

Prognóza geotermického gradientu a teplot hornin v programovém prostředí SCILAB

Ing. Denisa Fiurášková, prof. Ing. Pavel Prokop, CSc.

VŠB – TU Ostrava, HGF, Institut hornického inženýrství a bezpečnosti, Ostrava - Poruba, denisa.fiuraskova@vsb.cz, pavel.prokop@vsb.cz

Přijato: 1. 4. 2010, recenzováno: 21. 5. a 7. 6. 2010

Abstrakt

V článku je popsána prognóza geotermického gradientu, resp. teploty hornin. Se stále většími hloubkami dobývání uhlí na hlubinných dolech nabývá na významu teplota horninového masívu. Zvýšené hodnoty teplot hornin negativně ovlivňují klimatické podmínky na důlních pracovištích. Při projektování nových pater a zejména při podpatrovém dobývání se stává znalost co nejpřesnější hodnoty prognózované teploty hornin nutností zcela nezbytnou. Je totiž výchozí veličinou pro možnost projektovat důlní větrání a klimatizaci tak, aby tyto činnosti byly efektivní jak z hlediska bezpečnostního, tak z hlediska ekonomického. Za tímto účelem byla sestavena knihovna MineTemp v programovém prostředí SCILAB, která popisovanou prognózu umožňuje.

Geothermal gradient and rock temperature prognosis made on the SCILAB platform

The paper deals with the prognosis of the thermal gradient and rock temperature. The importance of rock massive temperature is increasing in relation with the increasing depth of coal exploited in underground mines. Higher rock temperatures have an adverse effect on working conditions in underground mines. Thus, the prognosis of rock temperature has to be done very carefully when designing new mining levels, especially when working is done under the main haulage level. Rock temperature is the basic parameter for designing mine ventilation and conditioning in order to guarantee that these systems will be effective from the economic as well as safety point of view. For this purpose, the MineTemp register has been developed on the SCILAB platform, which enables to perform such prognosis.

Prognose des geothermischen Gradienten und der Gesteintemperaturen im Programmmilieu SCILAB

Im Artikel ist die Prognose des geothermischen Gradienten, bzw. der Gesteintemperatur beschrieben. Mit immer größer werdenden Teufen der Kohlegewinnung unter Tage wächst die Bedeutung der Temperatur des Gesteinskörpers. Die erhöhten Temperaturwerte der Gesteine wirken negativ auf Klimabedingungen der Arbeitsorte unter Tage. Bei der Planung von neuen Etagen und besonders bei dem Unterwerksbau ist die Kenntnis des womöglich genau prognostizierten Wertes der Gesteinstemperatur unbedingt nötig. Sie ist nämlich die Ausgangsgröße für die Möglichkeit, Grubenwetterung und Klimaanlage so zu projektieren, dass diese Tätigkeiten effektiv sind – sowohl aus der Sicht der Sicherheit als auch aus der Sicht der Wirtschaftlichkeit. Für diesen Zweck wurde die Bibliothek MineTemp im Programmmilieu SCILAB zusammengestellt, die die beschriebene Prognose ermöglicht.

Klíčová slova: teplota horniny, geotermický gradient, prognóza, teplotní pole.

Keywords: rock temperature, geothermal gradient, prognosis, thermal field.

1 Úvod

Důlní mikroklima je problematika stále aktuálnější a závažnější, neboť s přechodem dobývání do větších hloubek se značně zhoršují všechny veličiny a parametry, které důlní mikroklima spoluvytvářejí. Potřeba a snaha minimalizovat náklady vede k optimalizaci jednotlivých procesů v hornické činnosti. Jako prioritní je však nutno brát na zřetel především hledisko bezpečnostní.

Problematickou důlního mikroklimatu, výzkumem průběhu teplotních změn a rozložením teplotního pole v podmínkách hlubinných dolů, se v minulosti zabývala řada autorů.

Současnost však vyžaduje zkoumat tyto parametry v nových současných podmínkách dobývání, tedy především v dnešních reálných hloubkách důlních pracovišť.

2 Výměna tepla mezi důlními větry a okolím

Důlní mikroklima je definováno jako teplotně-vlhkostní stav prostředí na důlním pracovišti. Hlavní veličiny určující mikroklimatické poměry na dole jsou:

- teplota důlních větrů,
- vlhkost důlních větrů,
- rychlost proudění důlních větrů.

K hlavním činitelům, které mají vliv na teplotu důlních větrů, patří především teplota pohoří. Přestupem tepla z pohoří jsou ohřívány větry na cestě k pracovištím a velikost tohoto ohřevu závisí zejména na množství a rychlosti proudění vtažených větrů a také na délce a průřezu větrných cest. Teplota pohoří patří mezi faktory, které jsou dány především přírodními podmínkami a hloubkou důlních pracovišť.

Další činitelé ovlivňující teplotu důlních větrů jsou:

- autokomprese,
- přítomnost vody (její odpařování či kondenzace par),
- teplota potrubí stlačeného vzduchu,
- dopravní pásy a teplota přepravované rubaniny,
- oxidační teplo z uhlí,
- elektrické teplo aj.

3 Stanovení teplot hornin a geotermického gradientu

Tam, kde není možné teplotu hornin přímo změřit, použijeme k jejímu výpočtu vztah (1), jak je uvedeno např. v [1] a [2].

$$T_h = H \cdot G_{gr} + T_r \quad [\text{K}] \quad \text{nebo} \quad T_h = \frac{H}{G_{st}} + T_r \quad [\text{K}] \quad , \quad (1)$$

kde

T_h teplota horniny v hloubce H [K],

H hloubka pod povrchem [m],

G_{gr} geotermický gradient [$\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$],

G_{st} geotermický stupeň [$\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$],

T_r průměrná roční teplota na povrchu [K].

Hodnota geotermického gradientu G_{gr} udává přírůstek teploty v kelvinech připadající na 1 m hloubky. Geotermický stupeň je reciproká hodnota geotermického gradientu a udává počet metrů hloubky H , kterému odpovídá zvýšení teplot hornin o 1 K.

4 Dosavadní stanovení geotermického gradientu

Hodnotu průměrného geotermického gradientu či geotermického stupně lze stanovit dle následujících rovnic (2) odvozených ze vztahu (1)

$$G_{gr} = \frac{T_h - T_r}{H} \quad [\text{K} \cdot \text{m}^{-1}] \quad \text{nebo} \quad G_{st} = \frac{H}{T_h - T_r} \quad [\text{m} \cdot \text{K}^{-1}] \quad , (2)$$

kde za teplotu T_h dosadíme změřenou teplotu hornin na nejhlubším přístupném patře v hloubce H .

Hodnota geotermického gradientu se v různých lokalitách liší. I v téže lokalitě je funkcí hloubky, kdy s narůstající hloubkou klesá. Pro OKR se za průměrnou hodnotu geotermického gradientu považuje $0,033 \text{ [K} \cdot \text{m}^{-1}]$. Skutečné hodnoty zejména v nejhlubších partiích dolů se od této hodnoty již značně liší, jak bude uvedeno dále.

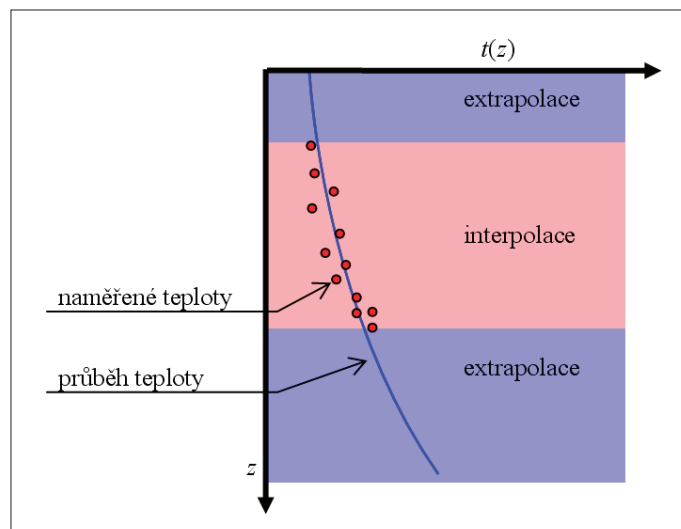
5 Prognóza geotermického gradientu pomocí programového prostředí SCILAB

S cílem získat co nejpresnější prognózu geotermického gradientu či teploty horniny byla sestavena v programovém prostředí SCILAB knihovna MineTemp. Tato knihovna vznikla v rámci řešení studie „Verifikace teplotního gradientu v podmínkách dolů OKR“ HS č. 500804, která byla řešena ve spolupráci VŠB-TU Ostrava a OKD, a.s.

SCILAB je SW program, který umožňuje uživateli snadnou a rychlou práci s maticemi reálných nebo komplexních čísel. Zároveň umí vypočítané výsledky graficky znázornit. Pro vytvoření soudobého teplotního pole byly použity jednak soubory dříve naměřených teplot hornin ze zdrojů [3] a [4], ale také vlastní zdroje nejnovějších měření na dolech OKR z let 2008 a 2009 [5].

6 Jednotlivé metody a jejich využití

V knihovně MineTemp byly vytvořeny metody zpracování prognózy ve formátu 1D zobrazení (zobrazení teplot hornin bodové) a 3D zobrazení (zobrazení teplot hornin prostorové). Dále knihovna MineTemp umožňuje porovnání prognózy geotermického stupně s použitím naměřených dat z [3] a [4]



Obr. 1: Exponenciální aproximace.

a s použitím dat, která byla naměřena v rámci [5]. Vstupní hodnoty jsou rozdělné do šesti souborů. Jednak jsou soubory rozděleny dle lokality měření (karvinská část a ostravská část) a dále jsou rozděleny dle doby měření (starší data získaná z [3] a [4], nová data v rámci [5] a všechna data společně). Dle potřeby si zvolí uživatel soubor, v němž chce pracovat.

Pro potřeby predikce důlních teplot je vhodné postupovat dle metody 1D zobrazení, která využívá aproximace pomocí metody nejmenších čtverců, čili aproximace exponenciální (obrázek č. 1) a je schopna extrapolovat teplotu hornin mimo měřený interval věrohodněji než metoda 3D zobrazení.

U metody 3D zobrazení je použita trojrozměrná aproximace (polynomičká), která velmi názorně zachycuje průběh teplot hornin ve zvolené hloubce a hodí se proto lépe pro prostorové zobrazení průběhu teplot hornin (obrázek č. 4).

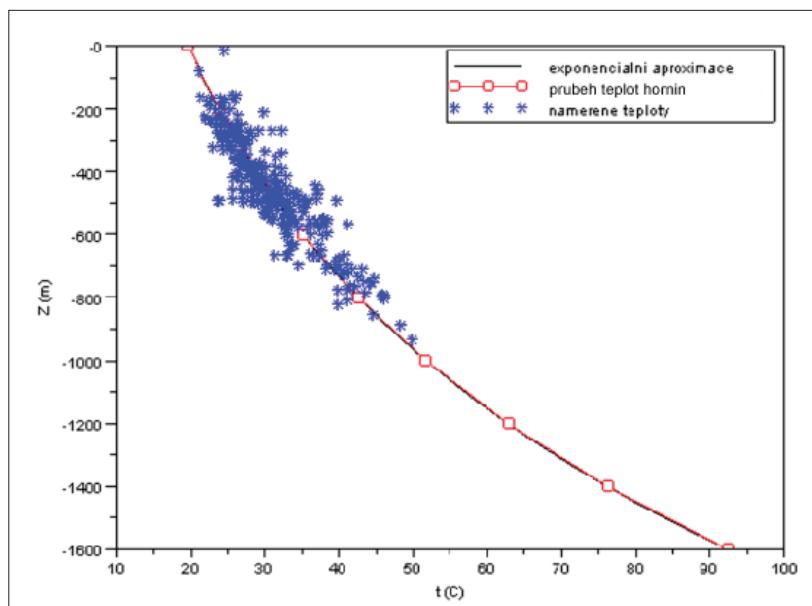
6.1 Metoda 1D zobrazení

Tato metoda nabízí uživateli výpočet a grafické zobrazení teploty hornin a geotermický gradient ve zvolené hloubce.

Uživatel musí pro tuto metodu zvolit soubor `dulni_teploty_1d_graf.sci`, ve kterém je sestavena funkce pro výpočet metody 1D zobrazení. Dále musí zvolit soubor dat, které chce zpracovat. Jedná se o šest zmíněných souborů v kapitole 6. Poslední krok, který učiní uživatel, je zadání hloubky, v níž požaduje prognózu teplot hornin a geotermického gradientu. O další kroky, které vedou k výsledku, se postará program.

Výsledkem této metody je prognóza teploty hornin ve zvolené hloubce a stanovení geotermického gradientu, který je vypočítán po určitých krocích do maximální zvolené hloubky. Velikost kroku geotermického gradientu a maximální hloubku je možné před zahájením výpočtu zvolit dle požadavků uživatele.

Na obrázku č. 2 je grafický výstup metody 1D zobrazení, z něhož je patrný průběh teplot hornin v závislosti na hloubce.



Obr. 2: Grafický výstup metody 1D zobrazení.

6.2 Metoda 3D zobrazení

Pro tuto aplikaci je určen soubor `dulni_teploty_3d_graf.sci`, k němuž si zvolí uživatel soubor dat tak, jak bylo zmíněno u metody 1D zobrazení.

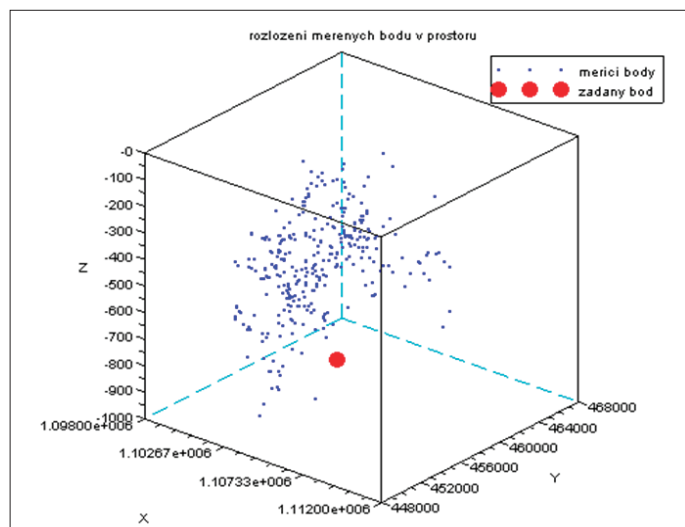
Program nabízí dvě možnosti zpracování dat, a to:

- 0 výpočet teploty pro bod zadaný souřadnicemi x, y, z [m]
- 1 výpočet teploty pro rovinu definovanou souřadnicí z [m]

6.2.1 Možnost zpracování dat dle „0“

V této programové nabídce je proveden výpočet teploty horniny v požadovaném bodě, který je definován souřadnicemi x, y, z v metrech. Tyto souřadnice zadá uživatel, a program již sám vyhodnotí vstupní data.

Na obrázku č. 3 je zadaný bod graficky zobrazen prostorově spolu se všemi body, v nichž byly změřeny teploty hornin.

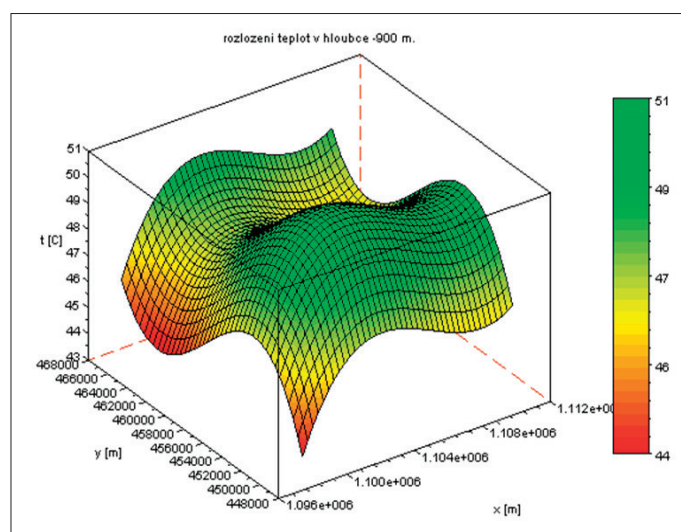


Obr. 3: Grafické zobrazení rozložení naměřených bodů spolu s bodem zadaným.

6.2.2 Možnost zpracování dat dle „1“

Tato aplikace nabízí možnost grafického zpracování rozložení teplot hornin v rovině, kterou zadá uživatel souřadnicí z v metrech (hloubkou). Výsledkem tohoto procesu jsou tři grafické výstupy.

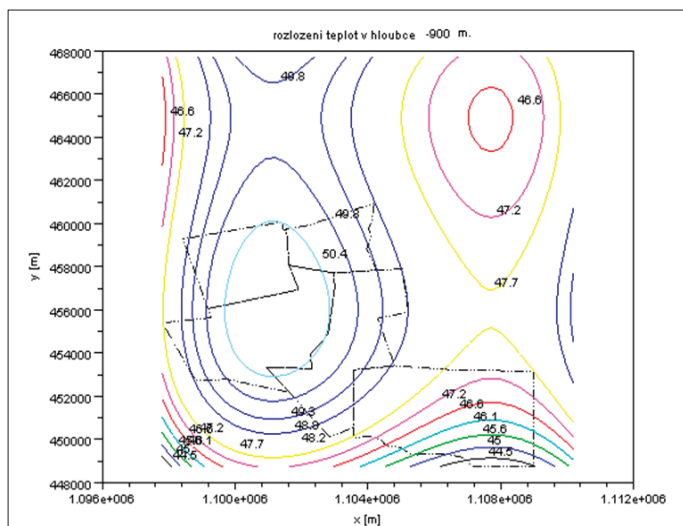
První z nich (obrázek č. 4) nabízí prostorové zobrazení programem vypočtených teplot hornin ve zvolené rovině. Dále program graficky vykreslí geotermy v požadované rovině (obrázek č. 5). Třetí z vykreslovaných grafů při spuštění této rutiny funguje jako zpětná vazba pro uživatele. Zde si může ověřit, je-li zvolená rovina v místě s dostatečným počtem měřených bodů (obrázek č. 6).



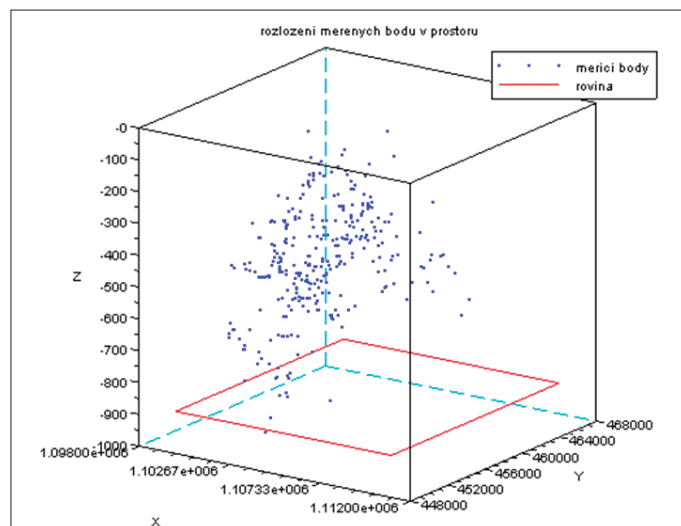
Obr. 4: Prostorové zobrazení teplot hornin.

6.3 Metoda Verifikace

Metoda Verifikace poskytuje porovnání prognózy geotermického stupně z dat získaných z [3] a [4] s prognózou geo-



Obr. 5: Geotermie v zadané hloubce.



Obr. 6: Pozice zadané roviny vůči naměřeným bodům.

termického stupně z teplot hornin, které jsou součástí provedených měření v rámci [5].

Uživatel pak musí pouze zvolit metodu verifikace a vybrat oblast (karvinskou či ostravskou), pro niž chce tuto aplikaci použít. Výsledkem je grafické porovnání dvou provedených prognóz (obrázek č. 7).

7 Závěr a doporučení

Knihovna MineTemp poskytuje mnohem přesnější hodnoty prognózy teplot hornin a geotermického gradientu než dosavadní způsob jejich výpočtu. Knihovna MineTemp akceptuje změnu geotermického gradientu s narůstající hloubkou, zatímco dosavadní propočty považovaly geotermický gradient za konstantní. Doposud se vycházelo při projektování budoucích důlních pater s průměrným geotermickým gradientem $0,033 \text{ [K.m}^{-1}\text{]}$ (což znamená, že teplota horniny se zvětší o 1 K s nárůstem hloubky o $30,3 \text{ m}$). Pomocí programu jsme získali výsledky v podstatě jiné, kdy například v karvinské části dolů OKD při hloubce -1000 m je hodnota geotermického gradientu $0,045 \text{ [K.m}^{-1}\text{]}$ a při hloubce -1200 m je dokonce geotermický

gradient $0,055 \text{ [K.m}^{-1}\text{]}$ (což v prvním případě znamená, že postačí, když se hloubka zvětší o 22 m pro ohřátí horniny o 1 K , a v druhém případě postačí pouhých $18,1 \text{ m}$).

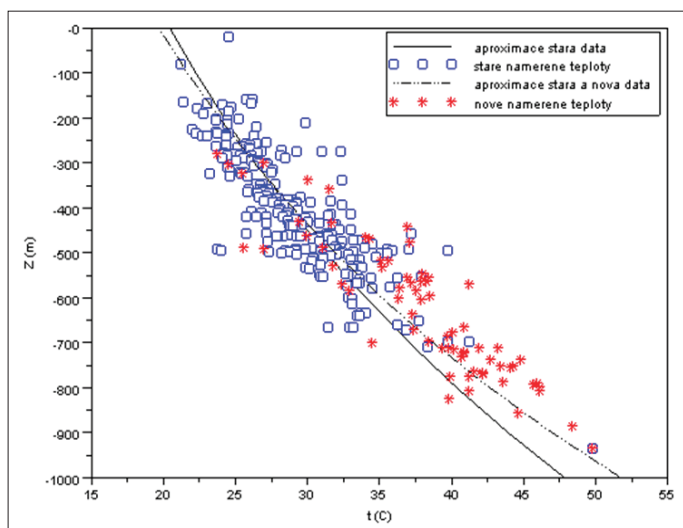
Knihovna MineTemp je sestavena pro karbonský masív v podmínkách dolů OKD, je však možné jednoduchými úpravami přeprogramovat tuto knihovnu pro jakýkoliv hlubinný důl ať už se jedná o doly černouhelné, hnědouhelné, rudné atd. Je však podmínkou mít dostatečné množství naměřených teplotních hodnot hornin v dané lokalitě, které slouží jako vstupní soubory.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen v rámci studie „Verifikace teplotního gradientu v podmínkách dolů OKR“ HS č. 500804, která byla řešena ve spolupráci VŠB-TU Ostrava a OKD, a.s.

Literatura

- [1] SUCHAN, L. *Větrání hlubokých dolů*, SNTL, Praha, 1984.
- [2] PROKOP, P., ADAMUS, A., MALÍČEK, P. *Větrání, degazace a klimatizace dolů*, Skripta HGF, VŠB-TU Ostrava, 2007, ISBN 987-80-248-1399-8.
- [3] OTÁHAL, A. *Tepelné pole OKR*, Závěrečná zpráva k HS 57/80, VŠB-TU Ostrava, 1981.
- [4] TAUFER, A. *Rozložení teplotního pole karbonského masívu OKR*, Kandidátská disertační práce, Ústav geologie a geotechniky ČSAV Praha, 1985.
- [5] PROKOP, P. *Verifikace teplotního gradientu v podmínkách dolů OKR*, Studie k HS 500804, Ostrava, 2009.



Obr. 7: Porovnání prognózy geotermického stupně.