

Charakteristika distribúcie hmotnosti slovenského uhlia v procesoch zdrobňovania

Annamária Mockovčiaková¹, Eva Boldžárová¹ & Ludmila Turčániová¹

Characterization of the mass distribution of Slovak brown coal after size reduction processes

Distribution of pulverised particles is in general affected by the fragmentation process, initial size distribution, energy input, number of fracturing events, etc. and have been studied for several decades. Empirical studies of crushing and grinding by the mineral processing industry provide a major source of information on the distributions. There are many statistical relations describing the distributions of particles: between the number of particles and their size, or the particle mass and size.

The aim of this paper is to reveal the fractal relation in the mass distribution of coal samples from locality Čigel' after size reduction processes-crushing and grinding. The acquired data can be obtained from sieve analyse, where the particles are distributed to various fractions. The fractal distribution is characterized by the fractal dimension D , that can be determined from the gradient of the graph of $\ln M$ against $\ln r$, where M denotes the cumulative mass of all particles with the size less than r . It is useful to specify the range over which the fractal relation is a good fit to the experimental data. The range is bounded by the upper and lower limit on the particle size. From the obtained values it can be concluded that the value of fractal dimension for the ground sample is higher, due to higher number of reducing events.

Key words: *distribution, fractal dimension, coal, crushing, grinding.*

Úvod

Empirické štúdie o drvení a mletí v úpravníckom priemysle vyžadujú základný zdroj informácií o zrnitosti zložení materiálu, ktorý je pri týchto procesoch ovplyvnený počtom a druhom procesov zdrobňovania, východiskovou veľkosťou častíc, vstupnou energiou a pod. V práci Mockovčiaková a kol. (1998), bola venovaná pozornosť určovaniu povrchovej fraktálnej dimenzie slovenského energetického uhlia z bane Čigel', ktoré bolo podrobené dvom procesom zdrobňovania, a to drveniu a mletiu. Za týmto účelom bolo potrebné použiť sitovú analýzu, na základe ktorej bol zistený podiel hmotnosti v jednotlivých frakciách skúmaných vzoriek. Z hodnôt špecifického povrchu, nameraného pre každú jednotlivú frakciu, bolo možné v závislosti na veľkosti zrna určiť povrchovú fraktálnu dimenziu (Avnir, 1984).

Sitová analýza okrem toho poskytuje aj údaje potrebné k analýze distribúcie častíc podľa hmotnosti. Štúdiom rôznych distribúcií sa ukázalo, že fraktálnu koncepciu je možné použiť aj na štatistické distribúcie objektov (Blenkinsop, 1991). Ak má daná sústava fraktálne vlastnosti, potom získaný fraktálny rozmer hovorí o štatistickej hustote výskytu danej vlastnosti. Fraktálna dimenzia má potom empirický charakter a jednoznačne charakterizuje celý systém.

Cieľom tohoto príspevku je určenie fraktálnej dimenzie distribúcie častíc, ktorú vykazujú rozloženia hmotnosti uhoľných zrn vo vzorkách po drvení a mletí.

Zdrobňovanie a fraktálna distribúcia

Distribúciu častíc je možné popísať pomocou vzťahov, ktoré platia medzi počtom častíc a ich rozmerom, medzi hmotnosťou a rozmerom, prípadne medzi ich objemom a rozmerom. Pod rozmerom častice sa zjednodušene predstavuje lineárny rozmer častice s geometricky pravidelným, najčastejšie sférickým tvarom. Medzi priame metódy disperznej analýzy patrí sitová a mikroskopická analýza. Použitie sitovej analýzy, ako priamej metódy disperznej analýzy, je obmedzené rozmerom očiek sit, stále však má pre potreby praxe najväčší význam. Pri aplikácii distribučnej závislosti je potrebné hmotnosti v každej frakcii nahradiť hmotnosťou jednej častice so stredným rozmerom zrna.

Existuje mnoho štatistických vzťahov, ktoré je možné použiť na koreláciu údajov získaných distribúciou častíc. Ak počet N objektov s charakteristickým lineárnym rozmerom väčším ako r vyhovuje vzťahu

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

potom je definovaná fraktálna distribúcia D . Fyzikálna interpretácia fraktálnych distribúcií je ohraničená intervalom ich platnosti, v ktorom ich charakterizuje neceločíselná fraktálna dimenzia D . Táto je mierou

¹ RNDr. Annamária Mockovčiaková, PhD., RNDr. Eva Boldžárová, PhD. & Ing. Ludmila Turčániová, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice (Recenzované v roku 2000)

relatívnej dôležitosti veľkých objektov k malým. Základnou vlastnosťou fraktálnych objektov je ich vnútorná podobnosť a nezávislosť od veľkosti škály (Turcotte, 1992).

Fraktálnu dimenziu D distribúcie častíc podľa ich hmotnosti je možné určiť, ak sú známe údaje o hmotnosti M každej z frakcií po sitovej analýze (Nagahama, 1991)

$$M(< r) / M_0 \sim (r / r_0)^{-D+3}, \quad (2)$$

kde $M(< r)$ je kumulatívna hmotnosť objektov s lineárnym rozmerom menším ako r . Pre východiskovú vzorku sú tieto veličiny označené ako M_0 , resp. r_0 . Logaritmovanie rovnice (2) viedlo k lineárnej závislosti)

$$\ln(M / M_0) \sim (3 - D) \ln(r / r_0). \quad (3)$$

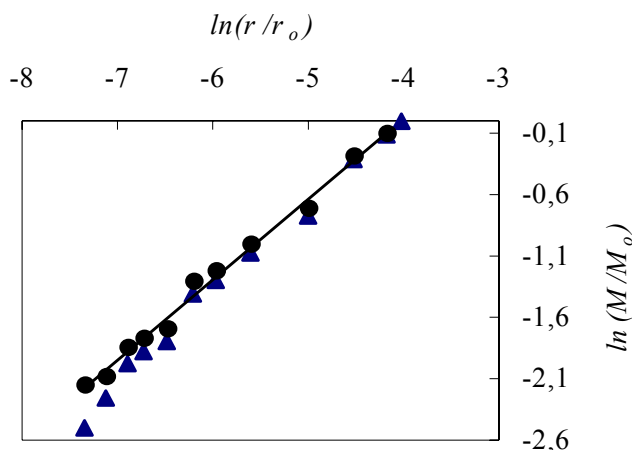
Grafickým zobrazením závislosti $\ln(M / M_0)$ na $\ln(r / r_0)$ je priamka so smernicou $3-D$.

Experimentálna časť

Experimenty boli urobené na vzorkách uhlia z lokality Cigeľ, ktoré boli podrobené dvom po sebe nasledujúcim fyzikálnym procesom predúpravy, a to drveniu a mletiu. Z uhlia podrobeného na drviči boli pripravené 4 základné vzorky o hmotnosti 150 g a zrnitosti pod 1 mm. Sitovaním boli roztriedené do 12 zrnitostných tried v rozmedzí 32-1000 μm , ktorých hmotnosť sa zistila vážením. Zložením jednotlivých frakcií po drvení boli vzorky mleté v planetárnom mlyne Pulverisette 4 (Fritsch, Germany) počas 3 minút. Sitovaním pomletých vzoriek a zvážením jednotlivých podsitných výnosov sa určila ich hmotnosť.

Výsledky a diskusia

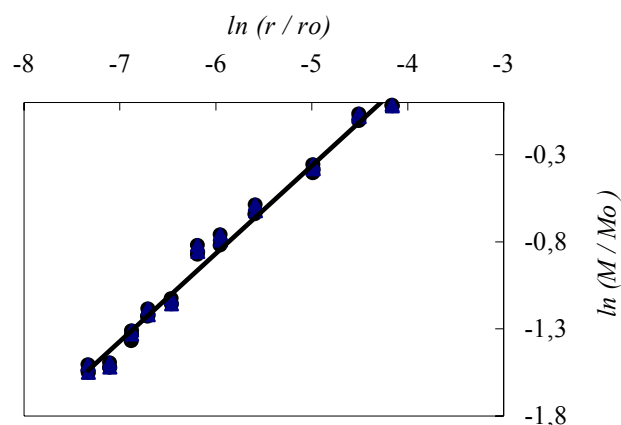
Z všetkých údajov experimentálnych postupov redukujúcich veľkosť častíc boli vytvorené bodové diagramy, ktoré naznačujú priamkovú závislosť empirických hodnôt premennej $\ln(M / M_0)$ na hodnotách premennej $\ln(r / r_0)$. Hľadané parametre priamok, preložených bodovými diagramami, boli nájdené pomocou určené lineárnej regresnej analýzy. Každá z lineárnych regresných priamok modeluje jeden z experimentov drvenia alebo mletia.



Obr.1. Grafické zobrazenie logaritmických závislostí podielov M / M_0 na podieloch r / r_0 vzoriek uhlia po mletí.
Fig.1. Logarithmic plot of M / M_0 against r / r_0 for the ground sample of coal.

Na obrázku 1. sú uvedené vybrané bodové diagramy pre drvené vzorky uhlia. Parametre teoretickej lineárnej závislosti, prelozenej bodmi označenými ako ●, boli zistené z rovnice priamky $y = 0,6556 x + 2,6434$. Hodnota druhej mocniny korelačného koeficientu $R^2 = 0,9926$ vystihuje dobrú aproximáciu bodového diagramu priamkou.

Analogicky na obrázku 2. je preložená priamka bodmi označenými so symbolom ● pre hodnoty mletej vzorky uhlia. Rovnica priamky je $y = 0,504 x + 2,1568$ a hodnota druhej mocniny korelačného koeficientu $R^2 = 0,9863$.



Obr.2. Grafické zobrazenie logaritmických závislostí podielov M/M_0 na podieloch r/r_0 vzoriek uhlia po mletí.
Fig.2. Logarithmic plot of M/M_0 against r/r_0 for the ground sample of coal.

Z parametrov lineárnych regresných závislostí boli vypočítané hodnoty fraktálnych dimenzií pre každý experiment zvlášť. Porovnaním sa zistilo, že hodnoty fraktálnych dimenzií pre distribúciu podrvených častíc sú menšie ako pre distribúciu častíc podrobených aj mletiu. Tie boli podkladom pre výpočet priemerných hodnôt fraktálnych dimenzií distribúcií častíc podľa hmotnosti pre vzorky uhlia po drvení i mletí. V Tab. 1 sú okrem priemerných hodnôt fraktálnych dimenzií uvedené aj maximálny a minimálny rozmer častíc, ktorý vymedzuje oblasť fraktálnej distribúcie.

Tab.1. Fraktálna dimenzia hmotnostnej distribúcie uhlia po zdrobňovacích postupoch.
Tab.1. Fractal dimension of mass distribution of coal after size reduction processes.

Proces zdrobňovania uhlia	Fraktálna dimenzia D hmotnostnej distribúcie častíc	Maximálny rozmer častíc [μm]	Minimálny rozmer častíc [μm]
Drvenie	2,3124	500	32
Mletie	2,4960	700	32

Záver

V článku bol dokázaný fraktálny charakter distribúcie častíc uhlia podľa hmotnosti. Predmetom skúmania boli distribúcie častíc vzoriek uhlia po zdrobňovacích procesoch drvenia a nasledujúcom krátkodobom mletí. Z porovnania hodnôt fraktálnych dimenzií pre drvené a mleté vzorky vyplýva, že počet zdrobňovacích postupov, ako aj dodané energie ovplyvnili vyššiu hodnotu fraktálnej dimenzie mletých vzoriek, čo je v súlade s údajmi z odbornej literatúry (Blenkinsop, 1991).

Pod'akovanie: Autorky príspevku ďakujú grantovej agentúre VEGA za podporu projektov G-7239 a G-6104, pri riešení ktorých vznikol tento príspevok.

Literatúra

- AVNIR, D., FARIN, D. & PFEIFER, P. 1984. Molecular fractal surfaces. *Nature*, 1984, no.308, p.261.
- BLENKINSOP, T.G. 1991. Cataclasis and processes of particle size reduction. *Pageoph*, 1991, vol 136, no. 1, p.59-86.
- MOCKOVČIAKOVÁ, A. & kol. 1998. Fraktálna charakteristika povrchu uhlia. *Acta Montanistica Slovaca*, 1998, 3, s. 356-358.
- NAGAHAMA, H. 1991. Fracturing in the Solid Earth. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd, Ser.(Geol.), 1991, vol. 61, no. 2, p.103.
- TURCOTTE, D.L. 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.