

Witold Holiczer

PROBLEMATYKA POMIARÓW PARAMETRÓW ZAWIESIN CZĄSTEK
ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM ASPEKTÓW MEDYCZNYCH

Streszczenie: Zagadnienie pomiaru parametrów cząstek występujących w stanie stałym, tworzących zawiesiny, jest istotnym problemem metrologicznym.

W artykule przedstawiono możliwości zastosowań wyżej wymienionych pomiarów w badaniach przemysłowych oraz medycznych. Zdefiniowano podstawowe zależności funkcyjne i parametryczne istotne z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia. Dokonano podziału metod pomiarowych, przedstawiając ich wady i zalety, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów medycznych zagadnienia. Dyskusja końcowa zmierza do wyboru optymalnych, z punktu widzenia realizacji technicznej, metod pomiarowych.

Pomiar ilości cząstek w jednostce objętości jest zagadnieniem niezmiernie ważnym w wielu dziedzinach nauki i techniki. Szczególną rolę odgrywa ten pomiar w medycynie i biologii, o czym świadczy ilość publikacji na ten temat [1].

Zakres zastosowań w przemyśle obejmuje następujące dziedziny:

- analizę rozkładu objętości cząstek w zawiesinach oraz gazów w roztworach,
- analizę zanieczyszczeń wody, paliw (między innymi raketowych), olejów, preparatów chemicznych,
- analizę zapylenia powietrza,
- kontrolę dynamiki procesów rozpuszczania i krystalizacji,
- kontrolę pracy filtrów mechanicznych, młynów, krystalizatorów, polimeryzatorów.

W biologii i medycynie pomiar ilości cząstek w jednostce objętości (koncentracji) znalazł zastosowanie w następujących badaniach:

- liczenie krwinek białych, czerwonych oraz płytek krwi,
- wyznaczanie krzywej rozkładu objętości krwinek białych, czerwonych oraz płytek krwi,
- wyznaczanie krzywej rozkładu objętości komórek szpiku kostnego,
- wyznaczanie rozkładu objętości bakterii,
- kontrola reakcji hemaglutynacji i aktywności aglutynujących surowic, kontrola reakcji antygen-przeciwciała,
- liczenie i zapis krzywej rozkładu objętości oraz badanie dynamiki wzrostu organizmów jednokomórkowych,

- liczenie cząstek w mleku,
- określanie rezystancji osmotycznej krwinek czerwonych,
- badanie osadu w moczu.

Z powyższego wynika, iż podstawowym zagadnieniem w medycynie jest pomiar ilości cząstek, o określonej objętości $0 \leq v < \infty$, zawartych w pewnej objętości roztworu. W dalszych rozważaniach ilość cząstek w jednostce objętości będzie nazywana koncentracją:

$$K = \frac{I}{V} \quad (1)$$

I - ilość cząstek w objętości V zawiesiny.

Ponieważ w praktyce mogą zaistnieć dwa przypadki:

- roztwór jest naturalnym środowiskiem cząstek,
- w celu dokonania pomiaru należy sprządzić zawieszinę cząstek w określonym roztworze.

Stąd zależność (1) przyjmie postać:

$$K_z = \frac{I_z}{V_z} = \frac{V_x}{V_x + V_r} K = RK \quad (2)$$

Skąd:

$$K = \frac{1}{R} \frac{I_z}{V_z} \quad (3)$$

K_z - koncentracja cząstek w sporządzonej zawieszynie,

K - pierwotna koncentracja cząstek,

V_x - pobrana do rozcieńczania objętość cząstek o koncentracji K,

V_r - objętość roztworu rozcieńczającego nie zawierającego cząstek w przedziale wielkości mierzonych,

I_z - ilość cząstek w objętości V_z sporządzonej zawiesziny,

R - stopień rozcieńczenia

$$R = \frac{V_x}{V_x + V_r} \leq 1 \quad (4)$$

Przypadek $R = 1$ jest w praktyce przypadkiem odosobnionym. Najczęściej, ze względu na dużą koncentrację cząstek - przy określonej rozdzielczości metody pomiarowej - należy dokonywać rozcieńczania lub tworzenia zawiesziny cząstek. Należy przy tym dobrać medium rozcieńczające tak, by nie oddziaływało ono chemicznie i fizykalnie na badane cząstki.

Z praktycznych zastosowań pomiaru ilości cząstek w jednostce objętości wynika, że niepoślednią rolę odgrywa pomiar krzywej rozkładu cząstek. W takim przypadku zależność (3) przyjmuje postać:

$$K_1 = \frac{I_1}{V} = \frac{1}{R} \frac{I_{z1}}{V_z}, \quad (4)$$

gdzie:

I_1 - pierwotna ilość cząstek, o objętości $v_1 \leq v < v_{i+1}$, liczona w objętości V zawiesziny,

I_{z1} - ilość cząstek, o objętości $v_1 \leq v < v_{i+1}$ liczona w objętości V_z zawiesziny rozcieńczonej; $i = 1 \dots N$, N - ilość poziomów dyskryminacji objętości v cząstek.

Po dokonaniu pomiarów, zależność tę można podać w postaci funkcji dyskretnych:

$$K_1 = F(v_1) \quad (6)$$

lub

$$v_{sk} = \sum_{i=1}^k I_i v_i \quad (7)$$

K_1 - koncentracja cząstek o objętościach $v_1 \leq v < v_{i+1}$,

v_{sk} - całkowita objętość cząstek o objętościach pojedynczych cząstek $v < v_k$.

Chcąc obliczyć objętość zajmowaną przez wszystkie cząstki w przedziale $0 \leq v < \infty$ należy założyć $k \rightarrow \infty$ stąd:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} v_{sk} = v_N = \sum_{i=1}^{\infty} I_i v_i \quad (8)$$

We wszystkich zagadnieniach praktycznych istnieje takie v_N , dla którego prawdopodobieństwo wystąpienia cząstki o objętości $v > v_N$ jest bliskie zera. Przyjmując zatem założenie:

$$P(v > v_N) = 0 \quad (9)$$

otrzymamy:

$$\sum_{i=N+1}^{\infty} I_i v_i = 0 \quad (10)$$

z (8) i (10):

$$\bar{v}_s = \sum_{i=1}^N I_i v_i \quad (11)$$

W niektórych zagadnieniach wystarczającym do oceny ilościowej jest wskaźnik średniej objętości cząstki:

$$\bar{v} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^{\infty} I_i v_i \quad (12)$$

Przy przyjęciu założenia (9):

$$\bar{v} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N I_i v_i, \quad (13)$$

Gdzie $I = \sum_{i=1}^N I_i$ - ilość wszystkich cząstek o objętościach $0 \leq v < v_{N+1}$ liczona w objętości V zawiesiny.

Dla scharakteryzowania własności zawiesin używa się także tzw. procentowego wskaźnika objętości cząstek:

$$a = \frac{v}{v^s} \cdot 100\% \quad (14)$$

informującego, ile procent całkowitej objętości zawiesiny pierwotnej zajmują cząstki.

Zależności (6) i (7) przedstawione są na rys. 1 i rys. 2.



Rys. 1



Rys. 2

Z zależności (7) i (8), formalizując zagadnienie z matematycznego punktu widzenia, można otrzymać:

$$P(v_k) = \frac{v_{sk}(v_k)}{v_s} \quad (15)$$

Łatwo udowodnić, że tak utworzona funkcja $F(v_k)$ spełnia warunki dystrybuanty zmiennej losowej ciągłej:

$$F(v_k) = P(v \leq v_k) \quad (16)$$

Takie ujęcie zagadnienia umożliwia aproksymację praktycznych zależności typowymi funkcjami rozkładów statystycznych a zatem operowanie wielkościami charakterystycznymi dla statystyki matematycznej.

Z powyższego wynika, iż własności ilościowe i jakościowe zawieszin cząstek można charakteryzować przy pomocy:

- krzywej rozkładu cząstek $K_1 = F(v_1)$ lub $v_{sk} = F(v_k)$,
- parametrów wskaźnikowych K, \bar{v}, a .

Znając krzywą rozkładu cząstek można poprzez proste przekształcenia matematyczne obliczyć parametry wskaźnikowe.

W dalszej części zostaną przedyskutowane metody pomiaru krzywej rozkładu oraz parametrów wskaźnikowych.

Pomiaru rozkładu objętości cząstek dokonuje się następującymi metodami [1]:

- sedymentacyjną,
- wirówkową,
- sitową,
- mikroskopową,
- analizy rentgenowskiej.

W latach sześćdziesiątych opracowano przyrządy dokonujące tego pomiaru metodą konduktometryczną impulsową. Metoda ta, w porównaniu z wymienionymi poprzednio, charakteryzuje się następującymi zaletami:

- szerokim zakresem objętości mierzonych cząstek (duży zakres liniowości przetwornika),
- dużą dokładnością i powtarzalnością,
- dużą szybkością liczenia cząstek (otrzymywania krzywej rozkładu objętości),
- prostotą konstrukcji przetwornika pomiarowego.

Do wad metody należy zaliczyć:

- mniejszy, w porównaniu z innymi, zakres pomiarowy przy użyciu jednego przetwornika pomiarowego nie przewyższający stosunku 40:1 (średnice zastępcze cząstek) lub 64 000:1 (objętości cząstek),
- konieczność tworzenia odpowiednich zawieszin cząstek (w większości przypadków),
- możliwość mechanicznego unieruchomienia przetwornika pomiarowego przez cząstki (zanieczyszczenia) o wymiarach zbliżonych do wymiarów elementu pomiarowego.

Zakresy pomiaru objętości cząstek wymienionymi metodami podaje tabela 1 [1].

Tabela 1

Metoda	Zakres pomiarowy	
	minimalna średnica zastępcza cząstki (μm)	maksymalna średnica zastępcza cząstki (μm)
Analizy rentgenowskiej	-	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Mikroskopowa (elektronowa)	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^0$
Wirówkowa	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^0$
Konduktometryczna impulsowa	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^2$
Mikroskopowa (optyczna)	$5,5 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$
Sedymentacyjna	$1,0 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^2$
Sitowa	$3,0 \cdot 10^1$	-

Analizując wady i zalety metody konduktometrycznej w aspekcie pomiarów krzywej rozkładu cząstek w medycynie, należy stwierdzić, iż góruje ona nad pozostałymi metodami przede wszystkim dużą dokładnością oraz powtarzalnością wyników pomiarów a także szybkością liczenia, co ma wielkie znaczenie w badaniach masowych. Jej zasadniczą wadą jest możliwość mechanicznego unieruchomienia przetwornika pomiarowego, czemu można zapobiec przez odpowiednie przygotowanie zawiesiny. Istnieje również możliwość szybkiej wymiany przetwornika lub równoległej pracy kilku przetworników.

Zagadnienie pomiarów parametrów wskaźnikowych może być rozwiązywane różnymi metodami, w tym oczywiście również dowolną metodą pomiaru krzywej rozkładu cząstek. W tym przypadku podane wcześniej wady i zalety dotyczą również pomiaru parametrów wskaźnikowych.

W wielu przypadkach, szczególnie w medycynie, zależy często na zmierzeniu K , \bar{v} , a , bezpośrednio, pomijając pomiar krzywej rozkładu objętości cząstek, co daje znacznie szersze możliwości technicznej realizacji urządzeń a także znacznie upraszcza układy pomiarowe.

Do pomiaru koncentracji cząstek stosuje się obecnie następujące metody:

- mikroskopową [3],
- konduktometryczną impulsową [4],
- fotometryczną impulsową [5],
- fotometryczną, średniej wartości światła rozproszonego [7].

Inne metody, takie jak: analizy rentgenowskiej czy mikroskopowa z przetworzeniem obrazu są stosowane niezmiernie rzadko, w związku z czym w dalszym ciągu nie będą dyskutowane.

Ponieważ parametry wskaźnikowe \bar{v} oraz a , przy znanej koncentracji K , są parametrami uzupełniającymi się wzajemnie zgodnie z zależnością:

$$a = \bar{v} K \cdot 100\% \quad (17)$$

stąd należy je traktować alternatywnie. Obecnie mierzy się je następującymi metodami:

- wirówkową [6],
- konduktometryczną impulsową [4],
- konduktometryczną [5].

Dyskutując pomiar koncentracji, należy stwierdzić, iż metody impulsowe - konduktometryczna i fotometryczna - w porównaniu z metodą mikroskopową posiadają zalety i wady omówione wcześniej, dotyczące pomiaru krzywej rozkładu cząstek. Metoda fotometryczna, średniej wartości światła rozproszonego, ze względu na stawiany warunek podobieństwa geometrycznego cząstek nie zawsze jest możliwa do realizacji, z tego też powodu praktycznie traci na znaczeniu, szczególnie w warunkach przemysłowych oraz przeważającej ilości zastosowań w medycynie.

Podobne zastrzeżenia dotyczą pomiaru metodą wirówkową w przypadku, gdy mamy do czynienia z cząstkami sprężystymi lub w postaci brył sztywnych. Wówczas dokładność pomiaru tą metodą jest zależna od współczynnika wypełnienia po zakończeniu wirowania zawiesiny. Ponieważ w przypadku pomiarów w medycynie wymienione zastrzeżenie nie obowiązuje, stąd metodę wirówkową pomiaru wskaźnika a należy traktować jako równorzędną z dwoma pozostałymi, a w chwili obecnej nawet jako nadrzędną, gdyż jest ona metodą wzorcową pomiaru wymienionego wskaźnika.

Biorąc pod uwagę dotychczasowe rozważania oraz obecny stan wdrożenia postępów techniki w medycynie należy stwierdzić, że w dziedzinie pomiarów krzywej rozkładu cząstek w zawiesinie jedyną przyjętą obecnie metodą pomiaru jest metoda konduktometryczna impulsowa.

Wśród metod pomiaru koncentracji cząstek należy wymienić metodę mikroskopową, jako metodę powszechnie stosowaną obecnie w badaniach analitycznych, lecz ustępującą z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia metodom: konduktometrycznej i fotometrycznej impulsowej, które należy uznać za równorzędne, konkurencyjne. Jak się obecnie obserwuje, metody te wypierają z laboratoriów analitycznych metodę mikroskopową.

Nieco inna sytuacja istnieje w przypadku pomiarów średniej objętości cząstki czy procentowego wskaźnika objętości cząstek. Metoda wirówkowa jest bowiem nie tylko powszechnie stosowana, lecz pełni również rolę metody wzorcowej w stosunku do metod konduktometrycznej i konduktometrycznej impulsowej, która tak jak w poprzednim przypadku, należy uznać za konkuren-

cyjne. Metody te jednak, w chwili obecnej nie są jeszcze na tyle stosowane w medycynie, by mówić o wypieraniu przez nie metody wirówkowej w praktyce codziennej.

Z powyższej analizy wynika, iż jedynie metoda konduktometryczna impulsowa zezwala na pomiar zarówno krzywej rozkładu cząstek jak i dyskutowanych parametrów wskaźnikowych, co niewątpliwie stanowi o jej wyższości nad pozostałymi metodami, bowiem przy użyciu tego samego przetwornika pomiarowego - upraszczając, w sensie stawianych warunków, układ elektroniczny - można mierzyć:

- krzywą rozkładu cząstek,
- średnią objętość cząstek lub procentowy wskaźnik objętości cząstek,
- koncentrację cząstek.

Zatem ten punkt widzenia winien mieć decydujące znaczenie przy wyborze metody pomiaru parametrów zawiesin cząstek, niezależnie od tego, jakie parametry chcemy oznaczać.

Przedstawione rozważania miały na celu zdefiniowanie podstawowych zależności funkcyjnych oraz parametrycznych, stosowanych w objętościowej analizie zawiesin cząstek, a także klasyfikację metod pomiarowych oraz przedstawienie ich wad i zalet z ogólnego punktu widzenia, co miało doprowadzić do wytyczenia postępowania zmierzającego do wyboru takich metod, które mają:

- największe szanse powodzenia w sensie technicznej realizacji urządzeń pomiarowych, spełniających określone warunki metrologiczne,
- umożliwiają automatyzację procesu pomiarowego.

LITERATURA

- [1] Rabinowicz P.M.: Konduktometriczieskij metod dispersionnowo analiza. Wydawnictwo "Chimija", Leningradskoje otdielienije. 1970.
- [2] Coulter W.H.: Proc. Nat. Electron. Conf. 12, 1034, 1956.
- [3] Krawczyński J., Osipiński T.: Laboratoryjne metody diagnostyczne. PZWL.
- [4] Prospekt firmy "Coulter Electronics Limited", 415 Krefeld, Hulser Strasse 295.
- [5] Prospekt firmy "Technicon Corporation", Tarrytown, New York 10591.
- [6] Richterich R.: Chemia kliniczna. PZWL 1971.
- [7] Lange B.: Arbeitsvorschriften aus dem Handbuch "Photometrische Analysen Medizin", 1 Berlin 37, Hermannstrasse 14-18.

ПРОБЛЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЧЕК
С ОСОБЫМ УЧЁТОМ МЕДИЦИНСКИХ АСПЕКТОВ

Р е з ю м е

Проблема измерения параметров частиц находящихся в твёрдом состоянии, создающих суспензии, является важной метрологической проблемой.

В статье описываются возможности применения выше указанных измерений в промышленных, а также в медицинских исследованиях.

Определяются основные функциональные и параметрические зависимости, важные с теоретической и практической точки зрения.

Проведено классификацию методов измерения, анализируя их достоинства и недостатки с особым учётом факторов медицинских вопросов конечные рассуждения стремятся к выбору методов оптимальных, измерения с точки зрения их технической реализации.

THE PROBLEM OF MEASURING THE PARAMETERS
OF SUSPENSIONS OF PARTICLES FROM
THE MEDICAL POINT OF VIEW

S u m m a r y

The problem of measuring the parameters of sedimentary solid-state molecules is a very important metrological problem. In the paper there are shown possibilities of the utilisation of the above mentioned measurements in medical and industrial investigations.

There have been defined the principal parametrical and functional equations which are important from the theoretical and practical point of view.

The measuring methods, have been catagorized, analysing their advantages and faults from the medical point of view. Final discussion tries to give an optimal measuring method from the technical point of view.