

**Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského**

**Karol Jesenák**

# **ANALÝZA VEĽKOSTI ČASTÍČ**



**UNIVERZITA KOMENSKÉHO BRATISLAVA**

**Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského**

**Karol Jesenák**

# **ANALÝZA VEĽKOSTI ČASTÍC**

**2008**

**UNIVERZITA KOMENSKÉHO BRATISLAVA**

*Venujem Janke a pamiatke môjho otca*

© Ing. Karol Jesenák, PhD., 2008

**Recenzenti:**

RNDr. Anna Olexová, CSc.

RNDr. Ľubomír Kuchta, PhD.

ISBN 978-80-223-2464-9

## **P r e d h o v o r**

Predkladaný text je určený všetkým, ktorí sa zaujímajú o problematiku metód analýzy veľkosti častíc. Zároveň tento text slúži ako doplnkový študijný materiál pre chemické odbory na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave, najmä však pre odbory súvisiace s materiálovou, silikátovou a environmentálnou chémiou. Vzhľadom na interdisciplinárny charakter tejto problematiky, neexistujú nijaké výrazné preferencie, na základe ktorých by bolo možné odporúčať tento text iba chemikom.

Koncepcia predkladaného textu sa zakladá na kompromise medzi odborným a popularizačným prístupom.

Tento text je voľne prístupný na serveri Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave v časti „Učebné texty“ alebo na osobnej Internetovej stránke autora. V prípade záujmu o použitie niektorých častí tejto publikácie, prosím obráťte sa na autora prostredníctvom e-mailu ([jesenak@fns.uniba.sk](mailto:jesenak@fns.uniba.sk)). Za akceptovanie tejto požiadavky vopred ďakujem. Zároveň budem povďačný každému za zaslanie akýchkoľvek pripomienok na vyššie uvedenú e-mailovú adresu.

Bratislava, január 2008

Autor

## O b s a h

1. ÚVOD.....	14
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ANALÝZY VEĽKOSTI ČASTÍC.....	16
2. 1. Vzťah medzi veľkosťou častíc a vlastnosťami látok.....	16
2. 2. Pojem častica.....	33
2. 3. Metódy popisu zrnitostného zloženia látok.....	49
2. 4. Zrnitostné zloženie látok.....	52
2. 5. Klasifikácia metód analýzy veľkosti častíc.....	63
3. SITOVÁ ANALÝZA.....	65
3. 1. Úvod do problematiky sitovej analýzy.....	65
3. 2. Klasifikácia metód sitovej analýzy.....	66
3. 3. Typy analytických sít.....	67
3. 4. Metódy analýzy a technické riešenia.....	69
3. 4. 1. Zariadenia s pohyblivými sítami.....	69
3. 4. 2. Zariadenia s fixovanými sítami.....	71
3. 5. Výber metódy analýzy.....	74
3. 6. Iné metódy založené na mechanickej frakcionácii tuhých častíc.....	77
4. SEDIMENTAČNÉ METÓDY.....	79
4. 1. Úvod do problematiky sedimentačných metód.....	79
4. 2. Všeobecné vlastnosti sedimentačných metód.....	79
4. 3. Rýchlosť sedimentácie tuhej častice v kvapaline.....	81
4. 4. Klasifikácia sedimentačných metód.....	84
4. 5. Gravitačné metódy.....	85
4. 5. 1. Prírastkové metódy.....	87
4. 5. 2. Kumulatívne metódy.....	92
4. 5. 3. Metóda štartovacej čiary.....	94
4. 6. Centrifugačné metódy.....	96
4. 7. Príklad využitia sedimentačnej frakcionácie.....	100
5. OPTICKÉ METÓDY.....	102
5. 1. Úvod do problematiky optických metód.....	102
5. 2. Priame metódy.....	102
5. 2. 1. Optická, elektrónová a transmisná mikroskopia.....	102
5. 2. 2. Skenovacia sondová mikroskopia.....	115
5. 3. Nepriame metódy.....	120
5. 3. 1. Laserová difrakčná analýza.....	120
5. 3. 1. 1. Prechod svetla disperznou sústavou.....	120
5. 3. 1. 1. 2. Laserové analyzátory veľkosti častíc.....	126
5. 3. 2. RTG difrakčná analýza.....	134

5.	4.	Netypické	prípady	analýzy
častíc.....				137
5. 5.		Stručná informácia o osobnostiach, ktoré boli spomenuté v súvislosti s difrakčnými metódami analýzy veľkosti častíc .....		143
6. LITERATÚRA.....				146

## ***P o d' a k o v a n i a***

*V prvom rade by som sa chcel poďakovať svojmu dlhoročnému priateľovi a kolegovi **RNDr. Lubomírovi Kuchtovi, PhD.** za všetky kritické a dobre mienené pripomienky týkajúce sa ako obsahovej, tak aj formálnej stránky tohto textu. Zároveň z rovnakých dôvodov ďakujem **RNDr. Anne Olexovej, CSc.** z Katedry fyzikálnej a teoretickej fyziky Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave.*

*Moja veľká vďaka patrí všetkým tým, ktorí mi ochotne svojimi obrázkami prispeli ku spestreniu tejto publikácie. Sú to **Doc. RNDr. Helena Bujdáková, CSc.** z Katedry mikrobiológie a virológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, **RNDr. Peter Billik** z Katedry anorganickej chémie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, **Doc. Ing. Vít Bojňanský, DrSc., Ing. Mária Čaplovičová, CSc.** z Katedry ložiskovej geológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, **Prof. RNDr. Agáta Fargašová, DrSc.** z Katedry ekosoziológie a fyziotaktiky Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, **RNDr. Ladislav Guller, CSc.** z Anatomického ústavu Lekárskej fakulty Univerzity Komenského, **Doc. Ing. Pavol Hudec, CSc.** z Oddelenia technológie ropy a petrochémie Fakulty chemickej a potravinárskej technológie Slovenskej technickej univerzity, **Ing. Magdaléna Kadlečíková, CSc.** z Katedry mikroelektroniky, Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity, **RNDr. Milan Kohút, CSc.** zo Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra, **Prof. RNDr. Karol Mičieta, CSc.** z Katedry botaniky Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, **Mgr. Daniel Ozdín, PhD.** z Katedry mineralógie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, **RNDr. Tomáš Pleceník** z Katedry experimentálnej fyziky Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského, **Ing. Ivan Rachler** z Quality Assurance Department CEMMAC a.s., **RNDr. Katarína Šarinová** z Katedry mineralógie a petrológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, **Doc. Ing. Alexander Šatka, PhD.** z Katedry mikroelektroniky Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity, **Doc. RNDr. Alexandra Šimonovičová, CSc.** z Katedry pedológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, **Doc. Ing. Petra Šulcová, Ph.D.** z Katedry anorganické technologie Fakulty chemicko-technologické z Univerzity Pardubice.*

*Za poskytnuté vzorky pigmentov ďakujem generálnemu riaditeľovi firmy ROKOSPOL a. s. **Ing. Pavlovi Kaszonyimu** a technickému riaditeľovi **Ing. Petrovi***

**Ratajskému.** *Za povolenie publikovať obrázky z firemných katalógov ďakujem firme FRITSCH GmbH, Idar-Oberstein, SRN.*

*Za konzultáciu ďakujem **RNDr. Dagmar Senderúkovej, CSc.** z Katedry experimentálnej fyziky Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave.*

*Za finančnú pomoc ďakujem Vedeckej grantovej agentúre SR. (Granty: VEGA 2/3102/23 a APVT-20-011804).*



## ZOZNAM AUTOROV OBRÁZKOV

**RNDr. Peter Bilik**

Katedra anorganickej chémie  
Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského  
Bratislava

**Doc. RNDr. Helena Bujdáková, CSc.**

Katedra mikrobiológie a virológie  
Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského  
Bratislava

**Doc. Ing. Vít Bojňanský, DrSc.**

Bratislava

**Ing. Mária Čaplovičová, CSc.**

Katedra ložiskovej geológie  
Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského  
Bratislava

**Prof. RNDr. Agáta Fargašová, DrSc.**

Katedra ekosoziológie a fyziotaktiky  
Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského  
Bratislava

**RNDr. Ladislav Guller, CSc.**

Anatomický ústav  
Lekárska fakulta Univerzity Komenského  
Bratislava

**RNDr. Branislav Grančič**

Katedra experimentálnej fyziky  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského  
Bratislava

**Doc. Ing. Pavol Hudec, CSc.**

Oddelenie technológie ropy a petrochémie  
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie  
Slovenská technická univerzita  
Bratislava

**Ing. Karol Jesenák, PhD.**

Katedra anorganickej chémie  
Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava

**Ing. Magdaléna Kadlečíková, CSc.**

Katedra mikroelektroniky

Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita, Bratislava

**RNDr. Milan Kohút, CSc.**

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra

Bratislava

**Prof. RNDr. Karol Mičieta, CSc.**

Katedra botaniky

Prírodovedecká fakulta

Univerzita Komenského

Bratislava

**Ing. Marián Mikula, PhD.**

Katedra experimentálnej fyziky

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Univerzita Komenského

Bratislava

**Mgr. Daniel Ozdín, PhD.**

Katedra mineralógie

Prírodovedecká fakulta

Univerzita Komenského, Bratislava

**RNDr. Tomáš Pleceník**

Katedra experimentálnej fyziky

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Univerzita Komenského, Bratislava

**Ing. Ivan Rachler**

Quality Assurance Department CEMMAC a.s.

Horné Slnie

**RNDr. Eva Šamajová, CSc.**

Prírodovedecká fakulta

Univerzita Komenského, Bratislava

**RNDr. Katarína Šarinová**

Katedra mineralógie a petrológie

Prírodovedecká fakulta

Univerzita Komenského, Bratislava

**Doc. Ing. Alexander Šatka, PhD.**

Katedra mikroelektroniky

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Slovenská technická univerzita, Bratislava

**Doc. RNDr. Šimonovičová, CSc.**

Katedra pedológie  
Prírodovedecká fakulta  
Univerzita Komenského  
Bratislava

**Doc. Ing. Petra Šulcová, Ph.D. (Česká republika)**

Katedra anorganické technológie  
Fakulta chemicko-technologická  
Univerzita Pardubice  
Pardubice

**Valéria Veselá**

Anatomický ústav  
Lekárska fakulta  
Univerzita Komenského  
Bratislava

**Ing. Anna Kolečká**

Katedra mikrobiológie a virológie  
Prírodovedecká fakulta  
Univerzita Komenského  
Bratislava

## AUTORI JEDNOTLIVÝCH OBRÁZKOV

(V zátvorkách je uvedený počet obrázkov vrátane parciálnych záberov)

**RNDr. Peter Billik (1)**

Obr. 5. 36.

**Doc. RNDr. Helena Bujdáková, CSc. (2)**

Obr. 2. 47.

**Doc. Ing. Vít Bojňanský, DrSc. (1)**

Obr. 2.71.

**Ing. Mária Čaplovičová, CSc. (9)**

Obr. 2. 50., Obr. 2. 51., Obr. 5. 7. horné obrázky (mikroštruktúra ocele),

Obr. 5. 8. horný obrázok (mikroštruktúra liatiny).

**Prof. RNDr. Agáta Fargašová, DrSc. (1)**

Obr. 2.71.

**RNDr. Ladislav Guller, CSc. (8)**

Obr. 2. 45., Obr. 5. 8. stredný obrázok (tkanivo ľudskej sleziny),

Obr. 5. 10. dolný obrázok, Obr. 5.11. , Obr. 5.12., Obr. 5.13. , Obr. 5.14.

**RNDr. Branislav Grančič (4)**

Obr. 5. 17., Obr. 5. 18. , Obr. 5. 19.

**Doc. Ing. Pavol Hudec, CSc. (2)**

Obr. 2. 72.

**Ing. Karol Jesenák, PhD. (144)**

Obr. 2. 1. – Obr. 2. 33, Obr. 2. 35. vľavo hore (granátový piesok), vpravo hore (kakaový prášok), Obr. 2. 36. – Obr. 2. 44., Obr. 2. 52. – 2. 63., Obr. 2. 65., Obr. 2. 67. – Obr. 2. 70., Obr. 2. 74., Obr. 2. 75., Obr. 3. 1., Obr. 3. 3. – Obr. 3. 5., Obr. 3. 7., Obr. 3. 8., Obr. 3. 10. – Obr. 3. 13., Obr. 4. 1. – 4. 7., Obr. 4. 9. – 4. 18., Obr. 5. 1. – 5. 3., Obr. 5. 15., Obr. 5. 20. – Obr. 5. 23., Obr. 5. 25., Obr. 5. 26., Obr. 5. 28., Obr. 5. 34., Obr. 5. 35., Obr. 5. 39. horný obrázok (schéma záchytu prachových častíc).

**Ing. Magdaléna Kadlečíková, CSc. (4)**

Obr. 2. 43., Obr. 2. 44., Obr. 5. 6.

**RNDr. Milan Kohút, CSc. (2)**

Obr. 2. 64. horný obrázok (granit), Obr. 5. 8. dolný obrázok (granit).

**Prof. RNDr. Karol Mičieta, CSc. (4)**

Obr. 2. 48., Obr. 5. 7. dolný obrázok (peľové zrnko).

**Ing. Marián Mikula, PhD. (4)**

Obr. 5. 17., Obr. 5. 18. , Obr. 5. 19.

**Mgr. Daniel Ozdín, PhD. (2)**

Obr. 5. 9.

**RNDr. Tomáš Pleceník (6)**

Obr. 5. 17., Obr. 5. 18., Obr. 5. 19.

**Ing. Ivan Rachler (1)**

Obr. 5. 29.

**RNDr. Katarína Šarinová (7)**

Obr. 2. 34., Obr. 2. 34. ľavý dolný obrázok (kremenný pieskovec) a pravý dolný obrázok (arkóza), Obr. 2. 66. ľavý horný obrázok (glaukonitický pieskovec), pravý horný obrázok (oolitický vápenec), Obr. 5. 10. horný obrázok.

**RNDr. Eva Šamajová, CSc. (1)**

Obr. 2. 66. ľavý dolný obrázok (klinoptilolit).

**Doc. Ing. Alexander Šatka, PhD. (6)**

Obr. 2. 49., Obr. 2. 76.

**Doc. RNDr. Šimonovičová, CSc. (2)**

Obr. 2. 46.

**Doc. Ing. Petra Šulcová, Ph.D. (2)**

Obr. 5. 30.

**Valéria Veselá (1)**

Obr. 5. 14.

**Ing. Anna Kolečká (2)**

Obr. 2. 47.

OBRÁZKY PREVZATÉ Z  
INTERNETOVÝCH STRÁNOK

**Obr. 2. 32.,**

<http://chandra.harvard.edu/photo/2007/> (10. 11. 2007).

**Obr. 5.16.**

<http://stm2.nrl.navy.mil/how-afm/how-afm.html> (20. 11. 2007)

**Obr. 5. 37.,**

[http://apod.nasa.gov/apod/image/0206/eagle\\_kp09\\_big.jpg](http://apod.nasa.gov/apod/image/0206/eagle_kp09_big.jpg)

**Obr. 5. 38.**

[http://www.space.com/scienceastronomy/060111\\_orion\\_news.html](http://www.space.com/scienceastronomy/060111_orion_news.html) (12. 11. 2007).

**Obr. 5. 39. – dolný obrázok: SiO<sub>2</sub> aerogél**

<http://stardust.jpl.nasa.gov/photo/science.html> (10. 11. 2007).

**Obr. 5. 40. - 5. 42.**

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/stardust/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/stardust/main/index.html) (10. 11. 2007).

**Portrét: Joseph von Fraunhofer**

[http://de.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_von\\_Fraunhofer](http://de.wikipedia.org/wiki/Joseph_von_Fraunhofer), (15. 10. 2007).

**Portrét: Gustav Adolf Feodor Wilhelm Ludwig Mie**

[http://en.wikipedia.org/wiki/Gustav\\_Mie](http://en.wikipedia.org/wiki/Gustav_Mie), (10. 10. 2007).

Obrázky prevzaté z katalógu  
firmy FRITSCH GmbH, Idar-Oberstein, SRN

Obr. 3. 2.,

Obr. 5. 24.,

Obr. 3. 6.,

Obr. 5. 27.,

Obr. 3. 9.,

Obr. 5. 31.,

Obr. 4. 8.,

Obr. 5. 32.,

Obr. 4. 19.,

Obr. 5. 33.

## 1. ÚVOD

Práškové a zrnité materiály sú najčastejšou formou výskytu tuhých látok a preto zrnitostné zloženie patrí k základným informáciám charakterizujúcim vlastnosti týchto látok.

Metóda, ktorou sa takéto informácie získavajú, sa nazýva granulometrická analýza a spadá do širšej problematiky analýzy veľkosti častíc (angl. Particle size analysis). Rozdiel oboch metód spočíva v tom, že pojem „častica“ sa neobmedzuje iba na pomenovanie tuhých objektov, tvoriacich partikulárne a zrnité látky.

Klasické odbory, v ktorých analýza veľkosti častíc našla uplatnenie, boli v minulosti najmä chémia, geológia a pedológia, neskôr k nim pribudli biológia, medicína, environmentálne vedy a iné oblasti vedy a techniky. Spektrum súčasných aplikácií analýzy veľkosti častíc je obrovské. Výroba väčšiny anorganických tuhých látok a materiálov vyžaduje ich štandardizáciu pomocou niektorej zo spomenutých metód. Ako príklady možno uviesť prírodné suroviny a produkty z nich vyrábané (napr. vápenec, dolomit, zeolity, apatit, bauxit, bentonity, hematit, kaolín, pyrit, cement), granulované kovy (hliník, meď, chróm, zinok, kadmium, striebro), oxidy ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ), soli alkalických zemín, karbidy, a mnoho ďalších. Dôležitou oblasťou použitia je vývoj a výroba konštrukčnej keramiky, cementu, skla, abrazív, pigmentov a aditív do plastov, výroba filtračných materiálov, sorbentov a mnoho ďalších. Z organických látok sú to napr. niektoré typy polymérov, farmaceutické a potravinárske výrobky. K aplikáciám v oblasti životného prostredia patrí napr. hodnotenie prachových častíc vo vzduchu alebo v plynných a kvapalných odpadoch. Analýza biologických materiálov je reprezentovaná najmä analýzou a identifikáciou rôznych typov buniek v tkanivách pomocou obrazovej analýzy.

Napriek tomu, že analýza veľkosti častíc má široké uplatnenie, veľká časť absolventov vysokých škôl v odboroch prírodných a technických vied mnoho o súčasných možnostiach tejto metódy nevie. Iným prípadom je situácia, keď poznatky na určitom konkrétnom pracovisku sa obmedzujú iba na jedinú dostupnú metodiku, avšak absentuje širší pohľad na túto problematiku. Tento stav je typický pre pracoviská, kde sa dlhodobo analyzuje veľmi úzka skupina látok a analytický postup nadobudol charakter záväzných normalizovaných testov. Absencia základných informácií o všeobecných možnostiach metód analýzy veľkosti častíc sa často odráža aj na nekvalifikovanom výbere určitej metodiky, ktorá sa v konečnom dôsledku môže ukázať pre daný cieľ ako úplne nepoužiteľná.

Predkladaný text je stručnou charakteristikou tých metód analýzy veľkosti častíc, ktoré sa najviac využívajú v oblasti analýzy partikulárnych látok. Do charakteristiky jednotlivých metód sú zahrnuté ich princípy, výhody a nevýhody, stručná charakteristika ich využiteľnosti a technické riešenia analyzátorov.

