

Využití matematického zpracování údajů o množství plynovzdušné směsi získaných z monitoringu odplyňovacích vrtů

Iveta Cholevová¹ a Josef Mazáč²

Utilization of processing mathematic data on gas – air mixtures obtained from the monitoring of degassing wells

Contemporary findings show that the outflow of firedamps into the atmosphere related to the development of barometer pressure's. Firedamps contain dangerous methane, which is a result of the coalification process. This paper gives an information about the processing of mathematic data (originated from the monitoring unit of the degassing well used for leading firedamps from the underground), which is situated in Slezská Ostrava region.

Key words: barometer, firedamp, gas-air mixture, methane concentration, attribute, line slope, degassing well, monitoring unit.

Úvod

Od počátku dobývání černého uhlí na Ostravsku je uhelné hornictví doprovázeno uvolňováním důlních plynů s obsahem metanu vlivem hornické činnosti. V počátcích těžby bylo jediným úspěšným protiplynovým prostředkem dostatečné intenzivní větrání, ke kterému byla v rámci zajištění bezpečnosti provozování dolů zavedena od konce 50. let minulého století postupně důlní degazace (cílené odvádění metanovzdušné směsi z důlních děl). Degazace významně přispěla ke zvýšení bezpečnosti provozování dolů. Tento režim nepřetržitého a kontrolovaného odvádění důlního plynu byl přerušen náhlým ukončením těžby, které bylo zahájeno v roce 1991 na základě vládního usnesení.

Po zastavení hornické činnosti a technické likvidaci dolů však nadále pokračuje proces uvolňování důlních plynů do vydobytých prostor, které často komunikují s povrchem. Jedná se především o oblasti, kde se uhelné sloje vyskytují v blízkosti povrchu. Z uzavřených dolů tak uniká metan, který je nebezpečný především svou výbušností ve směsi se vzduchem. Metan je rovněž zařazen mezi tzv. skleníkové plyny a má tedy negativní vliv na globální oteplování zeměkoule.

Na intenzitu výstupu důlních plynů ze starých důlních děl má vliv řada faktorů. Nejvýznamnější podíl mají změny barometrického tlaku. V roce 1995 byla zahájena realizace odplyňovacích vrtů, jejichž cílem bylo zajistit území proti nekontrolovatelným výstupům důlních plynů. Rovněž začalo být prováděno vyhledávání a sanace starých hlavních důlních děl a jejich vybavování tzv. odfukovými komínky. Nedílnou součástí vytvořeného odplyňovacího systému je provádění pravidelných měření na jednotlivých lokalitách. V rámci monitoringu jsou mimo jiné měřeny koncentrace metanu, množství plynovzdušné směsi v návaznosti na hodnoty barometrického tlaku. Část těchto měření byla použita pro provedení analýzy dat s cílem získat co nejvíce možných informací o jejich závislostech.

Původ dat

Analyzovaná data pocházejí z monitorovací jednotky odplyňovacího vrtu sloužícího k odvádění důlních plynů z podzemí, který je umístěn ve Slezské Ostravě. Tento vrt byl odvrtán jako odplyňovací vrt sloužící k zamezení průniku metanu do prostor projektovaného budoucího objektu základové stanice RDTF sítě EUROTEL.

Současné poznatky z této oblasti ukazují, že únik důlních plynů do atmosféry souvisí prakticky především s chováním barometrického tlaku. Při nižších hodnotách barometrického tlaku dochází k uvolňování důlních plynů z podzemí na povrch a jejich smísení s atmosférou, při vyšších hodnotách tlaku naopak dochází k zatlačování atmosféry zpět do podzemí.

¹ Mgr. Iveta Cholevová, VŠB-Technická univerzita Ostrava; 17. listopadu, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika, tel.: +420/596994154, iveta.cholevova@vsb.cz

² doc. Ing. Josef Mazáč, CSc., VŠB- Technická univerzita Ostrava; 17. listopadu, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika, tel.: +420/596993527, josef.mazac@vsb.cz

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 11. 8. 2006)

Struktura získaných dat

- *Datum* – Datum měření. Měření bylo prováděno od 10.8.2004 7:00 do 10.2.2005 6:00 každý den v intervalech jedné hodiny. Celkem bylo získáno 4415 údajů. Hodina měření označuje počátek hodinového intervalu měření.
- *Maximum_CH4* – Reálný atribut s významem maximální hodnoty obsahu CH₄ ve směsi během 1 hodiny měření. (%)
- *Průměr_CH4* – Reálný atribut s významem průměrné hodnoty obsahu CH₄ ve směsi během 1 hodiny měření. (%)
- *CPM_UP* – Reálný atribut, jehož hodnoty představují množství plynu proudícího do ovzduší. (m³ h⁻¹).
- *CPM_DOWN* – Reálný atribut, jehož hodnoty představují množství plynu vracejícího se zpět do podzemí. (m³ h⁻¹).
- *Tlak* – Reálný atribut s významem barometrického tlaku v době měření. (hPa)

Transformace a odvození dat

V rámci dalšího předzpracování dat bylo provedeno odvození nových atributů *CPM_DOWN-CPM_UP* a *SMĚRNICE_TLAK*. Jejich význam a motivace pro jejich odvození bude uveden níže.

Odvozené atributy a jejich význam

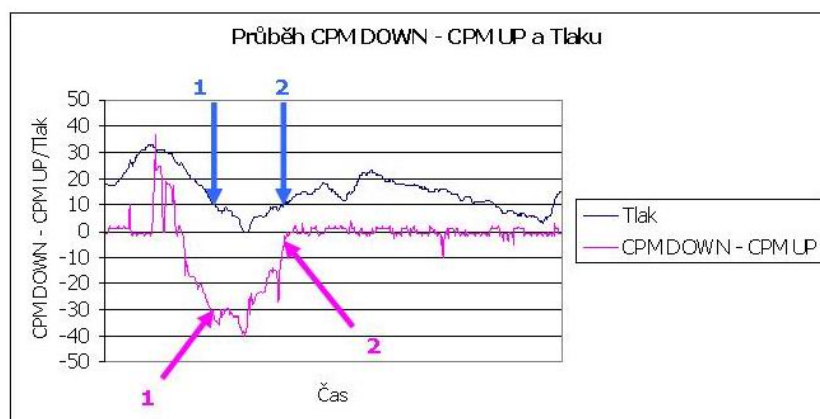
- *CPM_DOWN-CPM_UP* – Rozdíl hodnot atributů *CPM_DOWN* a *CPM_UP*. Tuto operaci lze provést, protože v okamžiku, kdy je jeden z atributů nenulový, druhý určitě nabývá hodnoty 0. Odvozený atribut tak zachycuje průtok vzdušné směsi vrtem – kladné hodnoty indikují proudění směrem do podzemí, záporné směrem do atmosféry. Místo s dvěma atributy můžeme nyní pracovat pouze s jedním, čímž se následná analýza zjednoduší.
- *CPM_DOWN-CPM_UP_KATI* - Kategorizace atributu *CPM_DOWN-CPM_UP* podle těchto intervalů:

CPM_DOWN-CPM_UP	CPM_DOWN-CPM_UP_KATI	význam
(-, -20 >	0	významný vzestup
< -20, -5 >	1	vzestup
< -5, 5 >	2	klidový stav
< 5, 20 >	3	sestup
< 20, - >	4	významný sestup

- *TLAK_KAT* - Kategorizace atributu *TLAK* podle těchto intervalů:

TLAK	TLAK_KAT
< -, 999 >	0
< 1000, 1005 >	1
< 1005, 1010 >	2
< 1010, 1015 >	3
< 1015, 1020 >	4
< 1020, 1025 >	5
< 1025, 1030 >	6
< 1030, - >	7

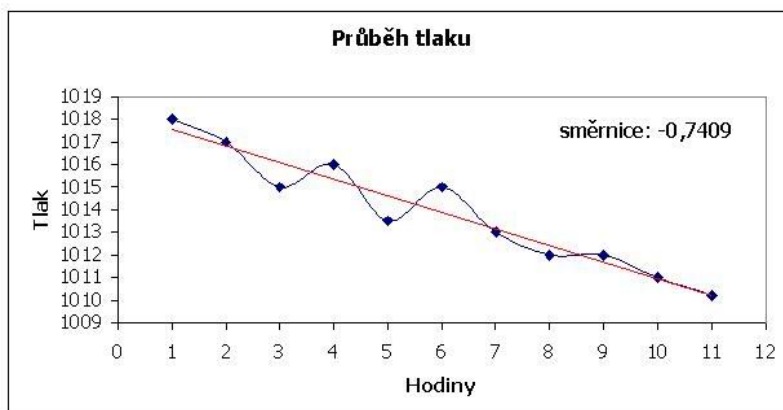
- *SMĚRNICE_TLAK* - Reálný atribut, odvozený z atributu *TLAK*. Tento atribut měl zohlednit skutečnost, že pohyb důlních plynů není závislý jen na hodnotě barometrického tlaku, ale také na jeho časovém průběhu. Na grafu níže lze vidět, že pro stejné hodnoty barometrického tlaku (modré šipky č. 1 a č. 2) se výrazně liší hodnoty *CPM_DOWN - CPM_UP* (růžové šipky č. 1 a č. 2).



Na grafu níže lze vidět, že pro stejné hodnoty barometrického tlaku (modré šipky č. 1 a č. 2) se výrazně liší hodnoty *CPM_DOWN - CPM_UP* (růžové šipky č. 1 a č. 2).

Obr. 1. Průběh *CPM_DOWN - CPM_UP* a *Tlaku*.
Fig. 1. Course of *CPM_DOWN - CPM_UP* and *press*.

Lze tedy předpokládat, že na pohyb plynů odplyňovacím vrtem má vliv kromě hodnoty barometrického tlaku také jeho průběh – tzn. zda klesá či stoupá a jak intenzivně. Proto byl vytvořen odvozený atribut *SMĚRNICE_TLAK*. Jeho hodnota se pro každý záznam měření (bod na grafu „Průběh tlaku“) spočítá jako směrnice regresní přímky, kterou proložíme dotyčným bodem a desíti předcházejícími. Následující obrázek dokumentuje výpočet atributu *SMĚRNICE_TLAK* pro 11. hodinu:



Obr. 2. Demonstrace výpočtu směrnice.
Fig. 2. Demonstration of the calculation of slope.

Podle hodnoty atributu lze určit průběh barometrického tlaku:

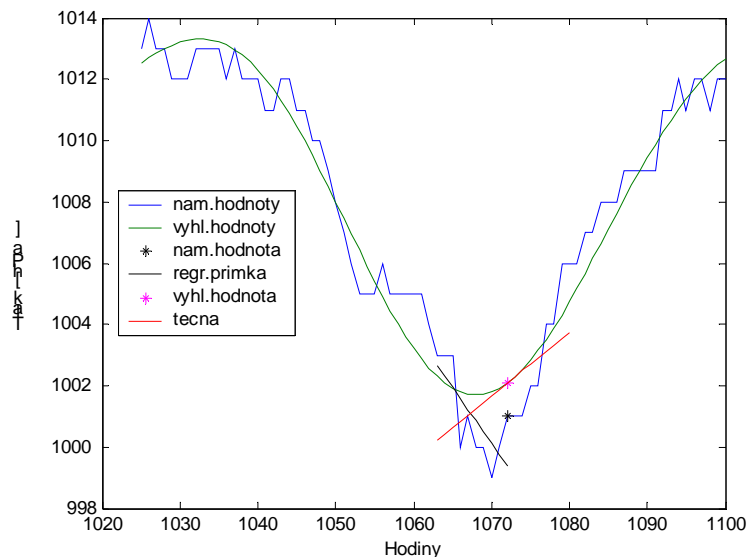
- o $SMĚRNICE_TLAK > 0$ tlak v daném okamžiku stoupá,
- o $SMĚRNICE_TLAK < 0$ tlak v daném okamžiku klesá,
- o $SMĚRNICE_TLAK = 0$ vyrovnaný stav,
- o $|SMĚRNICE_TLAK|$ intenzita poklesu/vzestupu.

- *SMĚRNICE_TLAK_KAT* - Kategorizace atributu *SMĚRNICE_TLAK* podle těchto intervalů:

SMĚRNICE_TLAK	SMĚRNICE_TLAK_KAT	význam
< -, -1.0 >	0	silný pokles
< -1.0, -0.3 >	1	pokles
< -0.3, 0.3 >	2	Vyrovnaný stav
< 0.3, 1.0 >	3	vzestup
< 1.0, - >	4	silný vzestup

Vyhazení křivky barometrického tlaku

Na obr. 2 je znázorněn ideální případ, kdy vypočtený atribut *SMĚRNICE_TLAK* odpovídá klesajícímu charakteru barometrického tlaku. Problém však může nastat v případě, že se bod, ve kterém počítáme směrnici přímky, nachází za některým z extrémů, jak je znázorněno na obr. 3. Směrnice vypočtené regresní přímky ve vyznačeném bodě výše uvedeným způsobem udává klesající tendenci, zatímco barometrický tlak již roste. Situaci je možno řešit tak, že hodnoty barometrického tlaku vyhladíme a směrnici vypočteme jako směrnici tečny v bodě k vyhlazené křivce. Tímto způsobem odstraníme nepřesnosti ve výpočtech v případě náhlých změn barometrického tlaku.



Obr. 3. Srovnání výpočtu směrnice k původním a vyhlazeným hodnotám.
Fig. 3. Comparison of the calculation of slope to the primary and smoothed values.

K vyrovnání hodnot časové řady barometrického tlaku byla použita Fourierova transformace, která nahrazuje původní funkci Fourierovou řadou. Samostatným problémem je volba parametru vyhlazení křivky s ohledem na to, aby vyhlazující funkce co nejlépe aproximovala experimentální data. Velikost tohoto parametru byla postupně měněna tak, aby byl zachován dlouhodobý trend změny barometrického tlaku. Jako nejvhodnější se ukázala být hodnota 0,05.

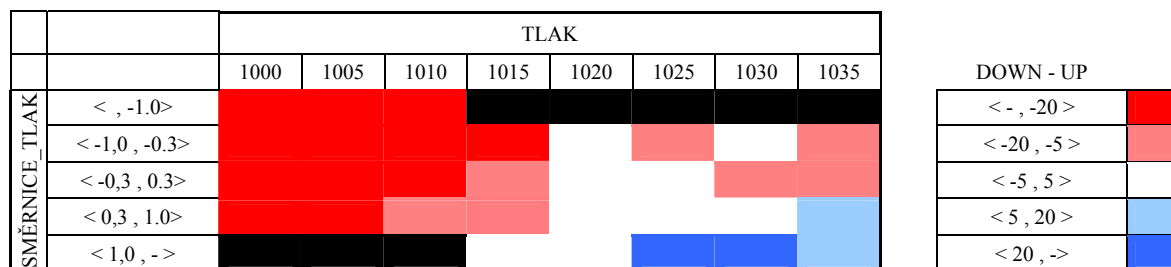
K vyhlazené křivce hodnot barometrického tlaku byla vypočtena směrnice přímky v každém bodě jako numerická derivace. Tento výpočet je vhodnější než předcházející způsob pomocí regresní přímky, poněvadž nezatíží zpracovávaná data chybou. Ta se projeví v situaci, kdy dochází k náhlé změně barometrického tlaku. To je v případech, kdy po stoupání či stagnaci barometrického tlaku dochází k jeho prudkému poklesu nebo naopak.

Na obr. 3 je demonstrována situace, kdy po výrazném poklesu barometrického tlaku nastává jeho náhlý růst. Pokud vypočteme směrnici tečny v bodě, který následuje vzápětí po dosaženém minimu barometrického tlaku pomocí regresní přímky, dostaneme zápornou hodnotu. Ta udává klesající charakter, zatímco skutečnost je opačná. Pokud však hodnoty průběhu barometrického tlaku vyhladíme a vypočteme směrnici přímky jako numerickou derivaci, získáme hodnotu kladnou, která odpovídá reálné situaci a potvrzuje rostoucí trend barometrického tlaku.

Dolování znalostí

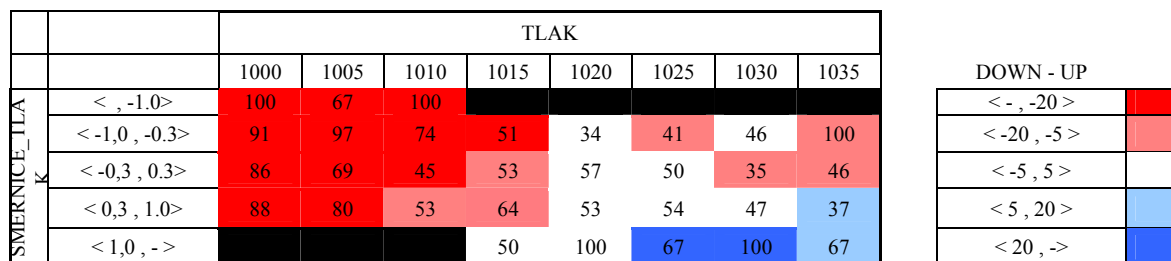
Jak již bylo dříve uvedeno, bude celý proces dolování znalostí zaměřen na studium vlivu barometrického tlaku na chování důlních plynů. Lze předpokládat existenci příčinného vztahu mezi atributy TLAK a SMĚRNICE_TLAK a atributem CPM_DOWN-CPM_UP. Na základě hodnoty atributů TLAK a SMĚRNICE_TLAK můžeme předpovědět surčitou pravděpodobností, jaká bude hodnota atributu CPM_DOWN-CPM_UP. Použitá metoda rozhodovacích stromů je založena na hledání podmínek ve formě hodnot vstupních atributů, za kterých padne objekt do jednotlivých zvolených klasifikačních tříd. Pokud těmito klasifikačními třídami zvolíme jednotlivé intervaly atributu CPM_DOWN-CPM_UP a jako předpovídající atributy zvolíme atributy TLAK a SMĚRNICE_TLAK, získáme výsledky vyjádřené rozhodovacím stromem. Pro každou kombinaci atributů TLAK x SMĚRNICE_TLAK tímto způsobem získáme nejpravděpodobnější interval, do kterého náleží atribut CPM_DOWN-CPM_UP.

Graficky lze vytvořený strom znázornit také takto:



Obr. 4. Grafická reprezentace rozhodovacího stromu vycházející z naměřených hodnot barometrického tlaku.
Fig. 4. Graphic representation of the decision tree originating from the measured values of barometric press.

Pro každou kombinaci atributů TLAK x SMĚRNICE_TLAK je barvou identifikována odpovídající klasifikační třída atributu CPM_DOWN-CPM_UP. Následuje tatáž tabulka, která obsahuje také hodnotu pravděpodobnosti, že objekty s odpovídajícími hodnotami předpovídajících atributů náleží do dané třídy.



Obr. 5. Jiná grafická reprezentace rozhodovacího stromu vycházející z naměřených hodnot barometrického tlaku.
Fig. 5. Another graphic representation of the decision tree originating from the measured values of barometric.

V následujícím grafickém znázornění rozhodovacího stromu jsou uvedena zpracovaná vyhlazená data včetně výpočtu numerické derivace (obr. 6). Největší rozdíl ve výsledcích je v levém horním a pravém

dolním řádku tabulky. Na rozdíl od předcházejícího zpracování jsou už všechna políčka černá, což znamená, že daná situace nenastala v žádném případě. To potvrzuje skutečnost, že v případě nízkého barometrického tlaku není pravděpodobné, že bude docházet ještě k silnému poklesu a naopak.

		TLAK								DOWN-UP	
		1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030		1035	
SMĚRNICE_TLAK	< 0, -1.0 >									< -, -20 >	
	< -1,0, -0.3 >	81,82	83,33	80,33	50,00	29,57 43,48	36,47 44,71	28,57 52,86		57,14	< -20, -5 >
	< -0,3, 0.3 >	100,00	75,00	40,11 44,63	31,26 50,74	61,53	30,8 48,18	28,11 32,62	28,11	27,4 45,89	< -5, 5 >
	< 0,3, 1.0 >	100,00	73,91	39,47 43,52	41,94 48,39	34,07 48,15	49,04	25,93 30,86 30,86		26,09 30,43	< 5, 20 >
	< 1,0, - >						100				< 20, - >

obr. 6. Grafická reprezentace rozhodovacího stromu vycházející z vyhlazených hodnot barometrického tlaku.
Fig. 6. Graphic representation of the decision tree originating from smoothed values of barometric press.

Z grafu lze také odvodit některé obecnější závěry. Při kombinaci současného silného poklesu barometrického tlaku, který je dán směrnici přímkou v intervalu $<-1.0 ; -0.3 >$ a hodnoty barometrického tlaku do 1015 hPa, dochází nejčastěji k významnému proudění směrem vzhůru. S rostoucí hodnotou barometrického tlaku, pravděpodobnost výstupu plynovzdušné směsi do ovzduší výrazně klesá a v intervalu $<1025;1030 >$ převažuje pravděpodobnost klidového stavu.

Závěr

Předkládaná práce byla především zaměřena na studium pohybu plynovzdušné směsi v odplynovacím vrtu v závislosti na vývoji barometrickém tlaku. Uvolňování důlních plynů do atmosféry je sice přirozeným přírodním procesem, který vykazuje velkou míru náhodnosti, ale v praxi se potvrdilo jeho ovlivnění časovým průběhem barometrického tlaku. Při jeho nižších hodnotách dochází k uvolňování důlních plynů z podzemí na povrch, při vyšších hodnotách tlaku naopak dochází k zatlačování atmosféry zpět do podzemí. Popis tohoto vztahu jsme se pokusili upřesnit a exaktně vyjádřit metodami dolování znalostí z dat.

Aplikací metod matematické statistiky na analyzovaná data se potvrdila hypotéza o existenci příčinného vztahu mezi průběhem barometrického tlaku a pohybem plynů v odplynovacím vrtu. Nalezená pravidla umožnila na základě hodnoty atributů *TLAK* nebo *SMĚRNICE_TLAK* předpovědět s určitou pravděpodobností, jaká bude hodnota atributu *CPM_DOWN-CPM_UP*.

Do analýzy nebyl zahrnut atribut *Průměr_CH4*. K jeho analýze metodami dolování znalostí z dat by bylo třeba nejprve odvodit několik nových atributů (zohledňující předcházející vývoj *CPM_UP* apod.). I tak by ale aplikace těchto metod byla asi obtížná a pro tento typ dat patrně nevhodná.

Literatura - References

- Hájek, P., Havránek, T., Chytil, M.: Metoda GUHA. *Academia, Praha 1982.*
Šarmanová, J.: Teorie zpracování dat. *Skriptum VŠB-TU, Ostrava, 1997.*