

Instytut Chemii UMCS
Zakład Chemii Nieorganicznej i Ogólnej
Kierownik: prof. dr Włodzimierz Hubicki

Lucjan PAWŁOWSKI

Zagadnienie regulacji szybkości przepływu jonitu przy prowadzeniu badań nad rozdziałem jonów metodą ciągłej chromatografii jonowymiennej

Регулирование скорости потока ионов в процессе исследований над разделением ионов методом непрерывной ионообменной хроматографии

The Problem of Regulating the Speed of the Ion Exchanger Flow when Carrying out Examinations on the Separation of Ions by Continuous Ion Exchange Chromatography

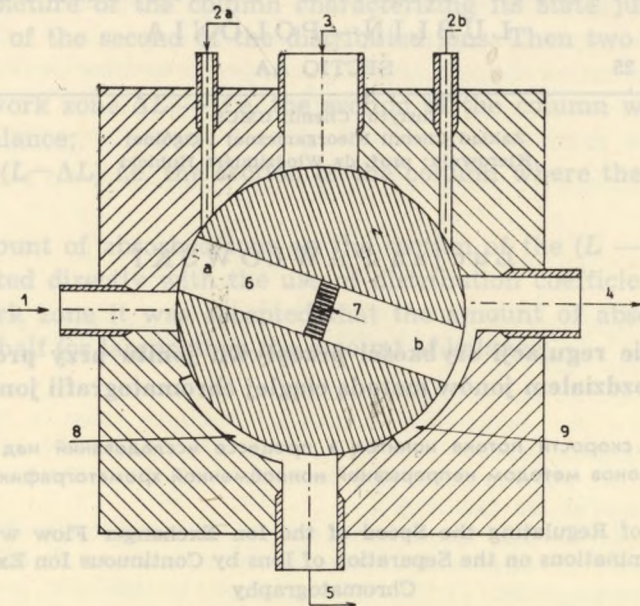
Przy użytkowaniu instalacji do przeprowadzania wymiany jonowej metodą ciągłą [1] jedną z ważniejszych operacji jest przepompowywanie jonitu z dołu jednej kolumny na wierzchołek drugiej. Od właściwego wyboru urządzenia dozującego w dużej mierze zależy zużycie jonitu.

Przy projektowaniu instalacji doświadczalnych należy uwzględnić również i to, że jednym z badanych parametrów jest natężenie przepływu jonitu. To zaś wymaga, aby szybkość podawania jonitu dała się łatwo zmieniać w możliwie szerokim zakresie. Powyższe założenia stanowią punkt wyjścia przy poszukiwaniu nowych rozwiązań.

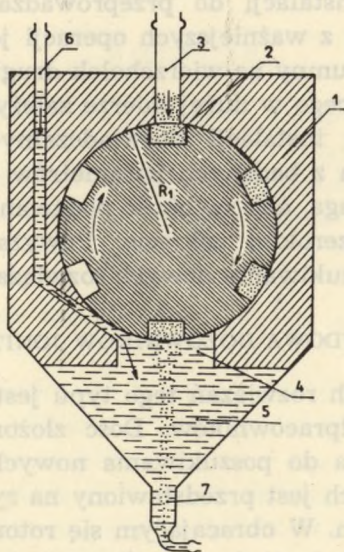
BUDOWA DOZOWNIKÓW JONITU

Jednym z pierwszych rozwiązań tego typu jest dozownik opracowany przez Hiestera i współpracowników. Dość złożona budowa dozownika Hiestera skłoniła autora do poszukiwania nowych rozwiązań dozowania jonitu [3]. Jednym z nich jest przedstawiony na ryc. 2 dozownik z pionowo ustawionym rotorem. W obracającym się rotorze 1 wydrążono szereg czerpaków 2, do których jonit doprowadzony jest z kolumny przez tuleję 3. Z chwilą gdy napełniony jonitem czerpak znajdzie się nad wycięciem 4, jonit wypada z tego czerpaka do zbiorniczka 5, skąd strumień wody wprowadzonej przewodem 6 wynosi go na zewnątrz przez wylot 7.

Inną wersję dozownika ilustruje ryc. 3. Zasadniczą rolę odgrywa tu obracająca się tarcza 1 (jej wygląd ilustruje ryc. 3b) z wyciętymi czerpa-

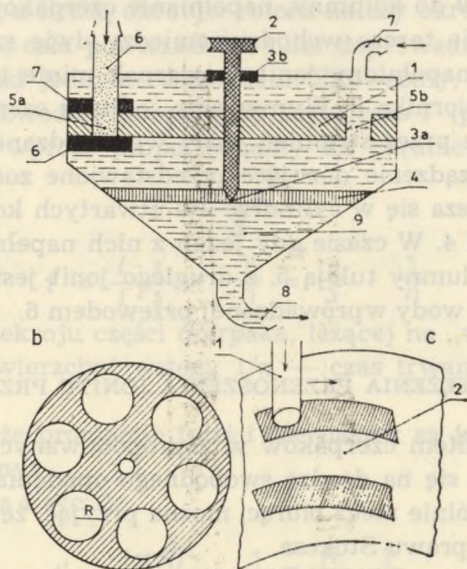


Ryc. 1. Schemat dozownika Hiestera [2]

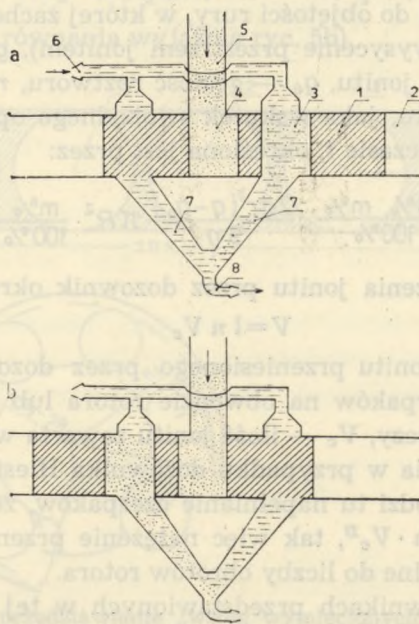


Ryc. 2. Schemat dozownika z pionowo ustawionym rotorem

kami. Tarcza ta jest obracana przy pomocy koła napędowego 2. Napełnianie czerpaków odbywa się w czasie, gdy te podchodzą kolejno pod tuleję doprowadzającą jonit z kolumny. Aby nie dopuścić do przedostawania się



Ryc. 3. Schemat dozownika z poziomo ustawioną tarczą: a — przekrój, b — tarcza — widok z góry, c — wycinek obudowy z płytkami szlifowanymi, pomiędzy które wchodzi tarcza (1 — tuleja doprowadzająca jonitu z kolumny, 2 — przestrzeń gdzie wchodzi tarcza)



Ryc. 4. Schemat dozownika tłokowego

wody ze zbiornika 9 do kolumny, napełnianie czerpaków jonitem odbywa się w miejscu, gdzie tarcza wchodzi pomiędzy dwie szlifowane płytki 6 i 7. Z chwilą gdy napełniony jonitem czerpak minie te płytki, jonit zaczyna opadać do zbiornika 9. Wymywanie jonitu z czerpaków jest dodatkowo przyspieszone przez strumień wody wprowadzanej przewodem 7.

Jeszcze inne urządzenie dozujące przedstawione zostało na ryc. 4. W tłoku 1, który porusza się w cylindrze 2 o otwartych końcach, wydrążone są dwa czerpaki 3 i 4. W czasie gdy jeden z nich napełnia się jonitem doprowadzanym z kolumny tuleją 5, z drugiego jonit jest wymywany przy pomocy strumienia wody wprowadzanej przewodem 6.

OBLICZANIE NATĘŻENIA PRZENOSZENIA JONITU PRZEZ DOZOWNIKI

Napełnianie jonitem czerpaków w zaproponowanych w tej pracy dozownikach odbywa się na drodze swobodnego opadania jego ziaren z tulei do czerpaka. Ogólnie rzecz biorąc, można przyjąć, że opadanie ich podporządkowane jest prawu Stokesa.

W takiej sytuacji szybkość opadania pojedynczego ziarna jonitu jest określona przez równanie [4]:

$$F_s = \frac{100\% - m\%}{100\%} \cdot \frac{2gr^2(q - q_0)}{9\eta} \quad (1)$$

gdzie: F_s — szybkość opadania ziarna jonitu, $m\%$ — objętościowa zawartość jonitu w stosunku do objętości rury, w której zachodzi swobodne opadanie ziaren jonitu (wysycenie przestrzeni jonitem), g — przyspieszenie ziemskie, q — gęstość jonitu, q_0 — gęstość roztworu, r — promień ziarna jonitu. Stąd ilość jonitu, jaka wskutek swobodnego opadania wypłynie z rury o promieniu R w czasie t , określona jest przez:

$$V = \frac{100\% - m\%}{100\%} \cdot \frac{2gr^2(q - q_0)}{9\eta} \pi R^2 \cdot \frac{m\%}{100\%} \cdot t \quad (2)$$

Natężenie przenoszenia jonitu przez dozownik określa równanie:

$$V = l n V_c \quad (3)$$

gdzie: V — objętość jonitu przeniesionego przez dozownik w jednostce czasu, l — liczba czerpaków na obwodzie rotora lub tarczy, n — liczba obrotów rotora lub tarczy, V_c — ilość jonitu zawarta w jednym czerpaku.

Obliczenia natężenia w przypadku dozownika Hiester'a jest trywialne, gdyż tak szybko zachodzi tu napełnianie czerpaków, że praktycznie można przyjąć, iż $V = 2 \cdot n \cdot V_c^B$, tak więc natężenie przenoszenia jonitu jest tu wprost proporcjonalne do liczby obrotów rotora.

Natomiast w dozownikach przedstawionych w tej pracy sprawa jest nieco bardziej złożona. W celu znalezienia związku pomiędzy natężeniem

przenoszenia jonitu, a liczbą obrotów rotora należy określić czas t , w którym, biorąc średnio, cała powierzchnia tulei doprowadzającej jonit z kolumny przebywa nad jednym czerpakiem. Zauważmy, że tuleja ta „wymięta” wstęgę na obwodzie rotora, przy czym czas t' (przy jednostajnym ruchu rotora) jest wprost proporcjonalny do parametru p zdefiniowanego przez relację:

$$p = \frac{l \cdot s}{S}$$

stąd:

$$t' = \frac{l \cdot s}{l \cdot s} \cdot \frac{1}{n} = \frac{s}{S} \cdot \frac{1}{n} \quad (4)$$

gdzie: s — pole przekroju części czerpaka, leżącej na „wymiecionej wstędze”, S — pole powierzchni wstęgi, $1/n$ — czas trwania jednego obrotu rotora.

Przy założeniu, że promienie tulei i czerpaków są jednakowe i równe R (ryc. 5), otrzymamy:

a) dla dozownika z ryc. 2:

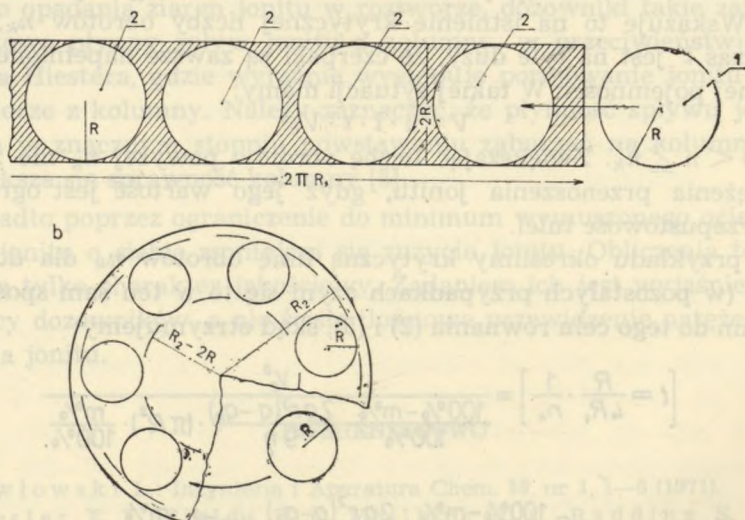
$$t' = \frac{(\pi R^2)}{(2\pi R)(2R)} \cdot \frac{1}{n} = \frac{R}{4R_1} \cdot \frac{1}{n} \quad (5)$$

gdzie: R_1 — promień rotora;

b) dla dozownika z ryc. 3:

$$t' = \frac{\pi R^2}{\pi R_2^2 - \pi (R_2 - 2R)^2} \cdot \frac{1}{n} = \frac{R}{4(R_2 - R)} \cdot \frac{1}{n} \quad (6)$$

(zmienne ostatniego równania wyjaśnia ryc. 5b).



Ryc. 5. Schematyczne przedstawienie „wstęg wymiecionych” przez tuleję doprowadzającą jonit z kolumny: a — na obwodzie rotora, b — na obwodzie tarczy

Z uwagi na to, że tłok w dozowniku z ryc. 4 porusza się ruchem niejednostajnym, obliczenie czasu t' jest tak bardzo złożone, że ztraca praktyczną użyteczność.

W oparciu o równania (2), (5) i (6) możemy określić natężenie przepływu jonitu jako funkcję liczby obrotów:

a) dla dozownika z ryc. 2:

$$V_2 = n \left[\frac{100\% - m\%}{100\%} \cdot \frac{2gr^2(q-q_0)}{9\eta} (\pi R^2) \frac{m\%}{100\%} \cdot \frac{R}{4R_1} \cdot \frac{1}{n} \cdot t \right] \quad (7)$$

(wyrażenie w nawiasie kwadratowym określa ilość jonitu przeniesionego podczas jednego obrotu rotora).

b) dla dozownika z ryc. 3:

$$V_3 = n \left[\frac{100\% - m\%}{100\%} \cdot \frac{2gr^2(q-q_0)}{9\eta} (\pi R^2) \frac{m\%}{100\%} \cdot \frac{R}{4(R_2 - R)} \cdot \frac{1}{n} \cdot l \right] \quad (8)$$

(wyrażenie w nawiasie kwadratowym określa ilość jonitu przeniesionego podczas jednego obrotu tarczy).

Równania (7) i (8) pokazują, że przy zapewnieniu swobodnego opadania jonitu, natężenie pompowania nie zależy od szybkości obrotów rotora (lub tarczy). Jednak przy zbyt niskiej liczbie obrotów może wystąpić tzw. dławienie swobodnego opadania ziaren jonitu, po prostu w czasie „przebywania” tulei doprowadzającej jonit z kolumny nad czerpakiem, czerpak zostaje napełniony i pomimo że przez tuleję jonit mógłby jeszcze przepływać do czerpaka, ten już nie może go pomieścić. W takiej sytuacji przez pewien czas następuje zahamowanie swobodnego opadania ziaren jonitu. Wskazuje to na istnienie krytycznej liczby obrotów n_k , poniżej której czas t' jest na tyle duży, że czerpaki są zawsze napełnione do maksymalnej pojemności. W takiej sytuacji mamy:

$$V = n \cdot l \cdot t \cdot V_c^0, \quad (9)$$

gdzie: $0 < n \leq n_k$. Zwiększając liczbę obrotów powyżej n_k nie zwiększy się natężenia przenoszenia jonitu, gdyż jego wartość jest ograniczona przez przepustowość tulei.

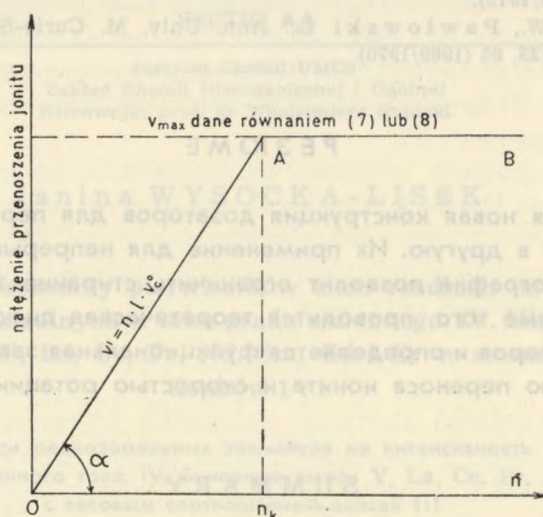
Dla przykładu określimy krytyczną linię obrotów n_k dla dozownika z ryc. 2 (w pozostałych przypadkach czyni się to w ten sam sposób). Posłużą nam do tego celu równania (2) i (5), skąd otrzymujemy:

$$\left[t = \frac{R}{4R_1} \cdot \frac{1}{n_k} \right] = \frac{V_c^0}{\frac{100\% - m\%}{100\%} \cdot \frac{2gr^2(q-q_0)}{9\eta} \cdot (\pi R^2) \cdot \frac{m\%}{100\%}} \quad (10)$$

stąd:

$$n_k = \frac{R \cdot \frac{100\% - m\%}{100\%} \cdot \frac{2gr^2(q-q_0)}{9\eta} \cdot (\pi R^2) \cdot \frac{m\%}{100\%}}{4R_1 \cdot V_c^0} \quad (11)$$

Graficzna ilustracja równania (10) pokazana została na ryc. 6.



Ryc. 6. Wykres obrazujący zależności pomiędzy natężeniem przenoszenia jonitu przez dozownik (oś pionowa), a liczbą obrotów rotora lub tarczy (oś pozioma)

PODSUMOWANIE

W pracy zaproponowano nowe konstrukcje dozowników do jonitu dla ciągłych metod wymiany jonowej. Z uwagi na to, że w przedstawionych rozwiązaniach napełnianie jonitem czerpaków odbywa się na drodze swobodnego opadania ziaren jonitu w roztworze, dozowniki takie zapewniają stosunkowo płynny spływ jonitu z kolumny, w przeciwieństwie do dozownika Hiestera, gdzie wyraźnie występuje porcjowanie jonitu przy jego odbiorze z kolumny. Należy zaznaczyć, że płynność spływu jonitu zapobiega w znacznym stopniu powstawaniu zaburzeń na kolumnie, przez co zwiększa się sprawność kolumny [5].

Ponadto poprzez ograniczenie do minimum wymuszonego ocierania się ziaren jonitu o siebie zmniejsza się zużycie jonitu. Obliczenia teoretyczne mają tylko charakter jakościowy. Zadaniem ich jest wyjaśnienie zasady pracy dozowników, a nie ściśle ilościowe przewidzenie natężenia przenoszenia jonitu.

PIŚMIENNICTWO

1. Pawłowski L.: Inżynieria i Aparatura Chem. **10**, nr 1, 1—6 (1971).
2. Hiester E. F., Fields E. F., Phillips R. C., Radding S. B.: Chem. Eng. Symposium Progress **50**, nr 3, 139 (1954).
3. Pawłowski L.: I. Ion Exchange and Membr. **1**, 113—114 (1972).

4. Pawłowski L.: Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA, 26/27, 203—211 (1971/1972).
5. Hubicki W., Pawłowski L.: Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA, 24/25, 65 (1969/1970).

РЕЗЮМЕ

Описывается новая конструкция дозаторов для переноса ионита из одной колонки в другую. Их применение для непрерывной противоточной хроматографии позволит ограничить стирание зерен ионита до минимума. Кроме того, проводится теоретическая дискуссия над работой таких дозаторов и определяется функциональная зависимость между напряженностью переноса ионита и скоростью ротации ротора (щита).

SUMMARY

A new construction of feeder for the transmission of ion exchanger from one column to another was presented in the paper. Their application to a continuous counter-current of ion exchange chromatography allows to reduce the wearing away of ion exchanger grains to the minimum. Moreover, a theoretical discussion of the work of such feeder was conducted and the functional dependence between the ion exchange transfer intensity and the rotation speed (disc) was determined.