelná.

Postup a vyhodnocení statistického zpracování

1. **Korelační analýza pro většinu vrtů pro všechny možné kombinace proměnných.** Nejdůležitějším výsledkem této analýzy je korelační matice, ve které jsou seřazeny korelační koeficienty. Ty nám říkají, jak velký a těsný je vztah mezi dvěma proměnnými. Z výsledné korelační tabulky je možno vytypovat proměnné, jež spolu souvisí a na které bychom se tudíž měli zaměřit při dalších analýzách. Příklad korelační tabulky pro vrt JD10 viz tab. 2.

Tab. 2: Korelační matice – obsahuje korelační koeficienty + počet pozorování – pro vrt JD10

	Barometr. tlak před 24 hod	Teplota na povrchu	Barometrický tlak	Rychlost průtoku plynů	Koncentrace metanu	Rozdíl tlaků
Barometr. tlak před 24 hod	1 60	-0,36 56	0,91 56	-0,12 60	-0,29 36	-0,69 60
Teplota na povrchu	-0,36 56	1 58	-0,3 58	-0,22 58	-0,13 36	0,02 58
Barometrický tlak	0,91 56	-0,30 58	1 58	-0,35 58	-0,34 36	-0,83 58
Rychlost průtoku plynů	-0,12 60	-0,22 58	-0,35 58	1 93	0,39 47	0,42 93
Koncentrace metanu	-0,29 36	-0,13 36	-0,34 36	0,39 47	1 47	0,54 47
Rozdíl tlaků (vrt – povrch)	-0,69 60	0,02 58	-0,83 58	0,42 93	0,54 47	1 93

2. Vykreslení statických charakteristik pro všechny vrty následujících druhů:

- proměnná Δp X proměnná p_B ,
- proměnná Δp X proměnná CH_4 ,
- proměnná Δp X proměnná v .

Když jsem seřadila všechny grafy do tabulek, ukázalo se, že (s výjimkou vrtu JD8) všechny vrty vykazují naprosto stejnou tendenci v chování. Veličiny monitorované na jednotlivých vrtech mají sklon chovat se následujícím způsobem.

Vztah mezi barometrickým tlakem (p_B) a mezi rozdílem tlaku (Δp)

Platí: $\Delta p = p_1 - p_B$, kde

p_1 je pravděpodobný tlak u paty vrtu (slojový tlak) [Pa],

p_B je barometrický tlak na povrchu [Pa],

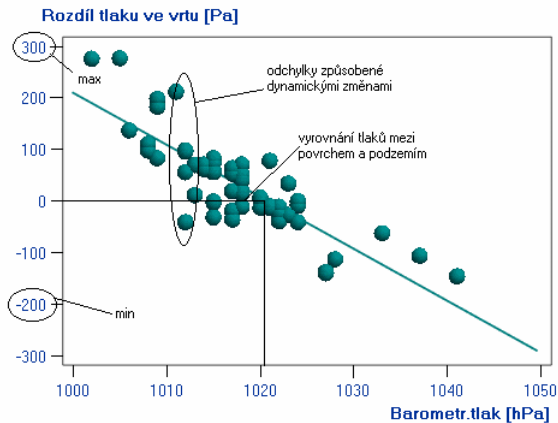
Δp je rozdíl tlaků [Pa].

Mezi těmito veličinami existuje **lineární závislost**. Při nízkém barometrickém tlaku (p_B) se vyskytují vysoké hodnoty rozdílu tlaků (Δp) a naopak. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou Δp je u různých vrtů různý a vyjadřuje tzv. aktivitu jednotlivého vrtu. Málo aktivní vrty zřejmě nezasáhly svou polohou sloj.

min $\Delta p = -200$ Pa, max $\Delta p = 300$ Pa u neaktivnějších vrtů.

Za pozornost stojí skutečnost, že **přetlak a podtlak ve vrtu není nikdy souměrně rozložen kolem nulové hodnoty**, max Δp je vždy vyšší než min Δp v absolutní hodnotě (viz obr. 3). To platí pro všech 38 vrtů. Otázkou zůstává, čím je to zapříčiněno, přesněji řečeno, co to znamená.

Různá aktivita jednotlivých vrtů je dána vlastnostmi samotného vrtu a vlastnostmi okolí paty vrtu. Kolísání jednotlivých naměřených hodnot Δp okolo regresní přímky je z největší části dáno skutečností, že Δp závisí silně na hodnotě p_B v ustáleném stavu. V reálu v okamžicích změn barometrického tlaku během několika hodin se začíná měnit také Δp a to s různým časovým zpožděním. Nastává přechodový děj. Protože při statistické analýze jsem neměla k dispozici pravidelné časové řady barometrického tlaku, ze kterých by bylo možno vysledovat rychlost poklesu (vzrůstu) barometrického tlaku a časovou délku tohoto poklesu (vzrůstu), byla jsem nucena tyto dynamické změny opominout a zahrnout je do tzv. náhodných vlivů. Právě tyto **dynamické změny se podílí ve velké míře na vzniku residuů** (odchylek naměřených hodnot od regresního modelu). To ale nemá žádný vliv na tvar závislosti, pouze na její těsnost.



Rovnice regresního modelu pro vrt JD14:

$$\Delta p = 11331 - 11 \cdot p_B,$$

kde:

p_B je barometrický tlak [hPa],

Δp je rozdíl tlaků ve vrtu a na povrchu [Pa].

Korelační koeficient = 0,8 .

Obr. 3: Statická charakteristika s regresní přímkou pro vrt JD14 (vztah mezi barometrickým tlakem a rozdílem tlaků)

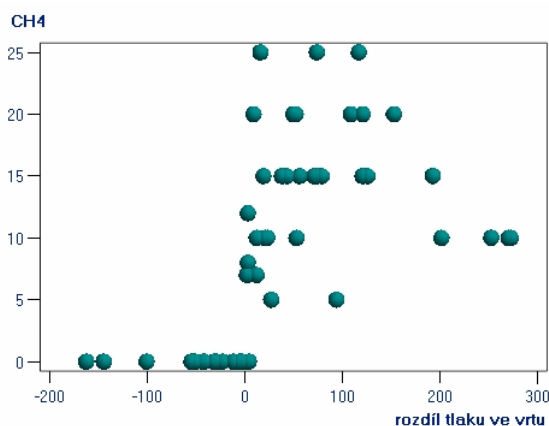
Z grafu lineární regresní funkce lze vysledovat ještě jedna zajímavá skutečnost (viz.obr.3), pro $\Delta p = 0$ je přibližná hodnota barometrického tlaku $p_B = 1020$ [hPa]. Neboli, **k vyrovnání tlaku povrchového a tlaku u paty vrtu dochází přibližně při 1020 [hPa]**. To platí pro všech 38 vrtů z Jaklovecké oblasti, ať se jedná o vrty aktivní či pasivní, nebo o vrty s různou hloubkou. Pro vrty z oblasti Hrušovského dolu hodnota 1020 hPa neplatí, což je způsobeno pravděpodobně odlišnými geologickými podmínkami.

Vztah mezi rozdílem tlaků (Δp) a koncentrací metanu (CH_4)

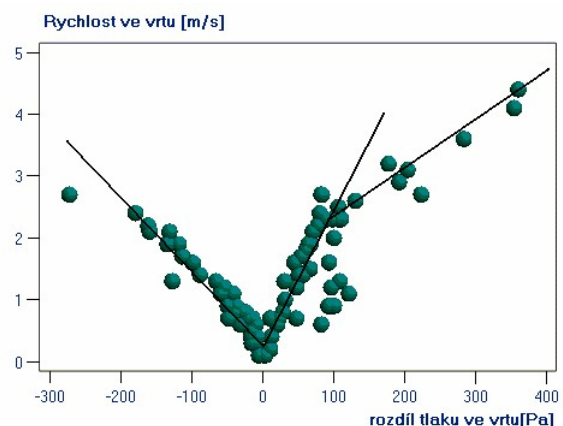
Jestliže je ve vrtu podtlak ($\Delta p < 0$), pak je koncentrace metanu vždy nulová. Vysvětlení se nabízí. Při vysokém barometrickém tlaku tento zatlačuje vzduch do vrtu, rozdíl tlaků má tudíž zápornou hodnotu, důlní plyny nemohou unikat na povrch a koncentrace metanu, která se měří na vývodu z vrtu, je nulová.

Při přetlaku ve vrtu ($\Delta p > 0$) se podíl metanu pohybuje od 0 % do 30 %. Vždy platí přímá úměra mezi max Δp a max CH_4 neboli **aktivnější vrty vykazují také více metanu**. Mezi proměnnými Δp a CH_4 ovšem není možno vysledovat **žádnou závislost ve statických charakteristikách**. Vše je patrné na obrázku 4.

Je to dáno pravděpodobně dynamickými změnami podobnými jako ve vztahu Δp versus p_B . Bylo by vhodné tyto dynamické změny analyzovat také ve vztahu s koncentrací CO_2 . Protože CH_4 a CO_2 mají jiné měrné hmotnosti, jejich přechodové charakteristiky se odlišují. Zajímá-li nás vztah metan versus poloha vrtu, pak je možno aplikovat analýzu rozptylu a použít při tom pouze ty hodnoty koncentrace metanu, které leží ve vyšším kvartilu z rozložení hustoty pravděpodobnosti kladných hodnot koncentrací metanu. Nulové hodnoty je třeba z analýzy vyloučit, aby nedocházelo ke zkreslení výsledku.



Obr. 4: Statická charakteristika pro vrt JD14 (vztah mezi koncentrací metanu a rozdílem tlaků)



Obr. 5: Statická charakteristika s regresními přímkami pro vrt JD14 (vztah mezi rychlostí a rozdílem tlaků)

Vztah mezi rozdílem tlaků (Δp) a rychlostí proudění ve vrtu (v)

Analyzujeme-li závislost mezi rozdílem tlaků (Δp) a rychlostí ve vrtu (v), pak je třeba rozdělit soubor dat na tři části (viz obr. 5):

1. podtlaku ve vrtu ($\Delta p < 0$),
2. přetlaku ve vrtu ($\Delta p > 0$ a zároveň $\Delta p < 150$ [Pa]),
3. přetlaku ve vrtu ($\Delta p > 150$ [Pa]).

Ve všech třech částech existuje lineární závislost mezi Δp a rychlostí.

Pro podtlak platí nepřímá úměra, sklon regresní čáry je téměř vždy méně strmý než u přetlaku. Pro nulovou hodnotu přetlaku je také rychlost ve vrtu nulová, což je logické. Nulová hodnota přetlaku představuje okamžik vyrovnání tlaku barometrického a tlaku u paty vrtu, takže vrtem neproudí ani důlní plyny směrem na povrch ani ovzduší směrem do podzemí.

Pro přetlak platí přímá úměra, čím vyšší je přetlak, tím více převažuje slojový tlak nad atmosférickým tlakem, a tím rychleji proudí důlní plyny na povrch. Zlomovým bodem je zde přibližně hodnota $\Delta p = 150$ Pa, kdy sklon regresní čáry se prudce sníží. Tento jev lze vysvětlit tím, že měření rychlosti proudění plynů se neprováděla přímo ve vrtu, ale na vývodu z vrtu, který má malý průřez. Při vyšších rychlostech se zřejmě vyčerpala „kapacita“ průřezu a tření plynů o stěny vývodu snížilo rychlost proudících plynů. Nejedná se zde tedy o vlastnost vrtu, ale o nevhodný způsob měření rychlosti.

3. **Regresní a korelační analýza pro některé vrty.** Tyto analýzy jsem nedělala pro všechny vrty vzhledem k jejich časové náročnosti. Bylo by to zbytečné, jelikož typ a těsnost vztahu lze zhruba vidět z dříve vykreslených statických charakteristik, a jak jsem již uvedla, všechny vrty vykazují obdobnou tendenci. Mění se sklon a posunutí regresní přímky na souřadnicové ose a pochopitelně také korelační koeficient. Parametry regresních modelů jsou dané aktivitou vrtů, neboli polohou paty vrtu a vlastnostmi jejího bezprostředního okolí.

Typické chování aktivního vrtu

Pokusím se shrnout tendence, kterým podléhá vrt dostatečně aktivní:

- Z porovnání s prací Nováčka [4], který zpracovával měření na stejných vrtech provedená v roce 1999, lze konstatovat, že aktivita jednotlivých vrtů během let postupně klesá.
- Mezi rozdílem tlaku Δp a atmosférickým tlakem p_B existuje lineární vztah nepřímé úměry. Změně p_B o 10 Pa odpovídá zhruba změna Δp o 1 Pa u aktivních vrtů, ale Δp o 0,1 Pa u pasivních vrtů.
- Při barometrickém tlaku $p_B = 1020$ hPa dochází k vyrovnání tlaků mezi podzemím a atmosférou.
- Rozdílem tlaku Δp není nikdy souměrně rozložen kolem nulové hodnoty, v absolutní hodnotě max Δp je vždy vyšší než min Δp .
- Jestliže je ve vrtu podtlak ($\Delta p < 0$), pak je koncentrace metanu vždy nulová.
- Aktivnější vrty vykazují také více metanu.
- Ze **statických** charakteristik nelze vysledovat žádnou závislost mezi koncentrací metanu a rozdílem tlaku Δp .
- Pro nulovou hodnotu rozdílu tlaku Δp je také rychlost ve vrtu nulová.
- Pro podtlak ve vrtu platí nepřímá úměra, sklon regresní čáry je méně strmý než u přetlaku.
- Pro přetlak platí přímá úměra, čím vyšší je přetlak, tím více převažuje slojový tlak nad atmosférickým tlakem, a tím rychleji proudí důlní plyny na povrch.

Dynamické chování odplyňovacích vrtů Jaklovecké oblasti

Při **barometrickém tlaku na povrchu 1020 hPa** dochází k vyrovnání tlaků. Tlak na povrchu i tlak ve vrtu je totožný, důlní plyny nevystupují ven ani nejsou zatlačovány do podzemí, rychlost proudění je tedy nulová a ve vrtu je vše v klidovém rovnovážném stavu.

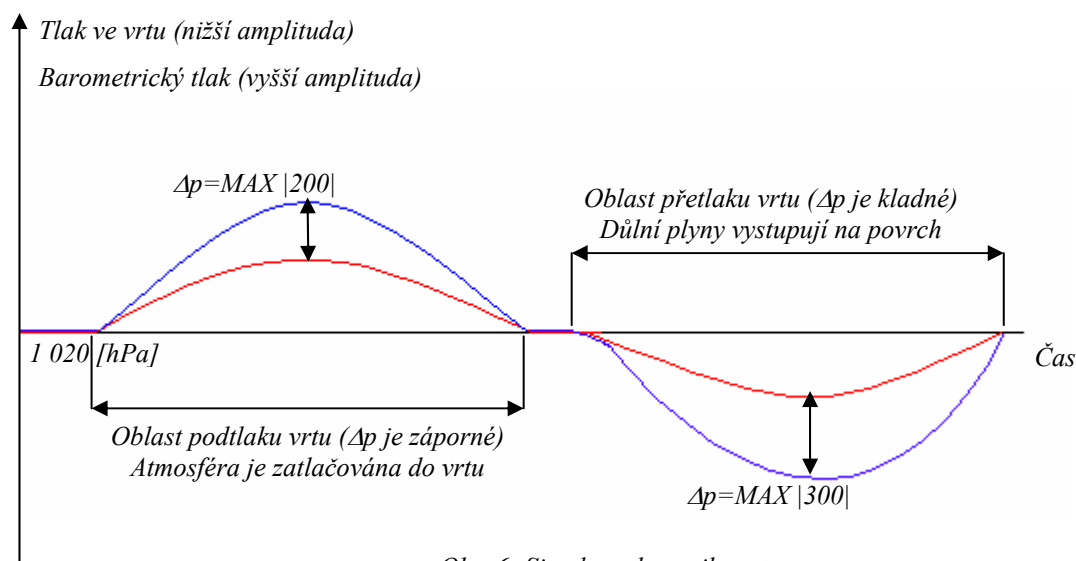
Jakmile **barometrický tlak stoupne nad 1020 hPa**, vrt je nucen na změněné podmínky reagovat. A reaguje okamžitě, bez časového prodlení. Vrt nasává povrchový vzduch a tím snižuje svůj tlakový deficit. To znamená, že také ve vrtu se tlak začíná okamžitě zvyšovat, jen ne stejnou měrou. Jistý tlakový deficit ve vrtu zůstane. Jak velký, to závisí na průchodnosti vrtu a na poměrech u paty vrtu. Hovoříme o vrtech aktivních a pasivních. Je ovšem obtížné měřit skutečný tlak u paty vrtu (tzv. vnitřní tlak), proto se místo toho měří rozdíl

mezi tlakem barometrickým a tlakem ve vývodu z vrtu. Tento rozdíl tlaků je záporný, je-li tlak slojový menší než tlak barometrický, tedy je-li povrchový vzduch zatlačován do podzemí. Jako aktivní označujeme ty vrty, u nichž změna barometrického tlaku o 10 Pa způsobí změnu rozdílu tlaků o 1 Pa (u pasivních vrtů je příslušná změna rozdílů tlaků zhruba 0,1 Pa). Aktivní vrty tedy nemají schopnost dostatečně vyrovnávat svůj tlak s tlakem na povrchu a mají velký tlakový deficit anebo přebytek (podtlak anebo přetlak). Po nějaké době se růst barometrického tlaku zastaví, ustálí se také podtlak ve vrtu a rychlost proudění atmosféry směrem dolů. Naměřená koncentrace důlních plynů na vývodu z vrtu je v celé fázi podtlaku pochopitelně nulová. Když barometrický tlak začne klesat, podtlak se snižuje, snižuje se i rychlost proudění ve vrtu, a to až do doby rovnovážného stavu při 1020 hPa.

Jakmile **barometrický tlak klesne pod 1020 hPa**, nastává opačná situace. Ve vrtu je přetlak, kterého se každý vrt podle svých schopností snaží zbavit tím, že vypuzuje podzemní plyny ven (emise plynů). Čím větší je přetlak, tím rychleji plyny proudí. Tomu odpovídá také obsah metanu. Popsané chování je patrné z obrázku 6.

Změna bar. tlaku o 10 Pa způsobí změnu rozdílu tlaků (Δp) o 1 Pa aktivní vrt.

Změna bar. tlaku o 10 Pa způsobí změnu rozdílu tlaků (Δp) o 0,1 Pa pasivní vrt.



Obr. 6: Simulace dynamiky vrtu

Pohyb směrem ven z vrtu je při stejném rozdílu tlaků vždy rychlejší než pohyb směrem dovnitř. Koncentrace metanu má tendenci růst pro vzrůstající přetlak a opačně. Všeobecně platí, že koncentrace metanu po odeznění dynamických změn není závislá na přetlaku, ale na vlastnostech vrtu. Aktivnější vrty produkují více metanu, protože v okolí paty vrtu jsou pravděpodobně větší a hojnější volné prostory, tedy větší zásobník důlních plynů. Zásoba důlních plynů není u vrtu konstantní, nýbrž se v čase mění. Velikost změny nepřesahuje +3 % a je způsobená např. rychlostí emisí plynů, projevy horského tlaku, vlivem ostatních vrtů v dané lokalitě.

Geometrický objem zásobníku lze určit podle následujících vztahů [2]:

$$Q_1 \cdot t - Q_2 \cdot t' = V,$$

$$Q_{1,2} = \frac{dp}{R_g},$$

Q_1 - objemový průtok způsobený emisí plynu v dole [m^3/s],

Q_2 - objemový průtok z povrchu do podzemí [m^3/s],

dp - rozdíl vnitřního tlaku v dole a barometrického na povrchu [Pa],

R_g - odpor prostředí (vrtu i podzemí) [$\text{Pa} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})^{-1}$],

V - geometrický objem zásobníku [m^3], při normálním tlaku a teplotě,

t - čas, v daném případě čas simulace [s].

$$dp = p_s - p_0,$$

kde:

p_s - vnitřní tlak v podzemí [Pa],

p_0 - barometrický tlak na hladině moře [Pa].

Závěr

Do statistické analýzy byly beze zbytku zařazeny všechny vrty a všechny změřené údaje. Kromě vrtu JD8, který je extrémně pasivní a pravděpodobně vůbec nezasahuje uhelnou sloj, všechny vrty vykazují stejné tendence v chování. Proto se domnívám, že je možné zjištěné poznatky vztahovat nejen k Jakloveckému dolu, ale také k jiným oblastem s obdobnými geologickými a povětrnostními podmínkami.

Podotýkám, že **obrovský význam statistických modelů je ve spolehlivosti se kterou pracují**, v tzv. hladině významnosti a v tom, že známe příslušné matematické rovnice. V praxi to znamená, že ke každé vypočítané charakteristice známe také procento chyby, které jsme se mohli dopustit ve svém výpočtu. **Tuto „spolehlivost“ nám není schopen poskytnout žádný jiný typ modelu.**

Literatura

[1] Nováček, P.: Vstupní data pro verifikaci modelů odplyňovacích systémů. *Zpracováno pro OKD, DPB, a.s. v rámci řešení grantu č.105/98/K045. Ostrava, 2002.*

Summary

There are extensive areas in the Czech Republic where hard coal was mined by underground mining methods in the past. There is a continuous hidden threat manifested by such undermined territories. In the rock massif disturbed by mining activity methane gas is released and accumulated and a methane-air mixture is highly explosive at a certain ratio of oxygen content. Nobody knows exactly what conditions exist underground in rock strata disturbed by mining activity as well as the regularities which govern mine gas migration to surface ground. In Ostrava region many degassing boreholes were drilled down which helped mine gas emission from surface ground in a regulated way. The activity of such boreholes has been monitored and recorded. Statistical processing of data obtained in this manner ranks among the methods of how to obtain valuable information concerning behaviour and migration of coal bed methane in rock strata environment.

There is a statistical analysis of data obtained by monitoring of undermined territory of previous Jaklovec mine discussed in the present article. A huge number of data has been assigned to analysis. The data concerning 38 degassing boreholes had been measured irregularly during one and half a year. On each borehole the course of development of methane concentration in mine gas flow was monitored, furthermore the speed of gas flow and pressure difference between the internal pressure at the borehole bottom and barometric pressure. These data were measured at various weather conditions during all four year seasons, on boreholes drilled up in a very disturbed rock massif. The actual condition and the degree of rock massif failure in vicinity of single boreholes could be only estimated. It can be expected that they would be different around particular boreholes.

Into statistical analyses all boreholes and all measured data were incorporated without exception. Apart of the borehole JD8 which was extremely passive and which probably did not reach the coal seam at all, all boreholes indicated identical trends of behaviour. That is why it can be assumed that it is possible to relate the knowledge obtained not only to Jaklovec mine but also to generalize it for other areas with similar geological and weather conditions.

I would like to emphasize that the huge importance of statistical models consist in reliability with which they work, in the so called importance level and in the fact that the corresponding mathematical equations are well-know. It means in practice that for each calculated characteristics also the percent of error is known which could be committed in its calculation. No other type of model is capable to provide us with such “reliability”.

Trends in behaviour of boreholes are as follows:

- Activity of single boreholes is gradually dropping in course of years.
- A linear inverse proportion exists between pressure difference Δp and atmospheric pressure p_B . Roughly a change of Δp by 1 Pa in active boreholes corresponds to a change of p_B by 10 Pa, but to change of Δp by 0,1 Pa in case of passive boreholes.
- In case of barometric pressure $p_B = 1020$ hPa a balancing of pressure between the underground and atmosphere occurs in a boreholes in given locality.
- The pressure difference Δp is never disturbed equally around zero, in an absolute value max Δp is always higher than min Δp .

- There is always zero value of methane concentration when depression exists in a borehole ($\Delta p < 0$).
- The more active boreholes indicate the more methane.
- No dependence of methane concentration on pressure difference Δp can be observed from the point of view of statistic characteristics.
- At a zero value of pressure difference Δp there is also a zero gas flow speed in borehole.
- At depression in a borehole an indirect proportion is valid, the inclination of regression line is less steep than in case of overpressure.
- For overpressure the direct proportion is valid, the higher is the overpressure, the more the in-seam pressure prevails over atmospheric pressure and the bigger is mine gas emission on surface ground.

Recenzent: Ing. Jaroslav Němec, DrSc., Energie Kladno