

Grzegorz Chudzio,
Michał Głomba,
Stanisław Suder

OCZYSZCZANIE GAZÓW ODLOTOWYCH Z DWUTLENKU SIARKI W KOLUMNIE RURKOWEJ WYPEŁNIONEJ

Wstęp

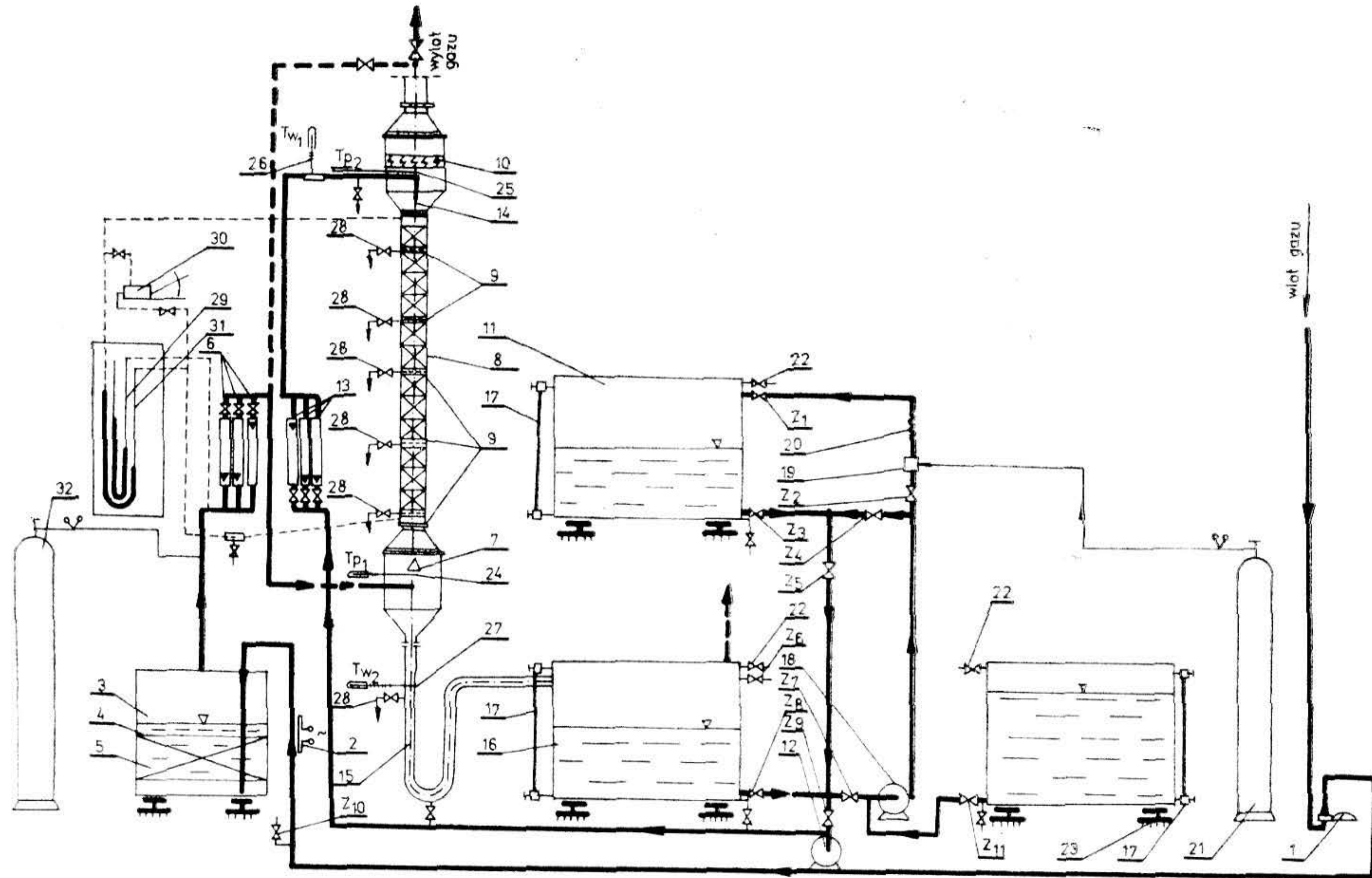
Do czyszczenia gazów odlotowych z dwutlenku siarki powszechnie stosowane są metody absorpcyjne przy czym proces absorpcji realizowany jest najczęściej w kolumnach wypełnionych.

Kolumny wypełnione charakteryzują się dużą przepustowością faz, małymi oporami przepływu, dużą skutecznością oczyszczania oraz niskimi kosztami budowy.

Wadą ich jest między innymi niekontrolowany rozdział cieczy w warstwie wypełnienia co czasami powoduje spadek sprawności urządzenia. Od szeregu lat prowadzone są badania nad modernizacją tych kolumn. Wynikiem tych prac było opracowanie nowego typu kolumny wypełnionej zwanej kolumną rurkową wypełnioną (7) będącą połączeniem klasycznej kolumny rurkowej i kolumny wypełnionej. Dotychczasowe badania kolumn rurkowych wypełnionych (5, 6) wykazały ich dużą przydatność do oczyszczania gazów odlotowych. W pracy tej autorzy pragną przedstawić wyniki hydrauliki i kinetyki absorpcji dwutlenku siarki w kolumnie wypełnionej pierścieniami Białeckiego o wymiarach $25 \times 25 \times 0,5$ mm, $35 \times 35 \times 0,5$ mm i $50 \times 50 \times 0,8$ mm wykonanymi ze stali kwasoodpornej 1H189T. Wysokość kolumny wynosiła $H = 1$ m. Badania hydrauliki przeprowadzono na układzie: powietrze—woda, natomiast absorpcję SO_2 badano w roztworze wodnym NaOH. Sposób przeprowadzenia badań i obliczeń przedstawiono we wcześniejszej pracy (6).

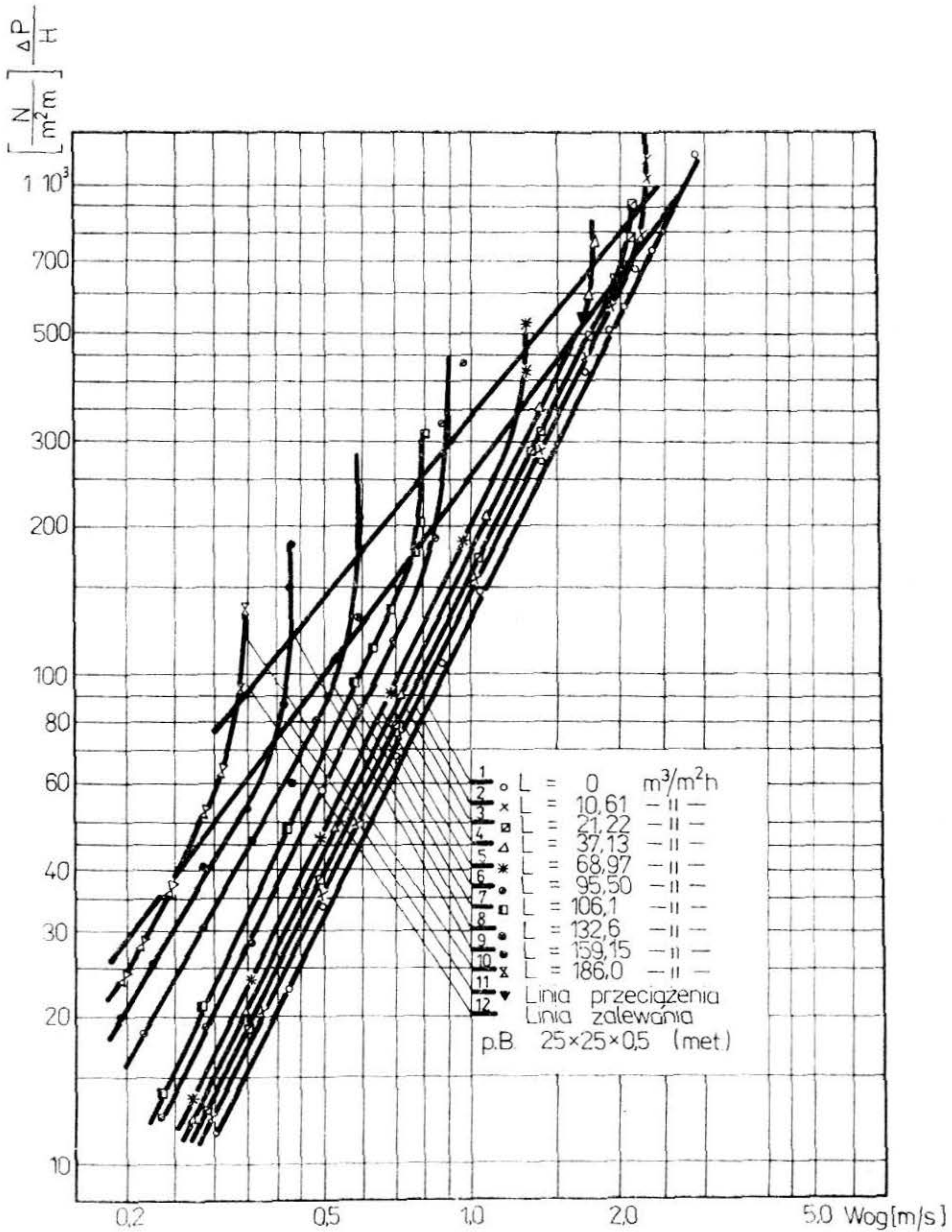
Aparatura doświadczalna

Schemat aparatury do badań hydrauliki i kinetyki absorpcji SO_2 przedstawiono na rys. 1. Powietrze atmosferyczne tłoczono sprężarką



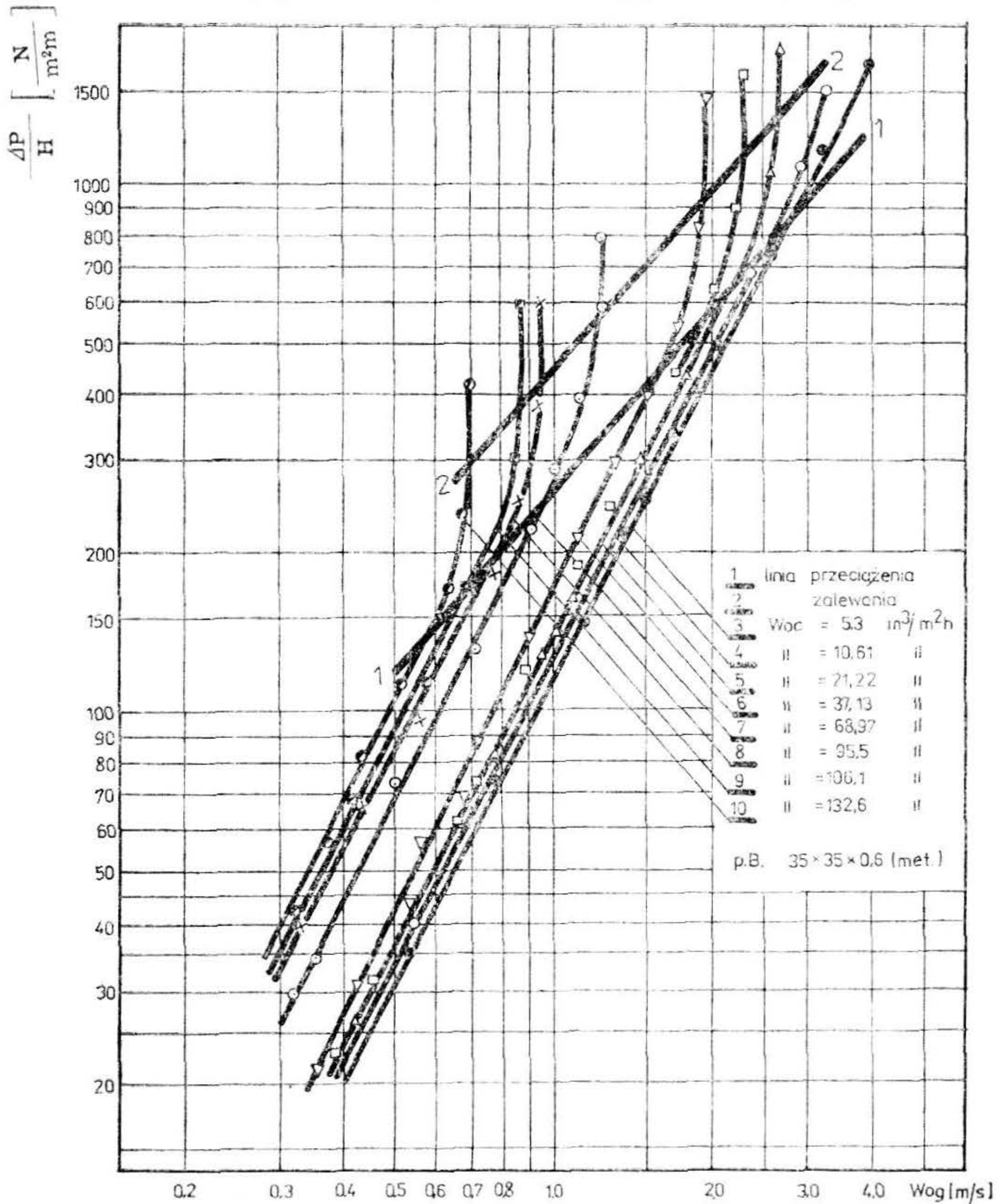
Rys. 1. Schemat aparatury doświadczalnej do badania hydrauliki i wymiany masy w kolumnach rurkowych z wypełnieniem układanym

(1) do nawilzacza (3). W zależności od temperatury i wilgotności powietrza zewnętrznego okresowo dogrzewano je grzejnikiem (2). W nawilzaczu wypełnionym pierścieniami Raschiga o średnicy 15 mm i wo-



Rys. 2. Pierścienie Białeckiego 25×25×0,5 (met). Zależność oporów przepływu od prędkości fazy gazowej przy przepływie jedno i dwufazowym
 $H = 1 \text{ m}$, $T = 293 \text{ K}$, $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

dą następowała stabilizacja wilgotności i temperatury. Następnie szczepiono powietrze dwutlenkiem siarki z butli (32). Tak przygotowany gaz wprowadzano poprzez baterię rotametrów (6) do dolnej części kolum-



Rys. 3. Pierścienie Biadeckiego 35×35×0,6 (met). Zależność oporów przepływu od prędkości gazu przy przepływie jedno i dwufazowym
 $H = 1 \text{ m}$, $T = 293 \text{ K}$, $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

ny, skąd poprzez stożek wypływowy (7) trafiał do badanej rurki (8), gdzie kontaktował się ze spływającą cieczą, a następnie uchodził do atmosfery poprzez odkraplacz (10). Roztwór zraszający podawano na szczyt kolumny ze zbiornika (11) pompą (12) poprzez baterię rotametrów (13) i wylewkę (14). Stąd ciecz spływała poprzez syfon (15) do zbiornika 16) tworząc obieg zamknięty.

Wyniki badań hydrauliki

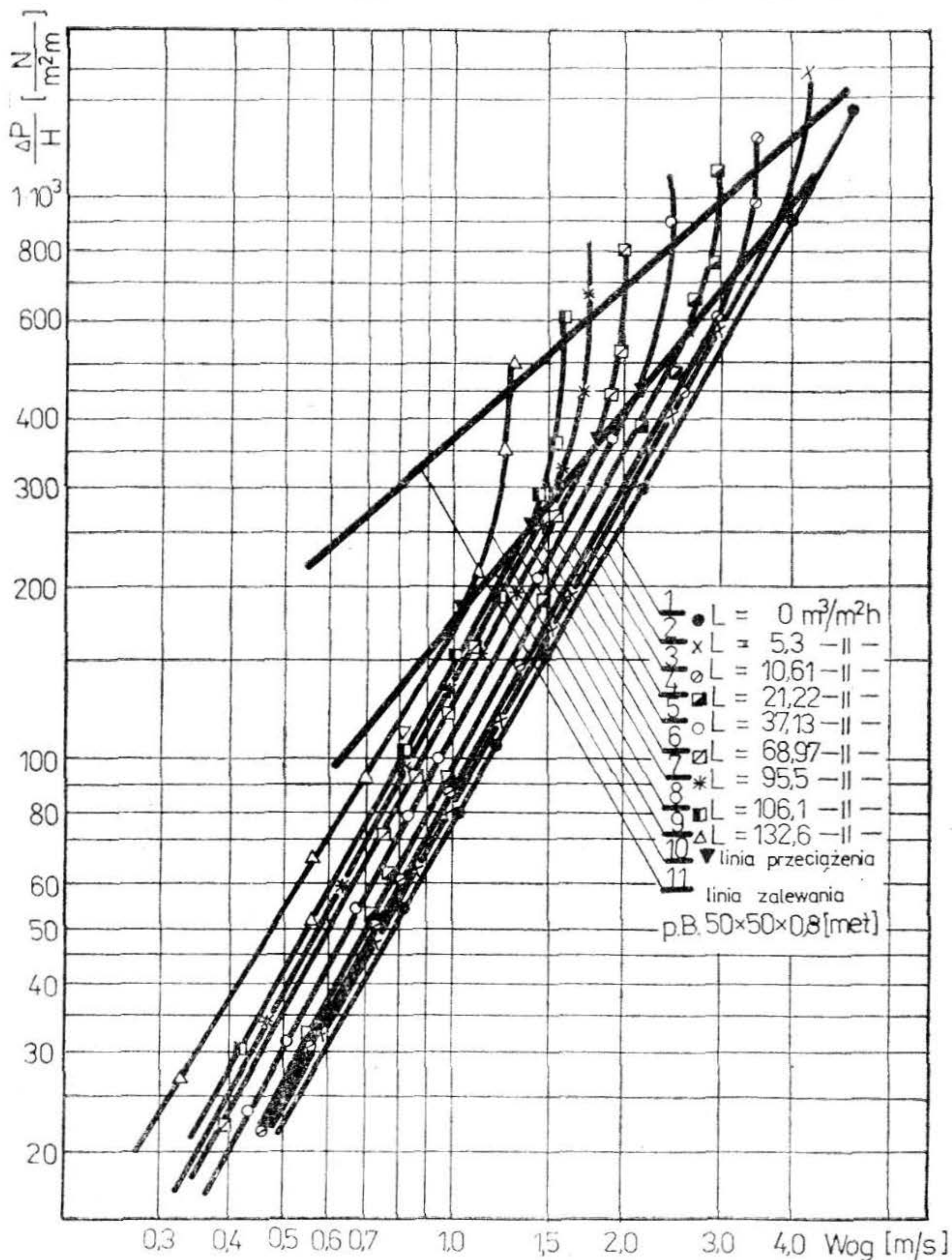
Na rys. 2 pokazano wpływ gęstości zraszania na opory przepływu dla pierścieni Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met). Charakterystyczny jest układ krzywych, leżących równolegle w dolnym przedziale prędkości, następnie odchylających się od linii prostej (dla $L = 0$) w miarę wzrostu prędkości gazu. Przy dalszym wzroście prędkości gazu krzywe, opisujące spadki ciśnień przy stałych gęstościach zraszania, przyjmują przebieg coraz bardziej stromy (obszar przeciążenia), przechodząc w pionowy w obszarze zalewania. Wpływ prędkości gazu na stopień zatrzymania cieczy na tym wypełnieniu w obszarze zatrzymania jest niewielki. Tak więc wzrost oporów przepływu złoża zraszanego w stosunku do oporów przepływu złoża suchego w obszarze zatrzymania jest spowodowany prawie wyłącznie zmniejszeniem wolnej przestrzeni przepływu gazu, nie występuje natomiast hamujące oddziaływanie fazy gazowej, charakterystyczne dla kolumn z wypełnieniem (1). Ryc. 3 przedstawia zależność $\frac{\Delta P}{H} = f(w_{og})$ przy $L = \text{const}$ dla pierścieni Białeckiego $35 \times 35 \times 0,6$ (met), natomiast rys. 4 — tę samą zależność dla pierścieni Białeckiego $50 \times 50 \times 0,8$ (met). Dla tych wypełnień stwierdzono większe oddziaływanie fazy gazowej na wielkość oporów, o czym świadczą bardziej odchylone od linii $L = 0$ krzywe spadków ciśnień przy stałych gęstościach zraszania.

W grupie przebadanych wypełnień najwyższe opory stwierdzono dla pierścieni o średnicy 25 mm, niższe dla pierścieni o średnicy 35 mm i najniższe dla pierścieni o średnicy 50 mm.

Porównanie oporów przepływu dla kolumn rurkowych wypełnionych i kolumn wypełnionych

Porównanie dokonano dla pierścieni Białeckiego o rozmiarze $25 \times 25 \times 0,5$ (met) i $35 \times 35 \times 0,6$ (met). Wyniki pomiarów hydrauliki kolumn z wypełnieniem zaczerpnięto z pracy Ziolkowskiego i Maćkowiaka (2). Wielkość oporów przepływu dla poszczególnych wypełnień, wybranych gęstości zraszania i prędkości gazu zestawiono w tab. 1.

Jak wynika z tabeli 1 kolumny rurkowe z układanymi pierścieniami Białeckiego wykazują niższe opory przepływu niż klasyczne kolumny wypełnione tym samym wypełnieniem. Różnice zwiększają się, na ko-



Rys. 4. Pierścienie Białeckiego 50×50×0,8 (met). Zależność przepływu od prędkości gazu przy przepływie jedno i dwufazowym
 $H = 1 \text{ m}$, $T = 293 \text{ K}$, $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

rzyć kolumn rurkowych, wraz ze wzrostem gęstości zraszania. Np. dla pierścieni Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met) przy $L = 0$ opory w kolumnie z wypełnieniem były większe o ok. 33%, przy $L = 10,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ wzrost wynosił 80%, natomiast przy $L = 37 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ — wynosił 175%. Jedno-

Tabela 1

**PORÓWNANIE WIELKOŚCI I OPORÓW PRZEPLYWU
DLA KOLUMN RURKOWYCH Z WYPEŁNIENIEM UKŁADANYM
I KOLUMN Z WYPEŁNIENIEM $T = 293 \text{ K}$, $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$**

| Lp. | Rodzaj pierścieni | Prędkość fazy gazowej w_{og} m/s | Gęstość zraszania $L/\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ | Opory przepływu w kol. rurkowej $\text{N}/\text{m}^2\text{m}$ | Opory przepływu w kol. z wypeł. $\text{N}/\text{m}^2\text{m}$ |
|-----|--|------------------------------------|--|---|---|
| 1 | P. Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met) | 0,5 | 0 | 33 | 48 |
| | | | 10,6 | 37 | 65 |
| | | | 37 | 40 | 110 |
| | | 1,0 | 0 | 135 | 180 |
| | | | 10,6 | 150 | 270 |
| | | | 37 | 180 | 490 |
| 2 | P. Białeckiego | 0,5 | 0 | 30 | 29 |
| | | | 37 | 35 | 35 |
| | | | 37 | 44 | 49 |
| | | 1,0 | 0 | 75 | 120 |
| | | | 10,6 | 90 | 140 |
| | | | 37 | 175 | 200 |

czesnie można zauważyć zmniejszenie się różnicy spadków ciśnień wraz ze wzrostem rozmiaru wypełnienia. Przy gęstości zraszania $L = 37 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ i $w_{og} = 1 \text{ m/s}$ dla pierścieni Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met) wzrost oporów w kolumnie z wypełnieniem wynosi 172%, a dla pierścieni o rozmiarze $35 \times 35 \times 0,6$ (met) — 14%. Fakt ten można tłumaczyć wpływem większej nieregularności kształtów kanałów w złożu składającym się z elementów wypełnień o mniejszej średnicy, co powoduje występowanie większych współczynników oporów przepływu. Dla większych elementów wypełnień wpływ ten jest mniej widoczny.

Matematyczna interpretacja wyników

Przy projektowaniu kolumn absorpcyjnych możliwość obliczania oporów przepływu ma istotne znaczenie. Dotychczas opracowane rów-

nia mają charakter empiryczny i odnoszą się tylko do wąskiego zakresu przypadków (3).

Na wielkość oporów przepływu przez wypełnienie zraszane ma wpływ stopień zatrzymania cieczy na wypełnieniu, powodujący zmianę objętości wolnej aparatu oraz wzajemne oddziaływanie przepływających faz. Zatrzymanie cieczy oraz wzajemne oddziaływanie faz uzależnione są z kolei od rodzaju i geometrii wypełnienia (zwilżalność, kształt, wielkość) oraz od własności fizyko-chemicznych i hydrodynamicznych przepływających mediów. Opory przepływu na wypełnieniu suchym określono następującym równaniem:

$$\frac{\Delta P_o}{H} = c \cdot w_{og}^n \quad (1)$$

gdzie:

dla pierścieni o średnicy 25 mm

$$c = 137,2; n = 1,99$$

dla pierścieni o średnicy 35 mm

$$c = 116,3; n = 1,95$$

dla pierścieni o średnicy 50 mm

$$c = 76,2; n = 1,79$$

Korelację określono dla prędkości gazu $w_{og} = 0,4—4$ m/s z maksymalnym błędem względnym $\delta = \pm 5,5\%$.

Opory przepływu na wypełnieniu zraszonym określa zależność:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_o} = 1 + S_1 \cdot Re_g + S_2 \cdot Re_c \quad (2)$$

gdzie:

dla pierścieni o średnicy 25 mm

$$S_1 = 1,16 \cdot 10^{-5}; S_2 = 1,23 \cdot 10^{-3}$$

$$Re_c \approx 76—759; Re_g = 370—2200$$

dla pierścieni o średnicy 35 mm

$$S_1 = 1,6 \cdot 10^{-5}; S_2 = 1,93 \cdot 10^{-3}$$

$$Re_c \approx 52—687; Re_g = 634—3168$$

dla pierścieni o średnicy 50 mm

$$S_1 = 2,69 \cdot 10^{-5}; S_2 = 5,27 \cdot 10^{-4}$$

$$Re_c \approx 76—1526; Re_g = 703—4800$$

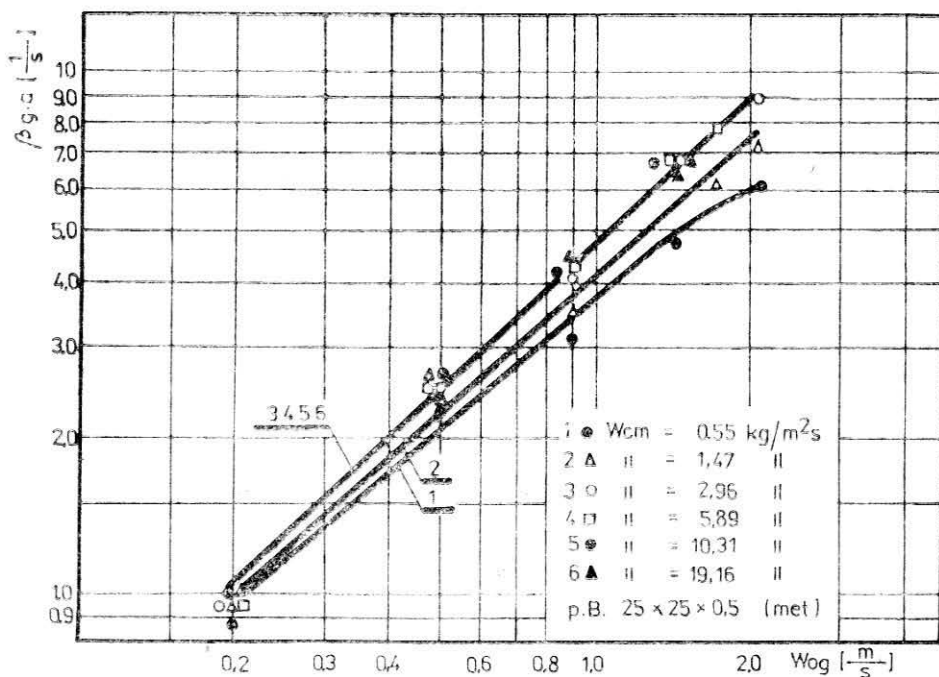
Maksymalny błąd względny nie przekracza $\delta = \pm 12\%$.

$$Re_g = \frac{4w_{gm}}{a \cdot \eta_c} \quad (3)$$

$$\text{Re}_c = \frac{4 \cdot \Gamma}{\eta_c} \quad (4)$$

Wyniki badań kinetyki absorpcji dwutlenku siarki.

Na rys. 5 przedstawiono zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od prędkości fazy gazowej przy stałych obciążeniach cieczą dla pierścieni Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met). Wartości $(\beta_g \cdot a)$ zwiększają się wraz ze wzrostem prędkości gazu. Jest to wynikiem wzrastającej burzliwości przepływu fazy gazowej, co poprawia warunki mieszania w pobliżu powierzchni styku faz, przyspiesza odnawianie powierzchni granicznej, a tym samym zwiększa skuteczność wnikania masy. Badania przeprowadzono dla sześciu wybranych gęstości zraszania w zakresie od $0,55 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (krzywa 1) do $19,16 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (krzywa 6). Na omawianym

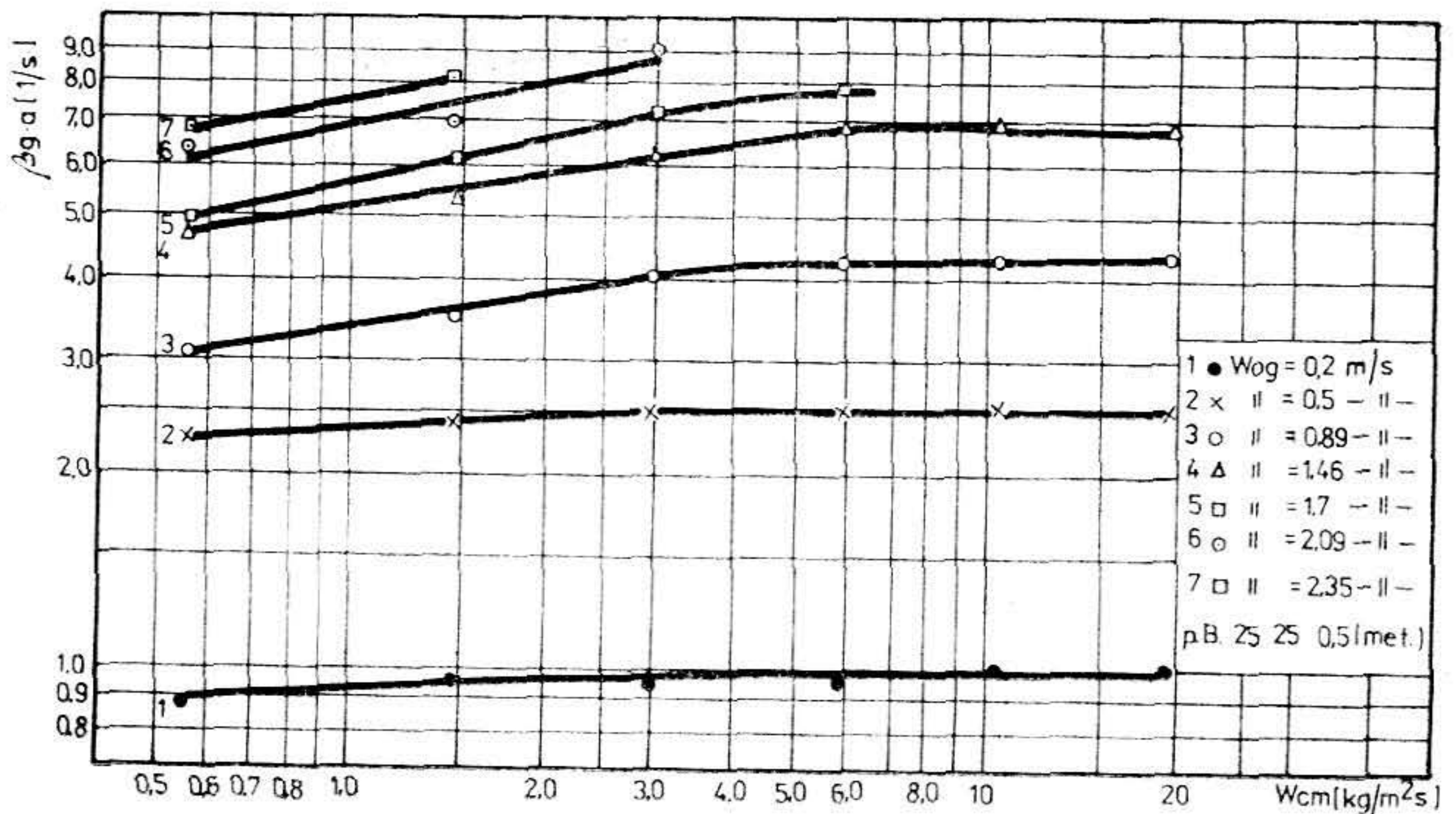


Rys. 5. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od prędkości gazu dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met)

$$H = 1 \text{ m}, T = 293 \text{ K}, P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

wykreście widoczny jest pewien wpływ fazy ciekłej na kinetykę wnikania masy w fazie gazowej. Wpływ ten zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości gazu. Przy prędkości gazu $w_{og} = 0,2 \text{ m/s}$ wzrost wartości $(\beta_g \cdot a)$ dla $w_{cm} = 19,16 \text{ kg/m}^2\text{s}$, w stosunku do $(\beta_g \cdot a)$ dla $w_{cm} = 0,55$

kg/m²s, wynosi około 14%. Natomiast przy prędkości $w_{og} = 1,5$ m/s wzrost ten wynosi około 36%. Tłumaczyć to można nierównomiernym pokryciem cieczą wypełnienia przy małych wartościach w_{cm} i małych prędkościach gazu. Przy większych prędkościach gazu i większych obciążeniach cieczą uwidacznia się wpływ hamującego oddziaływania strumienia gazu, co powoduje powstawanie dodatkowej powierzchni międzyfazowej, rozwijanej na kroplach i zniekształceniach spływającego filmu cieczy. Na skutek tego obserwuje się wzrost wartości objętościowego współczynnika wnikania masy. Na rys. 6 przedstawiono zależność $(\beta_g \cdot a)$ od obciążenia cieczą przy stałych prędkościach gazu dla pierście-



Rys. 6. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od obciążenia cieczą dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met)

$$H = 1 \text{ m}, T = 293 \text{ K}, P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

ni Białeckiego $25 \times 25 \times 0,5$ (met). Przy prędkościach gazu leżących w obszarze zatrzymania obserwujemy stopniowy wzrost wartości $(\beta_g \cdot a)$ wraz ze wzrostem obciążenia cieczą. Po przekroczeniu $w_{cm} = 3,0$ kg/m²s $10,8$ m³/m²h, objętościowy współczynnik wnikania masy w fazie gazowej przyjmuje stałą wartość. Obciążenie cieczą $w_{cm} = 3,0$ kg/m²s możemy więc przyjąć za wartość graniczną, przy której wypełnienie jest już całkowicie zwilżone. Przy większych prędkościach gazu obserwujemy stałe zwiększenie się $(\beta_g \cdot a)$ wraz ze wzrostem w_{cm} . Jest to wynikiem powstawania dodatkowej powierzchni kontaktu na kroplach i zniekształceniach spływającego po wypełnieniu filmu cieczy. Krople i znie-

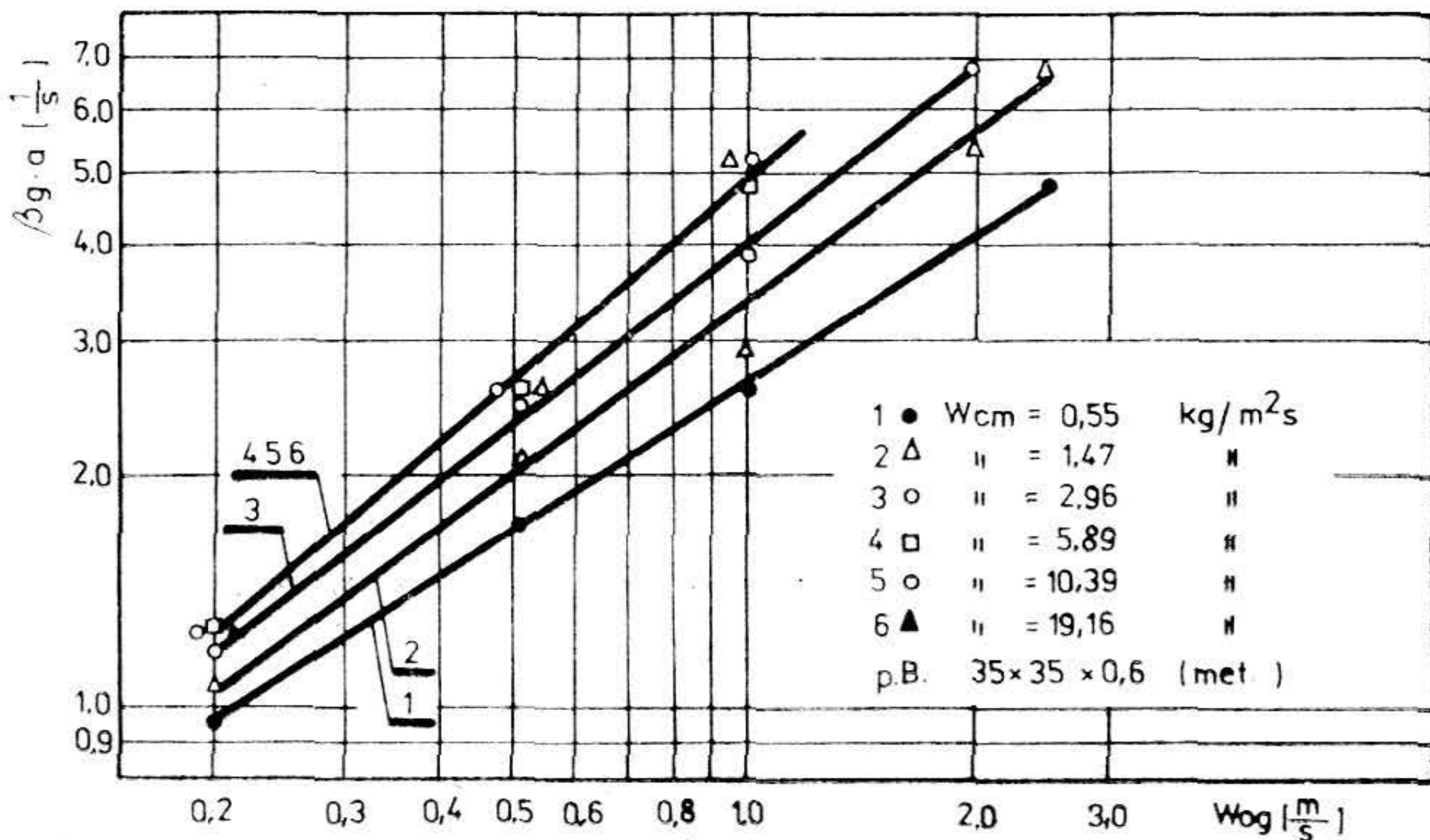
kształcenia powstają wskutek hamującego oddziaływania gazu na spływającą fazę ciekłą. Wyniki doświadczeń opisano równaniem:

$$Sh_g = C \cdot Re_g^n \cdot Sc_c^{0,33} \quad (5)$$

a po wprowadzeniu współczynników empirycznych:

$$Sh_g = 0,0294 \cdot Re_g^{0,0966} \cdot Sc_g^{0,33} \quad (6)$$

Równanie obliczono dla wartości $(\beta_g \cdot a)$ odpowiadających całkowitemu wykorzystaniu powierzchni wypełnienia ($\eta = 1$).

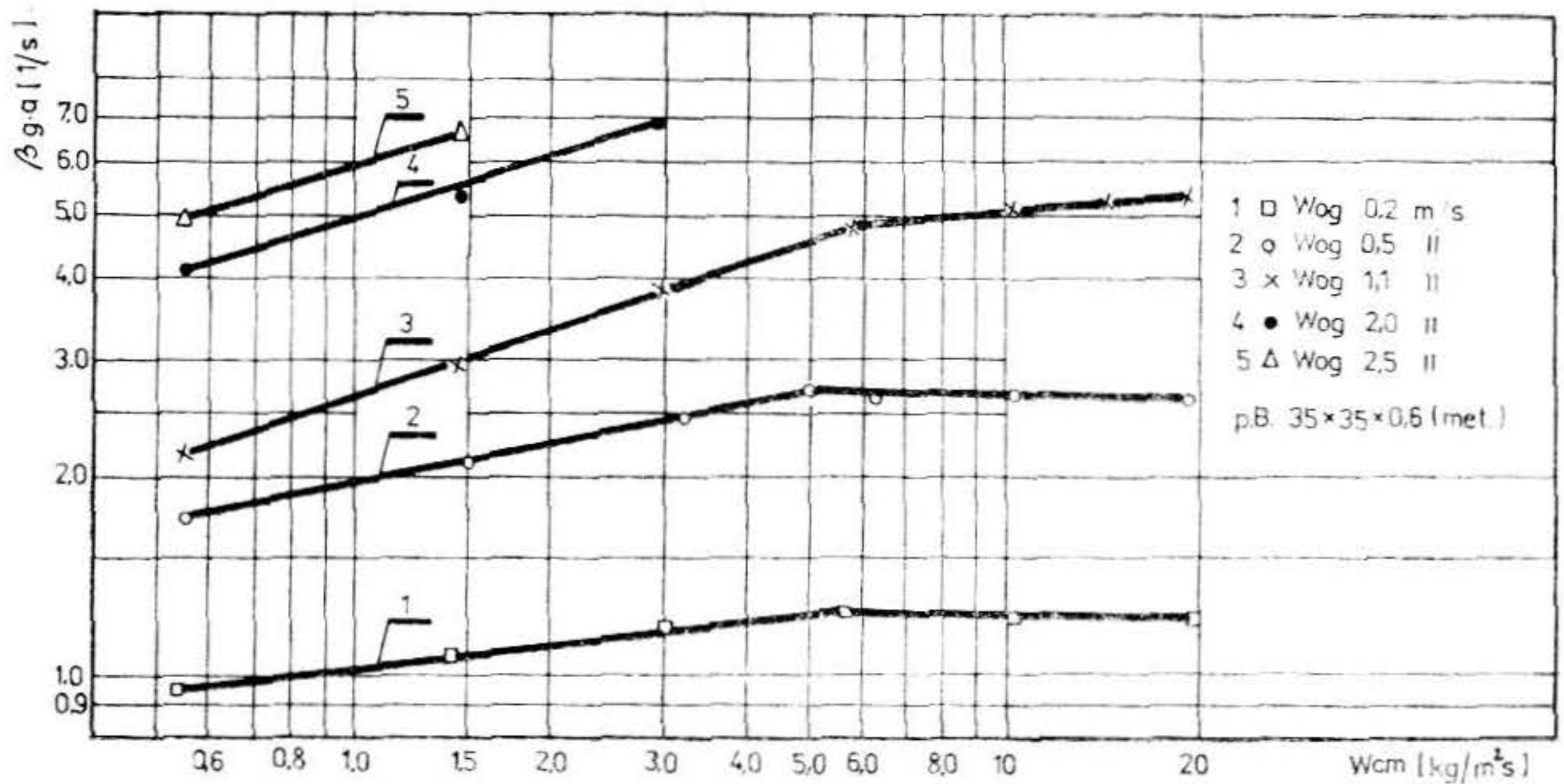


Rys. 7. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od prędkości gazu dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego 35×35×0,6 (met)

$$H = 1 \text{ m}, T = 293 \text{ K}, P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Rysunek 7 przedstawia zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od prędkości fazy gazowej przy stałych gęstościach zraszania dla pierścieni Białeckiego 35×35×0,6 (met). Podobnie jak dla poprzednio omawianych pierścieni obserwujemy wzrost wartości $(\beta_g \cdot a)$ wraz ze wzrostem prędkości gazu i prędkości cieczy. Wpływ prędkości cieczy jest dla omawianych pierścieni znaczny i uwidacznia się już przy małych prędkościach fazy gazowej. Przy prędkości $w_{og} = 0,2$ m/s i $w_{cm} = 2,96$ kg/m²s wzrost wartości $(\beta_g \cdot a)$, w porównaniu z $(\beta_g \cdot a)$ przy $w_{cm} = 0,55$ kg/m²s wynosi ok. 24%, zaś przy $w_{og} = 2$ m/s wzrost ten wynosi 66%. Na rys. 8 pokazano zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od masowego natężenia przepływu cieczy przy

stałych prędkościach przepływu gazu dla pierścieni Białeckiego $35 \times 35 \times 0,6$ (met). Dla małych prędkości gazu obserwujemy wzrost $(\beta_g \cdot a)$ wraz ze wzrostem w_{cm} . Przebieg krzywych następuje przy $w_{cm} = 5,2$ $\text{kg/m}^2\text{s}$ ($18,72 \text{ m}^3/\text{m}^2$), powyżej tej wartości $(\beta_g \cdot a)$ utrzymuje stałą wartość, co wskazuje, że przy $w_{cm} = 5,2 \text{ kg/m}^2\text{s}$ powierzchnia wypełnienia



Rys. 8. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od obciążenia cieczą dla kolumny rurkowej wypełnionej pierścieniami Białeckiego $35 \times 35 \times 0,6$ (met)

$$H = 1 \text{ m}, T = 293 \text{ K}, P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

jest całkowicie pokryta spływającą cieczą. Dla większych prędkości gazu obserwujemy stały wzrost $(\beta_g \cdot a)$ wraz ze wzrostem w_{cm} , wynika to z powstawania dodatkowej powierzchni międzyfazowej. Wyniki doświadczeń dla współczynników $(\beta_g \cdot a)$ odpowiadających całkowitemu pokryciu cieczą wypełnienia opisano następującym równaniem:

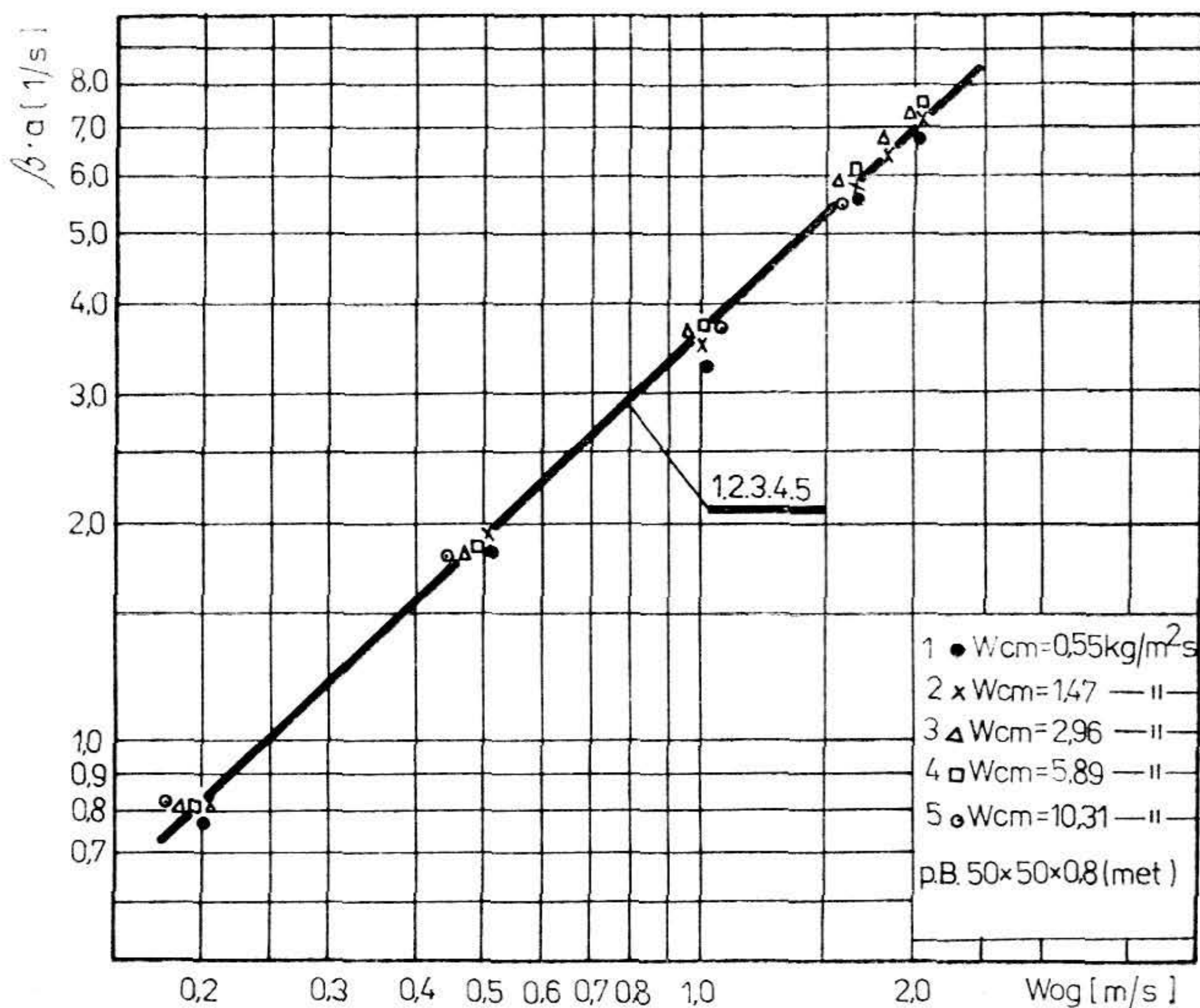
$$Sh_g = 0,0427 \cdot Re_g^{0,837} \cdot Sc^{0,33} \quad (10)$$

Na rys. 9 przedstawiono zależność objętościowego współczynnika wnikania masy od prędkości gazu przy stałych gęstościach zraszania, natomiast na rys. 10 — zależność $(\beta_g \cdot a)$ od masowego natężenia przepływu cieczy przy stałych prędkościach gazu dla pierścieni Białeckiego $50 \times 50 \times 0,8$ (met).

Zależność powyższą opisuje następujące równanie:

$$Sh_g = 0,0392 \cdot Re_g^A \cdot Sc_g^B; \delta = \pm 4\% \quad (11)$$

gdzie: $A = 0,943$; $B = 0,33$.

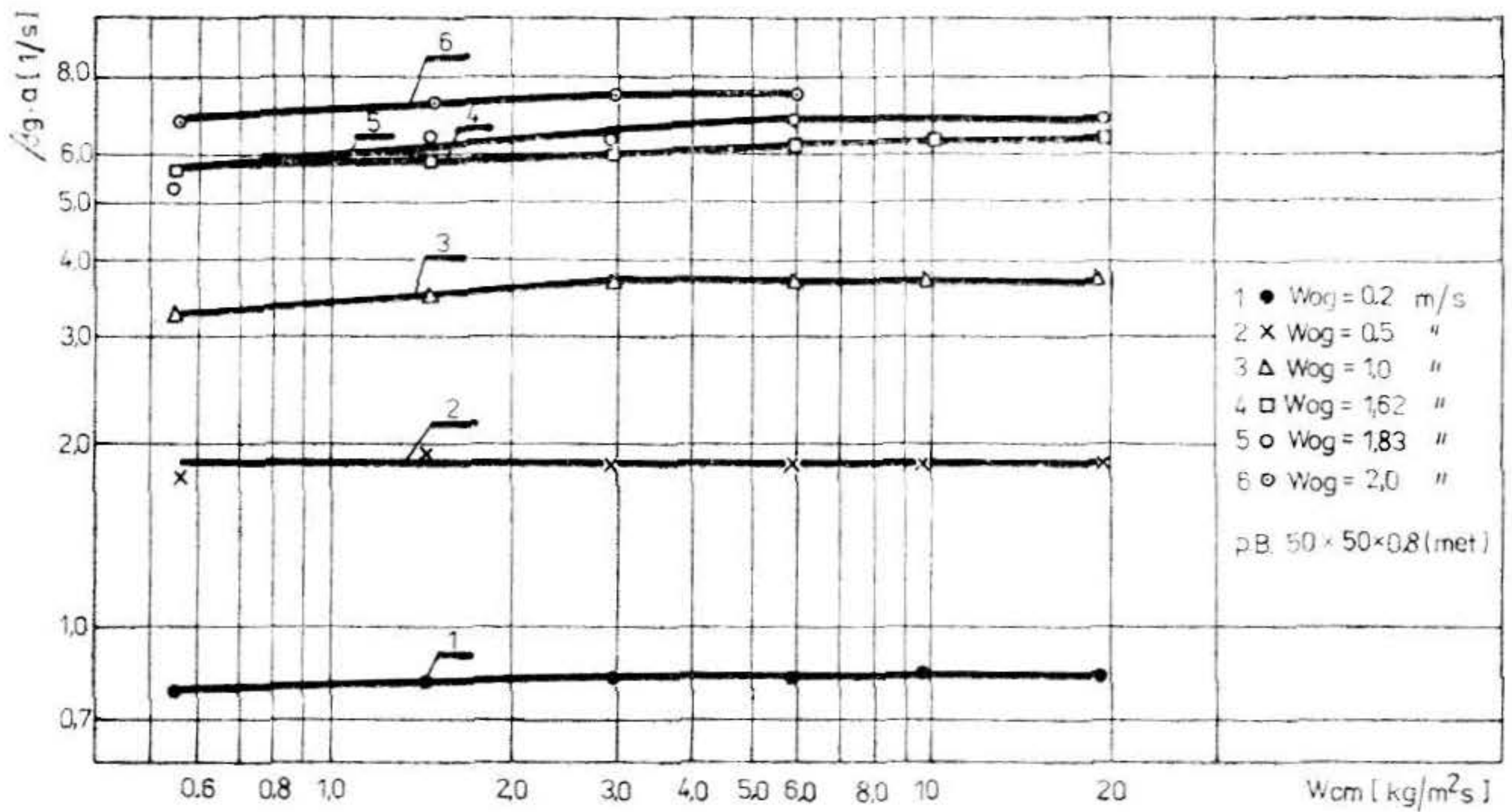


Rys. 9. Zależność objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie gazowej od prędkości gazu dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego $50 \times 50 \times 0,8$ (met)
 $H = 1$ m, $T = 293$ K, $P = 1,013 \cdot 10^5$ N/m²

Porównanie kolumn rurkowych z wypełnieniem i kolumn wypełnionych

W tabeli 2 przedstawiono porównanie wyników własnych badań, przeprowadzonych dla kolumny rurkowej z wypełnieniem, z wynikami badań kolumny wypełnionej (4) przeprowadzonych na układzie NH_3 —powietrze—woda. Porównania dokonano dla pierścieni Białeckiego o wymiarach: $25 \times 25 \times 0,5$ (met) i $35 \times 35 \times 0,6$ (met), przy stałych prędkościach fazy ciekłej $L = 10$ m³/m²h i gazowej $w_{og} = 1,0$ m/s. Przy czym prędkość przepływu fazy gazowej w kolumnie rurkowej odnoszono do średnicy wewnętrznej badanej rury. Wartości współczynników ($\beta_g \cdot a$) dla układu: NH_3 —powietrze—woda przeliczono na układ: SO_2 —powietrze—NaOH zgodnie z równaniem:

$$(\beta_g \cdot a)_{\text{SO}_2} = (\beta_g \cdot a)_{\text{NH}_3} \cdot \left(\frac{S_{\text{CSO}_2}}{S_{\text{CNH}_3}} \right)^{0,33} \quad (12)$$



Rys. 10. Zależność objętościowego współczynnika wnikania w fazie gazowej od prędkości masowej cieczy dla kolumny rurkowej, wypełnionej pierścieniami Białeckiego $50 \times 50 \times 0,8$ (met)
 $H = 1$ m, $T = 293$ K, $P = 1,013 \cdot 10^5$ N/m²

Tabela 2

PORÓWNANIE KOLUMN RURKOWYCH Z WYPEŁNIENIEM
 I KOLUMN WYPEŁNIONYCH. PRZEPŁYW PRZECIWPRAĐOWY.

Układ SO_2 — powietrze — NaOH.

$T = 293$ K, $P = 1,013 \cdot 10^5$ N/m², $L = 10$ m³/m²h, $w_{og} = 1$ m/s

| Lp. | Parametr | Pierścienie Białeckiego 25×25×0,5 (met) | | Pierścienie Białeckiego 35×35×0,5 (met) | |
|-----|---|--|-----------------------|--|-----------------------|
| | | kolumna rurkowa | kolumna wypełniona | kolumna rurkowa | kolumna wypełniona |
| 1 | $\frac{\Delta P}{H}$ /N/m ² m/ | 145 | 260 | 84 | 138 |
| 2 | $\beta_g \cdot a$ /1/s | 3,62 | 2,619 | 2,4 | 2,8 |
| 3 | h_g /m/ | 0,276 | 0,38 | 0,417 | 0,36 |
| 4 | $\frac{\Delta P}{N_g}$ /N/m ² m/ | 40 | 99 | 35 | 48 |
| 5 | $v = \frac{1}{\frac{\beta_g \cdot a}{\frac{m^3}{m^3/s}}}$ | 0,276 | 0,38 | 0,417 | 0,36 |

Objętości właściwe uzyskane dla kolumn rurkowych, należy zwiększyć o pewien procent ze względu na przestrzenie międzyrurkowe, które w zależności od wymaganego natężenia przepływu czynnika chłodzącego, zajmować będą 30—45% objętości czynnej kolumny.

Lepsze parametry uzyskiwane dla kolumn rurkowych są wynikiem: korzystniejszej hydrodynamiki przepływu faz, zaniku zjawiska kanalikowania, równomiernego zasilania cieczą i gazem przekroju poprzecznego kolumny, dobrego przemieszania faz oraz ograniczenia do minimum przestrzeni „martwych” w wypełnieniu.

Wnioski

Podsumowując wyniki badań oraz biorąc pod uwagę wcześniejsze prace dotyczące kolumn rurkowych (5, 6) należy stwierdzić, że:

- zastosowanie kolumny rurkowej wypełnionej do oczyszczania gazów odlotowych z SO₂ jest celowe ze względu na duże skuteczności absorpcji i małe opory przepływu gazu;
- w kolumnie rurkowej wypełnionej uzyskuje się większe współczynniki wnikania masy przy mniejszych oporach przepływu niż w klasycznej kolumnie wypełnionej;
- spośród przebadanych wypełnień najmniejszą energochłonnością, określoną stosunkiem $\frac{\Delta P}{N_g}$, charakteryzują się pierścienie Białeckiego o średnicy 50 mm.

STOSOWANE OZNACZENIA

| | | |
|----------------------|---|--------------------------------|
| a | — efektywna powierzchnia międzyfazowa | m ² /m ³ |
| A | — współczynnik empiryczny | |
| B | — współczynnik empiryczny | |
| D _g | — kinematyczny współczynnik dyfuzji w fazie gazowej | m ² /s |
| d _h | — średnica hydrauliczna warstwy wypełnienia | m |
| H | — wysokość warstwy wypełnienia | m |
| h _g | — wysokość jednostkowa wnikania masy w fazie gazowej | m |
| ΔP | — opór przepływu | N/m ² |
| T | — temperatura | K |
| (β _g · a) | — objętościowy współczynnik wnikania masy w fazie gazowej | l/s |
| I | — gęstość zraszania odniesiona do obwodu zwłizzonego | kg/ms |
| δ | — maksymalny błąd względny | % |
| ε | — porowatość wypełnienia | — |
| η | — lepkość dynamiczna | Ns/m ² |
| ν | — lepkość kinematyczna | m ² /s |
| v | — objętość właściwa kolumny | m ³ |
| N _g | — liczba jednostek wnikania masy w fazie gazowej | — |

Liczby bezwymiarowe

Re — liczba Reynoldsa
Sh — liczba Sherwooda
Sc — liczba Schmidta

Indeksy

g — faza gazowa
c — faza ciekła

LITERATURA

- [1] Ziółkowski Z., *Destylacja i rektyfikacja*, WNT, Warszawa, (1966).
- [2] Ziółkowski Z., Maćkowiak J., *Zesz. Nauk. Polit. Wr.* Nr 21 (1973).
- [3] Reichelt W., *Chem. Ing. Techn.*, 43/1971/22, 1196.
- [4] Maćkowiak J., *Praca doktorska, Polit. Wrocl.*, Wrocław (1975).
- [5] Billet R., Maćkowiak J., Suder S., *Chemie — Technik Nr 6* (1979), 259—265.
- [6] Gostomczyk M. A., Suder S., Piasek K., *Ochr. Pow. Nr 4* (1977) 103—106.
- [7] Gostomczyk M. A., Suder S., Maćkowiak J., *Zgł. Patentowe Nr P-200 267*, 13.08.77.