

Technológia vrtania uklonených a horizontálnych vrtov v uhoľných slojoch

Vízi Ladislav¹, Marcin Marián a Pinka Ján

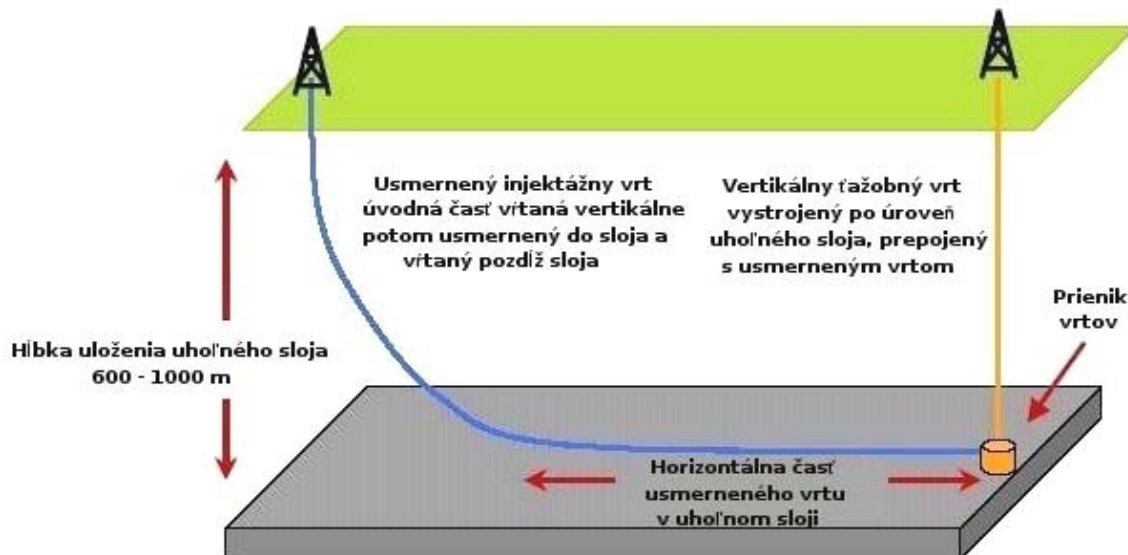
Deviated and Horizontal Wells Drilling Technology in Coal Seams

Drilling in coal seams becomes more and more popular at the present time, especially due to the fact that coal can be exploited not only by subsurface or surface mining methods but also in much cleaner way – underground coal gasification. The presented article is focused on the modern drilling technologies (used in drilling of deviated and horizontal wells needed for underground coal gasification), their advantages and drawbacks. The end of the article is dedicated to the method of the calculation of trajectory coordinates for a deviated well.

Key words: horizontal well drilling, underground coal gasification, trajectory calculation.

Úvod

Vrtanie vrtov v uhoľných slojov sa vo svete stáva stále viac populárnejším, pretože umožňuje využívať uhlie aj z ložísk, ktoré je neekonomické dobývať klasickým banským spôsobom, či už povrchovým alebo podpovrchovým. Z dôvodu úložných pomerov väčšiny známych uhoľných slojov je trajektória vrtu potrebná na vrtanie v uhoľnom sloji usmernená, v niektorých prípadoch až horizontálna (Obr. 1). Už jeden z prvých pokusov aplikácie podzemného splyňovania v Európe, na severovýchode Španielska, na ložisku El Tremeda, poukázal na nutnosť vrtania usmerneného vrtu v uhoľnom sloji nachádzajúcom sa v hĺbke 550 m. Pokus skončil úspešne a demonštroval uskutočniteľnosť splyňovania, poukázal na nutnosť využívania usmerneného vrtania, ako aj na výhody kontrolovaného vstrekovania pomocou systému CRIP (Controlled Retractable Injection Point), pre ktorý bola konštrukcia vrtu upravená.



Obr. 1. Schéma trajektórie injektážneho a ťažobného vrtu pri podzemnom splyňovaní uhlia [3].

Fig. 1. A scheme of the trajectory of the injection and production well in UCG [3].

¹ Ing. Vízi Ladislav, Ing. Marcin Marián, PhD, prof. Ing. Pinka Ján, CSc., Ústav geo a environmentálnych technológií, Fakulta BERG, Technická univerzita, Košice
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 21. 8. 2006)

Technológia vrtania uklonených a horizontálnych vrtov

Technológie vrtania uklonených a horizontálnych vrtov sú vo väčšine prípadov odvodené z postupov vrtania vysoko uklonených vrtov pre ťažbu ropy a zemného plynu, kde trajektória vrtu pretína ložisko v čo najväčšej dĺžke, a tým zväčšuje filtračnú zónu potrebnú pre ťažbu ropy alebo plynu. Pri vrtaní vrtov v uhoľných slojoch je potrebné zabezpečiť čo najväčšiu dĺžku vrtu priamo v uhoľnom sloji a tým poskytnúť dostatočné množstvo uhlia pre potreby podzemného splyňovania.

Technológie vrtania uklonených a horizontálnych vrtov môžeme vo všeobecnosti rozdeliť na:

- rotačné vrtanie,
- vrtanie s ponorným motorom,
- vrtanie s vinutými stúpačkami.

Každá z uvedených technológií má svoje výhody, ale aj nevýhody, prípadne obmedzenia jej aplikácie.

Rotačné vrtanie je technológia prevzatá z vrtania v ložiskách nafty a plynu. Je to najjednoduchší spôsob vrtania, pri ktorom rotuje celá vrtná kolóna. Rotácia kolóny je zabezpečená na povrchu pomocou rotačného stola alebo systému Top Drive. Najväčšou výhodou tejto metódy je jej cena, pretože používa klasické prvky vrtania, výplachový systém a jednoduché systémy vrtania úhybov vrtu. Jej použitie je limitované hlavne maximálne možným úhybom, ktorý je možné dosiahnuť s rotujúcou vrtnou kolónou.

Vrtanie s ponorným motorom, prípadne turbínou je technológia, ktorou je možné na rozdiel od klasického rotačného vrtania navrtáť aj horizontálny vrt. Vrtná kolóna je pri tejto technológii zložená aj z ponorného motora prípadne turbíny, ktorý zabezpečuje rotáciu len jej spodnej časti. Keďže hlavný zdroj energie je prúdiaci výplach, je táto technológia citlivá na obsah pevných častíc vo výplachu cirkulujúcom cez ponorný motor. Z uvedeného dôvodu je pri vrtaní nevyhnutné kvalitné výplachové hospodárstvo, ktoré zabezpečí jeho dokonalé očistenie. Zostava spodnej časti vrtnéj kolóny spolu so zariadením pre kontinuálne meranie niektorých karotážnych a technologických parametrov je zobrazená na obr. 2. Na vrtanie s ponorným motorom je možné použiť konvenčnú vrtnú súpravu.

V praxi je veľmi častá kombinácia rotačného vrtania spolu s vrtaním s ponorným motorom v úhybovom a horizontálnom úseku vrtu.

Vrtanie pomocou systému vinutých stúpačiek využíva princíp vrtania s ponorným motorom. Kolóna vinutých stúpačiek je kontinuálna, pri vrtaní rotuje len jej spodná časť nachádzajúca sa pod ponorným motorom a vrtanie s ňou sa často nazýva aj posuvným vrtaním. Najväčšou výhodou používania technológie vinutých stúpačiek na vrtanie

Obr. 2. Spodná časť vrtnéj kolóny pre vrtanie s ponorným motorom [4].

Fig. 2. BHA for drilling with PDM [4].

úhybových vrtov je vyššia rýchlosť vrtania z dôvodu neexistujúcich prestávok potrebných pri napájaní vrtných rúr. Na druhej strane jej najväčšou nevýhodou sú pomerne malé priemery vrtov, ktoré sa s vinutými stúpačkami dajú navrtáť. Pri vrtaní s vinutými stúpačkami je taktiež potrebné počítať so zvýšenými cirkulačnými tlakmi počas vrtania.

Výpočet priestorových súradníc trajektórie uklonených vrtov

Pri rotačnom vrtaní sa os vrtu z rôznych príčin samovoľne odkláňa od vertikály a môže súčasne meniť aj smer proti smeru rotácie [6]. Vzhľadom na zakrivenie vrtov vrtaných z povrchu je potrebné vziať do úvahy tieto skutočnosti a počítať priestorové súradnice jednotlivých jadier na základe inklinometrických meraní príslušných vrtov. Nakoľko inklinometrické merania môžu byť vykonávané po úsekoch, ktorých hodnota

vysoko prevyšuje dĺžky analyzovaných jadier, je potrebné uskutočnené merania vydeliť príslušným počtom jadier prislúchajúcich jednotlivým meracím bodom:

$$p_{\alpha} = \frac{\alpha}{n}, \quad \text{pričom} \quad \alpha_1^p = \pm p_{\alpha}, \dots, \alpha_i^p = \alpha_{i-1}^p \pm p_{\alpha}, \dots, \alpha_n^p = \alpha, \quad (1)$$

kde: P_{α} je podiel celkového úklonu vrtu medzi dvoma meraniami A1 a A2 pre každé jadro na tejto vzdialenosti [o],

α_i^p je prírastok úklonu i-tého jadra medzi dvoma meraniami A1 a A2 [o],

n je počet jadier medzi dvoma meraniami A1 a A2.

Podobne pre azimut bude:

$$p_{\beta} = \frac{\beta}{n}, \quad \text{pričom} \quad \beta_1^p = \pm p_{\beta}, \dots, \beta_i^p = \beta_{i-1}^p \pm p_{\beta}, \dots, \beta_n^p = \beta. \quad (2)$$

Predkladaný výpočet S-JTSK súradníc v trojrozmernom priestore je vypracovaný na základe geologickej konvencie orientácie a otáčania súradnicového systému². Schéma pre takýto výpočet je zobrazená na obr. 3, kde:

$P_{X,Y,Z}$ je počiatok segmentu (jadro, vrt, zlom) so známymi S-JTSK súradnicami

$K_{X,Y,Z}$ sú hľadané súradnice konca segmentu

D je známa dĺžka segmentu [m]

α je známy vertikálny uhol úklonu segmentu [°]

β je známy horizontálny uhol smeru segmentu [°]

— je pozdĺžna vertikálna rovina

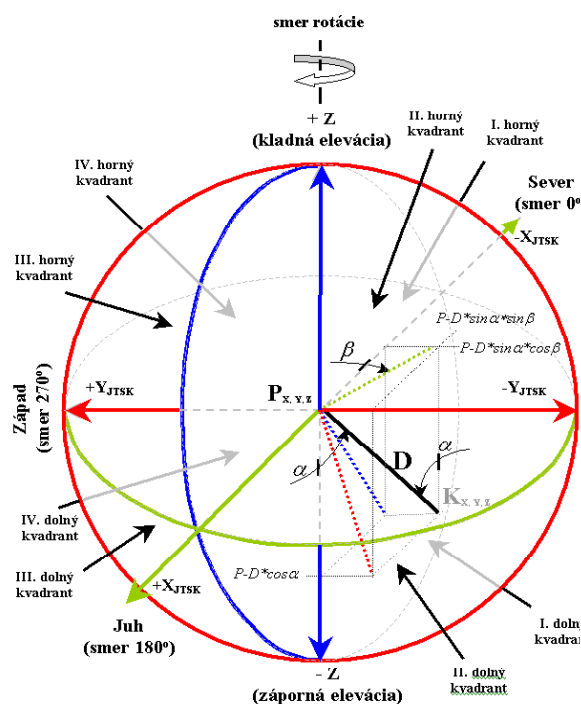
— je priečna vertikálna rovina

— je horizontálna rovina

..... je priemet segmentu na pozdĺžnu vertikálnu rovinu

..... je priemet segmentu na priečnu vertikálnu rovinu

..... je horizontálny priemet segmentu



Obr. 3. Schéma výpočtu súradníc v trojrozmernom S-JTSK systéme [7].

Fig. 3. A scheme of the coordinate calculation in the 3D S-JTSK system [7].

Tab. 1. udáva “trendy” zvyšovania, resp. znižovania hodnôt X, Y a Z súradníc v takomto trojrozmernom priestore v uvedenom S-JTSK systéme koordinátov.

² Od azimutu 0° (sever), v smere hodinových ručičiek s kladným zvyšovaním hodnoty uhla smeru otáčania.

Tab. 1. Tabuľka trendov prírastkov S-JTSK súradníc pre kvadranty trojrozmerného priestoru.
Tab. 1. Trends of increments of the S-JTSK coordinates for the quadrants in 3D space.

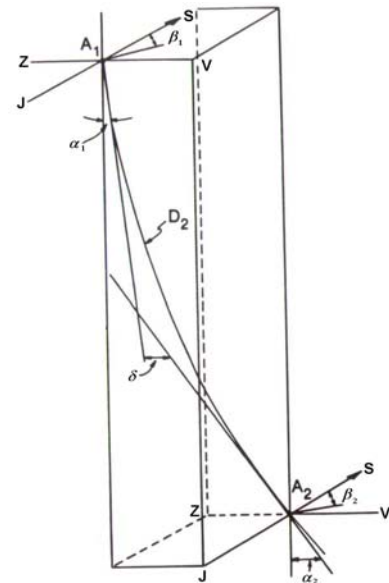
kvadrant		X _{JTSK}	Y _{JTSK}	Z
horný	I	-	-	+
	II	+	-	+
	III	+	+	+
	IV	-	+	+
dolný	I	-	-	-
	II	+	-	-
	III	+	+	-
	IV	-	+	-

Spomedzi rôznych metód pre výpočet trajektórie zakrivenia priebehu vrtu sa ako najvhodnejšia javí metóda minimálneho zakrivenia, ktorá je najčastejšie používanou metódou s veľmi vysokou presnosťou [1]. Táto metóda používa uhly merané v bodoch A₁ a A₂ a predpokladá, že vrt je na úseku D₂ zakrivený a nie priamy (Obr. 4). Metóda tiež zahŕňa výpočet celkovej zmeny uhla δ medzi bodmi merania A₁ a A₂:

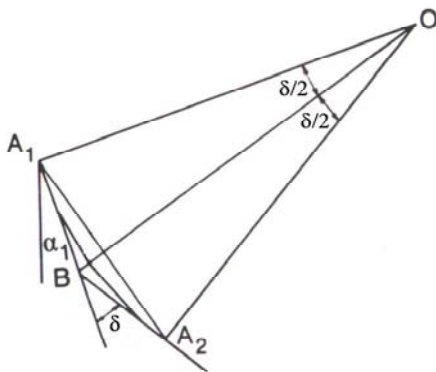
$$\cos \delta = \cos(\alpha_i - \alpha_{i-1}) - \{ \sin(\alpha_i) \sin(\alpha_{i-1}) [1 - \cos(\beta_i - \beta_{i-1})] \}. \quad (3)$$

Uvedená metodika bola upravená pre potreby výpočtu priestorových súradníc v S-JTSK systéme nasledovne [5]:

$$\begin{aligned} X_i &= X_{i-1} - (D_i/2) [\sin(\alpha_{i-1}^p) \cos(\beta_{i-1}^p) + \sin(\alpha_i^p) \cos(\beta_i^p)] F_i \\ Y_i &= Y_{i-1} - (D_i/2) [\sin(\alpha_{i-1}^p) \sin(\beta_{i-1}^p) + \sin(\alpha_i^p) \sin(\beta_i^p)] F_i, \\ Z_i &= Z_{i-1} - (D_i/2) [\cos(\alpha_{i-1}^p) + \cos(\alpha_i^p)] F_i, \end{aligned} \quad (4)$$



Obr. 4. Krivka reprezentujúca časť vrtu medzi dvoma inklinometrickými meraniami A1 a A2 [1].
Fig. 4. A curve representing a wellbore between survey stations A1 and A2 [1].



Obr. 5. Schématické zobrazenie faktora podielu minimálneho zakrivenia [1].
Fig. 5. A representation of minimum curvate ratio factor [1].

kde F_i je faktor reprezentujúci podiel minimálneho zakrivenia (Obr. 5) definovaný ako:

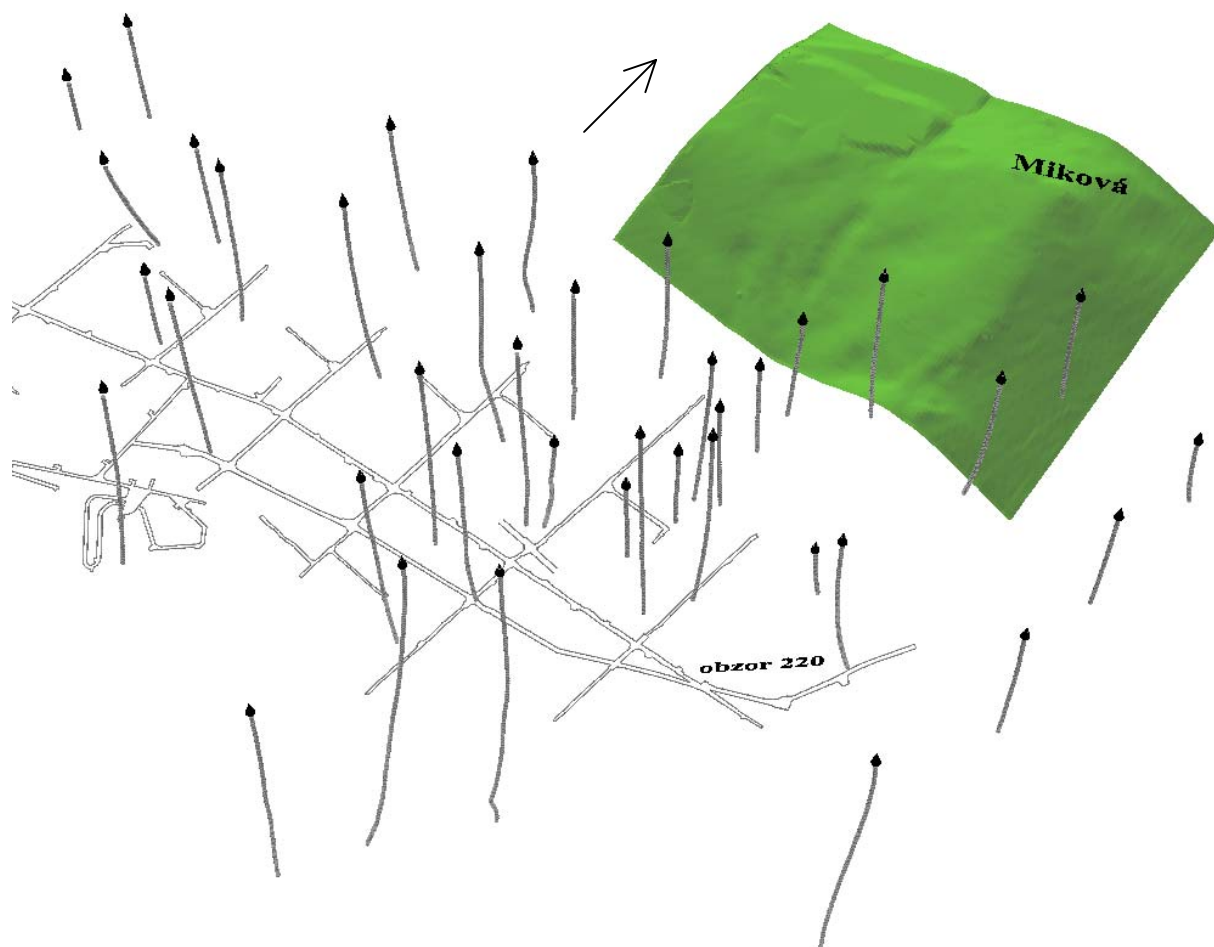
$$F_i = (2/\delta_i) \tan(\delta_i/2). \quad (5)$$

V prípade, že je δ menšie ako 0,25 rad, odporúča sa považovať hodnotu F rovnú 1 [1].

Diskusia

Existuje viac ako 18 spôsobov výpočtov trajektórie vrtov [1]. Hlavný rozdiel medzi nimi je, že prvá skupina metód výpočtov používa lineárnu aproximáciu medzi staničeniami inklinometrických meraní vrtu. Druhá skupina naopak, predpokladá zakrivenia medzi týmito staničeniami, a preto je priebeh medzi nimi aproximovaný zakriveným segmentom. Z uvedeného vyplýva, že druhá skupina metód je vhodnejšia hlavne v prípade, že staničenia inklinometrických meraní sú oveľa viac vzdialenejšie v porovnaní s jednotlivými údajmi analyzovanými z vrtu. Upravená metóda minimálnych zakrivení sa javí ako najvhodnejšia z dôvodu

svojej jednoduchosti a adaptabilite pre S-JTSK súradnicový systém. Rovnako je táto metóda najčastejšie používanou metódou vo svete a najvyššiu presnosť výpočtu trajektórií šikmých vrto. V praxi bola táto metóda overená aj u nás [6]. Výsledné trojrozmerné zobrazenie priebehu jednotlivých vrto je na obr. 6.



Obr. 6. Trojrozmerné zobrazenie priebehov vrto [5]³.

Fig. 6. 3D representation of drillholes [5]⁴.

Záver

Usmernené vŕtanie je proces usmerňovania priebehu vrto pozdĺž určitej trajektórie smerom k preddefinovanému cieľu. Vŕtanie je trojrozmerný proces. To znamená, že vrtné dláto nepenetruje horninu len vo vertikálnom smere, ale sa riadene alebo neriadene odchyľuje od horizontálnej a vertikálnej roviny. V prípade podzemného splyňovania uhlia hovoríme o riadenom usmernenom vŕtaní s kontrolou deviácie vrto v predpísanom smere a sklone na určitej vzdialenosti v prípustných odchýlkach vzťahujúcich sa k uhlu odklonu a azimutu, resp. oboch. Prvým krokom pri plánovaní usmerného vrto je určenie trajektórie tohto vrto s cieľom dosiahnutia plánovaného sloja v okolitom horninovom masíve. Obvyklým spôsobom, ako určiť trajektóriu vrto, je vypočítať koordináty na základe inklinometrických meraní vrto v rozličných hĺbkach (staničeniach). V prípade plánovaného usmerňovania vrto je však potrebné preddefinovať konečnú trajektóriu vrto a potom vypočítať potrebné inklinometrické vstupy na určitých diskretných vzdialenostiach tak aby zodpovedali projektu vrto. Z toho dôvodu je dôležitý výber vhodnej metodiky výpočtu trajektórie,

³ Povrch prevzatý z [2]. Obzorové chodby prevzaté z [5].

⁴ The surface borrowed from [2]. The level drives borrowed from [5].

rešpektujúcu daný koordinačný systém. V neposlednom rade je však treba mať na pamäti, že výsledný vrt musí mať také vlastnosti, ktoré umožnia jeho bezpečné využívanie.

*Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu
VEGA č. 1/2164/05 – “Získavanie plynu modernými
ekologickými technológiami ťažby v súčasnosti
ťažných aj neťažných ložísk uhlia na území
Slovenska”.*

Literatúra - References

- [1] Bourgoyne, A., T., Jr, Chenevert, M., E., Milhelm, K., K., Young, F., S., Jr.: Applied Drilling Engineering. *SPE textbook series, Vol. 2., 2003, ISBN 1-55563-001-4.*
- [2] Čišovský, J.: Návrh informačného systému a priestorový model banských diel na ložisku Jelšava – časť Miková. *Diplomová práca, 2003, Archív KGaM, FBERG, TU Košice. D-430.*
- [3] Jackson, P.: Drilling Technologies for Underground Coal Gasification, *International UGC Workshop, October 2003.*
- [4] Autors: Underground Coal Gasification in the United Kingdom. *Propagačný materiál vydaný Dpt. of Trade and Industries Cleaner Coal Technology Programme. GB.*
- [5] Sasvári, T.; Kondela, J.: Štruktúro-tektonická analýza východnej časti obzoru 220 ložiska Jelšava – Dúbravský masív., *Záverečná správa, máj 2006.*
- [6] Strnište, K., Šmolík, S.: Hlbinné vrtanie. *Alfa, Bratislava 1992, ISBN 80-05-01011-1.*
- [7] Vizi, L.: Geoštatistický model vytťažiteľných zásob magnezitu na ložisku Jelšava – obzor 220., *Záverečná správa, marec 2006.*