



## Fracjonowanie mikrocząstek biologicznych w polu grawitacji i polu sił odśrodkowych

ANDRZEJ GÓRKA

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,  
ul. gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa,  
gorka@upcpoczta.pl

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono podstawowe zależności opisujące stan granicznej równowagi frakcji wyodrębnianych w procesie frakcjonowania dwuskładnikowych mieszanin biologicznych uformowanych na podstawie jednorodnego roztworu bazowego w polu grawitacji i w polu sił odśrodkowych. Stan granicznej równowagi frakcji opisano przy pomocy równań równowagi mas, sił ciężkości, sił odśrodkowych oraz sił wyporu odniesionych do poszczególnych frakcji i całej mieszaniny mikrocząstek. Opisuje on końcowy etap frakcjonowania mikrocząstek, w którym mikrocząstki w mieszaninie już nie emigrują. W analizie wykorzystano przykładowy rozkład frakcji utworzony w procesie frakcjonowania krwi i zamieszczone w artykule przykładowe obliczenia odnoszą się do tego rozkładu. W obliczeniach wykazano, że frakcjonowanie w polu siły odśrodkowej formuje frakcje o zwiększonym zagęszczeniu selekcjonowanych w ten sposób grup komórek o zbliżonej masie właściwej.

**Słowa kluczowe:** frakcjonowanie mieszanin, sedymentacja mieszanin, rozdzielanie składników krwi w polu grawitacji, rozdzielanie składników krwi w polu sił odśrodkowych, wirowanie krwi, wirówki medyczne, jednorodne mieszaniny biologiczne, niejednorodne mieszaniny biologiczne

DOI: 10.5604/01.3001.0013.1477

### 1. Wstęp

W laboratoryjnych badaniach medycznych podstawowym źródłem informacji o stanie zdrowia pacjentów jest pobierana w niewielkich ilościach krew w stanie natywnym [1-7]. Badania biochemiczne krwi od dawna stosuje się w procesie leczenia i w szeroko rozumianej profilaktyce prozdrowotnej. Aktualnie dynamicznie rozwijane są metody diagnostyczne krwi, dzięki którym można na

wczesnym etapie rozwoju diagnozować choroby cywilizacyjne, a także w cyklu leczenia oceniać skuteczność podjętego leczenia tych chorób. W badaniach tych fundamentalne znaczenie ma odpowiednie do programu badań frakcjonowanie krwi. Prezentowana publikacja dotyczy frakcjonowania mieszanin biologicznych z wykorzystaniem pola grawitacji oraz pola sił odśrodkowych. Dowolne mieszaniny mikrocząstek równomiernie rozlokowane w płynie bazowym w polu grawitacji lub polu sił odśrodkowych podlegają rozwarstwieniu głównie ze względu na różnice mas właściwych [8-14]. Proces ten w początkowej fazie migracji mikrocząstek jest złożony, zachodzą w nim równocześnie takie zjawiska jak: sedymentacja, flotacja, tarcie wewnętrzne czy dyfuzja. Z chwilą ustania migracji mikrocząstek proces rozwarstwiania mieszaniny osiąga stan równowagi. Uformowane warstwy, to jest frakcje na osnowie płynu bazowego wzbogacone mikrocząsteczkami o odpowiedniej masie właściwej, stanowią graniczny stan równowagi. Stabilny rozkład tych frakcji uformowanych w ustalonych warunkach termicznych stanowi podstawę do oszacowania mas właściwych tych frakcji.

## 2. Wprowadzenie

W artykule mieszanina mikrocząstek biologicznych rozumiana jest jako mieszanina jednorodnego płynu bazowego (osocza) i mikrocząstek (komórek krwi) o zbliżonych masach właściwych [15]. Ponadto zakłada się, że mikrocząstki te są regularne o opływowych kształtach i o wymiarach z zakresu 1-25  $\mu\text{m}$ . Są komórkami biologicznie aktywnymi, a proces frakcjonowania nie prowadzi do ich agregacji lub destrukcji. Prezentowana analiza frakcjonowania mieszanin zawężona jest więc do zagadnień z zakresu hydrodynamiki jednorodnych płynów [16-17]. Nie uwzględnia czasu trwania procesu ani stanów pośredniej równowagi rozdzielanych mikrocząstek. Analizie formalnej poddany jest tylko stan równowagi granicznej, w którym zamrożony jest ruch mikrocząstek w całej objętości mieszaniny i w poszczególnych strefach wyodrębnionych frakcji, bez względu na czas trwania procesu. W powyższym stanie równowagi o równowadze rozwarstwionej mieszaniny w polu grawitacyjnym decyduje masa właściwa i siły wyporu, a w przypadku pola sił odśrodkowych dodatkowo siły odśrodkowe działające na poszczególne mikrocząstki. W przypadku pola sił odśrodkowych zakłada się również, że proces frakcjonowania mieszanin realizowany jest przy pomijalnym wpływie pola grawitacyjnego Ziemi. W związku z tym w wyodrębnionym układzie pola sił odśrodkowych, na etapie formowania się poszczególnych frakcji, nieinercyjny układ odniesienia w stanie równowagi granicznej (brak ruchu mikrocząstek) może być traktowany jako inercyjny układ odniesienia [18-19]. W układzie inercyjnym siła odśrodkowa wywołana przez ruch samego układu odniesienia jest siłą bezwładności [20].

W prezentowanych rozważaniach zakładamy ponadto, że:

1. Mieszanina poddana procesowi frakcjonowania oraz poszczególne frakcje wyodrębnione w tym procesie wykazują cechy płynu Pascala [21].
2. Proces frakcjonowania mieszanin zachodzi w warunkach, dla których liczba Knudsena jest znacznie mniejsza od jedności ( $Kn \ll 1$ ) [22].
3. W procesie formowania się poszczególnych frakcji zjawisko flotacji, tarcia wewnętrznego, czy zjawisko dyfuzji mikrocząstek w osnowie mieszaniny nie wpływają na stan granicznej równowagi frakcji.
4. Proces frakcjonowania mieszanin mikrocząstek zarówno w polu grawitacyjnym, jak i w polu sił odśrodkowych zdominowany jest przez zjawisko sedymentacji [23].
5. W stanie granicznej równowagi po procesie frakcjonowania wyodrębnione frakcje i cała rozwarstwiona mieszanina mikrocząstek traktowane są jako jednorodny płyn o uśrednionej masie właściwej [16].

W procesie frakcjonowania dowolnej mieszaniny mikrocząstek stan granicznej równowagi wyodrębnionych frakcji opisują równania równowagi:

- w polu grawitacji — siła ciężkości i wyporu,
- w polu sił odśrodkowych — siła odśrodkowa i wyporu.

Siłę ciężkości w polu grawitacji  $F_g$  opisuje równanie (1):

$$F_g = V \rho g, \quad (1)$$

gdzie:  $V$  — objętość frakcji,  
 $\rho$  — masa właściwa frakcji w polu grawitacji,  
 $g$  — przyspieszenie ziemskie.

Siłę odśrodkową w polu sił odśrodkowych  $F_w$  opisuje równanie (2):

$$F_w = V \rho \omega^2 R, \quad (2)$$

gdzie:  $\omega$  — prędkość kątowna wirowania,  
 $R$  — promień okręgu wirowania.

Siłę wyporu w polu grawitacji  $F_{wg}$  opisuje równanie (3):

$$F_{wg} = V \rho_b g, \quad (3)$$

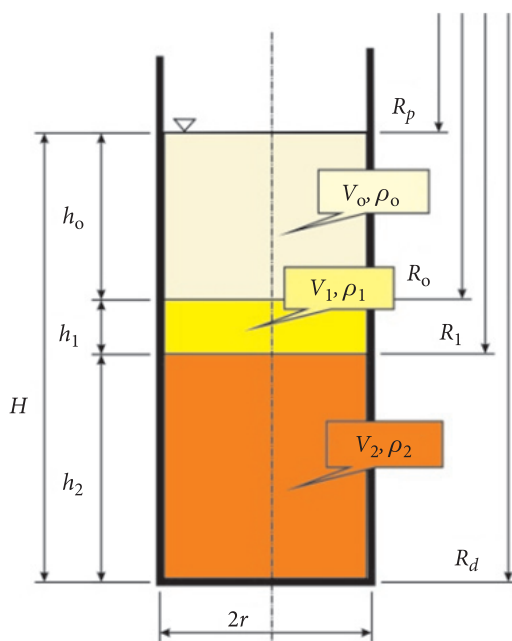
gdzie:  $\rho_b$  — masa właściwa płynu bazowego mieszaniny mikrocząstek.

Siłę wyporu w polu sił odśrodkowych  $F_{ww}$  opisuje równanie (4):

$$F_{ww} = V \rho_b \omega^2 R. \quad (4)$$

### 3. Frakcjonowanie mikrocząstek biologicznych w polu grawitacji

Dowolne mieszaniny mikrocząstek równomiernie rozlokowane w płynie bazowym podlegają rozwarstwieniu zarówno w polu grawitacji, jak i w polu sił odśrodkowych, głównie ze względu na różnice mas właściwych. Proces rozwarstwiania mieszanin na poszczególne frakcje zachodzi do chwili osiągnięcia stanu granicznej równowagi. Stan granicznej równowagi frakcji mieszanin mikrocząstek biologicznych, w analogii do przypadku krwi [6, 8, 9], schematycznie pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Stan granicznej równowagi wyodrębnionych frakcji. Oznaczenia:

$V_{0,1,2}$  — objętości wydzielonych frakcji;  $R_p$  — promień wirowania powierzchni frakcjonowanej mieszaniny;  $R_{0,1}$  — promienie wirowania wydzielonych frakcji;  $R_d$  — promień wirowania dna naczynia pomiarowego;  $\rho_{0,1,2}$  — średnie masy właściwe poszczególnych frakcji;  $r$  — promień podstawy naczynia pomiarowego;  $H = R_d - R_p$ ,  $h_0 = R_0 - R_p$ ,  $h_1 = R_1 - R_0$ ,  $h_2 = R_d - R_1$ .

Na podstawie rozmieszczenia wyodrębnionych warstw z rysunku 1 wstępnie możemy stwierdzić, że  $\rho_0 < \rho_1 < \rho_2$ . W laboratoryjnych badaniach medycznych proces frakcjonowania krwi, ze względu na ilości głównych składników, prowadzi do formowania frakcji o znacznym zróżnicowaniu objętości [4]. Ponadto, dopuszczalna ilość jednorazowo pobieranej krwi do badań laboratoryjnych ogranicza możliwości badawcze, szczególnie w stosunku do frakcji nr 1 ( $V_1, \rho_1$ ).

Frakcja ta, jak również frakcja nr 0, są istotne w ocenie diagnostycznej stanu zdrowia pacjentów [4, 6]. W opracowaniu skoncentrowano się na zagadnieniu oszacowania mas właściwych frakcji nr 1 ( $V_1, \rho_1$ ) i nr 2 ( $V_2, \rho_2$ ) przy założeniu, że znana jest masa właściwa całej mieszaniny (krwi)  $\rho_c$  i dominującego składnika krwi (osnowy)  $\rho_0$ . W literaturze dane te są ogólnie dostępne [10], ponieważ w stosunku do nich można zastosować bezpośrednie metody pomiaru [7, 8]. W procesie frakcjonowania dowolnej mieszaniny mikrocząstek biologicznych w polu grawitacji stan granicznej równowagi sił ciężkości wyodrębnionych frakcji z całej mieszaniny opisuje równanie (5):

$$F_c = F_0 + F_1 + F_2 \quad (5)$$

gdzie:  $F_c$  — siła ciężkości całej mieszaniny,  $F_c = V_c \rho_c g$ ,  
 $F_0$  — siła ciężkości frakcji nr 0,  $F_0 = V_0 \rho_0 g$ ,  
 $F_1$  — siła ciężkości frakcji nr 1,  $F_1 = V_1 \rho_1 g$ ,  
 $F_2$  — siła ciężkości frakcji nr 2,  $F_2 = V_2 \rho_2 g$ ,  
 $V_c$  — objętość całej mieszaniny,  
 $\rho_c$  — całkowita masa właściwa mieszaniny.

Ze względu na fakt, że proces frakcjonowania mikrocząstek realizowany jest z wykorzystaniem pojemnika pomiarowego w kształcie walca o promieniu podstawy  $r$  (rys. 1), równanie (5) możemy zapisać jako charakterystyczne równanie równowagi mas (6):

$$\rho_c H = \rho_0 h_0 + \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2. \quad (6)$$

W przypadku programu badawczego, w którym nie znamy masy właściwej tylko jednej frakcji (np. frakcji nr 1), powyższe charakterystyczne równanie równowagi mas jest wystarczającą zależnością, aby wyznaczyć jej wartość. W większości przypadków jednak mamy do czynienia z programami badawczymi, w których nie znamy masy właściwej minimum dwóch frakcji. W takim przypadku w równaniu równowagi masy (5) należy uwzględnić wpływ sił wyporu poszczególnych frakcji na stan równowagi granicznej rozwarstwianej mieszaniny mikrocząstek. Skorygowane w ten sposób równanie sił w stanie granicznej równowagi opisuje zależność (7):

$$F_c = F_0 - F_{w0} + F_1 - F_{w1} + F_2 - F_{w2}, \quad (7)$$

gdzie:  $F_{w0}, F_{w1}, F_{w2}$  — siły wyporu inicjowane przez poszczególne frakcje.

Wypadkowe siły wyporu:

— dla frakcji nr 0 ( $V_0, \rho_0$ )  $F_{w0}$  w stosunku do frakcji nr 1 i 2 opisuje równanie (8):

$$F_{w0} = \pi r^2 \rho_0 [(R_1 - R_0) + (R_d - R_1)] = \pi r^2 \rho_0 (R_d - R_0); \quad (8)$$

— dla frakcji nr 1 ( $V_1, \rho_1$ )  $F_{w1}$  w stosunku do frakcji nr 0 i 2 opisuje równanie (9):

$$F_{w0} = \pi r^2 \rho_1 [(R_d - R_1) + (R_0 - R_p)] = \pi r^2 \rho_1 (R_d - R_1 + R_0 - R_p); \quad (9)$$

— dla frakcji nr 2 ( $V_2, \rho_2$ )  $F_{w2}$  w stosunku do frakcji nr 0 i 1 opisuje równanie (10):

$$F_{w2} = \pi r^2 \rho_2 [(R_1 - R_0) + (R_0 - R_p)] = \pi r^2 \rho_2 (R_1 - R_p). \quad (10)$$

Na podstawie powyższych zależności (7-10) oraz po uwzględnieniu uproszczeń wykorzystanych w zapisie równania (6), charakterystyczne równanie równowagi mas skorygowane przez siły wyporu poszczególnych frakcji opisuje równanie (11):

$$\rho_c H + \rho_0 (2R_0 - R_d - R_p) + \rho_1 (2R_1 - 2R_0 - R_d + R_p) + \rho_2 (R_d + R_p - 2R_1) = 0. \quad (11)$$

Równania równowagi (6) i (11) stanowią podstawę wyznaczenia mas właściwych dwóch frakcji odpowiadających dwuskładnikowej mieszaninie formowanej na osnowie jednorodnego płynu bazowego. W przypadku krwi jest to frakcja nr 1 jako mieszanina leukocytów i trombocytów w osnowie osocza i frakcja nr 2 jako mieszanina erytrocytów w osnowie osocza [10].

#### 4. Frakcjonowanie mikrocząstek biologicznych w polu sił odśrodkowych

Proces frakcjonowania mieszaniny mikrocząstek biologicznych w polu sił odśrodkowych wyróżnia zmienne wzdłuż promienia wirowania pole sił wymuszających migrację mikrocząstek w osnowie płynu bazowego. W stanie równowagi granicznej stabilny rozkład rozdzielonych frakcji w tym polu determinują siły odśrodkowe i wyporu tych frakcji. Równanie równowagi sił odśrodkowych poszczególnych frakcji i całej mieszaniny, w analogii do równania (5), opisuje zależność (12):

$$F_{Sc} = F_{S0} + F_{S1} + F_{S2}, \quad (12)$$

gdzie: 
$$F_{Sc} = \int_{R_p}^{R_d} V_c(R) \rho_c \omega^2 dR = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_c (R_d^2 - R_p^2),$$

$$F_{S_0} = \int_{R_p}^{R_0} V_0(R) \rho_0 \omega^2 dR = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_0 (R_0^2 - R_p^2),$$

$$F_{S_1} = \int_{R_0}^{R_1} V_1(R) \rho_1 \omega^2 dR = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_1 (R_1^2 - R_0^2),$$

$$F_{S_2} = \int_{R_1}^{R_d} V_2(R) \rho_2 \omega^2 dR = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_2 (R_d^2 - R_1^2),$$

Natomiast skorygowane przez siły wyporu równanie sił odśrodkowych (12), w analogii do równania (7), opisuje zależność (13):

$$F_{Sc} = F_{S_0} - F_{wS_0} + F_{S_1} - F_{wS_1} + F_{S_2} - F_{wS_2}, \quad (13)$$

gdzie:  $F_{wS_0}, F_{wS_1}, F_{wS_2}$  — siły wyporu oddziaływania poszczególnych frakcji na siebie.

Wypadkowe siły wyporu:

— dla frakcji nr 0 ( $V_0, \rho_0$ )  $F_{wS_0}$  w stosunku do frakcji nr 1 i 2 opisuje równanie (14):

$$F_{wS_0} = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_0 [(R_1^2 - R_0^2) + (R_d^2 - R_1^2)] = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_0 (R_d^2 - R_0^2), \quad (14)$$

— dla frakcji nr 1 ( $V_1, \rho_1$ )  $F_{wS_1}$  w stosunku do frakcji nr 0 i 2 opisuje równanie (15):

$$F_{wS_1} = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_1 [(R_d^2 - R_1^2) + (R_0^2 - R_p^2)] = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_1 (R_d^2 - R_1^2 + R_0^2 - R_p^2), \quad (15)$$

— dla frakcji nr 2 ( $V_2, \rho_2$ )  $F_{wS_2}$  w stosunku do frakcji nr 0 i 1 opisuje równanie (16):

$$F_{wS_2} = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_2 [(R_1^2 - R_0^2) + (R_0^2 - R_p^2)] = \frac{\pi r^2 \omega^2}{2} \rho_2 (R_1^2 - R_p^2), \quad (16)$$

Na podstawie powyższych zależności (12-16) charakterystyczne równanie równowagi sił odśrodkowych, skorygowanych przez siły wyporu poszczególnych frakcji w polu sił odśrodkowych, opisuje równanie (17):

$$\rho_c (R_d^2 - R_p^2) + \rho_0 (2R_0^2 - R_d^2 - R_p^2) + \rho_1 (2R_1^2 - 2R_0^2 - R_d^2 + R_p^2) + \rho_2 (R_d^2 + R_p^2 - 2R_1^2) = 0 \quad (17)$$

W programach badawczych wykorzystujących frakcjonowanie w polu sił odśrodkowych dwuskładnikowych mieszanin formowanych na bazie jednorodnego roztworu osnowy, w celu wyznaczenia nieznanymi mas właściwych dwóch frakcji (np. frakcji nr 1 i 2, rys. 1), konieczne jest wykorzystanie równania równowagi mas poszczególnych frakcji i całej mieszaniny. Równanie to opisuje zależność (18).

$$m_c = m_0 + m_1 + m_2, \quad (18)$$

gdzie:  $m_c$  — całkowita masa mieszaniny w polu sił odśrodkowych,

$$m_c = \rho_c (R_d - R_p),$$

$$m_0 — \text{masa frakcji nr 0, } m_0 = \rho_0 (R_0 - R_p),$$

$$m_1 — \text{masa frakcji nr 1, } m_1 = \rho_1 (R_1 - R_0),$$

$$m_2 — \text{masa frakcji nr 2, } m_2 = \rho_2 (R_d - R_1).$$

Równanie (18), jako równanie równowagi mas w polu sił odśrodkowych, analogiczne do równania (6), można zapisać jako charakterystyczne równanie równowagi mas w postaci zależności (19):

$$\rho_c (R_d - R_p) = \rho_0 (R_0 - R_p) + \rho_1 (R_1 - R_0) + \rho_2 (R_d - R_1). \quad (19)$$

Na podstawie równań równowagi (17) i (19) można wyznaczyć masy dwóch frakcji odpowiadających dwuskładnikowej mieszaninie formowanej na osnowie jednorodnego płynu bazowego. W przypadku krwi, na przykład frakcji nr 1 (frakcji mieszaniny leukocytów i trombocytów) i frakcji nr 2 (erytrocytów). W programach badawczych wykorzystujących frakcjonowanie w polu sił odśrodkowych jednoskładnikowych mieszanin mikrocząstek biologicznych w celu wyznaczenia nieznannej masy właściwej wyodrębnianej frakcji, w analogii do pola grawitacyjnego, można wykorzystać tylko jedno równanie, na przykład równanie (19).

## 5. Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono teoretyczne aspekty granicznej równowagi w procesie frakcjonowania mieszanin mikrocząstek biologicznych w jednorodnym roztworze osnowy. W rzeczywistych warunkach proces frakcjonowania w polu sił odśrodkowych zachodzi w krótszym czasie niż w polu grawitacji. Między innymi z tego względu jest częściej stosowany w praktyce laboratoryjnej, a szczególnie w profilaktycznych badaniach biochemicznych krwi [3-9]. Inicjowane w tym procesie znaczne siły wymuszające migrację mikrocząstek w osnowie mieszaniny nie tylko przyspieszają proces, ale i sprzyjają formowaniu frakcji o znacznym zagęszczeniu mikrocząstek. Potwierdzają to przykładowe obliczenia wykonane z wykorzystaniem



zamieszczonych w opracowaniu zależności. Jako dane wejściowe wykorzystano ogólnie dostępne w literaturze dane dotyczące morfologii krwi obwodowej [10, 24-26]:

- masa właściwa krwi,  $\rho_c = 1,055 \text{ g/cm}^3$ ,
- masa właściwa osocza,  $\rho_o = 1,025 \text{ g/cm}^3$ .

Obliczenia dotyczą stałej objętości frakcjonowanej mieszaniny, którą zgodnie z oznaczeniami na rysunku 1 reprezentują promienie  $R_p = 20 \text{ mm}$  i  $R_d = 30 \text{ mm}$ .

### Przykład 1

Przykład dotyczy przypadku, w którym po procesie frakcjonowania w polu grawitacji dwuskładnikowej mieszaniny mikrocząstek utworzonej na bazie jednorodnego roztworu osnowy, w stanie granicznej równowagi, zarejestrowano linie rozdziału frakcji w odległości od osi obrotu odpowiednio  $R_0 = 25 \text{ mm}$  i  $R_1 = 26 \text{ mm}$  (oznaczenia jak na rysunku 1). Na podstawie zależności (6) i (11) można stwierdzić, że w przypadku znanych wartości mas właściwych frakcji nr 0  $\rho_0 = 1,025 \text{ g/cm}^3$  i całej mieszaniny  $\rho_c = 1,055 \text{ g/cm}^3$ , masy właściwe frakcji nr 1 i 2 wynoszą odpowiednio:  $\rho_1 = 1,045 \text{ g/cm}^3$  i  $\rho_2 = 1,095 \text{ g/cm}^3$ . W procesie frakcjonowania w polu sił odśrodkowych, w przypadku analogicznych linii rozdziału, zgodnie z zależnościami (17) i (19), masy właściwe tych frakcji wynoszą odpowiednio:  $\rho_1 = 1,0538 \text{ g/cm}^3$  i  $\rho_2 = 1,0928 \text{ g/cm}^3$ . Na podstawie tych danych można stwierdzić, że wyniki obliczeń dotyczą dwóch różnych mieszanin poddanych frakcjonowaniu w polu grawitacji i polu sił odśrodkowych.

### Przykład 2

W przypadku frakcjonowania w polu grawitacji i w polu sił odśrodkowych mieszaniny z przykładu nr 1 o masach właściwych frakcji nr 1 i 2, odpowiednio:  $\rho_1 = 1,0538 \text{ g/cm}^3$  i  $\rho_2 = 1,0928 \text{ g/cm}^3$ , promienie rozdziału tych frakcji zgodnie z zależnościami (6) i (11) oraz (17) i (19) przedstawiono w tabeli nr 1. W tabeli zamieszczono również wyniki obliczeń dla stałej objętości frakcji  $V_1$  reprezentowanej przez  $\Delta R = 1 \text{ mm}$  oraz dla przykładowego położenia linii rozdziału frakcji nr 1 i 2 dla zmiennej objętości frakcji nr 1 reprezentowanej przez wartość  $\Delta R$ .

TABELA 1

Proces frakcjonowania (dla promienia):	W polu grawitacji		W polu sił odśrodkowych $\Delta R = 1,0 \text{ mm}$
	Zmienna objętość $V_1 \text{ mm}^3$	$\Delta R = 1,0 \text{ mm}$	
$R_0 \text{ mm}$	25,0-25,4	24,9	25,0
$R_1 \text{ mm}$	25,7-26,0	25,9	26,0
$\Delta R = (R_1 - R_0)$	0,3-1,0	1,0	1,0

## Przykład 3

W przypadku frakcjonowania w polu grawitacji i polu sił odśrodkowych mieszaniny z przykładu nr 1 o masie właściwej frakcji nr 1 i 2, odpowiednio:  $\rho_1 = 1,045 \text{ g/cm}^3$  i  $\rho_2 = 1,095 \text{ g/cm}^3$ , promienie rozdziału tych frakcji zgodnie z zależnościami (6) i (11) oraz (17) i (19) przedstawiono w tabeli nr 2. W tabeli zamieszczono wyniki obliczeń dla stałej objętości frakcji  $V_1$  reprezentowanej przez  $\Delta R = 1 \text{ mm}$ , jak i dla przykładowego położenia linii rozdziału frakcji nr 1 i 2 dla zmiennej objętości frakcji nr 1 reprezentowanej przez wartość  $\Delta R$ .

TABELA 2

Proces frakcjonowania (dla promienia):	W polu grawitacji $\Delta R = 1,0 \text{ mm}$	W polu sił odśrodkowych	
		Zmienna objętość $V_1 \text{ mm}^3$	$\Delta R = 1,0 \text{ mm}$
$R_0 \text{ mm}$	25,0	25,0-25,9	25,4
$R_1 \text{ mm}$	26,0	26,3-26,6	26,4
$\Delta R = (R_1 - R_0)$	1,0	0,4-1,6	1,0

Na podstawie obliczeń z przykładów 1, 2 i 3 można stwierdzić, że proces frakcjonowania w polu sił odśrodkowych mieszanin mikrocząstek na osnowie jednorodnego roztworu bazowego w stanie granicznej równowagi prowadzi do większego zagęszczenia mikrocząstek w wyodrębnianych frakcjach, niż ma to miejsce w przypadku procesu realizowanego w polu grawitacji. Jest to proces, na podstawie którego można szacować wartości mas właściwych badanych frakcji, mimo że prezentowane w opracowaniu charakterystyczne równania opisujące graniczną równowagę nie uwzględniają warunków formowania ani własności biofizycznych mieszanin mikrocząstek biologicznych. Ponadto z obliczeń zamieszczonych w tabeli nr 1 i 2 wynika, że pomiary rzeczywistych linii rozdziału frakcji muszą być realizowane z dużą dokładnością. Z punktu widzenia całego procesu omawiane równania należy więc traktować jako warunki graniczne w rozbudowanej analizie formalnej procesu frakcjonowania mieszanin mikrocząstek biologicznych. Prezentowana metoda szacowania masy właściwej frakcji w stanie równowagi granicznej, pomimo ograniczonej dokładności wyznaczania linii rozdziału frakcji, posiada fundamentalne znaczenie nie tylko ze względu na prostotę pomiaru, lecz także ze względu na skalę aplikacyjną samego procesu frakcjonowania mikrocząstek biologicznych. Aktualnie dynamicznie rozwijane grawimetryczne metody selektywnej separacji mikrocząstek biologicznych w stanie natywnym, realizowane z wykorzystaniem płynów buforowych, markerów czy aktywnych biochemicznie odczynników, wymuszają badania nad nowymi metodami analizy procesów frakcjonowania w zakresie hydrodynamiki złożonych mieszanin biologicznych.

Źródło finansowania pracy — środki własne autora.

Artykuł wpłynął do redakcji 10.12.2018 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 13.02.2019 r.

Andrzej Górka, <https://orcid.org/0000-0002-4690-4115>

#### LITERATURA

- [1] ANTONIEWICZ-PAPIS J., DZIECIĄTKOWSKA A., LACHERT E. i in., *Sedimentation as effective of preliminary isolation of stem cells from cord blood*, Acta Haematologica Polonica, 2000, t. 31, z. 1, s. 25.
- [2] LIS K., *Odczyn Biernackiego wczoraj i dziś*, Journal of Laboratory Diagnostics, 2012, vol. 48, nr 2, s. 213-218.
- [3] RASZEJA-SPECHT A., GOLAŃSKI J., *Postępowanie przedanalizyczne w laboratoryjnej diagnostyce zaburzeń hemostazy*, Journal of Laboratory Diagnostics, 2014, vol. 50, nr 1, s. 65-70.
- [4] *Badanie biochemiczne krwi* [online], Wikipedia [dostęp wrzesień 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [5] *Czym jest terapia PRP* [online], [dostęp wrzesień 2018], dostępny w Internecie: [www.lucidness.pl](http://www.lucidness.pl)
- [6] *Izolacja oraz analiza wybranych parametrów płytek krwi, cz. 1* [online], Copyright 2013, aktualizacja 25.10.2018, [dostęp listopad 2018], dostępny w Internecie: [www.laboratoria.net](http://www.laboratoria.net)
- [7] *Diagnostyka laboratoryjna (tom 1 i 2)*, (red.) Szutowicz A., Raszeja-Specht A. [online], Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2009, dostępny w Internecie: [www.pbc.gda.pl](http://www.pbc.gda.pl)
- [8] KONOPKA M., KOWALSKI Z., FELA K., KLAMECKA A., CHOLEWA J., *Otrzymywanie plazmy metodą wirowania krwi – charakterystyka procesu*, Czasopismo Techniczne 1–Ch/2007, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2007, s. 67-74, dostępny w Internecie: [www.czasopismotechniczne.pl](http://www.czasopismotechniczne.pl)
- [9] KOPERWAS L., *Rozdzielanie składników krwi przez wirowanie w gradiencie gęstości* [online], Copyright 2013, aktualizacja 16.11.2018, dostępny w Internecie: [www.laboratoria.net](http://www.laboratoria.net)
- [10] *Krew* [online], Wikipedia [dostęp lipiec 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [11] MAZERSKI J., *Materiały pomocnicze do wykładów z podstaw biofizyki III r. biotechnologii, cz. II* [online] [dostęp wrzesień 2018], dostępny w Internecie: <https://chem.pg.edu.pl>
- [12] *Metody rozdzielania mieszanin* [online], [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.naukowiec.pl](http://www.naukowiec.pl)
- [13] *Metody biofizyki molekularnej / Ultrawirowanie analityczne* [online], [dostęp wrzesień 2018], dostępny w Internecie: <https://brain.fuw.edu.pl>
- [14] *Afereza* [online], Wikipedia [dostęp wrzesień 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [15] *Prawidłowy skład krwi człowieka* [online], Wikipedia [dostęp wrzesień 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [16] *Mieszanina jednorodna i niejednorodna* [online], [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.naukowiec.pl](http://www.naukowiec.pl)
- [17] *Wirowanie frakcjonujące* [online], Wikipedia [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [18] *Układ inercyjny* [online], Wikipedia [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [19] *Układ nieinercyjny* [online], Wikipedia [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [20] *Siła bezwładności* [online], Wikipedia [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)

- [21] *Prawo Pascala* [online], Wikipedia [dostęp listopad 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [22] *Liczba Knudsen* [online], Wikipedia [dostęp maj 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [23] *Stała sedymentacji Svedberga* [online], Wikipedia [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.pl.wikipedia.org](http://www.pl.wikipedia.org)
- [24] MOOG R., *Apheresis techniques for collection of peripheral blood progenitor cells*, *Transfusion and Apheresis Science*, vol. 31, issues 3, December 2004, p. 207-220.
- [25] *Sedimentation and the ESR Test. A simple and useful separation Technique* [online], [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.teachenengineering.org](http://www.teachenengineering.org)
- [26] STEC C.T., *What's in the Bag?* [online], [dostęp październik 2018], dostępny w Internecie: [www.apheresis.org](http://www.apheresis.org)

A. GÓRKA

### **Fractionation of biological micro-particles in the field of gravity and the field of centrifugal forces**

**Abstract.** The paper presents the basic relationships describing the state of boundary equilibrium of fractions isolated in the process of fractionation of binary biological mixtures formed on the warp of homogeneous base solution in the gravitation field and in the vortex reference system. The state of boundary equilibrium of fractions is described by equations of the mass equilibrium, gravity forces, centrifugal forces and buoyancy forces related to particular fractions and the whole mixture of microparticles. It describes the final stage of fractionation of the microparticles, in which the microparticles in the mixture no longer emigrate. In the analysis we used an example of fractional distribution created in the blood fractionation process and the examples of calculations presented in the article, which refer to this distribution.

The calculations showed that fractionation in the field of centrifugal force forms fractions with increased density of selected groups of cells of similar specific masses.

**Keywords:** fractionation of mixtures, sedimentation of mixtures, separation of blood components in the gravity field, separation of blood components in the field of centrifugal force, blood centrifugation, medical centrifuges, homogeneous biological mixtures, heterogeneous biological mixtures, centrifugal force field

**DOI:** 10.5604/01.3001.0013.1477