


P.3345/43



CHEMIA z. 62

JÓZEF ZABŁOCKI

WSPÓŁCZYNNIK WNIKANIA MASY W FAZIE CIEKŁEJ
 β_{Ac} NA WYPEŁNIENIU RUSZTOWYM

P O L I T E C H N I K A Ś L A Ś K A
ZESZYT NAUKOWY Nr 360 – GLIWICE 1973

P.3345/43



POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 360

JÓZEF ZABŁOCKI

WSPÓŁCZYNNIK WNIKANIA MASY W FAZIE CIEKŁEJ
 β_{Ac} NA WYPEŁNIENIU RUSZTOWYM

ZNSCAM (62) 3-44 (1973)

PRACA HABILITACYJNA Nr 119

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 9. X. 1972

GLIWICE 1973

**REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ**

Iwo Pollo

REDAKTOR DZIAŁU

Aleksandra Burghardt

SEKRETARZ REDAKCJI

Helena Ogrodnik

**Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Kujawska 2**

Nakł 50+170 Ark. wyd. 2,15 Ark. druk. 2,5 Papier offsetowy kl. III, 70×100, 80 g
Oddano do druku 30.11.1972 Podpis. do druku 15 1 1973 Druk ukończ. w lutym 1973
Zam. 1552 25. 11. 1972 R-15 Cena zł 4,—

**Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach**

73-84/73

SPIS TREŚCI

	str.
Oznaczenia i wymiary ważniejszych wielkości	5
1) Wstęp	7
2) Przygotowanie doświadczeń	10
3) Opis aparatury doświadczalnej	16
4) Sposób prowadzenia doświadczeń	17
5) Opracowanie wyników doświadczalnych	21
6) Omówienie wyników	28
7) Wnioski	30
8) Spis literatury	42
9) Streszczenie	43

Od Autora

Praca niniejsza wykonana została w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Budowy Aparatury Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Władzom Uczelni oraz wszystkim, którzy służyli mi radą i pomocą przy wykonywaniu niniejszej pracy, składam w tym miejscu serdeczne podziękowanie.

OZNACZENIA I WYMIARY WAŻNIEJSZYCH WIELKOŚCI

C	suma wszystkich koncentracji	kmol/m^3
D_{AB}	kinematyczny współczynnik dyfuzji składnika A przez składnik B	m^2/h
F	powierzchnia wypełnienia	m^2
G_w	natężenie zraszania wodą	kg/h
G'_w	natężenie zraszania wodą	kmol/h
G'_A	strumień dyfundującej masy składnika A	kmol/h
H	stała Henry'ego	Tr
M	masa molowa	kg/kmol
M_w	masa molowa wody	kg/kmol
O	obwód zraszany	m
P	ciśnienie całkowite	Tr
P_{ot}	ciśnienie otoczenia	Tr
P_z	ciśnienie całkowite na zwierciadle	Tr
R_c	współczynnik wypełnienia	-
T	temperatura bezwzględna	$^{\circ}\text{K}$
X_A	stosunek molowy składnika A w fazie ciekłej	$\frac{\text{kmol CO}_2}{\text{kmol H}_2\text{O}}$
a	powierzchnia jednostkowa wypełnienia	m^2/m^3
d_e	średnica zastępcza	m

χ	przyspieszenie siły ciężkości	$1,271 \cdot 10^8$	m/h^2
		0,81	m/s^2
h	wysokość elementu wyrobienia		m
l	długość listwy		m
P_{iz}	ciśnienie parcjalne składnika A na zwierciadle		Tr
P_{iz}	ciśnienie parcjalne inerty na zwierciadle		Tr
P_{H_2O}	prężność pary wodnej		Tr
s	odstęp między listwami		m
t	temperatura		$^{\circ}C$
t	grubość listwy		m
x_A	udział molarowy składnika A w fazie ciekłej		$\frac{kmol CO_2}{kmol}$
A_{ic}	współczynnik wnikańia masy w fazie ciekłej		$kg/m^2 h$
A_{Ag}	współczynnik wnikańia masy w fazie gazowej		$kg/m^2 h$
A'_{ic}	współczynnik wnikańia masy w fazie ciekłej		$kmol/m^2 h$
δ_i	dynamiczny współczynnik dyfuzji składnika A przez inne		$kg/m h$
δ'_i	dynamiczny współczynnik dyfuzji składnika A przez inne		$kmol/m h$
γ	gęstość		kg/m^3
η	dynamiczny współczynnik lepkości		$kg/m h$
v_z	zastępczy wymiar liniowy		m
Γ	jednostkowe natężenie zraszania		$kg/m h$
$\Delta \Pi_A$	moduł napędowy		-

LITERATURA

- Δ - odnosi się do średnicy węzła
- i - odnosi się do inercji
- w - odnosi się do wagi
- z - odnosi się do powierzchni międzypłaszczyznowej.

LITERATURA

- $Re_z = \frac{\Delta \Gamma}{\eta}$ liczba Reynoldsa
postać alternatywna stosowana dla spłynięcia cieczy
- $Sh_z = \frac{\beta \Delta \psi_z}{\delta_{..}} = \frac{\beta' \psi_z}{\delta'}$ zmodyfikowana liczba Sherwooda
- $Sc = \frac{\eta}{\delta'}$ liczba Schmidta
- $St'_z = \frac{Sh_z}{Re_z Sc}$ analog liczby Stanton

1. Wstęp

Jednym z rodzajów wypełnienia stosowanych w aparatach do absorpcji gazów w cieczach są ruszty drewniane. Zaletą tego wypełnienia jest nie wysoka cena, mały ciężar oraz bardzo małe opory przepływu, wadą natomiast stosunkowo mała powierzchnia z jednostki objętości $s \approx 50 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Użycie jednak rusztów pozwala na zastosowanie wyższych prędkości przepływu gazu, co pozwala w pewnych przypadkach osiągnąć lepsze współczynniki wymiany masy, jak przy stosowaniu innych wypełnień, a w dalszej konsekwencji osiągnąć obniżenie całkowitej objętości wypełnienia, oporu przepływu i ciężaru aparatu. Wypełnienie rusztowe jest specjalnie przydatne, gdy mają być przerabiane duże ilości gazu, a małe ilości cieczy. Przy stosowaniu jednak tego wypełnienia trzeba szczególną uwagę zwrócić na odpowiednią konstrukcję zraszacza zapewniającego równomierne rozproszczenie cieczy po ruszcie. Propozycje takiego zraszacza podaje Morris i Jackson [1]. Wymienione zalety skłaniają do stosowania wypełnienia rusztowego w pewnych dziedzinach technologii, np. wieże chłodnicze, przeróbka smoły węglowej.

Pomimo, że ten rodzaj wypełnienia jest bardzo dawno stosowany w praktyce, nie posiada on dostatecznych opracowań, pozwalających z wystarczającą dokładnością obliczyć współczynnik wnikania masy w fazie ciekłej β_{Ac} . Ta luka jest tym bardziej kłopotliwa przy projektowaniu odpowiedniej aparatury, jeżeli się weźmie pod uwagę, że np. dla absorpcji benzoli w oleju płuczkowym współczynnik wnikania masy w fazie ciekłej β_{Ac} jest znacznie mniejszy jak w fazie gazowej β_{Ag} [11], a więc on przede wszystkim decyduje o wielkości globalnego współczynnika przenikania masy K_A , a w dalszej konsekwencji o wielkości projektowanych aparatów. Dotychczas dla obliczania tego współczynnika mamy do dyspozycji wzory stosowane do obliczania współczynników wnikania masy

w fazie ciekłej przy spływie cieczy po ścianie płaskiej lub cylindrycznej, podane przez R.L. Pigforda i Ph.O. Thesisa [2], [3], D.W. Van Krevelena i P.J. Koftijzera [4], S. Kędzierskiego [5], T. Hoblera i S. Kędzierskiego [6] oraz przez cały szereg innych autorów omawiających te same przypadki. Wzory te uzyskane bądź to na drodze teoretycznej bądź doświadczalnej wykazują poważne rozbieżności, a nawet sprzeczności, co zostało omówione przez Hoblera i Kędzierskiego [7].

Inny sposób ujęcia to propozycja Morrisa i Jacksona [8, 9] podająca wzór uzyskany w oparciu na danych doświadczalnych otrzymanych na znormalizowanym aparacie podstawowym z poprawką na rodzaj wypełnienia R_c .

Wnikanie masy w fazie ciekłej na wypełnieniu rusztowym badań i podań swoje wyniki M.D. Kuzniecowa [10, 11].

Każdy z powyżej podanych wzorów posiada pewne elementy, które ni pozwalają mieć pewność, że wyniki otrzymane będą dokładne.

Wzory dla ścian płaskich odzwierciedlają mechanizm przy spływie laminarnym, następującym nieprzerwanie po ścianach o wysokości dość znacznej. Przy spływie po wypełnieniu rusztowym mamy do czynienia ze spływem po bardzo krótkich ścianach płaskich, równych wysokości wypełnienia. Niezależnie od tego wymiana masy na wypełnieniu rusztowym odbywa się również na innych elementach wypełnienia niż pozioma ściana płaska.

Wzór Morrisa, Jacksona [8, 9] obejmuje cały szereg wypełnień jednym wzorem, stosując dla każdego poprawkę R_c . Wykładnik potęgowy przy wyrażeniu $L = \frac{w}{R}$, a więc również przy prędkości (w_0 jest objętością cieczy, wylewaną w ciągu godziny na 1 m² przekroju skrubera, inaczej prędkość liniowa liczona na pusty skrubler) w wysokości 0,7, pomimo spływu laminarnego w przypadku wypełnienia rusztowego, raczej wskazuje na podobieństwo z wykładnikami potęgowymi w innych wzorach dla spływu cieczy po wypełnieniu z usypanych pierścieni.

W przypadku rusztu drewnianego, jakkolwiek nie mamy do czynienia z ciągłą ścianą płaską, to jednak poszczególne elementy powierzchni są pionowymi ściankami. Spływ więc po tym wypełnieniu bardziej przypomina spływ po ścianie pionowej. Wszystkie zaś wzory dla ściany płaskiej posiadają niższe, a nawet znacznie niższe wykładniki przy liczbie Re_z .

Wzór podany przez Kuzniecowa, jakkolwiek opracowany dla wypełnienia rusztowego, przy bliższym przeanalizowaniu budzi pewne obawy. Simpleks uwzględniający wysokość elementów wypełnienia $\left(\frac{d_e}{h}\right)$ posiada wykładnik potęgowy równy 0,503, tj. wyższy jak w większości wzorów dla ściany płaskiej. Liczne zaburzenia występujące przy spływie cieczy po wypełnieniu powinny raczej obniżyć wykładnik potęgowy przy simpleksie, gdyż spływ nie będzie posiadał charakteru czysto laminarnego.

Pewne trudności w posługiwaniu się tym wzorem sprawia fakt, że w simpleksie zamiast wielkości charakterystycznej dla spływu cieczy po powierzchni pionowej v_z zastosowano średnicę ekwiwalentną $d_e = 2 \cdot s$ (s - odstęp między listwami). Taka średnica ekwiwalentna uzasadniona dla fazy gazowej, tutaj nie wydaje się być słuszną. Odstęp bowiem między listwami nie ma przypuszczalnie żadnego wpływu na grubość warstwy spływającej cieczy. Wzór więc podany przez Kuzniecowa może być w tej formie stosowany tylko dla wypełnienia o identycznym wymiarze "s".

Dla lepszego zilustrowania rozbieżności w wynikach otrzymanych z wzorów podanych przez następujących autorów [5, 6, 8, 10, 11] sporządzono wykres rys. 1, na którym podano zależności $Sh_z - Re_z$. Numeracja linii na wykresie jest następująca:

- 1 - M.D. Kuzniecowa [10, 11]
- 2 - T. Hobler, S. Kędzierski [5, 6]
- 3 - K.A. Morris, J. Jackson [8].

Ze wszystkich wzorów wyliczono liczbę Sherwooda w następującej postaci

$$Sh_z = \frac{\rho_{\Delta c} v_z}{\delta_{\Delta}}$$

Dla wszystkich pozycji jako wysokość h przyjęto 125 mm, to jest wysokość elementu wypełnienia.

Wszystkie powyższe rozbieżności oraz wątpliwości skłaniają nas do podjęcia badań nad określeniem wzoru dla obliczania współczynnika wnikania masy w fazie ciekłej przy spływie cieczy po ruszcie drewnianym.

Niniejsza praca poświęcona jest doświadczalnemu wyznaczeniu zależności współczynnika wnikania masy w fazie ciekłej przy spływie cieczy

po drewnianym wypełnieniu rusztowym od takich parametrów jak: jednostkowe natężenie zraszania, lepkość cieczy, współczynnik dyfuzji oraz wysokość elementu wypełnienia.

Kinetykę procesu można opisać następującym równaniem zbudowanym z bezwymiarowych modułów podobieństwa

$$Sh_z = C (Re_z)^a (Sc)^b \left(\frac{D_z}{h}\right)^d \quad (1)$$

Postać równania (1) wynika z całkowania równania różniczkowego, opisującego rozkład stężeń, może być ona również otrzymana przez przeprowadzenie analizy wymiarowej.

2. Przygotowanie doświadczeń

Współczynnik wnikania masy β_{Ac} wyznaczano dla absorpcji dwutlenku węgla w wodzie spływającej po całkowicie zroszonej powierzchni rusztu drewnianego. Stężenie dwutlenku węgla w wodzie zasilającej i opuszczającej urządzenie oznaczano przy pomocy miareczkowania. Urządzenie zasilano z butli technicznym dwutlenkiem węgla o zawartości powyżej 98% czystego składnika. Jakość stosowanego gazu badano przez analizę aparatem Orsata.

Założono - co jest przybliżeniem (dającym wyniki bezpieczne), że w naszym przypadku nie występuje opór dyfuzyjny w fazie gazowej.

Według danych przedstawionych przez Vielsticha [12] dla rozpatrywanego układu, rola reakcji chemicznej jest do pominięcia. Wynika z nich bowiem, że tylko mniej niż 1% rozpuszczonego dwutlenku węgla tworzy drobiny kwasu węglowego H_2CO_3 . W temp. $18^\circ C$ stosunek ilości drobin kwasu węglowego do ilości drobin dwutlenku węgla w roztworze wodnym wynosi $1,55 \cdot 10^{-3}$. Wynika więc z tego, że szybkość procesu praktycznie jest limitowana przez proces fizyczny.

Zakres zmierności natężenia zraszania ustalono w ten sposób, ażeby objąć cały zakres od minimalnych do maksymalnych jednostkowych natężeń zraszania. Johnstone i Singh [13] zalecają następujący zakres wielkości jednostkowego natężenia zraszania:

$$\Gamma_{\min} = 110 \text{ kg/m h}$$

$$\Gamma_{\max} = 450 \text{ kg/m h}$$

Ten zakres powinien gwarantować dokładne zwilżenie powierzchni przy Γ_{\min} i niezbyt duże odpryski przy Γ_{\max} . Obserwacje procesu potwierdziły te przypuszczenia.

Z zależności

$$\Gamma = \frac{G_w}{O}$$

wyliczone zakres stosowanych natężeń zraszania G_w , a następnie Re_z przyjmując

$$Re_z = \frac{4\Gamma}{\eta}$$

Wartości liczb Schmidta jako zależne od parametrów η i δ_z zmieniały się z temperaturą. Ponieważ temperatura była prawie niezmienna $t = 12-13,3^\circ\text{C}$ również zmiany wartości liczb Schmidta były nieznaczne. Takim sposobem prowadzenia doświadczeń być zamierzony, gdyż na podstawie analizy dotychczasowych badań [4, 5, 6, 10] przyjęto wykładnik potęgowy przy liczbie Schmidta jako równy 0,33.

Wartość modułu geometrycznego $\frac{v_z}{h}$ zależy od zmiennych parametrów v_z i h , wartość v_z zależy od temperatury, w warunkach, w których prowadzono pomiary v_z zmieniała się nieznacznie, ogólna wartość modułu $\frac{v_z}{h}$ zmieniała się od $0,2026 \cdot 10^{-2}$ - $0,4163 \cdot 10^{-3}$.

Tablica zmienności stosowanych parametrów

G_w	280	-	1080	kg/h
Γ	116	-	450	kg/m h
Re_z	107	-	415	-
$\frac{v_z}{h}$	$0,2026 \cdot 10^{-2}$	-	$0,4163 \cdot 10^{-3}$	-

Ciecz w procesie traktowano jako wodę czystą i dla wyznaczenia parametrów fizycznych korzystano z danych literaturowych dla czistej wody.

Dla wyznaczenia stałej Henry'ego

$$H = \frac{p_{A2}}{x_1} \tau_1$$

korzystano z danych literaturowych [14] zestawionych co 1°C . Wartości pośrednie (co $0,1^\circ\text{C}$) obliczano przez interpolację liniową.

Gęstość cieczy ρ kg/m^3 wyznaczano na podstawie danych literaturowych [15] zestawionych co 1°C , otrzymując wartości pośrednie (co $0,1^\circ\text{C}$) przez interpolację liniową. Dynamiczny współczynnik lepkości η kg/m h wyznaczano na podstawie danych literaturowych [16] zestawionych co 1°C otrzymując wartości pośrednie (co $0,1^\circ\text{C}$) przez interpolację liniową.

Zastępczy wymiar liniowy

$$v_z = \left(\frac{\eta^2}{\rho^2 g} \right)^{1/3} \text{ m}$$

wyznaczano z powyższego wzoru definicyjnego wstawiając literaturowe wartości parametrów η i ρ oraz wartość $g = 1,271 \cdot 10^8 \text{ m/h}^2$, wartości pośrednie (co $0,1^\circ\text{C}$) obliczano przez interpolację liniową.

Dla współczynnika dyfuzji δ_A kg/m h wartości literaturowych w różnych temperaturach brak, najczęściej spotyka się jego wartości dla temperatury 20°C . Dla wyznaczenia wartości współczynnika dyfuzji w innych temperaturach korzysta się w praktyce z metod ogólnych, określających zmienność współczynnika dyfuzji z temperaturą.

W niniejszej pracy korzystano z teoretycznego równania Stockesa - Einsteina:

$$\frac{D_{AB}}{(D_{AB})_1} = \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (2)$$

stąd

$$D_{AB} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \frac{(D_{AB})_1 \eta_1}{\eta_2} \quad (3)$$

za stan odniesienia przyjęto temperaturę 20°C, w której

$$F_{AB,20^{\circ}} = 0,637 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$$

$$\eta_{20^{\circ}} = 3,618 \text{ kg/m h}$$

$$T_{20^{\circ}\text{C}} = 293,2 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

wstawiając do równania (3) otrzymujemy

$$D_{AB} = D_{A1} = \frac{T}{\eta} \frac{0,637 \cdot 3,618 \cdot 10^{-5}}{293,2} \frac{\text{m}^2}{\text{h}},$$

a przy zależności

$$\delta'_{A1} = D_{A1} \cdot C = D_{A1} \frac{\gamma}{M} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \quad (4)$$

otrzymuje się:

$$\delta'_{A1} = \frac{T \gamma}{\eta} \frac{0,637 \cdot 3,618}{293,2 \cdot M \cdot 10^5} \text{ kmol/m}^3 \text{ h}$$

Tą zależnością możemy się posłużyć przy obliczaniu liczb Schmidta

$$Sc = \frac{\eta}{M \delta'_{A1}}$$

$$Sc = 1,272 \cdot 10^7 \frac{\eta^2}{\gamma T} \quad (5)$$

Wykorzystując znane wartości γ i η oraz wstawiając odpowiednie T obliczono wartości liczb Schmidta co 0,1 °C. Temperaturę wody zraszającej obliczono jako średnią arytmetyczną wody na wlocie i na wylocie

$$t_w = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Nadmienić należy, że różnica pomiędzy temperaturą na wlocie i wylocie nie przekraczała 1°C .

Prężność pary wodnej $p_{\text{H}_2\text{O}}$ Tr wyznaczano korzystając z danych literaturowych [17] zestawionych co 1°C , wartości pośrednie (co $0,1^{\circ}\text{C}$) obliczano przez interpolację liniową. Powierzchnię wymiany masy obliczano jako powierzchnię geometryczną wypełnienia wg następującego wzoru:

$$F = 6 n [2 h (1 + t) + 0,0048] - 0,0432 \quad (6)$$

n - ilość warstw rusztu

l - długość listwy m

h - wysokość listwy m

t - grubość listwy m.

Wykonano 5 rodzajów wypełnienia rusztowego o następujących wymiarach: grubość listwy t , długość l oraz odstęp pomiędzy listwami s były niezmiennie i wynosiły

$$t = 0,01 \text{ m}$$

$$l = 0,2 \text{ m}$$

$$s = 0,02 \text{ m.}$$

Wysokości natomiast były różne, a mianowicie: 0,026; 0,050; 0,075; 0,101; 0,127 [m].

3. Opis aparatury doświadczalnej

Aparatura doświadczalna przedstawiona na rys. 2 składała się z aparatu zasadniczego (6) wykonanego z metapleksu, co ułatwiło obserwacje procesu, urządzenia do zasilania gazem oraz urządzenia zasilającego instalacje w ciecz zraszającą. Aparat zasadniczy (6) to kolumna o przekroju kwadratowym (400 x 400 mm). Wysokość wynosiła 1020 mm, wewnątrz aparatu na półce było umieszczone wypełnienie o wymiarach 200 x 200 mm i wysokości 500 mm. Pozostawienie odstępu pomiędzy wypełnieniem a ścianami aparatu było podjętowane koniecznością wyeliminowania udziału po-

wierzchni ścian aparatu w procesie wymiany masy. Dla wymiennika bowiem o tak małym przekroju oraz wypełnieniu o małej ilości powierzchni z jednostki objętości, udział powierzchni ścian byłby dość poważny. Udziału powierzchni dna w procesie wymiany masy nie dało się całkowicie uniknąć. Zmniejszono go jednak konstruując dno w ten sposób, że część na której spoczywało wypełnienie obniżono, tak że woda nie rozplýwała się po całym dnie, lecz spływała bezpośrednio do otworu umieszczonego w jego środku. W ten sposób czynna była tylko powierzchnia dna równa $0,2 \times 0,2 = 0,04 \text{ m}^2$. Ponieważ powierzchnia wymiany masy reprezentowana przez wypełnienie wynosiła od $1,6254$ – $1,3412 \text{ m}^2$, to udział powierzchni dna stanowił $\sim 2,5\%$. Od dołu poprzez specjalne urządzenie do równomiernego wprowadzenia gazu, wprost do wnętrza wypełnienia wprowadzono dwutlenek węgla. Wylot gazu był umieszczony w górnej dennicy aparatu. Wodę zraszającą pobierano z rurociągu przewodem (1) do zbiornika wyrównawczego (2), a następnie przez rotometry (4) i punkt pomiaru temperatury (5) zasilano zraszacz umieszczony w górnej części aparatu (6). Ciecz z dolnej półki poprzez specjalny przewód była wyprowadzana na zewnątrz, a następnie przez zamknięcie syfonowe do zbiornika przelotowego umożliwiającego zmierzenie temperatury termometrem (11) oraz pobranie w tym miejscu próbki do analizy. Zbiornik wyrównawczy cylindryczny o wymiarach $300 \times 500 \text{ mm}$ od góry jest zasilany wodą. Dla utrzymania stałego poziomu cieczy posiada rurę przelewową odprowadzającą nadmiar wody do wanny odpływowej (3). W górnej części zbiornika jest otwór odpowietrzający.

Konstrukcja zraszacza ma za zadanie doprowadzenie cieczy na najwyższą warstwę rusztu wprost na listwy. Ten typ zraszacza jest korzystny tylko dla celów laboratoryjnych, (konstrukcję zraszacza dla celów przemysłowych podaje Morris i Jackson [1]), składa się z 6 równoległych rur zasilanych wodą z obu stron. Rury posiadają taki rozstaw, ażeby każda znajdowała się nad jedną listwą. W rurze otwory nawierzone są w odstępach co 30 mm .

Dolna półka rys. 3 podtrzymuje wypełnienie, odprowadza ciecz po absorpcji a równocześnie spełnia rolę zasilacza gazowego. W półce wtopionych jest 49 rurek zakończonych kapturami. Przez te rurki z dolnego kolektora gaz zostaje wprowadzony wprost do wypełnienia, tak ażeby w

każdym kwadraciku utworzonym przez listwy wypełnienia znajdowała się jedna rurka doprowadzająca gaz.

Ta konstrukcja doprowadzenia gazu, odprowadzenia cieczy oraz zraszacza zapewnia, że gaz nie ma żadnego kontaktu z cieczą poza wypełnieniem pomijając dno. Podgrzewacz gazu (14) jest to węzownica ogrzewana żarówkami ogrzewającymi. W tym aparacie podgrzewano gaz do temperatury wody zraszającej.

4. Sposób prowadzenia doświadczeń

Doświadczenia rozpoczynano od usunięcia powietrza z wnętrza aparatu. Wykonywano to przepuszczając przez aparat dwutlenek węgla. Zabieg ten trwał około 2 godzin i był prowadzony tak długo aż analiza gazu na wylocie wykonana przy pomocy aparatu Orsata dawała takie same wyniki jak na wlocie, to znaczy $\sim 99\% \text{CO}_2$.

Następnie otwierano zawór na przewodzie doprowadzającym wodę do zraszacza, równocześnie regulując dopływ gazu w takiej ilości, ażeby w aparacie utrzymać pewne nadciśnienie gwarantujące utrzymanie pewnego nadmiaru w przepływie gazu, kontrolowanego również rotametrem gazowym zamontowanym na przewodzie wylotowym.

Dla zapewnienia stałego dopływu wody w czasie trwania doświadczenia, doprowadzano wodę z sieci wodociągowej poprzez zbiornik wyrównawczy.

Natężenie zraszania ustalono na wielkości najmniejszej z zaplanowanych i następnie obserwowano czy cała powierzchnia wypełnienia jest zwilżona. Obserwacje własne wykazały, że wielkości Γ_{min} podane przez Johnstona i Singha [13] sprawdzają się w naszych doświadczeniach.

Zraszanie wypełnienia z równoczesnym przepływem gazu prowadzono przez 30 min dla uzyskania stacjonarności procesu. Obliczenia cieczy zawieszonyj na wypełnieniu oraz porównanie z natężeniem przepływu cieczy wykazały, że okres 30 min jest dla tego celu wystarczający.

Następnie pobierano próbkę cieczy wylotowej i wykonywano analizę na zawartość dwutlenku węgla. Czynność tę powtarzano trzykrotnie w odstępach 15 minut. Za wynik analizy przyjmowano wartość średnią.

Zaworem regulującym dopływ cieczy podwyższano natężenie regulując równocześnie dopływ gazu i powtarzano zabieg. W ten sposób podwyższa-

jąc kolejno natężenie dochodzono aż do wielkości natężenia zraszania odpowiadającego Γ_{\max} . Dla jednego wypełnienia otrzymano w ten sposób 21 punktów pomiarowych.

Po zakończeniu doświadczeń na jednym wypełnieniu rozmontowywano aparat i zmieniano wypełnienie, a następnie po ponownym zmontowaniu aparatury powtórzono czynność jak dla pierwszego wypełnienia. W ten sposób przebadano 5 rodzajów wypełnień.

Temperaturę wody mierzono na wlocie i wylocie termometrem rtęciowym z dokładnością $0,1^{\circ}\text{C}$. Do obliczeń stosowano średnią arytmetyczną tych wielkości. Różnica temperatur na wlocie i wylocie nie przekroczyła w żadnym z punktów pomiarowych 1°C , a więc i błędy związane ze stosowaniem temperatury średniej, przy określaniu parametrów, zamiast temperatury spływającego filmu, były nieduże.

Natężenie przepływu cieczy mierzono na dopływie cieczy przy pomocy rotametry. Rotametry były przed rozpoczęciem doświadczeń sprawdzone.

Dla wyznaczenia ilości zaabsorbowanego gazu pobierano próbki cieczy i oznaczano zawartość dwutlenku węgla miareczkując $0,1\text{ n NaOH}$ wobec fenolftaleiny. Analizowano wodę zasilającą i wylotową. Próbkę pobierano do kolbki stożkowej, w której znajdowała się dokładnie odmierzona ilość $0,1\text{ n NaOH}$. Ilość tę określano wykonując oznaczenie orientacyjne. Po dodaniu $0,5\text{ ml}$ alkoholowego roztworu fenolftaleiny, miareczkowano $0,1\text{ n NaOH}$ do słabo różowego koloru nie znikającego w ciągu 3 minut.

Zawartość dwutlenku węgla w wodzie wyliczano z następującego wzoru:

$$x_A = \frac{1,8 f V_{\text{NaOH}}}{1000 V_p} \frac{\text{kmol CO}_2}{\text{kmol H}_2\text{O}} \quad (7)$$

f - miarno roztworu NaOH

V_{NaOH} - objętość zużytego roztworu NaOH w ml

V_p - objętość pobranej próbki w ml.

Ciśnienie panujące w pomieszczeniu P_{ot} mierzono przy pomocy barometru rtęciowego z dokładnością do $0,1\text{ mm Hg}$.

Nadciśnienie panujące w aparacie mierzono przy pomocy U-rurki wypełnionej wodą.

Ciśnienie gazu w procesie obliczano jako sumę ciśnienia otoczenia i nadciśnienia gazu w aparacie. Nadciśnienie to mierzono względem ciśnienia otoczenia w milimetrach słupa wody, a następnie przeliczano na torry Tr. Tak obliczone ciśnienie jest sumą ciśnień cząstkowych wszystkich składników gazu. Dla określenia zawartości dwutlenku węgla w gazie przeprowadzono szereg analiz na aparacie Orsata. Stwierdzono, że zawartość czystego składnika wahała się w granicach od 98% do 100%. Całkowite ciśnienie gazu na zwierciadle cieczy wyliczano z następującego równania:

$$P_z = p_{Az} + p_{iz} + p_{H_2O_z} = P, \quad (8)$$

stąd

$$p_{Az} = P - p_{iz} - p_{H_2O_z}$$

przy założeniu na podstawie analiz

$$p_{iz} = 0,01 P$$

otrzymujemy:

$$p_{Az} = 0,99 P - p_{H_2O_z}. \quad (9)$$

Tak obliczoną wartość ciśnienia dwutlenku węgla na zwierciadle cieczy stosowano dla obliczenia stężenia dwutlenku węgla na zwierciadle cieczy posługując się prawem Henry'ego

$$X_{Az} \cong x_{Az} = \frac{p_{Az}}{H} \quad (10)$$

H - jest wartością stałej Henry'ego dla temperatury procesu.

Po ukończeniu każdej serii badań przeprowadzano dodatkowo sprawdzającą analizę z przestrzeni wewnętrznej aparatu, która zawsze potwierdzała, że nie zachodzi gromadzenie się inertów.

Dane pomiarowe oraz wyliczeniowe zestawiono w tabelicy 1 umieszczonej na końcu pracy.

Czynną powierzchnię absorbera przyjęto jako powierzchnię geometryczną wypełnienia. Obliczano ją osobno dla każdego wypełnienia wzorem (6). Wzór ten uwzględnia budowę wypełnienia (rys. 4), gdzie każda warstwa listw jest spięta dwoma listwami poprzecznymi oraz wymiary niezmienne (rys. 5) dla wszystkich pięciu stosowanych w doświadczeniach wypełnień. Wielkości s , t , l , c są stałe, zmienne jest tylko h . Dla poszczególnych wypełnień wyliczone powierzchnie podaje poniższa tabela.

h m	F m ²	n
0,026	1,6254	20
0,050	1,4471	10
0,075	1,3900	7
0,101	1,3444	5
0,127	1,3412	4

Wzór do obliczania powierzchni F tu stosowany, jest różny od podawanych przez innych autorów [18, 19]. Różnice wynikają z większej dokładności tu stosowanych wyliczeń (wzory stosowane dla celów projektowych pomijają powierzchnie ścian czokowych oraz listw spinających, nie uwzględniają również powierzchni styku poszczególnych listw).

5. Opracowanie wyników doświadczalnych

Ogółem dla pięciu przebadanych wypełnień otrzymano 105 punktów pomiarowych.

Dla rozpatrywanego przypadku tj. dla dyfuzji przez warstwę graniczną składnika A przez inert (przy pominięciu ewentualnej desorpcji tlenu i azotu z wody) należy stosować zgodnie z zaleceniem [20] następujący wzór na moduł napędowy

$$\Delta \Pi_A = \frac{\Delta X_A}{(1 + X_A)_m} \quad (11)$$

Wobec bardzo małych wartości X_A ($0,5 \times 10^{-3}$) powyższy wzór można uprościć

$$\Delta \Pi_A \approx \Delta X_A \quad (12)$$

W poszczególnych przekrojach moduły napędowe przyjmą postać

$$I \quad \Delta \Pi_{A1} = X_{A2} - X_{A1} = \Delta X_{A1}$$

$$II \quad \Delta \Pi_{A2} = X_{A2} - X_{A2} = \Delta X_{A2}$$

Dla uproszczenia obliczania liczby Sherwooda

$$Sh_z = \frac{\beta'_A v'_z \delta}{D_A}$$

posłużono się bezwymiarową zmodyfikowaną liczbą Stantoną

$$St'_z = \frac{Sh_z}{Re_z Sc} \quad (13)$$

Po podstawieniu w równanie (13)

$$Sh_z = \frac{\beta'_A v'_z \delta}{D_A} \quad Re_z = \frac{4\Gamma}{\delta} \quad Sc = \frac{\eta}{M D_A}$$

otrzymamy:

$$St'_z = \frac{\beta'_A v'_z M}{4\Gamma} \quad (14)$$

Współczynnik wnikania masy można przedstawić opierając się na definicyjnym równaniu

$$G'_A = \beta'_A F \Delta \Pi_{Am} \quad (15)$$

oraz równaniu bilansu masowego

$$G'_A = G'_w (X_{A2} - X_{A1}) \quad (16)$$

Z porównania obu tych zależności współczynnik wnikania masy określa związek

$$\beta'_A = \frac{G'_w (X_{A2} - X_{A1})}{F \Delta \Pi_{Am}} \quad (17)$$

Wstawiając β'_A z równania (17) do równania (14) oraz uwzględniając zależność (12) otrzymamy

$$St'_z = \frac{G'_w (X_{A2} - X_{A1}) v_z^2 M}{4 \Gamma F \Delta X_{Am}} \quad (18)$$

ponieważ

$$M \cong M_w$$

$$G'_w M = G_w$$

Wstawiając tę zależność do równania (18) otrzymamy

$$St_z = \frac{G_w (X_{A2} - X_{A1}) v_z^2}{4 \Gamma F \Delta X_{Am}} \quad (19)$$

Średnie wartości modułu napędowego obliczano stosując umownie średnią logarytmiczną

$$\Delta X_{Am} = \frac{\Delta X_{A1} - \Delta X_{A2}}{\frac{\Delta X_{A1}}{\Delta X_{A2}}} \quad (20)$$

Średnia logarytmiczna uzasadniona wprawdzie teoretycznie tylko przy stałym współczynniku lokalnym oraz dla spływu burzliwego, stosowana jest jednak umownie również w równaniach opisujących ten rodzaj wnikania masy [20].

Wstawiając wartość na ΔX_{Am} z równania (20) do równania (19) otrzymujemy:

$$St'_z = \frac{G_w (X_{A2} - X_{A1}) v_z^2}{4 \Gamma F \frac{(\Delta X_{A1} - \Delta X_{A2})}{\ln \frac{\Delta X_{A1}}{\Delta X_{A2}}}} \quad (21)$$

a ponieważ

$$\Delta X_{A1} = X_{Az} - X_{A1}$$

$$\Delta X_{A2} = X_{Az} - X_{A2}$$

to

$$\Delta X_{A1} - \Delta X_{A2} = X_{A2} - X_{A1}$$

wstawiając to do równania (21) otrzymujemy

$$St'_z = \frac{G_w v_z^2}{4 \Gamma F} \ln \frac{\Delta X_{A1}}{\Delta X_{A2}} \quad (22)$$

$$\frac{G_w}{\Gamma} = 0 \quad 0 = 6 \cdot 2 \cdot 1 = 12 \text{ l}$$

wstawiając te zależności do (22)

$$St'_z = \frac{3 \text{ l } v_z^2}{F} \cdot \ln \frac{\Delta X_{A1}}{\Delta X_{A2}} \quad (23)$$

Po obliczeniu liczb Stanton, liczby Sherwooda wyliczono z następującej zależności

$$Sh_z = St'_z \cdot Re_z \cdot Sc \quad (24)$$

Zasadnicze dane pomiarowe oraz wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.

W celu dokonania wstępnej oceny uzyskanego materiału doświadczalnego naniesiono otrzymane punkty doświadczalne na wykres o współrzędnych $Sh_z - Re_z$ (rys. 6). Dla porównania otrzymanych wyników z wartościami otrzymanymi przez autorów [5, 6, 8, 10, 11] sporządzono wykres o współrzędnych $Sh_z - Re_z$ i wrysowano na niego linie obrazujące równania powyższych autorów oraz wyniki własne (rys. 10). Oznaczenia linii podano na str. 28.

Następnie sporządzono dla własnych punktów doświadczalnych wykres o współrzędnych

$$\frac{Sh_z}{Sc^{0,33} \left(\frac{\nu_z}{h}\right)^{0,102}} = f(Re_z) \quad (\text{rys. 7})$$

Ten wykres spowodował większe skupienie punktów i wyeliminowanie niedokładności wykresu o współrzędnych $Sh_z = f(Re_z)$ na skutek zmienności wartości liczby Schmidta i simpleksu $\frac{\nu_z}{h}$.

Analiza powyższych wykresów pozwoliła wysunąć następujące wnioski:

- 1) Otrzymano dobre skupienie punktów doświadczalnych.
- 2) Rozmieszczenie punktów pomiarowych wskazuje na istnienie jednego zakresu dla wszystkich przebadanych liczb Reynoldsa. Jest to uzasadnione teoretycznie, gdyż przebadano zakres liczb Reynoldsa od 107-415 należących do spływu uwarstwionego.
- 3) Porównanie własnych wyników liczbowych z wynikami innych autorów wskazuje, że nasze leżą powyżej wartości uzyskanych z równania opisującego spływ po ścianie płaskiej. Te różnice są zrozumiałe i nie wymagają bardziej szczegółowych wyjaśnień.

W porównaniu z wynikami otrzymanymi z równań Kuzniecowa wyniki własne leżą nieco niżej.

Przyjęto więc dla całego przebadanego zakresu jedną postać ogólnego równania korelacyjnego w następującej postaci:

$$Sh_z = C Re_z^a Sc^{0,33} \left(\frac{\nu_z}{h}\right)^b$$

Dla wyznaczenia stałej C oraz wykładników potęgowych a i b posłużono się postacią liniową tego równania

$$\ln \frac{Sh_z}{Sc^{0,33}} = \ln C + a \cdot \ln Re_z + b \cdot \ln \left(\frac{v_z}{h}\right)$$

Obliczenia wykonano w Ośrodku Resortowym Maszyn Matematycznych przy Biurze Projektowym "Prosynchem" w Gliwicach, na maszynie cyfrowej ZAM 2, metodą najmniejszych kwadratów. Sprawdzenie obliczenia oraz ocenę dokładności korelacji przeprowadzono na maszynie cyfrowej ZAM 41.

Otrzymano następujące wartości dla stałej C oraz wykładników potęgowych a i b

$$C = 0,080574$$

$$a = 0,400653$$

$$b = 0,101678$$

Po przybliżeniu wartości do trzech miejsc znaczących uzyskano następującą postać równania

$$Sh_z = 0,0806 Re_z^{0,401} Sc^{0,33} \left(\frac{v_z}{h}\right)^{0,102} \quad (25)$$

Na rysunku 8 przedstawiono zależności między wartościami liczb Sherwooda obliczonymi z równania korelacyjnego z wartościami doświadczalnymi

$$\left(Sh_z\right)_{\text{dośw.}} = f\left(Sh_z\right)_{\text{obl.}}$$

a na rys. 9 zależność pomiędzy

$$\frac{\left(Sh_z\right)_{\text{dośw.}}}{\left(Sh_z\right)_{\text{obl.}}} = f\left(Sh_z\right)_{\text{dośw.}}$$

Z powyższych wykresów wynika, że rozrzut punktów nie przekracza $\pm 10\%$. Tylko bardzo nieliczne punkty leżą poza tym zakresem.

Obliczone błędy średnie przeciętnych wartości wyznaczonych w stałej C oraz wykładników potęgowych są następujące:

$$S_{\log C} - 0,1241$$

$$S_a - 0,01683$$

$$S_b - 0,02132$$

Niezależnie od błędów obserwacji należałoby rozpatrzyć błędy systematyczne pomiarów. Do tego rodzaju błędów należy zaliczyć błędy popełniane przy wyznaczaniu temperatury spływającego filmu, błędy pomiaru natężenia przepływu cieczy, błędy wynikłe z przyjęcia stałej zawartości CO_2 w gazie, w ilości 99%, błędy wynikłe z dokładności metody analitycznej oznaczania CO_2 w wodzie oraz błędy wynikłe z przyjęcia za powierzchnie wymiany masy, powierzchni geometrycznej wypełnienia.

Rozpatrzmy po kolei wszystkie powyższe źródła błędów systematycznych:

Temperatury wody wlotowej i wylotowej mierzone z dokładnością $0,1^\circ\text{C}$ były bliskie. Różnica nie przekraczała 1°C . Błędy więc popełnione przy przyjmowaniu temperatury spływającego filmu, jako średniej z tych dwóch temperatur, nie mogły być znaczne.

Natężenie przepływu cieczy mierzone przy pomocy specjalnie sprawdzanych rotametrów.

Na podstawie analiz przyjęto w obliczeniach, że gaz zawiera średnio 99% dwutlenku węgla. Wartości zmierzone wahały się od 98%–100%. Przyjęcie za miarodajne skrajnych zmierzonych wartości spowodowałoby maksymalne odchyłki wartości liczb Sherwooda około 2% w stosunku do obliczonych przy założeniu, że gaz zawiera 99% CO_2 .

Stężenie dwutlenku węgla w wodzie zasilającej i opuszczającej urządzenie oznaczano przy pomocy miareczkowania, stosowano ogólnie przyjętą metodę analityczną, przy czym występowanie jakichś zasadniczych błędów systematycznych było w zasadzie niemożliwe.

Przyjęcie w obliczeniach za powierzchnię wymiany masy powierzchni mniejszej, tj. powierzchni wypełnienia, powoduje otrzymanie większych wielkości na współczynniki wnikania masy β_{Ac} . Nadmienić tu należy, że

te różnice są minimalne dla tego rodzaju wypełnienia, gdzie głównymi elementami są ścianki płaskie pionowe. Biorąc jednak pod uwagę, że wzór otrzymany z niniejszej pracy będzie służył projektantom urządzeń technicznych, którzy również w miejsce powierzchni wymiany masy będą używać powierzchni wypełnienia, żaden błąd nie zostanie popełniony.

Wpływ dna aparatu został omówiony na str. 17.

Ogólnie można stwierdzić, że rozpatrując metodykę pomiarową stosowaną w niniejszej pracy dochodzimy do wniosku, że większe błędy systematyczne nie mogły być popełnione.

6. Omówienie wyników

Na podstawie opracowania 105 punktów doświadczalnych otrzymano następujące równanie empiryczne:

$$Sh_z = 0,0806 Re_z^{0,401} Sc^{0,33} \left(\frac{v_z}{h}\right)^{0,102} \quad (26)$$

Równanie to jest ważne dla zakresu przebadanych liczb Reynoldsa, tzn.

$$107 \leq Re_z \leq 415$$

Ewentualne ekstrapolowanie jest możliwe, lecz tylko w kierunku mniejszych liczb Reynoldsa. Nie zachodzi bowiem wtedy obawa o zmianę charakteru spływu.

Na rysunku 10 przedstawiono zależności $Sh_z = f(Re_z)$ dla trzech autorów oraz wyniki własnych doświadczeń. Numeracja linii na wykresie jest następująca:

- 1 - M.D. Kzniecowa [10, 11]
- 2 - T. Hobler, S. Kędziński [5, 6]
- 3 - K.A. Morris, J. Jackson [8]
- 4 - badania własne.

Nadmienić należy, że wszystkie linie otrzymano wstawiając przy wyliczeniu jako wysokość $h = 125$ mm, tj. wysokość elementu wypełnienia.

Aby porównać wyniki własne z wynikami uzyskanymi przez innych autorów, należy rozpatrzeć dwie sprawy. Wielkości otrzymanych liczb Sher-

wooda, a tym samym i współczynników wnikania masy β_{Ac} z poszczególnych równań oraz wpływ poszczególnych modułów Re_z , $Sc \left(\frac{v_z}{h}\right)$.

Analiza wykresu (rys. 10) wskazuje, że linia otrzymana na podstawie własnych badań leży nieco poniżej linii otrzymanej przez Kuzniecowa [10]. W porównaniu z linią otrzymaną z równania Morrisa, Jacksona [8] własne wyniki dla mniejszych liczb Reynoldsa leżą nieco powyżej, dla wyższych zaś nieco poniżej. W porównaniu z linią reprezentującą ścianę płaską [5, 6] linia własna leży znacznie wyżej.

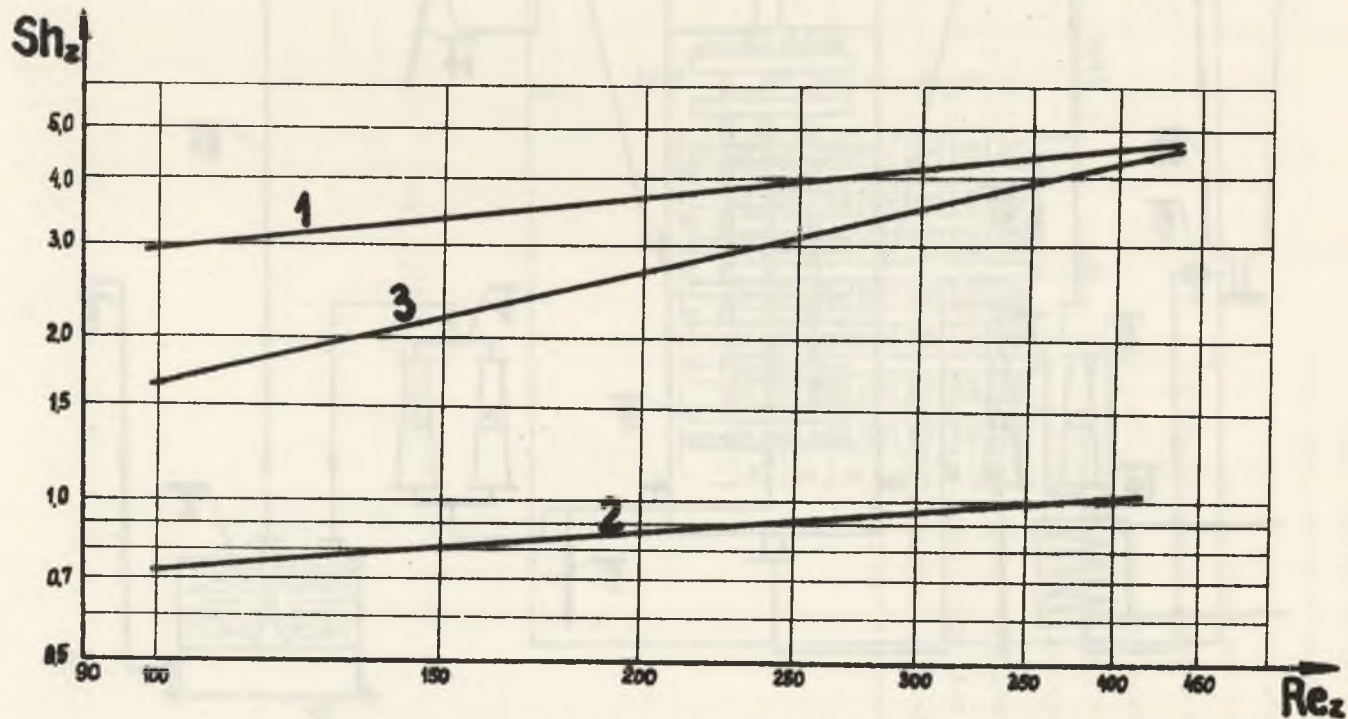
Wykładnik potęgowy przy liczbie Reynoldsa otrzymano w niniejszej pracy $a = 0,401$. Jest on najbliższy takiemu wykładnikowi otrzymanemu przez Kuzniecowa [10] ($a = 0,324$), lecz dużo mniejszy niż proponują Morris i Jackson [8] ($a = 0,7$). Tak duży wykładnik potęgowy, stosowany przez ww. autorów, specjalnie duże rozbieżności z wynikami własnymi i Kuzniecowa da w zakresie małych liczb Re_z (takie małe liczby $Re_z \approx 10$ spotykamy w płuczkach benzolowych). Wykładniki potęgowe otrzymane przez [2, 4, 5] mieszczą się między 0,111-0,33 i mniej nadają się do porównania z badaniami własnymi ze względu na charakter procesu.

W niniejszej pracy otrzymano wykładnik potęgowy przy simpleksie $\left(\frac{v_z}{h}\right)$ $b = 0,101$. Jest on bliski zarówno wynikom otrzymanym przez Hobblera i Kędzierskiego [5, 6] $b = 0,144$, jak również przez Morrisa, Jacksona [8], jest on tu uwzględniony w współczynniku wypełnienia R_c , który jest funkcją wysokości elementu wypełnienia, natomiast dość odległy od wyników otrzymanych przez [2, 4, 10].

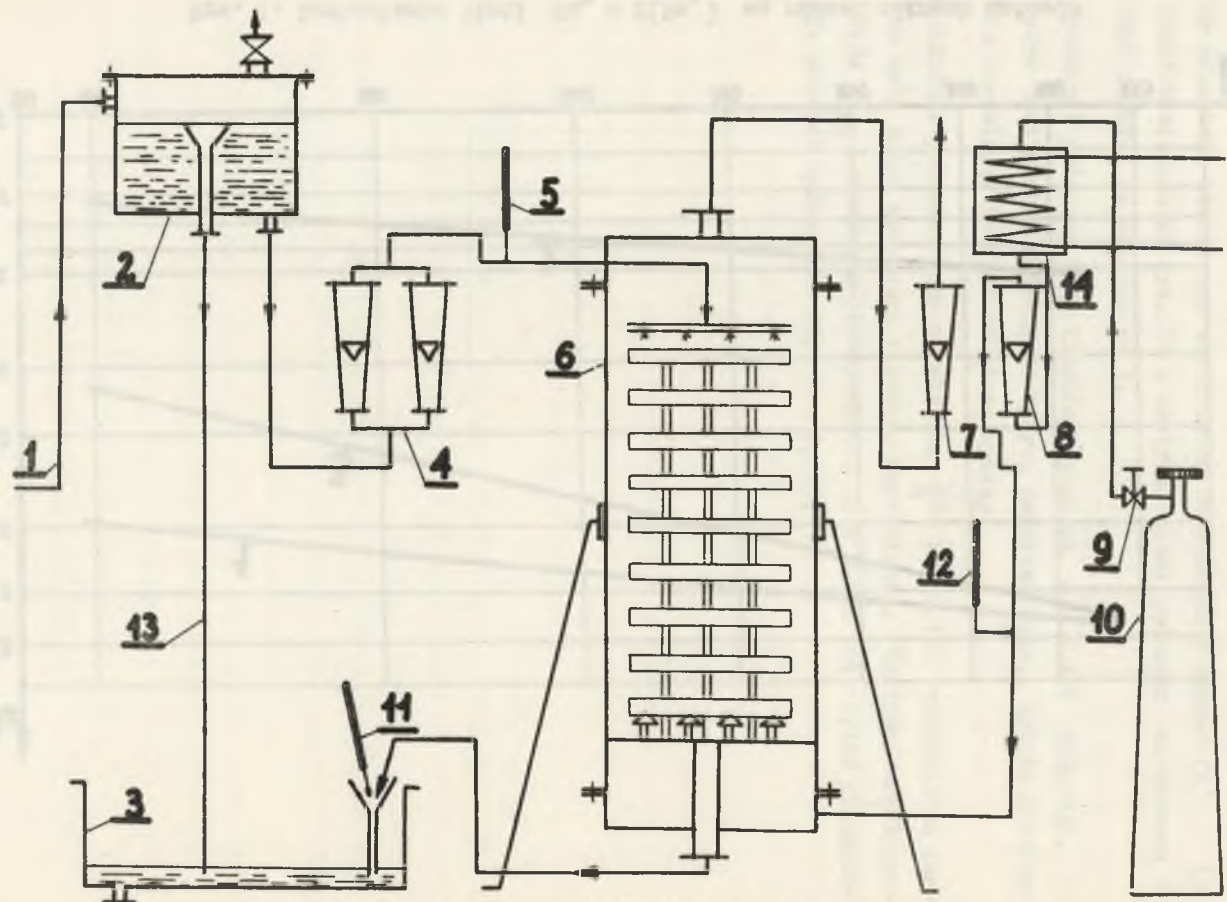
W równaniu Kuzniecowa [10] wykładnik potęgowy jest bardzo duży $b = 0,503$. Otrzymane więc wielkości współczynników β_{Ac} według tego autora dla skrajnych stosowanych wysokości elementu $h = 0,025$ i $h = 0,125$ będą różniły się $\sqrt{5}$ razy na korzyść najmniejszych "h" (rys. 11). Taki wpływ nakazywałoby w praktyce stosować jak najmniejsze "h", gdyż pozwalałoby to na otrzymanie przeszło 2 razy większych współczynników β_{Ac} . Ani badania własne, ani praktyka przemysłowa, ani wyniki innych autorów [8] nie potwierdzają tego spostrzeżenia.

7. Wnioski

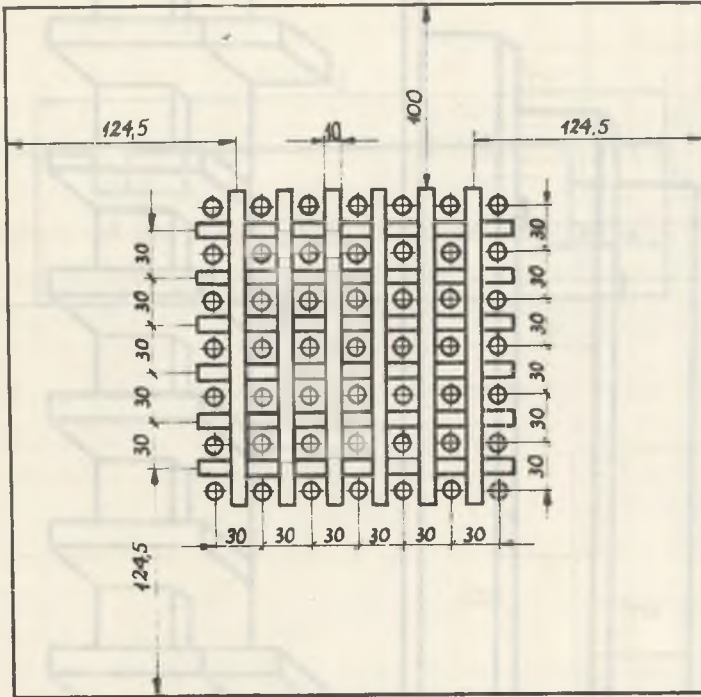
- 1) Współczynnik wnikania masy β_{Ac} otrzymany w niniejszej pracy jest $\sim 3,5$ razy większy od współczynników otrzymanych z równania dla ściany płaskiej, bliski zaś wielkościom otrzymanym z równań (1) i (3) przedstawionych na rys. 10 z zastrzeżeniami podanymi na stronie 29 oraz poniżej we wniosku nr 3.
- 2) Wykładnik potęgowy przy liczbie Reynoldsa $a = 0,401$ wskazuje, że spływ jest raczej podobny do spływu uwarstwionego, lekkie zaburzenia sprawiają, że jest on nieco wyższy.
- 3) Wykładnik potęgowy przy simpleksie $\frac{\sqrt{z}}{h}$ $b = 0,102$ wskazuje na bardzo mały wpływ wysokości elementu wypełnienia. Wartości współczynników β_{Ac} otrzymane dla wysokości $h = 0,025$ są tylko kilkanaście procent wyższe niż dla $h = 0,125$.



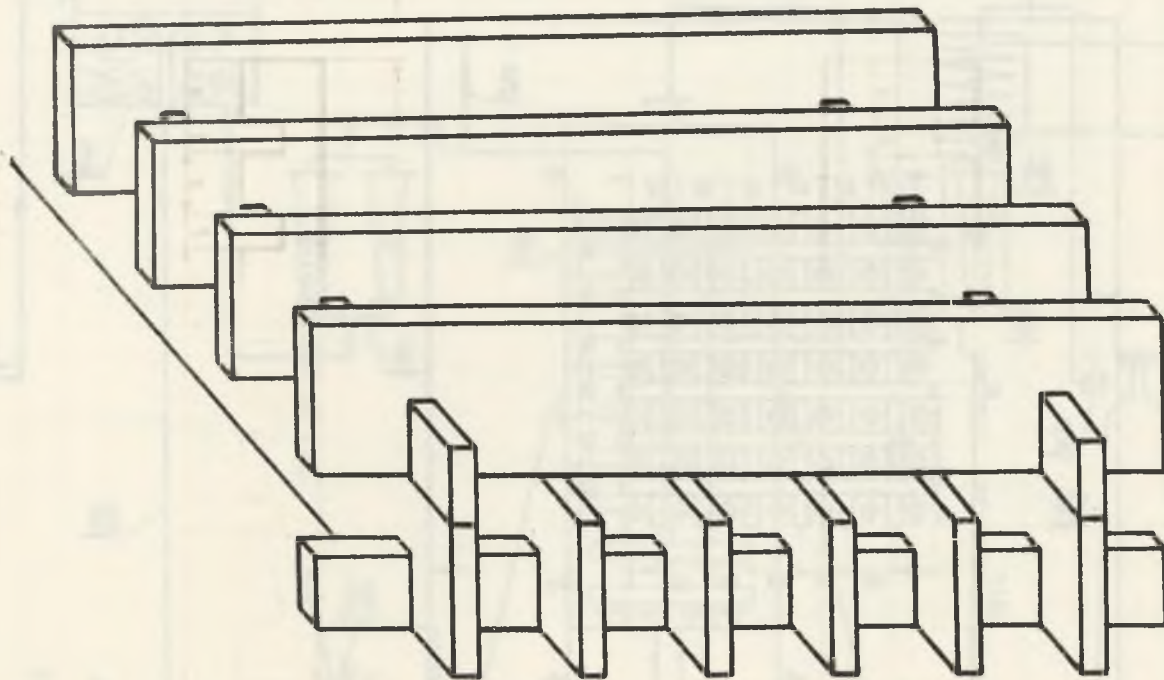
Rys. 1. Zestawienie linii $Sh_z = f(Re_z)$ wg równań różnych autorów



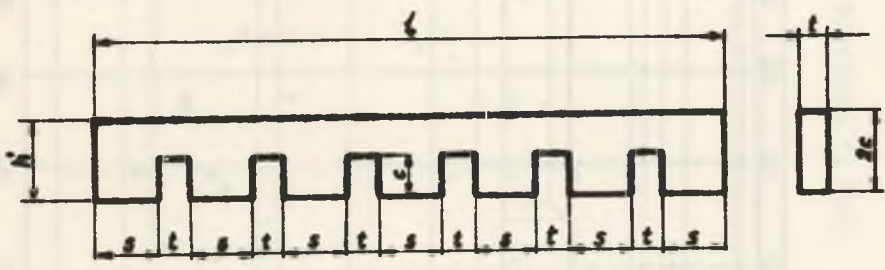
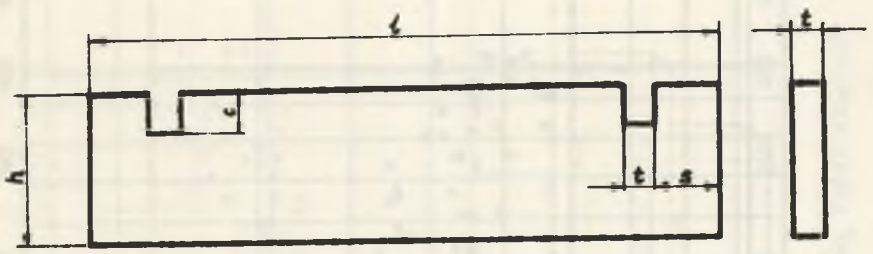
Rys. 2. Schemat instalacji badawczo-pomiarowej



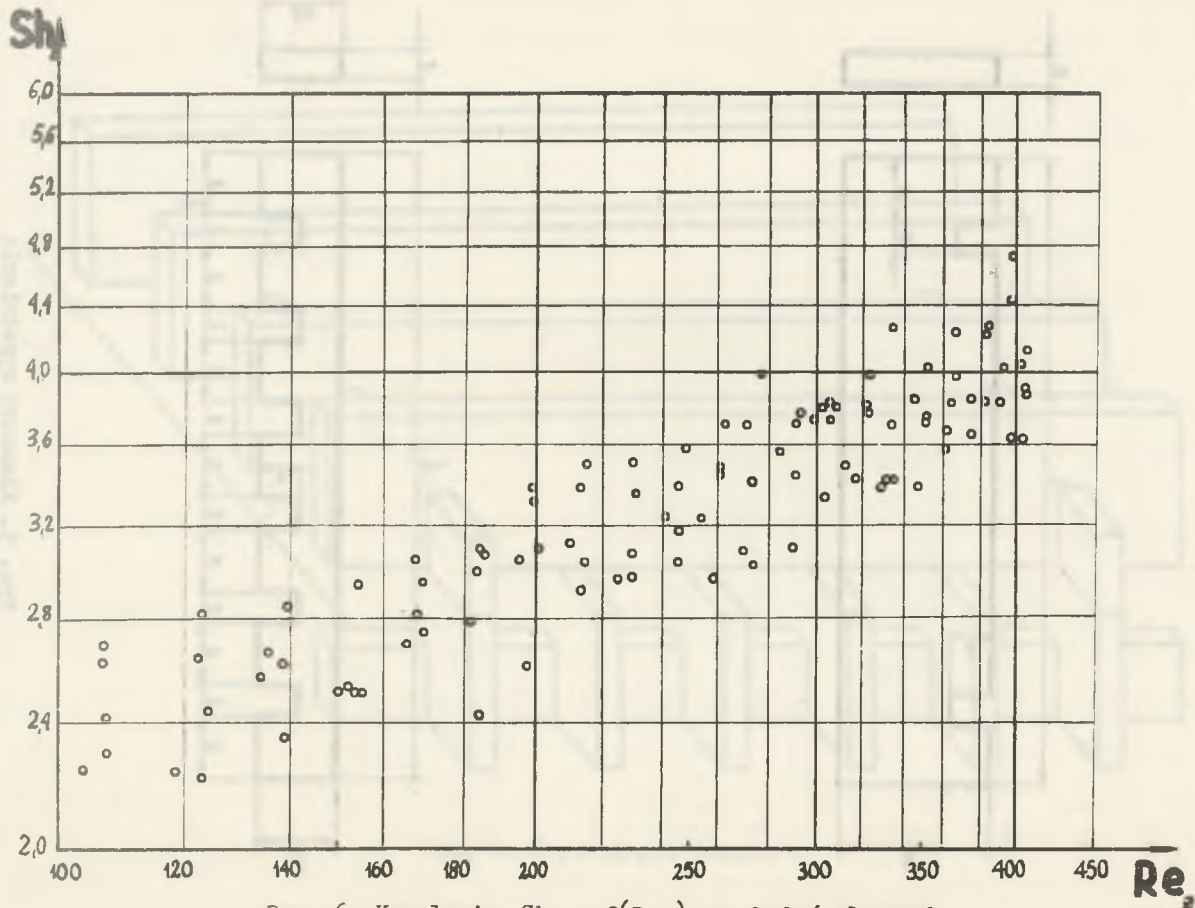
Rys. 3. Dolna pólka



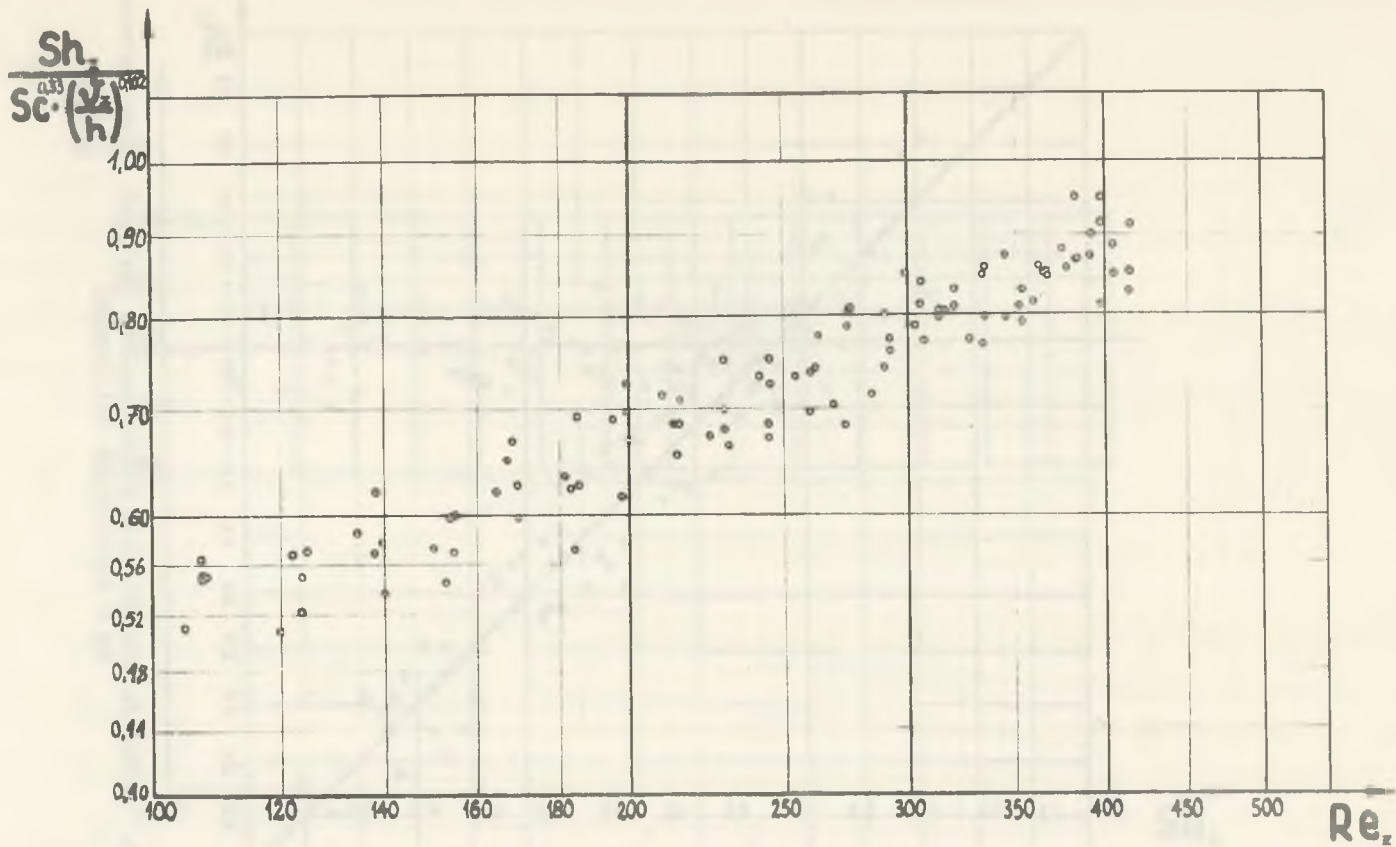
Rys. 4. Wypełnienie rusztowe



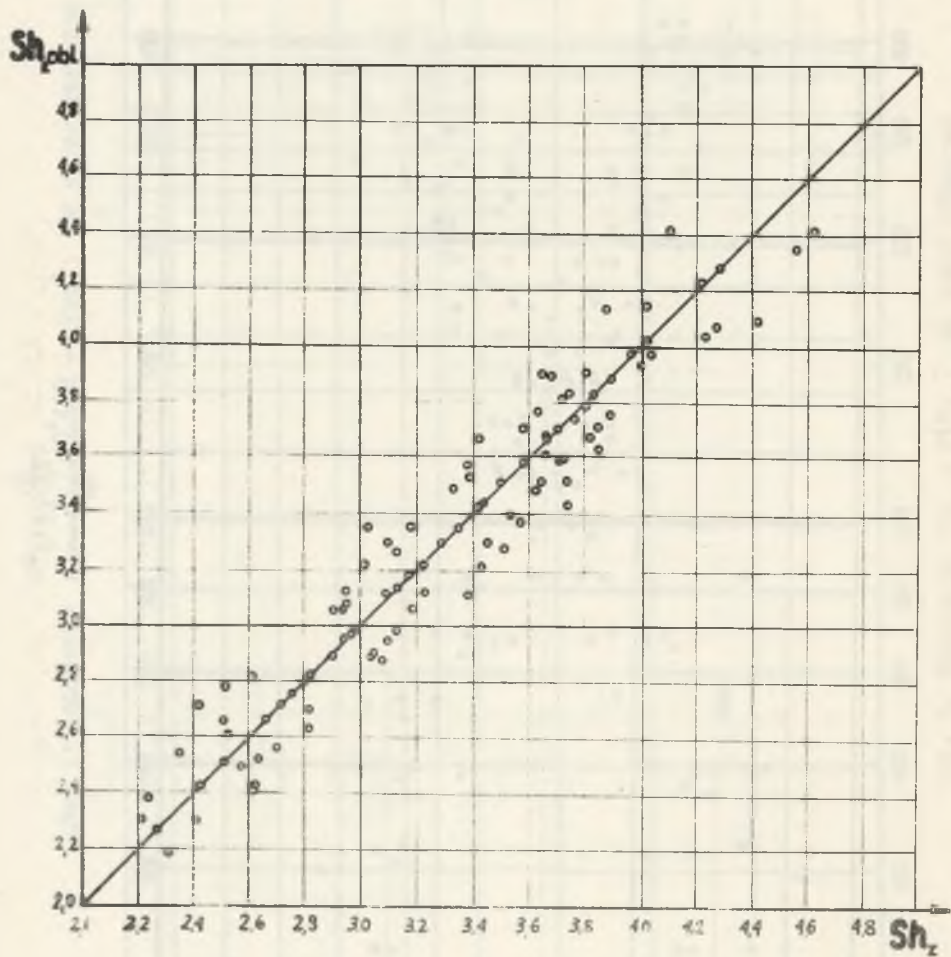
Rys. 5. Elementy wypełnienia



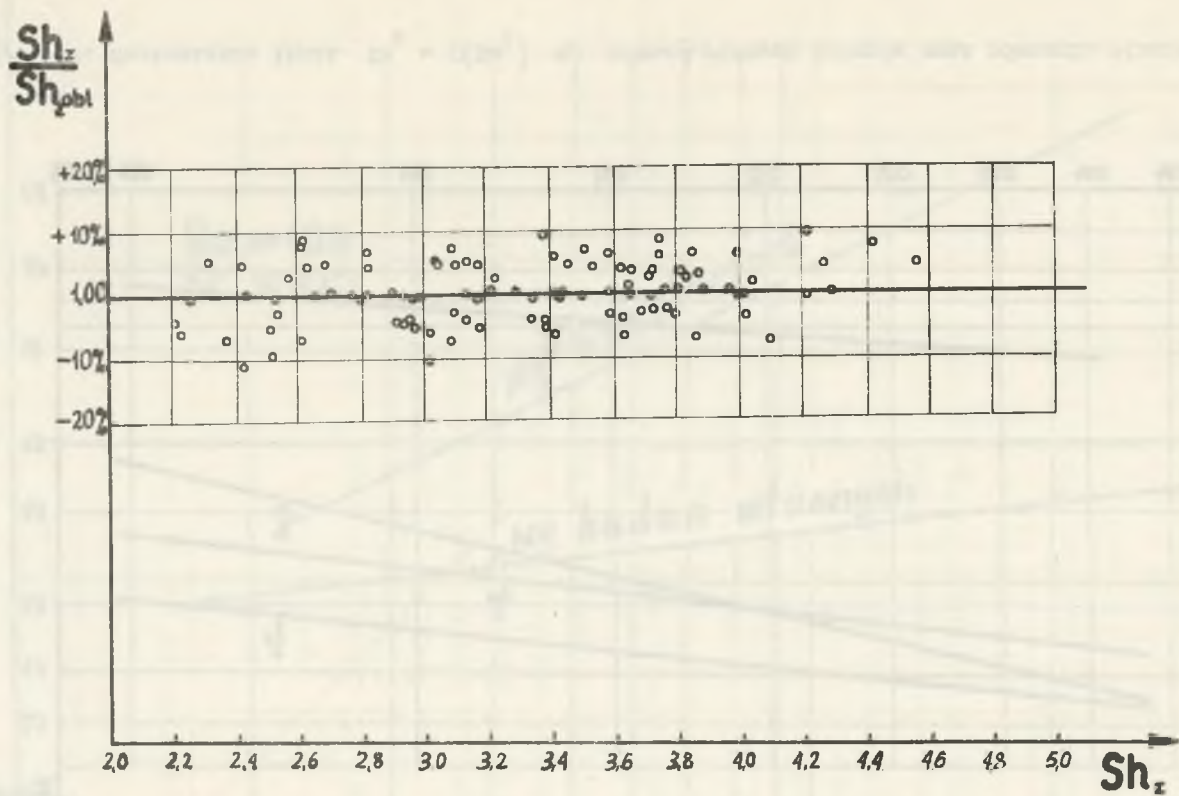
Rys. 6. Korelacja $Sh_z = f(Re_z)$ wg badań własnych



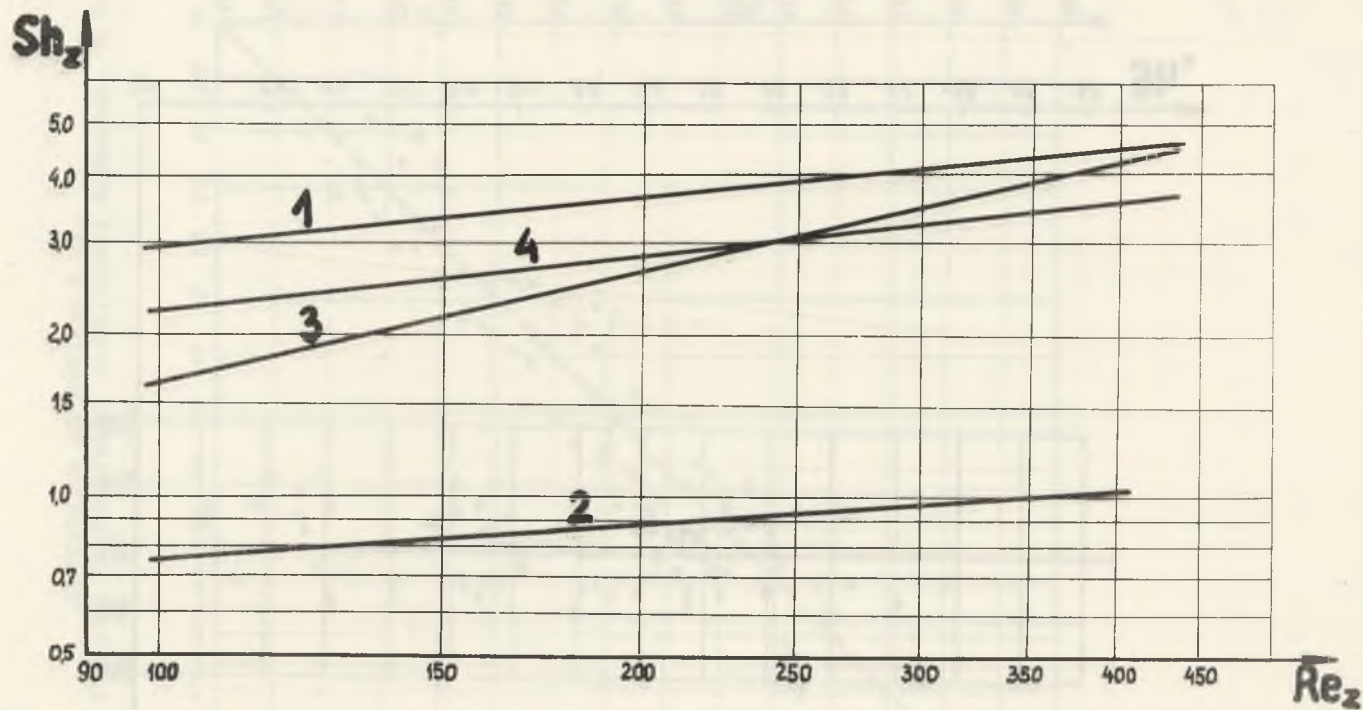
Rys. 7. Korelacja $\frac{Sh}{Sc^{0,33} \left(\frac{\nu}{\alpha}\right)^{0,102}} = f(Re_z)$ wg badań własnych



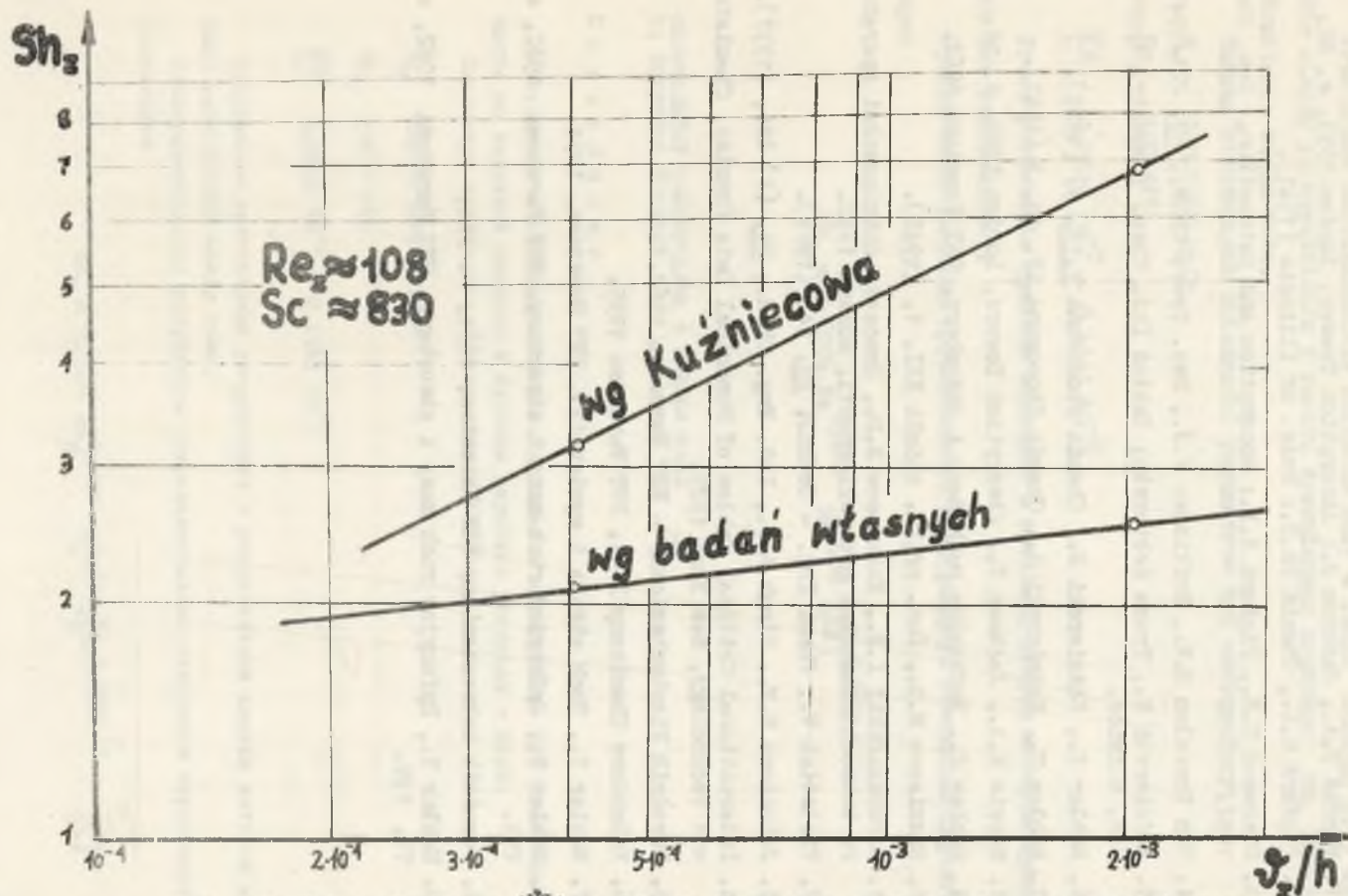
Rys. 8. Porównanie znalezionych doświadczalnie wartości liczb Sherwooda z wartościami obliczonymi



Rys. 9. Zależność $\frac{Sh_z}{Sh_{zobl}} = f(Sh_z)$



Rys. 10. Zestawienie linii $Sh_z = f(Re_z)$ wg równań różnych autorów oraz równania własnego



Rys. 11. Wpływ simpleksu ($\frac{g_2}{h}$) na liczbę Sherwoda wg Kuzniecowa oraz badań własnych

LITERATURA

1. Morris K.A., Jackson J.: Absorption Towers, London 1953, s. 82.
2. Pigford R.L., Thesis Ph.D.: Univ. of Illinois (1941).
3. Sherwood T.K., Pigford R.L.: Absorption and Extraction, New York 1952.
4. Van Krevelen D.W., Hofstijzer P.J., Rec. Trav. Chim., 68, 221,(1949).
5. Kędzierski S., Praca doktorska; Zakład Inż. Chem. i Konstr. Aparat PAN, Gliwice.
6. Hobler T., Kędzierski S., Chemia Stosowana V,1B, 3, (1968).
7. Hobler T., Kędzierski S., Chemia Stosowana IV, 1B, 3 (1967).
8. Morris K.A., Jackson J., Absorption Towers, London 1953, s. 18.
9. Hobler T., Dyfuzyjny ruch masy i absorberzy, WNT Warszawa 1962.
10. Kuzniecowa M.D., Żur. prikl. chimi XXI, 1, (1948).
11. Korobczarskij I.E., Kuzniecowa M.D., Raszchety chemiczeskoj aparatury koksochimiczeskoj promyszlenosti, Moskwa 1952.
12. Vielstich W., Chem. Ing. - Techn., 28, 543,(1956).
13. Johnstone H.F., Singh A.O., Ind. Eng. Chem., 29, (3) 286, (1937).
14. International Critical Tables of Numerical Data Physics, Chemistry and Technology, New York 1929.
15. Poradnik Fizykochemiczny - WNT Warszawa 1962.
16. Kalendarz Chemiczny II-1, PWT Warszawa 1955.
17. Hobler T., Ruch ciepła i wymienniki. PWT Warszawa, 1954.
18. Hobler T., Dyfuzyjny ruch masy i absorberzy. WNT Warszawa 1962, s. 219.
19. Poradnik koksochemika, WGH Katowice, 1954, s. 354.
20. Hobler T., Dyfuzyjny ruch masy i absorberzy. WNT Warszawa 1962, s. 77, 139.

Streszczenie

Przebadano doświadczalnie wnikanie masy w fazie ciekłej przy spływie cieczy po wypełnieniu z rusztu drewnianego prostego na układzie dwutlenek węgla-woda.

Zakres stosowanych zmienności parametrów był następujący:

$$G_w \quad 280-1080 \text{ kg/h}$$

$$Re_z \quad 107-415$$

$$\frac{v_z}{h} \quad 0,2026 \cdot 10^{-2} - 0,4163 \cdot 10^{-3}$$

Przez porównanie wyników własnych z wynikami innych autorów wykazano ich rozbieżności.

Wyniki doświadczalne aproksymowano następującym równaniem kryterialnym:

$$Sh_z = 0,0806 Re_z^{0,401} Sc^{0,33} \left(\frac{v_z}{h}\right)^{0,102}$$

КОЭФФИЦИЕНТ МАССООБМЕНА В ЖИДКОЙ ФАЗЕ
НА ХОРДОВОЙ НАСАДКЕ β_{AC}

Содержание

Исследован экспериментально массообмен в жидкой фазе при течении жидкости по хордовой насадке в системе двуокись углерода - вода.

Параметры изменялись в следующем интервале:

$$G_w \quad 280 - 1080 \text{ кг/час}$$

$$Re_z \quad 107 - 415$$

$$\frac{v_z}{h} \quad 0,2026 \cdot 10^{-2} - 0,4163 \cdot 10^{-3}$$

Сравнением собственных результатов с результатами других авторов доказаны расхождения между ними.

Экспериментальные результаты аппроксимированы следующим корреляционным уравнением

$$Sh_z = 0,0806 Re_z^{0,401} Sc^{0,33} \left(\frac{v_z}{h}\right)^{0,102}$$

LIQUID - PHASE MASS TRANSFER COEFFICIENT β_{Ac} ON THE WOODEN
GRID PACKING

S u m m a r y

Mass transfer in the liquid phase at the liquid flow down a wooden grid packing, in the system carbon dioxide - water, has been studied.

The variability range of the parameters used was as follows:

G_w 80-1080 kg/hr.

Re_z 107-415

$\frac{v_z}{h}$ $0,2026 \times 10^{-2} - 0,4163 \times 10^{-3}$

The comparison of the own results with those of other authors has displayed the divergencies between them.

The experimental results have been approximated by the following correlation equation

$$Sh_z = 0,0806 Re_z^{0,401} Sc^{0,33} \left(\frac{v_z}{h}\right)^{0,102}$$

[1] Tablice danych pomiarowych i obliczeniowych

Lp.	t°C	$\frac{G_w}{h}$	$\frac{\sqrt{h}}{m \cdot h}$	Re _z	Sc	$h \cdot 10^3$	$\frac{v_z}{h} \cdot 10^3$	$\frac{\Delta P}{Tr}$	$\frac{P_{H_2O}}{Tr}$	$\frac{P_{ot}}{Tr}$	$\frac{P}{Tr}$	$\frac{P_{AZ}}{Tr}$	$X_{AZ} \cdot 10^3$	$X_{A1} \cdot 10^6$	$X_{A2} \cdot 10^3$	$\frac{F}{m^2}$	$St'_z \cdot 10^5$	Sh _z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	13,2	279,819	116,01	107,58	827,33	26	2,029	2,58	11,34	741,2	743,77	724,99	0,8352	12,5	0,6615	1,6254	3,024	2,692
2	13,3	319,790	133,02	123,68	822,61	26	2,026	2,06	11,41	741,2	743,28	724,44	0,8334	13,1	0,6358	1,6254	2,764	2,812
3	13,3	359,764	149,90	139,40	822,61	26	2,026	1,47	11,41	741,2	742,67	723,83	0,8327	13,0	0,6025	1,6254	2,466	2,828
4	13,3	399,738	166,55	154,88	822,61	26	2,026	1,32	11,41	741,2	742,57	723,73	0,8326	12,9	0,5828	1,6254	2,308	2,940
5	13,2	439,716	183,21	169,92	827,33	26	2,029	0,95	11,34	741,2	742,15	723,39	0,8333	12,7	0,5537	1,6254	2,094	2,944
6	13,2	479,690	199,87	185,37	827,33	26	2,029	1,84	11,34	741,2	743,03	724,26	0,8344	12,3	0,5437	1,6254	2,020	3,100
7	13,2	519,665	216,52	200,81	827,33	26	2,029	1,47	11,34	741,2	742,67	723,90	0,8339	12,3	0,5377	1,6254	1,9848	3,298
8	13,1	559,643	233,18	215,98	829,64	26	2,031	1,84	11,27	741,2	743,03	724,30	0,8349	12,3	0,5363	1,6254	1,9708	3,532
9	13,1	599,622	249,84	231,10	832,02	26	2,031	1,84	11,27	741,2	743,03	724,33	0,8360	12,5	0,4993	1,6254	1,7420	3,350
10	13,1	639,596	266,49	246,50	832,02	26	2,031	1,84	11,27	741,2	743,03	724,33	0,8360	12,6	0,5001	1,6254	1,7456	3,580
11	13,1	679,571	283,15	261,91	832,02	26	2,031	1,47	11,27	741,2	742,67	723,97	0,8356	13,2	0,4890	1,6254	1,6824	3,666
12	13,1	719,546	299,81	277,32	832,02	26	2,031	1,84	11,27	741,2	743,03	724,33	0,8360	13,2	0,4974	1,6254	1,7290	3,990
13	13,1	759,521	316,46	292,72	832,02	26	2,031	1,47	11,27	741,2	742,67	723,97	0,8356	13,2	0,4631	1,6254	1,5420	3,756
14	13,1	799,496	333,12	308,13	832,02	26	2,031	1,10	11,27	741,2	742,30	723,61	0,8351	13,5	0,4512	1,6254	1,4820	3,800
15	13,1	839,470	349,77	323,53	832,02	26	2,031	2,06	11,27	741,2	743,28	724,58	0,8363	13,1	0,4517	1,6254	1,4816	3,988
16	12,8	879,472	366,44	336,63	844,27	26	2,042	1,10	11,08	741,2	742,3	723,80	0,8376	13,1	0,4549	1,6254	1,5022	4,270
17	12,8	919,498	383,12	351,90	844,27	26	2,042	2,58	11,08	741,2	743,78	725,26	0,8444	12,5	0,4276	1,6254	1,3528	4,020
18	12,8	959,425	399,75	367,24	844,27	26	2,042	4,41	11,08	741,2	745,61	727,07	0,8465	12,5	0,4301	1,6254	1,3598	4,216
19	12,8	999,402	416,41	382,54	844,27	26	2,042	4,41	11,08	741,2	745,61	727,07	0,8465	12,7	0,4236	1,6254	1,3290	4,292
20	12,8	1039,378	433,07	397,84	844,27	26	2,042	5,97	11,08	741,2	746,57	728,02	0,8476	12,5	0,4301	1,6254	1,3572	4,560
21	12,8	1079,354	449,72	413,13	844,27	26	2,042	5,55	11,08	741,2	746,75	728,20	0,8478	12,8	0,3865	1,6254	1,1754	4,100



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
22	13,0	279,825	116,59	107,09	833,67	50	1,057	1,10	11,22	742,6	743,70	725,04	0,8384	13,0	0,6223	1,4471	2,9344	2,630
23	13,0	319,800	133,25	122,41	833,67	50	1,057	1,10	11,22	742,6	743,70	725,04	0,8384	12,5	0,5849	1,4471	2,5868	2,640
24	12,8	359,784	149,90	137,91	844,27	50	1,061	1,48	11,08	742,6	744,08	725,55	0,8447	12,5	0,5510	1,4471	2,2898	2,666
25	12,8	399,780	166,56	153,01	844,27	50	1,061	1,48	11,08	742,6	744,08	725,55	0,8447	12,7	0,5021	1,4471	1,9506	2,520
26	12,8	439,736	183,22	168,32	844,27	50	1,061	1,10	11,08	742,6	745,70	725,18	0,8443	12,7	0,5299	1,4471	2,1390	3,040
27	12,8	479,712	199,87	183,61	844,27	50	1,061	1,84	11,08	742,6	744,44	725,91	0,8451	13,0	0,4990	1,4471	1,9288	2,990
28	12,8	519,689	216,53	198,92	844,27	50	1,061	1,48	11,08	742,6	744,08	725,55	0,8447	13,0	0,5119	1,4471	2,0134	3,382
29	12,8	559,665	233,19	214,23	844,27	50	1,061	1,10	11,08	742,6	743,70	725,18	0,8443	13,0	0,4707	1,4471	1,7582	3,180
30	12,8	599,641	249,85	229,53	844,27	50	1,061	1,48	11,08	742,6	744,08	725,55	0,8447	12,8	0,4797	1,4471	1,8122	3,512
31	12,8	639,617	266,50	244,83	844,27	50	1,061	1,48	11,08	742,6	744,08	725,55	0,8447	12,8	0,4317	1,4471	1,5402	3,184
32	12,8	679,593	283,16	260,12	844,27	50	1,061	1,10	11,08	742,6	743,70	725,18	0,8443	12,5	0,4365	1,4471	1,5674	3,442
33	12,8	719,569	299,81	275,43	844,27	50	1,061	1,10	11,08	742,6	743,70	725,18	0,8443	12,5	0,4370	1,4471	1,5696	3,650
34	12,8	759,545	316,47	290,73	844,27	50	1,061	1,84	11,08	742,6	744,44	725,91	0,8451	12,5	0,4275	1,4471	1,5178	3,726
35	12,8	799,521	333,13	306,04	844,27	50	1,061	1,33	11,08	742,6	743,93	725,41	0,8445	12,7	0,4189	1,4471	1,4736	3,808
36	12,7	839,508	349,79	321,35	849,57	50	1,064	1,10	11,01	742,6	743,70	725,25	0,8472	12,8	0,4013	1,4471	1,3810	3,770
37	12,7	879,485	360,45	336,65	849,57	50	1,064	0,88	11,01	742,6	743,48	725,03	0,8469	13,0	0,3849	1,4471	1,3018	3,724
38	12,7	919,461	383,10	351,95	849,57	50	1,064	1,10	11,01	742,6	743,70	725,25	0,8472	13,0	0,3704	1,4471	1,2326	3,686
39	12,7	959,438	399,76	367,24	849,57	50	1,064	1,10	11,01	742,6	743,70	725,25	0,8472	12,5	0,3787	1,4471	1,2724	3,970
40	12,7	999,415	416,42	382,54	849,57	50	1,064	1,48	11,01	742,6	744,08	725,62	0,8476	12,5	0,3712	1,4471	1,2370	4,020
41	12,7	1039,391	433,07	397,84	849,57	50	1,064	1,48	11,01	742,6	744,08	725,62	0,8476	12,5	0,3864	1,4471	1,3074	4,480
42	12,7	1079,368	459,73	413,16	849,57	50	1,064	1,84	11,01	742,6	744,44	725,98	0,8481	12,5	0,3415	1,4471	1,1024	3,870
43	13,4	279,811	116,58	108,80	815,65	75	0,6990	4,08	11,92	743,2	747,24	728,24	0,8361	12,5	0,5884	1,3900	2,7156	2,410
44	13,4	319,784	133,24	124,40	815,65	75	0,6990	3,53	11,92	743,2	746,73	727,74	0,8356	12,5	0,5508	1,3900	2,3948	2,430
45	13,3	359,762	149,90	139,50	820,29	75	0,7005	2,94	11,45	743,2	746,14	727,23	0,8360	12,5	0,5060	1,3900	2,0708	2,370



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
46	13,3	399,735	166,55	155,00	820,29	75	0,7005	3,31	11,45	743,2	746,51	727,59	0,8365	12,5	0,4915	1,3900	1,9724	2,508
47	13,2	439,714	183,21	170,15	824,96	75	0,7020	2,94	11,37	743,2	746,14	727,30	0,8373	12,5	0,4919	1,3900	1,9760	2,772
48	13,1	479,694	199,87	185,13	829,64	75	0,7035	2,43	11,29	743,2	745,63	726,87	0,8378	12,5	0,4978	1,3900	2,0078	3,084
49	13,1	519,669	216,52	200,55	829,64	75	0,7035	3,68	11,29	743,2	746,88	728,11	0,8393	12,5	0,4749	1,3900	1,8640	3,102
50	13,0	559,651	233,18	215,41	833,67	75	0,7050	2,06	11,22	743,2	745,26	726,58	0,8402	12,5	0,4345	1,3900	1,6258	2,920
51	13,0	599,626	249,84	230,79	833,67	75	0,7050	3,68	11,22	743,2	746,88	728,18	0,8421	12,5	0,4365	1,3900	1,6310	3,138
52	13,0	639,601	266,50	246,19	833,67	75	0,7050	5,15	11,22	743,2	748,35	729,62	0,8437	12,5	0,4075	1,3900	1,4694	3,016
53	13,0	679,576	283,15	261,57	833,67	75	0,7050	3,68	11,22	743,2	746,88	728,18	0,8421	12,5	0,4284	1,3900	1,5864	3,460
54	12,9	719,560	299,81	276,19	838,97	75	0,7064	3,68	11,15	743,2	746,88	728,26	0,8450	12,5	0,3745	1,3900	1,3032	3,020
55	12,9	759,536	316,47	291,54	838,97	75	0,7064	1,84	11,15	743,2	745,04	726,44	0,8429	12,5	0,3938	1,3900	1,4072	3,452
56	12,8	799,521	333,13	306,80	844,27	75	0,7079	3,31	11,08	743,2	746,51	727,96	0,8475	12,5	0,4038	1,3900	1,4476	3,750
57	12,8	839,497	349,78	321,34	844,27	75	0,7079	5,15	11,08	743,2	748,35	729,79	0,8496	12,5	0,3885	1,3900	1,3652	3,704
58	12,8	879,473	366,44	336,65	844,27	75	0,7079	1,47	11,08	742,9	744,37	725,85	0,8450	12,8	0,3525	1,3900	1,2030	3,420
59	12,8	919,449	383,10	351,95	844,27	75	0,7079	1,47	11,08	742,9	744,37	725,85	0,8450	12,8	0,3633	1,3900	1,2512	3,718
60	12,8	959,425	399,76	367,26	844,27	75	0,7079	2,21	11,08	742,9	745,11	726,58	0,8459	12,8	0,3584	1,3900	1,2262	3,802
61	12,8	999,402	416,41	382,55	844,27	75	0,7079	1,12	11,08	742,9	744,02	725,50	0,8446	12,8	0,3751	1,3900	1,3094	4,230
62	12,8	1039,37	433,07	397,86	844,27	75	0,7079	1,12	11,08	742,9	744,02	725,50	0,8446	12,8	0,3264	1,3900	1,0834	3,640
63	12,8	1079,35	449,72	413,15	844,27	75	0,7079	1,12	11,08	742,9	744,02	725,50	0,8446	12,8	0,3436	1,3900	1,1610	4,050
64	12,0	279,859	116,60	104,80	884,41	101	0,5345	1,47	10,51	748,6	750,07	732,06	0,8759	13,0	0,5621	1,3444	2,4340	2,256
65	12,0	319,839	133,26	119,77	884,41	101	0,5345	1,32	10,51	748,6	749,92	731,91	0,8758	13,0	0,5177	1,3444	2,1146	2,240
66	12,0	359,819	149,92	134,75	884,41	101	0,5345	1,47	10,51	748,6	750,07	732,06	0,8759	13,0	0,5250	1,3444	2,1648	2,580
67	12,2	399,790	166,57	150,52	874,30	101	0,5323	1,47	10,65	748,6	750,07	731,92	0,8697	13,0	0,4851	1,3444	1,9192	2,526
68	12,3	439,763	183,23	166,03	869,24	101	0,5312	1,47	10,72	748,6	750,07	731,85	0,8607	13,0	0,4768	1,3444	1,8750	2,706
69	12,3	479,742	199,89	181,13	869,24	101	0,5312	1,32	10,72	741,8	743,12	724,96	0,8585	12,7	0,4560	1,3444	1,7758	2,796

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
70	12,1	519,729	216,55	195,16	879,36	101	0,5334	1,47	10,58	741,8	743,27	725,26	0,8648	12,7	0,4575	1,3444	1,7724	3,042
71	12,1	559,708	233,21	210,17	879,36	101	0,5334	1,47	10,58	741,8	743,27	725,26	0,8648	12,7	0,4480	1,3444	1,7020	3,146
72	12,0	599,698	249,87	224,57	884,41	101	0,5345	1,54	10,51	741,8	743,34	725,40	0,8680	12,7	0,4082	1,3444	1,4930	2,966
73	12,2	639,664	266,52	240,84	874,30	101	0,5323	1,47	10,65	741,8	743,27	725,18	0,8617	12,7	0,4140	1,3444	1,5356	3,230
74	12,0	679,658	283,19	254,52	884,41	101	0,5345	1,12	10,51	741,8	742,92	724,98	0,8675	12,7	0,3965	1,3444	1,4340	3,228
75	12,0	719,638	299,84	269,48	884,41	101	0,5345	1,47	10,51	741,8	743,27	725,33	0,8679	12,7	0,3690	1,3444	1,2964	3,090
76	12,0	759,618	316,50	284,45	884,41	101	0,5345	1,47	10,51	741,8	743,27	725,33	0,8679	12,7	0,3949	1,3444	1,4252	3,586
77	12,0	799,598	333,16	299,43	884,41	101	0,5345	1,47	10,51	741,8	743,27	725,33	0,8679	12,7	0,3924	1,3444	1,4122	3,740
78	12,0	839,578	349,82	314,40	884,41	101	0,5345	1,47	10,51	741,8	743,27	725,33	0,8679	12,7	0,3612	1,3444	1,2594	3,502
79	12,0	879,558	366,48	329,37	884,41	101	0,5345	1,47	10,51	748,6	750,07	752,06	0,8759	12,5	0,3432	1,3444	1,1622	3,386
80	12,0	919,538	383,14	344,35	884,41	101	0,5345	1,84	10,51	748,6	750,44	732,42	0,8764	12,5	0,3656	1,3444	1,2640	3,850
81	12,1	959,500	399,79	360,30	879,36	101	0,5334	1,47	10,58	748,6	750,07	731,99	0,8728	12,5	0,3296	1,3444	1,1042	3,586
82	12,1	999,480	416,45	375,31	879,36	101	0,5334	1,47	10,58	748,6	750,07	731,99	0,8728	12,5	0,3451	1,3444	1,1730	3,872
83	12,1	1039,459	433,10	390,29	879,36	101	0,5334	1,47	10,58	748,6	750,07	731,99	0,8728	12,5	0,3318	1,3444	1,1136	3,822
84	12,1	1079,438	449,76	405,32	879,36	101	0,5334	1,32	10,58	748,6	749,92	731,84	0,8726	12,5	0,3262	1,3444	1,1898	3,884
85	13,0	279,832	116,50	107,70	833,67	127	0,4163	2,58	11,22	746,7	749,28	730,56	0,8448	12,6	0,5633	1,3412	2,5610	2,308
86	13,0	319,808	133,25	123,09	833,67	127	0,4163	2,06	11,22	746,7	748,76	730,05	0,8442	12,6	0,5093	1,3412	2,1494	2,206
87	13,0	359,784	149,91	138,48	833,67	127	0,4163	1,84	11,22	746,7	748,54	729,83	0,8440	12,6	0,5258	1,3412	2,2692	2,620
88	13,0	399,760	166,56	153,86	833,67	127	0,4163	2,21	11,22	746,7	748,91	730,20	0,8444	12,6	0,4827	1,3412	1,9678	2,524
89	13,0	439,736	183,22	169,25	833,67	127	0,4163	1,47	11,22	746,7	748,17	729,46	0,8436	12,6	0,4860	1,3412	1,9928	2,812
90	12,8	479,724	199,88	183,63	844,27	127	0,4180	2,58	11,08	746,7	749,28	730,71	0,8507	12,6	0,4166	1,3412	1,5608	2,420
91	12,8	519,702	216,54	198,93	844,27	127	0,4180	2,21	11,08	746,7	748,91	730,34	0,8503	12,6	0,4155	1,3412	1,5540	2,610
92	12,8	559,679	233,19	214,23	844,27	127	0,4180	1,12	11,08	746,7	747,82	729,26	0,8490	12,6	0,4235	1,3412	1,6034	2,900
93	12,8	599,656	249,85	229,53	844,27	127	0,4180	1,84	11,08	746,7	748,54	729,97	0,8498	12,6	0,4111	1,3412	1,5336	2,972



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
94	12,7	639,640	266,51	244,16	844,27	127	0,4189	2,06	11,01	746,7	748,76	730,26	0,8531	12,6	0,4130	1,3412	1,5386	3,192
95	12,7	679,618	283,17	259,43	849,57	127	0,4189	1,47	11,01	746,7	748,17	729,68	0,8524	12,6	0,3755	1,3412	1,3456	2,966
96	12,7	719,596	299,83	274,69	849,57	127	0,4189	1,47	11,01	746,7	748,17	729,68	0,8524	12,6	0,3978	1,3412	1,4586	3,404
97	12,7	759,573	316,48	289,95	849,57	127	0,4189	1,85	11,01	746,7	748,54	730,04	0,8528	12,6	0,3612	1,3412	1,2744	3,140
98	12,5	799,551	333,14	303,53	859,19	127	0,4207	1,84	10,87	746,7	748,54	730,19	0,8588	12,6	0,3648	1,3412	1,2854	3,352
99	12,5	839,528	349,80	318,70	859,19	127	0,4207	1,47	10,87	746,7	748,17	729,82	0,8584	12,6	0,3574	1,3412	1,2498	3,422
100	12,5	879,506	366,40	333,89	859,19	127	0,4207	2,21	10,87	746,7	748,91	730,55	0,8592	12,6	0,3602	1,3412	1,2616	3,620
101	12,4	919,494	383,12	346,47	864,22	127	0,4215	2,06	10,80	746,7	748,76	730,48	0,8621	12,6	0,3329	1,3412	1,1320	3,390
102	12,4	959,472	399,78	361,54	864,22	127	0,4215	1,47	10,80	746,7	748,17	729,89	0,8614	12,6	0,3414	1,3412	1,1726	3,664
103	12,4	999,451	416,43	376,60	864,22	127	0,4215	2,21	10,80	746,7	748,91	730,62	0,8622	12,6	0,3307	1,3412	1,1214	3,650
104	12,4	1039,42	433,09	391,67	864,22	127	0,4215	1,99	10,80	746,7	748,69	730,41	0,8620	12,6	0,3331	1,3412	1,1344	3,840
105	12,4	1079,40	449,75	406,74	864,22	127	0,4215	1,64	10,80	746,7	748,34	730,06	0,8616	12,6	0,3096	1,3412	1,0298	3,620



ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

ukazują się w następujących seriach:

- A. AUTOMATYKA
- B. BUDOWNICTWO
- Ch. CHEMIA
- E. ELEKTRYKA
- En. ENERGETYKA
- G. GÓRNICTWO
- H. HUTNICTWO
- IS. INŻYNIERIA SANITARNA
- JO. JĘZYKI OBCE
- MF. MATEMATYKA-FIZYKA
- M. MECHANIKA
- NS. NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty serii Ch:

Chemia z. 1, 1954 r., s. 87, zł 13,—	Chemia z. 31, 1966 r., s. 69, zł 5,—
Chemia z. 2, 1957 r., s. 140, zł 29,25	Chemia z. 32, 1966 r., s. 60, zł 5,—
Chemia z. 3, 1959 r., s. 110, zł 24,20	Chemia z. 33, 1967 r., s. 75, zł 6,—
Chemia z. 4, 1961 r., s. 30, zł 2,80	Chemia z. 34, 1967 r., s. 155, zł 10,—
Chemia z. 5, 1961 r., s. 165, zł 34,—	Chemia z. 35, 1967 r., s. 105, zł 8,—
Chemia z. 6, 1961 r., s. 33, zł 3,15	Chemia z. 36, 1967 r., s. 75, zł 5,—
Chemia z. 7, 1961 r., s. 62, zł 10,—	Chemia z. 37, 1967 r., s. 107, zł 7,—
Chemia z. 8, 1961 r., s. 58, zł 6,30	Chemia z. 38, 1967 r., s. 90, zł 6,—
Chemia z. 9, 1962 r., s. 119, zł 9,—	Chemia z. 39, 1967 r., s. 180, zł 10,—
Chemia z. 10, 1962 r., s. 58, zł 5,80	Chemia z. 40, 1967 r., s. 132, zł 8,—
Chemia z. 11, 1962 r., s. 110, zł 8,40	Chemia z. 41, 1968 r., s. 54, zł 4,—
Chemia z. 12, 1962 r., s. 148, zł 11,50	Chemia z. 42, 1968 r., s. 86, zł 6,—
Chemia z. 13, 1963 r., s. 82, zł 4,70	Chemia z. 43, 1968 r., s. 62, zł 4,—
Chemia z. 14, 1963 r., s. 73, zł 5,—	Chemia z. 44, 1968 r., s. 53, zł 4,—
Chemia z. 15, 1963 r., s. 81, zł 4,40	Chemia z. 45, 1968 r., s. 68, zł 4,—
Chemia z. 16, 1963 r., s. 92, zł 5,30	Chemia z. 46, 1968 r., s. 55, zł 4,—
Chemia z. 17, 1963 r., s. 119, zł 7,50	Chemia z. 47, 1969 r., s. 123, zł 8,—
Chemia z. 18, 1963 r., s. 118, zł 7,65	Chemia z. 48, 1969 r., s. 61, zł 4,—
Chemia z. 19, 1963 r., s. 96, zł 6,40	Chemia z. 49, 1969 r., s. 105, zł 6,—
Chemia z. 20, 1963 r., s. 148, zł 9,10	Chemia z. 50, 1970 r., s. 406, zł 17,—
Chemia z. 21, 1964 r., s. 72, zł 3,65	Chemia z. 51, 1970 r., s. 79, zł 4,50
Chemia z. 22, 1964 r., s. 75, zł 5,50	Chemia z. 52, 1970 r., s. 95, zł 5,50
Chemia z. 23, 1964 r., s. 116, zł 7,50	Chemia z. 53, 1970 r., s. 110, zł 6,50
Chemia z. 24, 1964 r., s. 302, zł 14,40	Chemia z. 54, 1970 r., s. 60, zł 3,—
Chemia z. 25, 1964 r., s. 113, zł 6,60	Chemia z. 55, 1970 r., s. 86, zł 5,—
Chemia z. 26, 1965 r., s. 95, zł 5,50	Chemia z. 56, 1970 r., s. 94, zł 5,50
Chemia z. 27, 1965 r., s. 137, zł 7,20	Chemia z. 57, 1970 r., s. 128, zł 10,—
Chemia z. 28, 1966 r., s. 90, zł 7,—	Chemia z. 58, 1971 r., s. 46, zł 5,—
Chemia z. 29, 1966 r., s. 100, zł 8,—	Chemia z. 59, 1972 r., s. 49, zł 4,—
Chemia z. 30, 1966 r., s. 144, zł 9,—	

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej

P

3345/73

Cena zł 4,-