

VÝPOČET ROZDĚLENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC ZE SEDIMENTAČNÍCH KŘIVEK

FRANTIŠEK ŠKVÁRA

Společná laboratoř pro chemii a technologii silikátů ČSAV a VŠCHT, Praha

Došlo dne 10. 1. 1972

Pro vyhodnocování sedimentačních křivek získávaných ze sedimentačních vah byl sestaven program v jazyce Fortran. Program umožňuje výpočet integrálního rozdělení velikosti částic a vyrovnání integrálního rozdělení podle Rosin—Rammler—Bennettovy funkce. Výpočet velikostí částic je možný několika způsoby (Stokesův, Andreasenův vzorec). Program byl odladěn na počítačích IBM 360/40 a Tesla 270.

ÚVOD

Rozdělení velikostí částic je důležitý faktor pro charakteristiku silikátových materiálů. Pro zjišťování rozdělení velikostí částic jsou běžné metody, jako např. Andreasonova, sedimentační váhy nebo metody mikroskopické. Výhodou automatických sedimentačních vah (např. Sartorius, Figurovského vážky) je, že získáváme výsledky z nerušené sedimentace velkého počtu částic. Nevýhodou sedimentačních vah je však značná pracnost při přesném vyhodnocení výsledků. Proto byl sestaven program v jazyce Fortran, který redukuje manuální práci na odečtení dat ze sedimentační křivky.

PRINCIP VÝPOČTU

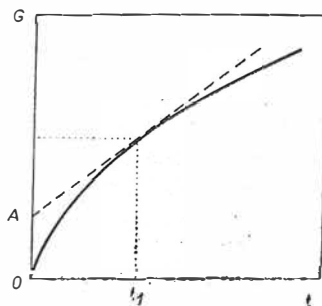
Ze sedimentačních vah dostáváme záznam závislosti váhy sedimentu na čase. Podle Odena [5] je váha sedimentu G po čase t_1 dána

$$G_1 = t_1 \cdot \frac{dG}{dt} + R_1.$$

Hodnoty G_1 a t_1 odečteme přímo ze sedimentační křivky (obr. 1). Směrnice tečny v době t_1 udává rychlost hromadění sedimentu a je rovna dG/dt . Množství frakcí s poloměrem částic větším než r_1 je tedy rovno

$$R_1 = G_1 - t_1 \frac{dG}{dt}.$$

Hodnota R_1 je rovna vzdálenosti \overline{OA} na ose pořadnic (obr. 1). Známe-li celkovou váhu sedimentu, pak je možné vypočítat procentový obsah sedimentu, který má velikost částic větší než r_1 . Pro další časové úseky t_i je možné pokračovat analogicky. Z vypočtených procentových obsahů, které mají význam zbytků na daném sítě, a vypočtených velikostí částic lze sestavit křivky integrálního rozdělení velikostí částic.



Obr. 1. Závislost váhy sedimentu na čase.

Pro výpočet velikostí částic s kulovým tvarem se užívá Stokesova vzorce

$$d = 175 \sqrt{\frac{\eta}{(\rho - \rho_0)} \cdot \frac{h}{t}},$$

kde d — průměr částice [μm],
 η — viskozita kapaliny [P],
 ρ, ρ_0 — hustota sedimentu resp. kapaliny [g/cm^3],
 t — čas [min],
 h — výška pádu [cm].

V případě nekulových částic se používá Andreasenova vzorce

$$d = 141 \cdot \sqrt{\frac{\eta}{(\rho - \rho_0)} \cdot \frac{h}{t}},$$

kde d je hrana stejnoobjemné krychle [μm].

Při výpočtu integrálního rozdělení dostáváme řadu hodnot, které jsou obvykle rozptýleny kolem nějaké rozdělovací funkce. Rozptyl je způsoben hlavně nepřesnostmi při výpočtu [4] hodnoty derivace z experimentálních údajů. Proto často musíme získané rozdělení částic vyrovnat podle známé funkce. Pro silikátové materiály [1], [2], které byly často mechanicky zpracovávány (mletí), je výhodné použít rozdělovací zbytkovou funkci podle Rosina, Rammlera a Bennetta (dále RRB)

$$R = 100 \cdot \exp\left(\frac{d}{d'}\right)^n,$$

kde d — velikost částice [μm],
 d' — charakteristická velikost částice, která odpovídá zbytku 36,8 % [μm],
 n — exponent zrnitosti, koeficient homogenity (s rostoucím n roste homogenita hmoty).

POPIS PROGRAMU A USPOŘÁDÁNÍ VSTUPNÍCH DAT

Program pro výpočet rozdělení velikostí částic byl sestaven v jazyce Fortran [3] a byl odladěn na počítačích IBM 360/40 a Tesla 270. Program provádí výpočet velikostí částic volitelně podle vzorce Stokesova nebo Andreasenova. Procentuální složení velikostí se počítá postupem uvedeným v předchozím odstavci. Derivace sedimentační křivky je počítána ze 6 bodů křivky.

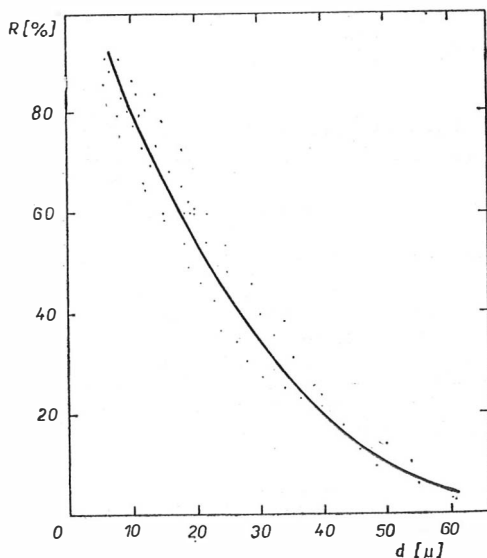
Pro vstupní data je nutné odečíst v pravidelném intervalu (krok času, v mm na záznamu, DT označené v programu), váhu sedimentu ($P(I)$, v mm na záznamu). Celkový maximální počet odečtených bodů (N) váhy sedimentu může být až 150. Tento počet lze lehce v programu změnit. Lze doporučit odečíst alespoň 50 bodů ze sedimentační křivky. V některých případech nás nezajímají malé podíly velmi jemných frakcí, které sedimentují velmi dlouho a které není pak nutné v datech uvádět. Pro výpočet je však třeba znát konečnou váhu sedimentu (SUMA, mm). Ve vstupních datech je třeba uvést také výšku kapaliny v sedimentačním válci (H , cm), viskozitu kapaliny, v níž

provádíme sedimentaci (ETA, Poise), hustoty kapaliny (ROL) a pevné látky (ROS, g/cm³), rychlost posunu papíru na zapisovači (RY, mm/min) a kód pro výpočet (NR). Kód pro výpočet může mít tyto hodnoty:

1 — Stokesův vzorec, 2 — Andraesenův vzorec.

Data je třeba uvést v následujícím pořadí:

1. štítek: číslo křivky, komentář max. 40 znaků (formát vstupu I5,10A4);
2. štítek: počet kroků, výška kapaliny, celková váha sedimentu, viskozita kapaliny, hustota kapaliny a pevné látky, rychlost papíru na zapisovači, časový krok, kód pro výpočet (formát vstupu I5, 7F5, 1, I5); 3. a další štítky: váhy sedimentu v jednotlivých bodech křivky (formát vstupu 6 F10.3, F12.3. Počet údajů musí být roven počtu bodů uvedených na 2. štítku.



Obr. 2. Rozdělení velikostí částic sádry Densit vyrovnané podle funkce RRB (• — experimentální hodnoty).

K souboru dat pro jeden vzorek lze připojit další soubor. Konec celého výpočtu provede štítek s nulou na 5. místě štítku.

Výsledek výpočtu je tištěn v této formě: hlavička, kde je uvedeno číslo vzorku, komentář a údaje ze 2. vstupního štítku. Pak je vtištěna tabulka integrálního zbytkového rozdělení (mikrometry, procenta zbytku). Pod touto tabulkou jsou vtištěny parametry rozdělení vyrovnané podle rozdělení Rossina, Rammlera a Bennetta. Jsou také vtištěny hodnoty funkce RRB v kroku 1 μm pro daný vzorek.

Poznámka: Program je k dispozici na pracovišti autora.

Na obr. 2 je uveden příklad výpočtu rozdělení velikostí částic pro sádro Densit (zubolékařská sádra). Pro tuto sádro vyhovuje velmi dobře rozdělovačí funkce RRB. Vypočtené parametry jsou: exponent zrnitosti 1,43 a charakteristické zrno 29,5 μm.

F. Škvára:

ZÁVĚR

Popsaný program umožňuje rychlý výpočet rozdělení velikostí částic ze sedimentační křivky. Umožňuje také charakterizovat danou hmotu parametry Rossin—Rammler—Bennetovy funkce (pokud jí vyhovuje). Program rozšiřuje možnosti sedimentačních analýz a zvyšuje použitelnost automatických sedimentačních vah (např. Sartorius).

Literatura

- [1] Špičák K.: *Výrobní procesy a zařízení v technologii silikátů*. Skripta VŠCHT, SNTL, Praha 1964.
- [2] Špičák K.: Soukromé sdělení (1971).
- [3] Tesla Fortran Manual, ÚVTT Tesla (1970).
- [4] Carnagan B., Luther H. A., Wilkes J. O.: *Applied Numerical Methods*, str. 130, J. Wiley, New York 1969.
- [5] Oden S.: *Koll. Zeit.* 18, 34 (1916).

РАССЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА ОСНОВАНИИ КРИВЫХ ОСАЖДЕНИЯ

Франтишек Шквара

Общая лаборатория химии и технологии силикатов ЧСАН и ХТИ, Прага

Для оценки кривых седиментации, полученных на основании седиментационного веса, создали программу в языке Фортран. Программа дает возможность расчета интегрального распределения размера частиц и выравнивания интегрального распределения согласно функции Росин—Рамлер—Беннетт. Рассчитать размер частиц можно несколькими способами (формула Андреасена, Стокса). Программа была применена на вычислительных машинах IBM 360/40 и Tesla 270.

Рис. 1. Зависимость веса осадка от времени.

Рис. 2. Распределение размера частиц гипса Densit, установленное согласно функции RRB (● — экспериментальные величины).

COMPUTATION OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION FROM SEDIMENTATION CURVES

František Škvára

*Joint Laboratory for Chemistry and Technology of Silicates,
Czechoslovak Academy of Sciences and Institute of Chemical Technology, Prague*

A program in Fortran language was worked out for evaluation of sedimentation curves obtained from sedimentation balance. The program allows to compute integral particle size distribution and to equalize integral distribution of the Rosin—Rammler—Bennet function. The particle size can be computed either according to Stokes or according to Andreasen. The program was tuned on computers IBM 360/40 and Tesla 270.

Fig. 1. Sediment weight vs. time.

Fig. 2. Grain size distribution of Densit gypsum equalized according to RRB function (● — experimental values).