

Prof. dr hab. inż. Jan Hehlmann, mgr inż. Ewa Pietrasik, mgr inż. Radosław Adamek, mgr inż. Agnieszka Mikołajewska, Katedra Aparatury Chemicznej i Procesowej, Politechnika Śląska w Gliwicach

# Hydraulika i proces ekstrakcji w kolumnie z wypełnieniem komórkowym

Przedmiotem artykułu są badania hydrauliki przepływu oraz sprawności procesu ekstrakcji w kolumnie z wypełnieniem komórkowym. Porównano parametry pracy kolumn z wypełnieniem komórkowym z parametrami uzyskiwanymi w kolumnie rozpyłowej, stwierdzając zdecydowanie większą skuteczność kolumn z wypełnieniem komórkowym. Wypełnienie komórkowe wykorzystano do modernizacji przemysłowej kolumny ekstrakcyjnej pracującej w PKN Płock (ekstrakcja olej – furfurol). Przeprowadzone badania, poparte wdrożeniem przemysłowym, otwierają drogę do intensyfikacji pracy kolumn ekstrakcyjnych poprzez zastosowanie wypełnienia komórkowego.

Ekstrakcja cieczy w kolumnie polega na dyfuzyjnym przenoszeniu masy między dwiema fazami ciekłymi. Fazy ciekłe tworzą układ kropłowy, którego składniki – faza zwarta i rozproszona – przesuwają się względem siebie wskutek różnicy gęstości. Zetknięcie faz i przenoszenie masy zachodzi nieprzerwanie na całej roboczej długości kolumny. Czynnikiem decydującym o wysokości kolumny jest kinetyka wymiany masy, a zasadniczy wymiar kolumny tzn. jej średnica wynika z relacji hydrodynamicznych.

Spotyka się następujące typy rozwiązań aparatów:

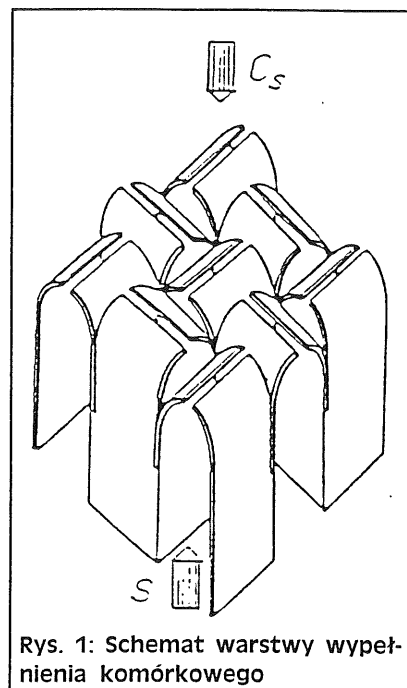
- kolumny rozpyłowe,
- kolumny wypełnione,
- kolumny z półkami sitowymi,
- kolumny z elementami ruchomymi [1], [6].

Zadaniem wypełnienia w kolumnie ekstrakcyjnej jest zwiększenie powierzchni wymiany masy [7], [8]. Jako wypełnienie stosuje się różnego rodzaju elementy: pierścienie (Raschiga, Białeckiego, Palla, R-Pac, SR-Pac, Hiflow), siodełka (Berla, Intalox), pakiety strukturalne (Montza, I-13F). Wymienione wypełnienia posiadają szereg wad:

- brak promieniowego mieszania strug, co prowadzi do znacznych deformacji profilu stężenia składników,
- tendencja do kanalikowania i strefowego unosu czynników procesowych,
- skłonność do kumulowania osadów,
- ograniczenie obszaru pracy zjawiskiem zalewania, powodującym pogorszenie składu rafinatu bądź ekstraktu,
- niestabilne warunki odstawań w strefach międzystopniowych,
- niemożność stosowania pulsacji przepływu.

Proponowane rozwiązanie kolumny ekstrakcyjnej polega na zastosowaniu wypełnienia komórkowego w układzie sekcyjnym, co zapewnia zwiększenie efektu separacyjnego mediów przez następujące kolejno po sobie dyspersję i koalescencję kropel fazy rozproszonej. Wypełnienie komórkowe jest wypełnieniem strukturalnym pracującym wg systemu półkowego z zainicjowaniem efektów mikrocyrkulacji oraz deflektorowego. Wypełnienie posiada strukturę komórkową, tworzącą przestrzenną kratę z promieniowo – szczelinowym deflektorem, co stwarza dla obu czynników pewien opór przepływu, powodujący wyrównanie profili prędkości masowych surowca S i ekstrahenta E ( $C_s$ ). Schemat wypełnienia komórkowego przedstawia rysunek 1.

Każda komórka posiada szczelinę centralną i dwie szczeliny boczne o kształcie wycinka kołowego. Przez szczeliny odbywa się przeciwnieprzewodowy przepływ surowca S i ekstrahenta E. Promieniowe zagięcia deflektorów inicjują mikrocyrkulację strug, dzięki czemu następuje ich intensywne wymieszanie oraz wydłużenie czasu przebywania, co korzystnie wpływa na efektywność procesu wymiany masy. Jednocześnie w obrębie komórki następuje chwilowa akumulacja fazy S i E, z efektem spontanicznego uwolnienia, powodującego pul-



Rys. 1: Schemat warstwy wypełnienia komórkowego

sacyjny przepływ o podobnym charakterze, jak w kolumnach z generatorem pulsacji. Ponad wypełnieniem występuje strefa ekspansji faz z warunkami odpowiadającymi odstawań grawitacyjnemu [2].

Celem badań było uzyskanie opisu hydrauliki przepływu i sprawności procesowej kolumny ekstrakcyjnej z wypełnieniem komórkowym. Program badań obejmował: badania wstępne, zasadnicze i przemysłowe [3].

## Badania wstępne

Zadaniem badań wstępnych był wybór reprezentatywnego układu ekstrakcyjnego, stosowanego w późniejszych badaniach zasadniczych, spełniającego wymogi bezpieczeństwa pracy. Rozważono dwa układy ekstrakcyjne: woda – olej rycynowy – denaturat oraz woda – olej rzepakowy – chlorek sodu. Ze względu na prostotę wykonania oznaczeń zawartości składnika wyekstrahowanego w ekstrakcie i własności fizykochemiczne składników, a także możliwość

obserwacji zachodzącego procesu, wybrano układ woda – olej rzepakowy – chlorek sodu. W efekcie badań wstępnych wyznaczono także krzywą równowagi dla wybranego układu, postaci:

$$y^* = 7 \cdot 10^{-6} e^{317,91x} \quad (1)$$

gdzie:

x - udział masowy NaCl w rafinacie,  
y\* - równowagowy udział masowy NaCl w ekstrakcie.

Równanie (1) stanowiło podstawę do obliczania stopnia wyekstrahowania i skuteczności w odniesieniu do wspólnego stanu równowagowego dla trzech systemów kolumnowych: kolumny rozpyłowej oraz kolumny z wypełnieniem komórkowym w położeniu normalnym i odwróconym.

#### Badania zasadnicze

Stanowisko badawcze przedstawiono na rysunku 2. Składa się ono z kolumny ekstrakcyjnej (poz.1) o budowie sekcyjnej. Liczba sekcji wynosi od 1 do 3. W poszczególnych sekcjach umieszczono pojedyncze warstwy wypełnienia komórkowego (poz.4). Pomiędzy sekcjami znajduje się strefa odstawania. Budowa taka zapewnia zwiększenie efektu separacyjnego mediów poprzez następujące kolejno po sobie dyspersję i koalescencję kropeł fazy rozproszonej. Surowiec S (olej rzepakowy zawierający NaCl) doprowadza się do kolumny ze zbiornika surowca (poz.6) za pomocą pompy P1 (poz.7) poprzez grzejnik (poz.9) i rotametr (punkt pomiarowy FCR-101). Doprowadzenie surowca, stanowiącego fazę rozproszoną, odbywa się za pomocą specjalnego dystrybutora (poz.3) z wymiennymi dyszami, zapewniającymi właściwe jego zdyspergowanie oraz wytworzenie kropeł o średnicy mieszczącej się w założonym przedziale wartości. Odbiór rafinatu R (oczyszczony z soli olej) odbywa się z głowicy kolumny do zbiornika rafinatu (poz.5). Ekstrahent E, którym jest woda, doprowadzany jest z ujęcia wodociągowego zapewniającego właściwe natężenie przepływu poprzez grzejnik (poz.1), rotametr (punkt pomiarowy FCR-102) oraz dystrybutor fazy zwartej (poz.2). Odprowadzenie ekstrahenta E (woda wodociągowa + wmyty NaCl) do odpływu od-

bywa się poprzez przelew umożliwiający regulację poziomu granicy rozdziału faz.

Parametry techniczne kolumny ekstrakcyjnej (poz.1):

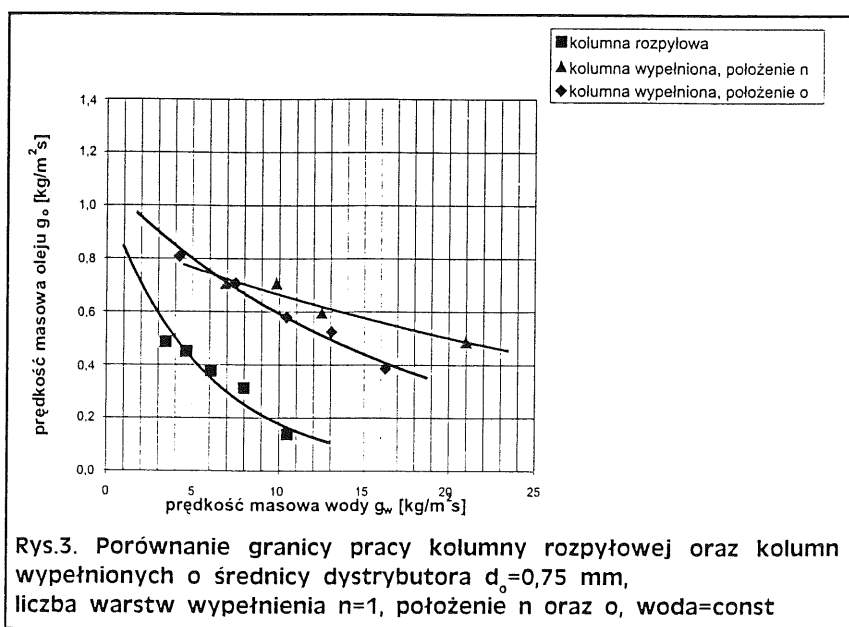
średnica kolumny	d = 63 mm
wysokość kolumny	H = 2180 mm
liczba sekcji	1 ... 3
wysokość strefy odstawania	400 mm
pakiet wypełnienia komórkowego w sekcji	
ilość warstw	n = 1
szerokość szczeliny	s = 3...5 mm

#### Badania hydrauliki kolumny ekstrakcyjnej

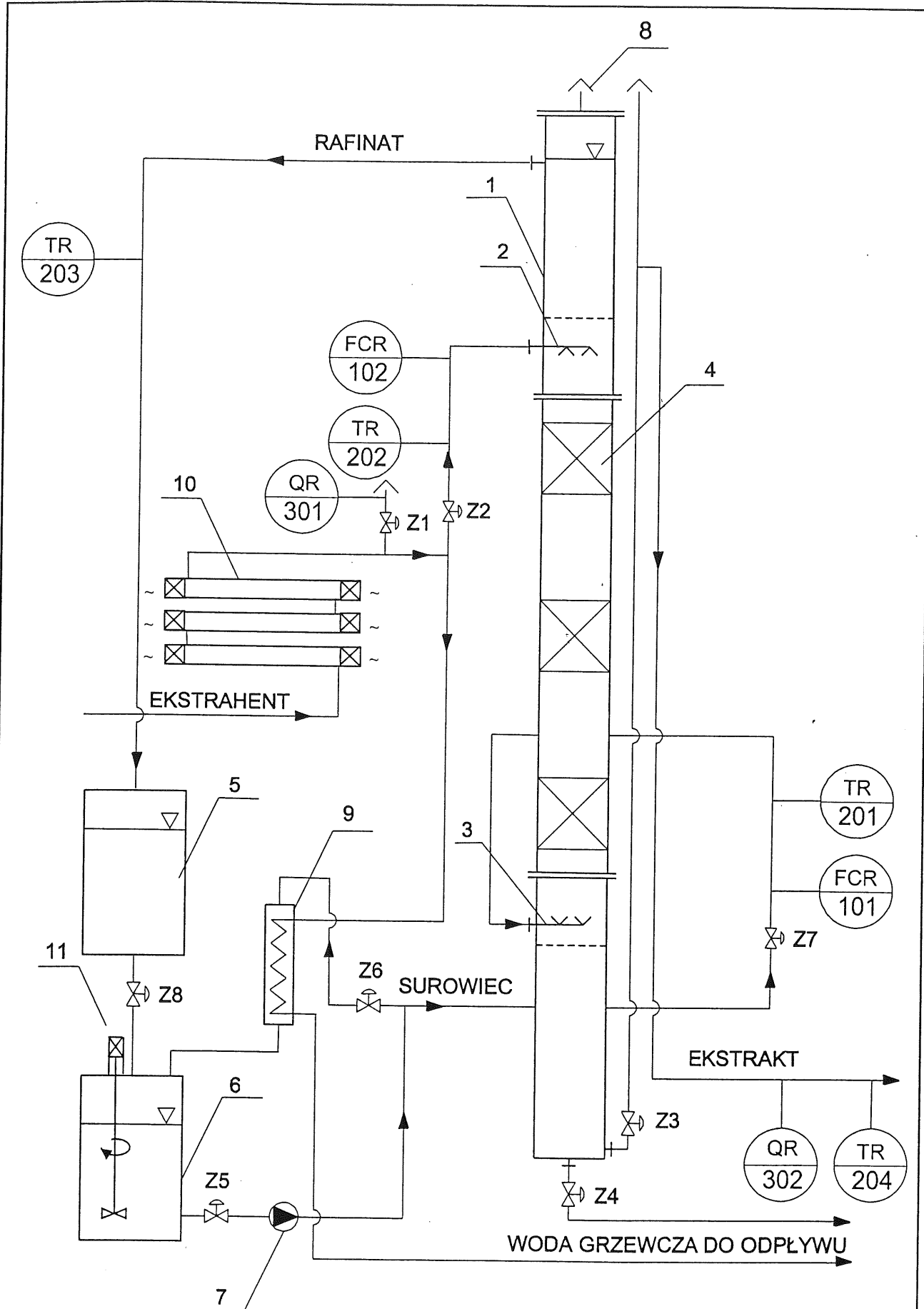
Badania prowadziły do określenia granicy obszaru pracy limitowanego występowaniem zjawiska zalewania. Badania przeprowadzono dla kolumny z jedną oraz trzema warstwami wypełnienia komórkowego, znajdującego się w położeniu normalnym (szczelinami do góry) i odwróconym (szczelinami do dołu). Określono również wpływ szerokości szczeliny wypełnienia s (stosowane szerokości szczelin s=3; 4; 5 mm) na położenie granicy obszaru pracy. Za zjawisko zalewania przyjmowano: - zatrzymanie fazy olejowej w obrębie warstwy wypełnienia (w przypadku położenia normalnego pojedynczej warstwy wypełnienia), - w dolnym obszarze warstwy (w przypadku położenia odwróconego) oraz jej burzliwe kłębowienie się poniżej tej warstwy. W wyniku występowania zjawiska zalewania

wtórnie rozdrobnione pod warstwą wypełnienia krople fazy olejowej unoszone były do odpływu faz wodnej. W celach porównawczych przeprowadzono także badania dotyczące położenia granicy obszaru pracy dla kolumny rozpyłowej. Jako zjawisko zalewania uznawano w tym przypadku przemieszczanie kropeł fazy olejowej pod dystrybutor surowca i unoszenie do odpływu fazy wodnej. Sposób prowadzenia badań obejmował określenie granicy obszaru pracy kolumny ekstrakcyjnej przy ustalonym natężeniu przepływu surowca i zmiennym natężeniu przepływu ekstrahenta, oraz przy ustalonym natężeniu przepływu ekstrahenta i zmiennym natężeniu przepływu surowca. Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rys. 3 i 4.

Stwierdza się, że zastosowanie wypełnienia pozwala na zwiększenie przepustowości aparatu w porównaniu z kolumną rozpyłową. Dzięki możliwości zastosowania większego natężenia przepływu ekstrahenta, stosując tę samą średnicę kolumny, uzyskuje się większy stopień rozdziału składnika ekstrahowanego. Z drugiej strony możliwe jest zwiększenie wydajności procesowej układu ekstrakcyjnego poprzez zastosowanie większego natężenia przepływu surowca dla danego strumienia ekstrahenta. Wyraźnie korzystniejsze jest stosowanie wypełnienia komórkowego wielosekcyjnego w pozycji n, tzn. zagięciami skierowanymi ku górze.

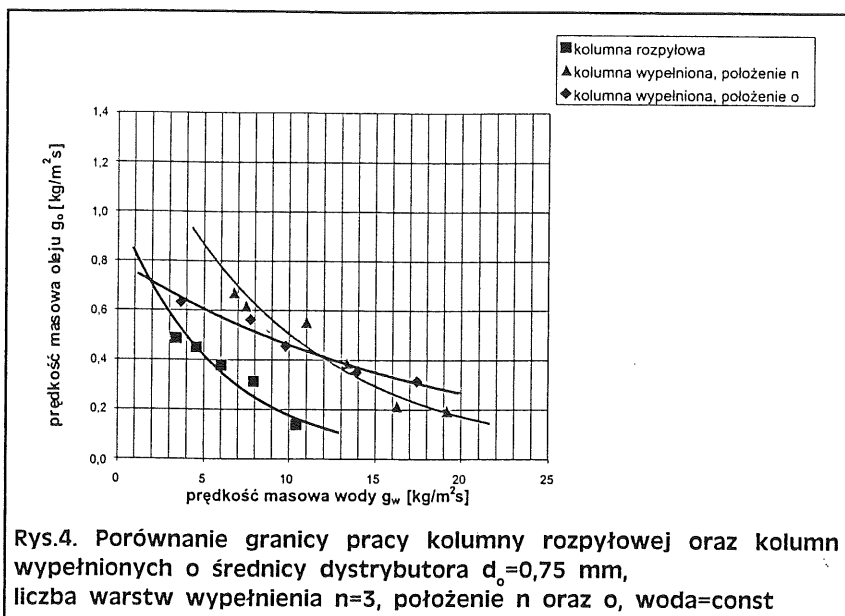


Rys.3. Porównanie granicy pracy kolumny rozpyłowej oraz kolumn wypełnionych o średnicy dystrybutora  $d_0=0,75$  mm, liczba warstw wypełnienia  $n=1$ , położenie n oraz o, woda=const



Rys. 2. Schemat instalacji badawczej:

1 - kolumna, 2 - dystrybutor ekstrahenta, 3 - dystrybutor surowca, 4 - wypełnienie, 5 - zbiornik rafinatu, 6 - zbiornik surowca, 7 - pompa, 8 - odpowietrzenie, 9 - grzejnik oleju, 10 - grzejnik wody, 11 - mieszadło mechaniczne



Rys.4. Porównanie granicy pracy kolumny rozpyłowej oraz kolumn wypełnionych o średnicy dystrybutora  $d_0=0,75$  mm, liczba warstw wypełnienia  $n=3$ , położenie n oraz o, woda=const

Analiza teoretyczna zjawiska generowania kropli oraz ich ruchu w ośrodku doprowadziły do określenia zbioru istotnych parametrów fizycznych, wpływających na ruch mediów w układzie. Zjawisko zalewania jest ściśle związane ze stosunkiem natężeń przepływu faz, będąc funkcją następujących wielkości:

$$g_E = f(g_S, d_E, w_S, \sigma, \eta_E, \eta_S, \rho_E, \rho_S, s, b, g) \quad (2)$$

gdzie:

$\sigma$  - napięcie powierzchniowe, [N/m]  
de-średnica ekwiwalentna szczeliny wypełnienia obliczana jako:

$$d_e = \frac{2bs}{s+b} \quad [\text{m}] \quad (3)$$

$w_S$  - prędkość przepływu surowca, [m/s]

$\eta_E$  - lepkość fazy ekstrahowej, [Pa s]

$\eta_S$  - lepkość surowca, [Pa s]

$\rho_E$  - gęstość fazy ekstrahowej, [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_S$  - gęstość surowca, [kg/m<sup>3</sup>]

$s$  - szerokość szczeliny wypełnienia, [m]

$b$  - wymiar poprzeczny komórki wypełnienia  $b = 20 \times 10^{-3}$  m

$g$  - przyspieszenie siły ciężkości

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

W wyniku przeprowadzonej analizy wymiarowej funkcji wpływu (2) uzyskano równanie kryterialne w postaci:

$$\left( \frac{g_E}{g_S} \right) = x_1 \cdot (We)^{x_2} \cdot (Lp)^{x_3} \cdot (Fr)^{x_4} \quad (4)$$

gdzie:

- liczba Webera wyraża stosunek ciśnienia dynamicznego otoczenia ( $\rho_E w_E^2$ ) do ciśnienia wewnątrz kropli będącego efektem występowania napięcia powierzchniowego:

$$We = \left( \frac{\rho_S w_S^2 d_e}{\sigma} \right)$$

- liczba Laplace'a wyraża stosunek sił napięcia powierzchniowego do sił lepkości:

$$Lp = \left( \frac{\rho_E d_e \sigma}{\eta_E^2} \right)$$

- liczba Froude'a wyraża stosunek sił bezwładności i sił ciężkości wywołujących ruch kropli:

$$Fr = \left( \frac{w_S^2}{d_e g} \right)$$

W celu uzyskania znaczącej zmiany wielkości parametrów fizykochemicznych, badania prowadzono dla zmiennych temperatur surowca i ekstrahenta;  $t \in (30 \dots 65)^\circ \text{C}$ . W oparciu o przeprowadzone badania, bazę zawierającą 500 danych pomiarowych, wyrównano w oparciu o równanie (4). W szczególnym przypadku, dla wypełnienia komórkowego w położeniu normalnym kryterium zalewania kolumny ma postać:

$$\left( \frac{g_E}{g_S} \right) = 0,0011 (We)^{-0,0719} (Lp)^{-0,3858} (Fr)^{-1,1675} \quad (5)$$

zaś dla wypełnienia w położeniu odwróconym:

$$\left( \frac{g_E}{g_S} \right) = 0,0011 (We)^{-0,4717} (Lp)^{-0,4299} (Fr)^{-0,8820} \quad (6)$$

Równania te obowiązują dla następującego zakresu zmienności liczb kryterialnych:

$$We \in (5,4677 \times 10^{-6} \dots 9,0153 \times 10^{-5}),$$

$$Lp \in (693520 \dots 1474715),$$

$$Fr \in (6,5867 \times 10^{-7} \dots 1,6485 \times 10^{-5}).$$

Opracowane równania umożliwiają projektowanie procesu hydraulicznego w kolumnach ekstrakcyjnych ciecz - ciecz, a zatem obliczanie niezbędnej średnicy kolumny, bądź maksymalnej wydajności strumieni ekstrakcyjnych.

### Badania procesu ekstrakcji

Przeprowadzone badania miały na celu wyznaczenie sprawności procesu wymiany masy w kolumnie ekstrakcyjnej z wypełnieniem komórkowym i jej porównanie ze sprawnością procesu prowadzonego w kolumnie rozpyłowej. Ze względu na najkorzystniejsze położenie obszaru pracy zastosowano trzy warstwy wypełnienia o położeniu normalnym i szerokości szczeliny  $s=5$  mm oraz średnicę otworów dysz dystrybutora  $d_0=0,75$  mm. Podobne badania przeprowadzono przy zastosowaniu wypełnienia w położeniu odwróconym. Poszczególne warstwy wypełnienia umieszczone były na wysokości:  $h_1=150$  mm,  $h_2=575$  mm,  $h_3=1000$  mm. Badania prowadzono przy założonym i ustalonym stosunku natężeń przepływu mediów, przy jednoczesnej kontroli parametrów procesu na wlocie i wylocie z kolumny. Zarówno dla procesu prowadzonego w kolumnie wypełnionej jak i w kolumnie rozpyłowej, pomiary wykonano dla trzech różnych stosunków natężeń przepływu faz ( $\dot{V}_E / \dot{V}_S$ ). Wykonano serię badań, w wyniku których zaobserwowano nieznaczne wahania stężenia soli w ekstrakcie, co związane było ze zmianami przewodnictwa ekstrahenta (wody wodociągowej). Zawartość NaCl wyznaczano wg równania charakterystyki konduktometru:

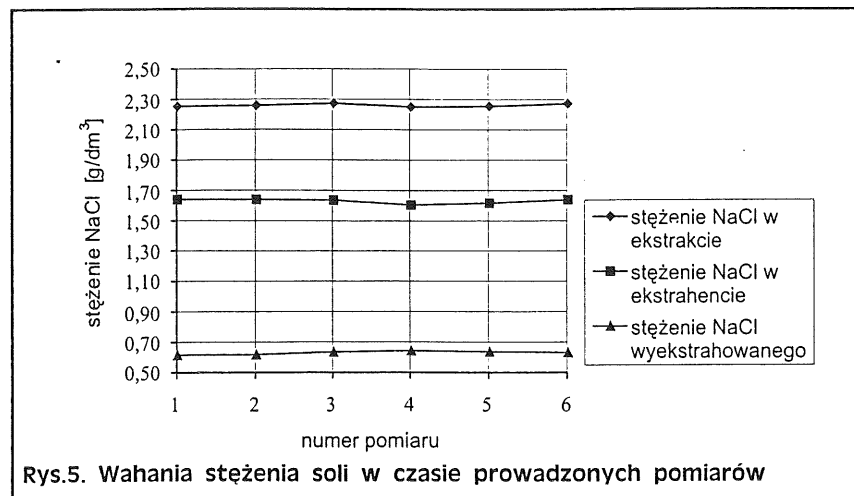
$$c_B = 1,289 \cdot e^{0,0680 \times [\text{gNaCl/dm}^3 \text{ wody}]} \quad (7)$$

Na rysunku 5 przedstawiono zmiany stężenia soli w ekstrakcie i eks-

trakcie, w poszczególnych punktach pomiarowych jednej serii. Zmianę stężenia wymytego NaCl z oleju wytłumaczyć można nierównomiernym rozkładem stężeń soli w surówce oraz w rozpuszczalniku wtórnym.

$$\eta = \frac{c_{BR}^0 - c_{BR}}{c_{BR}^0 - c_{BR\infty}} \quad (11)$$

przy czym, początkowe stężenie NaCl w surówce wynosi  $\bar{c}_{BS} = \bar{c}_{BR}^0 = 6 \text{ g/dm}^3$ .



Rys.5. Wahania stężenia soli w czasie prowadzonych pomiarów

W celu obliczenia stopnia wyekstrahowania oraz sprawności kolumny zastosowano następujące zależności:  $\psi$  - stopień wyekstrahowania:

$$\psi = \frac{x_s - x_n}{x_s - y_{Cs}} \quad (8)$$

Przy założeniu, że ekstrahent na początku nie zawierał składnika ekstrahowanego B, stężenie  $\bar{y}_{Cs}$  jest równe 0 i wzór (8) przekształcić można do postaci:

$$\psi = \frac{x_s - x_n}{x_s} = \frac{c_{BS} - c_{Bn}}{c_{BS}} \quad (9)$$

gdzie:

$$c_{BS} = c_{BR}^0 \text{ [g/dm}^3\text{]}$$

$$c_{Bn} = c_{BR} \text{ [g/dm}^3\text{]}$$

- sprawność kolumny  $\eta$ :

$$\eta = \frac{c_{BE} - c_{BE}^0}{c_{BE\infty} - c_{BE}^0} \quad (10)$$

Obliczone wartości stopnia wyekstrahowania  $\psi$  oraz sprawności kolumny  $\eta$  dla różnych parametrów procesowych zestawiono w tabeli 1.

Z przeprowadzonych badań ekstrakcji, zilustrowanych na rys.6 wynika, że sprawność procesu wymiany masy w kolumnie z wypełnieniem komórkowym jest wyższa, niż przy zastosowaniu kolumny rozpyłowej. Wartości współczynnika ekstrakcji  $\psi$  i sprawności kolumny  $\eta$  są najwyższe dla kolumny z wypełnieniem komórkowym w pozycji odwrotnej. Wynika to z lepszego rozdrobnienia fazy olejowej oraz mniejszego wpływu koalescencji kropeł w obrębie warstwy wypełnienia. Należy także podkreślić, że sprawność procesu w przypadku laboratoryjnej kolumny rozpyłowej jest bardzo wysoka dzięki zastosowaniu dystrybutora o śred-

nicy otworów 0,75 mm. W przypadku kolumn przemysłowych średnica otworów musi być znacząco większa (8...20) mm, co prowadzi do istotnego zmniejszenia skuteczności procesowej. Natomiast w przypadku wypełnienia komórkowego, układ laboratoryjny odpowiada bezpośrednio wielkościom przemysłowym.

#### Badania przemysłowe, [4]

Korzystne wyniki badań laboratoryjnych skłaniały do przemysłowej aplikacji wypełnienia komórkowego, jako wypełnienia kolumny ekstrakcyjnej. Oczekiwania te zostały potwierdzone przez wyniki badań przemysłowych, którym poddano kolumnę ekstrakcyjną pracującą w PKN Płock. Kolumna ta służy do ekstrakcji baz olejowych za pomocą furfurołu. Wydajność surowca po modyfikacji kolumny wynosi średnio 38 Mg/h, przy przepływie rozpuszczalnika 108 Mg/h.

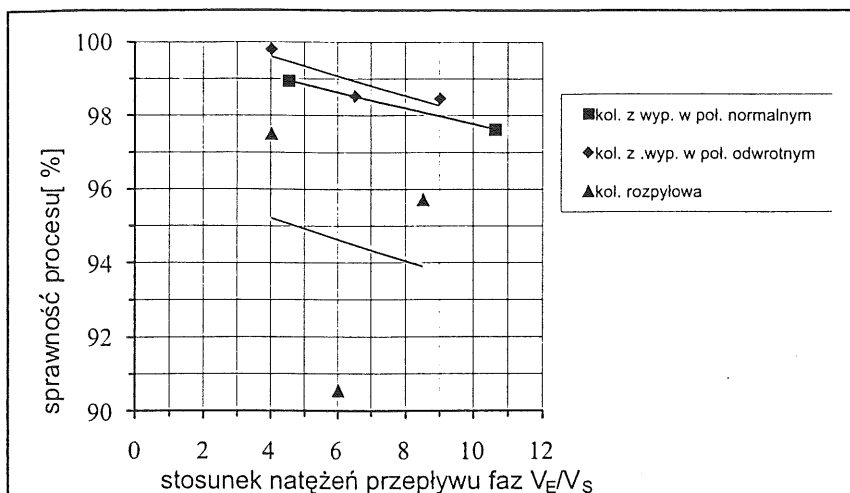
Modyfikacja kolumny, zawierającej osiem stopni, polegała na zastąpieniu warstw pierścieni Białeckiego o wysokości 1,2 m każdą, warstwą wypełnienia komórkowego o wysokości 0,05 m.

Efektom zmian było poprawienie wskaźników pracy kolumny – wskaźnika natężenia przepływu rozpuszczalnika do surowca C/S oraz wskaźników jakościowych rafinatu. Zestawienie wskaźników C/S dla poszczególnych surowców olejowych przed i po modyfikacji kolumny zawiera tabela 2.

Zaobserwowano poprawę następujących wskaźników jakościowych rafinatu:

Tab. 1: Wartości współczynnika ekstrakcji  $\psi$  i sprawności kolumny  $\eta$

Lp	$V_E/V_S$	$V_E \cdot 10^6$ [m³/s]	$\rho_E$ [kg/m³]	$V_S \cdot 10^6$ [m³/s]	$\rho_S$ [kg/m³]	$c_{EP}$ [g/dm³]	$c_{EK}$ [g/dm³]	$\Psi$ [%]	$\eta$ [%]
Kolumna z wypełnieniem komórkowym									
1	10,6	18,93	990,34	1,786	917,85	1,261	3,546	95,57	97,62
2	9,15	15,25	990,83	1,667	917,54	1,631	2,262	96,30	98,45
3	6,39	10,64	991,97	1,666	917,75	1,623	2,527	96,21	98,52
4	4,50	6,97	990,52	1,547	917,43	1,620	2,905	96,47	98,95
5	3,90	6,97	990,92	1,786	917,58	1,630	3,125	97,21	99,79
Kolumna rozpyłowa									
6	8,53	15,24	991,14	1,787	917,34	1,669	2,278	93,61	95,71
7	5,96	10,65	990,70	1,787	917,13	1,622	2,458	88,42	90,53
8	3,90	6,97	991,25	1,786	917,48	1,630	3,089	94,98	97,43



Rys.6. Zależność stopnia wyekstrahowania NaCl z surowca od stosunku natężeń przepływu faz

- sumaryczna zawartość frakcji węglowodorów nasyconych i aromatów jednopierścieniowych jest wysoka, wynosi (88,6...95,8) % i maleje ze wzrostem lepkości surowca poddawane rafinacji,
- stopień usunięcia aromatów wielopierścieniowych wynosi (64...86) %,
 

Etap trzeci posiada charakter stosowany, potwierdzony korzystnymi

dań podstawowych z zakresu ekstrakcji w układzie ciecz-ciecz, a także w dziedzinie konstrukcji aparatury, stanowiąc oryginalne rozwiązanie będące przedmiotem zgłoszenia patentowego [5].

Etap trzeci posiada charakter stosowany, potwierdzony korzystnymi

Tab. 2: Zestawienie wskaźników C/S

Lp.	Surowiec olejowy	Przed modyfikacją	Po modyfikacji
		C/S	C/S
1	H-5	3,75	2,25
2	H-6	4,49	2,5
3	Baza olejowa I	3,62	2,0
4	Baza olejowa II	4,36	2,125

- usunięcie połączeń żywicznych (73...90) %,
- obniżenie połączeń siarkowych w rafinatach (68...81) %,
- zmniejszenie pozostałości po kokosowaniu,
- polepszenie wskaźników lepkościowo – temperaturowych, wskaźniki lepkości >100.

W kolumnie zastosowano wypełnienie komórkowe w pozycji odwrotnej. W oparciu o równanie (6) obliczono granicę zalewania kolumny  $g_E/g_S = 3,6$ ; zaś w oparciu o dane eksperymentalne uzyskano  $g_E/g_S = 3,31$  - co oznacza bardzo dobrą zgodność badań modelowych z wynikami przemysłowymi.

#### Wnioski

Przeprowadzone pierwszy i drugi etap badań posiadają charakter ba-

dań podstawowych z zakresu ekstrakcji w układzie ciecz-ciecz, a także w dziedzinie konstrukcji aparatury, stanowiąc oryginalne rozwiązanie będące przedmiotem zgłoszenia patentowego [5].

Godnym podkreślenia jest również fakt, że specyficzny reżim hydrauliczny wypełnienia komórkowego prowadzi do wyrównania profilu prędkości w kolumnie oraz wyrównania profilu stężeń dzięki krzyżowemu wypływowi mediów ze szczelin. Interesującym efektem jest również brak kumulacji osadów dzięki mikrocyrkulacji wewnątrz komórkowej i specyficznej pulsacji przepływu w obrębie szczelin wypełnienia.

#### Literatura

- [1] Z. Ziolkowski: Ekstrakcja cieczy w przemyśle chemicznym, WNT Warszawa 1980
- [2] J. Hehlmann: Badania procesowe aparatu kolumnowego z wypełnieniem, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 1133 (1991)
- [3] J. Hehlmann i współpracownicy: Badania procesu ekstrakcji w kolumnie z wypełnieniem strukturalnym, BK-2/RCh-8/98, Katedra Aparatury Chemicznej i Procesowej, Politechnika Śląska 1998
- [4] W. Szeja, J. Hehlmann, W. Specjał, Z. Specjał, T. Stokłosa, M. Sadłowski, M. Markiewicz: Improvement of the Process of Selective Extraction of Oils with Furfural, Technologia chemiczna na przełomie wieków, Wyd. Stałego Komitetu Kongresów Technologii Chemicznej, Gliwice 2000
- [5] W. Szeja, J. Hehlmann i współautorzy: Sposób i układ ekstrakcji olejów smarowych, zgł. pat. Nr P-321408, Pol. Śl. Gliwice 1999
- [6] P. A. Schweitzer: Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, N. Y. Mc Graw-Hill, 1988
- [7] A. F. Seibert, J. R. Fair: Hydrodynamics and Mass Transfer in Spray Packed Liquid - Liquid Extraction Columns, Ind. and Eng. Chem. Research, 27, 1998
- [8] M. Pająk, R. Koziątek: Hydrodynamika i wymiana masy w kolumnie ekstrakcyjnej z ceramicznym wypełnieniem Hi-Flow, Inż. Chem. i Proces., 4, 1991

#### Summary

Paper deals with investigations of flow hydraulics and efficiency of extraction process in cellular packing column. Cellular packing is new generation structural packing, generating microcirculation and deflector effects, equalising mass velocity profiles of raw material and extractant. The packing under consideration has been successfully applied in extraction process.

Paper gives operation parameters comparison of cellular packing and unpacked column, stating much higher process efficiency of packed apparatus. The cellular packing was also used for modernisation an industrial extraction column in the Płock Refinery (oil - furfural extraction).

Conducted researches, supported by the industrial implementation give new opportunities for intensification of extraction columns by application of cellular packing.