

1/5

ROZWAŻANIA NA TEMAT TEORII PROCESU EKSTRAKCJI
W CUKROWNICTWIE

F. SCHNEIDER, E. REINEFELD, D. SCHLIEPHAKE

Zakład Technologii Rolnej i Cukrownictwa Politechniki w Brunszwiku (Niemcy)

W gronie fachowców cukrowników zbędne jest chyba twierdzenie, że matematyczna analiza procesu ekstrakcji pożyteczna jest zarówno z punktu widzenia praktycznego, technologicznego, jak i teoretycznego.

Literatura na temat teorii ekstrakcji cukru z buraka stała się w ostatnich latach tak obszerna, że trudno dziś pokusić się o kompletne jej przedstawienie. Badano z jednej strony podstawowy proces fizyczny, którym jest ługowanie cukru z krajanki [1—5], a z drugiej strony również wpływ techniki procesu ekstrakcji, np. wysładzania stopniowego lub ciągłego [6, 7]. Szereg autorów próbował także ująć we wzory matematyczne odchylenia rzeczywistego procesu technicznego od idealnego jego przebiegu, spowodowane np. mieszaniem wstecznym, zawracaniem wody wyzymaczkowej [7, 8].

Oprócz tych zagadnień wyłonił się problem oceny sprawności aparatury na podstawie jednego kryterium liczbowego — wskaźnika pozwalającego obiektywnie ocenić pracę różnych konstrukcji [9—12]. Najbardziej znaną próbą tego typu jest zastosowanie przez Silina stałej A .

W tabeli 2 zestawiono najważniejsze czynniki, które należy uwzględnić przy rachunkowym ujęciu technicznego procesu ekstrakcji.

Istotnym warunkiem przeprowadzenia analizy teoretycznej jest znajomość podstawowego procesu fizycznego, polegającego na przechodzeniu cukru z fazy stałej do soku.

Większość autorów posługuje się równaniem:

$$\frac{-dc_s}{dt} = K(c_s - c) \quad (1)$$

- c_s — średnie stężenie cukru ciekłej fazy krajanki,
- c — średnie stężenie cukru w otaczającym soku,
- K — współczynnik szybkości ekstrakcji,
- t — czas.

Zasadnicza słuszność tego prawa nie podlega chyba wątpliwości. Współczynnik szybkości ekstrakcji K zawiera w sobie wszystkie zmienne nie-

Tabela 2

Czynniki wpływające na techniczną ekstrakcję

Podstawowy proces fizyczny

$$\frac{-dc_s}{dt} = K(c_s - c_e)$$

Zależność K od wymiarów krajanki, względnej prędkości, pozornych współczynników dyfuzji itp.

Charakterystyka technologiczna procesu

1. Przepływ ciągły
2. Przepływ przerywany (dzielony na etapy)
 - a) przepływ w poszczególnych etapach
 - b) przepływ w poszczególnych etapach
 - c) przepływ skrzyżowany w poszczególnych etapach

Czynniki uboczne: mieszanie wsteczne

1. Prędkość względna
2. Dyfuzja porożowa w fazie ciekłej
3. Mieszanie wsteczne w fazie wstecznej
4. Mieszanie w fazie stałej
5. Martwe przestrzenie

Czynniki uboczne: procesy równoległe lub wstępne

1. Zaparżanie
 - a) za pomocą pary
 - b) za pomocą soku, w mieszaniu lub w przepływie
2. Przejściowe oddzielanie krajanki od soku

Czynniki uboczne: zmiany krzywej wysładzania

1. Zawracanie wód
 - a) dozowanie wód osobno
 - b) dozowanie wód w mieszaniu
2. Wyżymanie krajanki zachodzące w aparacie

zależne od stężenia, jak np. wymiary krajanki, jej powierzchnię, współczynnik dyfuzji cukru w tkance buraka, temperaturę, a w przypadku procesu technicznego również wpływ aparatury. Przy stosowaniu tego równania w praktyce pozostaje jeszcze problem przedstawienia stałej K jako funkcji „warsztatowych” danych krajanki. W tabeli 3 przedstawiono założenia niektórych autorów.

Według założenia van Ginnekena należy znać powierzchnię właściwą krajanki, natomiast pozostałe wielkości, w tym również droga dyfuzji w krajance, zebrane są w nową stałą k . Silin w elegancki sposób podał długość 100 g krajanki zamiast stosunku powierzchni właściwej (Ω) do

Tabela 3

Interpretacja stałej szybkości ekstrakcji K

P. J. H. van Ginneken [1]

$$K = \frac{k \cdot O}{v}$$

P. M. Silin [6]

$$K = A \cdot \vartheta \cdot \Delta$$

G. Oplatka [7]

$$K = k' \frac{12 D}{\delta^2}$$

A. Smet [14]

$$K = A' \cdot \vartheta \cdot \Delta$$

H. Brüniche-Olsen [8]

$$K = f k_1$$

$$f = \frac{k_0/k_1}{1 - \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{k_0}{k_1}} \cotg \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{k_0}{k_1}} \right)}$$

$$\geq 1$$

 v — objętość soku w krajance O — powierzchnia krajanki k — stała (zawierająca D) A — stała Silina ϑ — funkcja temperatury (zawierająca D jako funkcję temperatury) Δ — długość 100 g krajanki w metrach D — współczynnik dyfuzji sacharozy δ — długość drogi dyfuzji w krajance k' — stała

p. Silin

 k_0 — stała szybkości względnego spadku stężenia w soku k_1 — stała szybkości względnego spadku stężenia w krajance

drogi dyfuzji (r). To samo założenie przyjął Smet. Również wzór Oplatki można stosować w praktyce, tylko podstawiając długość 100 g jak u Silina. Warunkiem jest, aby krajanka miała stałą średnią grubość i aby rozmiary powierzchni czołowych krajanki można było pominąć przy porównaniu z powierzchniami bocznymi. Zastąpienie powierzchni właściwej Ω przez łatwiejszą do zmierzenia wielkość Δ kwestionowano często jako niedokładne i sądzono, że może być ono przyczyną rozbieżności między obliczeniami i pomiarami. Jak jednak wykazaliśmy w drugiej naszej pracy, zależność:

$$\Omega = a \sqrt{\Delta}, \quad (2)$$

którą postulował Silin, jest dobrze spełniana w granicach spodziewanych błędów.

Powierzchnię krajanki przy sprawdzaniu funkcji (2) oznaczano przez adsorpcję barwnika [13]. W granicach wymaganej dokładności wolno więc w równaniu wysładzania posługiwać się długością 100 g krajanki.

Przyczyną trudności w zastosowaniu równania (1) jest więc nie tyle wprowadzenie Δ , ile raczej inne czynniki, np. sposób podawania stężeń. Obliczanie stężenia cukru w odniesieniu do ciekłej fazy w krajance jest skądinąd słuszne, nie wystarczy jednak całkowicie, ponieważ w czasie ekstrakcji zmienia się zawartość soku w krajance. Uwzględnienie tego

źródła błędów jest tym istotniejsze, że właśnie w nowoczesnych aparatach dyfuzyjnych zachodzi pewne wyżymanie krajanki, które mechanicznie zmniejsza zawartość ciekłej fazy w krajance. Jeżeli stężenia oblicza się w stosunku do ciekłej fazy w świeżej krajance, to popełnia się błąd, który nie jest stały w różnych miejscach aparatu i otrzymane wyniki są tylko przybliżone. Mimo to w formalnym rachunku przyjmujemy początkowo ten kompromis, jak to zresztą czyni większość autorów.

Drugim błędem, bardzo istotnym, gdy chodzi o praktyczne wykorzystanie obliczeń, jest przyjęte przez prawie wszystkich autorów założenie, że proces dyfuzji cukru wewnątrz krajanki można ująć średnim współczynnikiem dyfuzji D , niezależnym od wymiarów krajanki.

W literaturze znajduje się szereg danych o współczynniku dyfuzji sacharozy w przeponach z buraka, wyciąg tych pomiarów zawiera tabela 4. Różnice między danymi różnych autorów są znaczne. Chociaż warunki doświadczalne są trudne i łatwo mogą powodować błędy, przyczyną tak dużych rozbieżności są przeważnie różnice w użytym materiale buraczanym.

Tabela 4

Współczynniki („stałe”) szybkości dyfuzji sacharozy
zmierzone w tkance buraczanej

Współczynnik szybkości dyfuzji w wodzie $\times 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{min}}$	Temperatura °C	Współczynnik szybkości ekstrakcji w tkance $\times 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{min}}$	Autor
1,60	75	0,8—1,14	Brüniche-Olsen [8]
—	65/75	0,514	Pliska [15]
—	75	0,55—0,66	M. Tegze [16]
—	63	1,235	W. M. Łysiański [17]
—	—	0,4—0,8	Dronow [18]

Na łamach „Sugar” toczyła się w 1952 r. dyskusja między Brüniche-Olsenem i Oplatką [19—21] na temat możliwości stosowania prawa Ficka do procesu dyfuzji. Jesteśmy przekonani, że nie można kwestionować słuszności tego prawa sformułowanego w postaci wzoru (1) w zastosowaniu do ekstrakcji. Współczynniki dyfuzji są jednak zależne od wymiarów krajanki. Przy małych rozmiarach krajanki nie można więc posługiwać się tymi samymi współczynnikami dyfuzji, co przy dużych kawałkach buraka.

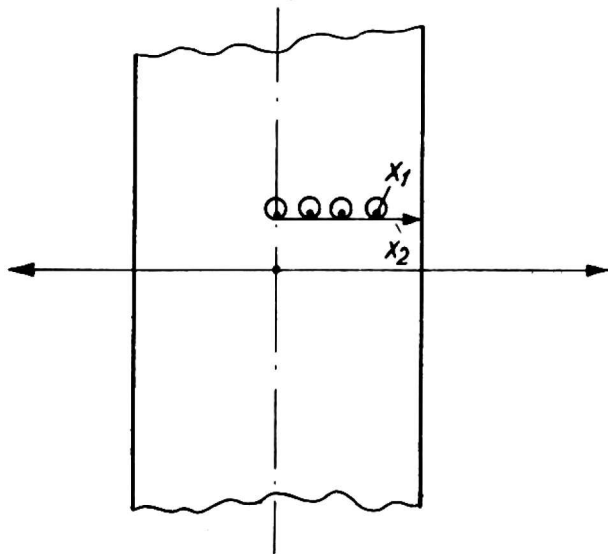
Da się to uzasadnić w następujący sposób (por. rys. 12). Po zdenaturowaniu tkanki buraczanej można wyróżnić dwa rodzaje ugrupowań przestrzennych, z których jeden ma w stosunku do swej objętości duży przekrój dyfuzji, a drugi dysponuje tylko małą powierzchnią dyfuzji

w stosunku do swej objętości. Do pierwszej grupy zaliczymy przestrzenie międzykomórkowe i wiązki naczyniowe, do drugiej grupy — parenchymę.

W parenchymie dyfuzja jest bardzo hamowana, ponieważ swobodne przenikanie cukru może odbywać się tylko na niewielkiej części powierzchni komórek. W drugim rodzaju tkanki dyfuzja jest hamowana znacznie mniej. Struktura buraka jest więc zdecydowanie niejednorodna. Ugrupowania o silnie hamowanej dyfuzji (parenchyma), tj. praktycznie

$$W = \rho_1 \cdot x_1 + \rho_2 \cdot x_2$$

W zwykłej krajance $\rho_1 \cdot x_1$ jest tego samego rzędu co $\rho_2 \cdot x_2$ (gdy $x \leq 1,5$ do 2 mm); w dużym kawałku buraka, gdy $x > 10$ mm, $\rho_1 \cdot x_1$ jest znacznie mniejsze od $\rho_2 \cdot x_2$



Rys. 12. Schemat drogi dyfuzji w tkance buraka

poszczególne komórki, nie są duże, a ich rozmieszczenie jest dość równomierne. Otacza je — niby sieć dróg — tkanka drugiego rodzaju.

Wskutek tego opór dyfuzji, który musi pokonać cząsteczka cukru, składa się z dwóch oporów składowych:

- 1) dużego oporu właściwego na bardzo krótkiej przestrzeni — przy wyjściu z poszczególnych komórek oraz
- 2) mniejszego oporu właściwego na dłuższej przestrzeni — która jest proporcjonalna do wymiarów krajanki — mianowicie w przestrzeniach międzykomórkowych i w wiązkach naczyniowych.

Jeżeli wycinek buraka jest duży, to o łącznym oporze decyduje transport przez przestrzenie międzykomórkowe i wiązki naczyniowe (rys. 13). Dyfuzja przebiega pozornie jednorodnie, tzn. szybkość dyfuzji jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości. Jeżeli maleje główna droga dyfuzji, wzrasta udział drugiej grupy tkanek. Dlatego współczynniki dyfuzji zmierzone w bardzo cienkiej krajance wypadają mniejsze. Zjawiska tego nie można wykazać pomiarami przenikalności przepon wyciętych z buraka. Zmniejszanie się współczynników dyfuzji przy malejącej drodze dyfuzji (rys. 13) wykazał wyraźnie Brüniche-Olsen [8]. Niestety wpływ niejednorodności zaczyna się objawiać już przy wymiarach odpowiadających wymiarom zwykłej krajanki (grubość 1—5 mm).

W ten sposób D nie może być liczbą charakteryzującą materiał buraczany, ponieważ zależy od grubości krajanki.

Same tylko matematyczne sformułowania nie pozwalają uporać się nie tylko z tą wspomnianą trudnością, tj. z zależnością współczynnika dyfuzji od wymiarów krajanki, lecz także ze zmianą zawartości soku w krajance podczas ekstrakcji, tym bardziej, że również współzależności tych wielkości nie są dostatecznie zbadane.

Pamiętając o tych zastrzeżeniach dotyczących współczynnika dyfuzji, można wszystkie równania przebiegu wysładzania, niezależnie od jego techniki, ująć ogólnym wzorem:

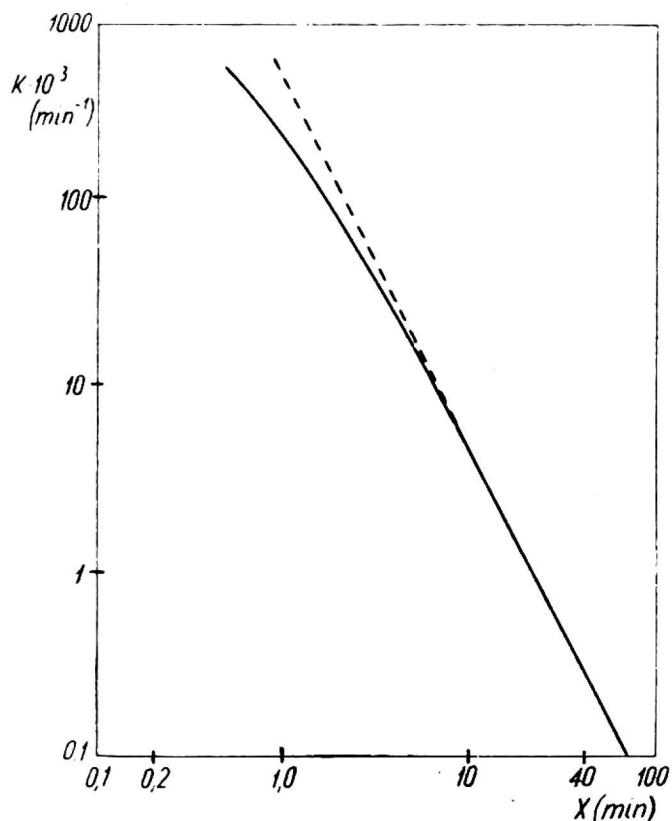
$$\frac{c_0}{c_e} = \frac{n\psi - 1}{n - 1} \quad (3)$$

c_0 — stężenie cukru w ciekłej fazie krajanki przed wysładzaniem,

c_e — po wysłodzeniu,

n — teoretyczny odciąg, tj. stosunek objętości ciekłej fazy otaczającej krajankę do objętości ciekłej fazy wewnątrz krajanki,

ψ — funkcja charakteryzująca rodzaj procesu.



Rys. 13. Zależność szybkości dyfuzji (K) od długości drogi dyfuzji (X) (według Brüniche-Olsena)

Zestawienie funkcji charakteryzujących zawiera tabela 5. Równanie (3) można wyprowadzić z równania (1) i bilansu ilościowego obu faz biorących udział w ekstrakcji.

Jak widać, nie ma zasadniczych trudności matematycznych, aby każdemu typowi procesu podporządkować odpowiedni wzór. Gdyby się jednak chciało — jak to niejednokrotnie próbowano — z wartości stałej K w skali fabrycznej wyciągać wnioski do oceny aparatu, to należało by za każdym razem stałą K rozdzielić na dwie, z których pierwsza zależałaby od materiału buraczanego, a druga — od konstrukcji aparatu. Jest to jednak niemożliwe, ponieważ dokładność uchwycenia wpływu krajanki jest ze wspomnianych względów za mała.

Skoro wynik rachunku nie może być dokładniejszy niż model fizyczny, który opisujemy rachunkiem, uważamy, że teoria matematyczna nie może stanowić podstawy oceny porównawczej różnych konstrukcji aparatów w oparciu tylko o jeden czynnik wyodrębniony ze stałej K .

Ta zasadnicza trudność będzie jeszcze wyraźniejsza, jeżeli weźmiemy

Tabela 5

Funkcje charakteryzujące rodzaj ekstrakcji

1. Przepływ ciągły	$\Psi = e^{K \frac{n-1}{n} t}$
2. Przepływ przerywany z przepływem w poszczególnych etapach	$\Psi = g^z g = e^{K \frac{n-1}{n} t_z}$
3. Przepływ przerywany z współprzepływem w poszczególnych etapach	$\Psi = G^z G = \frac{n+1-C_m}{n+1-nC_m}$ $C_m = 1 - e^{-K \frac{n+1}{n} t_z}$
4. Przepływ przerywany z prądem skrzyżowanym w poszczególnych etapach	$\Psi = P^z P = \frac{n-1+C_m}{n C_m}$

$$C_m = e^{-\beta} + \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{\beta^{\nu} e^{-\beta}}{\nu!} \int_{x=0}^x \left[1 - e^{-\beta x/n} - \frac{\beta}{n} x e^{-\beta x/n} \dots - \frac{1}{(\nu-1)!} \left(\frac{\beta}{n} x \right)^{\nu-1} e^{-\beta x/n} \right] dx$$

$$\beta = \frac{K_s F_0}{V_c}$$

pod uwagę wymienione w tabeli 2 czynniki wpływające na szybkość ekstrakcji a zależne od konstrukcji aparatu. Są to między innymi:

- 1) wpływ mieszania wstecznego,
- 2) wpływ procesów równoległych z dyfuzją lub procesów wstępnych,
- 3) wpływ zawracania wód.

Jak łatwo wykazać rachunkiem, jest rzeczą zupełnie niemożliwą ujęcie tych wpływów matematycznie w taki sposób, aby wszystkie one weszły do stałej K w funkcji charakteryzującej proces (tabela 5). Możliwe jest to tylko w odniesieniu do mieszania wstecznego [22]. W tym przypadku nową stałą szybkości otrzymuje się mnożąc przez czynnik:

$$K' = K \frac{n}{n + (n-1)\kappa} \quad (4)$$

gdzie:

- K' — stała szybkości w przypadku mieszania wstecznego [1/h]
- K — stała szybkości bez mieszania wstecznego [1/h]
- κ — intensywność mieszania wstecznego [—]
- Γ — mnożnik zależny od systemu [m²/h]
- w — prędkość liniowa danej fazy [m/h]

$$\kappa = \frac{\Gamma}{w^2} \cdot K$$

Wpływ więc mieszania wstecznego danej fazy jest tym słabszy, im większa jest prędkość liniowa tej fazy, a zarazem tym silniejszy, im bar-

dziej krzywa wysładzania zależy od K , tj. im większe jest K . Jeżeli wartość K' z równania (4) podstawić do funkcji charakteryzującej, odpowiadającej ciągłemu przeciwprądowi, to widać, że mieszanie wsteczne powoduje przedłużenie niezbędnego czasu ekstrakcji, ponieważ mnożnik występujący wskutek mieszania wstecznego jest mniejszy od jedności.

O ile wpływ mieszania wstecznego da się przedstawić współczynnikiem, przez który należy pomnożyć K , o tyle nie da się tego zrobić z procesami przebiegającymi równoległe z ekstrakcją lub poprzedzającymi ją, np. gdy przed ekstrakcją lub w jej trakcie zachodzi denaturacja. Jest ona funkcją czasu. Osobne założenia są konieczne w przypadku zewnętrznego zaparzania krajanki, najczęściej we współprądzie, przy czym należy też uwzględnić wpływ uszkodzonych komórek. Powoduje to jednak dalsze komplikacje, których nie da się pokonać stosując nowy mnożnik korekcyjny. Podobnie jest z rachunkowym uwzględnieniem zawracania wód, którego także nie da się ująć jednym mnożnikiem poprawkowym.

Reasumując można stwierdzić, że zasadnicze ujęcie rachunkowe technicznej ekstrakcji jest możliwe z punktu widzenia podstawowego procesu, tj. dyfuzji, nawet jeżeli się uwzględni typ procesu, jest jednak obarczone błędem, który trudno oszacować. Błąd ten jest w każdym razie za duży, aby wyciągać jednoznaczne wnioski na temat wpływu konstrukcji aparatu, wnioski oparte tylko na jednej „stałej szybkości ekstrakcji” dopasowanej do wyników pomiarów fabrycznych. Nie ma też jakiejś formalnej metody, która pozwalałaby pokonać te zasadnicze trudności. Należało by więc zrezygnować z takich prób.

W przeciwieństwie do tego jest możliwe — i warto nad tym pracować — osobne badanie wpływów konstrukcji aparatu dyfuzyjnego, a przede wszystkim szukanie ich optimum.

Technologia ekstrakcji w przemyśle cukrowniczym i w ogóle w przemyśle spożywczym musi liczyć się z jeszcze większymi trudnościami niż w przemyśle chemicznym, ponieważ mamy tu do czynienia z bardzo zmiennym materiałem biologicznym. Nie należy więc spodziewać się, aby teoria ekstrakcji w tych właśnie przemysłach mogła posunąć się wiele dalej niż ogólne teorie ekstrakcji.

LITERATURA

1. P. J. H. van Ginneken: Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam XXII 192 (1933).
2. P. J. H. van Ginneken: Tijdschr. alg. techn. Veren. Beetwortelsuikerfabrikanten Raffinadeurs 2, 17 (1913).
3. P. J. H. van Ginneken: tamże 10, (1915).
4. G. Oplatka, M. Tegze: Acta chim. Acad. Sci. Hung. 2, 383 (1952).
5. G. Oplatka, M. Tegze: tamże 2, 427 (1952).

6. P. M. Silin: Sprawozdanie V Międzyn. Kongr. Przem. Rol. **1**, 534 (1937).
7. G. Oplatka, E. Gryllus: Acta chim. Acad. Sci. Hung. **2**, 103 (1952).
8. H. Brüniche-Olsen: Solid-Liquid Extraction, Kopenhaga 1962.
9. A. Smet: VIII Międzyn. Kongr. Przem. Roln. **3**, 252 (1950).
10. T. Rodgers: II Konf. Techn. Brit. Sug. Corp. 1949.
11. F. Schneider, E. Reinefeld, H. Müller: Zucker-Beihefte **1**, 25 (1951).
12. J. Pèrard: Bull. Assoc. Chimistes, 1941, s. 301.
13. F. Schneider, A. Emmerich, D. Schliephake, (praca dyplomowa D. Schliephake, Politechnika Braunschweig, 1955 (nie publikowana).
14. A. Smet: Sucr. Belge. **68**, 122 (1948/49), **69**, 241 (1949/50), **71**, 481 (1951/52).
15. V. Pliska i in.: Listy Cukr. **72**, 230 (1956).
16. M. Tegze, M. Tegze: Cukoripar, **6**, 284 (1953).
17. W. M. Łysianski: Trudy Kiew. Technol. Inst. Piszcz. Prom. **13** (1953).
18. S. F. Dronow: Trudy CINS, **3**, 21 (1955).
19. G. Oplatka: Sugar, **47**, 43 (1952 nr 10).
20. H. Brüniche-Olsen: Sugar, **47**, 37 (1952 nr 11).
21. G. Oplatka: Sugar, **48**, 44 (1953 nr 1).
22. D. Schliephake: Zucker — w przygotowaniu.

WYKAZ SYMBOLI

- A, A' — stała Silina
- a — współczynnik proporcjonalności
- c — stężenie cukru w soku
- c_s — stężenie cukru w ciekłej fazie krajanki podczas dyfuzji
- c_o — stężenie cukru w ciekłej fazie krajanki przed wysładzaniem
- c_e — stężenie cukru w ciekłej fazie wysłodków
- D — współczynnik dyfuzji sacharozy w tkance buraka
- F — powierzchnia wymiany masy
- G — powtarzający się etap ekstrakcji współprądowej
- g — powtarzający się etap ekstrakcji przeciwprądowej
- K — współczynnik („stała”) szybkości ekstrakcji
- K' — stała szybkości ekstrakcji przy mieszaniu wstecznym
- k, k' — stałe
- M — ilość wysłodków
- n — miara odciągu: stosunek objętości soku na zewnątrz krajanki do objętości soku zawartego w krajance
- O — powierzchnia krajanki
- n — (analogicznie do G) powtarzający się etap ekstrakcji w prądzie skrzyżowanym
- P_w — ilość wody wyżymaczkowej w procentach na buraki
- r — droga dyfuzji w krajance
- t — czas ekstrakcji
- t_z — łączny czas ekstrakcji
- v — objętość soku w krajance
- w — prędkość przepływu fazy ciekłej
- x_1, x_2 — drogi dyfuzji w poszczególnych rodzajach tkanki buraka
- Z — liczba etapów ekstrakcji w procesie ekstrakcji przerywanej
- β — liczba charakteryzująca obciążenie aparatu $\beta = \frac{E \cdot F}{M}$
- ϑ — funkcja temperatury

- κ — wskaźnik intensywności mieszania wstecznego
 Δ — długość 100 g krajanki („długość właściwa”)
 Γ — stała odnosząca się do mieszania wstecznego
 Ψ — funkcja charakteryzująca proces ekstrakcji
 ϱ_1, ϱ_2 — opory właściwe dyfuzji
 Ω — powierzchnia właściwa krajanki

DYSKUSJA

Inż. Stambul. Od szeregu lat stosujemy z powodzeniem wzór prof. Silina, lecz raczej w szczególnych przypadkach np. do przewidywania, jak zmieniają się straty w razie zmiany odciągu lub długości krajanki.

Przed czterema laty potwierdzono fabrycznie słuszność wzoru, zmieniając przez wiele dni te dwa parametry. Straty cukru były zawsze zgodne z wyliczeniem, współczynnik A zachował rzeczywiście wartość stałą. Działo się to jednak w tej samej cukrowni, nie odbiegano przy tym zbyt od przeciętnych warunków pracy.

Wzór prof. Silina w samej prostej formie nadaje się również do dyfuzorów, w których proces odbiega dość znacznie od ścisłego przeciwprądu, jak np. w dyfuzji RT z zawracaniem wód wysłodkowych. Być może, współczynnik A obliczony w tych przypadkach ma tylko znaczenie umowne, co jednak nie przeszkadza w stosowaniu wzoru prof. Silina w przemyśle.

Jeżeli jednak aparat dyfuzyjny RT jest przeciążony ponad swą nominalną przepustowość, wartość współczynnika A maleje. Począwszy od pewnego momentu, wpływ czasu dyfuzji i wpływ długości krajanki przestaje odpowiadać równaniu. W tych przypadkach zachodzi niewątpliwie wsteczne mieszanie się soku i możemy wtedy współczynnik A traktować jako wielkość charakteryzującą zdolność przenikania krajanki.

Wzór prof. Silina oddaje usługi przy przewidywaniu strat w danej cukrowni, jeżeli zmienia się parametry dyfuzji. Nie należy jednak posługiwać się wzorem do porównywania aparatów dyfuzyjnych RT w dwóch różnych fabrykach, jeżeli pracują one powyżej normalnej zdolności przerobowej (a tak jest zazwyczaj w cukrowniach francuskich). Konieczna jest też ostrożność, gdy chce się porównywać aparaty dyfuzyjne różnych systemów.

Dr Brüniche-Olsen. Nie ulega wątpliwości, że wszystkie późniejsze prace teoretyczne na temat procesu dyfuzji opierają się na podstawowych pracach van Ginnekena i prof. Silina i można uważać je jedynie za rozwinięcie wcześniejszych prac, lecz nie za ich krytykę.

Zarówno van Ginneken, jak i prof. Silin próbują różnorodność aparatów dyfuzyjnych uchwycić jednym parametrem. Moim zdaniem, zastosowanie jednego tylko parametru jest nie wystarczające. Konieczne jest użycie przynajmniej dwóch parametrów, z których jeden obejmuje samo wysładzanie krajanki, a drugi charakteryzuje ruch krajanki i soku, przede wszystkim zaś mieszanie wsteczne.

W książce mojej „Solid-Liquid Extraction” wykazałem, że można zupełnie łatwo obliczyć wartości takich dwóch parametrów na podstawie jednoczesnych oznaczeń zawartości cukru w krajance i soku na całej długości aparatu dyfuzyjnego. Wtedy oba tak oznaczone parametry wywodzą się z praktycznych pomiarów, bez jakichkolwiek założeń dotyczących kształtu, powierzchni i długości krajanki.

Prof. Schneider. Nasze wyniki, wskazujące na zależność szybkości dyfuzji od grubości krajanki, oraz wyniki pracy prof. Zagrodzkiego i mgr Kubiaka są tylko

pozornie sprzeczne. W badaniach Katedry Cukrownictwa Politechniki Łódzkiej dyfuzja przebiegała prawdopodobnie tylko w przestrzeniach międzykomórkowych, a więc na drodze mniejszego oporu.

Prof. Zagrodzki. Nie wiem, jaką aparaturę stosował prof. Schneider ze swoimi współpracownikami do pomiaru zależności szybkości dyfuzji od grubości krajanki, trudno mi więc wskazać przyczyny rozbieżności. Muszę jednakże podkreślić, że myśmy również przypuszczali, że może istnieć zależność współczynnika dyfuzji od grubości krajanki. Wydaje się, że nasza metoda odznacza się większą precyzją oznaczeń niż inne metody. Dokładność spowodowana jest tym, że różnice stężeń z dwóch stron przegrody są znacznie większe niż w dotychczasowych metodach. W praktyce stosujemy z jednej strony roztwory sacharozy o 20 Bx, a z drugiej czystą wodę.

Sprawa zależności współczynnika dyfuzji od grubości krajanki jest otwarta i wymaga dalszych badań, ale z dotychczasowych prób wynika jasno, że zasadniczo grubość krajanki nie wpływa na wielkość współczynnika dyfuzji. Pewne różnice można zauważyć wskutek tworzenia się przylegającej do krajanki warstewki soku, która ma wyraźne znaczenie, gdy krajanka jest bardzo cienka. Jeżeli przegroda w postaci rurki z tkanki buraczanej ma grubość 3 lub więcej milimetrów, to wpływ błonki powierzchniowej jest mały i może być pominięty.

Prof. Schneider. Jak wykazuje praktyka, w miarę stosowania coraz drobniejszej krajanki (wzrost wartości l — długości 100 g), stopień wysłodzenia nie zmienia się zgodnie ze stopniem rozdrobnienia, jakby to wynikało z założonego stałego współczynnika szybkości dyfuzji. Dr Brüniche-Olsen w swych pięknych pomiarach wykazał, że przy krótszej drodze dyfuzji, a więc już w granicach wymiarów normalnej krajanki, wyniki pomiarów odbiegają od linii prostej. Zgadza się to w zupełności z naszą teorią niejednorodności procesu dyfuzji.

Prof. Zagrodzki. Krótki czas przeznaczony na doniesienia nie pozwolił na przedstawienie wszystkich wyników i dokładnego opisu naszych badań. Prof. Schneider słusznie wspominał o znaczeniu czasu. W początkowym okresie w temperaturach 60, a nawet 75°C następuje plazmoliza, denaturacja błony komórkowej, a proces ten wymaga czasu, zwłaszcza w grubej krajance. Po pewnym jednak czasie (im grubsza krajanka, tym później) warunki ustalają się, a współczynnik dyfuzji asymptotycznie zbliża się do wielkości stałej. Z tej przyczyny do naszych badań nie braliśmy świeżej tkanki buraka, lecz tkanekę, która uprzednio była utrzymywana w czasie 30 lub 40 minut w danej temperaturze. Dopiero po tym okresie wykonywano właściwą próbę pomiaru współczynnika dyfuzji w okresie 15 albo 30 minut. Pomiar wielkości współczynnika dyfuzji dotyczą niewątpliwie całej tkanki, a nie przestrzeni międzykomórkowej. Przekrój przestrzeni międzykomórkowej jest bardzo mały i wielkości bezwzględne współczynnika byłyby znacznie mniejsze, tymczasem znalezione wielkości współczynnika dyfuzji wcale nie są mniejsze niż stwierdzone innymi metodami.

Prof. Schneider. Mieliliśmy możność potwierdzić słuszność genialnego pomysłu Silina, który zamiast powierzchni krajanki wprowadził do wzoru jej długość. W jednym punkcie nie możemy jednak, niestety, zgodzić się z Silinem — jesteśmy tu jednego zdania z Brüniche-Olsenem — a mianowicie, że jedna tylko stała A wywodząca się z współczynnika szybkości k nie wystarczy do porównywania różnych aparatów dyfuzyjnych i wyrokowania o ich wartości.

Nie wydaje mi się też, aby metoda Brüniche-Olsena przewidująca 2 parametry umożliwiała dokładne porównanie różnych systemów aparatów. Do oceny dyfuzji DdS jest ona zresztą wystarczająca.