

2/7

O CZASIE PRZEBYWANIA CZĄSTEK OSADU W APARATACH DO OCZYSZCZANIA SOKÓW

J. DOBRZYCKI

Katedra Cukrownictwa i Technologii Środków Spożywczych
Politechniki Łódzkiej, Łódź

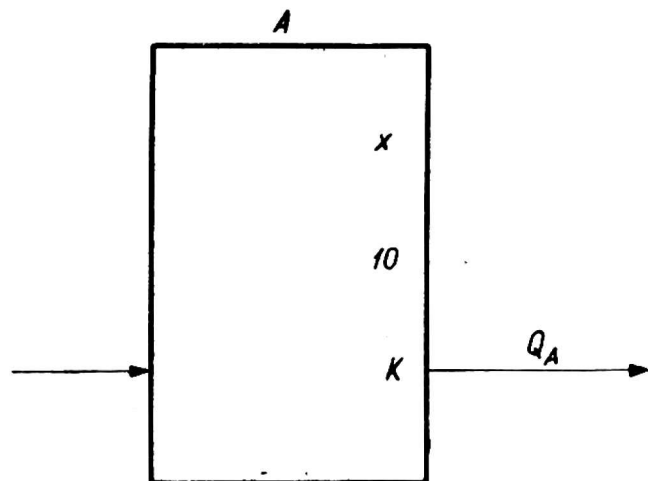
Kierownik Katedry: Prof. dr S. Zagrodzki

W nowoczesnym schemacie technologicznym stacja oczyszczania soków składa się z wielu zbiorników-reaktorów, przez które sok przepływa kolejno, a niekiedy również jest zawracany częściowo wstecz, ze zbiorników dalszych do poprzednich. Ponieważ wymiary cząstek osadu, który ma ulec filtracji, powinny być możliwie równe, aby cedzenie mogło przebiegać z jak największą szybkością, celowe jest zbadanie, jak kształtuje się czas przebywania cząstek osadu w wielonaczyniowym zestawie oczyszczania soków. Zagadnienie to można rozwiązać za pomocą analizy matematycznej.

Układ złożony z jednego zbiornika

Załóżmy, że przez zbiornik A przepływa stałym strumieniem klarowna ciecz, a reakcja w zbiorniku odbywa się przy silnym mieszaniu (rys. 73). Jeżeli w momencie $t = 0$ wprowadzimy do zbiornika pewną ilość cząstek zawiesiny x_0 , to dzięki intensywnej cyrkulacji nastąpi praktycznie natychmiastowe wyrównanie stężeń — w cieczy wypływającej stężenie

- A — zbiornik,
- x — ilość cząstek w zbiorniku,
- Q_A — ilość cząstek w cieczy odpływającej,
- k — współczynnik przepływu



Rys. 73. Układ jednonaczyniowy

cząstek zawiesiny będzie równe stężeniu wewnątrz zbiornika. Liczba cząstek wypływających z kotła w jednostce czasu będzie więc proporcjonalna do liczby cząstek pozostałych jeszcze w zbiorniku:

$$\frac{-dx}{dt} = kx \quad (1)$$

Całkując w granicach od 0 do t i od x_0 do x otrzymuje się:

$$\frac{x}{x_0} = e^{-kt} \quad (2)$$

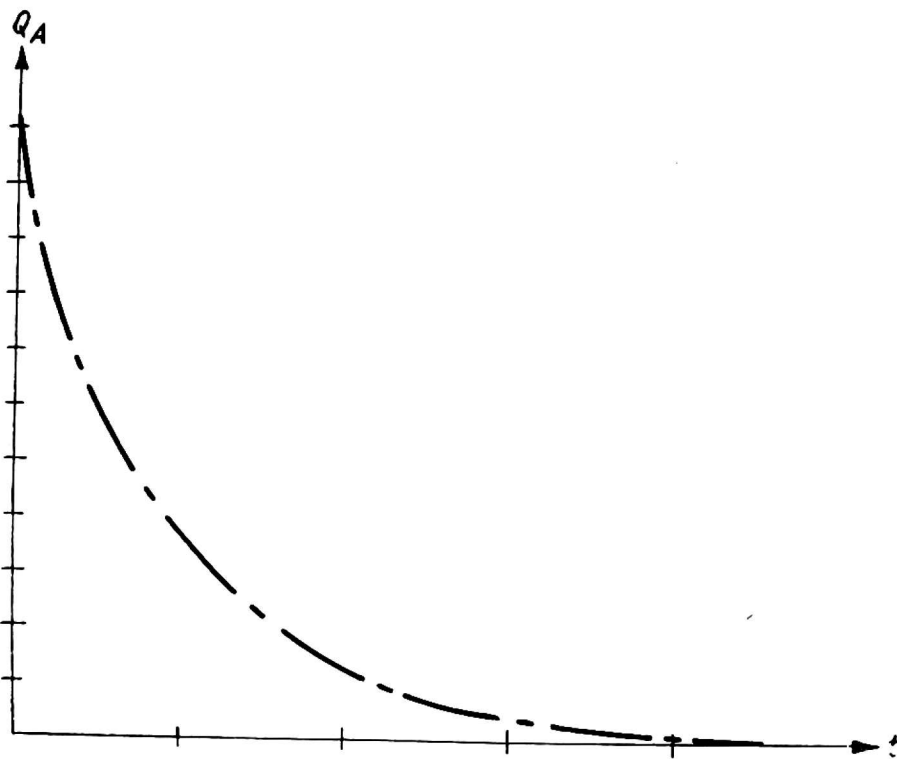
k — jest to stosunek natężenia przepływu cieczy (np. w m^3/min) do objętości zbiornika (np. w m^3), a zatem $1/k$ jest średnim czasem przebywania cieczy w zbiorniku.

Mnożąc liczbę cząstek znajdujących się w zbiorniku (x) przez współczynnik przepływu (k) otrzymuje się ilość cząstek (Q), która w jednostce czasu opuszcza układ:

$$Q_A = k \cdot x$$

$$Q_A = k \cdot x_0 e^{-kt} \quad (3)$$

Wykres — rys. 74 przedstawia przebieg funkcji Q przy założeniu $x_0 = 100$ oraz $k = 0,1 \text{ min}^{-1}$ (czyli średni czas przebiegania reakcji — 10 minut).



Rys. 74. Ilość cząstek zawiesiny opuszczających w jednostce czasu układ jednonaczyniowy

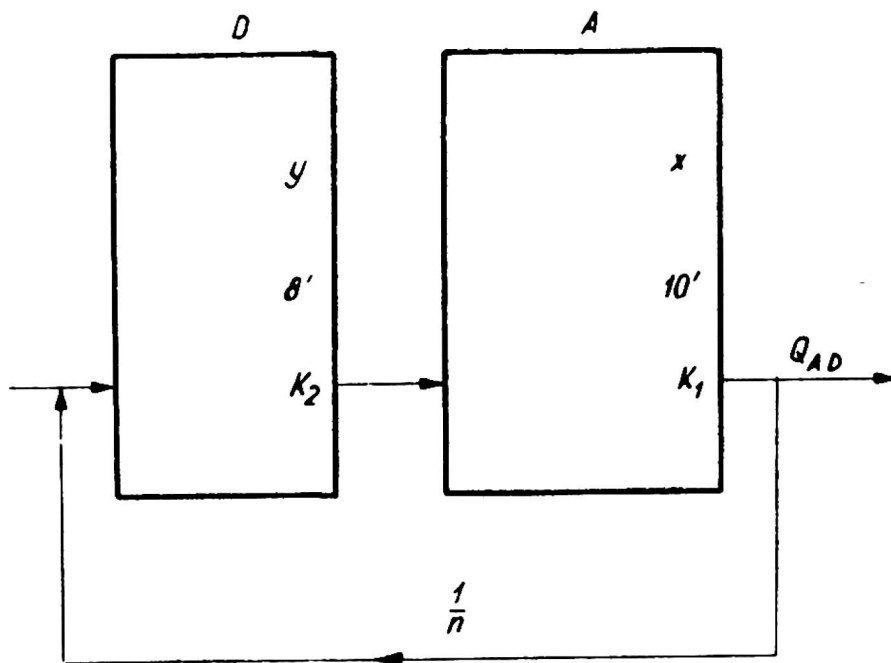
Całkując tę krzywą można wyliczyć ilość cząstek wypływających ze zbiornika-reaktora w różnym czasie od ich wprowadzenia do wnętrza:

w czasie od 0 do 4 min	33,00 %
od 4 do 20 min	53,47 %
od 20 do 50 min	12,86 %
ponad 50 min	0,67 %

Jeżeli z założeń technologicznych wynika, że np. optymalny czas przebiegania reakcji wynosi 10 minut, to widać, że znaczna liczba cząstek przebywa w kotle za długo lub za krótko.

Układ dwunaczyniowy z częściowym zawracaniem

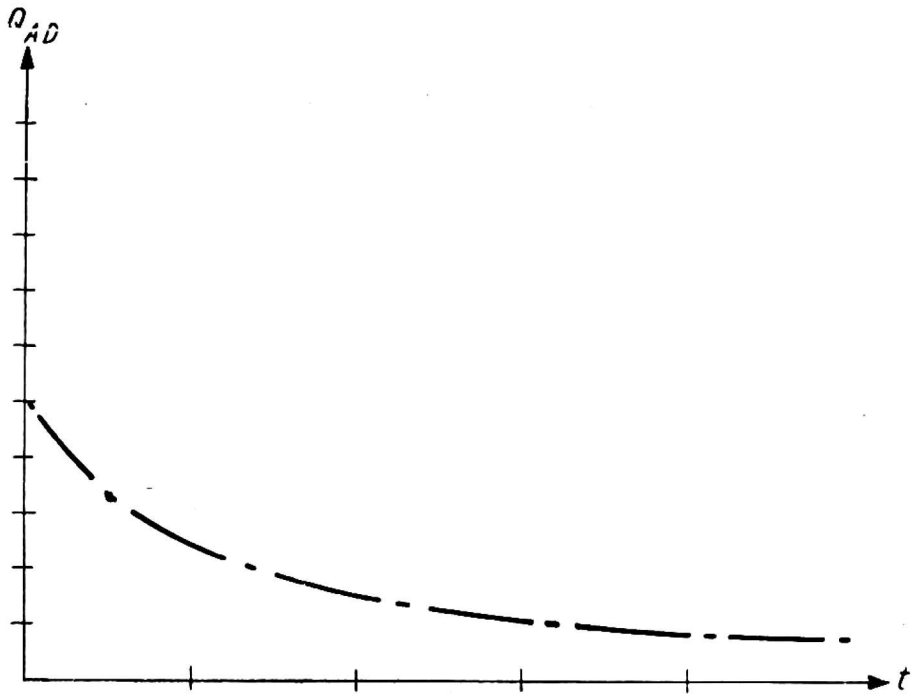
Układ składa się z zbiorników *A* i *D* (rys. 75), przez które ciecz przepływa kolejno, przy czym część strumienia wypływającego z *A* zawraca się do zbiornika *D* (odpowiada to np. saturacji jednokotłowej z zawraca-



Rys. 75. Układ dwunaczyniowy z częściowym zawracaniem

niem soku do defekacji wstępnej). Jeżeli pojemności zbiorników nie są równe, to współczynniki przepływu (k_1 i k_2) są różne. Ilość zawracanej cieczy stanowi jedną n -tą strumienia wypływającego z *A*. Aby wyprowadzić ogólną postać funkcji czasu przebywania cząstek w tym układzie, zestawiam następujące bilanse zbiorników:

Zbiornik <i>A</i> :	rozchód	$k_1 x \cdot dt$
	przychód	$k_2 y \cdot dt$



Rys. 76. Ilość cząstek opuszczających układ dwunaczyniowy

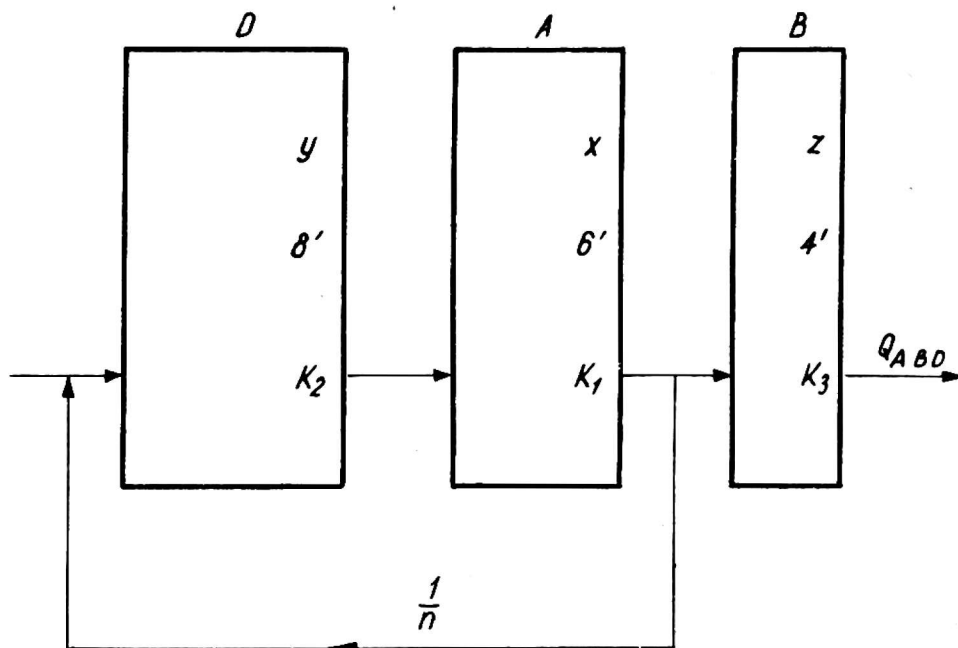
Potwierdza to szczegółowe obliczenie:

Ilość cząstek opuszczających układ w czasie:

	0—4 min.	4—20 min.	20—50 min.	ponad 50 min.
Układ A bez zawracania	33,00 %	53,47 %	12,86 %	0,67 %
Układ AD z zawracaniem	16,9 %	37,7 %	30,0 %	15,4 %

Układ z dołączonym trzecim zbiornikiem

W układzie tym (rys. 77) istotne jest stężenie cząstek w cieczy opuszczającej stację, które jest proporcjonalne do ilości cząstek z przebywających w danym momencie w zbiorniku B.



Rys. 77. Układ trójnaczyniowy

Aby obliczyć z bilansujemy przychody i rozchody poszczególnych zbiorników jak poprzednio, otrzymując równanie różniczkowe liniowe pierwszego rzędu:

$$z' + k_3 z = \frac{n-1}{n} k_1 x \quad (8)$$

gdzie x należy podstawić z równania (6).

Całka równania (8) ma postać:

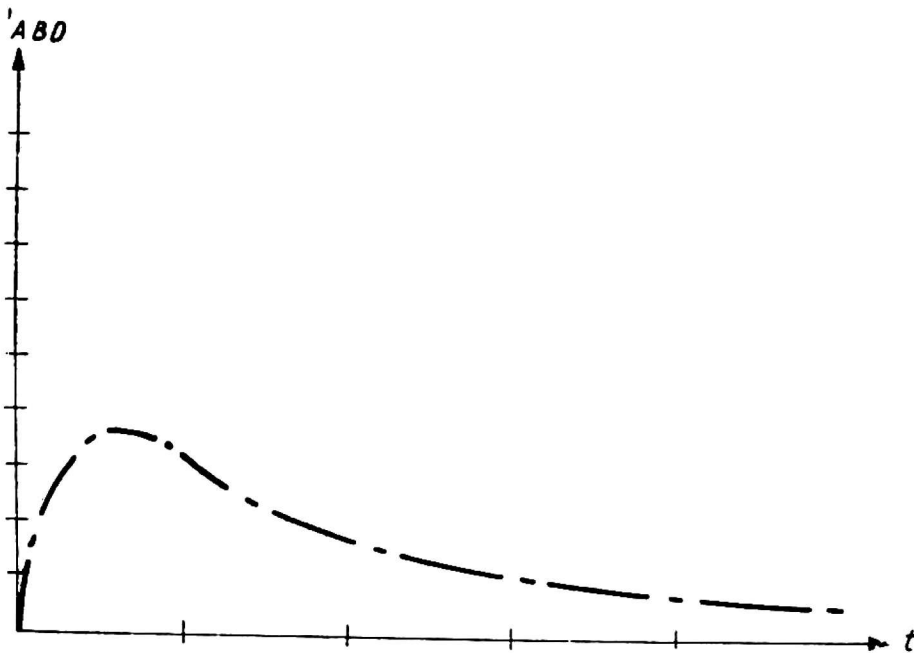
$$\frac{z}{x_0} = C_3 e^{r_1 t} + C_4 e^{r_2 t} + C_5 e^{r_3 t}$$

gdzie C_3 , C_4 i C_5 są to stałe zależne od k_1 , k_2 , k_3 i n

Ilość cząstek opuszczających układ w jednostce czasu wynosi:

$$Q_{ABD} = k_3 z \quad (9)$$

Funkcja Q_{ABD} przedstawiona za pomocą wzoru (9) różni się zasadniczo od funkcji Q_{AD} , ponieważ w momencie $t=0$ również $z=0$, a krzywa wykazuje maksimum (rys. 78).



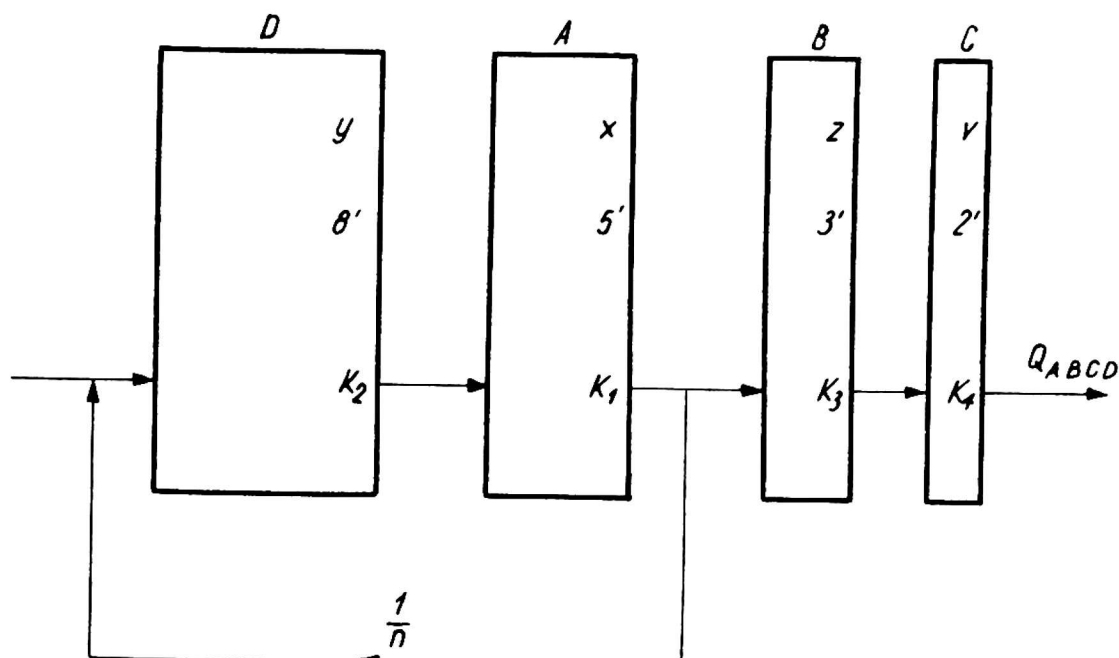
Rys. 78. Ilość cząstek opuszczających układ trójnaczyńowy

Układ wielonaczyńowy

Dołączenie dalszego zbiornika C (rys. 79) zasadniczo nie zmienia kształtu krzywej obrazującej czas przebywania cząstek w układzie, jedynie maksimum jest ostrzej zarysowane, a rozrzut czasu mniejszy.

Aby uwydatnić znaczenie dołączenia dodatkowych dwóch zbiorników

do zbiornika A, sporządzono tabelę (tab. 33). Przyjęto przy tym jako średni czas przebywania cieczy w zbiorniku D (np. w kotle defekacyjnym) 8 minut, a czas reakcji w zbiornikach (kotłach saturacyjnych) A — 5 minut, B — 3 minuty, C — 2 minuty.



Rys. 79. Układ czteronaczyniowy

Tabeli 33 odpowiada wykres rys. 80, na którym linią cienką zaznaczono liczbę cząstek w układzie A (saturacja jednokotłowa), linią przerywaną w układzie A+D (saturacja jednokotłowa z zawracaniem soku) oraz linią grubą w układzie A+B+C+D (saturacja trójkotłowa z zawracaniem soku z pierwszego kotła).

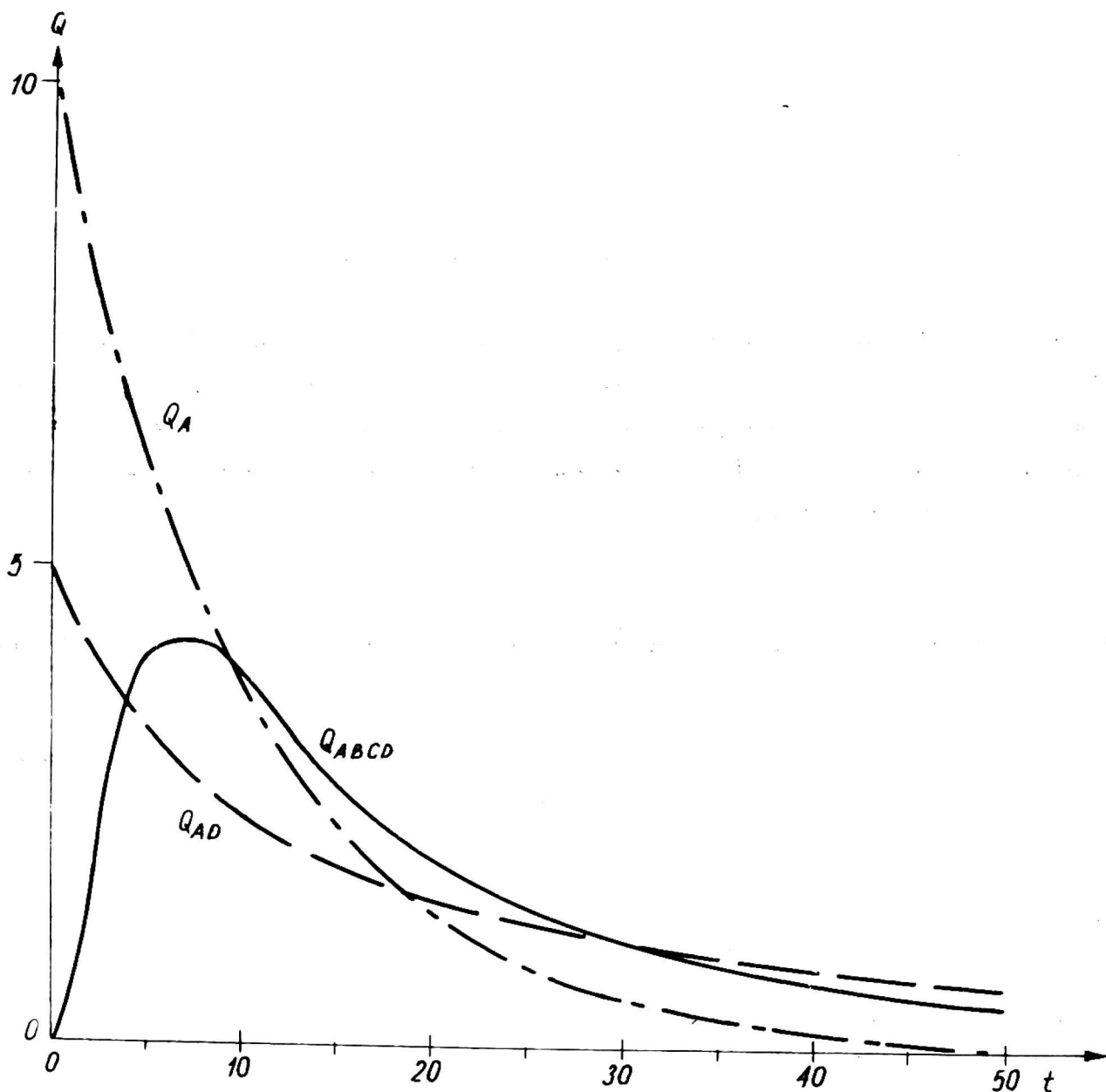
Tabela 33

Ilość cząstek zawiesiny opuszczających system saturacji zależnie od sposobu pracy

	Ilość cząstek opuszczających układ w czasie			
	0—4 min.	4—20 min.	20—50 min.	ponad 50 min.
A				
Saturacja jednokotłowa bez zawracania	33,0%	53,5%	12,8%	0,7%
A+D				
Saturacja jednokotłowa z zawracaniem soku	16,9%	37,7%	30,0%	15,4%
A+B+C+D				
Saturacja frakcjonowana trójstopniowa z zawracaniem soku	6,8%	70,7%	14,4%	8,1%

Jak widać z tabeli i wykresu, zawracanie soku saturacyjnego do defekacji powoduje, iż czas przebywania poszczególnych cząstek w układzie jest niejednakowy i obserwuje się znaczny jego rozrzut. Dzięki zastosowaniu saturacji wielokotłowej (frakcjonowanej) można wydatnie zmniejszyć rozrzut czasu i zbliżyć czas przebywania poszczególnych cząstek do pożądanego optimum technologicznego. Szczególnie ważne jest wyraźne zmniejszenie frakcji cząstek przebywających w układzie bardzo krótko, ponieważ frakcja ta zawiera kryształy węglanu wapniowego drobne, mało wyrosnięte i utrudniające filtrację.

Zastosowanie saturacji (lub defekosaturacji) frakcjonowanej może mieć duże znaczenie wtedy, gdy konieczne jest uzyskanie osadów saturacyjnych o dobrej zdolności filtracyjnej.



Rys. 80. Ilość cząstek zawiesiny opuszczających w jednostce czasu układ:
 Q_A — w układzie jednonaczyniowym, Q_{AD} — w układzie dwunaczyniowym,
 Q_{ABCD} — w układzie czteronaczyniowym (saturacja trójstopniowa z zawracaniem)