

Fraktálna charakteristika povrchu uhlia

Annamária Mockovčiaková¹, Ľudmila Turčániová¹, Eva Boldižárová¹,
a Viera Miklúšová¹

Fractal characterization of the coal surface

The aim of this paper is to point up to the characterization of the brown coal using the fractal theory. On the base of BET measurements on the adsorption surface, the surface fractal dimension of crushed and milled coal samples have been determined. These values of the fractal dimension are used in the estimation of the processes by the energy input.

Key words: fractal dimension, coal.

Úvod

Fraktálna štruktúra je charakteristickou vlastnosťou prírodných i umelých útvarov, ktoré nás obklopujú a jej štúdiu sa v modernej vede venuje mimoriadna pozornosť. Na popis nerovnomernosti, rozdrobenosti, nepravidelnosti akýchkoľvek jedno- dvoj- a trojrozmerných objektov sa veľmi dobre osvedčila fraktálna teória (Mandelbrot, 1982). Aplikáciou nových prístupov, obsiahnutých vo fraktálnej teórii, je možné získať neceločíselnú veličinu - fraktálnu dimenziu, ktorá je vhodná na popis zložitých štruktúr, ako sú napr. geometrické nepravidelnosti povrchu a pórovitá štruktúra telies. Povrchy mnohých materiálov sú fraktály. Ak má povrch vlastnosť seba-podobnosti, potom ľubovoľná malá časť povrchu po izotropickom zväčšení je štatisticky identická s celým povrchom. Pre reálne útvary je pojem seba-podobnosti aplikovateľný len v istých medziach. Naším cieľom je charakterizovať povrch častíc hnedého uhlia z lokality Cígel', vystaveného dvom rôznym postupom zdrobňovania, pomocou povrchovej fraktálnej dimenzie, ktorú získame aplikáciou adsorpčnej metódy. Povrchovú fraktálnu dimenziu je možné v ďalšom použiť na odhad hustoty energie, potrebnej pri zdrobňovacom procese.

Experiment

Najpoužívanejšou technikou, stanovujúcou adsorpčný povrch, je metóda, založená na adsorpcii plynu, počítajúca molekuly plynu, adsorbovaného na povrchu skúmanej vzorky. Merania špecifického povrchu, ktorým je daný celkový povrch adsorbenta vzťahovaný na jednotku hmotnosti, boli uskutočnené na vzorkách uhlia pomocou BET metódy na sorpčnom aparáte (Micromeritics, USA).

Do experimentálneho programu bolo zaradené zdrobňovanie uhlia drvením a mletím, pričom bol dosiahnutý rozpad uhlia na fragmenty požadovaných rozmerov. Vzorky energetického uhlia s vysokým obsahom popola (39,26 %) a prchavých látok (33,09 %) boli podrvené na drviči na zrnitosť pod 1 mm. Váhové množstva vzoriek uhlia 150 g boli rozšitované do 12 frakcií (32-1000 μm). Každá zrnitostná trieda bola zvážená a pre každú frakciu bol nameraný špecifický povrch S_A metódou BET. Zložením jednotlivých frakcií sa získala podrvená základná vzorka, ktorá bola krátky čas pomletá v planetárnom mlyne Pulverisette 4 (Fritsch, Germany), pracujúcom za nasledovných podmienok: guľová náplň - 25 guľí $\varnothing 10$ mm plus 5 guľí $\varnothing 25$ mm; relatívne zrýchlenie mlyna - 10,3; materiál guľí a mlecej komory - karbid wolfrámu; navážka vzorky do mlyna - 20 gramov; doba mletia - 3 minúty; mlenie prostredie - vzduch. Pomletá vzorka bola opäť rozšitovaná do rovnakých frakcií, jednotlivé frakcie boli zvážené a boli namerané hodnoty špecifického povrchu S_A .

Teoretická časť

Pre stanovenie fraktálnej dimenzie sú zavedené rôzne metódy, napríklad metódy rozptylu a adsorpcie. Tieto metódy sú založené na aplikácii základného vzťahu, popisujúceho podobnosť

¹ RNDr. Annamária Mockovčiaková, CSc., Ing. Ľudmila Turčániová, CSc., RNDr. Eva Boldižárová, CSc., a Mgr. Viera Miklúšová, CSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice
(Recenzovaná a revodovaná verzia doručená 30.10.1998)

$$N(>r) \sim r^{-D}, \quad (1)$$

kde $N(>r)$ je kumulatívny počet častíc s rozmerom väčším ako r , ktoré sú potrebné na pokrytie dĺžky, plochy alebo objemu fraktálneho útvaru s dimenziou D .

Je známe, že nameraná veľkosť špecifického povrchu uhlia je závislá na veľkosti a tvare molekúl použitého plynu (Faulon et al, 1994). Pri zisťovaní fraktálnej dimenzie povrchu je možné postupovať dvojakým spôsobom. Buď na danom povrchu nechať adsorbovať častice rôznych veľkostí, alebo častice jedného rozmeru adsorbovať na rôzne veľké zrná skúmaného materiálu, ktorý je nutné najprv zdobniť a potom na sítach roztriediť na frakcie. Adsorpciou častíc, napr. molekúl dusíka, na rôzne veľké zrná práškového materiálu sa určuje zmena špecifického povrchu S_A s veľkosťou zrna r . Za takýchto podmienok je možné určiť fraktálnu dimenziu povrchu D_S podľa vzorca, odvodeného zo vzťahu (1), (Avnir et al, 1984)

$$S_A \propto r^{D_S - 3}. \quad (2)$$

Pre určenie fraktálnej dimenzie podľa vzťahu (2) je potrebné nájsť priemernú hodnotu veľkosti častíc z uvažovanej frakcie (r_1, r_2). Pri hustote pravdepodobnosti $dN(r)$, nájdeme strednú hodnotu veľkosti častíc vo frakcii (r_1, r_2) podľa vzťahu, známeho zo štatistickej fyziky :

$$\bar{r} = \frac{\int_{r_1}^{r_2} r dN(r)}{\int_{r_1}^{r_2} dN(r)} = \frac{D}{D-1} \frac{r_2^{1-D} - r_1^{1-D}}{r_2^{-D} - r_1^{-D}}, \quad (3)$$

kde D je fraktálna dimenzia distribúcie počtu častíc $N(r)$. Túto fraktálnu dimenziu je možné určiť, ak sú známe údaje o hmotnosti jednotlivých frakcií a veľkosti ich častíc, získané pomocou sitovej analýzy. Použitím Gaudin-Schuhmannovho vzťahu (Nagahama H., 1991) sa určí hodnota exponentu ν

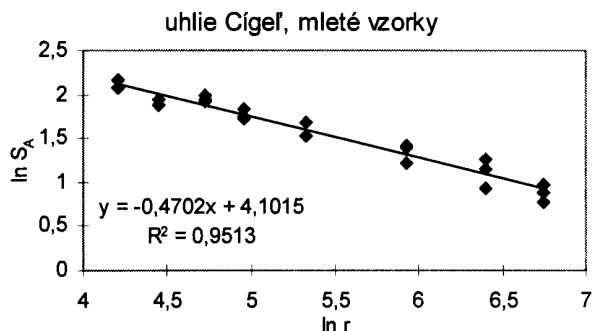
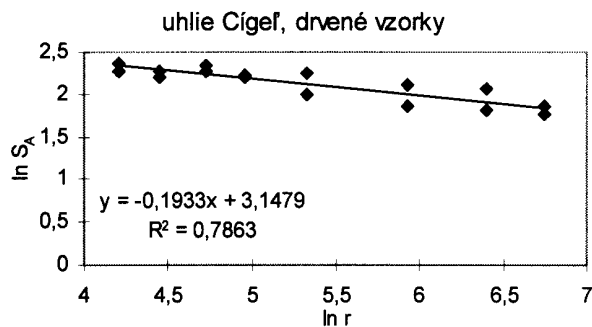
$$M(<r) / M_T = (r/r_T)^\nu, \quad (4)$$

kde $M(<r)$ je kumulatívna hmotnosť všetkých častíc, ktorých veľkosť je menšia ako r ; M_T, r_T je hmotnosť, resp. veľkosť východzej vzorky. Pre fraktálnu dimenziu D potom platí:

$$D = 3 - \nu. \quad (5)$$

Hodnota fraktálnej dimenzie D podľa (5) bola použitá pri výpočte strednej veľkosti častíc z frakcie (r_1, r_2).

Zlogaritmovaním rovnice (2) a grafickým znázornením funkčnej závislosti (obr.1 - 2) je možné zo smernice dotýčnice získať hodnotu povrchovej fraktálnej dimenzie. Hodnoty fraktálnej dimenzie D_S pre jednotlivé postupy zdobňovania uhlia sú uvedené v tab.1. Z opakovaných postupov zdobňovania uhlia vyplynulo, že povrchová fraktálna dimenzia pri drvení je väčšia ako pri mletí.



Obr.1. Závislosť špecifického povrchu drvenej vzorky uhlia od veľkosti častice. Povrchová fraktálna dimenzia $D_S = 2.8067$.

Obr.2. Závislosť špecifického povrchu mletej vzorky uhlia od veľkosti častice. Povrchová fraktálna dimenzia $D_S = 2.5298$.

Odhad hustoty energie

Energia potrebná pri postupoch, redukujúcich veľkosť častíc, je použitá na tvorbu nového fraktálneho povrchu, ktorý možno charakterizovať neceločíselnou povrchovou fraktálnou dimenziou D_S . Z odborných prác, napr. (Nagahama, 1993), je známy vzťah medzi hustotou energie a povrchovou fraktálnou dimenziou D_S :

$$dE \propto r^{D_S-4} dr \quad (6)$$

Zo vzťahu (6) vyplývajú všeobecne známe empirické závislosti, ako je Kickov zákon pre $D_S = 3$, Bondov zákon pre $D_S = 2.5$ a Rittingerov zákon pre $D_S = 2$.

Keďže povrchové fraktálne dimenzie sú rôzne pre postupy drvenia a mletia, sú odhady hustoty energie, t.j. energie potrebnej na redukcii jednotkového objemu vstupnej vzorky na požadovanú veľkosť, rozdielne.

Tab.1. Charakteristiky procesov zdobňovania uhlia.

Vzorky uhlia	Hustota energie [erg.cm ⁻³]	Fraktálna dimenzia D_S
Drvené	2.973	2.8067
Mleté	2.056	2.5298

Záver

1. V tomto príspevku bola použitá fraktálna teória na určenie povrchovej fraktálnej dimenzie drvených a mletých vzoriek uhlia. Podľa odbornej literatúry (Longjun Xu, 1997) súvisí fraktálna dimenzia s obsahom popola a prchavých látok v uhlí. Pretože získané hodnoty povrchovej fraktálnej dimenzie pre drvené a mleté vzorky uhlia sú rozdielne, mohli by poukazovať aj na odlišné množstvá popola a prchavých látok v uhoľnej vzorke. Ďalší výskum sa bude zaoberať aj týmto problémom.

2. Ďalej sa povrchová fraktálna dimenzia použila pri odhade hustoty energie spotrebovanej na zdobňovanie uhlia dvoma postupmi. Výsledok je nasledovný: hustota energie pri drvení je vyššia ako pri mletí, čo priamo súvisí s hodnotami povrchových fraktálnych dimenzií, a to je v súlade s údajmi z literatúry (Li Gongbo, Xu Xiaohe, 1993).

Povrchová fraktálna dimenzia v spojení s hustotou energie sa ukazuje byť užitočným parametrom, charakterizujúcim proces zdobňovania, ktorý reprezentuje nielen stupeň nerovnomernosti povrchu, ale aj mieru intenzity zdobňovania.

Podakovanie: Táto práca vznikla v rámci riešenia Slovensko - USA projektu č. 031-95 a grantovej úlohy GA-95/5305/561,

Literatúra

- Avnir, D., Farin, D., and Pfeifer, P.: Molecular fractal surfaces. *Nature*, No.308, 1984, p.261.
- Faulon, J.L., Mathews, J.P., Carlson, G.A. and Hatcher, P.G.: Correlation between microporosity and fractal dimension of bituminous coal based on computer-generated models. *Energy & Fuels*, 8, 1994, p.408.
- Li Gongbo and Xu Xiaohe.: Experimental investigation of the energy-size reduction relationship in comminution using fractal theory. *Minerals Engineering*. Vol.6. No.2, 1993, p.163.
- Longjun Xu, Daijun Zhang and Xuefu Xian: Fractal Dimensions of Coals and Cokes. *Journal of Colloid and Interface Science*, V. 190, N. 2, June 15, 1997, p. 357.
- Mandelbrot, B.B.: The Fractal Geometry of Nature. *W. H. Freeman, San Francisco*, 1982.
- Nagahama, H. and Yoshii, K.: Fractal Dimension and Fracture of Brittle Rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol. 30, No.2, 1993, p. 173.
- Nagahama, H.: Fracturing in the Solid Earth. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd, Ser.(Geol.), Vol. 61, No. 2, 1991 p.103.