

C3
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
INSTYTUT INŻYNIERII CHEMICZNEJ I URZĄDZENIACH CIEPLNYCH
ZAKŁAD OCHRONY ATMOSFERY

mgr inż. Piotr Kabsch

ODDZIELANIE PYŁU PRZY PRZEPŁYWIE ZAPYLONEGO POWIETRZA
NAD POWIERZCHNIĄ CIECZY

Praca doktorska

Promotor:

Prof. dr hab. inż. Bohdan Głowiak

Wrocław, 1970 r.



2453

akc. 411 12/74

P r o m o t o r o w i

Profesorowi Bohdanowi Głowiakowi

wyrazy głębokiej wdzięczności
za cenne rady, stałą opiekę oraz
stworzenie warunków do wykonania
niniejszej pracy

składa

a u t o r

S P I S R Z E C Z Y

	str.
I. Wstęp	11
II. Cel i zakres pracy	13
III. Część teoretyczna - przegląd literatury	14
1. Ogólne zasady mokrego odpylania	14
2. Zjawiska zachodzące w procesie mokrego opylania	18
2.1. Względny ruch i zderzenie między ziarnami pyłu i elementami cieczy	18
2.1.1. Względny ruch i zderzenie jako wynik dyfuzji	19
2.1.2. Zderzenie jako wynik bezwładności	23
2.2. Zwilżanie pyłu	37
2.3. Kondensacja par cieczy na ziarnach pyłu	50
2.4. Zjawiska elektrostatyczne	53
3. Metody badania zwilżalności pyłu	62
3.1. Metody badania zwilżalności pyłu, będące adaptacją metod badania zwilżalności ciał stałych nierozdrobnionych	63
3.1.1. Metody kontaktowe	63
3.1.2. Metody kroplowe	65
3.2. Konwencjonalne metody badania zwilżalności pyłu	66
3.2.1. Metoda tonięcia /zanurzenia/	67
3.2.2. Metoda rozplywania	68
3.2.3. Metoda wsiąkania /imersyjna/	68
3.3. Metody pośrednie pomiaru kąta zwilżania pyłu	68
3.3.1. Metoda ciśnieniowa	68
3.3.2. Metoda przepływowo-ciśnieniowa /filtracyjna/	70

	str.
3.4. Ocena metod badania zwilżalności pyłu	73
IV. Część doświadczalna	76
1. Metoda badania w warunkach dynamicznych szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą	76
1.1. Założenia do budowy aparatury i metodyki badań	79
1.2. Konstrukcja i działanie aparatu do badania w warunkach dynamicznych szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą	80
2. Program badań	89
3. Wzorcowanie aparatury oraz opracowanie metodyki badań	90
3.1. Charakterystyka zwężki pomiarowej	
3.2. Zależność potencjalnej powierzchni zderzeń od prędkości wypływu powietrza z rury zasilającej	92
3.3. Określenie niezbędnego natężenia przepływu powietrza bocznikowego	93
3.4. Metodyka badań	95
4. Badania wpływu wybranych parametrów na skuteczność i szybkość wiązania z cieczą pyłu jednorodnego /pyłu drewna świerkowego/	96
4.1. Badania wpływu stężenia pyłu w powietrzu zasilającym na szybkość i skuteczność wiązania pyłu z cieczą	98
4.2. Badania wpływu wielkości ziarn oraz prędkości powietrza zasilającego na szybkość i skuteczność wiązania pyłu z cieczą	101
4.3. Badania wpływu napięcia powierzchniowego cieczy na szybkość i skuteczność wiązania pyłu z cieczą	103

5. Analiza wyników badań nad szybkością wiązania pyłu świerkowego. Określenie ogólnych postaci zależności charakteryzujących wpływ wybranych parametrów na skuteczność i szybkość wiązania pyłu z cieczą	114
5.1. Zależność potencjalnej powierzchni zderzeń od prędkości powietrza zasilającego	114
5.2. Zależność między skutecznością wiązania pyłu z cieczą a szybkością wiązania pyłu z cieczą	115
5.3. Zależność między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z wodą a stężeniem pyłu w powietrzu zasilającym	116
5.4. Zależność między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z wodą a wielkością ziarn pyłu i prędkością powietrza zasilającego	116
5.5. Zależność między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z cieczą a napięciem powierzchniowym cieczy	121
5.6. Określenie parametrów oraz stałych charakterystycznych dla oceny zdolności wiązania się pyłu z cieczą	129
6. Badania nad wiązaniem z wodą wybranych rodzajów pyłów	130
7. Analiza wyników badań szybkości i skuteczności wiązania pyłów z cieczą	146
8. Badania nad wpływem napięcia powierzchniowego na skuteczność wiązania z cieczą pyłów węglowych i żywicy Nowolak	152

9. Wnioski z badań nad szybkością i skutecznością wiązania pyłu z cieczą	153
10. Badania nad oddzielaniem pyłu w modelu płuczki uderzeniowej	157
10.1. Cel i zakres badań	157
10.2. Opis modelu płuczki uderzeniowej i stanowiska badawczego	157
10.3. Program badań	162
10.4. Badania nad wpływem prędkości wypływu powietrza z dyszy i rodzaju pyłu na skuteczność odpylania	162
10.5. Badania nad wpływem kształtu dyszy i wysokości czynnej na skuteczność odpylania	163
10.6. Analiza wyników badań	165
10.7. Próba określenia zależności między skutecznością odpylania płuczki a parametrami charakteryzującymi podatność pyłu na wiązanie z cieczą w warunkach dynamicznych	167
10.8. Wnioski z badań nad oddzielaniem pyłu w modelu płuczki uderzeniowej	170
V. Wnioski końcowe	172
VI. Literatura	175

Zestawienie ważniejszych oznaczeń

- a - ilość ziarn zderzających się z jednostką płaskiej powierzchni
- b - grubość warstwy gazu,
- c - szybkość wiązania pyłu z cieczą,
- c' - stała zależna od kształtu kapilary,
- d - średnica ziarna pyłu,
- d_a - średnica walca Abletta,
- d_k - średnica kropli,
- d_g - średnica strugi gazu,
- d_z - średnica zastępcza ziarna pyłu,
- e - podstawa logarytmu naturalnego,
- f - współczynnik tarcia ośrodka,
- g - przyspieszenie ziemskie,
- h_a - głębokość zanurzenia walca Abletta,
- h_c - wysokość czynna,
- h_f - długość obszaru filtracji aerozolu,
- h_i - wysokość piany,
- h_k - wysokość kropli,
- h_m - wysokość wzniesienia menisku,
- Δh - spadek ciśnienia gazu w strefie płukania,
- k - stała Boltzmann'a,
- l - długość kapilary,
- m - masa ziarna pyłu,
- m' - znamionowa liczba oczyszczania,
- m_p - masa pyłu związanego z cieczą
- m_w - masa pyłu wprowadzonego do aparatu w zapyłonym gazie,
- n - ilość wytrącanych ziarn pyłu,

- p - ciśnienie pary wodnej na powierzchni kropli,
- p_0 - ciśnienie pary wodnej w gazie,
- p_n - ciśnienie nasycenia pary wodnej,
- p_p - ciśnienie powietrza,
- Δp - mierniczy spadek ciśnienia,
- r - promień kropli,
- r' - promień kapilary,
- s - stężenie pyłu w gazie,
- s_0 - początkowe stężenie pyłu w gazie,
- u_p - prędkość opadania ziarn pyłu w powietrzu,
- w - prędkość względna ziarn i elementów wytrącających,
- w_f - prędkość przepływu gazu wewnątrz obszaru filtracji,
- v - prędkość wypływu gazu z rury zasilającej,
- v_d - prędkość wypływu z dyszy,
- $\bar{x}$ - średnie przemieszczenie ziarna pyłu,
- A - potencjalna powierzchnia zderzeń,
- A_a - praca adhezji,
- $A' = \frac{w u_p}{d_k g}$ - liczba podobieństwa
- A'' - stała Semraua
- D - wymiar charakterystyczny elementu wytrącającego,
- $\bar{D}$ - średni wymiar pęcherzyka piany,
- D_d - współczynnik dyfuzji ziarn pyłu,
- D_d - współczynnik dyfuzji pary wodnej,
- D_{dk} - współczynnik dyfuzji kulistych ziarn pyłu,
- E - liczba odpylania,
- E_A - energia adhezji zwilżania,
- F_k - powierzchnia rzutu kropel,
- ΔH - nadciśnienie cieczy przed wlotem do płuczki,

- K - współczynnik szybkości odpylania,
 K_T - moc kontaktowa,
 L - natężenie przepływu gazu,
 L_z - natężenie wypływu gazu zasilającego,
 L_b - natężenie przepływu powietrza bocznikowego,
 N - liczba Loschmidta,
 N_T - liczba przeniesienia mocy,
 ΔP - ciśnienie kapilarne cieczy,
 ΔP_f - ciśnienie kapilarne cieczy filtracyjnej,
 ΔP_w - ciśnienie kapilarne cieczy wzorcowej,
 P_p - zawartość popiołu w paliwie,
 R - stała gazowa,
 Re - liczba Reynoldsa,
 Q_c - natężenie przepływu cieczy,
 T° - temperatura bezwzględna,
 V_a - zawartość części lotnych w paliwie,
 V_{11} - pojemność uderowa kropli,
 $e', \bar{g}', h', D', K', M, N', N'', X_p, Y_p, Z_p$ - wykładniki potęgowe
i współczynniki stosowane we wzorach empirycznych,
 α - współczynnik filtracji,
 β - porowatość obszaru filtracji,
 β_c - porowatość ziarna,
 η - skuteczność odpylania,
 η_p - przedziałowa skuteczność odpylania,
 η_w - skuteczność wiązania pyłu z cieczą,
 $\mathscr{K}$ - wykładnik potęgowy /Semraua/,
 λ - współczynnik przyczepności,
 λ_0 - bezwładnościowy współczynnik zderzeń,
 μ - lepkość dynamiczna płynu,

ξ' - współczynnik kształtu kapilar,

ξ_0 - współczynnik styku powierzchni,

π - ludolfina,

ρ_c - gęstość cieczy,

ρ_g - gęstość gazu,

ρ_p - gęstość pyłu,

σ_c - napięcie powierzchniowe cieczy,

σ_p - napięcie powierzchniowe międzyfazowe,

σ_s - napięcie powierzchniowe ciała stałego,

σ_w - napięcie powierzchniowe cieczy wzorcowej,

τ - czas,

ψ_A - współczynnik adhezji,

ϕ_n - współczynnik charakteryzujący pianę,

θ - kąt zwilżania,

ψ_B, ψ_E - współczynniki proporcjonalności.

I. W S T Ę P

Jednym z ujemnych skutków rosnącego uprzemysłowienia i rozwoju nowych technologii jest wzrost zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Wśród zanieczyszczeń emitowanych w gazach odlotowych do atmosfery, jedno z czołowych pod względem ilości i szkodliwości miejsc zajmują pyły przemysłowe. W celu coraz skuteczniejszej ochrony środowiska biologicznego, konieczny jest więc m.in. wzrost wymagań stawianych urządzeniom do zmniejszania zawartości pyłu w gazach odlotowych - odpylaczom. Wprawdzie problemy związane ze zwalczaniem zapylenia znane są od dawna, to współczesna technika odpylania liczy około 80 lat [1], a swój dynamiczny rozwój przeżywa w ciągu ostatnich 40-tu lat. I choć zakres teoretycznych i doświadczalnych prac naukowych związanych z działaniem i budową urządzeń odpylających jest coraz szerszy, wiele zagadnień czeka jeszcze na rozwiązanie.

Jednym z szeroko stosowanych rodzajów urządzeń odpylających są urządzenia do odpylania przy pomocy cieczy - odpylacze mokre. Działanie tych urządzeń polega na oddzielaniu z mieszaniny gazowo-pyłowej pyłu przez wiązanie go /łączenie/ z cieczą.

Głównymi zaletami odpylaczy mokrych są:

- stosunkowo prosta budowa i niski koszt wykonania,
- uzyskiwane w nowoczesnych konstrukcjach wysokie skuteczności, nawet w przypadku oddzielania pyłów o rozdrobnieniu koloidalnym,
- duża pewność działania,
- możliwość równoczesnego chłodzenia odpylanego gazu oraz oddzielania z niego innych zanieczyszczeń występujących w postaci gazów, par i mgieł orodk

- wyeliminowanie unieszenia się pyłu oddzielonego /wtórnej emisji/.

Mimo wad, takich jak: trudności związane z gospodarką wodną i korozyjnym działaniem ścieków oraz nieopłacalnością stosowania dla pewnych rodzajów pyłu, wymienione zalety decydują o tym, że stosowanie odpylaczy mokrych jest w wielu przypadkach rozwiązaniem najbardziej korzystnym.

Do chwili obecnej nie opracowano teorii mokrego odpylania, która ujmowałaby łącznie wpływ na skuteczność odpylania wszystkich zjawisk zachodzących w tym procesie, choć istnieje szereg popartych doświadczeniami opracowań teoretycznych, które określają wpływ poszczególnych zjawisk.

Praca niniejsza jest próbą określenia wpływu kilku podstawowych czynników na przebieg zjawisk, zachodzących przy mokrym odpylaniu.

Autor zajął się zagadnieniem oddzielania pyłu przy przepływie zapyłonego powietrza nad powierzchnią cieczy. Wprawdzie odpylacze działające na podobnej zasadzie są stosunkowo mało rozpowszechnione, to jednak badania laboratoryjne nad tą metodą odpylania pozwalają na ilościowe określenie wpływu na skuteczność odpylania szeregu istotnych parametrów, a w szczególności własności fizyko-chemicznych pyłu. Badanie wpływu tych własności staje się możliwe dzięki wyeliminowaniu takich czynników, jak stopień rozdrobnienia cieczy i ruch elementów cieczy, co ma miejsce np. przy przepływie zapyłonego gazu przez warstwę cieczy rozdrobnioną w postaci kropeł lub piany.

II. CEL I ZAKRES PRACY

Podstawowym celem badań nad zjawiskami zachodzącymi podczas mokrego odpylania, jest zebranie wiadomości /danych/, które pozwoliłyby konstruować odpylacze o maksymalnej skuteczności, decydować o celowości stosowania tych urządzeń do wytrącania określonych pyłów, ustalać parametry pracy odpylaczy, zmniejszać do minimum koszty ich eksploatacji oraz mając na uwadze stale pogarszający się bilans wodny rejonów uprzemysłowionych, ograniczać ilość *wody zużywanej* w procesie odpylania.

W prowadzonych dotychczas pracach teoretycznych i doświadczalnych, wpływ własności fizyko-chemicznych pyłu na przebieg procesu mokrego odpylania określano pojęciem zwilżalności pyłu, tj. zdolności do adsorpcji cząsteczek cieczy na powierzchni ziarn pyłu. Wydaje się jednak, że pojęcie to precyzyjne w przypadku ciał stałych nierozdrobnionych i pozostających z bezruchu względem zwilżającej je cieczy, w niewielkim stopniu może być zastosowane do pyłu stanowiącego rozdrobnioną fazę stałą, zwłaszcza jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że w procesach mokrego odpylania wszystkie trzy fazy /gaz, ciało stałe i ciecz/ znajdują się w ruchu względem siebie.

Z punktu widzenia przydatności wyników badań laboratoryjnych dla celów praktycznych, bardzo istotnym zdaje się być warunek, aby metoda określania skuteczności wiązania ziarn pyłu z cieczą /przyczepności ziarn do powierzchni cieczy/ możliwie najpełniej odzwierciedlała zjawiska, występujące w mokrych odpylaczach.

Znane obecnie metody badania zwilżalności pyłu w warunkach statycznych, dają cenne wyniki porównawcze odnośnie zwilżalności

różnych rodzajów nieruchomych ciał stałych rozdrobnionych, stanowiących ewentualnie warstwy porowate. Pełne ujęcie wpływu wszystkich parametrów decydujących o skuteczności wiązania z cieczą pyłu będącego składnikiem ruchomego układu trójfazowego ciecz-pył-gaz, może dać jedynie metoda badania tej skuteczności w warunkach dynamicznych.

Dla realizacji postawionego w niniejszej pracy zadania należało zatem:

- opracować metodę badania w warunkach dynamicznych skuteczności wiązania pyłu z cieczą,
- przebadać wpływ niektórych parametrów fizyko-chemicznych układu trójfazowego ciecz-pył-gaz na skuteczność wiązania z cieczą wybranych rodzajów pyłu oraz określić ilościowo zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami.

Badaniami objęto pyły różnych rodzajów drewna, węgla kamiennych, pył popiołu lotnego węgla brunatnego, pyły niektórych mas plastycznych oraz surowców mineralnych. Ośrodkiem dyspersyjnym mieszaniny gazowo-pyłowej było powietrze, zaś cieczą wytrącającą woda destylowana lub z dodatkiem środków powierzchniowo czynnych.

III. CZĘŚĆ TEORETYCZNA - PRZEGLĄD LITERATURY

1. Ogólne zasady mokrego odpylania

Proces odpylania mokrego może zachodzić tylko wówczas, gdy elementy cieczy i ziarna pyłu poruszają się względem siebie. Jedynie bowiem zjawisko wzajemnego względnego ruchu może stwarzać prawdopodobieństwo zderzeń ziarn z powierzchnią elementów.

cieczy warunkującą z kolei ich trwałe związanie. Względny ruch ziarn i elementów cieczy może być wynikiem różnicy prędkości i kierunku ruchu tych faz, powodowanej działaniem sił masowych lub ruch ten może być wywołany zjawiskiem dyfuzji /ruchami Browna/.

W procesie odpylania mokrego, można umownie wyodrębnić następujące fazy:

- zetknięcie się /zderzenie/ ziarna pyłu zawartego w strumieniu zapyłonego gazu z powierzchnią elementu cieczy,
- związanie się ziarna z powierzchnią elementu cieczy i ewentualna adsorpcja cieczy na powierzchni ziarna /zwilżenie go/,
- ewentualne wchłonięcie /zanurzenie/ ziarna w głąb elementu cieczy i kogulacja zwilżonych ziarn oraz
- wytrącenie ze strumienia gazu lub masy cieczy zwilżonych ziarn, ich skoagulowanych grup lub elementów cieczy związanych z ziarnami pyłu.

Różnorodne konstrukcje urządzeń do mokrego odpylania mają na celu zwiększenie prawdopodobieństwa zderzeń ziarn pyłu z cieczą, ułatwienie wiązania się tych faz i ich wytrącania. W przypadku zwilżenia ziarna pyłu, jego masa ulega powiększeniu, co ułatwia następnie jego oddzielenie ze strumienia gazu, np. pod działaniem siły bezwładności. Zwilżone ziarna wykazują na ogół tendencję do łączenia się w większe kropło-zlepienie, co znacznie ułatwia ich wydzielenie ze strugi gazu [2]. Pyły nieadsorbujące cieczy na swej powierzchni mogą wiązać się z elementami cieczy, np. wskutek działania sił elektrostatycznych.

Z punktu widzenia mechanizmu wytrącania pyłu, a zwłaszcza sposobu rozwinięcia powierzchni cieczy, konstrukcje odpylaczy

mokrych dzieli się na szereg grup [3] [4]. Podstawowe schematy wytrącania są następujące:

a/ wytrącanie wskutek zetknięcia się /zderzenia/ ziarna pyłu z kroplą powstałą w wyniku rozpylenia cieczy, a następnie oddzielenia ze strumienia gazu połączenia kropla cieczy-ziarno pyłu pod działaniem siły ciężenia lub bezwładności. Na tej zasadzie działają następujące odpylacze:

- płuczki wieżowe /natryskowe/ z wypełnieniem /rys. 1a/ lub bez wypełnienia /rys. 1 b/,
- płuczki obrotowe /wirnikowe/ /rys. 1 c/,
- odpylacze ze zwężką Venturiego /rys. 1 d/ itp.,

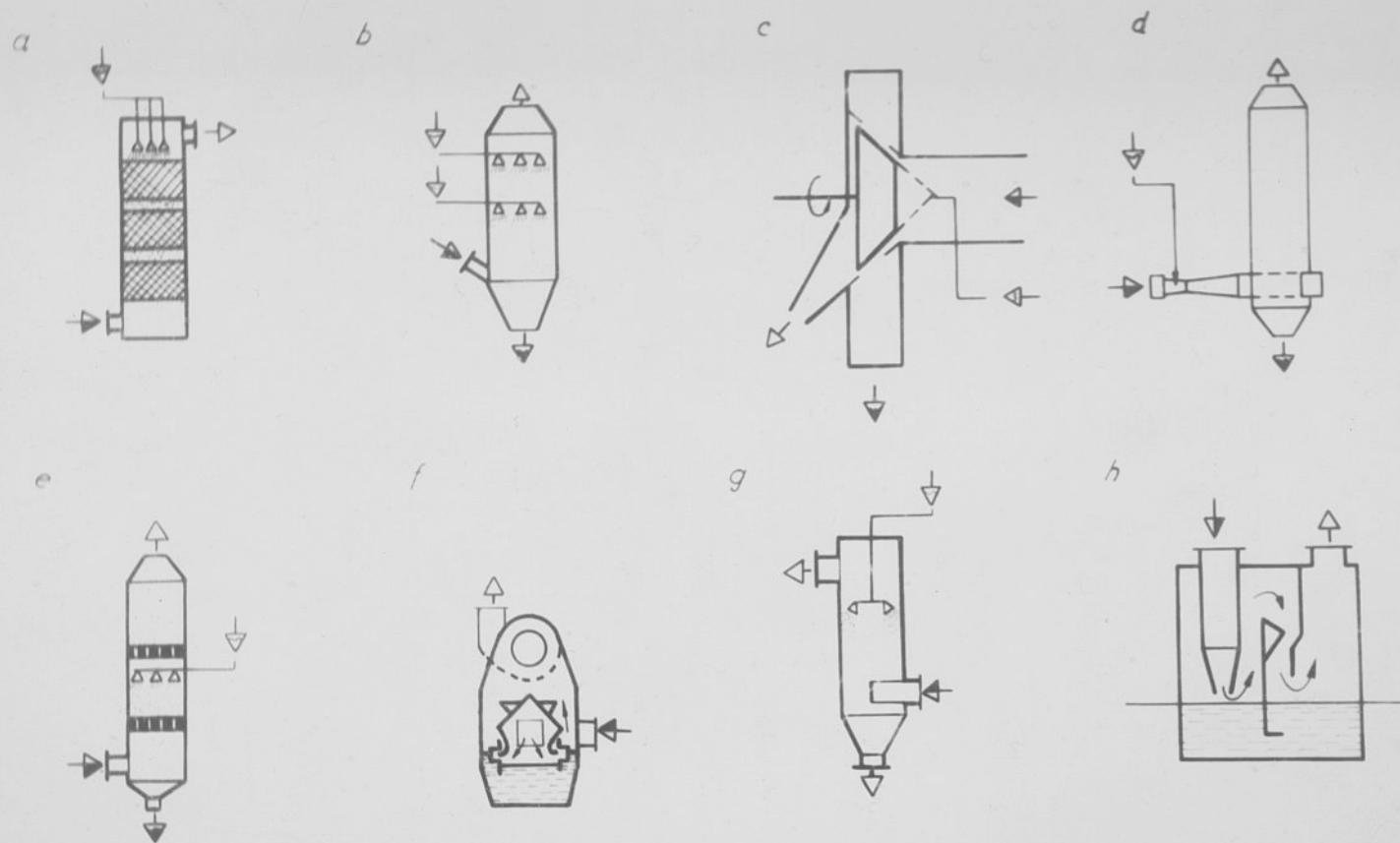
b/ wytrącanie wskutek przepływu strumienia zapyłonego gazu w postaci pęcherzyków poprzez warstwę cieczy /zjawisko barbotażu/, przy czym zachodzi zderzenie się ziarn pyłu z cieczą otaczającą pęcherzyki gazu. Ma tu ostatecznie miejsce kontakt ziarno pyłu-masa cieczy. Do odpylaczy działających na tej zasadzie należą:

- płuczki wieżowe z poziomymi przegrodami perforowanymi /pianowe/ /rys. 1e/,
- odpylacze mokre z przepływem gazu przez zamknięcie wodne /odpylacze przewalowe/ /rys. 1 f/ itp.

c/ wytrącanie wskutek zderzenia ziarna pyłu ze swobodną powierzchnią cieczy /lustrem cieczy/. Występuje tu także kontakt ziarno pyłu-masa cieczy. Na tej zasadzie działają m.in.:

- cyklony mokre /rys. 1 g/ oraz
- płuczki uderzeniowe /rys. 1 h/.

Dolna granica wielkości ziarn pyłu, które mogą być skutecznie



Rys.1 Schematy budowy różnych typów odpylaczy mokrych
 a-płuczka wieżowa z wypełnieniem, b-płuczka wieżowa bez wypełnienia,
 c-płuczka obrotowa, d-płuczka ze zwężką Venturiego, e-płuczka pianowa,
 f-odpylacz przewalowy, g-mokry cyklon, h-płuczka uderzeniowa

wytrącane we współczesnych odpylaczach mokrych, sięga $0,01 \mu\text{m}$.

Jednostkowa ilość cieczy zużywanej w procesie odpylania, różna w zależności od typu odpylacza, wynosi od 0,03 do 5 litrów na 1 Nm^3 oczyszczonego gazu.

W ogromnej większości urządzeń, cieczą oczyszczającą jest woda. Wykorzystanie własności absorpcyjnych wody pozwala na jednoczesne z odpylaniem oczyszczanie gazów odlotowych z zawartych w nich szkodliwych par i gazów.

2. Zjawiska zachodzące w procesie mokrego odpylania.

Trudności teoretycznego opracowania przebiegu procesu mokrego odpylania, związane są niewątpliwie z różnorodnością i złożonością zjawisk zachodzących w tym procesie. Oprócz zjawisk czysto fizycznych, jakie mają miejsce w innych rodzajach procesów odpylania, występują tu bowiem także zjawiska fizyko-chemiczne skomplikowane z racji trójfazowego, ruchomego układu, w którym zachodzą.

Na ogólny przebieg procesu mokrego odpylania, zasadniczy wpływ mają:

- względny ruch i zderzenia między ziarnami pyłu i elementami cieczy,
- zwilżanie pyłu przez ciecz /adsorpcja cieczy na powierzchni ziarn pyłu/,
- kondensacja par cieczy na ziarnach pyłu oraz
- zjawiska elektrostatyczne.

2.1. Względny ruch i zderzenie między ziarnami pyłu i elementami cieczy.

Względny ruch ziarn pyłu i elementów cieczy może być wynikiem

zjawiska dyfuzji /ruchów Browna/ lub różnicy prędkości i kierunku ruchu tych faz, wynikającej z działania sił masowych - ciśnienia, oporu ośrodka, elektrostatycznych, a zwłaszcza bezwładności.

2.1.1. Względny ruch i zderzenie jako wynik dyfuzji.

Cząsteczki każdego gazu, którego temperatura jest wyższa od 0°K znajdują się w stałym nieregularnym ruchu. Cząsteczki te zderzają się ze sobą lub z innymi ciałami zawartymi w gazie, np. z ziarnami pyłu. W przypadku, gdy wielkość ziarna jest duża w stosunku do wielkości cząsteczek gazu, otrzymuje ono równocześnie ze wszystkich stron taką ilość uderzeń, że porusza się nieznacznie, drga lub pozostaje w bezruchu. Jeżeli jednak wielkość /masa/ ziarna jest bardzo niewielka /pył o rozdrobnieniu koloidalnym/ uderzenia cząsteczek gazu wprawiają je w nieregularne ruchy po liniach zygzakowatych, zwane ruchami Browna.

Zagadnienie ruchów Browna było przedmiotem prac wielu fizyków. Między innymi Einstein określił zależność między średnią wielkością przemieszczania /drogi/ ziarna pyłu podlegającego ruchom Browna, a czasem trwania tych ruchów

$$\bar{x}^2 = 2 D_d \tau \quad /1/$$

gdzie:

$\bar{x}$ - ^{średnie}przemieszczenie ziarna,

D_d - współczynnik dyfuzji,

τ - czas trwania ruchów.

Współczynnik dyfuzji określony jest wzorem

$$D_d = \frac{k}{f} \frac{T}{f} \quad /2/$$

gdzie:

k - stała Boltzmannna,

T - temperatura bezwzględna,

f - współczynnik tarcia ośrodka.

Dla ziarn kulistych wzór /2/ przyjmuje postać

$$D_{dk} = \frac{k \cdot T}{3\pi \cdot d \cdot \mu} \quad /3/$$

gdzie:

d - średnica ziarna pyłu,

μ - lepkość dynamiczna ośrodka.

Podany przez Webera [3] wzór pozwala określać wielkość średniego pomieszczenia ziarna w zależności od jego masy.

Wzór ten ma postać

$$\bar{x}^2 = \frac{3 RT}{N m} \quad /4/$$

gdzie:

R - stała gazowa,

N - liczba Loschmidta,

m - masa ziarna.

Wychodząc ze wzoru Einsteina /1/ Langmuir [6] opracował wzór pozwalający określić ilość ziarn, zderzających się /w wyniku ruchów Browna/ z jednostką płaskiej powierzchni

$$a = 2 s_0 \sqrt{\frac{D_d \tau}{\pi}} \quad /5/$$

gdzie:

a - ilość ziarn zderzających się z płaską powierzchnią,
(na jednostkę tej powierzchni),

s_0 - początkowe stężenie pyłu w gazie,

oraz wzór określający grubość b warstwy gazu, z której ziarna pyłu będą mogły w wyniku dyfuzji zderzyć się z tą powierzchnią.

$$b = \sqrt{\frac{4 D_d \tau}{\pi}} \quad /6/$$

Prace dotyczące dyfuzji cząstek stałych zawieszonych w gazach prowadzili także Kleinschmidt [7] , Stairmand [8] , Bosanquet [9] oraz Boucher [10] .

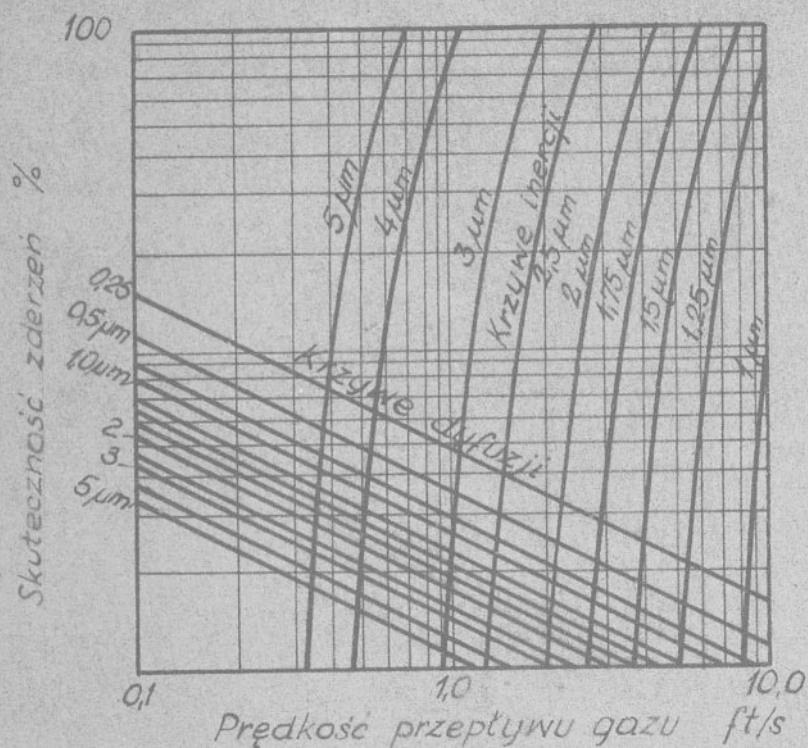
Na rys. 2 przedstawiono określoną przez Stairmanta zależność skuteczności zderzeń ziarn pyłu z powierzchnią cylindryczną /np. włóknem warstwy filtracyjnej/ od wielkości ziarn i prędkości przepływu gazu. Ukośne proste dotyczą zderzeń, będących wynikiem dyfuzji, zaś krzywe - zderzeń inercyjnych.

Ogólne wnioski, jakie można wysnuć z dotychczasowych badań nad wpływem dyfuzji na ruch ziarn pyłu i ich ewentualne zderzenie z powierzchnią elementów cieczy są następujące:

- ilość ziarn zderzających się z powierzchnią cieczy rośnie ze wzrostem czasu zetknięcia, czyli maleje ze wzrostem prędkości przepływu oraz rośnie ze wzrostem stężenia pyłu w gazie i temperatury gazu,
- przy stałej temperaturze ze wzrostem masy i wielkości ziarn maleje ich średnie przesunięcia, a więc również prawdopodobieństwo zderzenia.

Dla praktycznego wykorzystania zjawiska dyfuzji w procesach mokrego odpylania, należałoby więc stosować jak najmniejsze prędkości przepływu gazu /długi czas kontaktu/, co byłoby związane z dużymi wymiarami urządzeń, toteż praktyczne znaczenie tego zjawiska jest niewielkie zwłaszcza, że zawartość drobnych ziarn w większości pyłów przemysłowych jest niewielka.

Według Bouchera, wpływ dyfuzji jest zauważalny dla ziarn pyłu mniejszych od $20\text{ }\mu\text{m}$. Przyjmuje się na ogół, że ruchy Browna odgrywają decydującą rolę w zjawisku ruchu i zderzeń ziarn mniejszych od $0,5 - 1\text{ }\mu\text{m}$, choć niektórzy badacze sugerują wartości mniejsze, np. Weber [3] - $0,1\text{ }\mu\text{m}$. Langmuir i Blodgett [11] przyjęli jako kryterium przejścia od mechanizmu zderzeń molekularnych do inercyjnych wartość liczby Stockesa



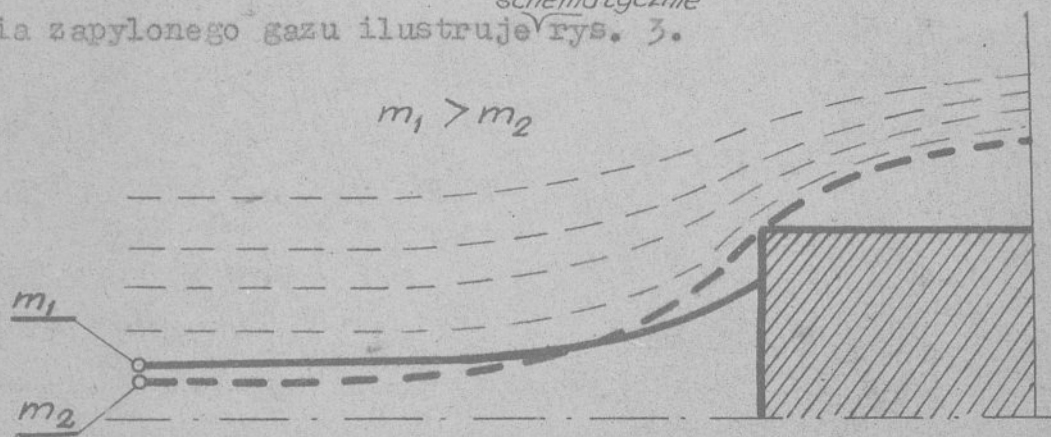
Rys. 2. Zależność skuteczności zderzeń inercyjnych i dyfuzyjnych od prędkości powietrza i wielkości ziarn pyłu.

wynoszącą 0,607.

2.1.2. Zderzenie jako wynik bezwładności.

Większość pyłów występujących w technice charakteryzuje się stosunkowo niewielką zawartością drobnych ziarn, podlegających ruchom Browna, stąd zasadniczy wpływ na efekt odpylania mokrego mają zderzenia inercyjne ziarn z elementami cieczy. Są one wynikiem działania sił masowych, zwłaszcza bezwładności i oporu ośrodka.

Istotę zjawiska zderzeń ziarn pyłu z innymi elementami /stałymi lub ciekłymi/, zachodzącego przy zmianie kierunku ruchu strumienia zapyłonego gazu ilustruje ^{schematycznie} rys. 3.



Rys. 3. Tory ruchu ziarn pyłu w pobliżu przeszkody
 m_1, m_2 - masa ziarn pyłu

Ziarna pyłu, których masa i bezwładność jest większa niż cząsteczek gazu, poruszają się w pobliżu przeszkody po innych torach niż linie prądu strumienia gazu. Prawdopodobieństwo zderzenia się poszczególnych ziarn z powierzchnią przeszkody, zależy od wielkości i masy ziarn, prędkości i lepkości gazu oraz wielkości i kształtu przeszkody. W odpylaczach mokrych przeszkodami takimi są elementy cieczy, np. krople.

Jedno z pierwszych opracowań teoretycznych zjawiska zderzeń inercyjnych ziarn pyłu z kroplami cieczy, dokonane zostało przez Bartha [12]. Zderzeniu z powierzchnią kropli /rys. 4/ podlegają

jedynie ziarna poruszające się w obrębie strugi gazu o średnicy d_s .



Rys. 4. Opływ zapyłonego gazu wokół kropli

Charakteryzująca jednostkowy przebieg procesu, tzw. liczba odpylania E określona jako

$$E = \frac{d_s}{d_k} \quad /7/$$

gdzie:

d_k - średnica kropli

może być wyrażona również jako funkcja

$$E = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{k_o}{A'^2}}} \quad /8/$$

gdzie:

k_o - stała wyznaczana empirycznie,

A' - liczba podobieństwa

przy czym

$$A' = \frac{w u_p}{d_k g} \quad /9/$$

gdzie:

w - względna prędkość ruchu gazu i kropli

u_p - prędkość opadania ziarna

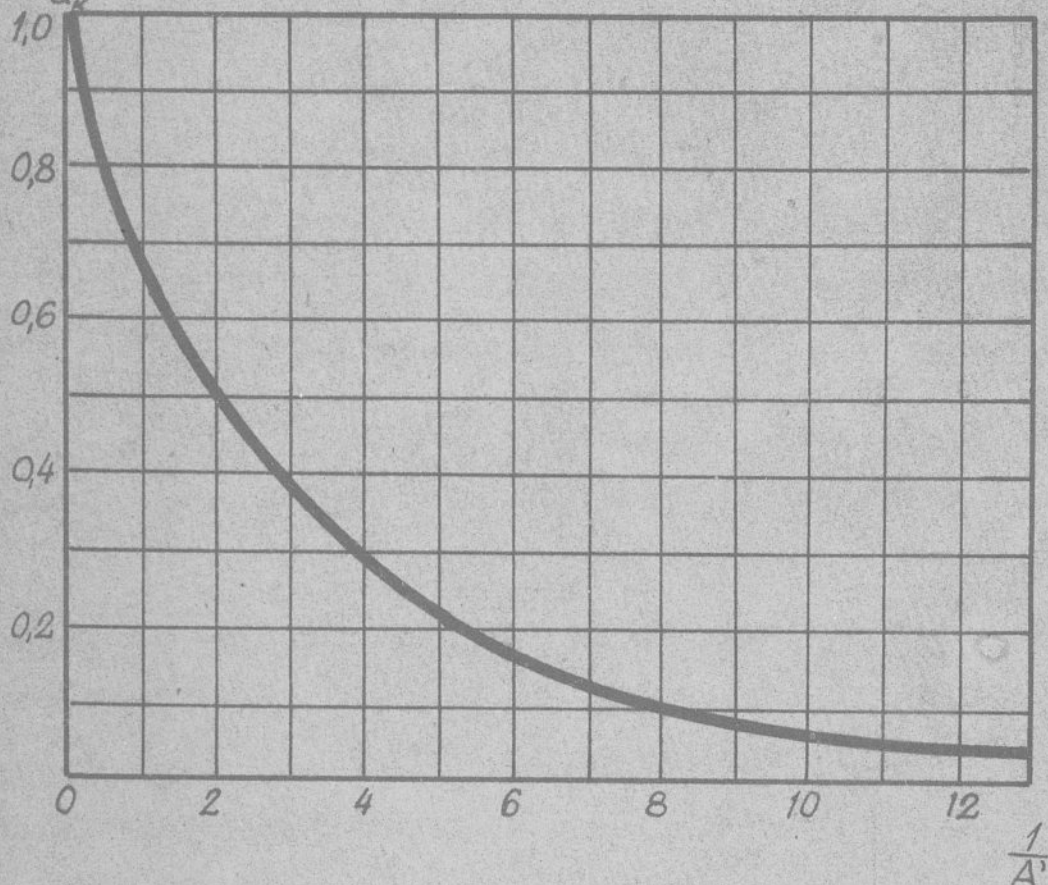
g - przyspieszenie ziemskie

Zależność $E = f /A'$ przedstawiono wykreślnie na rys. 5.

Znając wartość liczby odpylania można określić tzw. pojemność uderową kropli V_u , tj. objętość aerozolu, z której wszystkie ziarna zderzą się z kroplą w określonym okresie czasu

$\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2$, a następnie

$$E = \frac{d_s}{d_k}$$



Rys. 5. Wykres zależności $E = f /A'$

bezwymiarową liczbę znamionową oczyszczania m' , obrazującą stosunek objętości oczyszczonego gazu do objętości zużywanej do tego celu wody. Liczba ta określona jest wzorem

$$m' = \frac{V_u}{\frac{\pi d_k^2}{6}} = \frac{3}{2 d_k} \int_{\tau_1}^{\tau_2} w E^2 d\tau \quad /10/$$

Z teorii Bartha wyciągnąć można następujące wnioski:

- prawdopodobieństwo zderzeń ziarn pyłu z powierzchnią kropli rośnie ze wzrostem prędkości względnej, wielkości ziarn, zmniejszaniem się średnicy kropli i wzrostem czasu przepływu gazu przez odpylacz,
- istnieją zatem dwie możliwości odpylania:
 - a/ w urządzeniach o dużej objętości przy prędkościach małych przepływu i małym zapotrzebowaniu energii,
 - b/ w urządzeniach o małej objętości, lecz większym zapotrzebowaniu energii,
- im mniejszy wymiar ziarn, tym mniejsze powinny być krople, dla osiągnięcia tej samej skuteczności odpylania.

Przy szczegółowej analizie teorii nasuwają się jednak następujące uwagi:

- teoria ta dość wiernie oddaje przebieg zjawiska odpylania, będącego wynikiem zderzeń inercyjnych, lecz jedynie dla pyłów o zdecydowanych własnościach hydrofilowych, ponieważ jej założeniem jest, że zderzenie ziarna z kroplą jest równoznaczne z jego natychmiastowym wchłonięciem /zanurzeniem/ w głąb kropli, a zatem uwolnieniem powierzchni kropli dla następnych zderzeń. W wypadku pyłów źle lub wolno zanurzających się w wodzie, czas zanurzenia może być większy od czasu przepływu kropli przez odpylacz, a zatem ilość rozpylanej wody określona teoretycznie z liczby znamionowej

oczyszczania m' może okazać się zbyt mała dla osiągnięcia przewidywanej skuteczności odpylania,

- wobec powyższego wydaje się, że występująca we wzorze/8/ stała empiryczna k_0 ujmuje jedynie takie własności pyłu, które mają wpływ na tor ruchu ziarna, a więc np. gęstość pyłu i kształt ziarna, nie uwzględniając zdolności pyłu do adsorpcji cieczy.

Według Judy [5] istnieje ponadto pewien dolny graniczny wymiar ziarn, poniżej którego wytrącanie pyłu na drodze zderzeń inercyjnych jest niemożliwe, ponieważ zmniejszanie wymiarów kropeł powoduje zmniejszanie ich bezwładności, a poniżej pewnej średnicy kropeł - znaczne zmniejszanie prędkości względem ziarn pyłu, obniżając tym samym efektywność zderzeń.

Liczba odpylania E jest zdaniem Fuksa [13] funkcją liczby Stockesa charakteryzującej ruch ziarn pyłu oraz funkcją średnicy kropeł.

Opierając się na pracach Fuksa, inny sposób teoretycznego ujęcia zjawiska zderzeń inercyjnych zachodzących w procesie mokrego odpylania podał Andrzejewski [14] [15]. Wychodząc z ogólnej teorii filtracji, wyprowadził wzór określający przedziałową /frakcyjną/ skuteczność filtracji aerozolu w płuczkach z wypełnieniem lub bez wypełnienia.

Wzór ten ma postać

$$\eta_p = 1 - \exp \left[-\alpha \frac{h_f}{D} / 1 - \beta / \right] \quad /11/$$

gdzie:

η_p - przedziałowa skuteczność filtracji,

α - współczynnik filtracji,

h_f - długość obszaru filtracji w kierunku przepływu aerozolu,

D - wymiar charakterystyczny elementu wytrącającego,

β - porowatość obszaru filtracji.

Występujący we wzorze /11/ współczynnik filtracji α , jest z kolei funkcją bezwładnościowego współczynnika zderzeń λ_0 określonego wzorem

$$\lambda_0 = \psi_B \frac{w d_z^2 \rho_p}{\mu D} \quad /12/$$

gdzie:

ψ_B - współczynnik proporcjonalności zależny od kształtu ziarna,

w - względna prędkość gazu i elementów wytrącających,

d_z - zastępcza średnica ziarna pyłu,

ρ_p - gęstość pyłu,

μ - lepkość dynamiczna gazu,

oraz współczynnika przyczepności ziarn do powierzchni elementów wytrącających /kropel, zwilżonych elementów wypełnienia/ λ określonego wzorem

$$\lambda = \psi_E \frac{G_c / \cos \theta + 1 / \sqrt{1 - \beta_c}}{d \rho_p w_f^2} \quad /13/$$

gdzie:

ψ_E - współczynnik proporcjonalności zależny od kształtu i porowatości ziarn oraz kąta i energii zderzenia ziarna z powierzchnią cieczy,

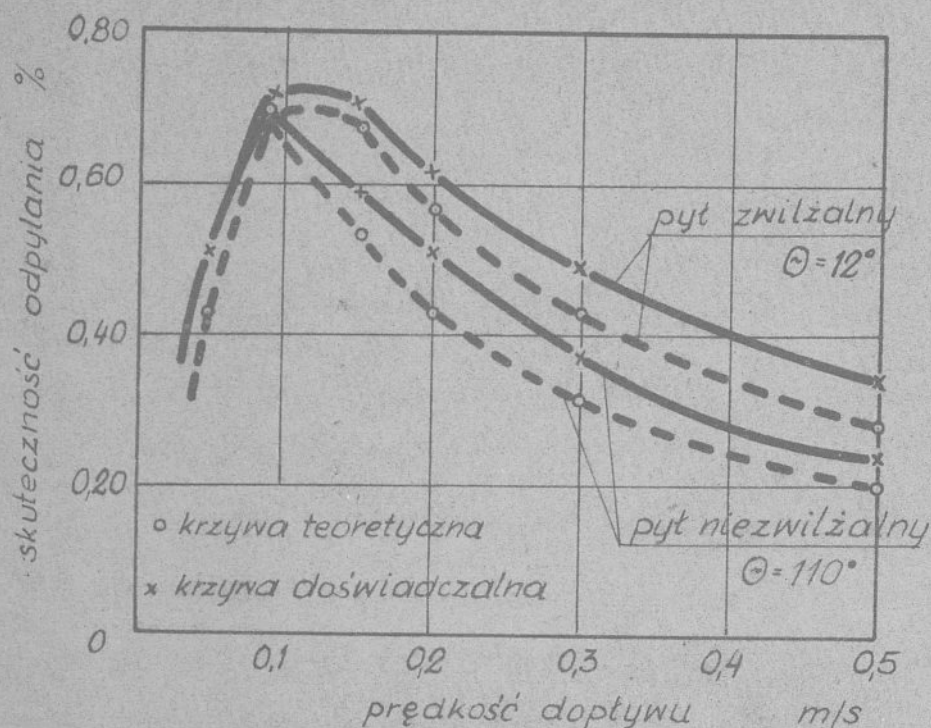
G_c - napięcie powierzchniowe cieczy,

β_c - porowatość ziarna,

θ - kąt zwilżania pyłu przez ciecz,

w_f - prędkość przepływu gazu wewnątrz obszaru filtracji.

Przeprowadzone przez Andrzejewskiego [15] badania nad oddzielaniem pyłów szklanych /zwilżanych i niezwilżanych/ w modelu płuczki z wypełnieniem wykazały znaczną zbieżność wyników uzyskanych na drodze doświadczalnej z wartościami obliczonymi w oparciu o wzory 11, 12 i 13 /rys. 6/. Wartości współczynników proporcjo-



Rys. 6. Wykres zależności przedziałowej skuteczności odpylania pyłu szklanego od prędkości przepływu gazu w płuczce z wypełnieniem.

nalności wyznaczone doświadczalnie, wyniosły dla badanego pyłu $\Psi_B = 4$ i $\Psi_E = 0,095$.

Podobny do opisanego wyżej sposób ujęcia zagadnienia przyjął Gutowski [16] [17], opracowując teoretyczne podstawy filtracji aerozoli w płuczkach barbotażowych i pianowych. Wyprowadzony przez niego wzór, określający przedziałową skuteczność filtracji w płuczkach barbotażowych i pianowych ma postać:

$$\eta_p = 1 - \exp / \alpha \ln \phi_n / \quad /14/$$

gdzie:

η_p - przedziałowa skuteczność filtracji,

α - współczynnik filtracji /omówiony poprzednio/,

ϕ_n - współczynnik charakteryzujący pianę /barbotaż/.

Współczynnik ϕ_n określony jest wzorem

$$\phi_n = \frac{\bar{D}}{2 \sum_{i=1}^n h_i} \quad /15/$$

gdzie:

$\bar{D}$ - średni wymiar pęcherzyka dla n pól,

n - ilość pól,

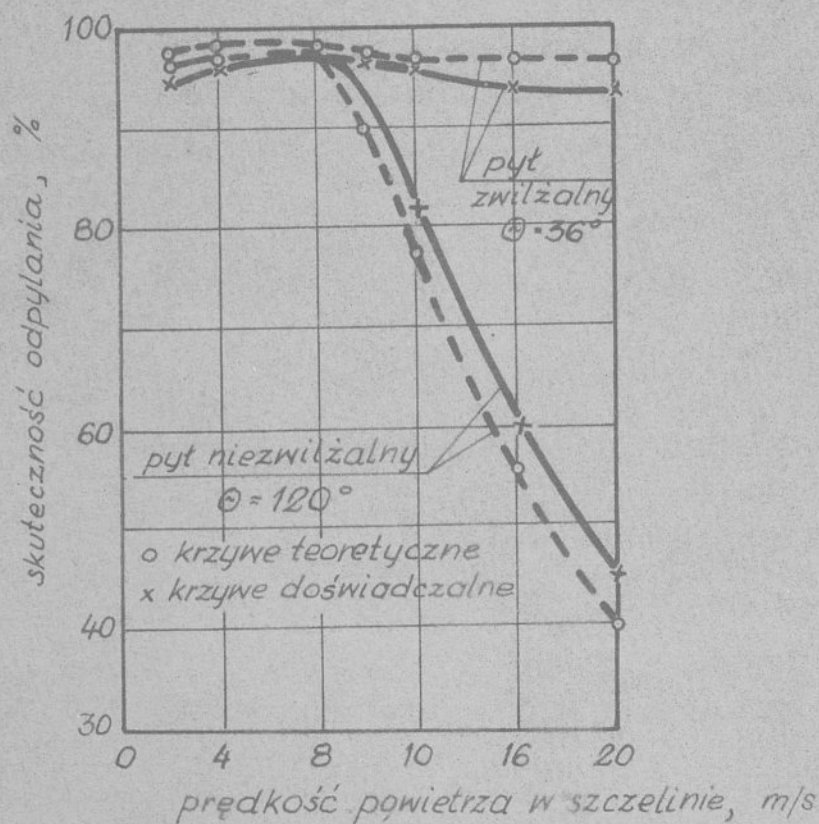
h_i - wysokość piany na każdej z pól.

Wyniki badań nad oddzieleniem pyłów BaSO_4 /zwilżalnego i niezwilżalnego/ w laboratoryjnym modelu płuczki pianowej potwierdziły słuszność opracowanej teorii. Na rys. 7 przedstawiono wykreślenie zależności skuteczności odpylania od prędkości powietrza w szczelinach płuczki pianowej, określone na drodze doświadczalnej i teoretycznej dla obu badanych pyłów.

Opracowana przez Andrzejewskiego i Gutowskiego teoria pozwala na analityczne ujęcie wpływu kilku podstawowych czynników na efekt odpylania w najczęściej spotykanych typach procesu mokrego odpylania.

Według tej teorii o efekcie decyduje głównie prawdopodobieństwo zderzeń inercyjnych oraz przyczepność ziarn pyłu do powierzchni cieczy. Zastrzeżenia odnośnie szerokiego zastosowania teorii w

w praktyce badawczej, a głównie przy projektowaniu budzi jednak uzależnienie współczynnika przyczepności [13] m.in. od kąta zwilżania pyłu cieczą, zwłaszcza jeśli weźmie się pod uwagę, że nie ma obecnie metody, pozwalającej określić kąt zwilżania dla pojedynczego ruchomego ziarna, a znane metody badania zwilżalności pyłu /w warstwie/ mają szereg wad /co omówiono szczegółowo w p. 3/.



Rys. 7. Wykres zależności przedziałowej skuteczności odpylania pyłu $BaSO_4$ od prędkości przepływu gazu w płaszczyźnie pianowej.

Ponadto teoria ta nie ujmuje takich zjawisk, jak kondensacja i elektryzacja, które niekiedy mogą istotnie wpływać na przebieg procesu mokrego odpylania.

Innego sposobu teoretycznego ujęcia procesu odpylania, zachodzącego w wyniku zderzeń inercyjnych dokonał Pikoń [18]. Opierając się na pracach Johnstone'a i Roberta [19], Pozina, Muchlenowa i Tarata [20] oraz wcześniejszych własnych badaniach [21], wyprowadził na drodze rozważań teoretycznych i badań laboratoryjnych wzór, określający przedziałową skuteczność odpylania w płuczce bez wypełnienia, zraszanej wodą.

Wzór ten ma postać:

$$\eta_p = 1 - \exp \left(- \frac{K F_k}{L} \right) \quad /16/$$

gdzie:

K - współczynnik szybkości odpylania,

F_k - powierzchnia rzutu kropel,

L - natężenie przepływu gazu przez odpylacz.

Współczynnik szybkości odpylania K określa masę pyłu, jaka zostaje wytrącona z zapyłonego gazu przy powierzchni rzutu kropel $F_k = 1 \text{ m}^2$, średniej różnicy stężenia zapylenia powietrza na wlocie i wylocie z płuczki $\Delta s = 1 \text{ kg/m}^3$ w okresie czasu

$\Delta \tau = 1 \text{ h}$. Zasadniczym efektem pracy Pikońa jest równanie kryterialne w postaci

$$\frac{K}{W} = 9,0 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\bar{d}_k W s_g}{\mu_g} \right)^{0,5} \left(\frac{d_z W s_g}{\mu_g} \right)^{0,3} \left(\frac{s_p}{s_g} \right)^{0,8} \quad /17/$$

gdzie:

$\bar{d}_k$ - średnia średnica kropel, m

d_z - średnica zastępcza pyłu, m

w - względna prędkość gazu i kropel, m/h

ρ_g - gęstość gazu, kg/m^3

ρ_p - gęstość pyłu, kg/m^3

μ_g - lepkość dynamiczna gazu, kg/mh

Wykładniki potęgowe występujące w równaniu/17/ ustalono w wyniku badań nad oddzieleniem w laboratoryjnym modelu płuczki pyłów pochodzących z pieca karbidowego, pyłów kredy, cementu, węgla kamiennego oraz pyłu krzemowego. Podany w pracy [18] zakres stosowania równania jest następujący: $d_z = 5 - 2000 \mu\text{m}$, $\bar{d}_k = 380 \mu\text{m}$, $w < 3 \text{ m/s}$, $\rho_g \leq 1,2 \text{ kg/m}^3$, $s = 5 \text{ g/m}^3$.

Jak wynika ze wzoru/16/ i równania/17/, skuteczność odpylania zależy ma jedynie od parametrów wpływających na prawdopodobieństwo zderzeń inercyjnych. Wpływ przyczepności ziarn do powierzchni cieczy jest tu całkowicie pominięty. Tego rodzaju wniosek mógł być wyciągnięty ze względu na to, że badania prowadzono przy stosunkowo niewielkim stężeniu zapylenia na wlocie do płuczki oraz z powodu prawdopodobnie zbliżonej zwilżalności badanych pyłów.

Na decydujące znaczenie zderzeń inercyjnych w procesie mokrego odpylania zwrócił uwagę m.in. Semrau [22]. Oparł się on na pracach Lapple'a i Kamacka, którzy analizując działanie mokrych odpylaczy stwierdzili, że dla danego rodzaju pyłu skuteczność odpylania zależy prawie wyłącznie od strat energetycznych /spadku ciśnienia gazu/ w płuczce i jest niemal niezależna od wielkości, typu i geometrii płuczki.

Semrau wprowadził pojęcie tzw. mocy kontaktowej zdefiniowanej jako stosunek całkowitej energii przekazywanej w strefie płukania układowi ciecz-zapyłony gaz do natężenia przepływu gazu przez

płuczkę. Przez określenie całkowitej energii przekazywanej w strefie płukania, należy rozumieć sumę energii zużywanej na pokonanie oporów przepływu gazu w strefie płukania oraz energii koniecznej do ewentualnego rozdrobnienia /wtrysku/ cieczy.

Wielkość mocy kontaktowej jest jego zdaniem jednym z podstawowych kryteriów, decydujących o skuteczności odpylania mokrego, przy czym jak się wydaje, pojęcie to ujmuje przede wszystkim wpływ zderzeń inercyjnych.

Ogólny wzór służący do określania mocy kontaktowej ma postać

$$K_T = 2,724 \cdot 10^{-3} / \Delta h + \Delta H \frac{Q_c}{L} /18/$$

gdzie:

- K_T - moc kontaktowa, kWh/1000 m³ gazu,
- Δh - spadek ciśnienia /opory przepływu/ gazu w strefie płukania, mm H₂O
- ΔH - nadciśnienie w dyszy lub przed wlotem cieczy do płuczki, mm H₂O,
- Q_c - natężenie wypływu cieczy w płuczce, m³/h
- L - natężenie przepływu gazu przez płuczkę, m³/h.

Zależność między skutecznością odpylania a mocą kontaktową jest następująca:

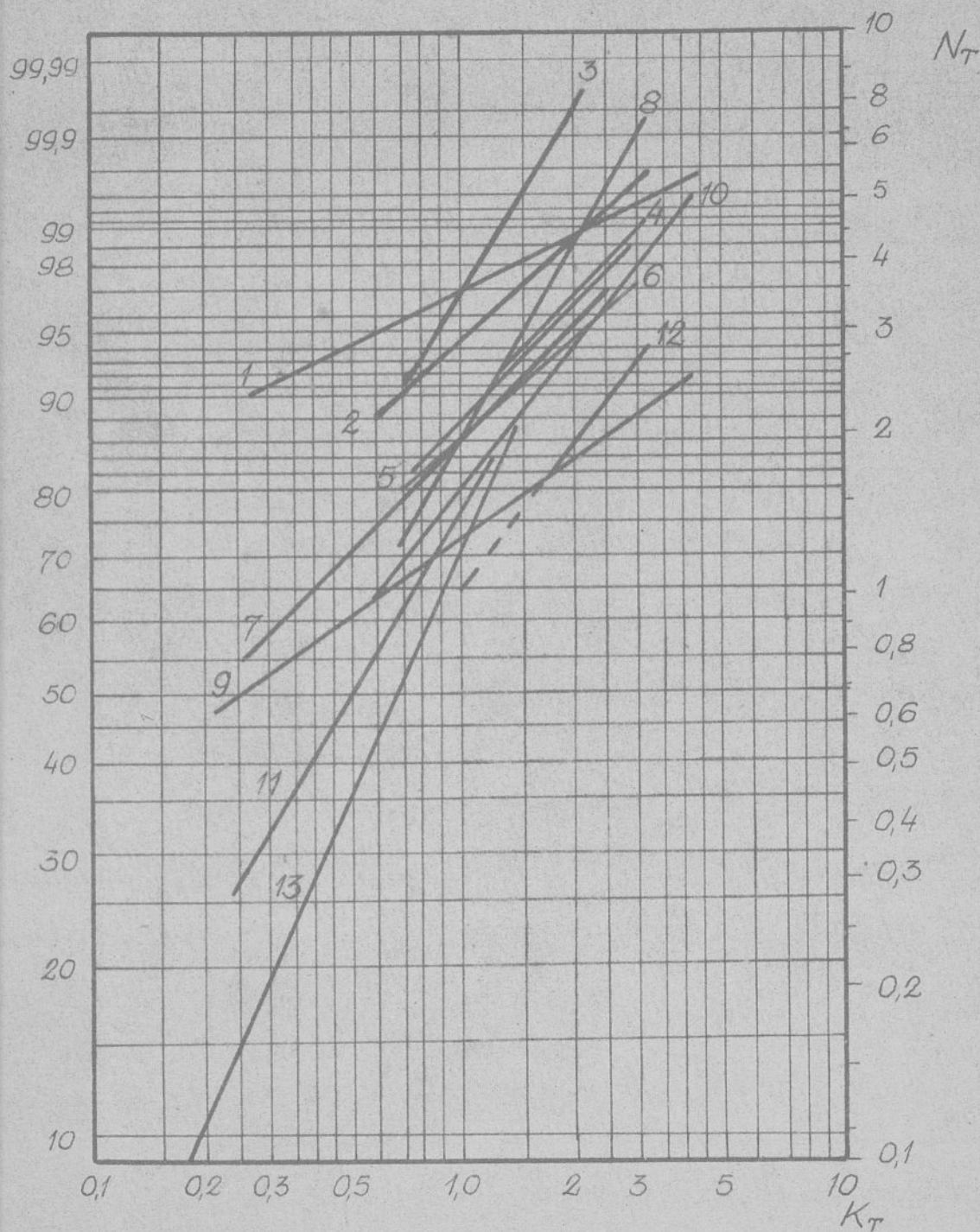
$$\eta = 1 - e^{-A'' K_T^{\alpha}} /19/$$

gdzie:

- A'' i α - stałe charakterystyczne dla danego rodzaju zapyłonego gazu (określone doświadczalnie)

Wartość $N_T = A'' K_T$ nazwana została liczbą przeniesienia mocy

Na rys. 8 przedstawiono graficznie zależności między mocą kontaktową, liczbą przeniesienia mocy i skutecznością odpylania dla



Rys. 8. Wykres zależności między mocą kontaktową, skutecznością odpylania i liczbą przeniesienia mocy dla różnych rodzajów pyłów i mgieł. Numeracja krzywych odpowiada numeracji w tabeli 1.

różnych rodzajów pyłów i mgieł, a w tabeli 1 zestawiono wartości stałych $\log A''$ i α .

T a b e l a 1.

Nr krzywej na rys. 7	Rodzaj pyłu lub mgły	$\log A''$	α
1	Pył talku	0,55946	0,3506
2	Aerozol ługu powarzelnego /w kontakcie z zimną wodą/	0,46693	0,6188
3	Pył z pieca wapiennego	0,55227	1,0529
4	Mgła kwasu fosforowego	0,36629	0,6312
5	Pył z żeliwiaka	0,35306	0,6210
6	Pył z pieca martenowskiego	0,30103	0,5688
7	Pył talku	0,30103	0,6566
8	Pył alkaliczny z pieca wapiennego	0,34242	1,2295
9	Pył z pieca żelazokrzemowego	0,10243	0,4590
10	Aerozol ługu powarzelnego /w kontakcie z gorącą wodą/	0,18150	0,8590
11	Aerozol siarczanu miedzi	0,13033	1,0679
12	Aerozol ługu powarzelnego /o wysokiej temperaturze/	0,02371	0,8628
13	Mgła z produkcji mydła	0,06793	1,4146

Wg Semraua stałe A'' i α zależą głównie od rozdrobnienia pyłu /analizy ziarnowej/, ale ujmują także inne parametry charakterystyczne dla pyłu i zapyłonego gazu. Wydaje się, że na ich wartość ma znaczny wpływ przyczepność pyłu do elementów cieczy, a więc zarówno zwilżalność jak i ładunek elektryczny ziarn oraz elementów cieczy, a także ewentualna kondensacja par cieczy

zachodząca w odpylaczach.

Na tle przedstawionych wcześniej teorii, opracowany przez Semraua sposób teoretycznego ujęcia zjawisk zachodzących w procesie mokrego odpylania wydaje się być nie tylko prosty, ale także bardzo ogólny, gdyż uniezależnia on efekt odpylania od konstrukcji płuczki, a jednocześnie w stałych A'' i α ujmując łącznie wpływ ^{na efekt odpylania} najistotniejszych parametrów nie tylko pyłu, ale także zapyłonego gazu.

2.2. Zwilżanie pyłu

Po zderzeniu, które jest pierwszym warunkiem wytrącenia, ziarno pyłu zostanie oddzielone, jeżeli nastąpi jego trwałe związanie z cieczą.

Podczas zetknięcia się cieczy o napięciu powierzchniowym σ_c z ciałem stałym o napięciu powierzchniowym σ_s na granicy zetknięcia powstaje powierzchnia międzyfazowa o powierzchniowym napięciu międzyfazowym σ_f .

Wielkość energii wynikającej z działania sił przyciągania między cząsteczkami cieczy i ciała stałego /adhezji/, przypadająca na jednostkę powierzchni międzyfazowej, nazwana została pracą adhezji [23] i jest określona prawem Duprè

$$A_a = \sigma_s + \sigma_c - \sigma_f \quad /20/$$

gdzie:

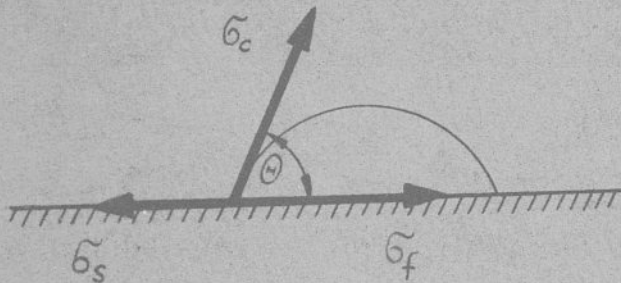
A_a - praca adhezji

Kropla cieczy umieszczona na gładkiej powierzchni ciała stałego będzie się rozplýwać aż do chwili osiągnięcia stanu równowagi /rys. 9/ określonego równaniem Younga

$$\sigma_s = \sigma_c \cos \theta + \sigma_f$$

/21/

skrajny kąt θ zawarty między wektorami σ_f oraz σ_c nosi nazwę kąta zwilżania /kąta granicznego/ i może stanowić miarę zwilżania ciała stałego przez ciecz. Przy $\theta = 0^\circ$ zwilżanie jest zupełne /kropla rozplywa się po powierzchni ciała stałego/, przy $\theta = 180^\circ$ ciało stałe jest całkowicie niezwilżalne daną cieczą /dostatecznie mała kropla zachowuje kształt kulisty/.



Rys. 9. Kropla cieczy na powierzchni ciała stałego:

- σ_c - napięcie powierzchniowe cieczy,
- σ_s - napięcie powierzchniowe ciała stałego,
- σ_f - napięcie powierzchniowe międzyfazowe
- θ - kąt zwilżania

Andrzejewski [2] proponuje, aby ciała stałe, dla których $90^\circ \leq \theta < 180^\circ$ nazywać niezwilżalnymi /źle zwilżalnymi/, a ciała, dla których $0^\circ < \theta < 90^\circ$ zwilżalnymi /dobrze zwilżalnymi/.

Znaczny wpływ na zwilżanie ciał stałych ma m.in. stan ich powierzchni, co jest szczególnie istotne w przypadku ciał rozdrobnionych, a więc i pyłów. Na podstawie badań Krella [24] można sądzić, że porowatość, a zwłaszcza duża ilość otwartych

kapilar zwiększa wartość kąta zwilżania, podczas gdy krawędzie cząstek są czynnikiem zmniejszającym tę wartość.

W niektórych przypadkach ciecze nie zwilżają swej własnej monomolekularnej warstwy zaadsorbowanej na powierzchni ciała stałego /ciecz autofobowa/.

Zjawisko zwilżania pyłów, które w uproszczony sposób można przedstawić jako adsorpcję cieczy na powierzchni ziarna pyłu, jest zagadnieniem dość akomplikowanym. Pyły mają bowiem bardzo różnorodny charakter powierzchni, zależnie od sposobu ich powstawania /dyspersja lub kondensacja/ i dużą na ogół powierzchnię właściwą, a zatem łatwo adsorbują na swej powierzchni gazy i pary, które przy zetknięciu się ziarna pyłu z cieczą tworzą warstwę izolacyjną. Warstwa ta posiada przeważnie określony ładunek elektryczny, który może przeciwdziałać adsorpcji cieczy lub ją przyspieszać [5]. Powstanie warstwy cieczy na powierzchni ziarna /zwilżenie/ musi być w tym przypadku poprzedzone usunięciem warstwy izolacyjnej. Jeśli jednak warstwa cieczy zdołała powstać na powierzchni, przenika ona następnie w głąb ziarna.

Powierzchnię cieczy, z którą ziarna pyłu mogą się zderzać Gutowski [25] nazwał powierzchnią czynną dla ewentualnego ich wytrącenia.

W przypadku pyłów zwilżalnych ziarna po zderzeniu przechodzą w głąb elementów cieczy, a powierzchnia zderzeń pozostaje nadal czynna dla następnych ziarn. W przypadku pyłów niezwilżalnych, ziarna utrzymują się na powierzchni zderzeń, która w sensie jej dalszego wykorzystania przestaje być czynna. Tak więc przy stałych pozostałych warunkach w jednostce czasu, ta sama

powierzchnia czynna cieczy jest zdolna do wytrącenia większej ilości pyłu zwilżalnego niż niezwilżalnego. Oznacza to, że dla osiągnięcia tej samej skuteczności odpylania /przy tym samym prawdopodobieństwie zderzeń i jednakowej powierzchni czynnej/ ilość zużywanej cieczy może być znacznie mniejsza w przypadku pyłu zwilżalnego, niż w przypadku pyłu niezwilżalnego.

Szybkość przenikania ziarn z powierzchni w głąb cieczy zależy w znacznym stopniu od zwilżalności pyłu daną cieczą.

Przy dostatecznie dużym stężeniu zapylenia, czas pochłonięcia ziarn, które pokryły powierzchnię czynną elementu cieczy /np. kropli/ może być równy czasowi przejścia tego elementu przez odpylacz i wówczas różnica w skuteczności wytrącania pyłów zwilżalnych i niezwilżalnych /o podobnych innych właściwościach/ będzie niewielka.

Andrzejewski i Gutowski [26] wprowadzili pojęcie przyczepności pyłu, odpowiadające wielkości energii niezbędnej do oddzielenia ziarna pyłu od powierzchni cieczy, czyli pracy adhezji. Podczas kontaktu ziarna pyłu z powierzchnią cieczy, może wystąpić adhezja będąca wynikiem zwilżania /adhezja zwilżania/, jak i adhezja wynikająca z działania sił elektrostatycznych /adhezja elektrostatyczna/. Energię adhezji zwilżania ziarnakulistego można określić wzorem

$$E_A = \pi \zeta_0 G_c d^2 / \cos \Theta + 1/ \quad /22/$$

gdzie:

E_A - energia adhezji zwilżania,

ζ_0 - współczynnik styku powierzchni /stosunek powierzchni zetknięcia się ziarna z cieczą do całkowitej powierzchni ziarna/

d - średnica ziarna.

Podczas zderzenia się ziarna z powierzchnią cieczy, jego energia kinetyczna zostanie w części lub w całości zużyta na pokonanie pracy adhezji. W przypadku granicznym zderzenia stycznego do powierzchni cieczy /poślizgowego/, jeśli pominąć adhezję elektrostatyczną, warunkiem zatrzymania ziarna na powierzchni cieczy będzie wartość energii adhezji zwilżania co najmniej równa energii kinetycznej ziarna. Przebieg tego zjawiska charakteryzuje współczynnik adhezji [26], przyjmujący wartości większe od jedności.

Współczynnik adhezji określa stosunek energii adhezji zwilżania do energii kinetycznej ziarna, który dla ziarn kulistych jest określony wzorem

$$\varphi_A = 12 \cdot \zeta_0 \cdot \frac{G_c / \cos \theta + 1}{s_p \cdot w^2 \cdot d} \quad /23/$$

gdzie:

φ_A - współczynnik adhezji,

w - prędkość ziarna względem powierzchni cieczy

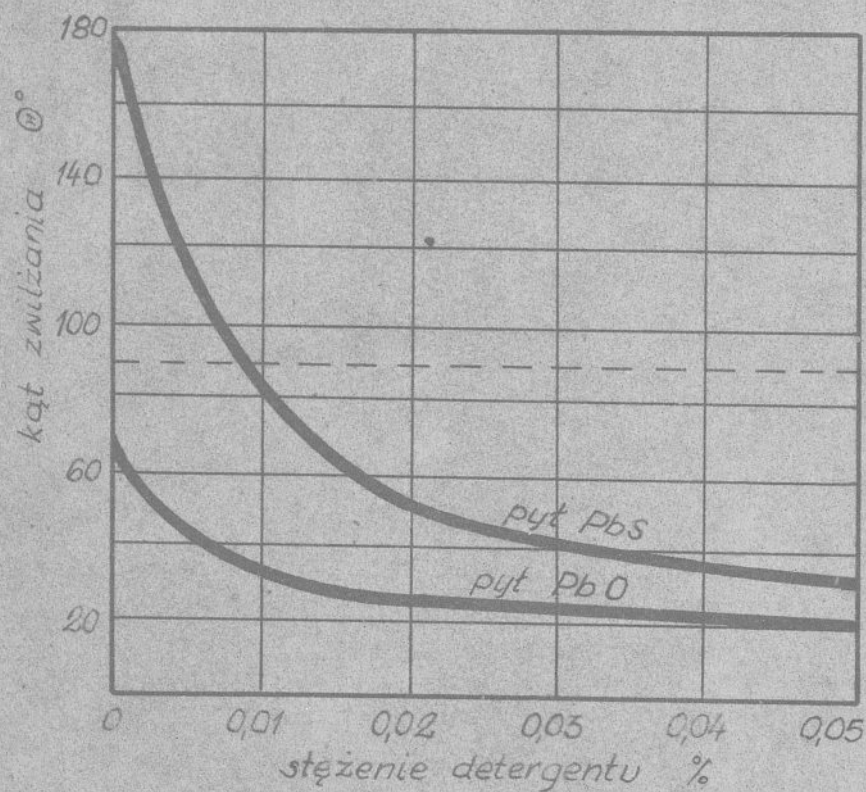
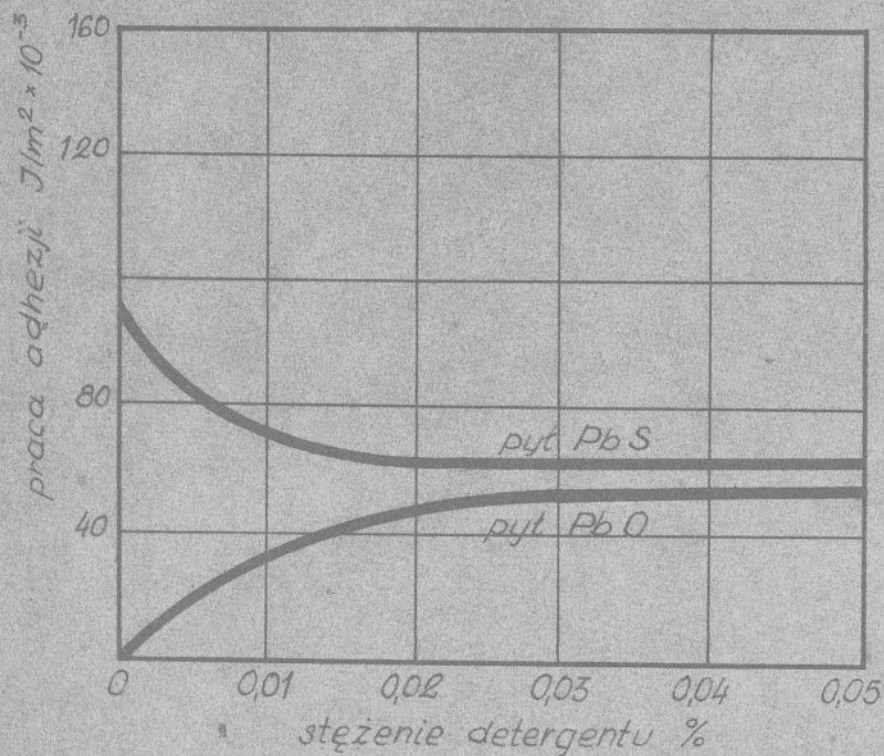
Analizując wzory /20/ i /21/ można stwierdzić, że poprawę zwilżalności pyłu /wzrost energii i współczynnika adhezji/ da się uzyskać poprzez zmniejszanie kąta zwilżania /przy stałym napięciu powierzchniowym/.

Znaczny wpływ na zwilżalność ciał stałych wodą, ma obecność rozpuszczonych w niej związków organicznych lub nieorganicznych. Związki nieorganiczne powodują na ogół wzrost napięcia powierzchniowego obniżając zwilżalność. Obecność większości substancji organicznych powoduje zmniejszanie napięcia powierzchniowego wody.

Dodawanie do wody środków powierzchniowo-czynnych tzw. detergentów, może ułatwiać zwilżanie ciał stałych /powodować wzrost energii adhezji/ pod warunkiem, że napięcie powierzchniowe roztworu będzie mało wolniej niż wzrastał będzie kąt zwilżania. Substancje te zbudowane z wydłużonych cząsteczek pozwalają na zmianę napięcia powierzchniowego na granicy faz. Cząsteczki detergentów, składające się z dwóch biegunowo położonych elementów strukturalnych, orientują się na granicy faz prostopadle do powierzchni granicznej w ten sposób, że element hydrofilowy /grupa polarna/ skierowany jest ku fazie wodnej, a element hydrofobowy odpychany jest na zewnątrz. Dodanie do wody niewielkiej ilości substancji, dla której siły van der Waalsa są mniejsze niż dla cząsteczek samej wody powoduje, że stężenie tej substancji na powierzchni będzie większe niż wewnątrz roztworu. Wzbogacenie zaś powierzchni w cząsteczki o mniejszym polu sił jest równoznaczne ze zmniejszaniem napięcia powierzchniowego. Powstawanie na powierzchni jednocząsteczkowej warstwy adsorpcyjnej pozwala wysnuć wniosek, że nawet minimalny dodatek środków powierzchniowo-czynnych może powodować znaczne zmniejszenie napięcia powierzchniowego cieczy, a przede wszystkim kąta zwilżania ciała stałego i wzrost pracy adhezji.

Dla przykładu na rys. 10 przedstawiono zależność kąta zwilżania i pracy adhezji od stężenia /alkiloarylosulfonianu sodu /alkilo/ w wodzie dla pyłów PbE i PbO [26] .

Dotychczasowe badania nad wpływem zwilżalności pyłów na efektywność mokrego odpylania nie miały charakteru kompleksowego, a ich głównym celem był najczęściej dobór środków, pozwalających zwiększać skuteczność odpylania przez polepszenie zwilżalności



Rys. 10. Wykresy zależności pracy adhezji i kąta zwilżania pyłów PbS i PbO od stężenia detergentu.

określonych pyłów.

Meldau [27] zwrócił uwagę na znaczenie zwilżalności pyłów w procesach mokrego odpylania stwierdzając, że zastosowanie mokrych odpylaczy jest ograniczone różną zwilżalnością pyłów. Zwilżalność pyłu uzależniał on od składu chemicznego pyłu oraz własności cieczy, postulując poprawianie zwilżalności za pomocą dodawania do wody środków powierzchniowo-czynnych.

Rebinder, Serbina i Kordiurowa [28] wykazali, że dodanie środków powierzchniowo-czynnych już w niewielkiej ilości może znacznie polepszyć własności zwilżające wody, zwłaszcza w odniesieniu do pyłów źle zwilżalnych, w tym także dla ziarn, które nie uległyby zwilżeniu wskutek zaadsorbowanej na nich powierzchni otoczki gazowej.

Ciekawe wyniki uzyskał Denisow [29] w badaniach nad oddzieleniem pyłów metali kolorowych w płucze barbotażowej, w której do wody dodawano różne ilości detergentu. Stosunek stężenia gazu odpylonego przy użyciu czystej wody do stężenia uzyskanego przy użyciu detergentu, nazwał współczynnikiem wpływu detergentu. Wyniki jego badań zestawiono w tabeli 2.

T a b e l a 2.

Rodzaj pyłu	Średni wymiar ziarn /w μm /	Stężenie detergentu w %	Współczynnik wpływu detergentu
Ruda miedzi	2,08	0,2	1,23
Ruda miedzi	2,04	0,1	1,20
Ruda miedzi	1,37	0,2	0,964
Tlenek cynku	2,69	0,2	2,14
Koncentrat molibdenowy	2,8	0,2	2,57 + 2,81

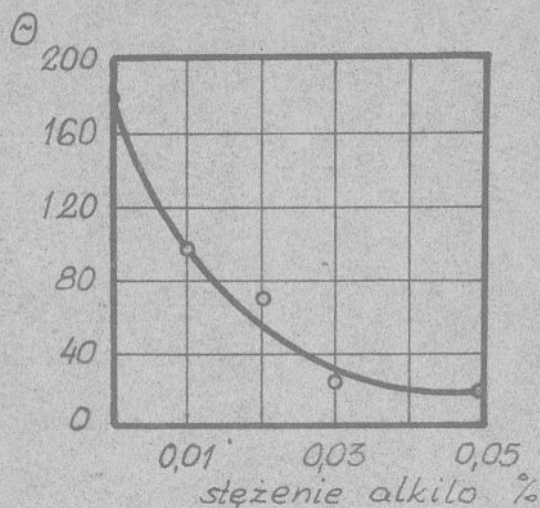
Pozin, Muchlenow i Demszin [30] w badaniach przedziałowej skuteczności odpylania płuczki pianowej stwierdzili, że wpływ zwilżalności na skuteczność maleje ze wzrostem wielkości ziarn. Wyniki badań przedziałowej skuteczności odpylania dla pyłu Al_2O_3 /zwilżalnego/ i ZnS /niezwilżalnego/ zestawiono w tabeli 3.

T a b e l a 3.

Rodzaj pyłu	Gęstość /w g/cm ³ /	Przedziałowa skuteczność odpylania dla ziarn o wymiarach / μ m/						
		0-2,5	2,5-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-60
Al_2O_3 /zwilżalny/	4	79,0	91,0	93,2	98,4	99,6	99,8	100
ZnS /niezwilżalny/	4	51,6	87,0	94,5	95,7	97,9	98,8	100

Wpływ detergentów na skuteczność odpylania pyłów ołowiowych w laboratoryjnym modelu płuczki natryskowej był badany przez Bierkowicza i Grigorową [31]. Poprzez dodawanie do wody detergentów, udało im się polepszyć skuteczność odpylania o 25 - 30%, przy czym stwierdzili, że wpływ detergentu jest bardziej istotny dla pyłów trudnozwilżalnych.

Badania przeprowadzone przez Gutowskiego [25] nad oddzielaniem pyłu siarki w modelu płuczki natryskowej obejmowały m.in. określenie wpływu zwilżalności pyłu na skuteczność odpylania. Jako detergentu użyto alkilo. Zależność wartości kąta zwilżania pyłu siarki od stężenia alkilo w wodzie ilustruje wykres na rys. 11. Kąt zwilżania określano metodą ciśnieniowo-przepływową. Na rys. 12 przedstawiono zależność napięcia powierzchniowego od stężenia alkilo w wodzie, z której wynika, że przy stężeniu 0,03% osiąga się pełne nasycenie powierzchni cząsteczkami detergentu, gdyż



Rys. 11. Wykres zależności kąta zwilżania pyłu siarki od stężenia alkilo



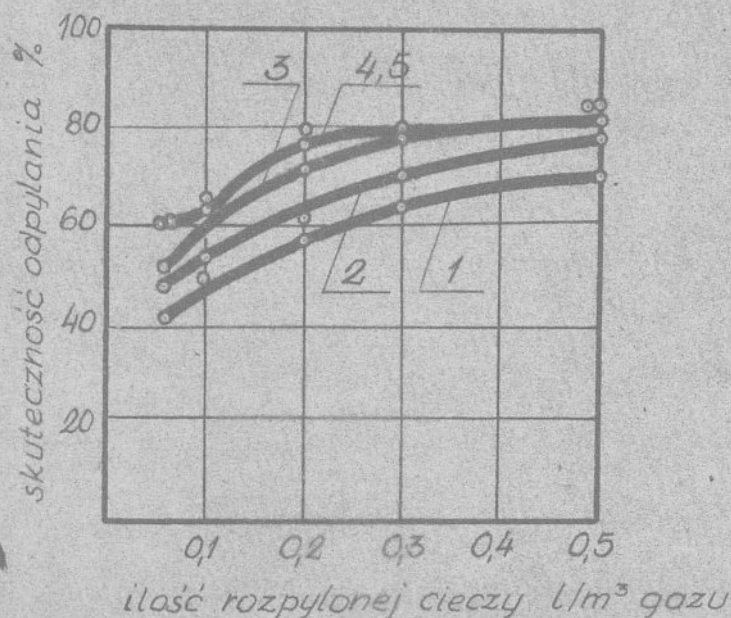
Rys. 12. Zależność napięcia powierzchniowego roztworu wodnego od stężenia alkilo

wzrost stężenia nie powoduje zmian napięcia powierzchniowego. Wyniki badań zależności skuteczności odpylania płuczki od ilości rozpylanej wody dla różnych stężeń alkilo przedstawiono na rys. 13, zaś wpływ stężenia pyłu na wlocie do płuczki i stężenia detergentu na skuteczność odpylania obrazuje rys. 14.

Badania wykazały, że dodatek detergentu w ilości zaledwie 0,05% pozwala przy pozostałych tych samych warunkach - poprawić skuteczność odpylania o 15-20%.

Ciborowski i Iwiński [32] przeprowadzili badania nad oddzielaniem pyłu siarki w płuczce ze zwężką Venturiego, zmieniając zdolności zwilżające wody przez dodawanie do niej różnych ilości mydła. Uzyskaną przez nich zależność skuteczności wytrącania od kąta zwilżania pyłu przedstawiono na rys. 15. Kąt zwilżania określony był metodą projekcyjną.

Porównanie i uogólnienie wyników prac poszczególnych badaczy nad wpływem zwilżalności pyłu na przebieg procesu mokrego odpylania jest trudne. Wynika to głównie z faktu stosowania różnych metod badania zwilżalności pyłów tym bardziej, że metody te są

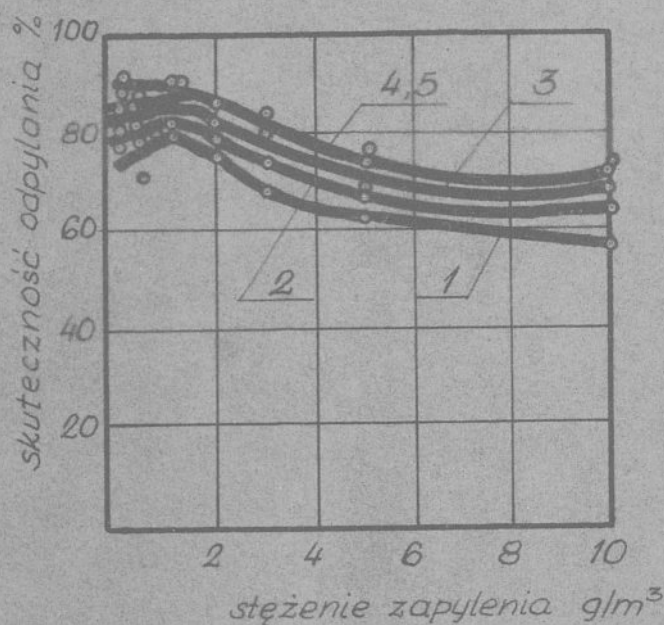


Rys. 15. Zależność skuteczności odpylania pyłu siarki w płuczce natryskowej od ilości rozpylonej cieczy dla stężeń detergentu: 1 - czysta woda, 2 - 0,01%, 3 - 0,02%, 4 - 0,03%, 5 - 0,05%

adaptacją metod badania zwilżalności ciał stałych nierozdrobnionych nieporowatych lub porowatych, a tym samym nie ujmują szeregu istotnych parametrów charakterystycznych dla pyłów takich, jak wielkość ziarn, istnienie wokół nich warstwy izolacyjnej itp.

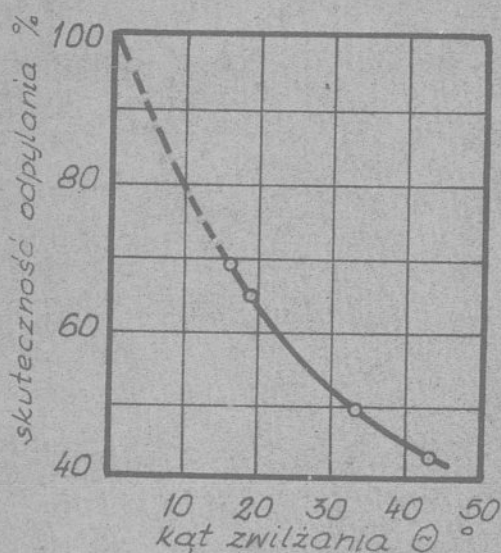
Reasumując wyżej wyniki dociekań teoretycznych i badań doświadczalnych nad zjawiskiem zwilżania pyłów, można wyciągnąć następujące wnioski:

- zdolność do adsorpcji cieczy na powierzchni ziarn jest jedną z podstawowych własności fizykochemicznych pyłu, decydujących o celowości i skuteczności oddzielania go na mokro,
- przyczepność ziarn do powierzchni elementów cieczy nie jest uwarunkowana jedynie adhezją wynikającą z podatności na



Rys. 14. Zależność skuteczności odpylania pyłu siarki w płucze natryskowej od stężenia zapylenia powietrza dla różnych stężeń detergentu:
1 - czysta woda, 2 - 0,01%, 3 - 0,02%,
4 - 0,03%, 5 - 0,05%.

zwilżanie, ale również może wynikać z działania sił elektrostatycznych, toteż nawet pyły z materiałów niezwilżalnych mogą być niekiedy oddzielane na mokro,



Rys. 15. Zależność skuteczności odpylania pyłu siarki od kąta zwilżania

- zwilżalność ziarn pyłu decyduje o szybkości przenikania ich z powierzchni w głąb cieczy /zanurzenia/, a tym samym o uwolnieniu tej powierzchni dla zderzeń z następnymi ziarnami, czyli w efekcie o ilości cieczy niezbędnej do odpylania,
- wpływ zwilżalności na skuteczność odpylania maleje ze wzrostem wielkości ziarn i ich prędkości względem elementów cieczy, czyli ze wzrostem energii kinetycznej ziarn, co wskazywałoby na to, że o trwałości wiązania ziarno pyłu-ciecz decyduje także w znacznym stopniu energia zderzenia,
- znaczną poprawę skuteczności odpylania mokrego zwłaszcza w odniesieniu do pyłów źle zwilżalnych można uzyskać przez dodawanie do wody środków powierzchniowo-czynnych, ułatwiających adsorpcję cieczy na powierzchni ziarn pyłu.

2.3. Kondensacja par cieczy na ziarnach pyłu.

Obniżenie temperatury i ciśnienia gazu zawierającego parę wodną może doprowadzić do kondensacji /wykroplenia się/ tej pary. Jeżeli w strumieniu wilgotnego gazu znajdują się cząstki ciała stałego /b. drobne ziarna pyłu/ będą one w tym przypadku spełniać rolę tzw. jąder /zarodków/ kondensacji, wokół których tworzą się pierwotne kropelki wody /o średnicach rzędu $10^{-4} \mu\text{m}/$. Na powierzchni kropelek pierwotnych kondensuje następnie para wodna zawarta w gazie. Zjawisko to występuje także w atmosferze przy tworzeniu się kropeł deszczu.

Podstawowe prace nad zjawiskiem kondensacji prowadzili Aitken, Thomson, Helmholtz i Wilson [10] .

Ogólna zależność między czynnikami wpływającymi na przebieg kondensacji pary na powierzchni pierwotnych kropelek jest następująca:

$$\ln \frac{p_0}{p_n} = \frac{4 \sigma_c}{R T \rho_c d_k} \quad /24/$$

gdzie:

- p_0 - ciśnienie pary wodnej w gazie,
- p_n - ciśnienie nasycenia pary w temperaturze T ,
- d_k - średnica kropelki pierwotnej,
- R - stała gazowa
- T - temperatura bezwzględna gazu
- σ_c - napięcie powierzchniowe cieczy,
- ρ_c - gęstość cieczy.

Teoretyczne opracowanie zjawiska kondensacji pod kątem wykorzystania go w procesie mokrego odpylania dokonane zostało

m.in. przez Derjagina i Duchina [33] . Ilość ziarn /podlegających ruchom Browna/ oddzielanych w ciągu sekundy w wyniku kondensacji pary wokół kropli o promieniu r określili oni ^{teoretycznie wyprowadzonym} wzorem

$$n = \frac{4 \pi D_d^2 r / p - p_o / s_o}{p_p / \exp \frac{D_d / p - p_o /}{D_d p_p} - 1 /} \quad /25/$$

gdzie:

- n - ilość ziarn wytrącanych w ciągu sekundy,
- D_d^2 - współczynnik dyfuzji pary wodnej w powietrzu,
- D_d - współczynnik dyfuzji ziarn pyłu w powietrzu,
- r - promień kropli
- s_o - początkowa ^{ilościowa} zawartość ziarn pyłu w gazie,
- p - ciśnienie pary na powierzchni kropli,
- p_o - ciśnienie pary w gazie,
- p_p - ciśnienie powietrza.

Według Zajaczkowskiego [34] kondensacja pary zachodzi intensywniej na ziarnach o nieregularnym kształcie /z wklęsłymi fragmentami powierzchni/ niż na ziarnach gładkich o kształcie zbliżonym do kuli.

Szybkość kondensacji zależy także od ładunku elektrycznego ziarna pyłu - ziarna o ładunku ujemnym są bardziej aktywnymi jądrami kondensacji [5] . Stwierdzono również, że kondensacja rozpoczyna się od najdrobniejszych ziarn pyłu.

Znaczenie kondensacji w procesie mokrego odpylania jest istotne przede wszystkim w odniesieniu do płuczek ze zwężką Venturiego. Jeżeli zapyłony gaz zostanie silnie nawilżony, a

następnie będzie przepływał przez konfuzor /jak to ma miejsce w tego typu płuczkach/, to w wyniku wzrostu prędkości nastąpi obniżenie ciśnienia statycznego, co może pociągać za sobą kondensację pary. Celem niedopuszczenia do odparowania w dyfuzorze wody skondensowanej na ziarnach pyłu, konieczny jest wtrysk wody w przewężeniu zwężki lub na wlocie do dyfuzora.

Efekt kondensacji jest szczególnie widoczny przy odpylaniu gorących, wilgotnych gazów przy użyciu zimnej wody, której wtrysk powoduje dodatkowo obniżenie temperatury gazu.

Prace doświadczalne nad zjawiskiem kondensacji prowadzone były m. innymi przez Schmitta [35]. Prowadził on badania nad kondensacją pary wodnej na kropelkach oleju tworzących zawiesinę /mgłę/ w azocie.

Doświadczenia wykazały, że można ilościowo określić oddzielanie zanieczyszczeń z gazu w wyniku dyfuzji pary wodnej. Zjawisko kondensacji może mieć zdaniem Schmitta istotne znaczenie zwłaszcza przy samooczyszczaniu się atmosfery /wewnątrz chmur/ zaś w technice odpylania przy oddzielaniu niewielkich wymiarowo ziarn pyłu lub kropel /mgły/ w odpylaczach ze zwężką Venturiego.

Semrau [22] przeprowadził badania nad zużyciem wody w płuczkach do oczyszczania gazów odlotowych z pieców do odzyskiwania ługu powarzelnego. Badania te wykazały, że przy zastosowaniu zimnej wody skuteczność odpylania była znacznie wyższa niż przy zastosowaniu wody gorącej /przy adiabatycznej zmianie temperatury/. Wyniki badań potwierdziły także konieczność nawilżania gorących suchych gazów przed wprowadzeniem ich do płuczki.

Lapple i Kamack [36] uzyskali w badaniach laboratoryjnych znaczną poprawę efektu odpylania płuczki /pięciokrotne zmniejszenie mocy kontaktowej/ przez dodawanie pary wodnej do mieszaniny pyłowo-powietrznej.

Zdaniem kilku badaczy [10] [19] [22] rola kondensacji w odpylaniu przy użyciu zwężek Venturiego jest istotna, ale nie pierwszoplanowa. Decydujące znacznie ma tu jednak efektywność zderzeń inercyjnych lub w przypadku drobnych ziarn - dyfuzja.

Z dokonanego wyżej przeglądu prac nad zjawiskiem kondensacji wynika, że wielkość wpływu tego zjawiska na przebieg procesu mokrego odpylania zależy głównie od temperatury i wilgotności zapyłonego gazu, a zwłaszcza zmian tych parametrów w odpylaczu, wielkości kształtu i ładunku elektrycznego ziarn pyłu oraz temperatury wody używanej do odpylania. Wpływ kondensacji choć ogólnie niewielki w porównaniu z innymi zjawiskami, jest istotny zwłaszcza przy odpylaniu w płuczkach ze zwężką Venturiego. W innych typach płuczek, jak się wydaje, znaczenie jego jest mniejsze, choć nie zostało to jeszcze potwierdzone badaniami.

2.4. Zjawiska elektrostatyczne.

Zjawiska elektrostatyczne mogą odgrywać w procesie mokrego odpylania dość istotną rolę, wpływając zarówno na mechanizm

zderzeń /przyciąganie różnoimiennie naładowanych elementów cieczy i ziarn pyłu/ jak i na utrzymanie spójności układu ziarno pyłu-ciecz. Ponieważ w większości opracowań wpływ zjawisk elektrostatycznych jest pomijany lub traktowany marginesowo, omówiono poniżej dość obszernie te czynniki i zjawiska, które zdaniem autora mogą w pewnym, nie wykluczone że w poważnym stopniu, rzutować na efekt odpylania na mokro.

Elektryzacja statyczna obejmuje wszystkie procesy prowadzące do powstawania oraz rozdzielania dodatnich i ujemnych ładunków elektrycznych jako rezultatu mechanicznej deformacji ciał. Zjawiska te występują przy zderzeniu lub kontakcie dwóch ciał stałych, albo cieczy, a także przy ich kontakcie ze zjonizowanymi gazami. Są to między innymi elektryzacja przy rozbryzgiwaniu cieczy i elektryzacja kontaktowa ciał stałych /w tym elektryzacja pyłów/, a więc zjawiska zachodzące także w instalacjach odpylających i mokrych odpylaczach.

Elektryzacja przy rozbryzgiwaniu cieczy zachodzi w rezultacie rozrywania błony powierzchniowej dielektrycznych cieczy i roztworów /wskutek działania sił mechanicznych/ oraz przy rozbijaniu się o powierzchnię strumieni cieczy poruszających się z dużą prędkością. Ta grupa zjawisk jest wynikiem istnienia tzw. wewnętrznych podwójnych warstw elektrycznych na powierzchni rozdziału dielektryczna ciecz-gaz, a u jej podstaw leży mechanizm jonowy. Dotyczy ona cieczy, na powierzchni których znajdują się w określony sposób zorientowane cząsteczki cieczy stanowiące dipole. Dodatnie bieguny dipoli skierowane są w głąb cieczy, a ujemne na zewnątrz. W przypadku wody, większość dipoli znajdujących się na powierzchni jest w ten sposób zorientowana. Tak zorientowane dipole przyciągają do swoich dodatnich biegunów aniony

tak samej cieczy, jak i jej zanieczyszczeń. Między anionami zlokalizowanymi na powierzchni a kationami występują bardzo niewielkie siły, dlatego też kationy jedynie częściowo równoważą /ekranują/ aniony, a znaczna ich część podlega ruchom cieplnym /dyfuzyjnym/ w objętości cieczy. Znajdujące się na powierzchni nie zrównoważone aniony i swobodne kationy tworzą na powierzchni rozdziału ciecz-gaz warstwę podwójną. Na stosunek między ekranowanymi i nieekranowanymi kationami mogą wpływać jony elektrolitu. Elektryzacja przy rozbryzgiwaniu występuje w tych wszystkich wypadkach, gdy zachodzi rozrywanie warstw podwójnych.

Jako jeden z pierwszych, zjawiskiem elektryzacji przy rozbryzgiwaniu zajął się Lenard [37] . Wnioski jakie można wyciągnąć z jego badań są następujące:

- wielkość ładunku na powierzchni kropeł nie zależy od rodzaju gazu, w którym zachodzi rozbryzgiwanie cieczy,
- tarcie między gazem i cieczą nie powoduje elektryzacji,
- przy mieszaniu wody, a także przy rozdzieleniu jej objętości na części, elektryzacja może nie wystąpić jeśli nie tworzą się dostatecznie małe krople,
- elektryzacja występuje przy uderzeniu o powierzchnię wody, jej rozbryzgiwaniu za pomocą dysz, a także przy tworzeniu się piany,
- elektryzacja zachodzi zwłaszcza podczas odrywania się od powierzchni wody drobnych kropelek powstających z cienkich warstw powierzchniowych cieczy /potwierdziły to doświadczenia z kroplami o średnicach 0,00067 - 0,17 mm, tworzącymi się przy barbotażu/,
- przy rozbryzgiwaniu czystej wody strumieniem powietrza, powstaje ładunek rzędu $7 \cdot 10^{-7}$ kulomba na 1 g wody,

- mgła powstająca w powietrzu w wyniku rozpylania wody za pomocą dysz ma ładunek ujemny, zaś dysze ładują się dodatnio.

Zagadnienia związane z elektryzacją cieczy były także przedmiotem prac Chapmana [38]. Stwierdził on, że krople rozdrabniające się w strumieniu powietrza charakteryzują się przewagą rzędu 10 - 20% ładunku ujemnego nad dodatnim. Każda z kropeł wody elektryzowała się średnio do ładunku rzędu $20 \cdot 10^{-12}$ kul., przy czym ładunki poszczególnych kropeł różniły się między sobą o 1 - 2 rzędów. Wielkość ładunku powstającego przy rozdrobnieniu 1 g wody wynosiła ok. $4 \cdot 10^{-10}$ kulomba, a bezwzględna wielkość ładunku rośnie proporcjonalnie do średnicy kropeł. Chapman zauważył także, że istnieje pewna zależność między stałą dielektryczną a ładunkiem dla kropeł tej samej wielkości. Potwierdzeniem spostrzeżeń Chapmana były badania Büsse'a [39], które wykazały, że wielkość ładunków ujemnych powstających przy rozbryzgiwaniu 1 g wody wynosi 5 - $6 \cdot 10^{-10}$ kulomba.

W wyniku badań nad elektryzacją kropeł powstających przy rozrywaniu się baniek wody morskiej Blanchard [40] stwierdził, że ładunki kropeł o promieniu mniejszym od $3 \cdot 10^{-3}$ mm są w przybliżeniu proporcjonalne do piątej potęgi promienia kropeł, a dla kropeł o promieniach w zakresie $3 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3}$ mm proporcjonalne do kwadratu promienia.

W oparciu o wyżej wymienione prace i badania własne Loeb [41] stwierdził m.in. co następuje:

- najbardziej efektywna elektryzacja zachodzi w rezultacie rozrywania dużych pęcherzyków /baniek/, gdyż intensywne pienienie powoduje równoczesne rozrywanie błony powierzchniowej w wielu miejscach,

- strumień powietrza powstający nad powierzchnią czystej wody w wyniku rozbryzgiwania lub tworzenia się piany może unosić z 1 g wody łączny ładunek każdego znaku rzędu $7 \cdot 10^{-9}$ kulomba, przy czym przewaga ładunku jednego znaku dochodzić może do 10%,
- małe koncentracje roztworów soli mogą przyczyniać się do bardziej efektywnej elektryzacji; ze wzrostem koncentracji rośnie wprowadzie intensywność ładowania symetrycznego, maleje jednak niesymetrycznego,
- wielkość powstających ładunków zależy m. in. od oporności cieczy, przy czym jeżeli objętościowa oporność cieczy jest mniejsza niż 10^{10} om.cm - gromadzenie się ładunków jest mało prawdopodobne oraz, że
- najbardziej efektywnymi generatorami elektryczności statycznej są urządzenia, w których wykorzystuje się strumienie pary pod wysokim ciśnieniem.

Elektryzacja kontaktowa zachodząca przy zetknięciu się, zderzeniu lub rozdzieleniu dwóch suchych ciał stałych, polega na przechodzeniu elektronów /lub jonów/ między dwoma kontaktującymi się powierzchniami, w wyniku różnic położenia poziomów energetycznych elektronów. Zjawisko to występuje m.in. w źródłach powstawania pyłu /dyspersja materiałów/ oraz podczas zderzeń ziarn pyłu z elementami instalacji odpylającej, w wyniku czego ziarna wprowadzane do odpylacza mogą posiadać określony ładunek elektryczny.

Badaniami nad elektryzacją pyłów przemysłowych zajmowało się wielu badaczy. Obszerne badania nad wielkością i rozkładem ładunków powstających przy rozpylaniu ciał stałych przeprowadził Kunkel [42].

Zasadnicze rezultaty jego pracy oraz prac Runge'a [43], Guesta [44] i Loeba [41] można streścić następująco:

- ładowanie się ziarn pyłu powodowane jest głównie wskutek ich rozdzielania,
- przy rozdzielaniu powierzchni materiałów jednorodnych występuje na ogół symetryczny rozkład ładunków, przy różnorodnych - niesymetryczny,
- intensywne niesymetryczne ładowanie się zachodzi przy uderzeniu ziarn pyłu o powierzchnię ciała stałego oraz rozdzielanie w strumieniu gazu pyłu, powstałego z różnych materiałów. I tak: intensywna elektryzacja ma miejsce przy rozpylaniu za pomocą metalowych dysz pyłów talku, HgS , $CaCO_3$ i maki kukurydzianej, przy czym ładunki powstają zarówno na ziarnach jak i na rozpylaczu /przy przedmuchiwaniu pyłu cukrowego przez rurkę szklaną wystąpić mogą różnice potencjałów rzędu 20 kV; pył siarki w kontakcie z innymi materiałami ładuje się ujemnie; pył węglowy przy zderzeniach z powierzchniami stalowymi może ładować się z przewagą ładunków dodatnich lub ujemnych, zależnie od stopnia utlenienia powierzchni ziarn/,
- średni ładunek ziarn rośnie ze wzrostem ich wymiarów wg zależności przebiegającej między liniową a kwadratową, proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z powierzchni zewnętrznej ziarna.

Whitman [45] stwierdził w wyniku badań z pyłem kwarcu, że wielkość powstających ładunków zależy w znacznym stopniu od prędkości przepływu aerozolu w przewodach. Wzrost prędkości powoduje wzrost wielkości unoszonego ładunku.

Badania prowadzone przez Szaynoka, Głowiaka i Syczewską [46] wykazały, że

- stopień elektryzacji pyłu prochu czarnego zależny jest od jego wilgotności - pył wilgotny ładuje się słabiej z przewagą ładunków dodatnich, zaś pył suchy bardziej intensywnie - z przewagą ładunków ujemnych,
- podczas przesiewania pyłu polichlorku winylu na sicie metalowym stopień elektryzacji maleje, przy czym następuje przesunięcie przewagi ładunków w dodatnich /przed sitem/ w stronę ładunków ujemnych /za sitem/,
- wielkości średnich ładunków ziarn pyłu rosną proporcjonalnie do wielkości średnicy zastępczej ziarn.

Malcher [47] i Wolniewicz [48] w swych pracach wykazali m.in., że elektryzacja pyłów /CdTe, HgTe, CdSe i różnych rodzajów szkła/ zależy od czasu rozdrabniania materiału, przy czym początkowo rośnie, osiąga maksimum, a następnie przy przedłużaniu czasu rozdrabniania - maleje.

Rutkowski [49] przeprowadził obszerne badania nad elektryzacją pyłów drzewnych. Stwierdził on, że charakter ładowania /ilość i znak ładunków/ uzależniony jest od gatunku badanego pyłu, przy czym pyły drewna miękkiego /sosna, świerk/ mają mniej zróżnicowane udziały poszczególnych ładunków niż pyły drewna twardego /buk, dąb/. Uzyskane wyniki wskazują na liniowy wzrost średniego ładunku ze wzrostem średnicy zastępczej ziarn pyłu drzewnego. Elektryzowanie tych pyłów jest nieznacznie asymetryczne z tym, że proces suszenia powiększa przewagę ładunków ujemnych.

Przedstawione wyżej wyniki badań nad elektryzacją rozdrobnionych cieczy i ciał stałych obrazują wyraźnie, że w instalacjach

odpylających i w samych odpylaczach mokrych mogą powstawać na ziarnach pyłu i elementach cieczy ładunki elektryczne, co oczywiście nie pozostaje bez wpływu na przebieg procesu odpylania. Ocena wielkości wpływu zjawisk elektrostatycznych na przebieg tego procesu jest trudna.

Według Lutynskiego [50] oraz Andrzejewskiego i Gutowskiego [26] istnienie ładunków elektrycznych na ziarnach pyłu i elementach cieczy, decyduje w niewielkim stopniu o możliwości ich zderzeń, wpływając jednak istotnie na trwałość wiązania układu ziarna pyłu z powierzchnią elementu cieczy. Wpływ ten jest szczególnie duży dla najdrobniejszych ziarn i kropeł /poczynając od $10\ \mu\text{m}$ mniej/, które mogą wytwarzać wokół siebie pola elektryczne o bardzo wysokich natężeniach /rzędu $10^3 - 10^4\ \text{V/cm}$ /.

Dotychczasowe próby praktycznego wykorzystywania zjawisk elektrostatycznych, mające na celu poprawę skuteczności odpylania płuczek ze zwężką Venturiego, polegały na ładowaniu pyłu przed wprowadzeniem go do zwężki /przy oczyszczaniu pyłu ftalatu dwubutylu w zwężce typu Pease - Anthony Venturi Scrubber/ , bądź ładowaniu pierwotnej mgły wodnej /w zwężce typu Aerojet - Venturi R.B./ [10]. Wprawdzie uzyskane rezultaty wskazują na niewielką poprawę skuteczności odpylania, to jednak wydaje się, że byłoby celowym przeprowadzenie szczegółowych badań nad wzajemnym oddziaływaniem naelektryzowanych ziarn pyłu i elementów cieczy. Wyniki tych badań pozwoliłyby z jednej strony określić ilościowo udział zjawisk elektrostatycznych w procesie mokrego odpylania, z drugiej zaś, mogłyby znaleźć zastosowanie przy opracowaniu nowych typów wysokoskutecznych odpylaczy, stojących na pograniczu odpylaczy mokrych i elektrostatycznych.

W wyniku powyższego można stwierdzić, że:

- wielkość i rozkład ładunków powstających na kroplach cieczy zależą głównie od wielkości kropeł, sposobu ich powstawania oraz własności cieczy, a zwłaszcza jej oporności,
- wielkość i rozkład ładunków powstających na ziarnach pyłu zależą przede wszystkim od rodzaju pyłu i sposobu jego powstawania /np. czasu rozdrabniania/, wielkości ziarn i ich powierzchni właściwej, wilgotności pyłu oraz prędkości przepływu mieszaniny pyłowo-gazowej w przewodach,
- zjawiska elektrostatyczne wpływają głównie na trwałość wiązania układu ziarno pyłu-powierzchnia cieczy, lecz wielkość ich wpływu na przebieg procesu mokrego odpylania nie jest jeszcze w pełni wyjaśniona.

Podsumowując dokonany powyżej przegląd obecnego stanu wiedzy o zjawiskach zachodzących w czasie procesu mokrego odpylania, można wyszczególnić następujące czynniki, które mogą wpływać na przebieg tego procesu:

- skład chemiczny pyłu, gazu stanowiącego ośrodek dyspersji pyłu oraz wytrącającej cieczy,
- sposób powstawania pyłu i warunki przepływu mieszaniny pyłowo-gazowej do odpylacza,
- skład ziarnowy pyłu i wielkość elementów cieczy,
- gęstość pyłu, gazu i cieczy,
- prędkość i kierunek ruchu ziarn względem elementów cieczy,

- powierzchnia właściwa gazu, kształt ziarn i ich porowatość,
- zdolność pyłu do adsorpcji cieczy /zwilżalność pyłu/,
- napięcie powierzchniowe cieczy,
- oporność i stała dielektryczna pyłu i cieczy,
- wielkość i rozkład ładunków elektrycznych istniejących na ziarnach pyłu i elementach cieczy,
- temperatura i wilgotność zapyłonego gazu oraz temperatura wytrącającej cieczy,
- stężenie pyłu w oczyszczanym gazie,
- ilość rozdrabnianej cieczy.

Decydujący wpływ na przebieg procesu mają jednak jak się wydaje

- prawdopodobieństwo zderzeń inercyjnych oraz
- szybkość wiązania ziarn pyłu z elementami cieczy, tj. szybkość przenikania ziarn z powierzchni w głąb elementów cieczy.

Ponieważ wpływ prawdopodobieństwa zderzeń inercyjnych został w dostateczny sposób wyjaśniony [12] [13] [15] w dalszej części pracy skoncentrowano się na określeniu czynników wpływających na szybkość wiązania ziarn z elementami cieczy. W większości dotychczasowych opracowań /z wyjątkiem teorii Semrau'a [22] / jako podstawowy czynnik wymieniano zwilżalność pyłu, przy czym z praktycznego punktu widzenia nie jest bez znaczenia metodyka badania tej własności.

3. Metody badania zwilżalności pyłu.

Poniżej dokonano obszernego krytycznego przeglądu stosowanych dotychczas metod badania zwilżalności pyłu.

3.1. Metody badania zwilżalności pyłu, będące adaptacją metod badania zwilżalności ciał stałych nierozdrobnionych.

Parametrem określającym zwilżalność jest w tych metodach kąt zwilżania badanego materiału cieczą.

Do metod tych należą:

- metody kontaktowe oraz
- metody kroplowe.

3.1.1. Metody kontaktowe.

Istotę opracowanej przez Adama i Jessopa [52] metody tzw. zanurzonej płytki wyjaśnia rys. 16. Płytkę o szerokości kilku centymetrów sporządzoną z badanego ciała stałego zanurzona jest częściowo w cieczy. Obracając płytkę można zmieniać kąt jej nachylenia względem powierzchni cieczy. Pomiar kąta zwilżania - kąta nachylenia płytki do powierzchni cieczy wykonuje się w momencie, gdy powierzchnia ta w punkcie styku z płytką jest pozioma i płaska, tzn. gdy wysokość wzniesienia menisku w punkcie A równa jest zeru.

Inną metodą kontaktową jest metoda zanurzonego walca, opracowana przez Abletta [53]. Polega ona na znalezieniu takiego położenia walca sporządzonego z badanego materiału i częściowo zanurzonego w cieczy /rys. 17/, przy którym to położeniu wysokość wzniesienia menisku na powierzchni walca będzie równa zeru /powierzchnia cieczy będzie pozioma i płaska/.

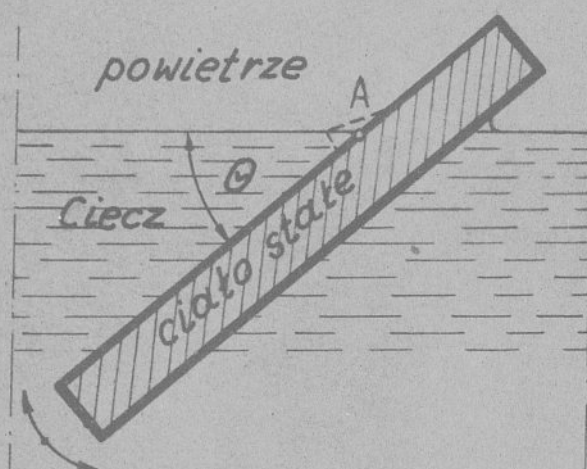
Kąt zwilżania można określić z zależności:

$$\cos \theta = \frac{2 h_a}{d_a} - 1 \quad /26/$$

Oznaczenia na rys. 17.

W swych badaniach Ablett stwierdził, że kąt zwilżania wodą nieruchomego walca z parafiny wynosił 104° , zaś walca będącego w ruchu od 96° do 113° , w zależności od prędkości obrotowej.

Do metod kontaktowych zaliczyć można także metodę wzniesienia menisku [26]. Przy pomiarach tą metodą płytkę badanego materiału zanurza się w cieczy, mierząc wysokość wzniesienia menisku przy pionowej powierzchni płytki. Wychodząc z teoretycznego



Rys. 16. Zasada oznaczenia kąta zwilżania metodą zanurzonej płytki.

równania wzniesienia menisku na płaskiej ścianie, kąt zwilżania można określić następującym wzorem

$$\sin \theta = 1 - \frac{\rho_c g h_m^2}{2 G_c}$$

/27/

gdzie:

ρ_c - gęstość cieczy,

g - przyspieszenie ziemskie,

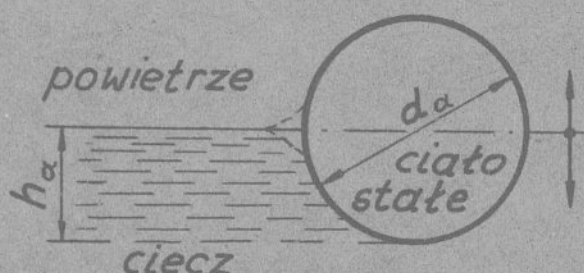
h_m - wysokość wzniesienia menisku,

ζ_c - napięcie powierzchniowe cieczy.

Metoda ta była wykorzystywana m.in. do oceny wpływu chropowatości powierzchni ciał stałych na wartość kąta zwilżania [54] .

3.1.2. Metody kroplowe.

Metody te polegają na pomiarze kąta granicznego jaki tworzy w punkcie styku powierzchnia kropli cieczy umieszczonej na powierzchni ciała stałego z powierzchnią tego ciała /rys. 18/.



Rys. 17. Zasada oznaczania kąta zwilżania metodą zanurzonego walca.

W wypadku kropli o dostatecznie małej objętości /rzędu $0,01 \text{ cm}^3$ / można pominąć jej spłaszczenie i przyjmując kulisty kształt obliczać kąt zwilżania z następujących zależności:

a/ dla $\theta < 90^\circ$

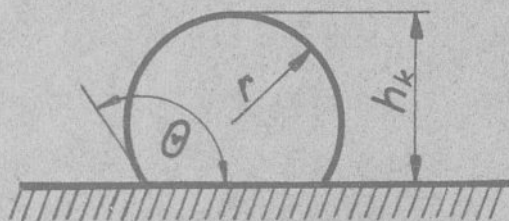
$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{r h_k}{r^2 - h_k^2} \quad /28/$$

b/ dla $\theta > 90^\circ$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{2 r h_k - h_k^2}}{r - h_k} \quad /29/$$

W metodzie opracowanej przez Rebintera [55] kropla obserwowana jest pod mikroskopem. Metoda projekcyjna opracowana przez Falkowicza [56] polega na pomiarze wymiarów zarysu kropli rzutowanego strumienia światła na ekran.

Próby przystosowania omówionych wyżej metod pomiaru zwilżalności ciał stałych nierozdrobnionych do pomiaru kąta zwilżania pyłów [26] polegały na wykonywaniu elementów badanych /płytki, walec/ ze sprasowanego pyłu lub na nakładaniu np. przy pomocy



Rys. 18. Zasada oznaczenia kąta zwilżania metodami kroplowymi.

środką klejącego cienkiej warstwy pyłu na elementy wykonane z nieporowatego ciała stałego.

W pierwszym przypadku /sprasowany pył/ oprócz zwilżania powierzchni elementu zachodzi, zwłaszcza dla pyłów zwilżalnych badaną cieczą, wsiąkanie cieczy w badany element, co nie pozostaje bez wpływu na wynik pomiaru. Wynik ten zależy także od stopnia sprasowania pyłu oraz chropowatości powierzchni badanego elementu.

W przypadku nakładania warstwy pyłu na wynik pomiaru wpływa również chropowatość i porowatość naniesionej warstwy pyłu,

choć bardzo istotnym jest wpływ ewentualnego środka klejącego. Wady te spowodowały, że omówione metody mogą służyć jako metody umowne jedynie do odróżnienia pyłów zwilżalnych od niezwilżalnych i nie są obecnie stosowane na szerszą skalę do badania zwilżalności pyłów.

3.2. Konwencjonalne metody badania zwilżalności pyłu.

Metody te polegają na określaniu zwilżalności pyłu przez wyznaczanie parametrów innych niż kąt zwilżania.

3.2.1. Metoda tonięcia /zanurzania/ [26] .

Metoda ta polega na pomiarze masowego natężenia tonięcia /zanurzania/ pyłu umieszczonego na powierzchni cieczy. Metoda ta może być stosowana jedynie dla pyłów zwilżalnych - pyły niezwilżalne /w małej ilości/ nie toną i utrzymują się na powierzchni. Pyły bardzo dobrze zwilżalne, ziarna pyłów o dużej masie i gęstości, a także skoagulowane grupy ziarn, toną z kolei bardzo szybko, uniemożliwiając dokładny pomiar czasu zanurzania.

Badania przeprowadzone przez Gogolińskiego i Gutowskiego [57] wykazały, że zależność czasu tonięcia od masy pyłu nie jest funkcją liniową, przy czym - jak dotychczas, funkcja ta nie została określona.

Metoda tonięcia może więc służyć do odróżniania pyłów zwilżalnych od niezwilżalnych lub może być wykorzystywana do porównawczej oceny stopnia zwilżania jednego rodzaju pyłu przez różne ciecze, a więc np. do doboru najlepszego detergentu i jego optymalnego stężenia.

3.2.2. Metoda rozplywania [26] .

Metoda ta polega na pomiarze czasu rozplywania się kropli cieczy umieszczanej na powierzchni warstwy pyłu lub określeniu wielkości powierzchni zwilżonej po rozplynięciu się kropli. Podobnie jak metoda tonięcia, może ona służyć do odróżniania pyłów zwilżalnych od niezwilżalnych oraz do badań porównawczych stopnia zwilżania.

Kropla umieszczona na powierzchni warstwy pyłu zarówno rozplywa się po powierzchni jak i wsiąka w głąb warstwy, gdyby zaś prowadzić badania na warstwie monocząsteczkowej pyłu, trudnej zresztą do wytworzenia, nie dałoby się uniknąć wpływu podłoża na wynik pomiaru.

3.2.3. Metoda wsiąkania /imersyjna/ [26] .

Istotą tej metody jest pomiar czasu /lub prędkości/ wznoszenia kapilarnego cieczy w warstwie pyłu. Metoda ta może być stosowana jedynie do pyłów zwilżalnych, przy czym uzyskiwane wyniki w znacznym stopniu zależą od porowatości warstwy pyłu /stopnia ubicia/ i jej grubości.

3.3. Metody pośrednie pomiaru kąta zwilżania pyłu.

3.3.1. Metoda ciśnieniowa [23] .

Metoda ciśnieniowa opracowana przez Bartella i współpracowników [58] oparta jest na zależnościach określających zjawisko kapilarnego wznoszenia cieczy w warstwie porowatej.

Badany pył ubija się w rurce, otrzymując porowaty pręt, który pod wieloma względami przypomina pęk kapilar o pewnej przeciętnej średnicy zależnej w jakimś stopniu od wielkości ziarn.

Zakładając kołowy przekrój menisku cieczy stykającej się ze ściankami kapilar pod kątem Θ /równym kątowi zwilżania/, promień krzywizny menisku R_m można określić wzorem

$$R_m = \frac{r'}{\cos \Theta} \quad /30/$$

gdzie:

r' - promień kapilary

a wielkość ciśnienia kapilarnego ΔP z równania Laplace'a

$$\Delta P = 2 \zeta_c \frac{\cos \Theta}{r'} \quad /31/$$

gdzie:

ζ_c - napięcie powierzchniowe cieczy

Stąd

$$\cos \Theta = \frac{\Delta P \cdot r'}{2 \zeta_c} \quad /32/$$

Mierząc wartości ciśnienia kapilarnego, określonego jako, najmniejsze ciśnienie zapobiegające procesowi wnoszenia się cieczy w warstwie pyłu ubitego w rurce, dla cieczy wzorcowej, zwilżającej badany pył / $\Theta_w = 0^\circ$ / lub nie zwilżającej go / $\Theta_w = 180^\circ$ / oraz dla cieczy badanej, można obliczyć kąt zwilżania pyłu badaną cieczą Θ z zależności

$$\cos \Theta = \frac{\zeta_w \Delta P}{\zeta_c \Delta P_w} \quad /33/$$

gdzie:

ζ_w - napięcie powierzchni cieczy wzorcowej,

ζ_c - napięcie powierzchniowe cieczy badanej,

ΔP - ciśnienie kapilarne cieczy badanej,

ΔP_w - ciśnienie kapilarne cieczy wzorcowej.

Wadą tej metody jest trudność doboru cieczy wzorcowej, gdyż nie ma dostatecznie pewnego sposobu stwierdzenia, że kąt zwilżania pyłu daną cieczą wynosi 0 lub 180° oraz uzależnienie wyników od stopnia i sposobu sprasowania pyłu.

3.3.2. Metoda przepływowo-ciśnieniowa /filtracyjna/.

W opracowanej przez Gutowskiego [26] metodzie, będącej modyfikacją metody Bartella wykorzystano także zjawisko wznoszenia kapilarnego cieczy w warstwie ubitego pyłu.

Prędkość wznoszenia cieczy w kapilarach porowatego preta /z pominięciem siły ciężkości/ została określona przez Washburna następującym wzorem

$$v' = \frac{r' \cdot G_c}{4 \cdot l \cdot \mu} \cos \theta \quad /34/$$

gdzie:

v' - prędkość wznoszenia cieczy w kapilarze,

r' - promień kapilary,

G_c - napięcie powierzchniowe cieczy,

l - długość odcinka kapilary wypełnianego cieczą,

μ - lepkość dynamiczna cieczy.

Wzór ten można także zapisać w postaci

$$r' \cdot G_c \cdot \cos \theta = \frac{4 \cdot l^2 \cdot \mu}{\tau} \quad /35/$$

gdzie:

τ - czas wznoszenia cieczy w kapilarze na długości

l .

Przekształcając wzór Laplace'a dla kapilar o przekroju niekołowym:

$$\Delta P = \frac{c' \cdot \sigma_c \cdot \cos \theta}{r'} \quad /36/$$

gdzie:

c' - stała zależna od kształtu przekroju poprzecznego kapilary

i porównując stronami ze wzorem /35/ otrzymuje się wzór, pozwalający wyznaczyć promień kapilary

$$r' = 2 \sqrt{c'} \cdot l \sqrt{\frac{\mu}{\Delta P \cdot l}} \quad /37/$$

Wzór ten pozwala wyliczyć wartość promienia kapilar przy zastosowaniu cieczy wzorcowej /filtracyjnej/, spełniający jedynie warunek zwilżalności pyłu $\theta_f < 90^\circ$ /. Wykonując następnie pomiar ciśnienia kapilarnego cieczy badanej, można określić kąt zwilżania pyłu badaną cieczą θ na podstawie zależności

$$\cos \theta = \frac{\xi' \cdot l \Delta P}{\sigma_c} \sqrt{\frac{\mu_f}{\Delta P_f \cdot l}} \quad /38/$$

gdzie:

$\xi' = \frac{2}{\sqrt{c'}}$ - współczynnik kształtu kapilar,

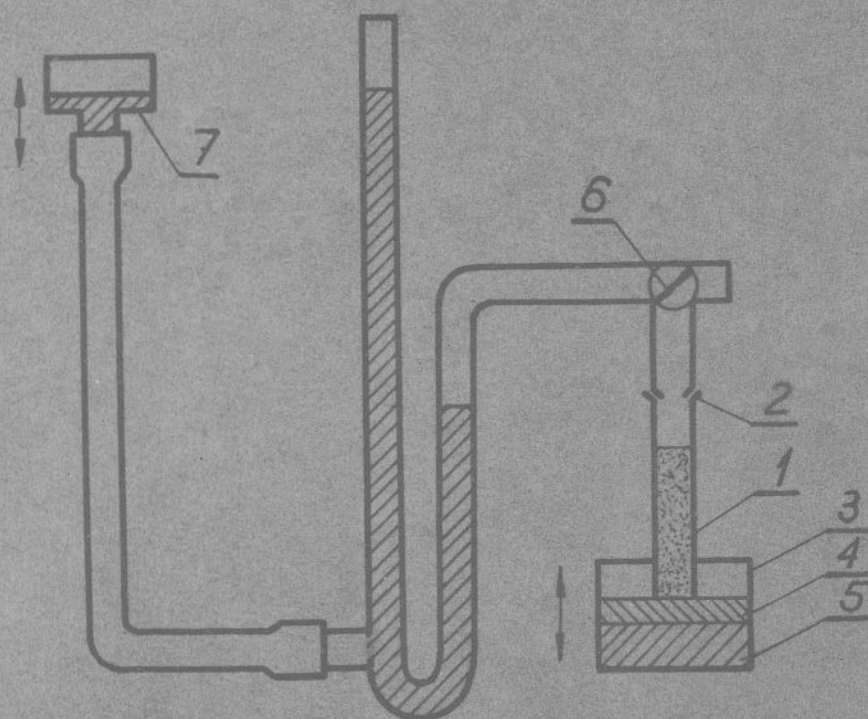
l - wysokość wzniesienia kapilarnego cieczy filtracyjnej,

ΔP - ciśnienie kapilarne cieczy badanej,

σ_c - napięcie powierzchniowe cieczy badanej,

- μ_f - lepkość dynamiczna cieczy filtracyjnej,
 ΔP_f - ciśnienie kapilarne cieczy filtracyjnej,
 τ - czas wznoszenia cieczy filtracyjnej na wysokość l .

Schemat aparatury pomiarowej przedstawiono na rysunku /19/.



Rys. 19. Schemat aparatury do oznaczania kąta zwilżania metodą przepływowo-ciśnieniową; 1 - próbówka szklana z porowatą warstwą pyłu, 2 - szlif, 3 - naczynie zawierające ciecz badaną lub filtracyjną, 4, 5 - rtęć, 6 - kurek trójdrożny, 7 - manometr rtęciowy.

Celem wyrównania prędkości wznoszenia cieczy w warstwie pyłu, jej przepływ jest częściowo wymuszony/różnicą ciśnień wytworzoną pompą próżniową/.

Opisana metoda pozwala wprawdzie określać bezwzględną wartość kąta zwilżania pyłu, lecz na uzyskiwane wyniki znaczny wpływ ma m.in. porowatość warstwy badanego pyłu. Badania przeprowadzone przez Bajera [59] wykazały, że dla pyłu bawełnianego względny błąd pomiaru rośnie ze wzrostem porowatości warstwy i dochodzi do 30% przy porowatości ok. 85%.

3.4. Ocena metod badania zwilżalności pyłu

Przy ocenie przydatności omówionych wyżej metod badania zwilżalności pyłu pod kątem wykorzystania uzyskiwanych wyników w badaniach nad procesem mokrego odpylania, trzeba odpowiedzieć na dwa następujące pytania:

- czy kąt zwilżania jest parametrem w pełni charakteryzującym zwilżalność pyłu, stanowiącego składnik trójfazowego układu /gaz - ciecz - pył/, jaki występuje w tym procesie oraz
- czy wymienione metody pozwalają określić dla danego pyłu parametr ten w sposób jednoznaczny, uwzględniając jednocześnie podstawowe własności pyłu, a przede wszystkim jego rozdrobnienie.

Odpowiedź na pierwsze pytanie nie jest prosta, lecz wydaje się, że powinna być negatywna. Wynika to z następujących przesłanek:

- fizyczny sens kąta zwilżania - kąta jaki tworzy kropla cieczy z płaską i gładką powierzchnią ciała stałego - nie oddaje złożoności zjawiska adsorpcji cieczy na powierzchni ziarn posiadających na ogół bardzo skomplikowane kształty zwłaszcza, że znany jest wpływ charakteru powierzchni cia-

- ła stałego na wartość kąta zwilżania /p. 2.2/,
- stopień pokrycia ziarna pyłu cieczą może zależeć także np. od ładunku elektrycznego ziarna,
- szereg pyłów charakteryzuje się istnieniem wokół poszczególnych ziarn otoczki z zaadsorbowanych gazów i par, toteż stopień zwilżania /kąta zwilżania/ samego materiału, z którego powstał pył lub pyłu już oddzielonego - wcale nie musi oddawać powinowactwa względem cieczy poszczególnych ziarn w stanie takim, w jakim są one wprowadzane do odpylacza,
- wartość kąta zwilżania warstw pyłu /bo dla takich warunków wykonuje się pomiary obecnie znanymi metodami/ zależy od stopnia jego rozdrobnienia, stąd dla pyłów powstałych z tego samego materiału lecz o różnym rozdrobnieniu różne będą wartości kąta zwilżania.

Stosowane dotychczas metody badania zwilżalności posiadają szereg wspólnych wad, z których najważniejsze to:

- fakt, że badania zwilżalności przeprowadza się dla pyłu już raz oddzielonego i zgromadzonego, a więc pyłu, który wskutek koagulacji ma inne rozdrobnienie /zwłaszcza w zakresie drobnych ziarn/ niż pył, który jest wprowadzany do odpylacza,
- większość z *przedstawionych* metod /z wyjątkiem metody tonięcia/ pozwala w zasadzie określać zwilżalność porowatego ciała stałego, w którym zachodzą zjawiska kapilarne. Przebieg wsiąkania kapilarnego zależy m.in. od promienia kapilar, który to promień w przypadku preparatów sporządzonych z pyłu, w znikomym stopniu będzie uwzględniał rzeczywiste rozdrobnienie pyłu ze względu na koagulację zachodzącą

przy składowaniu, a zwłaszcza ubijaniu lub prasowaniu warstwy pyłu,

- ubicie lub sprasowanie pyłu w znacznym stopniu eliminuje wpływ na zwilżalność pyłu tak istotnego czynnika jak kształt ziarn,
- uzyskiwane wyniki są w znacznym stopniu uzależnione od wielkości i sposobu ubicia /sprasowania/ warstwy pyłu, co wykazały^{np} badania nad zwilżalnością pyłów bawełnianych [59] .

W świetle powyższego można stwierdzić, że stosowane obecnie metody pozwalają jedynie w pewnym stopniu określać zwilżalność rzeczywistych pyłów przemysłowych. Można przy ich pomocy uzyskiwać cenne dane porównawcze dotyczące zwilżalności skoagulowanych grup ziarn pyłu. Metody te nie pozwalają jednak określać zwilżalności pojedynczych ziarn w takim stanie, w jakim ziarna te są wprowadzane do odpylaczy. Zwrócili na to uwagę m.in. Semrau [22] oraz Bajer [59], który napisał: "... zwilżalność pyłu zależy nie tylko od rodzaju tworzywa pyłu /kąt zwilżania/, ale także od wyników analizy frakcyjnej pyłu, elektryzacji pyłu, stopnia zaadsorbowania gazów i par przez ziarna pyłu, parametrów ośrodka gazowego itp. Zwilżalność nie może więc być rozpatrywana w oderwaniu od pełnej charakterystyki źródła zapylenia."

Wydaje się także, że należałoby wprowadzić inny niż kąt zwilżania parametr charakteryzujący zdolność pyłu do adsorpcji cieczy.

IV. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

1. Metoda badania w warunkach dynamicznych szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą.

Porównując ze sobą omówione w p. 2.1.2 cz. III wzory, określające przedziałową skuteczność odpylania różnych typów płuczek

- płuczki z wypełnieniem /wzór Andrzejewskiego/

$$\eta_p = 1 - \exp \left[-\alpha \frac{h_f}{D} / 1 - \beta / \right] \quad /11/$$

- płuczki pianowej /wzór Gutowskiego/

$$\eta_p = 1 - \exp / \alpha \ln \phi_n / \quad /14/$$

i płuczki zraszanej bez wypełnienia /wzór Pikonia/

$$\eta_p = 1 - \exp / - \frac{K F_k}{L} / \quad /16/$$

można we wszystkich tych wzorach wyodrębnić w członie eksponentyjnym czynniki zależne jedynie od parametrów konstrukcyjnych płuczek $/D, h_f, \beta, \phi_n, F_k, L/$ oraz czynniki ujmujące wpływ własności fizykochemicznych pyłu na skuteczność odpylania $/\alpha, K/$.

Wydaje się więc, że należałoby opracować metodę, polegającą na oddzielaniu pyłu w prostym modelu odpylacza mokrego, pozwalającą określać dla dowolnego pyłu wpływ jego własności fizykochemicznych na skuteczność odpylania mokrego.

Autor proponuje, aby w metodzie tej jako parametry charakteryzujące intensywność procesu wiązania pyłu z cieczą przyjąć skuteczność wiązania pyłu z cieczą /odpylania/ lub szybkość wiązania /gęstość strumienia wiązania/ pyłu z cieczą, zdefiniowaną

jako masę pyłu przenikającą w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni cieczy /w głąb cieczy/ albo związanego z tą powierzchnią w wyniku zderzeń inercyjnych ziarn pyłu z powierzchnią cieczy.

Szybkość wiązania określona będzie zatem następującym wzorem:

$$c = \frac{m_p}{A \cdot \tau} \quad /39/$$

gdzie:

c - szybkość wiązania pyłu z cieczą, $\text{kg/m}^2\text{s}$,

m_p - masa pyłu związanego z cieczą, kg ,

A - powierzchnia cieczy, z którą zderzają się ziarna pyłu, m^2 ,

τ - czas, s .

Za przyjęciem szybkości wiązania jako jednego z parametrów przemawia następujące rozumowanie:

- na proces odpylania mokrego składa się szereg zjawisk zachodzących głównie na powierzchni elementów cieczy,
- w większości mokrych odpylaczy, z powierzchnią każdego elementu cieczy /w okresie jego przebywania w odpylaczu/ zderza się więcej pyłu niż wystarcza do jednorazowego pokrycia tej powierzchni. Pyły trudniej wiążące się z cieczą /gorzej zwilżalne/ będą wolniej przenikały w głąb cieczy niż pyły dobrze zwilżalne, toteż w zależności od własności fizykochemicznych pyłu, podatności na zwilżanie /a także własności gazu i cieczy/ różna będzie szybkość wiązania /przenikania w głąb cieczy/ ziarn pyłu napływających w sposób ciągły, a więc ilość ziarn związanych i odbitych.

Jak wynika z dokonanego wyżej przeglądu literatury, podstawowymi czynnikami decydującymi o przebiegu procesu odpylania są:

- prawdopodobieństwo zderzeń inercyjnych oraz
- szybkość wiązania ziarn pyłu z elementami cieczy.

Oba te czynniki w poważnym stopniu zależą od własności fizykochemicznych pyłu takich jak: skład chemiczny, rozdrobnienie pyłu /skład ziarnowy/, gęstość, kształt ziarn, powierzchnia właściwa, zdolność do adsorpcji cieczy, stała dielektryczna, wilgotność itp.

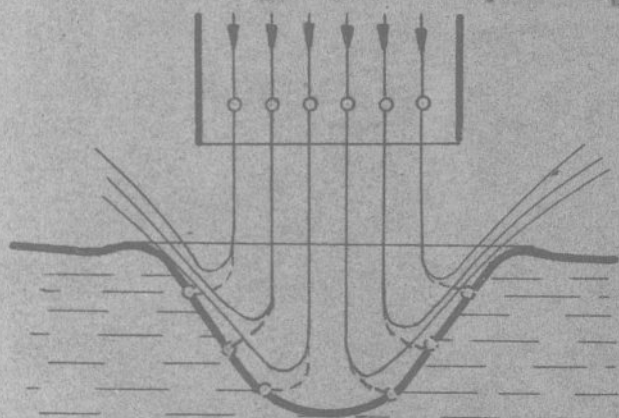
Autor postanowił opracować laboratoryjną metodę badania pyłów, przy pomocy której można¹ wyznaczać pewną stałą /stałe/, której wartość /wartości/ charakterystyczna dla danego rodzaju pyłu /zepyłonego gazu/ określałaby zarówno prawdopodobieństwo zderzeń jak i szybkość wiązania ziarn pyłu z elementami cieczy. Stała ta /lub stałe/ ujmowałaby więc wpływ własności fizykochemicznych pyłu na przebieg procesu mokrego odpylania. Aby jednak uzyskiwane wyniki mogły znaleźć praktyczne zastosowanie, badania pyłów powinny odbywać się w warunkach najbardziej zbliżonych do warunków występujących podczas mokrego odpylania, to jest przy względnym ruchu wszystkich trzech./az.

Znajomość określonej wyżej stałej /stałych/ mogłaby być przydatna przy projektowaniu, a zwłaszcza przy doborze mokrych odpylaczy do oddzielania określonego rodzaju pyłu.

Ze względu na to, że proponowana metoda polegać ma na badaniu pyłu będącego w ruchu i ma na celu uwzględnienie wszystkich sił, działających tak na ziarna pyłu jak i wiązanie ziarno-ciecz, autor proponuje by nazwać tę metodę - metodą dynamiczną badania szybkości wiązania pyłu z cieczą.

1.1. Założenia^{do} budowy aparatury i metodyki badań.

Podstawowym warunkiem, jaki winna spełniać proponowana metoda, jest doprowadzenie do zderzeń inercyjnych z cieczą poszczególnych ziarn pyłu, stanowiących rozdrobnioną fazę stałą strumienia zapyłonego gazu. Dla uzyskania stałych, najbardziej powtarzalnych warunków badań, założono, że ruchome ziarna /strumień zapyłonego gazu wypływające z dyszy/ będą zderzały się z nieruchomą, wklęsłą powierzchnią cieczy /rys. 20/



Rys. 20. Linie prądu strumienia gazu i tory ruchu ziarn pyłu przy wypływie zapyłonego gazu z dyszy umieszczonej nad powierzchnią cieczy.

Założenie to pozwala wyeliminować wpływ rozdrobnienia cieczy na prawdopodobieństwo zderzeń, co jest szczególnie ważne wobec trudności precyzyjnej regulacji tego rozdrobnienia.

Wskutek gwałtownej zmiany kierunku ruchu strumienia gazu, zawarte w gazie ziarna pyłu poruszać się będą po innych torach niż linie prądu gazu i mogą zderzać się z powierzchnią cieczy.

Na prawdopodobieństwo zderzeń, zależne wprawdzie od prędkości i lepkości gazu, przekroju strumienia oraz odległości dyszy od powierzchni cieczy, wpływać będzie także energia kinetyczna ziarn, ujmująca także własności pyłu jak: wielkość i kształt ziarna oraz gęstość pyłu.

Szybkość wiązania ziarna z cieczą jest także pośrednio zależna od energii zderzenia /w rozpatrywanym przypadku energia ta będzie odpowiadała energii kinetycznej ziarna/, a więc także od masy i kształtu ziarna, ale również od jego zdolności do adsorpcji cieczy, czyli ogólnie od podatności pyłu na zwilżanie. Ponieważ prawdopodobieństwo zderzenia ziarn pyłu z powierzchnią cieczy zależy głównie od wielkości i kształtu ziarn, gęstości pyłu oraz prędkości gazu /w obranym modelu obowiązują zasady ruchu ziarn pyłu pod wpływem sił bezwładności/ różne mogą być warunki badań /prędkości wypływu gazu z dyszy/ dla różnych rodzajów pyłów.

Wydaje się, że badając /w aparacie o ogólnej zasadzie działania odpowiadającej schematowi na rys. 20/ dla dowolnego pyłu zależność skuteczności i szybkości wiązania pyłu z cieczą od takich czynników jak: wielkość ziarn, prędkość wylotowa z dyszy, stężenia pyłu w gazie itp. można będzie określić stałe charakteryzujące jego podatność na zwilżanie.

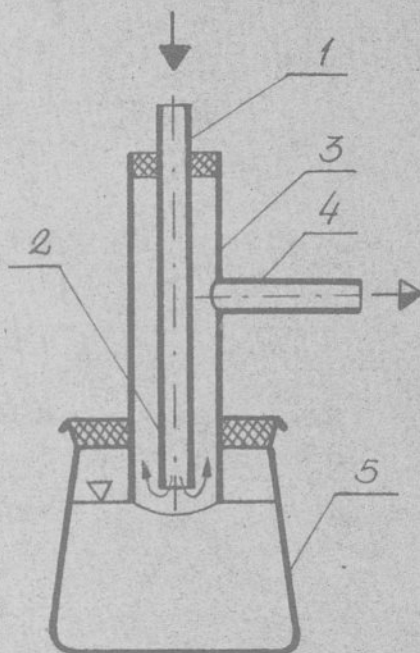
Analizując dalej schemat z rys. 20, nasuwają się następujące wytyczne do metodyki badań:

- odległość dyszy od powierzchni cieczy winna być możliwie mała dla osiągnięcia dużego prawdopodobieństwa zderzeń,
- prędkość wypływu gazu z dyszy powinna być mniejsza od prędkości powodującej odrywanie się kropeł wody lub powstawanie w niej pęcherzyków powietrza /piany/, gdyż w tych przypadkach zachodziłaby istotna zmiana warunków badań.

1.2. Konstrukcja i działanie aparatu do badania w warunkach dynamicznych szybkości wiązania pyłu z cieczą.

Opracowanie ostatecznej formy konstrukcyjnej aparatu poprzedzone było szeregiem prób na aparatach o uproszczonej konstrukcji.

Na rys. 21 przedstawiono schemat budowy i działania jednego z prototypów.



Rys. 21. Schemat budowy uproszczonego prototypu aparatu do badania w warunkach dynamicznych szybkości wiązania pyłu z cieczą;
1 - króciec wlotowy zapyłonego gazu, 2 - rura zasilająca, 3 - rura odciągowa,
4 - króciec odciągowy, 5 - naczynie z cieczą

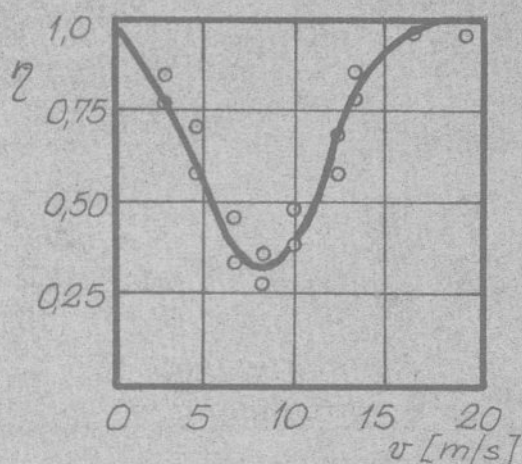
Przez króciec 1 wprowadzono do aparatu aerozol. W wyniku zderzenia z powierzchnią cieczy, część ziarn pyłu wiązała się z nią, reszta zaś /niezwiązana/ wypływała wraz z powietrzem przez króciec odciągowy 4.

Wyniki badań skuteczności oddzielania w tym aparacie pyłu drewna świerkowego w funkcji prędkości wylotowej powietrza z rury zasilającej przedstawiono wykreślnie na rys. 22.

Analizując przebieg krzywej stwierdzono, że wzrost skuteczności oddzielania pyłu przy prędkościach mniejszych od 8 m/s spowodowany był sedymentacją ziarn na powierzchni cieczy.

Dla wyeliminowania wpływu sedymentacji przebudowano proto-

typ do stanu przedstawionego schematycznie na rys. 23.



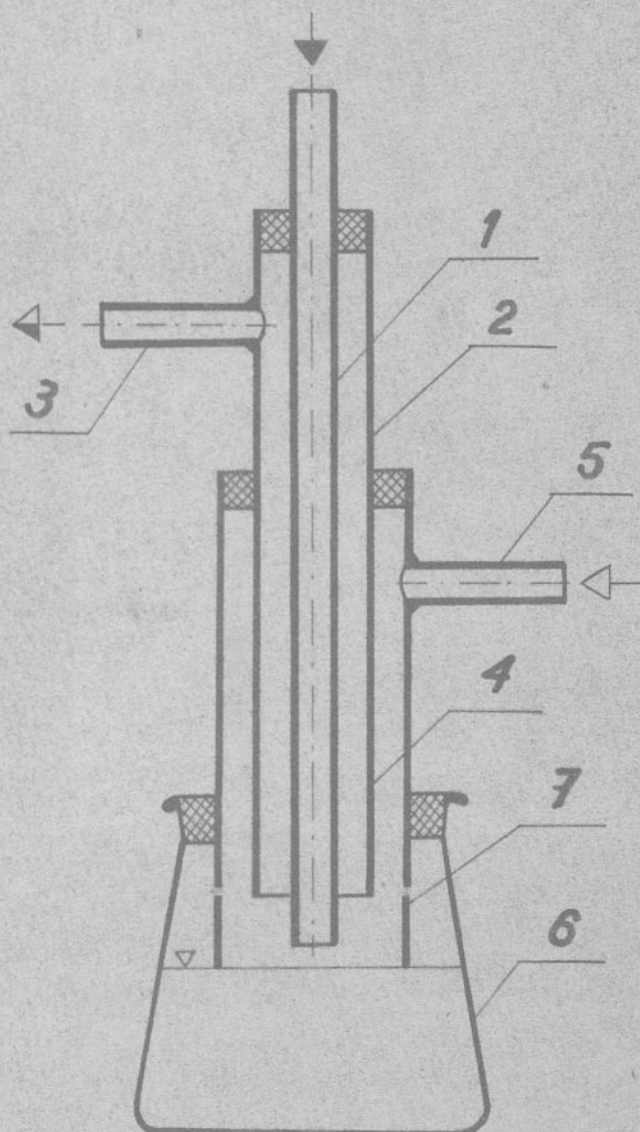
Rys. 22. Wykres zależności skuteczności oddzielania η pyłu drewna świerkowego /w uproszczonym prototypie aparatu/ od prędkości wylotowej v z rury zasilającej

Wprowadzane przez rurę bocznikową 4 powietrze zapobiegało sedymentacyjnemu osadzaniu się pyłu niezwiązanego z cieczą. W tym stanie aparat posiadał wprawdzie jeszcze szereg mankamentów takich jak: osadzanie się pyłu na zwilżonych cieczą powierzchniach rury odlotowej /co powodowało znaczny rozrzut wyników/, trudności z uszczelnieniem aparatu i niedogodności w jego obsłudze /pękanie zlewek/. Niemniej jednak przeprowadzone próby potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji oraz pozwoliły na pełne określenie zasady działania aparatu do badania w warunkach dynamicznych szybkości wiązania pyłu z cieczą. Zasada ta jest następująca:

gaz zawierający badany pył nawiewany jest przez rurkę zasilającą prostopadle do zwierciadła cieczy. Podczas zderzenia się ziarn pyłu ze swobodną powierzchnią cieczy, może zachodzić proces wiązania pyłu z cieczą. Powietrze bocznikowe doprowadzone rurą bocznikową nad powierzchnię cieczy, zapobiega

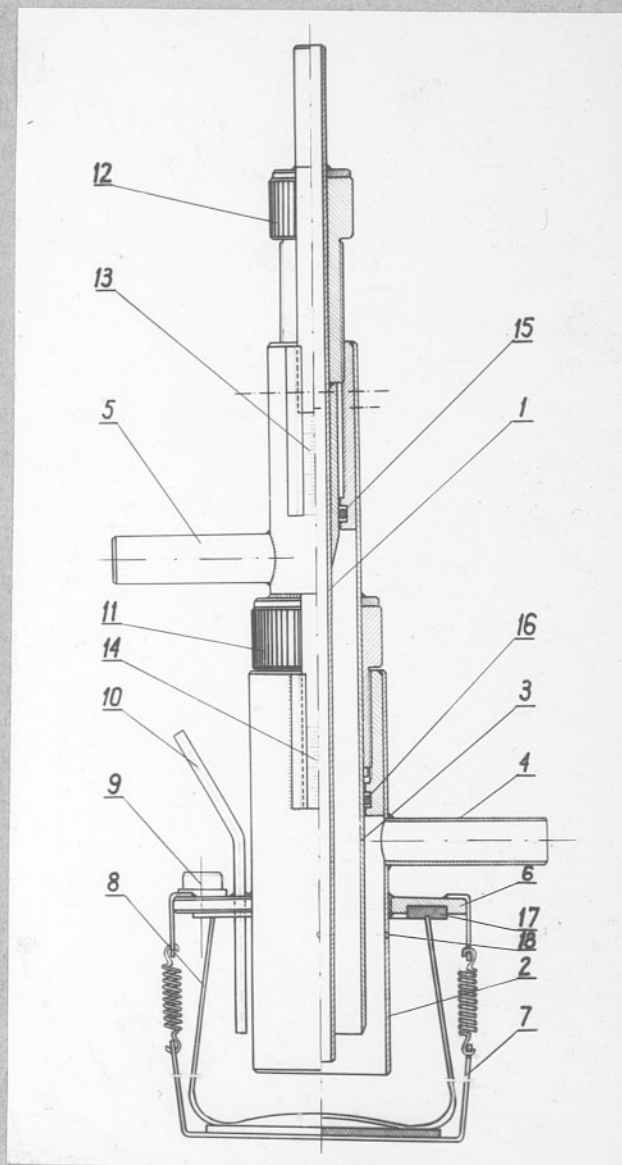
grawitacyjnemu osiadaniu niezwiązanych z cieczą ziarn na tej powierzchni i umożliwia ich usunięcie /przez rurę odciągową/ poza aparat.

Kolejnym etapem pracy było wykonanie ulepszonej wersji aparatu, pozbawionej wad poprzednich prototypów, a przeznaczonej do wykonania zasadniczych badań.



Rys. 23. Schemat budowy prototypu aparatu do badania w warunkach dynamicznych szybkości wiązania pyłu z cieczą. 1 - rura zasilająca, 2 - rura odciągowa, 3 - króciec odciągowy, 4 - rura boczniowa, 5-króciec boczniowy, 6-naczynie z cieczą, 7- otworki wyrównujące ciśnienie.

Budowę tego aparatu przedstawiono na rys. 24.

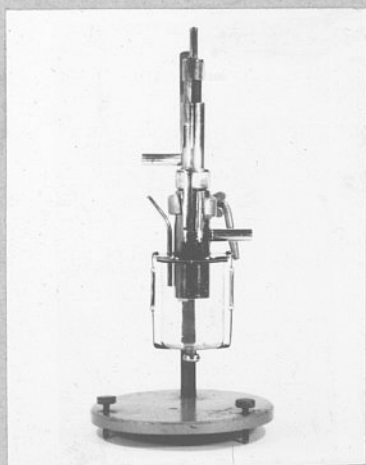


Rys. 24. Aparat do badania w warunkach dynamicznych szybkości wiązania pyłu z cieczą.

- 1 - rura zasilająca, 2 - rura boczniowa,
3 - rura odciągowa, 4 - króciec boczniowy,
5 - króciec odciągowy, 6 - kołnierz,
7 - uchwyt sprężynowy, 8 - zlewka szklana,
9 - poziomica, 10 - rurka napełniająca,
11, 12 - pokrętła, 13, 14 - wskaźniki położenia
rur, 15, 16, 17 - uszczelki, 18 - otworki
wyrównujące ciśnienie.

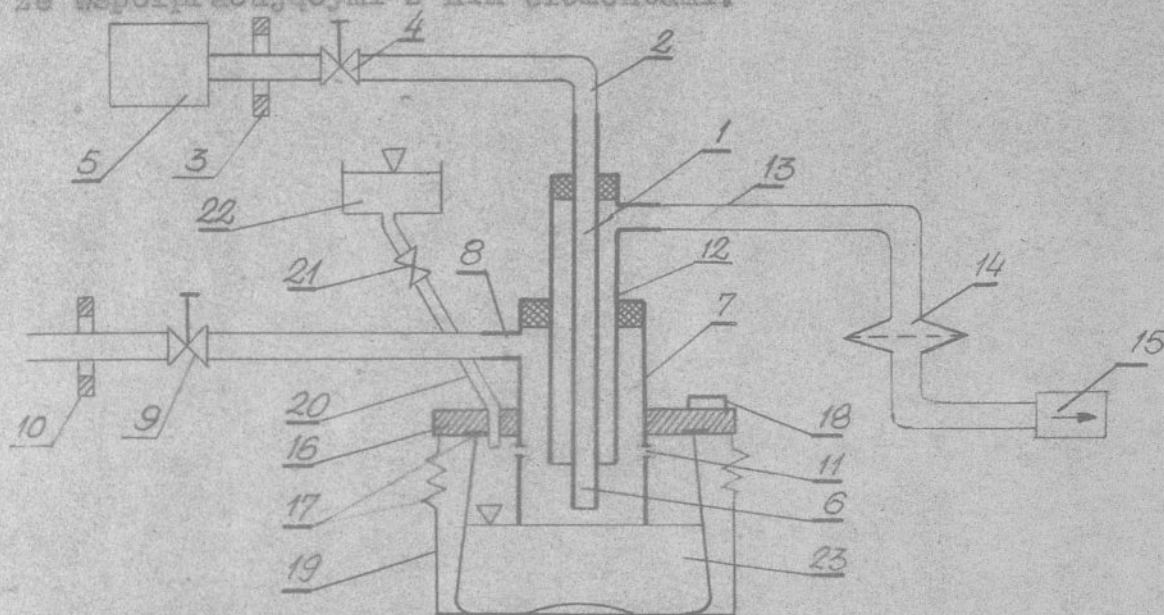
Zasadniczym jego elementem jest głowica, składająca się z trzech współosiowo umieszczonych rur: zasilającej 1, bocznikowej 2 i odciągowej 3. Rury bocznikowa i odciągowa posiadają króćce 4 /bocznikowy/ i 5 /odciągowy/. Rura bocznikowa połączona jest z kołnierzem 6, do którego uchwytem sprężynowym 7 dociskana jest zlewka szklana 8 częściowo wypełniona wodą. Do kołnierza przymocowana jest poziomica 9 oraz rurka napełniająca 10. Pokrętka 10 i 12 osadzone między pierścieniami oporowymi na rurach zasilającej i odciągowej pozwalają na zmiany i dokładną regulację położenia tych rur względem poziomu odniesienia, którym jest powierzchnia cieczy w zlewce. Określenia położenia rur umożliwiają wskaźniki 13 i 14. Szczelność aparatu zapewniają uszczelki pierścieniowe 15 i 16 oraz czołowa 17, a wyrównanie ciśnień wewnątrz dolnej części - otworki 18. Głowicę aparatu wykonano z miedzi, a następnie poszczególne części chromowano. Dolne końce rur pokryto żywicą metylosilikonową /Silak M-10/ dla zabezpieczenia przed możliwością zwilżania ich cieczą.

Na rys. 25 przedstawiono zewnętrzny wygląd aparatu wraz ze statywem.



Rys. 25. Aparat do badania w warunkach dynamicznych szybkości wiązania pyłu z cieczą - wygląd zewnętrzny.

Statyw wyposażony jest w dwie śruby ustawcze, służące do poziomowania aparatu. Na rys. 26 przedstawiono schemat ideowy aparatu wraz ze współpracującymi z nim elementami.



Rys. 26 Schemat aparatury do badania szybkości wiązania pyłu z cieczą.

1 - rura zasilająca, 2 - króciec wlotowy rury zasilającej, 3 - przepływomierz, 4 - regulator natężenia przepływu, 5 - źródło zapyłonego gazu, 6 - wylot rury zasilającej, 7 - rura bocznikowa, 8 - króciec wlotowy rury bocznikowej, 9 - regulator natężenia przepływu, 10 - przepływomierz, 11 - otworki wyrównujące ciśnienie, 12 - rura odciągowa, 13 - króciec odciągowy, 14 - filtr, 15 - urządzenie ssące, 16 - kołnierz, 17 - uszczelka, 18 - poziomica, 19 - uchwyt sprężynujący, 20 - rura napełniająca, 21 - regulator natężenia przepływu, 22 - zbiornik z cieczą, 23 - zlewka.

Króciec wlotowy z rury zasilającej 1 połączony jest poprzez przepływomierz 3 i regulator natężenia przepływu 4 z urządzeniem, w którym powstaje lub znajduje się zapyłony gaz 5. Wylot rury zasilającej 6 umieszczony jest ponad powierzchnię cieczy. Króciec wlotowy 8 rury bocznikowej 7 połączony jest poprzez regulator natężenia przepływu powietrza bocznikowego 9 z przepływomierzem 10. Króciec 13 rury odciągowej 12 połączony jest poprzez filtr 14 z urządzeniem ssącym 15. Rurka napełniająca 20

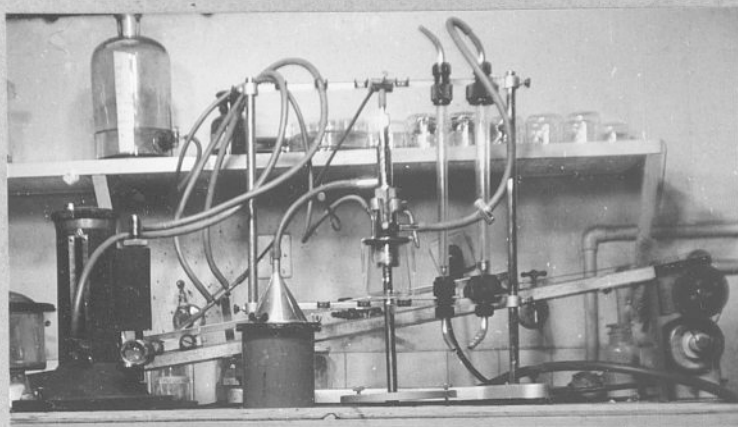
połączona jest poprzez regulator natężenia przepływu ze zbiornikiem z cieczą 22.

W użytym do badań laboratoryjnych zestawie aparatury zastosowano następujące elementy:

- rotametr laboratoryjny jako przepływomierz 10,
- zwężkę - jako przepływomierz 4,
- przesuwny otwarty dozownik pyłowy jako urządzenie, w którym powstaje zapyłony gaz 5,
- odkurzacz jako urządzenie zasysające,
- zaciski śrubowe jako regulatory natężenia przepływu 4 i 9, a zacisk sprężynowy jako regulator 21.

Zewnętrzny wygląd zestawu aparatury przedstawiono na rys.

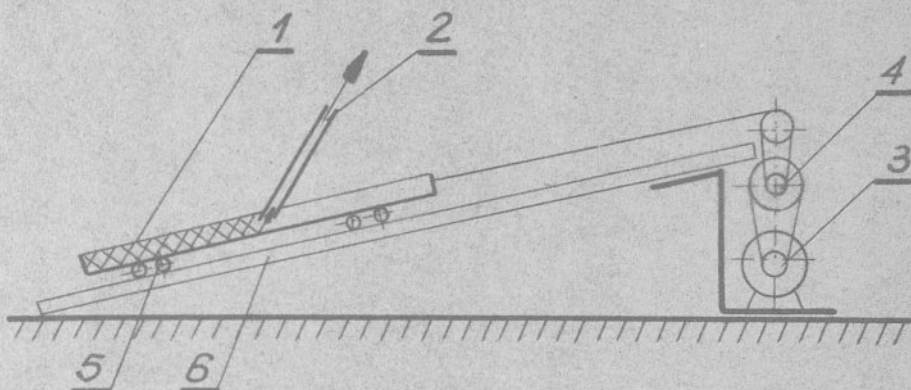
27.



Rys. 27. Aparatura do laboratoryjnych badań szybkości wiązania pyłu z cieczą - wygląd zewnętrzny.

Zaprojektowany przez autora przesuwny otwarty dozownik pyłowy /rys. 28/ pozwala na bezstopniową regulację natężenia dozowanego pyłu w zakresie 0,5 - 100 g/s. Tak duży zakres regulacji jest możliwy poprzez

- zmianę obrotów silnika /zmianę prędkości przesuwu rynny/,
- zmianę powierzchni przekroju warstwy pyłu rozłożonego na rynnie.



Rys. 28. Dozownik pyłowy.

- 1 - rynna - zasobnik pyłu, 2 - rura ssąca,
3 - silnik elektryczny, 4 - przekładnia,
5 - rolki, 6 - bieżnia.

Głównymi zaletami tego typu dozowników oprócz dużego zakresu natężenia dozowania są: prostota budowy /wyeliminowanie kłopotliwych uszczelnień występujących w innych typach/, łatwość obsługi, zwłaszcza napełniania dozownika pyłem oraz precyzyjne, równomierne dozowanie pyłu. Wadą jest natomiast ograniczony czas dozowania.

Zastosowanie różnego rodzaju przepływomierzy /rotametr i zwężka/ do pomiaru natężenia przepływu spowodowane zostało następującymi przyczynami:

- zwężka jest jedynym przepływomierzem pozwalającym na pomiar natężenia przepływu zapyłonego gazu, lecz jej użytkowanie jest dość kłopotliwe /pomiar pośredni/,
- rotametr zastosowany /zamiast ewentualnej zwężki/ do pomiaru natężenia przepływu powietrza bocznikowego pozwalał na bezpośredni odczyt wartości tego natężenia, co było szczególnie ważne wobec konieczności regulacji tej wartości,
- zastąpienie zwężki drugim rotametrem zainstalowanym ewentualnie między filtrem a urządzeniem ssącym wiązałoby się

ze znacznym, zmieniającym się błędem pomiaru, wynikającym ze zmian ciśnienia na wlocie do rotametu. Jak wykazały próby błąd ten sięgać może rzędu 20%.

Do oddzielania z powietrzem pyłu używano filtrów bibułowych twardych nr 388 produkcji f-my Filtrak /NRD/.

Pomiaru mierniczego spadku ciśnienia na zwężce dokonywano przy pomocy kolumnowego mikromanometru różnicowego Ascania.

2. Program badań.

Program badań obejmował:

- a/ wzorcowanie aparatury /wzorcowanie przepływomierzy, określenie wielkości potencjalnej powierzchni zderzeń, określenie niezbędnego natężenia przepływu powietrza bocznikowego/ oraz opracowanie metodyki badań,
- b/ badania wpływu wybranych parametrów na skuteczność i szybkość wiązania z cieczą pyłu jednorodnego,
- c/ analizę wyników badań objętych p. b, określenie ogólnego charakteru zależności między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z cieczą a parametrami, wpływającymi na tę wielkość oraz określenie stałych charakterystycznych dla oceny zdolności wiązania się pyłu z cieczą,
- d/ badania nad szybkością /skutecznością/ wiązania z cieczą wybranych rodzajów pyłów /drzewnych, węglowych, surowców mineralnych i tworzyw sztucznych/ oraz wyznaczenie dla tych pyłów charakterystycznych stałych,
- e/ badania nad oddzieleniem pyłów drzewnych w modelu płuczki uderzeniowej w celu określenia wpływu niektórych parametrów

konstrukcyjnych płuczki na skuteczność odpylania oraz oceny możliwości wykorzystania wyników badań szybkości /skuteczności/ wiązania pyłu z cieczą do przewidywania skuteczności odpylania odpylaczy.

3. Wzorcowanie aparatury oraz opracowanie metody badań.

Wzorcowanie aparatury objęło:

- opracowanie charakterystyki zwężki pomiarowej,
- ustalenie zależności między powierzchnią zderzeń a prędkością wypływu powietrza z rury zasilającej oraz
- określenie niezbędnego natężenia przepływu powietrza bocznikowego.

Podczas wzorcowania i późniejszych badań, odległość wylotu rury zasilającej od zwierciadła cieczy /mierzona przed uruchomieniem aparatury/ była stała i wynosiła 4 mm.

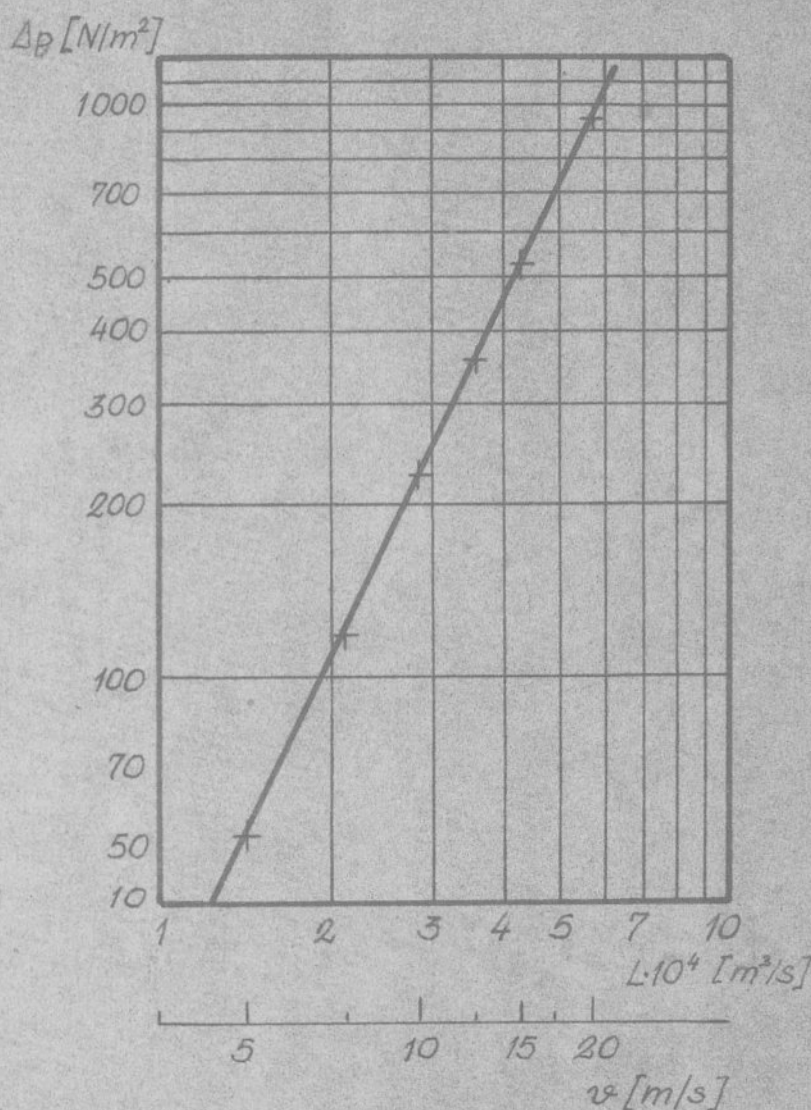
3.1. Charakterystyka zwężki pomiarowej.

Zwężkę pomiarową wykonano jako łagodne przewężenie o średnicy 3,2 mm na rurce miedzianej o średnicy 6,0 mm. Odbiór ciśnienia w układzie vena contracta pozwolił na uzyskiwanie względnie dużych wartości mierniczego spadku ciśnienia i zabezpieczał przed zatykaniem się pyłem otworów impulsowych.

Zależność mierniczego spadku ciśnienia w zwężce od natężenia przepływu powietrza określono wykonując pomiary przy pomocy następujących przyrządów:

- mikromanometru różnicowego Ascania /pomiar mierniczego spadku ciśnienia/ oraz
- gazomierza laboratoryjnego i sekundomierza, przy pomocy których określano natężenie przepływu powietrza.

Badania wykonano przy przepływie przez zwężkę powietrza czystego i zapyłonego. W tym drugim przypadku pył oddzielano w filtrze



Rys. 29. Charakterystyka zwężki pomiarowej.

zainstalowanym przed wlotem do gazonierza. Stwierdzono, że stężenie zapylenia w granicach 0 - 50 g/m³ nie powoduje /poza pulsacją/ istotnych zmian wartości mierniczego spadku ciśnienia/.

Wyniki badań zależności mierniczego spadku ciśnienia / Δp / od natężenia przepływu powietrza /o temperaturze 293°K/ /L/

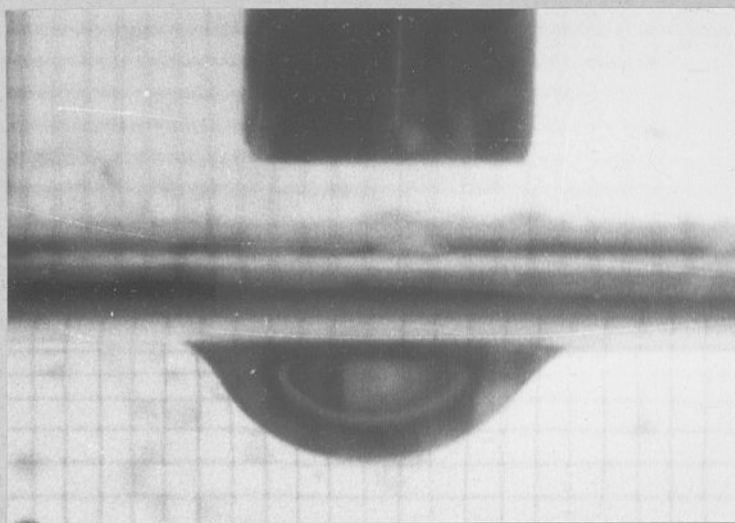
i prędkości wypływu powietrza z rury zasilającej v przedstawiono wykreslinie na rys. 29.

3.2. Zależność potencjalnej powierzchni zderzeń od prędkości wypływu powietrza z rury zasilającej.

Potencjalną powierzchnią zderzeń nazwano całkowitą powierzchnię wgłębienia w zwierciadle cieczy, powstałego w wyniku aerodynamicznego naporu strumienia gazu, wypływającego z rury zasilającej. Wielkość tej powierzchni zależy od prędkości wypływu powietrza z rury zasilającej /przy stałej wysokości wylotu rury nad powierzchnią cieczy/.

W celu określenia *w/wym.* zależności wylot rury zasilającej umieszczono prostopadle do zwierciadła wody znajdującego się w równoległościennym przezroczystym naczyniu. Wewnątrz naczynia znajdowała się zanurzona częściowo w wodzie płytka szklana z naniesioną siatką milimetrową. Wylot rury zasilającej znajdował się na wysokości 4 mm nad płaszczyzną lustra wody. Na poziomie lustra wody znajdowała się oś obiektywu aparatu fotograficznego, przy pomocy którego fotografowano kontur wgłębienia, powstałego w wodzie podczas przepływu powietrza. Jedno z serii wykonanych zdjęć przedstawiono na rys. 30. Porównując na powiększeniach wymiary konturu wgłębienia z wymiarami siatki milimetrowej obliczono powierzchnię zderzeń, zakładając, że składa się ona z szeregu powierzchni brył obrotowych.

Wyniki badań w formie zależności powierzchni zderzeń A od prędkości powietrza zasilającego v przedstawiono wykreslinie na rys. 31.

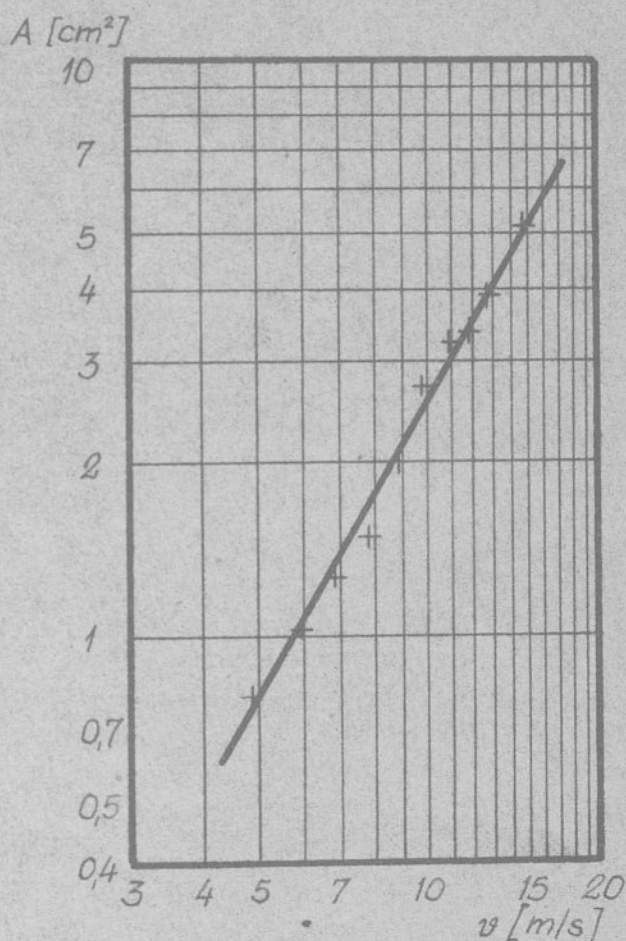


Rys. 30. Wgłębienie w zwierciadle cieczy spowodowane
wypływem powietrza z rury zasilającej.

3.3. Określenie niezbędnego natężenia przepływu powietrza bocznikowego.

Niezbędne natężenie przepływu powietrza bocznikowego określono jako takie natężenie, przy którym nie będzie zachodziło sedymentacyjne osiadanie pyłu na powierzchni cieczy /poza powierzchnią zderzeń, na której strumień powietrza zasilającego nie dopuszcza do osadzania się pyłu/. Natężenie to określono metodą kolejnych przybliżeń, badając zależność skuteczności oddzielania pyłu w cieczy /przy stałym natężeniu wypływu z rury zasilającej/ od natężenia przepływu powietrza bocznikowego z tym, że decydujące znaczenie miały badania dla najmniejszego natężenia wypływu z rury zasilającej. Do badań tych użyto frakcji pyłu świerkowego o znacznej prędkości unoszenia ziarn - 150 cm/s. Oczywiście jest, że ziarna pyłów o mniejszej prędkości unoszenia będą skuteczniej odciągane.

W tabeli 4 podano ustalone w oparciu o wyniki badań wartości natężenia przepływu powietrza bocznikowego oraz odpowiadające im prędkości i natężenia wypływu powietrza zasilającego, a także miernicze spadki ciśnienia.



Rys. 31. Wykres zależności potencjalnej powierzchni zderzeń od prędkości powietrza zasilającego.

T a b e l a 4.

Prędkość wypływu pow.zasil.	Natężenie wypływu pow. zasil.	Natężenie przepływu pow.boczn.	Mierniczy spadek ciśnienia
v /m/s/	$L_z \cdot 10^4$ /m ³ /s/	$L_b \cdot 10^4$ /m ³ /s/	Δp /N/m ² /
7,5	2,12	4,35	118,0
10,0	2,83	3,64	221,0
12,5	3,55	2,93	351,0
15,0	4,26	2,22	521,0

3.4. Metodyka badań.

Cykl badania szybkości /skuteczności/ wiązania pyłu z cieczą składa się z następujących czynności^{x/}:

- wysuszone do stałej wagi i ochłodzone w eksykatorze filtry i zlewki waży się na wadze analitycznej,
- po zamocowaniu w aparacie zlewki, aparat poziomuje się, a następnie napełnia zlewkę badaną cieczą do zetknięcia się powierzchni cieczy z dolną krawędzią rury bocznikowej,
- po włączeniu urządzenia ssącego 15 przepuszcza się /ze stałym natężeniem/ zapyłony gaz, określając natężenie jego przepływu przepływomierzem 3, regulując je zaciskiem 4 oraz mierząc sekundomierzem czas zasilania /przepływu zapyłonego gazu/. Jednocześnie przez rurę bocznikową powinna przepływać odpowiednia ilość gazu czystego /mierzona

x/ przy omawianiu posłużono się numeracją elementów wg rys. 26.

- przepływomierzem 10 i regulowana regulatorem 9/ zabezpieczająca przed grawitacyjnym osiadaniem niezwiązanego pyłu,
- przyrost masy zlewki /po odparowaniu cieczy i wysuszeniu do stałej wagi/ odpowiada masie pyłu związanego z cieczą, zaś suma przyrostów mas zlewki i wysuszonego filtra - masie pyłu wprowadzonego do aparatu w zapyłonym gazie,
 - z wartości potencjalnej powierzchni zderzeń określonej z zależności $A = f /v/$ -(rys. 31), zmierzonego czasu przepływu oraz masy pyłu związanego z cieczą można obliczyć szybkość wiązania pyłu z cieczą /wg wzoru 39/,
 - skuteczność wiązania pyłu z cieczą określa stosunek masy pyłu związanego z cieczą do masy pyłu wprowadzonego z zapyłonym gazem /suma masy pyłu oddzielonego w zlewce i zatrzymanego w filtrze/.

4. Badania wpływu wybranych parametrów na skuteczność i szybkość wiązania z cieczą pyłu jednorodnego.

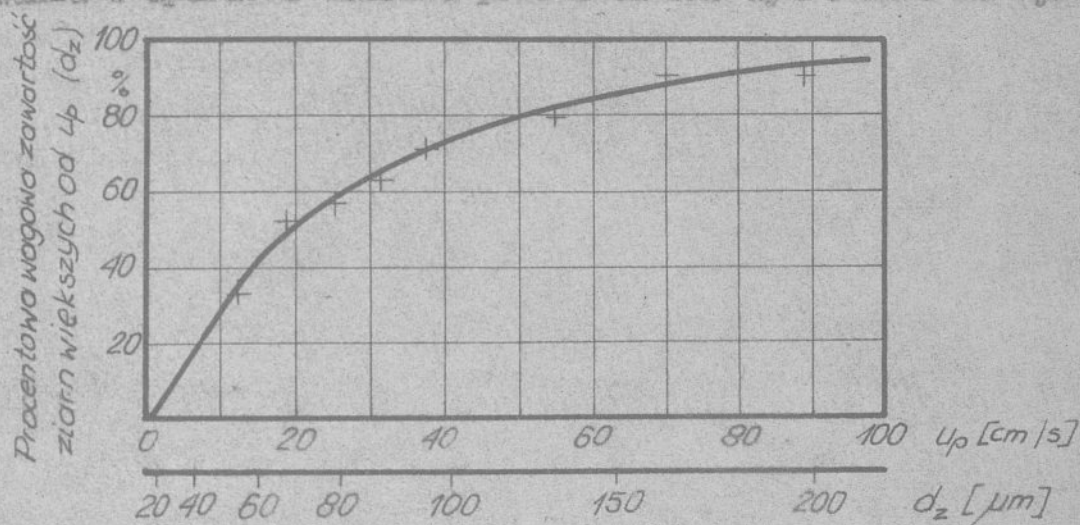
Celem określenia ogólnego charakteru zależności między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z cieczą a parametrami, wpływającymi na^{te} wielkość, przeprowadzono w aparaturze opisanej w p. 1 i 2 cykl badań nad oddzielaniem w wodzie pyłu drewna świerkowego. Badany pył uznać można za jednorodny materiałowo, tj. pył o zbliżonym składzie chemicznym poszczególnych klas ziarnowych, gdyż pył ten powstał w wyniku obróbki drewna skrawaniem, a nie np. podczas szlifowania przy użyciu materiałów ściernych.

Jako parametry, które w sposób istotny mogą wpływać na skuteczność i szybkość wiązania pyłu z cieczą przyjęto:

- stężenie pyłu w gazie,
- wielkość ziarn pyłu,
- prędkość wylotową zapyłonego powietrza z rury zasilającej oraz
- napięcie powierzchniowe cieczy.

Gęstość badanego pyłu oznaczona piknometrycznie /wg PN-65/Z-04006/ wynosiła $\rho_p = 1360 \text{ kg/m}^3$.

Skład ziarnowy pyłu drewna świerkowego określony metodą wywiewania w aparacie Gonella przedstawiono wykreślnie na rys. 32.



Rys. 32. Skład ziarnowy pyłu świerkowego.

Do badań użyto pyłu rozdzielonego na 5 klas ziarnowych o następujących prędkościach swobodnego opadania^{x/}:

0 - 12,8 /śr. 6,4/ cm/s

12,8 - 19,2 /śr. 16,0/ cm/s

^{x/} w dalszych badaniach i rozważaniach wielkość ziarn charakteryzowano ich prędkością opadania /unoszenia/ - parametrem bezpośrednio mierzalnym, ujmującym zarówno wymiary geometryczne, kształt ziarn jak i gęstość pyłu. Ponieważ tzw. średnica zastępcza w pewnym jedynie stopniu odzwierciedla wielkość geometryczną ziarna, a średnicę tę i tak wylicza się z prędkości opadania, istnieje obecnie tendencja charakteryzowania wielkości ziarn przez ich prędkość opadania.

19,2 - 25,6 /śr. 22,4/ cm/s

25,6 - 32,0 /śr. 28,8/ cm/s

32,0 - 38,4 /śr. 35,2/ cm/s

Cieczą oddzielającą była woda destylowana lub wodne roztwo-
ry środków powierzchniowo-czynnych.

Dla ujednolicenia własności używanych próbek pyłu suszono
je do stałej wagi i chłodzono w eksykatorze.

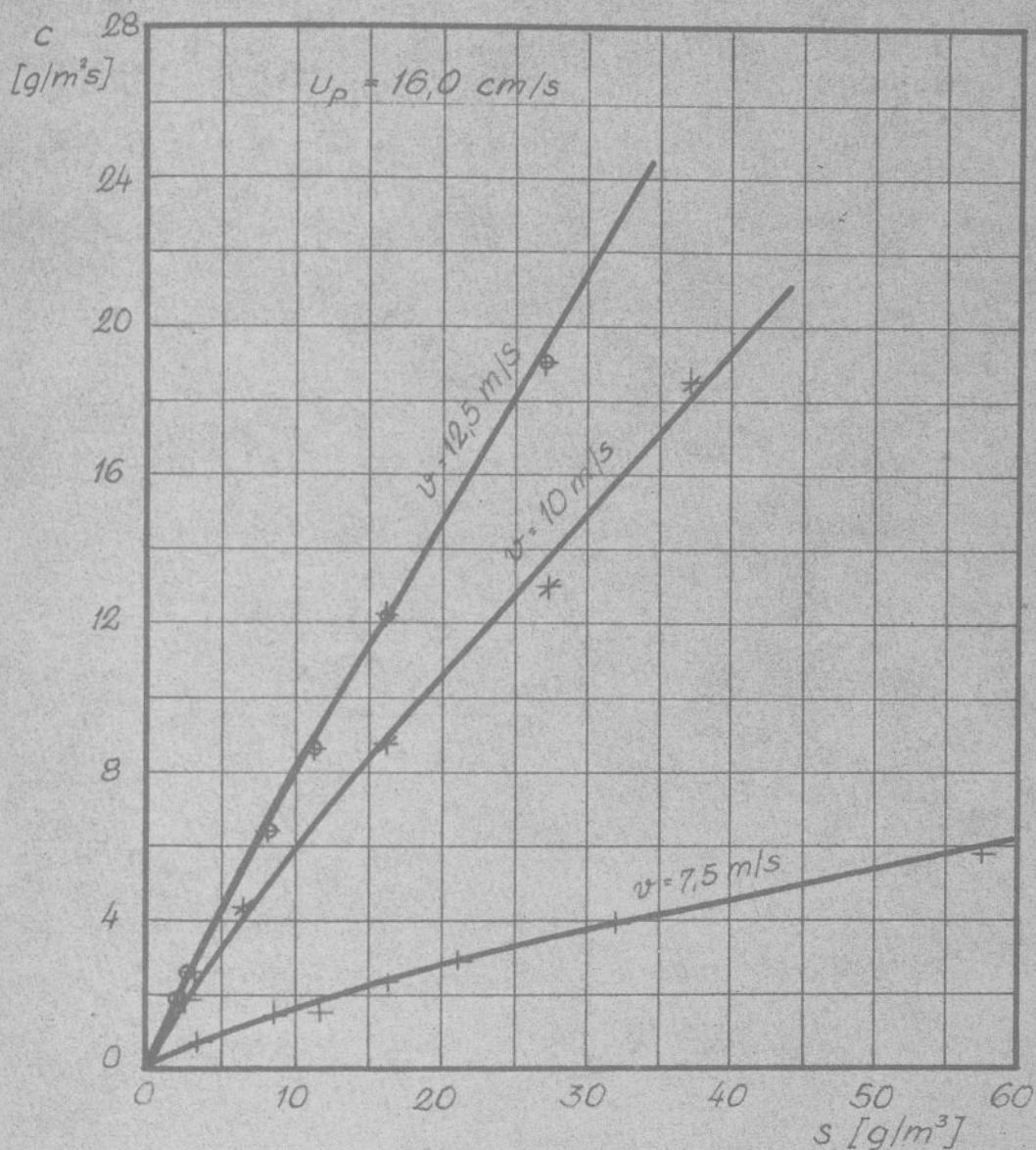
W czasie badań temperatura powietrza w laboratorium wahała
się w granicach 292-295°K, a jego wilgotność wynosiła od
42 - 57%.

4.1. Badanie wpływu stężenia pyłu w powietrzu zasilającym na szybkość i skuteczność wiązania pyłu z wodą.

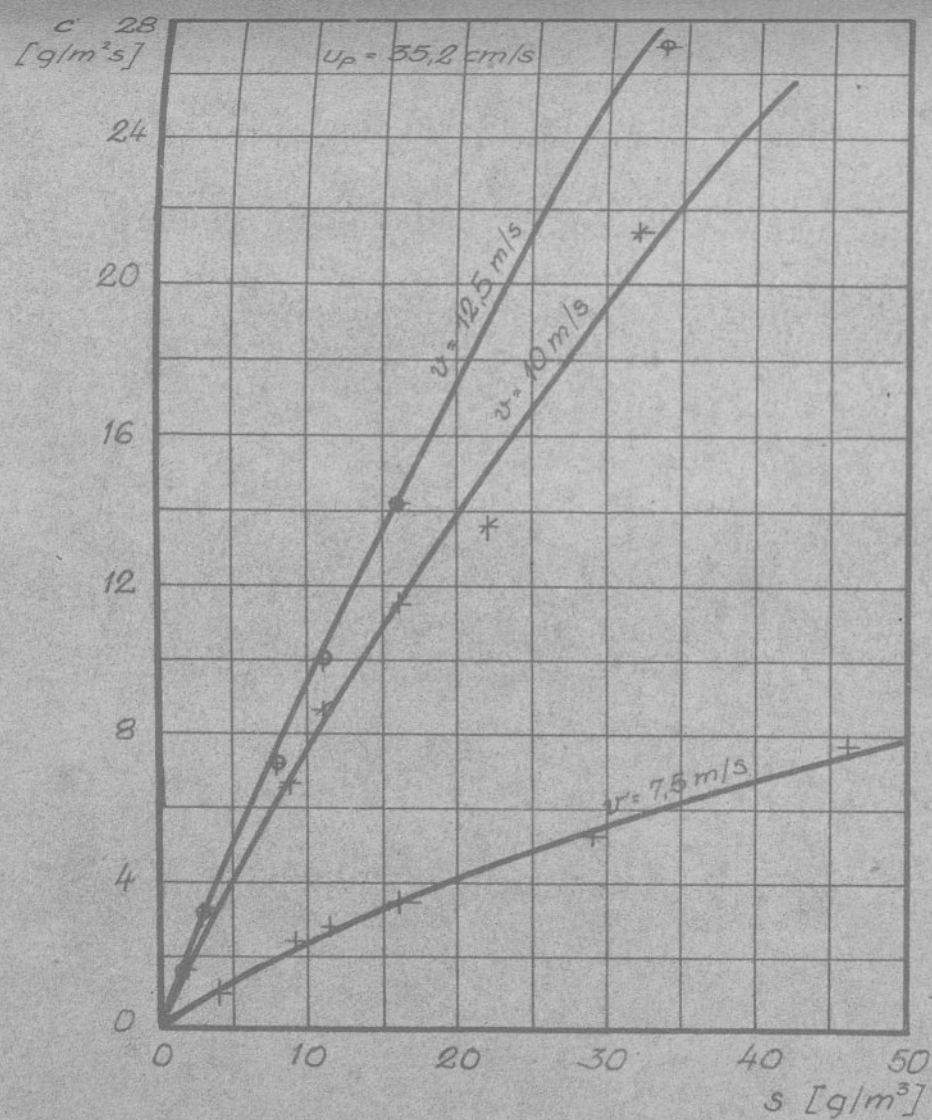
Badania nad wpływem stężenia pyłu ściernego w powietrzu
wypływającym z rury zasilającej /powietrzu zasilającym/ na szyb-
kość wiązania pyłu z wodą przeprowadzono kolejno dla 3-ch klas
ziarnowych pyłu o średnich prędkościach opadania u_p 16,0;
28,8 oraz 35,2 cm/s.

Prędkości wypływu powietrza z rury zasilającej wynosiły 7,5;
10,0 i 12,5 m/s. Wyniki badań w formie zależności szybkości
wiązania pyłu z cieczą c od stężenia pyłu w powietrzu s
/przy stałej prędkości powietrza zasilającego/ przedstawiono
wykreślnie na rys. 33, 34, 35.

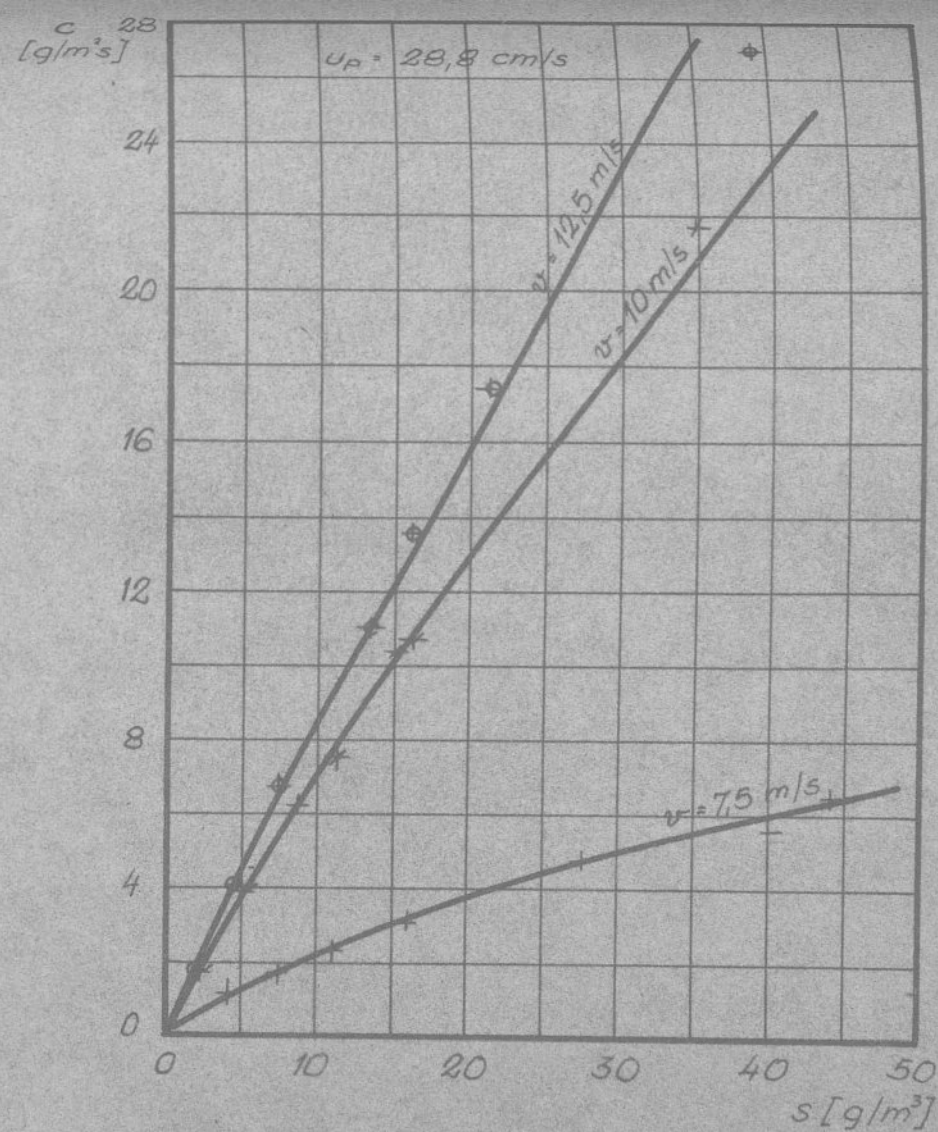
Rysunki 36, 37 i 38 przedstawiają określoną w tych samych
badaniach zależność między skutecznością oddzielania pyłu w apa-
racie η a jego stężeniem w powietrzu zasilającym s .



Rys. 33. Wykres zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o średniej prędkości opadania ziarn $u_p = 16,0 \text{ cm/s}$ / od stężenia pyłu w powietrzu zasilającym.

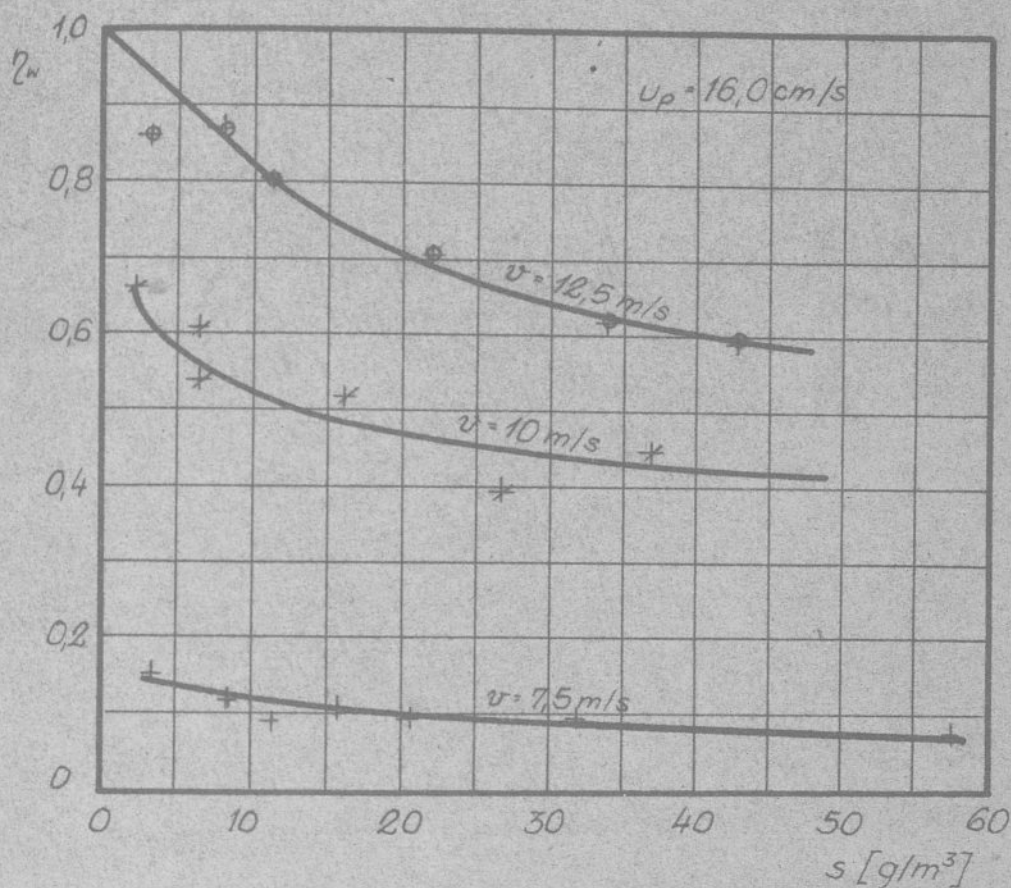


Rys.35 Wykres zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o średniej prędkości opadania ziarn $u_p = 35,2 \text{ cm/s}$ od stężenia pyłu w powietrzu zasilającym



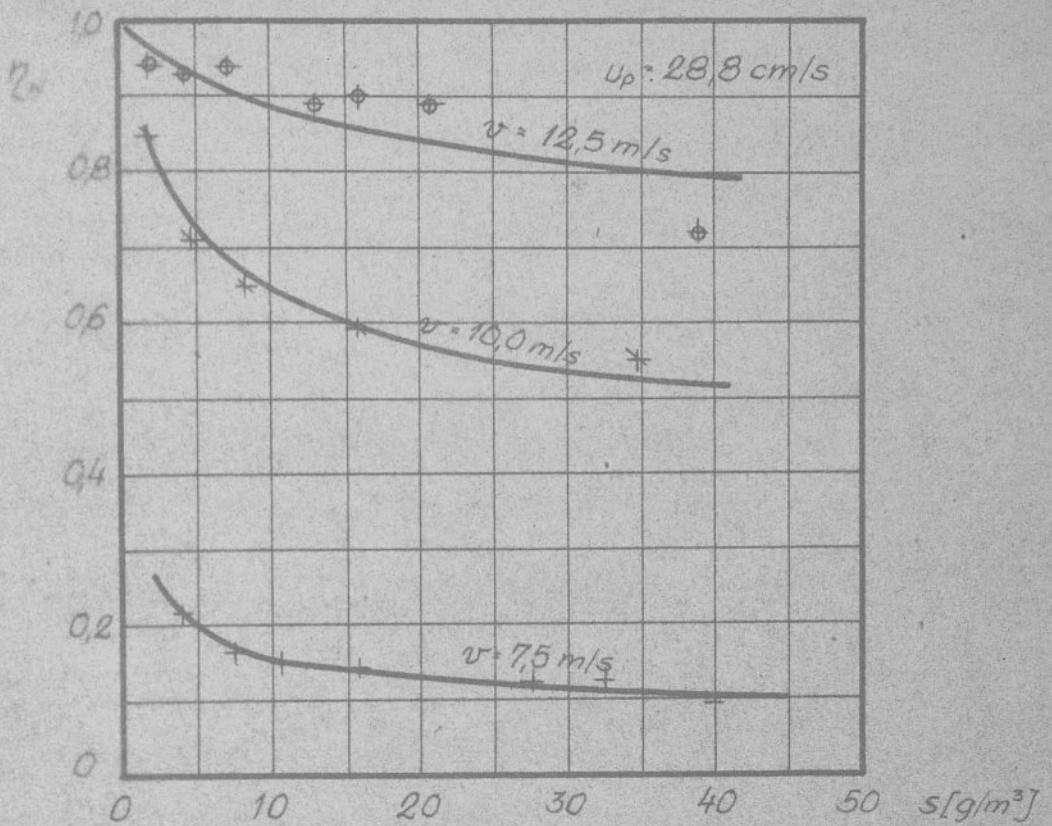
Rys.34 Wykres zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o średniej prędkości opadania ziarn $u_p = 28,8 \text{ cm/s}$ od stężenia pyłu w powietrzu zasilającym

412. Badania wpływu wielkości ziarn pyłu oraz prędkości powietrza zasilającego na szybkość i skuteczność wiązania pyłu z cieczą.

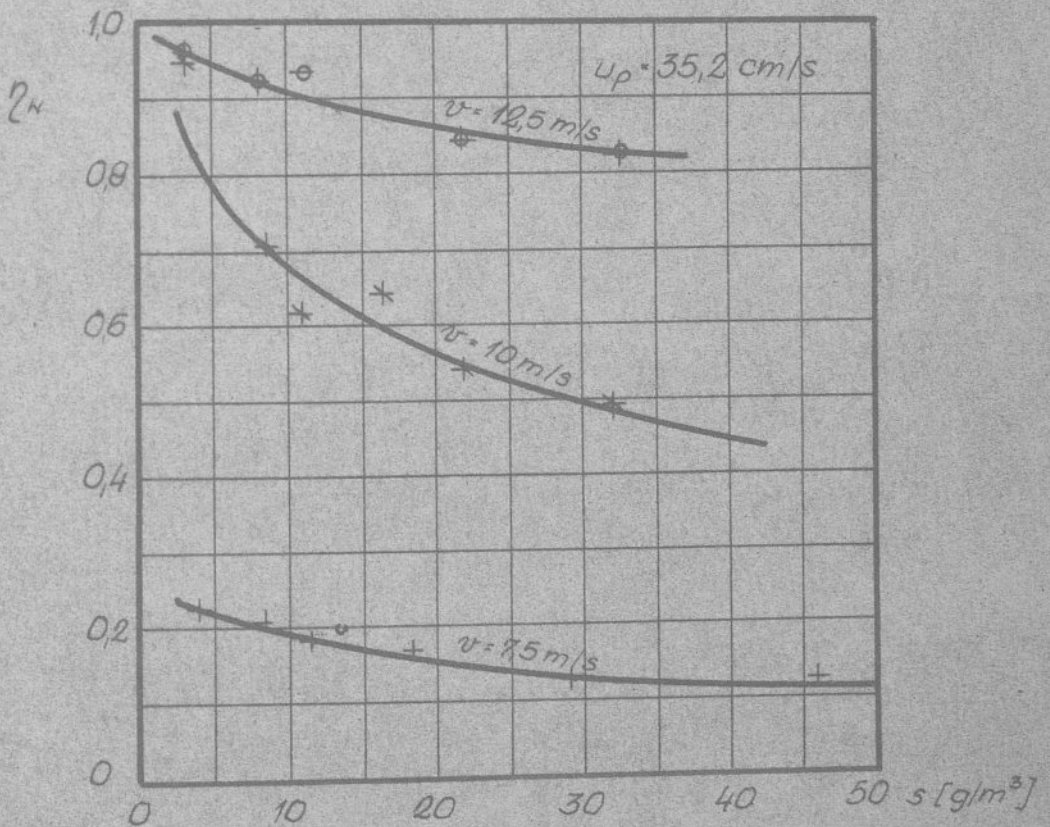


Rys. 36. Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego $/u_p = 16,0 \text{ cm/s}/$ od stężenia pyłu w powietrzu zasilającym.

Badaniami objęto 5 klas ziarnowych pyłu świerkowego /o średnich prędkościach unoszenia 6,4; 16,0; 22,4; 28,8 i 35,2 cm/s /. Prędkości wypływu powietrza zasilającego wynosiły 7,5; 10,0; 12,5 i 15,0 m/s . Podczas badań utrzymywano stałe stężenia pyłu w powietrzu zasilającym $s = 16 \text{ g/m}^3$.



Rys. 37. Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego $/u_p = 28,8 \text{ cm/s/}$ od stężenia pyłu w powietrzu zasilającym.



Rys. 38. Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego $/u_p = 35,2 \text{ cm/s/}$ od stężenia pyłu w powietrzu zasilającym.

Wyniki badań w postaci zależności szybkości wiązania pyłu z cieczą /c/ od wielkości ziarn /reprezentowanej przez ich prędkość opadania u_p / oraz prędkości wypływu powietrza zasilającego /v/ przedstawiono na rys. 39.

Na rys. 40 i 41 przedstawiono zależności między skutecznością oddzielania pyłu w aparacie / η_n / a prędkością opadania ziarn / u_p / i prędkością wypływu powietrza zasilającego /v/.

4.3. Badania wpływu napięcia powierzchniowego cieczy na szybkość i skuteczność wiązania pyłu z cieczą.

Do badań użyto pyłu o 3 granulacjach, odpowiadających średnim prędkościom opadania ziarn 6,4; 22,4 i 28,8 cm/s. Stężenie pyłu w powietrzu zasilającym wynosiło 16 g/m³.

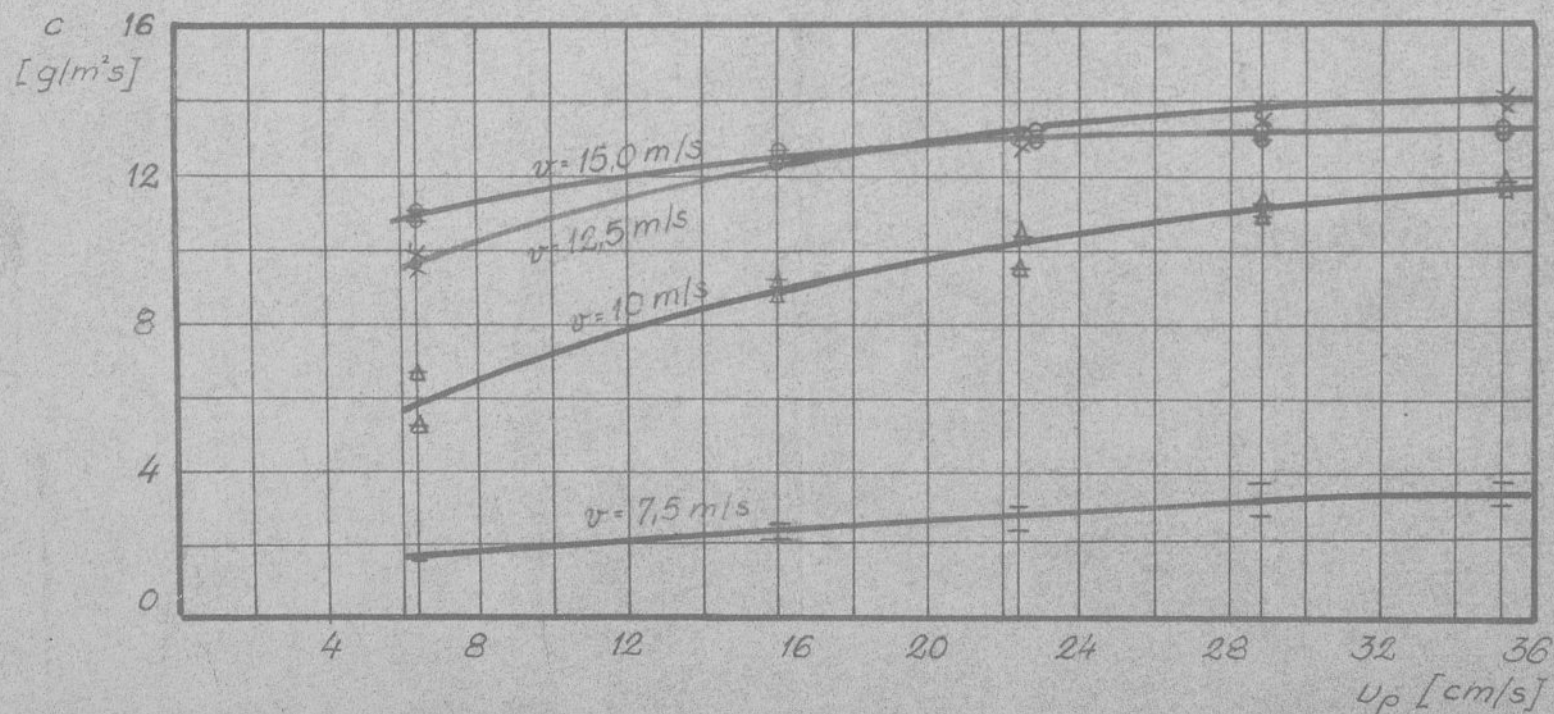
Jako cieczy oddzielających użyto wodnych roztworów oksylowanego nonylofenolu /Alfenolu 8/.

Wstępne badania wykazały powstawanie piany na powierzchni cieczy /zwłaszcza przy większych prędkościach powietrza zasilającego i niższych wartościach napięcia powierzchniowego cieczy/, co w sposób zasadniczy zmieniało przebieg zjawiska oddzielania pyłu. Dla zapobieżenia pienieniu dodawano do roztworu wodnego Alfenolu alkohol n-oktylowy w ilości 0,15 g na 1 dm³ roztworu.

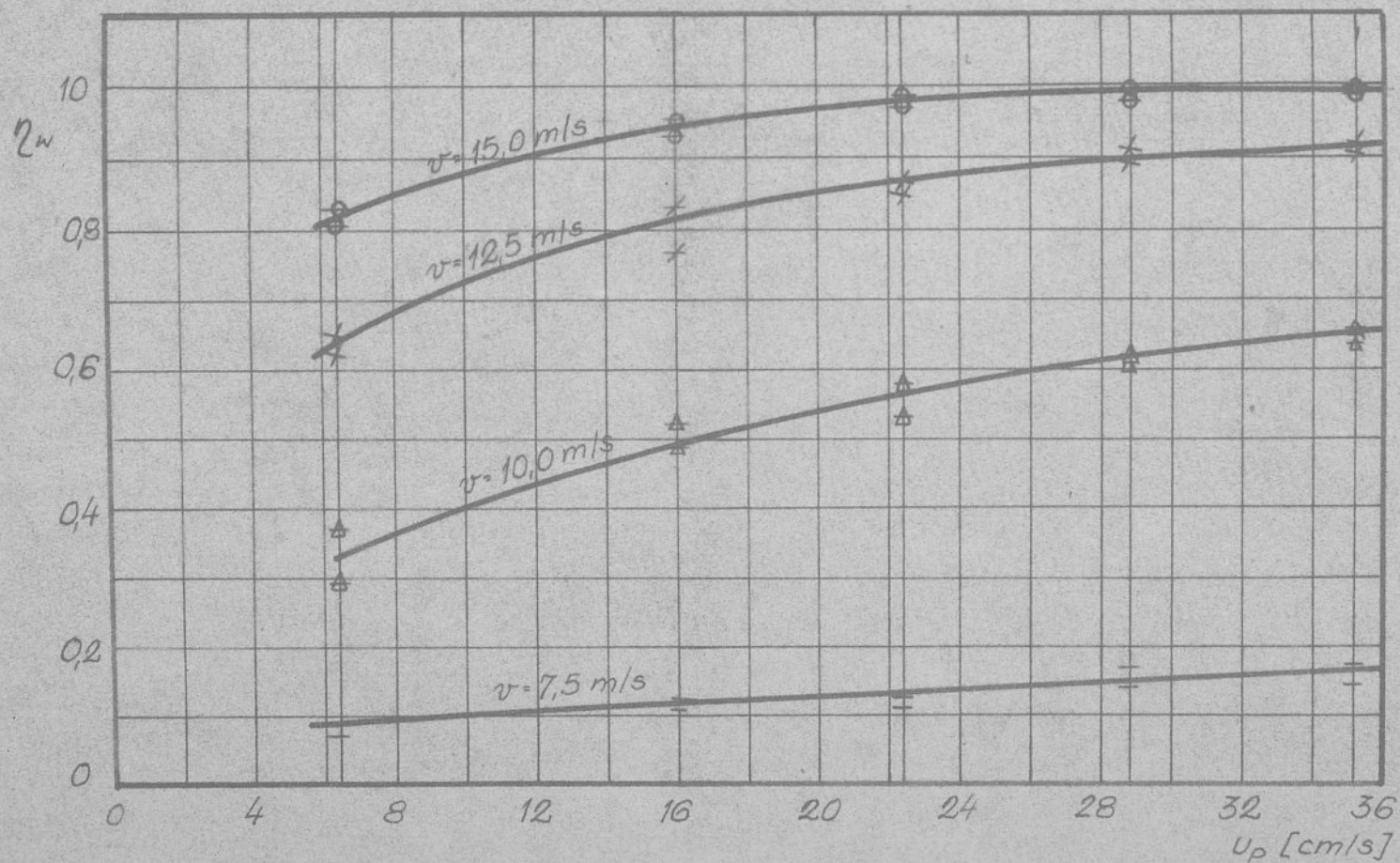
Zależność napięcia powierzchniowego wodnego roztworu / σ_c / od stężenia w nim Alfenolu przedstawiono na rys. 42.

Pomiary napięcia powierzchniowego roztworu przeprowadzono przy użyciu stalagmometru.

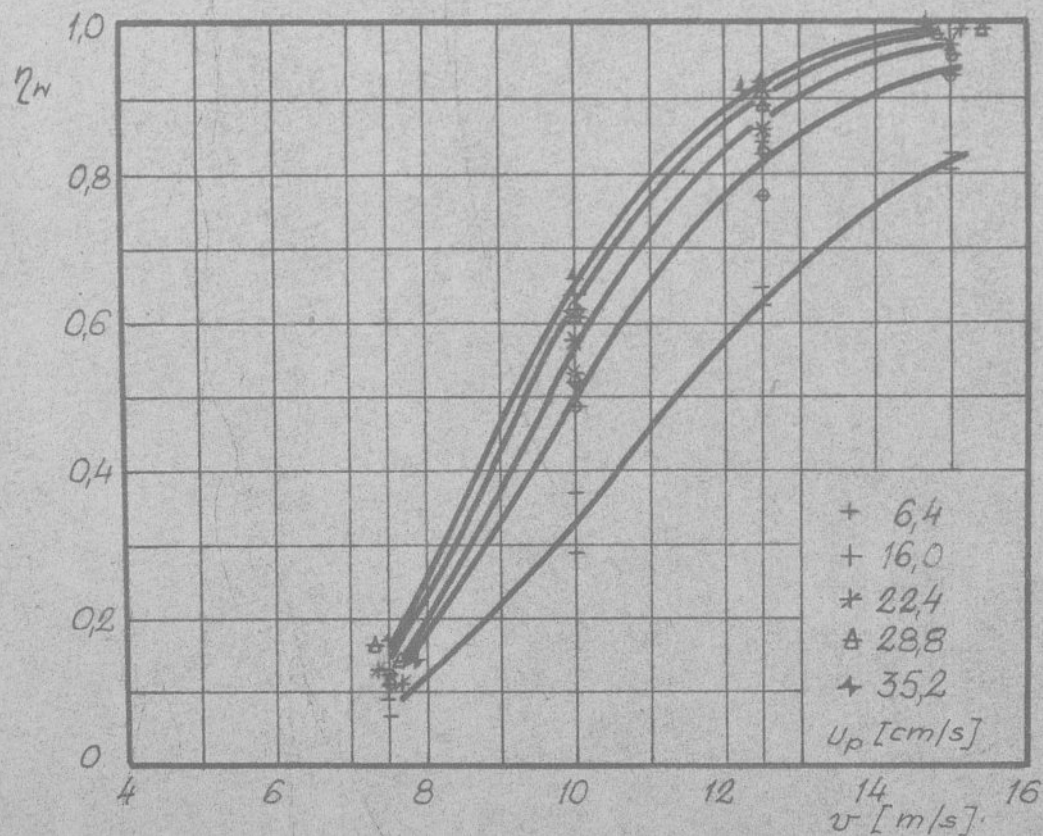
Wyniki badań nad wpływem napięcia powierzchniowego na szybkość wiązania pyłu świerkowego z cieczą przedstawiono w formie wykresów na rys. 43, 44 i 45, a zależności skuteczności



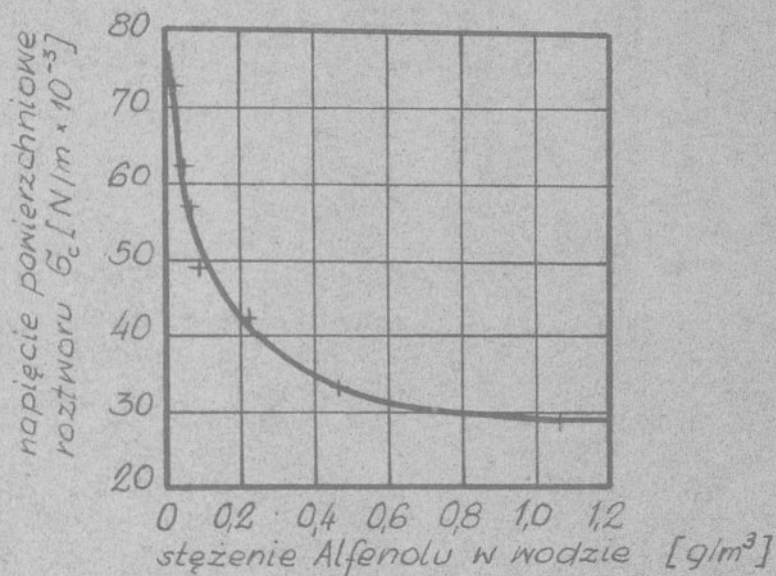
Rys.39 Wykres zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego od wielkości ziarn pyłu i prędkości wypływu powietrza zasilającego



Rys.40 Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego od wielkości ziarn pyłu i prędkości wypływu powietrza zasilającego

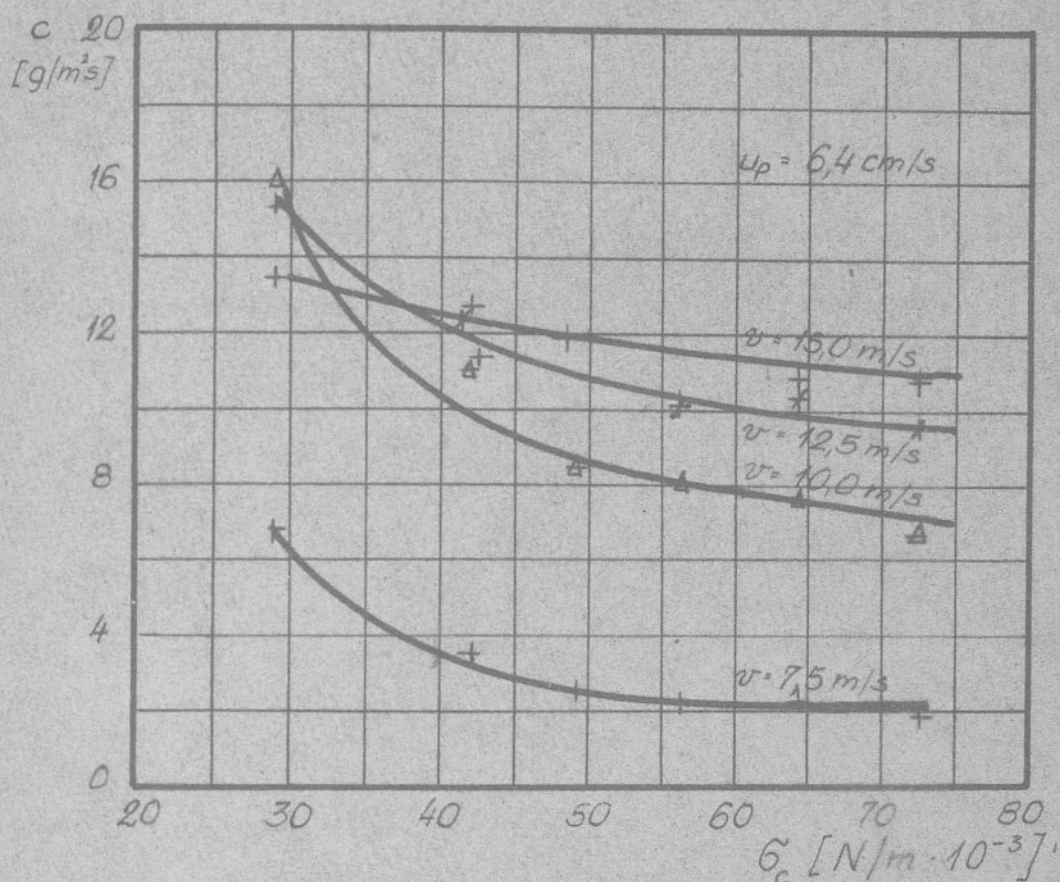


Rys.41 Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego od prędkości wypływu powietrza zasilającego i wielkości ziarn pyłu

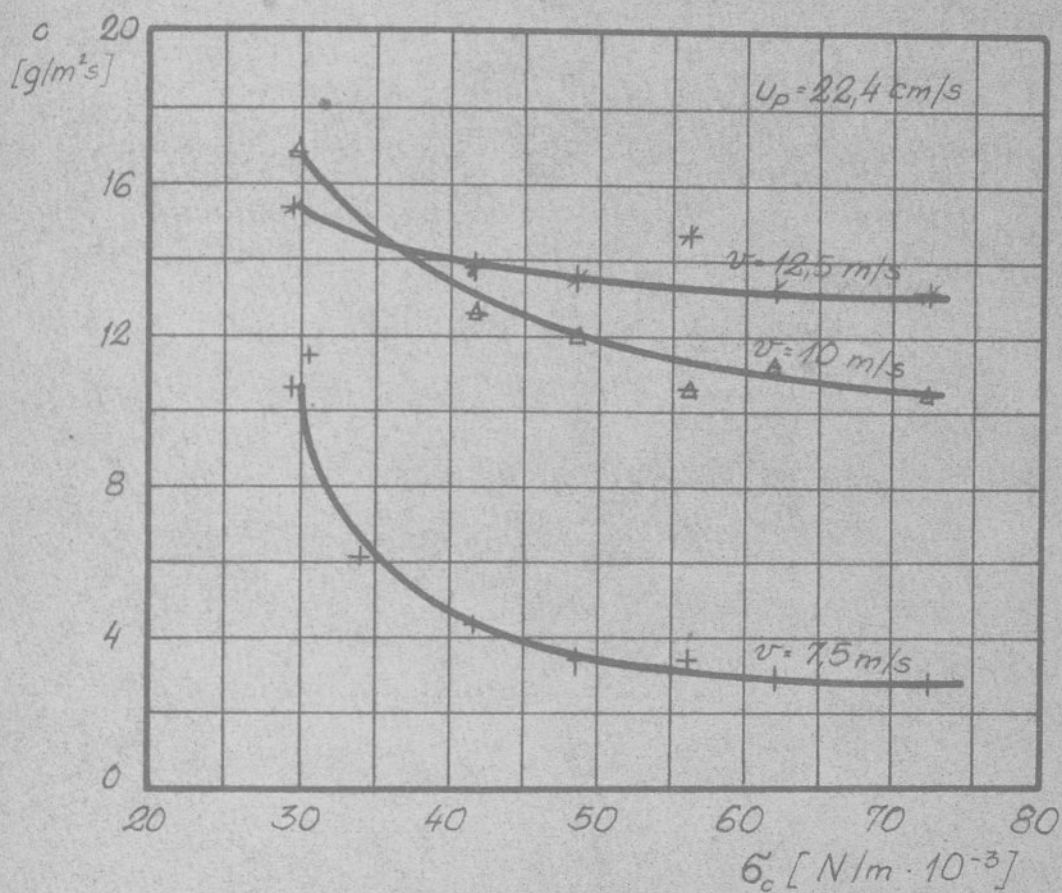


Rys. 42. Wykres zależności napięcia powierzchniowego roztworu wodnego od stężenia w nim Alfenolu.

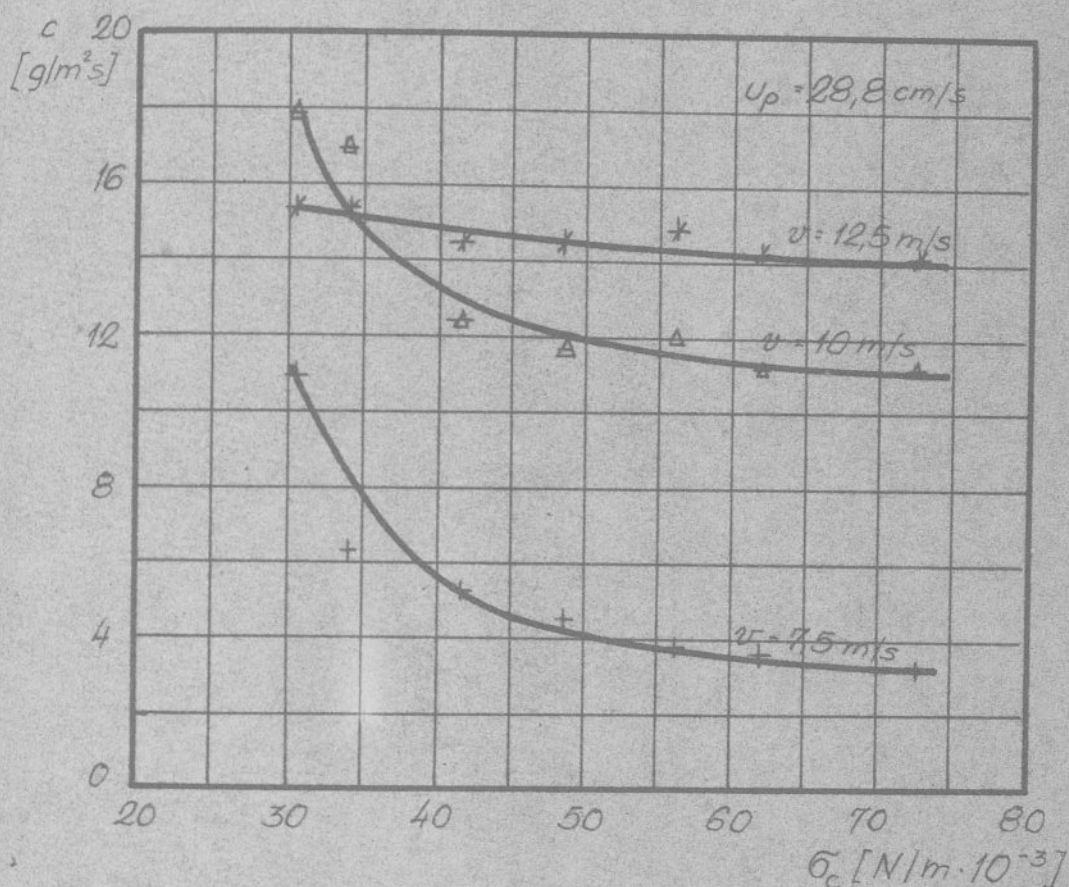
oddzielania pyłu od napięcia powierzchniowego obrazują wykresy na rys. 46, 47 i 48.



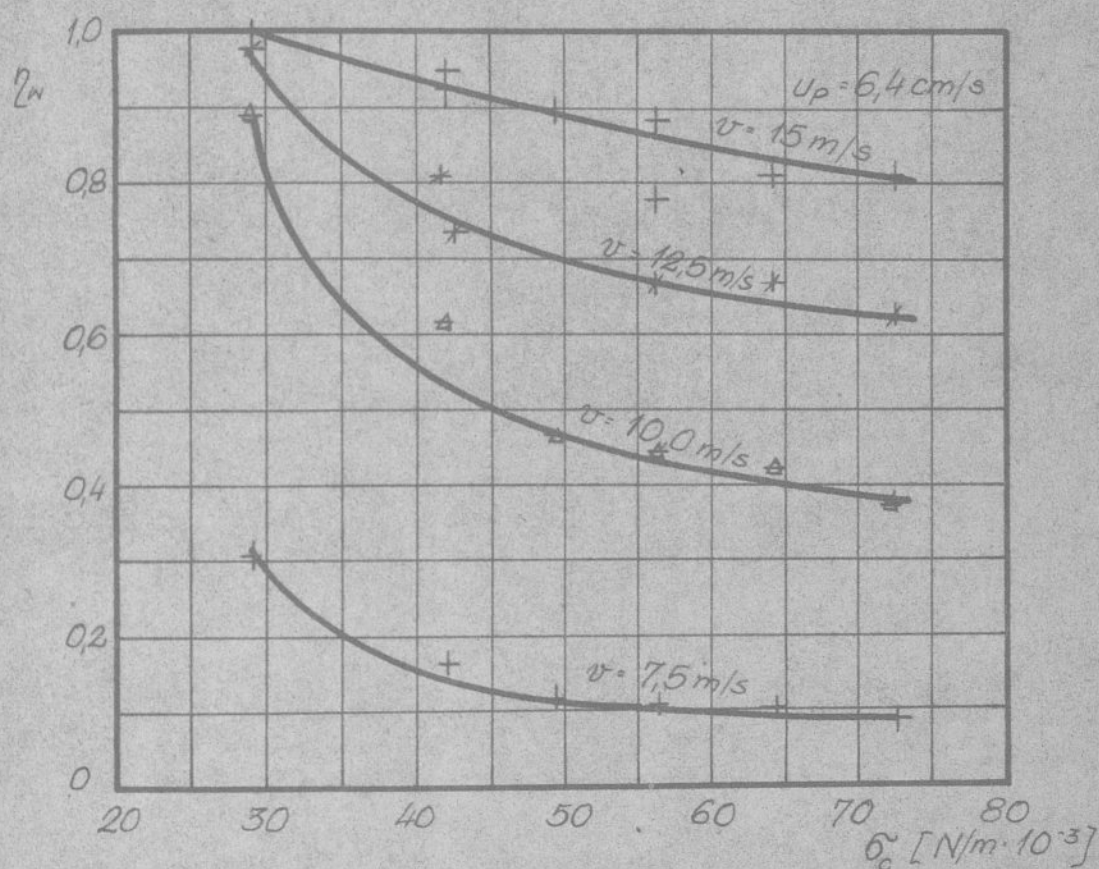
Rys. 43. Wykres zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o prędkości opadania $u_p = 6.4$ cm/s/ od napięcia powierzchniowego roztworu i prędkości powietrza zasilającego.



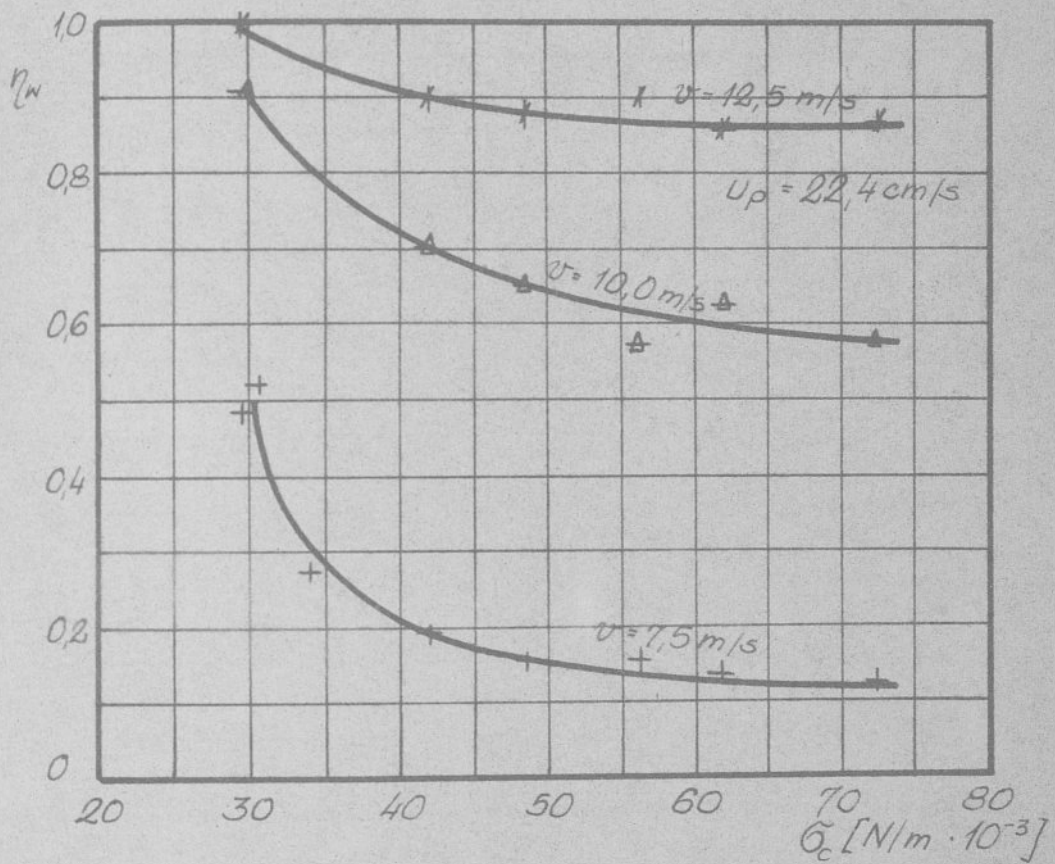
Rys. 44. Wykres zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o prędkości opadania $u_p = 22.4$ cm/s/ od napięcia powierzchniowego roztworu i prędkości powietrza zasilającego.



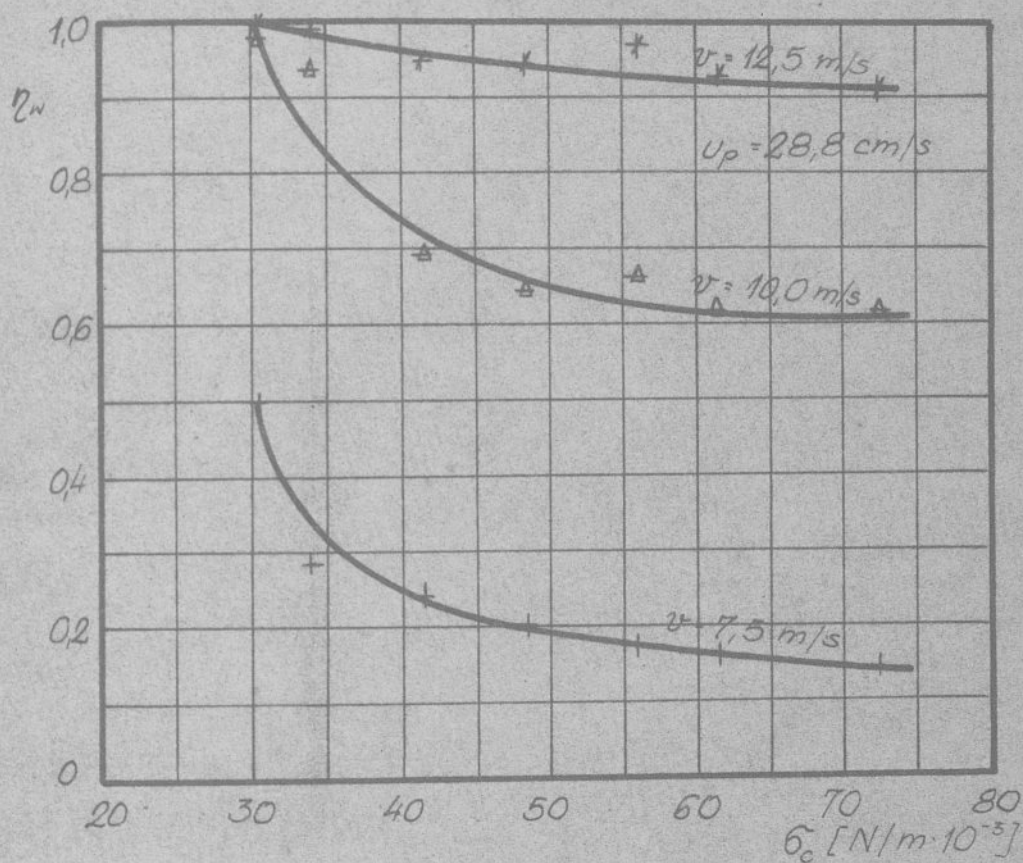
Rys. 45. Wykres zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o prędkości opadania $u_p = 28,8$ cm/s/ od napięcia powierzchniowego roztworu i prędkości powietrza zasilającego.



Rys. 46. Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o prędkości opadania $u_p = 6,4$ cm/s/ od napięcia powierzchniowego roztworu i prędkości powietrza zasilającego.



Rys. 47. Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o prędkości opadania $u_p = 22,4 \text{ cm/s}$ / od napięcia powierzchniowego roztworu i prędkości powietrza zasilającego.



Rys. 48. Wykres zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego /o prędkości opadania $u_p = 28,8 \text{ cm/s}$ / od napięcia powierzchniowego roztworu i prędkości powietrza zasilającego.

5. Analiza wyników badań nad szybkością wiązania pyłu świerkowego. Określenie ogólnych postaci zależności charakteryzujących wpływ wybranych parametrów na skuteczność i szybkość wiązania pyłu z cieczą.

Przy opracowywaniu wyników pomiarów posłużono się opracowanymi przez Bretsznajdera [60] metodami układania równań. Porównywano kształty krzywych na wykresach obrazujących wyniki badań z kształtami krzywych, odpowiadających równaniom typowych funkcji, dobierano takie układy współrzędnych, w których wyniki pomiarów badanych zależności tworzyły linię prostą, a następnie określano postać równania liniowego i ogólnej opisującej badaną zależność oraz obliczano wartości współczynników równania empirycznego.

5.1. Zależność potencjalnej powierzchni zderzeń od prędkości powietrza zasilającego.

Wyniki badań przedstawione na rys. 31 /w skali logarytmicznej/ wskazują na to, że ogólna postać równania opisującego zależność potencjalnej powierzchni zderzeń /A/ od prędkości powietrza zasilającego /v/ jest następująca:

$$A = B \cdot v^{c'} \quad /40/$$

Po wyliczeniu metodą średnich kwadratów współczynnika B oraz wykładnika potęgowego c' , równanie /40/ przybiera postać

$$A = 4,85 \cdot 10^{-6} v^{1,718} \quad /41/$$

gdzie:

A - potencjalna powierzchnia zderzeń, m^2 ,

v - prędkość powietrza zasilającego, m/s.

5.2. Zależność między skutecznością wiązania pyłu z cieczą a szybkością wiązania pyłu z cieczą.

Skuteczność wiązania pyłu z cieczą /oddzielanie pyłu w aparacie/ η_w można określić ze wzoru

$$\eta_w = \frac{m_p}{m_w} \quad /42/$$

gdzie:

m_p - masa pyłu związanego z cieczą,

m_w - masa pyłu wprowadzona do aparatu wraz z zapylonym gazem /w powietrzu zasilającym/

Z kolei wiadomo, że

$$m_w = L_z \cdot s \cdot \tau \quad /43/$$

gdzie:

L_z - natężenie wypływu gazu zasilającego,

s - stężenie zapylenia tego gazu,

τ - czas zasilania.

Z porównania wzorów /42/ i /43/ ze wzorem /39/ otrzymamy zależność

$$c = s \frac{L_z}{A} \eta_w \quad /44/$$

Zarówno natężenie wypływu gazu zasilającego L_z , jak i potencjalna powierzchnia zderzeń A są funkcjami prędkości wypływu gazu zasilającego v . Zależność stosunku $\frac{L_z}{A}$ od prędkości wypływu powietrza ma w wypadku omawianej aparatury następującą postać:

$$\frac{L_z}{A} = 5,84 \cdot v^{-0,718}$$

stąd związek między szybkością i skutecznością wiązania pyłu z cieczą określony będzie wzorem $c = K \cdot \eta_w$

/46/

gdzie:

$$K' = 5,84 \cdot v^{-0,718}$$

/47/

5.3. Zależność między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z wodą a stężeniem pyłu w powietrzu zasilającym.

Badania wykazały, że wraz ze wzrostem stężenia pyłu w powietrzu zasilającym maleje skuteczność oddzielania pyłu świerkowego w aparacie /rys. 36, 37, 38/, choć jednocześnie rośnie szybkość wiązania pyłu z wodą /rys. 33, 34, 35/. Zależności obu tych parametrów od stężenia pyłu w powietrzu mają podobne charakterystyki dla wszystkich badanych granulacji i prędkości wypływu.

Charakter krzywych przedstawionych na rys. 33, 34 i 35 wskazuje na to, że zależność $c = f /s/$ może mieć następującą postać ogólną

$$c = D' s^{e'}$$

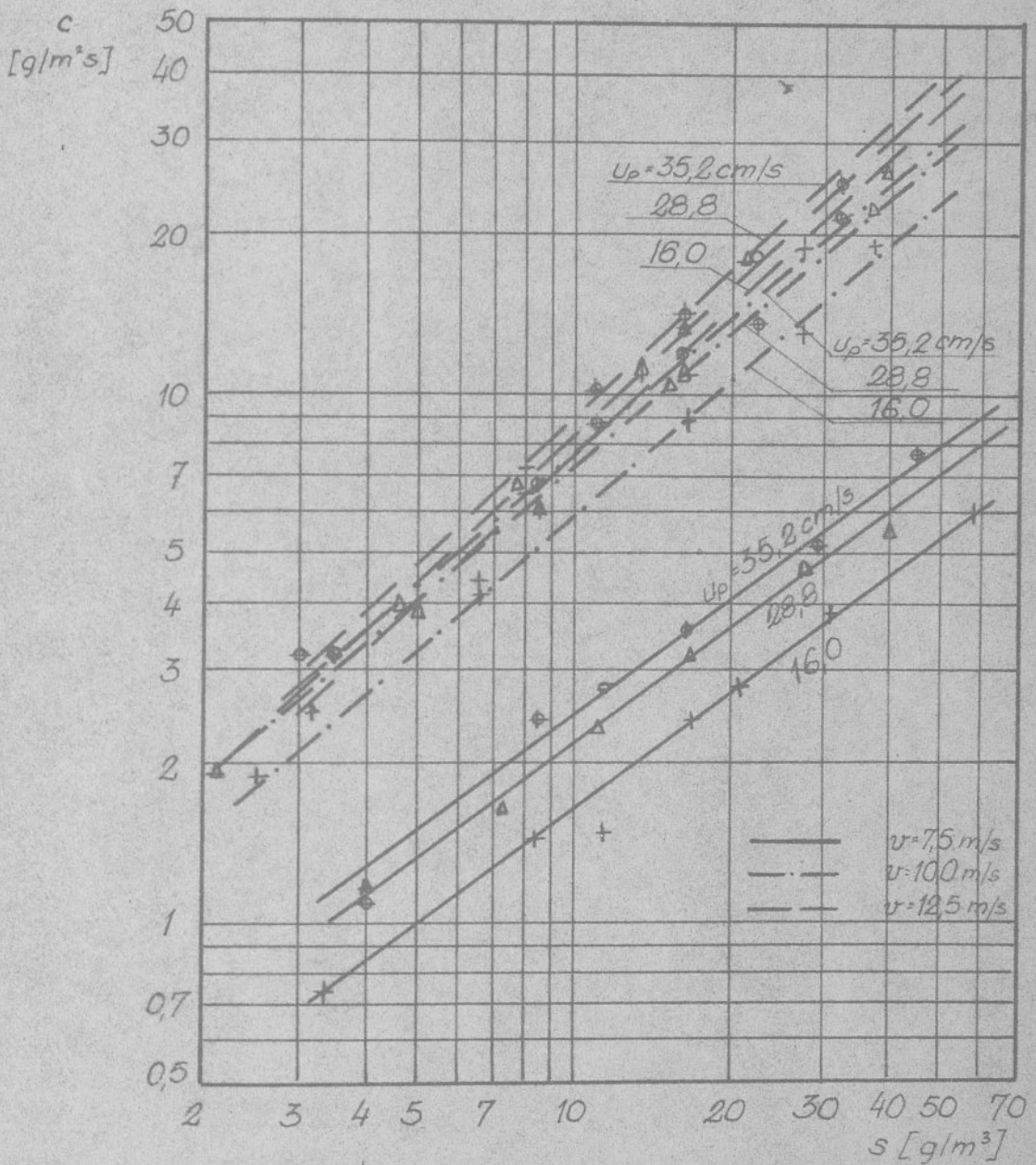
/48/

Dla sprawdzenia słuszności tego założenia, wyniki badań przedstawiono w logarytmicznym układzie współrzędnych /rys. 49/.

Z przebiegu przedstawionych na tym rysunku zależności wynika, że stała D' zależna jest zarówno od wielkości ziarn, jak i prędkości ich ruchu /prędkości powietrza zasilającego/, zaś wykładnik potęgowy e' jedynie od prędkości powietrza zasilającego.

5.4. Zależność między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z wodą a wielkością ziarn pyłu i prędkością powietrza zasilającego.

Analizując przebiegi krzywych przedstawionych na rysunkach 39, 40 i 41 stwierdzono, że zarówno skuteczność jak i szybkość



Rys. 49. Wykresy zależności szybkości wiązania pyłu świerkowego z wodą od stężenia tego pyłu w powietrzu zasilającym.

wiązania pyłu z cieczą rosną wraz z wzrostem wielkości ziarn /pyłu jednorodnego/. Wzrost prędkości powietrza zasilającego w granicach 7,5 - 13 m/s, powoduje również ciągły wzrost wartości obu tych parametrów. Przy prędkościach większych od ok. 13 m/s wzrasta dalej skuteczność, natomiast szybkość wiązania stopniowo maleje.

Matematyczne ujęcie wpływu wielkości ziarn i prędkości powietrza zasilającego wydaje się być prostsze, jeśli jako zmienną zależną przyjąć skuteczność wiązania pyłu z cieczą.

Porównując kształty rodziny krzywych przedstawionych na rys. 40 i 41 z wykresami typowych funkcji, założono następujące charakterystyki zależności

$$\eta_w = 1 - e^{-F/v \cdot u_p^{g'}} \quad /49/$$

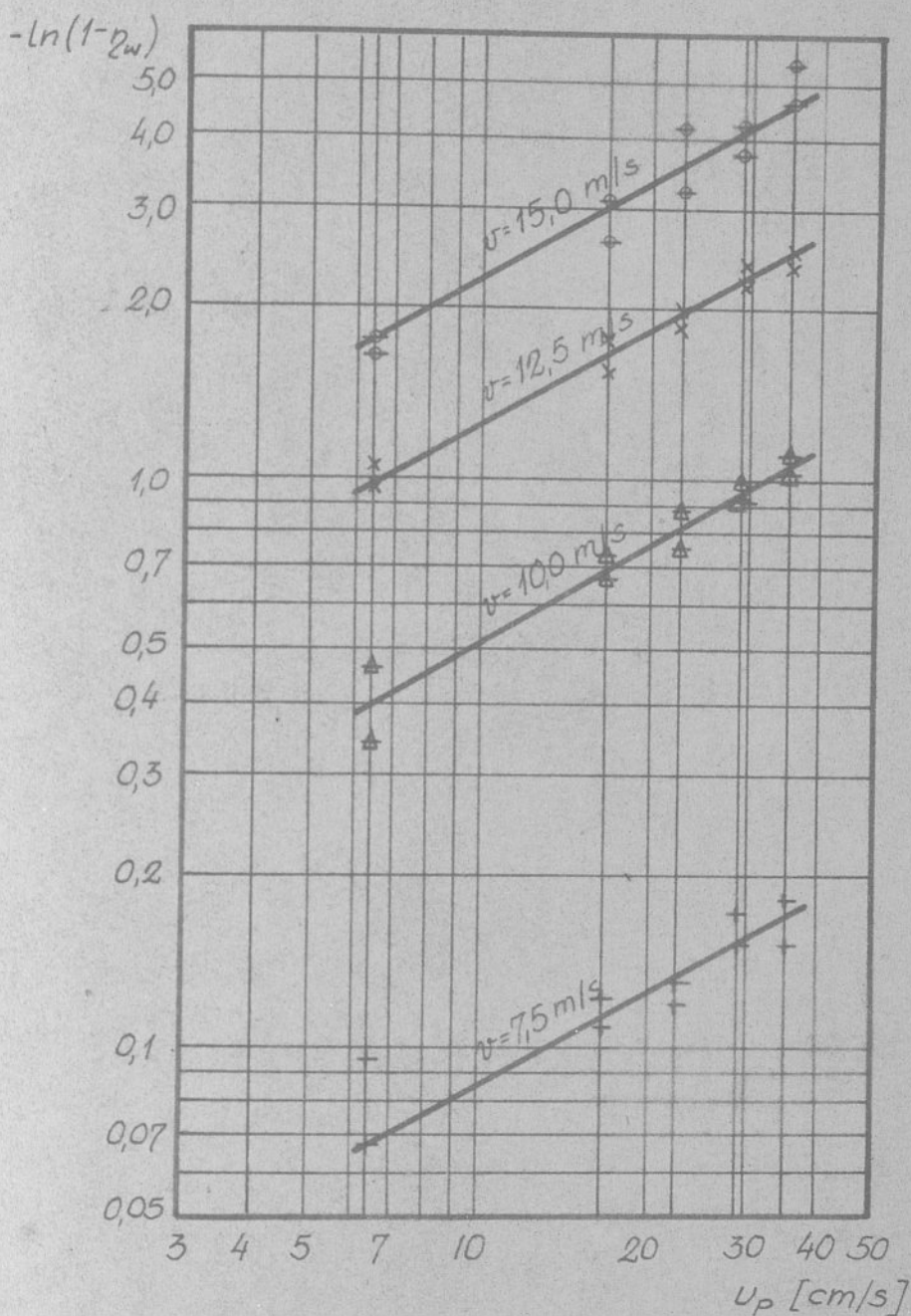
oraz

$$\eta_w = 1 - e^{-G/u_p / (v-v_0)^{h'}} \quad /50/$$

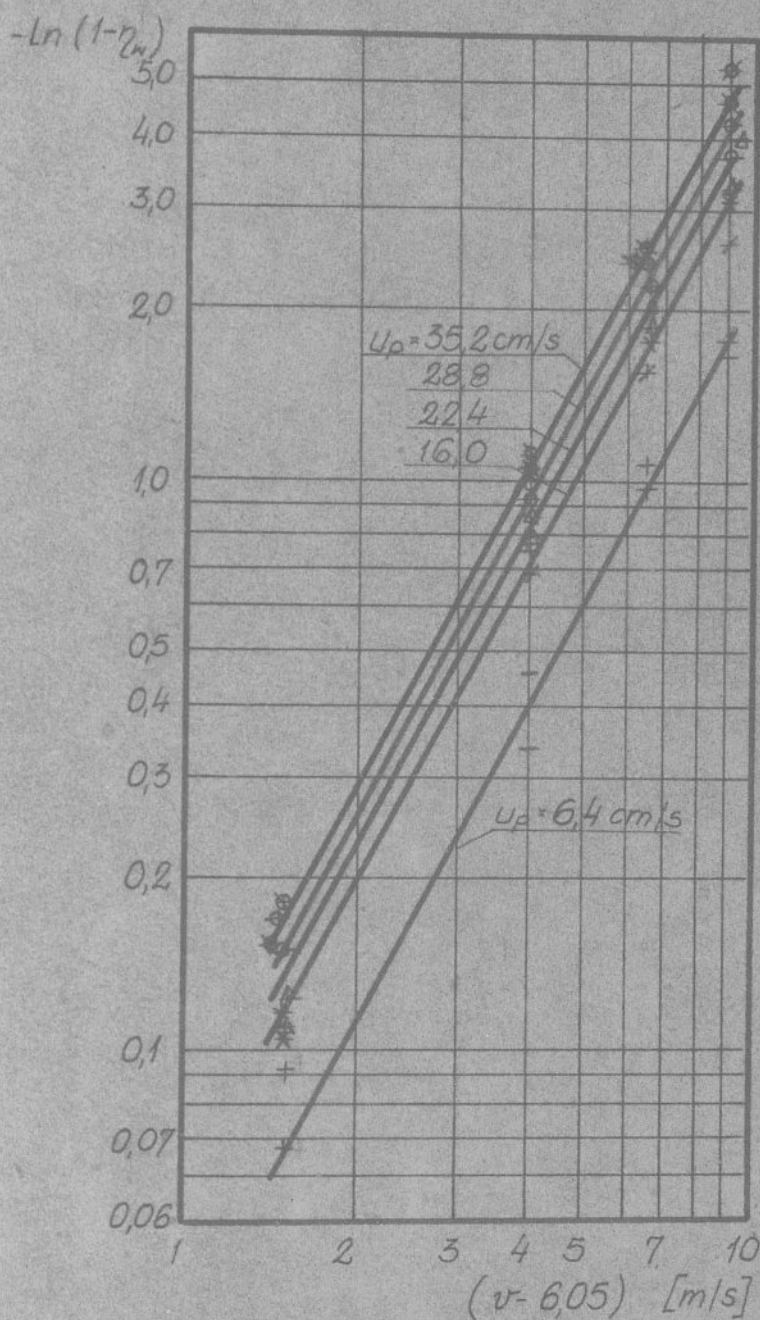
Dla sprawdzenia słuszności założenia, przedstawiono wyniki badań jako zależności $\ln /1 - \eta_w/ = f /u_p/$ oraz $\ln /1 - \eta_w/ = f /v/$ posługując się przy tym logarytmicznym układem współrzędnych /rys. 50 i 51/. Stałą $v_0 = 6,05$ wyznaczono metodą kolejnych przybliżeń. Jest ona wartością charakterystyczną dla aparatu, zależną prawdopodobnie od odległości rur od powierzchni cieczy oraz natężenia przepływu powietrza odciąganego.

Ogólna postać zależności skuteczności wiązania pyłu jednorodnego z cieczą η_w od wielkości ziarn (reprezentowanej przez ich prędkość opadania u_p) oraz prędkości powietrza zasilającego v jest następująca

$$\eta_w = 1 - e^{-M u_p^{g'} / (v-6,05)^{h'}} \quad /51/$$



Rys. 50. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu ściernego z wodą od wielkości ziarn pyłu reprezentowanej przez ich prędkość opadania.



Rys. 51. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu świerkowego z wodą od prędkości powietrza zasilającego.

W przypadku badanego pyłu świerkowego, wartości współczynników równania /51/ wynoszą

$$M = -0,0116$$

$$g' = 0,558$$

$$h' = 1,830$$

jeżeli u_p /cm/s/ a v /m/s/.

Zależność między szybkością wiązania pyłu z cieczą a wielkością ziarn i prędkością powietrza zasilającego określana w oparciu o wzory /46/ /47/ i /51/ ma postać

$$\ln /1 - \frac{c}{K}/ = M u_p g' /v - 6,05/h' \quad /52/$$

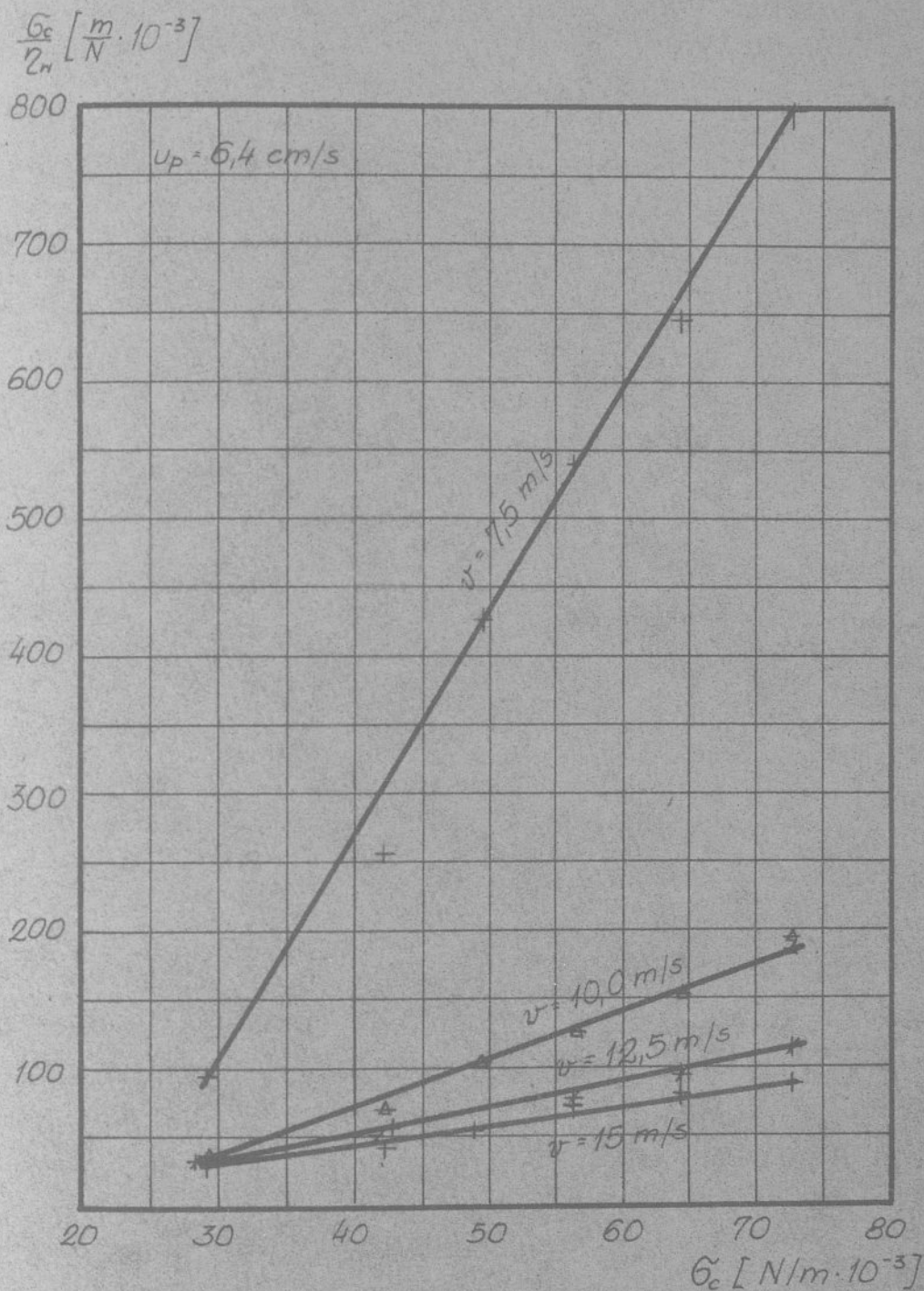
5.5. Zależność między skutecznością i szybkością wiązania pyłu z cieczą a napięciem powierzchniowym cieczy.

Badania nad wpływem napięcia powierzchniowego cieczy na skuteczność i szybkość wiązania pyłu świerkowego z cieczą, których wyniki przedstawiono na rys. 43-48 wykazały, że wartości obu zmiennych zależnych rosną wraz ze zmniejszaniem się wartości napięcia powierzchniowego cieczy wiążącej pył. Krzywe przedstawione na rys. 43-48 mają przebiegi podobne do wykresów funkcji $y = \frac{x}{a+bx}$, która jest linią prostą w układzie współrzędnych $/x; Y = x/y/$.

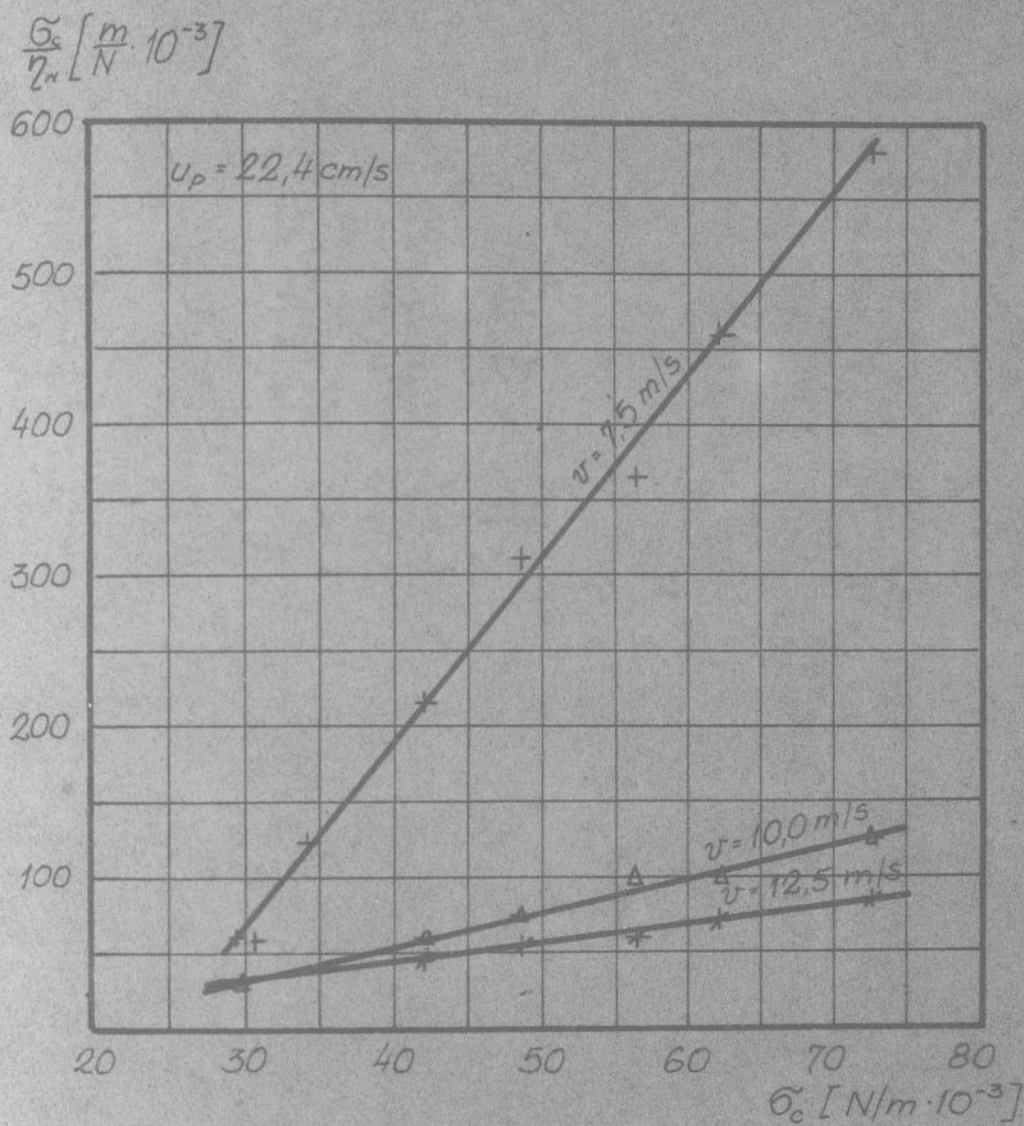
Na rys. 52, 53 i 54 przedstawiono wykresy zależności skuteczności wiązania $/\eta_w/$ od napięcia powierzchniowego cieczy $/\zeta_c/$ w układzie współrzędnych $/\zeta_c; \frac{\zeta_c}{\eta_w}/$, zaś na rys. 55, 56 i 57, odpowiadające im wykresy zależności $c = f / \zeta_c /$

Ogólne postacie równań opisujących te zależności są następujące

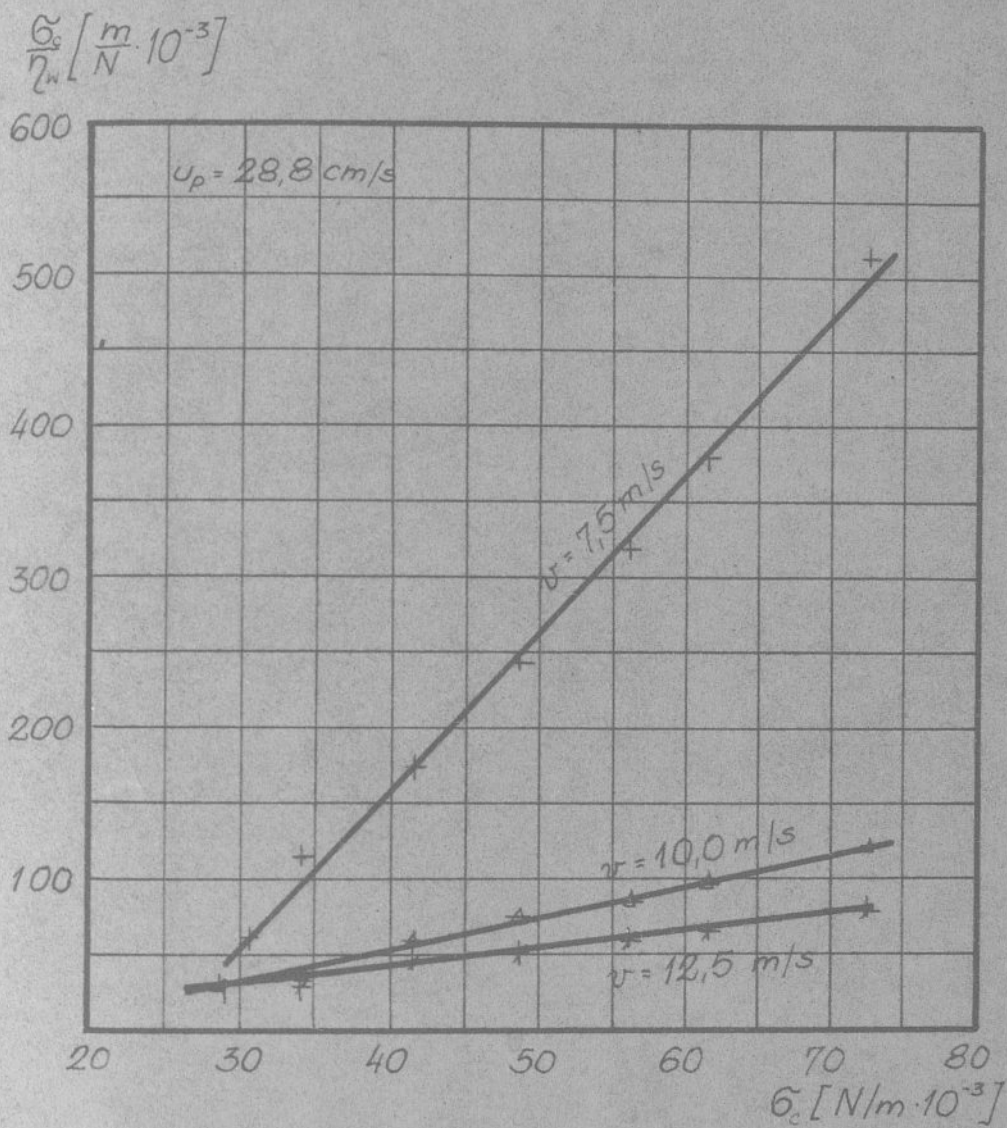
$$\eta_w = \frac{\zeta_c}{N' + P \zeta_c} \quad /53/$$



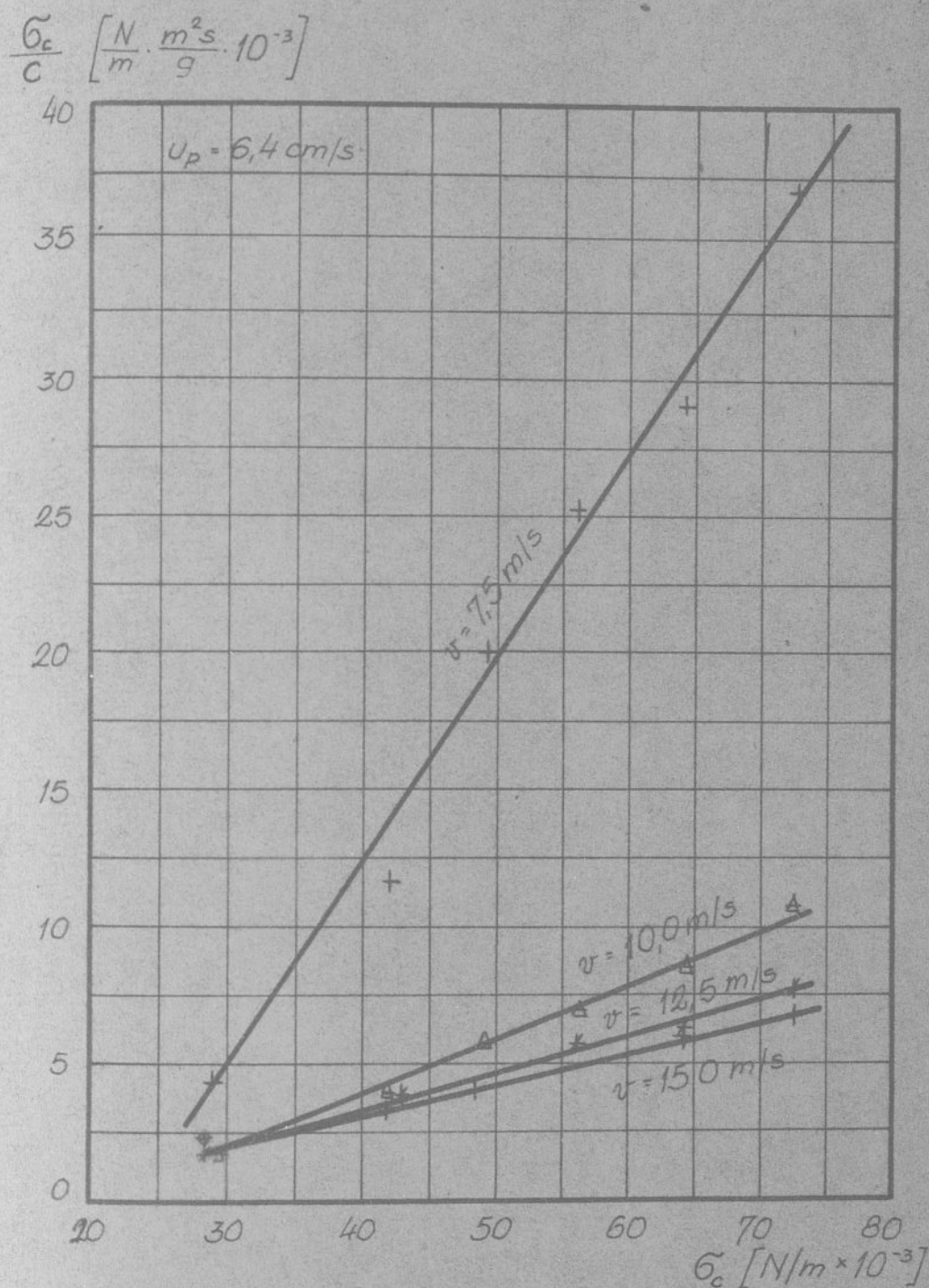
Rys. 52. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego $u_p = 6,4 \text{ cm/s}$ od napięcia powierzchniowego cieczy.



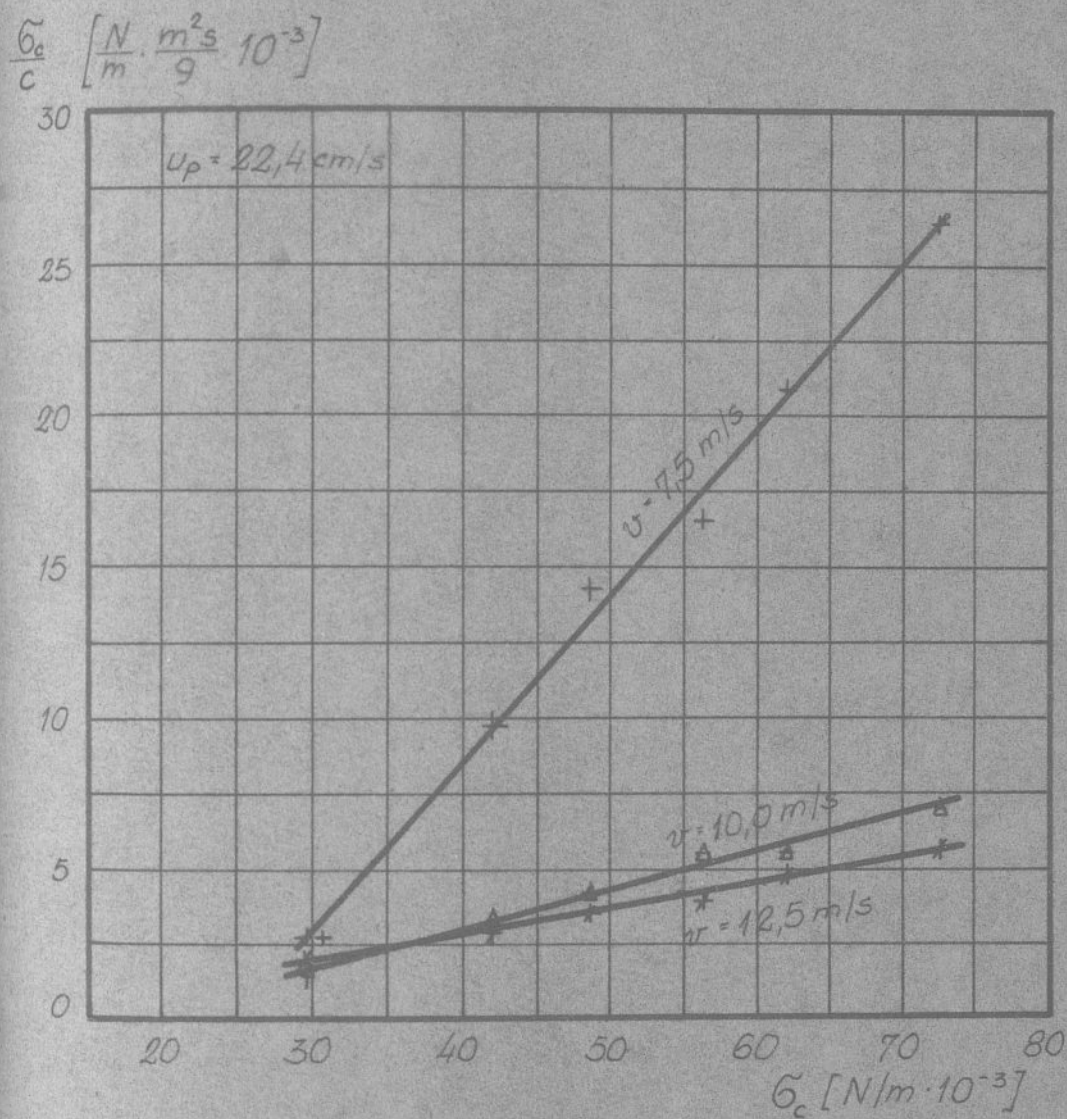
Rys. 53. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego $/u_p = 22,4 \text{ m/s}/$ od napięcia powierzchniowego cieczy.



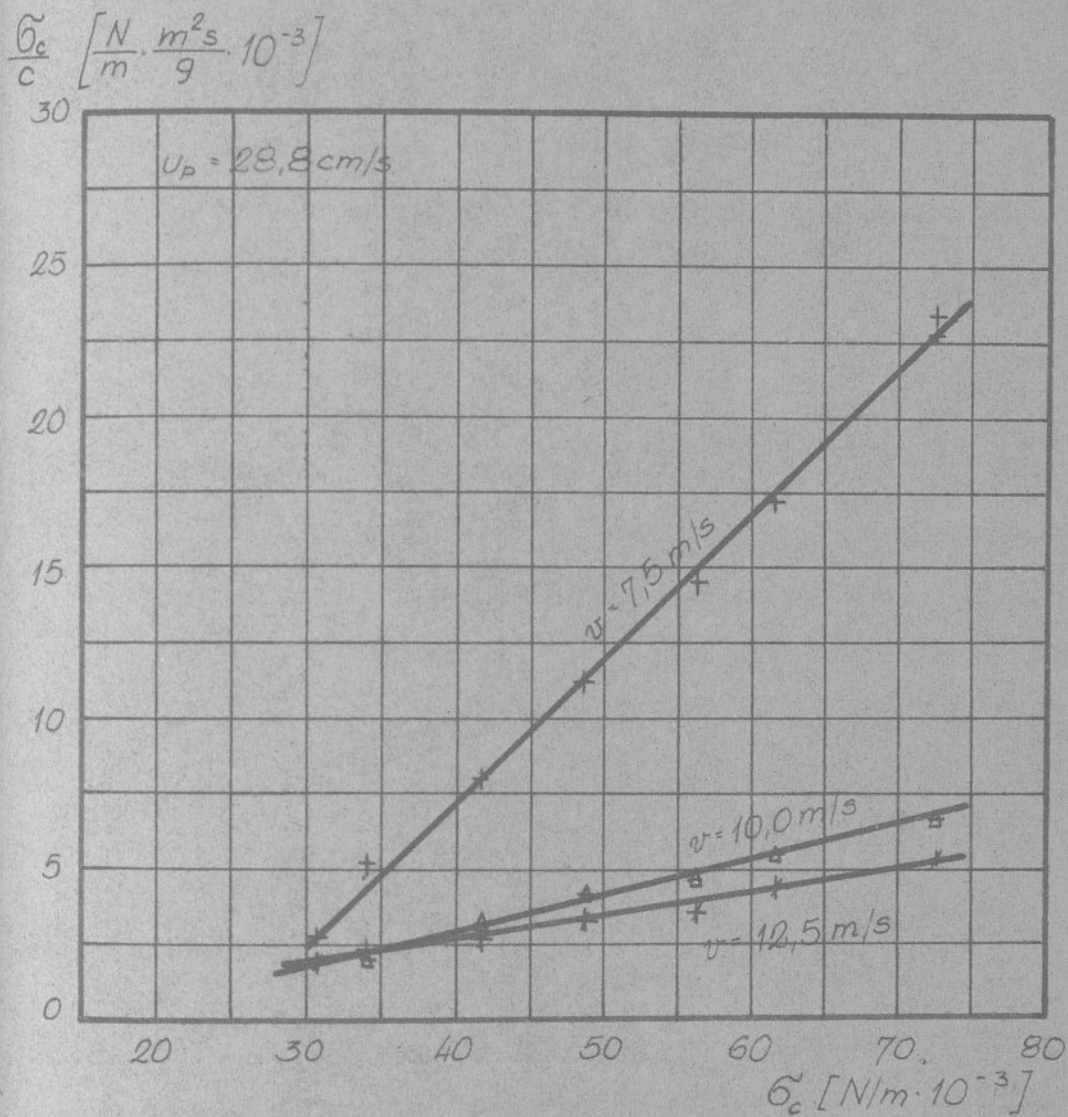
Rys. 54. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą pyłu świerkowego / $u_p = 28,8 \text{ cm/s}$ / od napięcia powierzchniowego cieczy.



Rys. 55. Wykresy zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego / $u_p = 6,4 \text{ cm/s}$ / od napięcia powierzchniowego cieczy.



Rys. 56. Wykresy zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świerkowego $/u_p = 22,4 \text{ cm/s/}$ od napięcia powierzchniowego cieczy.



Rys. 57. Wykresy zależności szybkości wiązania z cieczą pyłu świetrkowego $u_p = 28,8 \text{ cm/s}$ od napięcia powierzchniowego cieczy.

$$c = \frac{G_c}{N'' + P'G_c} \quad /54/$$

Z analizy wykresów przedstawionych na rys. 46-48 oraz 52-54 nasuwa się wniosek, że stała N' zależy niemal wyłącznie od napięcia powierzchniowego.

Zakładając, że skuteczność wiązania dąży do 1, jeżeli napięcie powierzchniowe maleje do pewnej minimalnej wartości granicznej G_{gr} równanie /53/ można zapisać w postaci

$$\eta_w = \frac{G_c}{G_{gr} + PG_c} \quad /55/$$

Przyjęte założenia potwierdzają wyniki badań zależności $\eta_w = f / G_c /$ dla wszystkich 3 granulacji pyłu przy prędkościach powietrza zasilającego większych od 10,0 m/s.

Występująca w równaniu /55/ wielkość G_{gr} określająca minimalne napięcie powierzchniowe roztworów danego środka powierzchniowo czynnego w przypadku badanych wodnych roztworów Alfenolu 3 miała wartość $G_{gr} = 29,1 \text{ N/m} \cdot 10^{-3}$ i była niezależna od stężenia Alfenolu w wodzie /rys. 42/.

Wartość stałej P zależy zarówno od wielkości ziarn jak i prędkości powietrza zasilającego. Dla roztworów wodnych stałą P można obliczyć ze wzoru

$$P = \frac{\frac{72,75 \cdot 10^{-3}}{\eta'_w} - G_{gr}}{72,75 \cdot 10^{-3} - G_{gr}} \quad /56/$$

gdzie:

η'_w - skuteczność wiązania danej granulacji pyłu z wodą destylowaną o temp. 293°K zmierzona lub wyliczona z zależności /51/.

Zależność szybkości wiązania pyłu z cieczą od napięcia powierzchniowego opisuje równanie

$$\frac{c}{K} = \frac{\zeta_c}{\zeta_{gr} + P\zeta_c} \quad /57/$$

gdzie: K - współczynnik określony wzorem /47/.

5.6. Określenie parametrów oraz stałych charakterystycznych dla oceny zdolności wiązania się pyłu z cieczą.

Wyniki badań nad wiązaniem z cieczą pyłu ściernego dające pogląd na ogólne zależności między poszczególnymi parametrami pozwalają jednocześnie dokonać wyboru sposobów oceny zwilżalności pyłu w warunkach dynamicznych /zdolności wiązania się pyłu z cieczą/.

Istnieją dwa sposoby oceny zwilżalności, umożliwiające wykorzystanie wyników badań prowadzonych proponowaną metodą:

- a/ polegający na określaniu przedziałowych szybkości /bądź skuteczności/ wiązania z cieczą pyłu przy prowadzeniu badań w przyjętych ustalonych warunkach,
- b/ polegający na wyznaczaniu stałych charakteryzujących wpływ rodzaju pyłu na szybkość /skuteczność/ wiązania pyłu z cieczą.

Pod określeniem "ustalonych warunków badań" należy rozumieć:

- prędkość wypływu z rury zasilającej oraz
- rodzaj i napięcie powierzchniowe cieczy oddzielającej.

Sposób polegający na wyznaczaniu stałych jest prostszy, choć wydaje się, że będzie on mógł być stosowany w odniesie-

niu do pyłów jednorodnych materiałowo.

Ponieważ stężenie pyłu w transportującym go gazie jest parametrem niezależnym od metody odpylania, a jedynie charakteryzującym ten gaz, zaś wpływ napięcia powierzchniowego na szybkość i skuteczność wiązania zależy m. innymi od skuteczności wiązania pyłu z wodą, autor proponuje, aby jako stałe charakteryzujące zdolność wiązania pyłu z cieczą przyjąć występujące we wzorach /51/ i /52/

- współczynnik M oraz
- wykładniki potęgowe g' i h' .

Stałe te określają zarówno prawdopodobieństwo zderzeń jak i szybkość wiązania poszczególnych grup ziarnowych z wodą.

Dla porównawczej oceny przedziałowych szybkości /skuteczności/ wiązania pyłu z cieczą proponuje się przyjęcie następujących ustalonych warunków badań:

- prędkości wypływu zapyłonego gazu z rury zasilającej
 $v = 10,0 \text{ m/s}$ oraz
- stosowanie wody /o napięciu powierzchniowym $72,75 \text{ N/m}$, 10^{-3} / jako cieczy oddzielającej.

W dalszych badaniach skoncentrowano się na wyznaczeniu stałych M , g' , h' oraz określeniu skuteczności i szybkości wiązania pyłu z wodą w podanych wyżej ustalonych /standardowych/ warunkach badań.

6. Badania nad wiązaniem z wodą wybranych rodzajów pyłów.

Celem badań było sprawdzenie słuszności przyjętych założeń oraz wyprowadzonych równań, a także określenie zwią-

ku między niektórymi fizyko-chemicznymi parametrami charakteryzującymi badane pyły a podatnością tych pyłów na zwilżenie w warunkach dynamicznych.

Badaniami objęto następujące rodzaje pyłów:

a/ pyły powstałe przy obróbce skrawaniem drewna

- sosnowego,
- bukowego,
- orzechowego,
- dębowego,
- świerkowego,

b/ pyły powstałe przy szlifowaniu materiałami ściernymi drewna

- bukowego i
- mahoniowego

c/ pyły węglowe /otrzymane w wyniku zmielenia/

- węgla typu 33 /z kop. Walenty-Wawel/
- węgla typu 37 /z kop.B. Chrobry/
- węgla typu 38 /z kop.B. Chrobry/
- węgla typu 42 /z kop. Viktoria/,

d/ pyły surowców mineralnych

- mączka kwarcowa,
- mączka wapienna,
- pył skalenia /pył wzorcowy Skaleń 4900/,
- mączka ceramiczna,

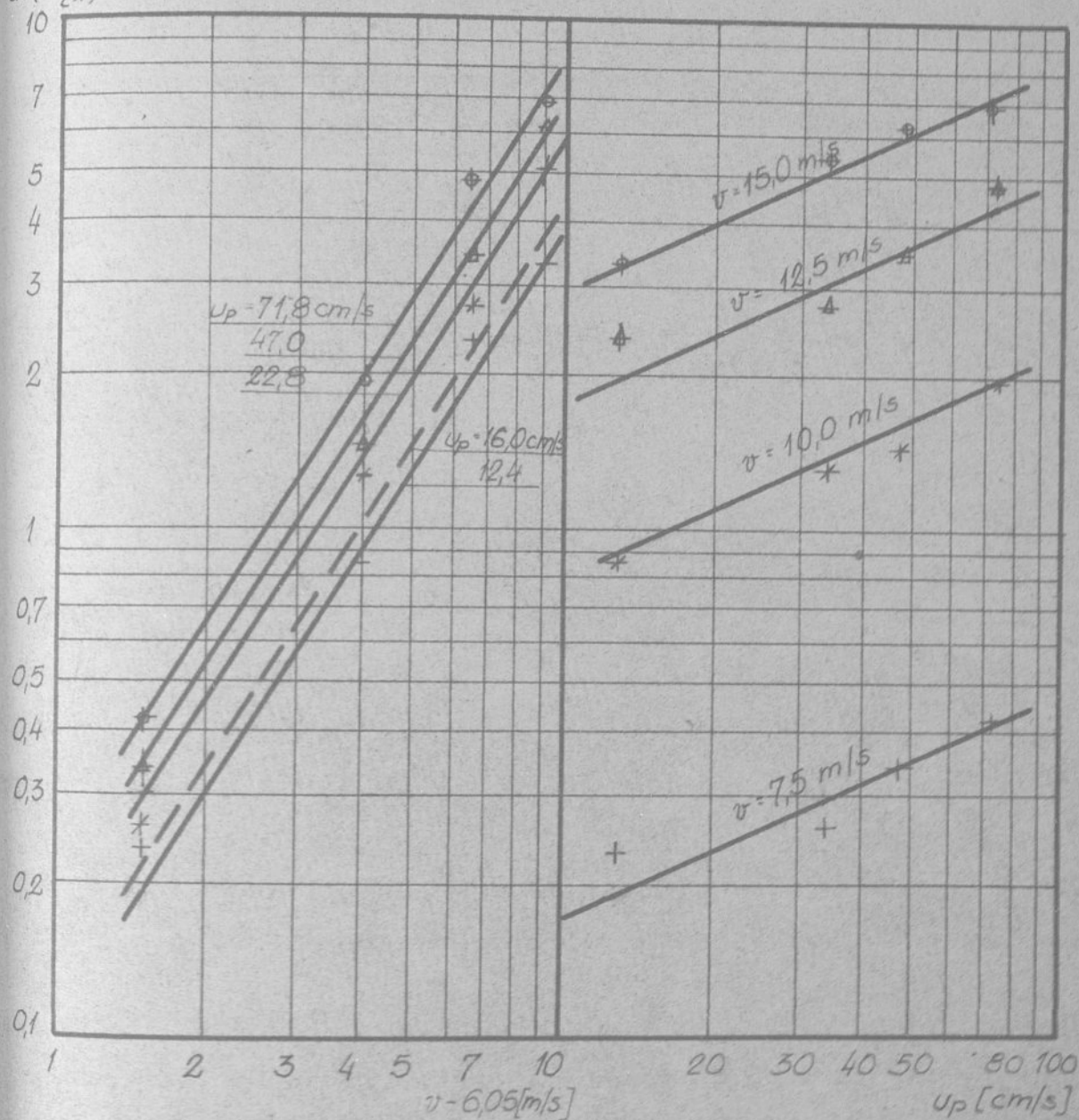
e/ tworzywa sztucznego - żywicy Nowolak /z ZTS Pustków/,

f/ lotnego popiołu węgla brunatnego /z elektrowni Turów/.

Wyniki badań wymienionych pyłów w postaci wykresów zależności $\ln /1 - \eta_w/ = f /u_p, v/$ /zależności skuteczności wiązania pyłu z cieczą od wielkości ziarn i prędkości powietrza zasilają-

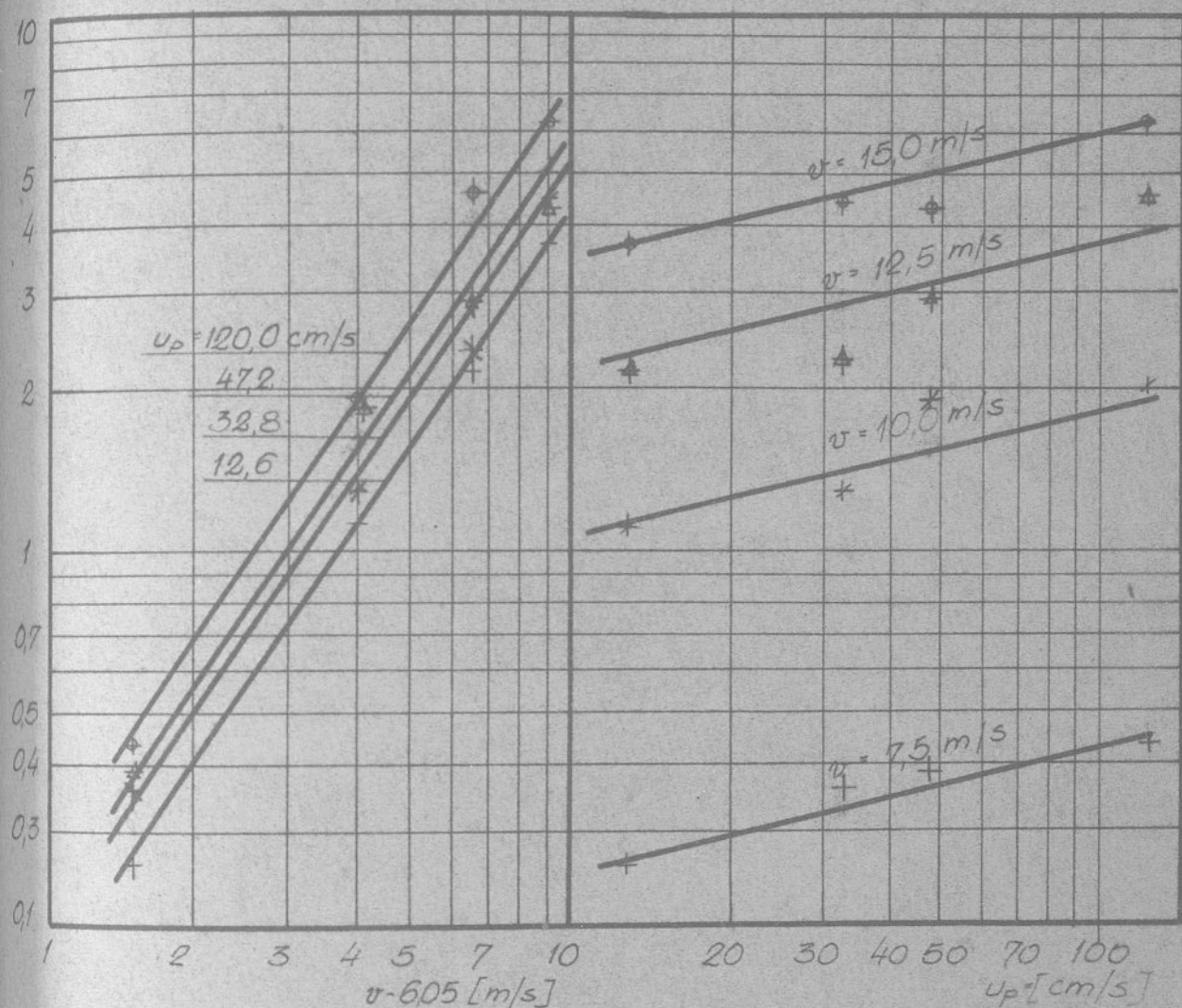
cego/ przedstawiono na rys. 58 - 73.

Wszystkie badania prowadzono przy stałym stężeniu pyłu w powietrzu zasilającym wynoszącym 16 g/m^3 .

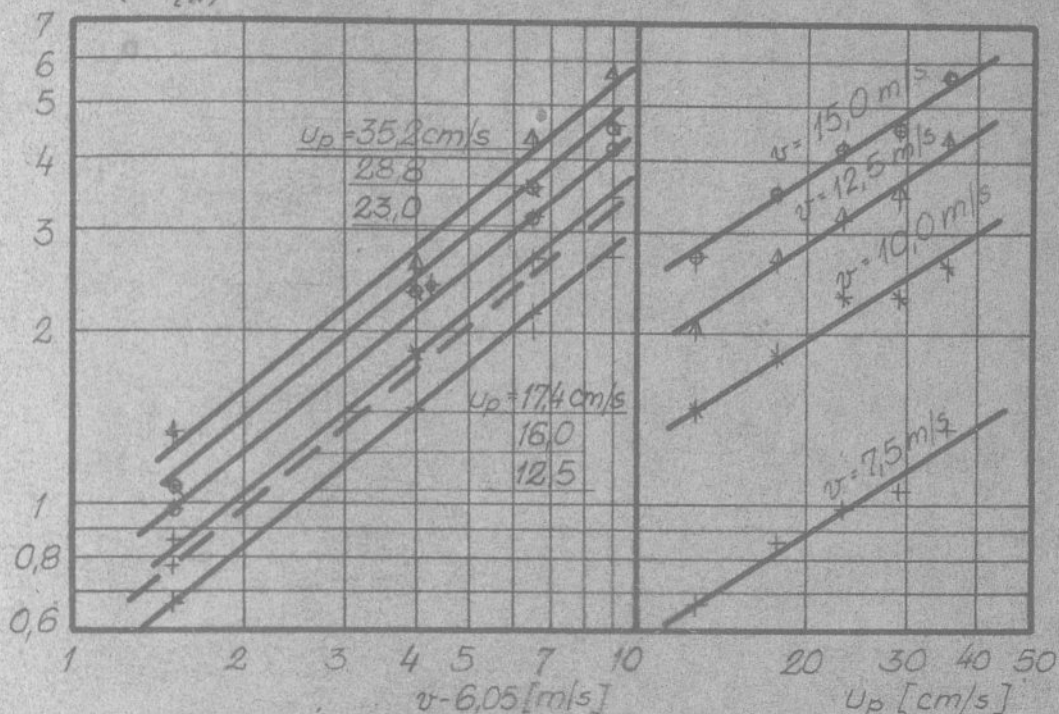


Rys. 58. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu drewna sosnowego od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.

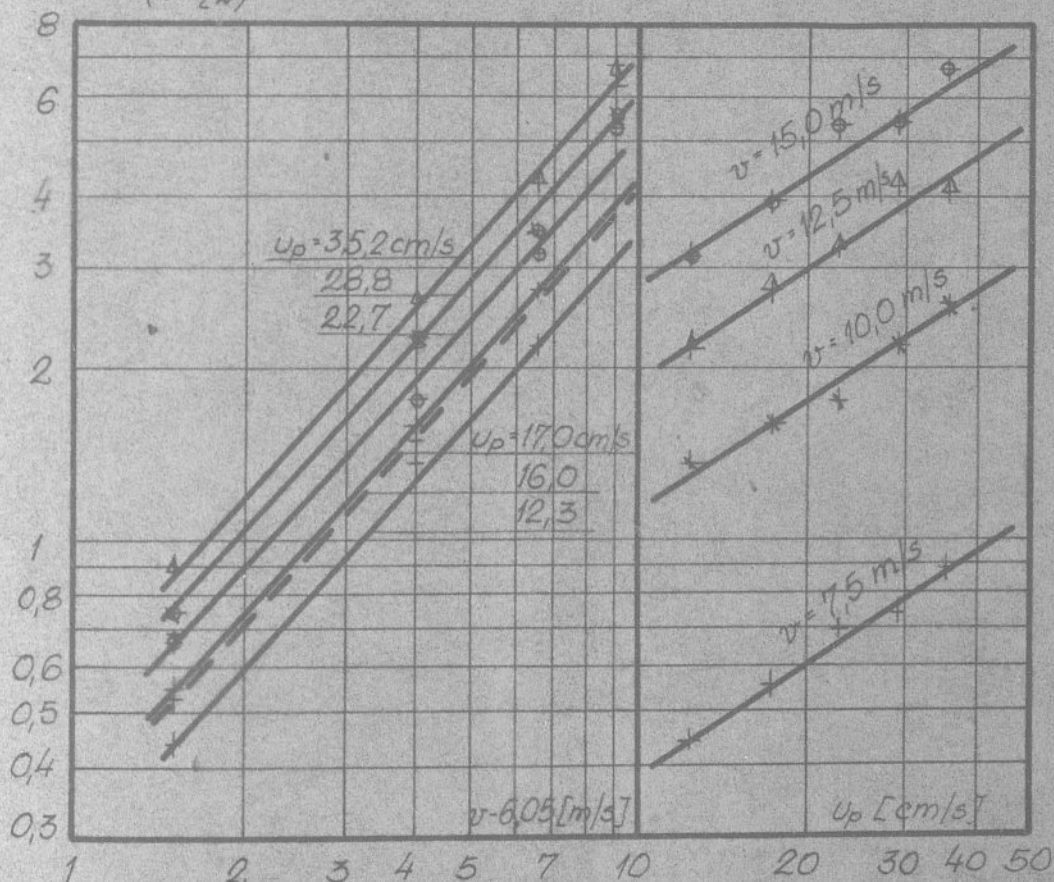
$-\ln(1-\eta_w)$



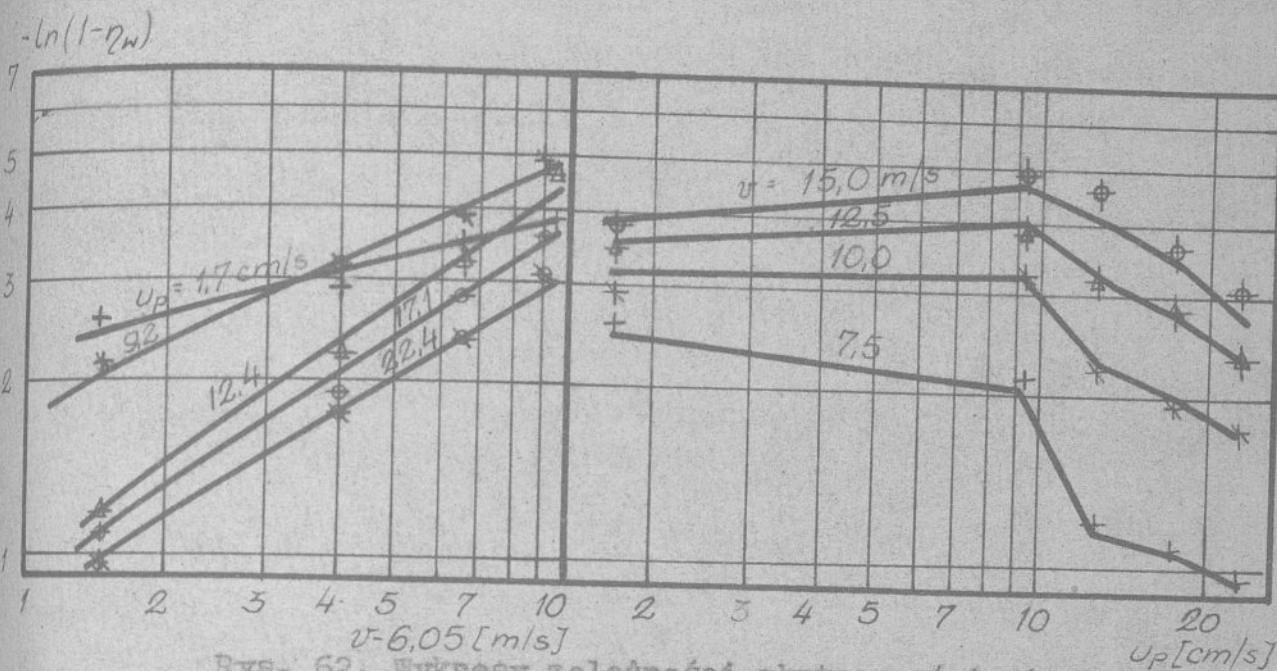
Rys. 59. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu drewna bukowego od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



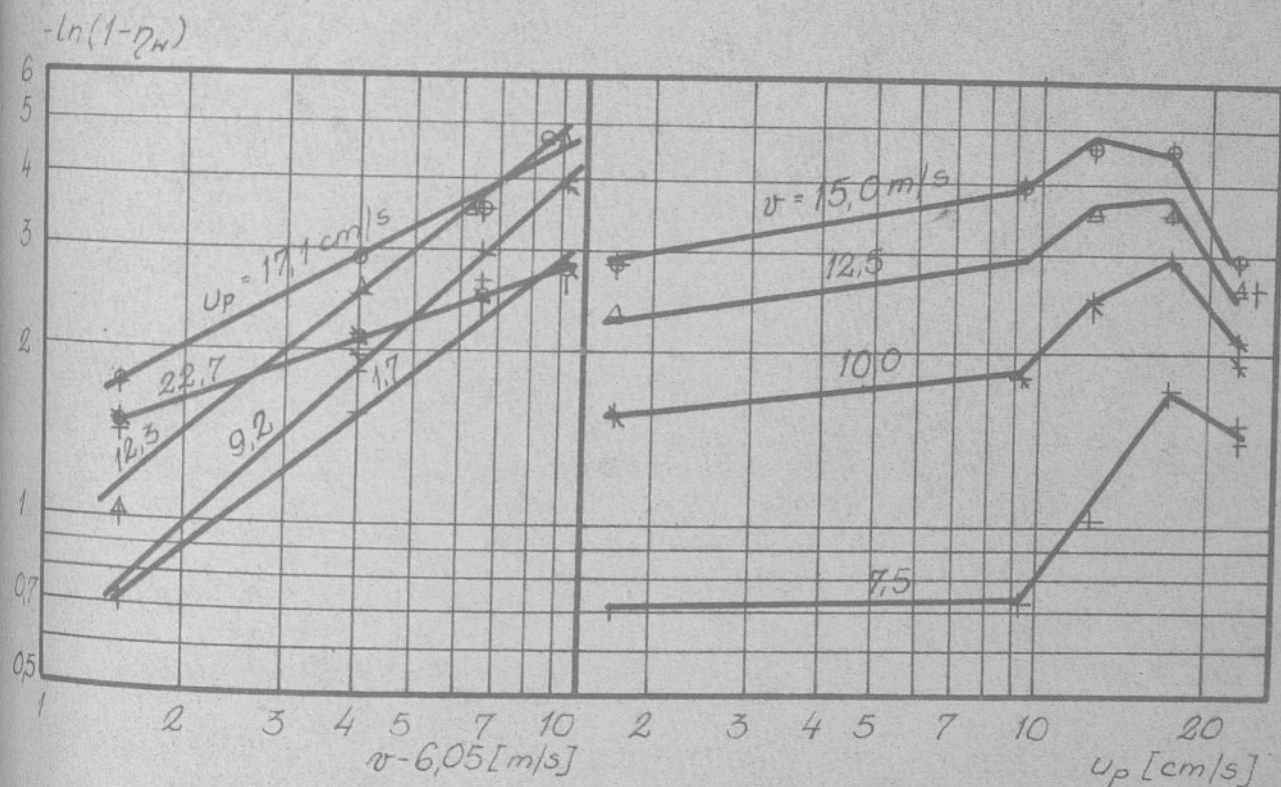
Rys. 60. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu drewna orzechowego od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



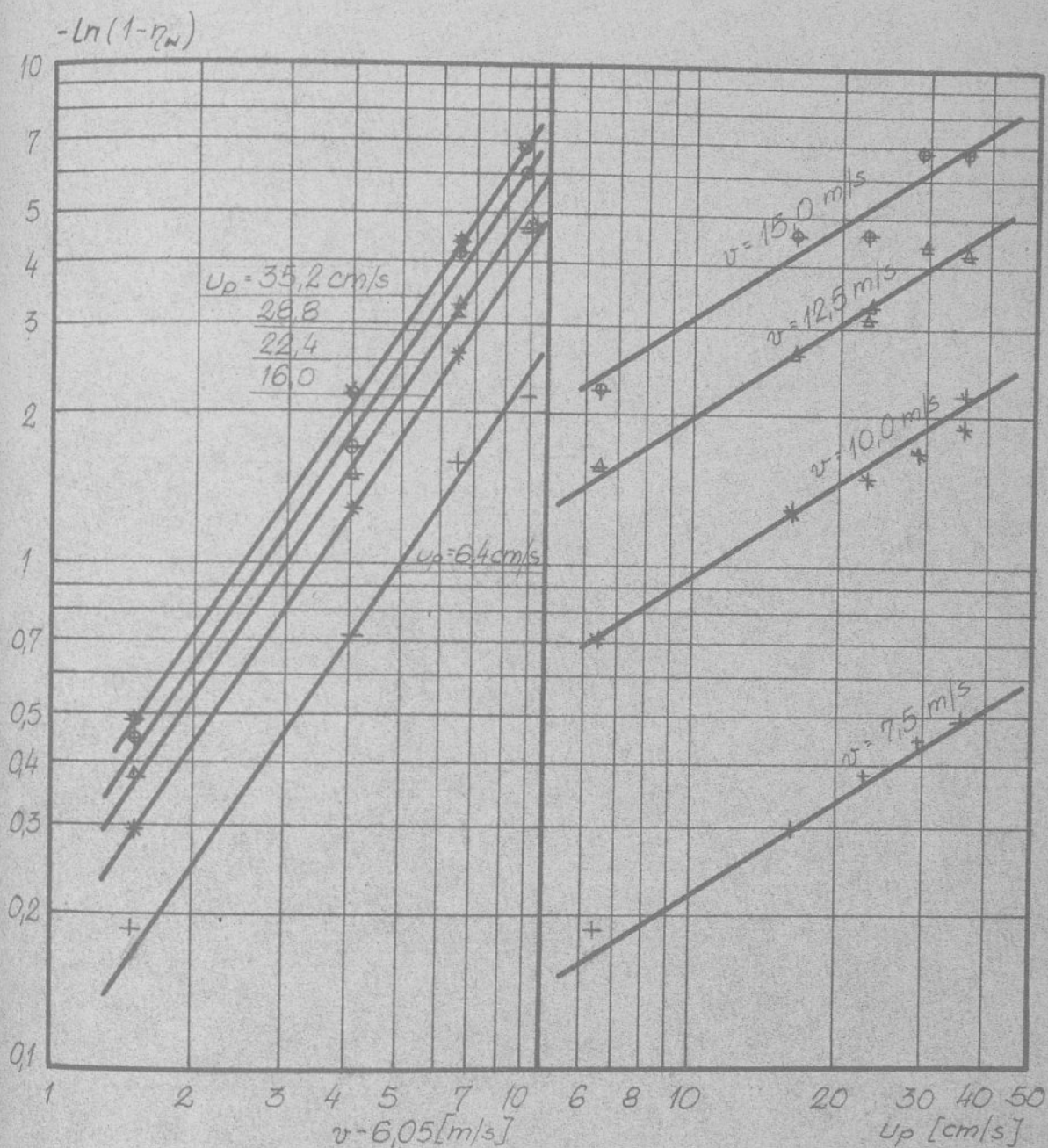
Rys. 61. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu drewna dębowego od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



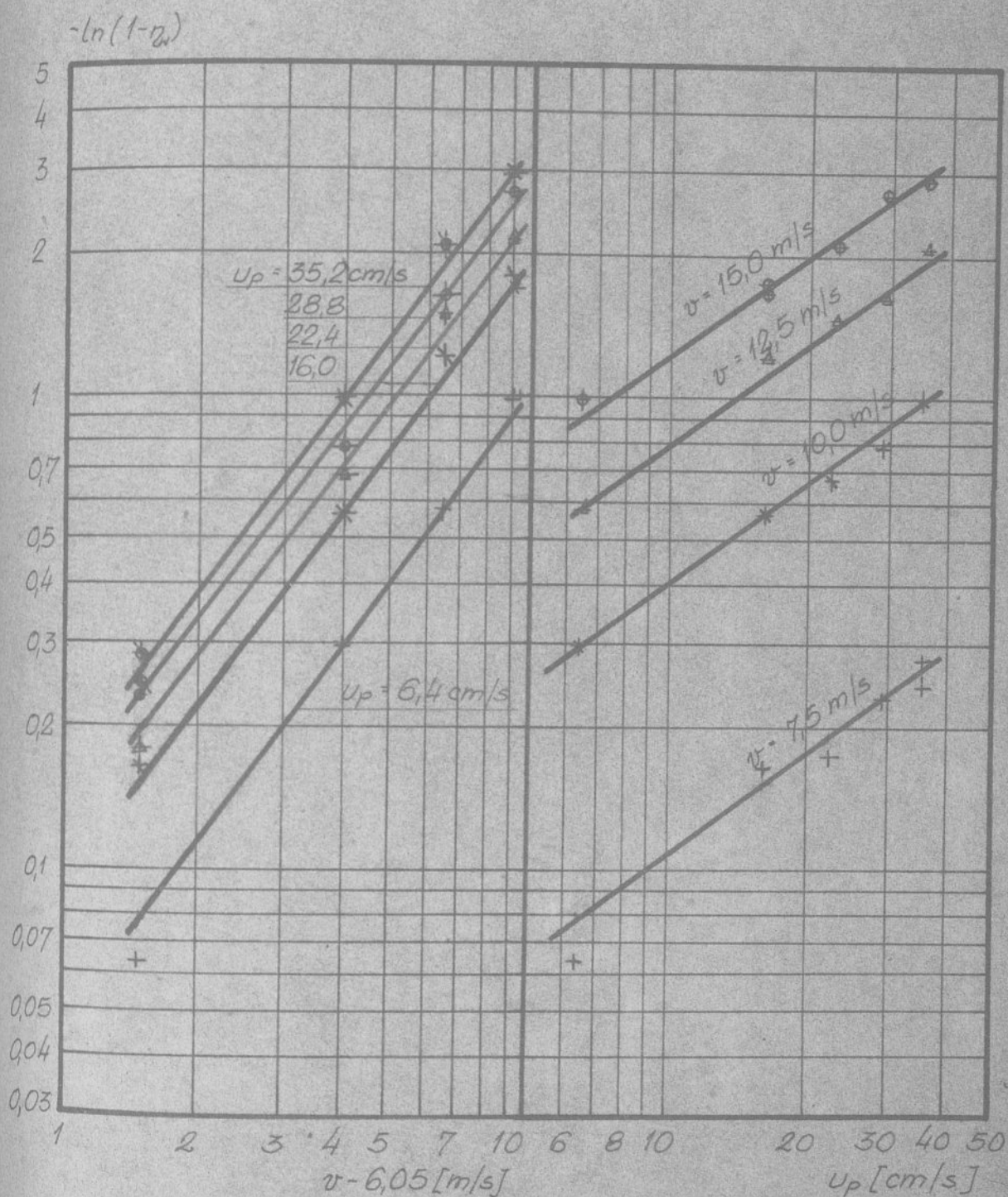
Rys. 62. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu drewna bukowego i materiałów ściernych od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



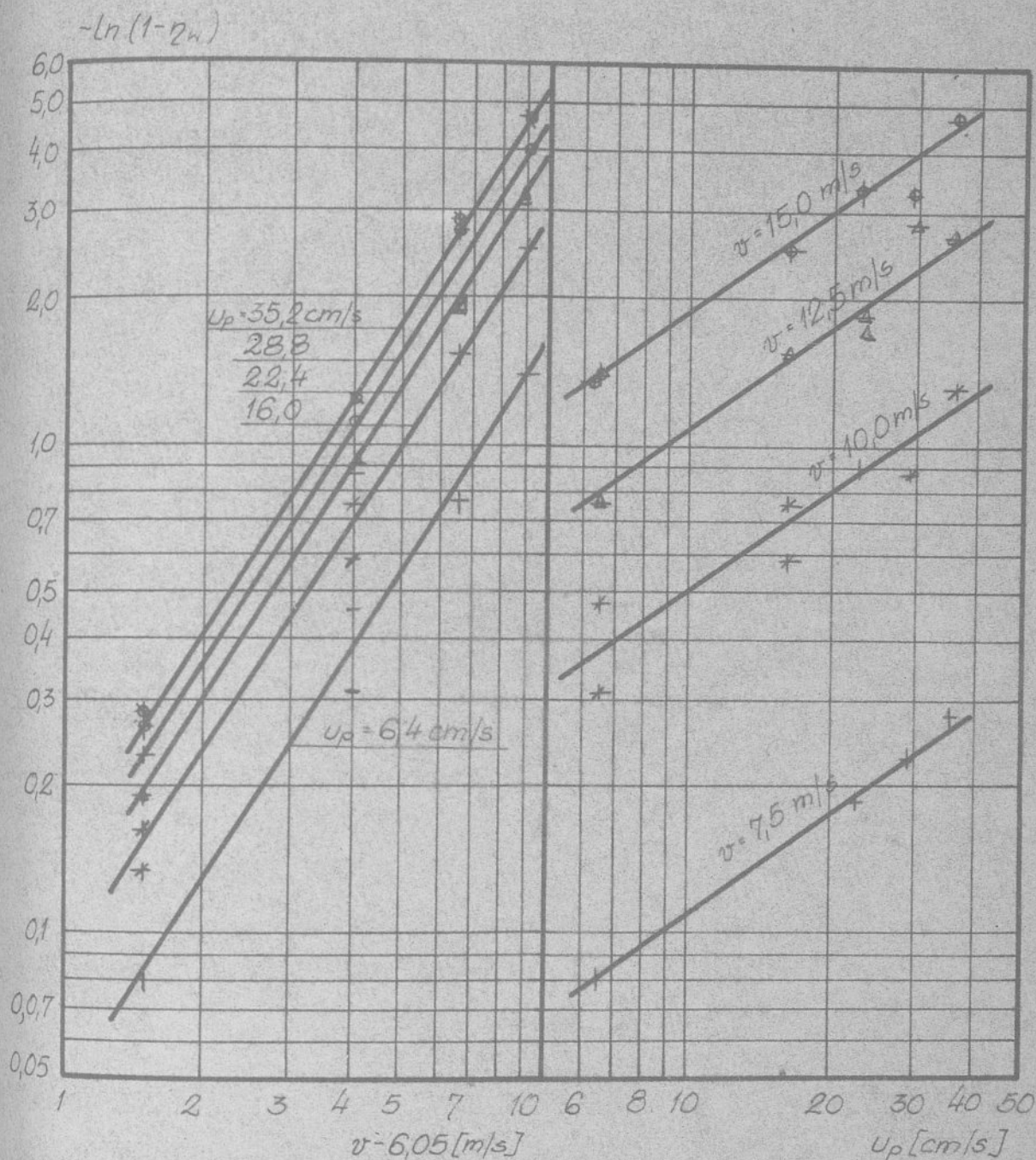
Rys. 63. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu drewna mahoniowego i materiałów ściernych od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



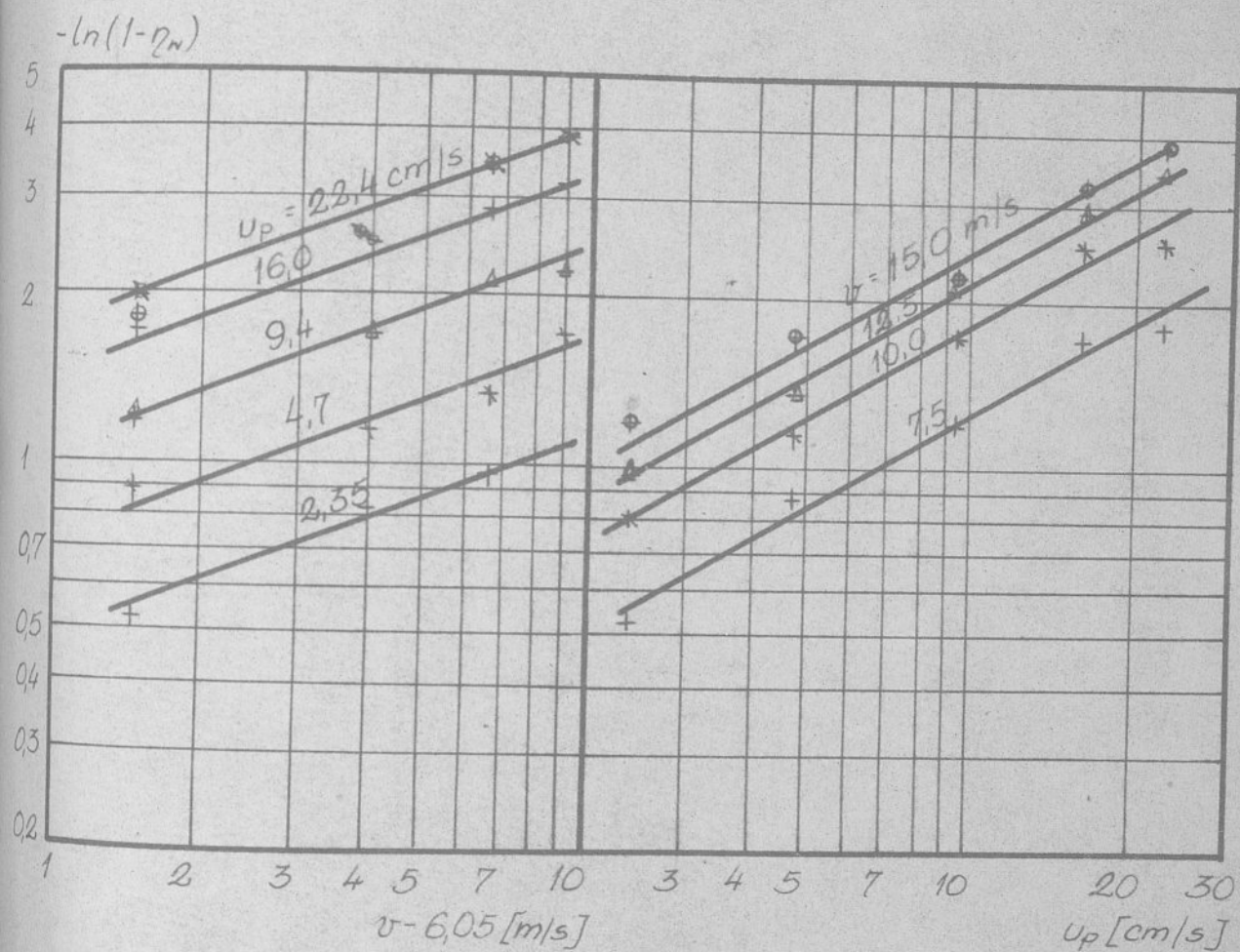
Rys. 64. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu węgla 33 od wielkości ziarna pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



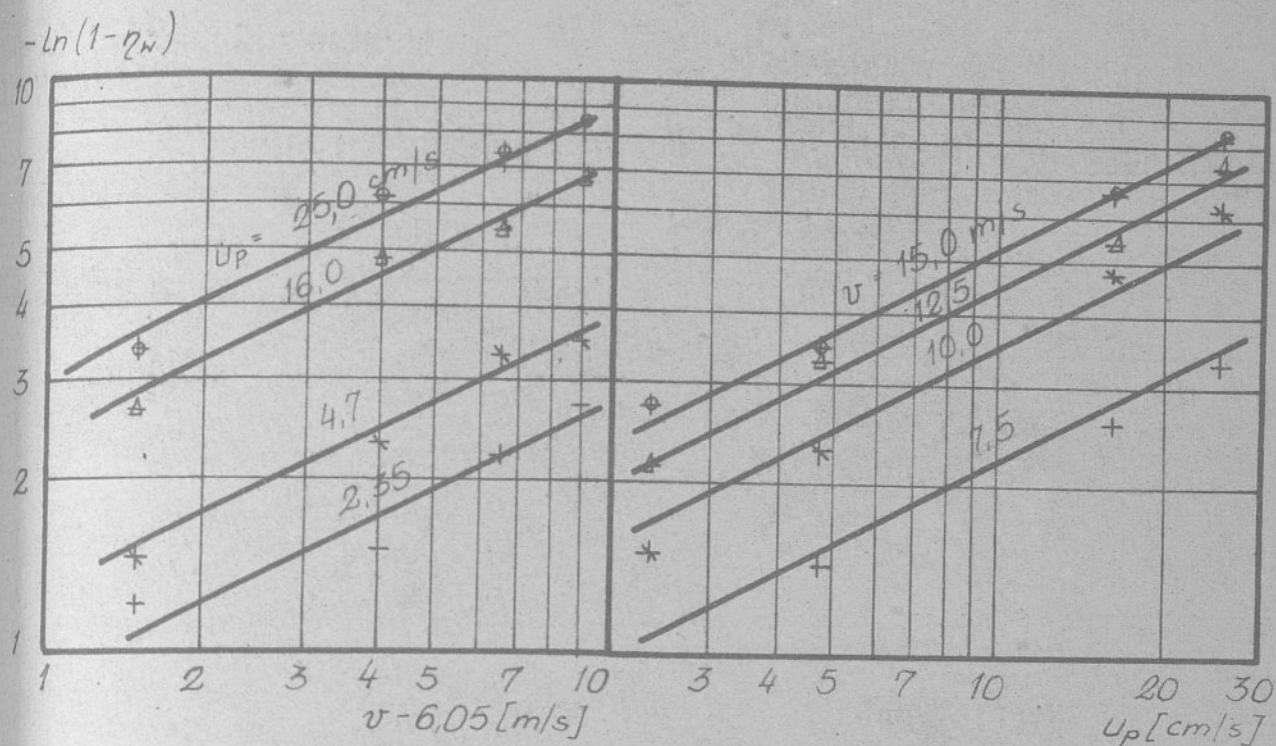
Rys. 65. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu węgla 37 od wielkości ziarna pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



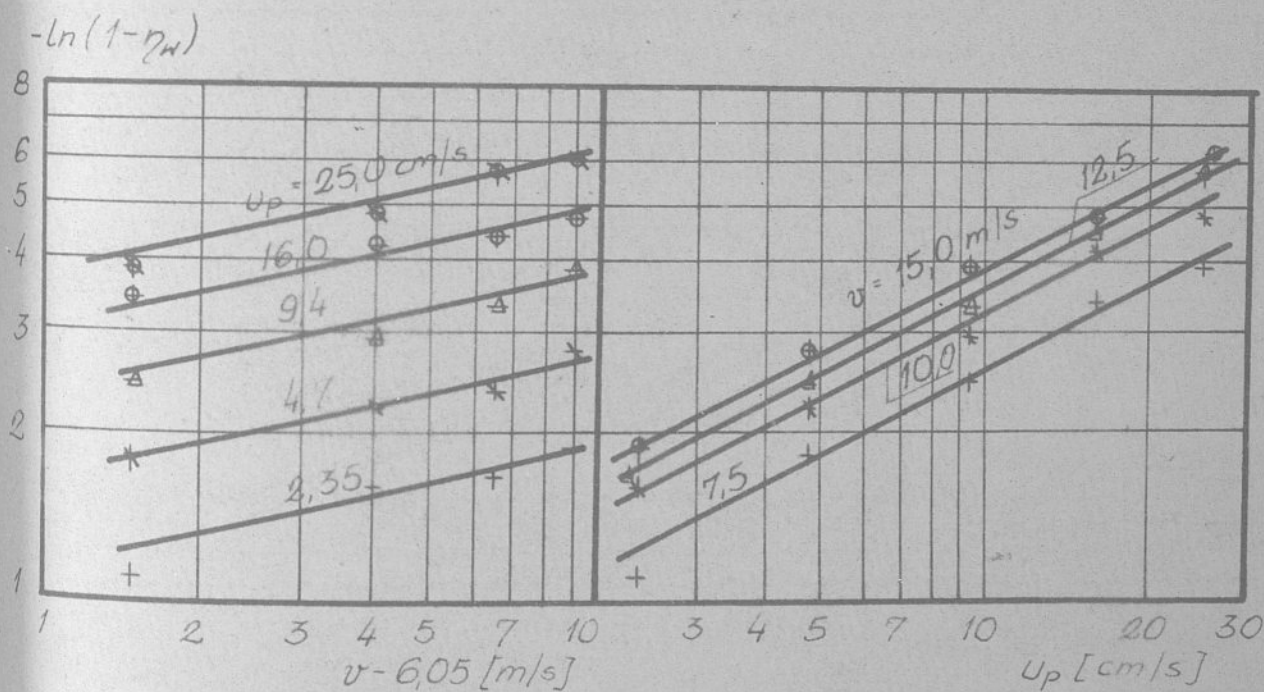
Rys. 66. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu węgla 38 od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



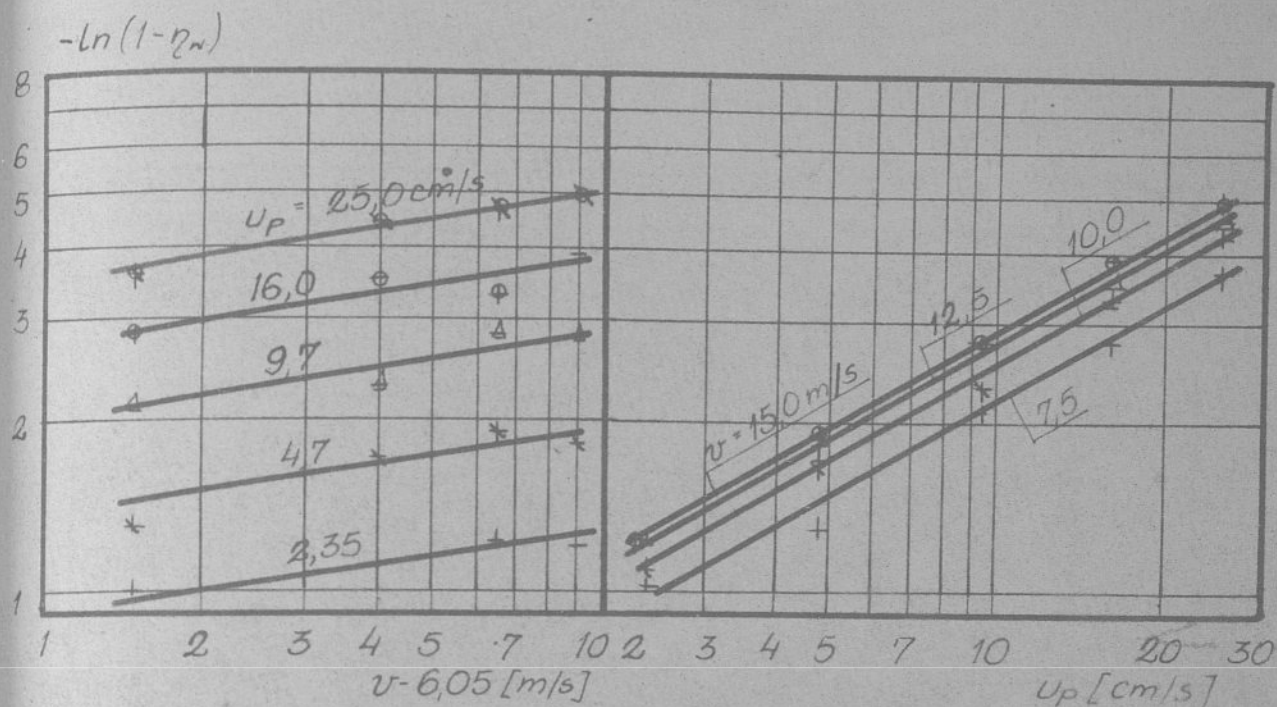
Rys..67. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu węgla 42 od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



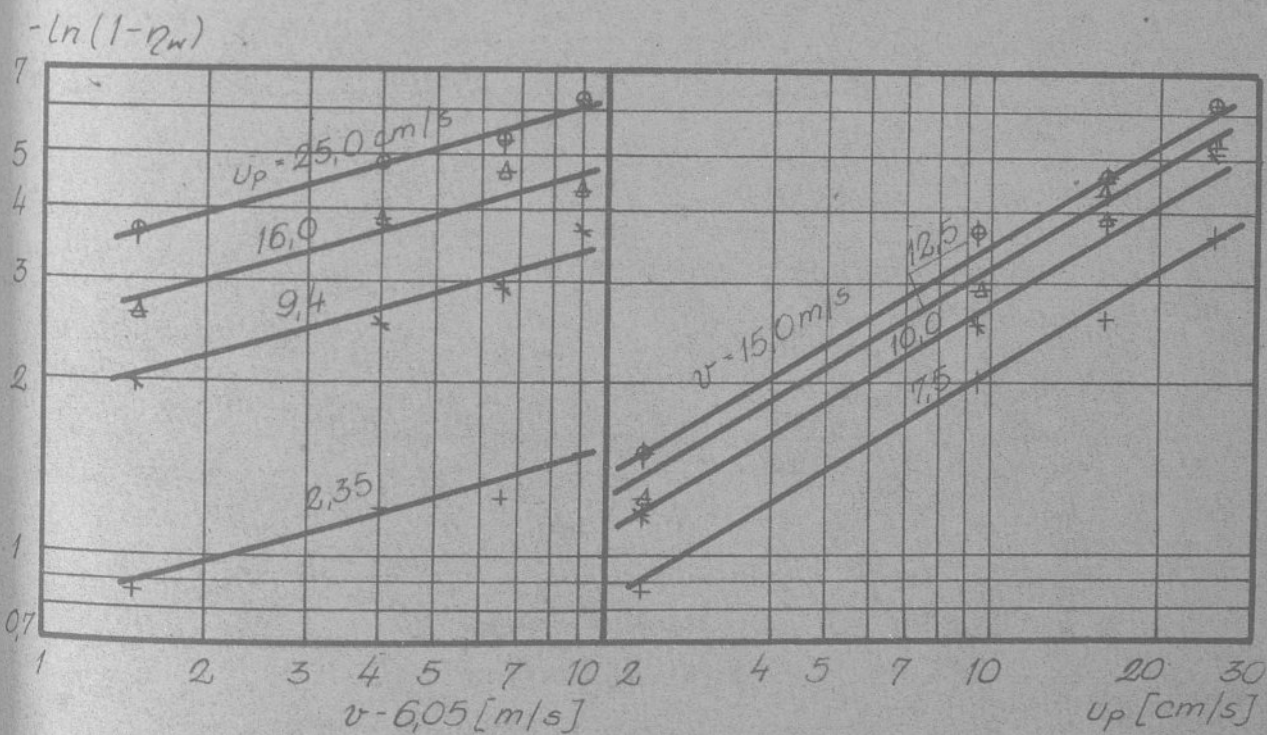
Rys. 68. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu mączki kwarcowej od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



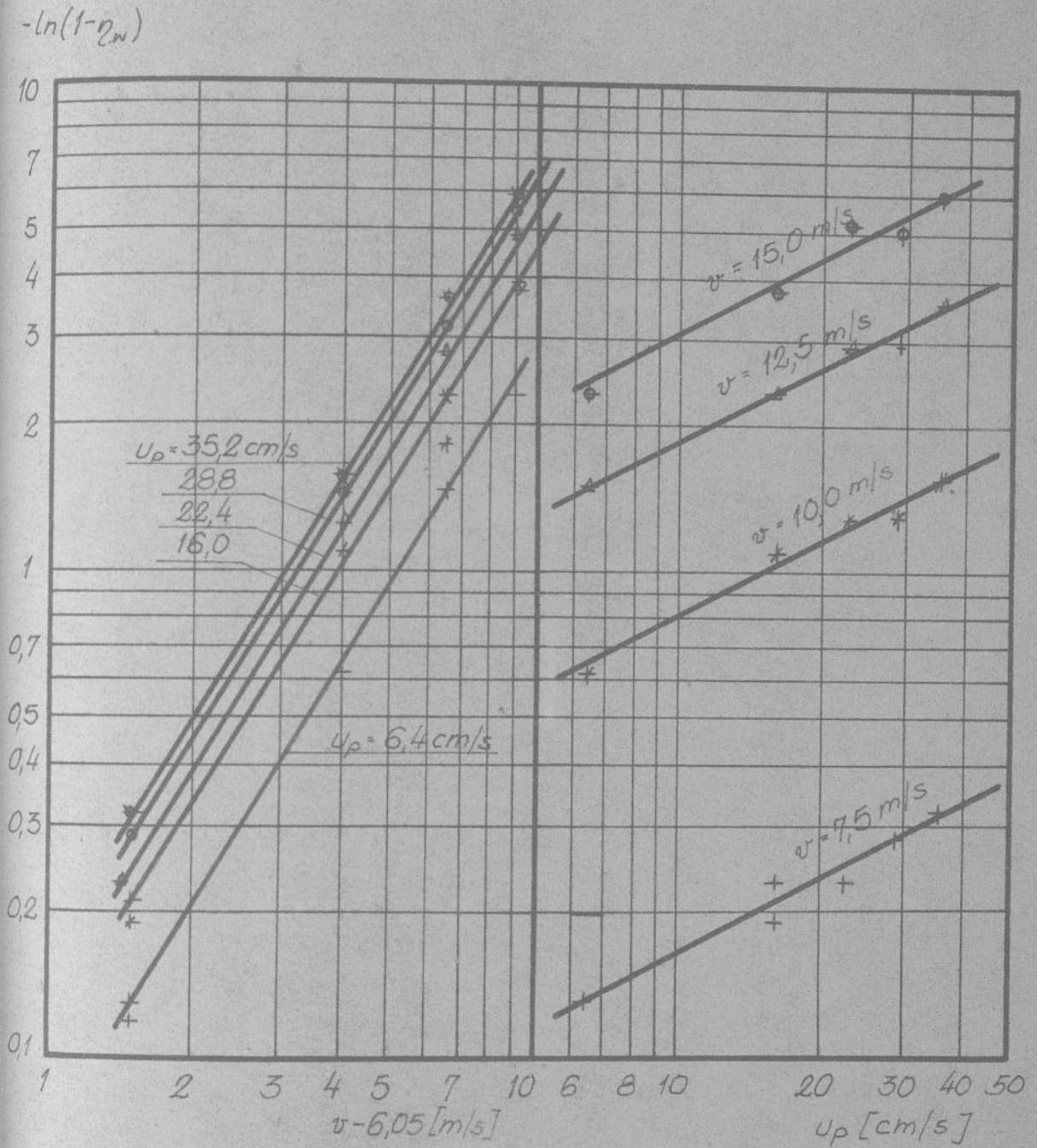
Rys. 69. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu mączki wapiennej od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



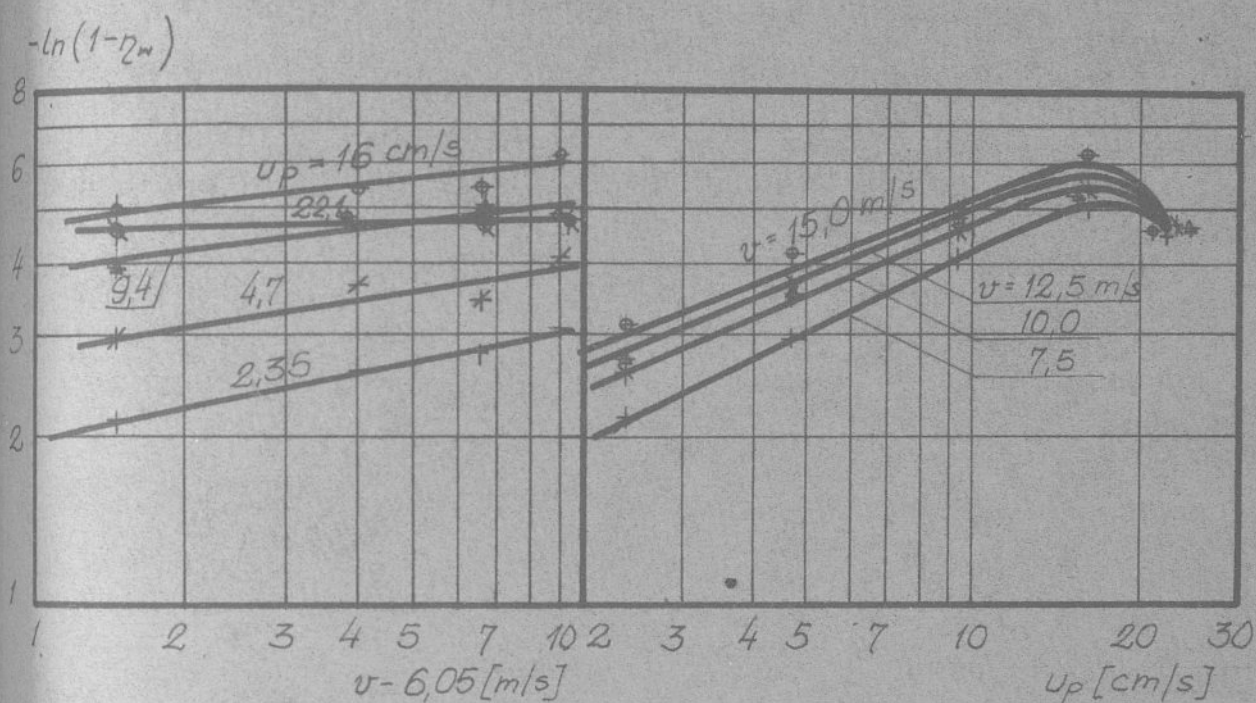
Rys. 70. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu wzorcowego Skala 4900 od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



Rys. 71. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu mączki ceramicznej od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.

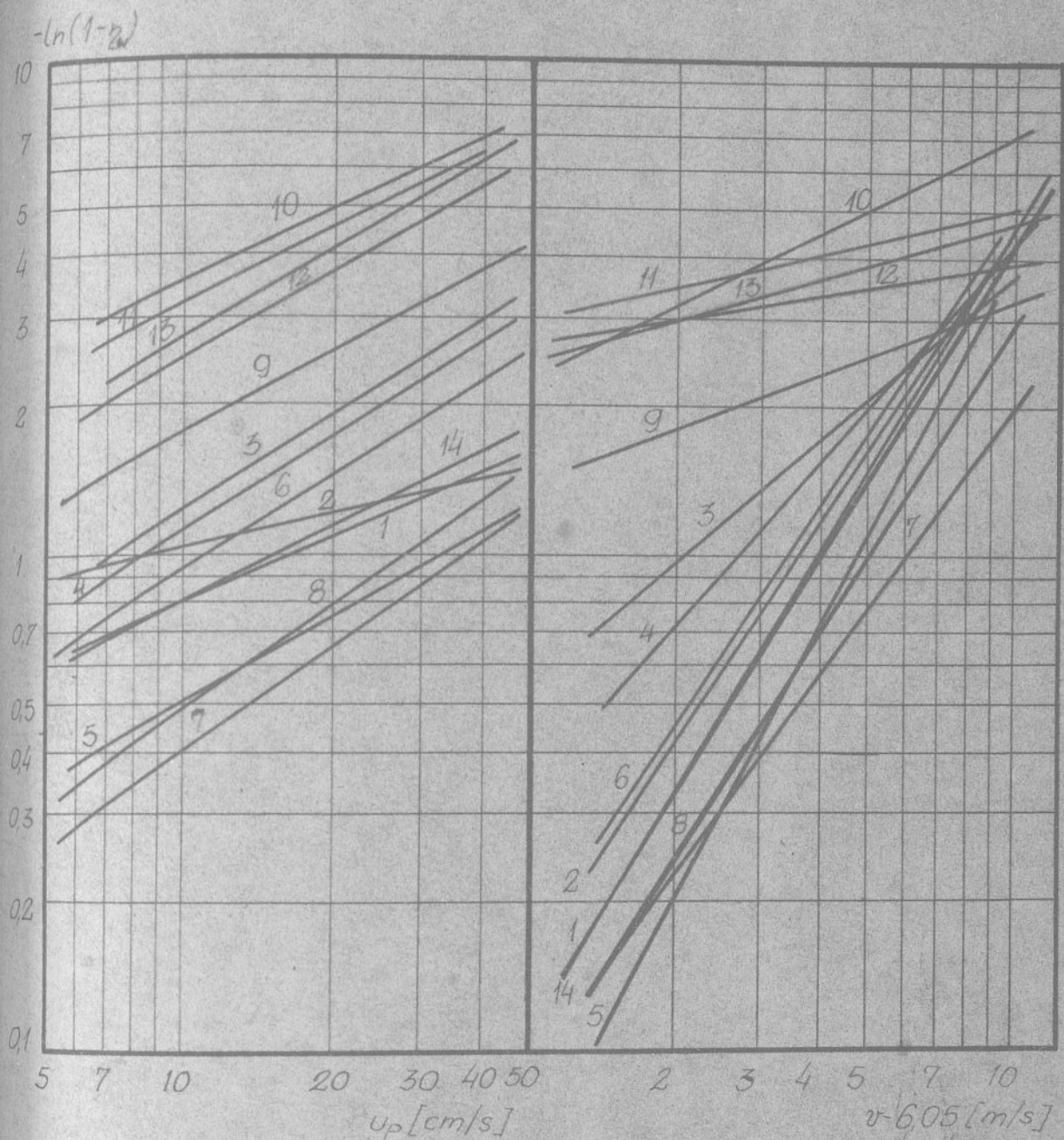


Rys. 72. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu Nowolaku od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.



Rys. 73. Wykresy zależności skuteczności wiązania pyłu lotnego popiołu węgla brunatnego od wielkości ziarn pyłu i prędkości powietrza zasilającego.

Celem porównania zdolności badanych pyłów jednorodnych do wiązania się z wodą zestawiono na rys. 74 wykresy zależności $\ln /1 - \eta_w/ = f /u_p/$ - dla prędkości powietrza zasilającego $v = 10,0 m/s$ oraz wykresy zależności $\ln /1 - \eta_w/ = f /v/$ dla ziarn o prędkości opadania $u_p = 16,0 cm/s$.



Rys. 74. Wykresy zależności $\ln /1 - q_w/ = f /u_p/$ przy prędkości powietrza zasilającego $v = 10,0 \text{ m/s}$ oraz wykresy zależności $\ln /1 - q_w/ = f /v/$ ziarn o prędkości opadania $u_p = 16,0 \text{ cm/s}$ dla badanych pyłów jednorodnych;

- 1 - drewna sosnowego, 2 - drewna bukowego,
- 3 - drewna orzechowego, 4 - drewna dębowego,
- 5 - drewna świerkowego, 6 - węgla 33, 7 - węgla 37,
- 8 - węgla 38, 9 - węgla 42, 10 - mączki kwarcowej,
- 11 - mączki wapiennej, 12 - wzorc. Skaleń 4900,
- 13 - mączki ceramicznej, 14 - Nowolaku.

W tabeli 5 zestawiono wyliczone w oparciu o wyniki badań wartości współczynnika M oraz wykładników g' , h' .

T a b e l a 5.

Rodzaj pyłu	M	g'	h'
Pył drewna sosnowego	-0,0333	0,442	1,574
Pył drewna bukowego	-0,0821	0,233	1,458
Pył drewna orzechowego	-0,0998	0,624	0,807
Pył drewna dębowego	-0,0567	0,648	1,092
Pył drewna świerkowego	-0,0116	0,558	1,830
Pył węgla 33	-0,0299	0,614	1,475
Pył węgla 37	-0,0127	0,699	1,350
Pył węgla 38	-0,01215	0,672	1,588
Pył węgla 42	-0,3112	0,541	0,372
Mączka kwarcowa	-0,5751	0,495	0,493
Mączka wapienna	-0,7390	0,501	0,228
Pył wzorcowy Skalen 4900	-0,5471	0,568	0,163
Mączka ceramiczna	-0,4850	0,587	0,280
Pył Nowolaku	-0,0240	0,508	1,714

7. Analiza wyników badań szybkości i skuteczności wiązania pyłów z cieczą.

Ze wzorów /51/ i /52/ wynika, że wartości parametrów charakteryzujących w przyjętej metodzie podatność pyłu na zwilżanie, tj. wartości szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą, będą rosły wraz ze zmniejszaniem się wartości stałej M oraz ze wzrostem wykładników g , h .

Jak wynika z przedstawionych w tabeli 5 wyników badań, wykładnik g przyjmuje dla większości badanych pyłów zbliżone do siebie wartości zawarte w granicach 0,442 - 0,699 /z wyjątkiem pyłu drewna bukowego, dla którego wynosi 0,233/.

Wartości stałej M oraz wykładnika h zawarte są w szerokich granicach / M od 0,0116 do 0,7390; h od 0,163 do 1,830/, stąd można sądzić, że współczynniki te głównie charakteryzują podatność na zwilżanie badanego pyłu jednorodnego.

Badania pyłów powstałych przy szlifowaniu drewna bukowego i mahoniowego oraz pyłu lotnego popiołu węgla brunatnego wykazały, że w badanym zakresie granulacji, zależność $\ln /1 - \eta/ = f /u_p/$ jest inna niż dla pozostałych rodzajów pyłów. Ta różna, nieregularna podatność na zwilżanie poszczególnych klas ziarnowych jest w głównej mierze skutkiem różnic w składzie chemicznym tych grup. I tak, w przypadku szlifierskich pyłów drzewnych, decydujący wpływ na wiązanie się z cieczą będzie miała zawartość materiałów ściernych i kleju /używanego do wiązania tych materiałów/ w poszczególnych klasach ziarnowych, zaś w odniesieniu do pyłu lotnego popiołu węgla brunatnego - prawdopodobnie zawartość w nich niespalo-

nego węgla.

[18]

Dla sprawdzenia, czy słuszna jest teza Pikonio^o zasadniczym wpływie gęstości pyłu na skuteczność mokrego odpylania, w tabeli 6 zestawiono wartości gęstości badanych pyłów ρ_p oraz dla porównania szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą /obliczone wg wzorów/51/ /52/ dla ziarn o prędkości opadania $u_0 = 16,0$ cm/s przy prędkości powietrza zasilającego $v = 10$ m/s/, a także wartości współczynników g , h , M

T a b e l a 6.

Rodzaj pyłu	Gęstość pyłu	Szybkość wiąza- nia pyłu z cieczą	Skutecz- ność wiąza- nia pyłu z cieczą	g	h	M
		$c_{16-10} \frac{x}{s}$	η_{16-10}			
	kg/m^3	s/m^2				
1	2	3	4	5	6	7
Pył drewna sosnowego	1405	11,54	0,6325	0,442	1,571	-0,0333
Pył drewna bukowego	1421	12,61	0,6913	0,233	1,458	-0,0821
Pył drewna dębowego	1451	14,52	0,7960	0,648	1,092	-0,0567
Pył drewna orzechowego	1474	15,38	0,8425	0,642	0,807	-0,0998
Pył drewna świerkowego	1360	9,16	0,5002	0,558	1,830	-0,0116
Pył węgla typu 33	1456	13,19	0,7228	0,614	1,475	-0,0299
Pył węgla typu 37	1470	8,08	0,4425	0,699	1,350	-0,0127
Pył węgla typu 38	1434	9,39	0,5140	0,672	1,588	-0,0122

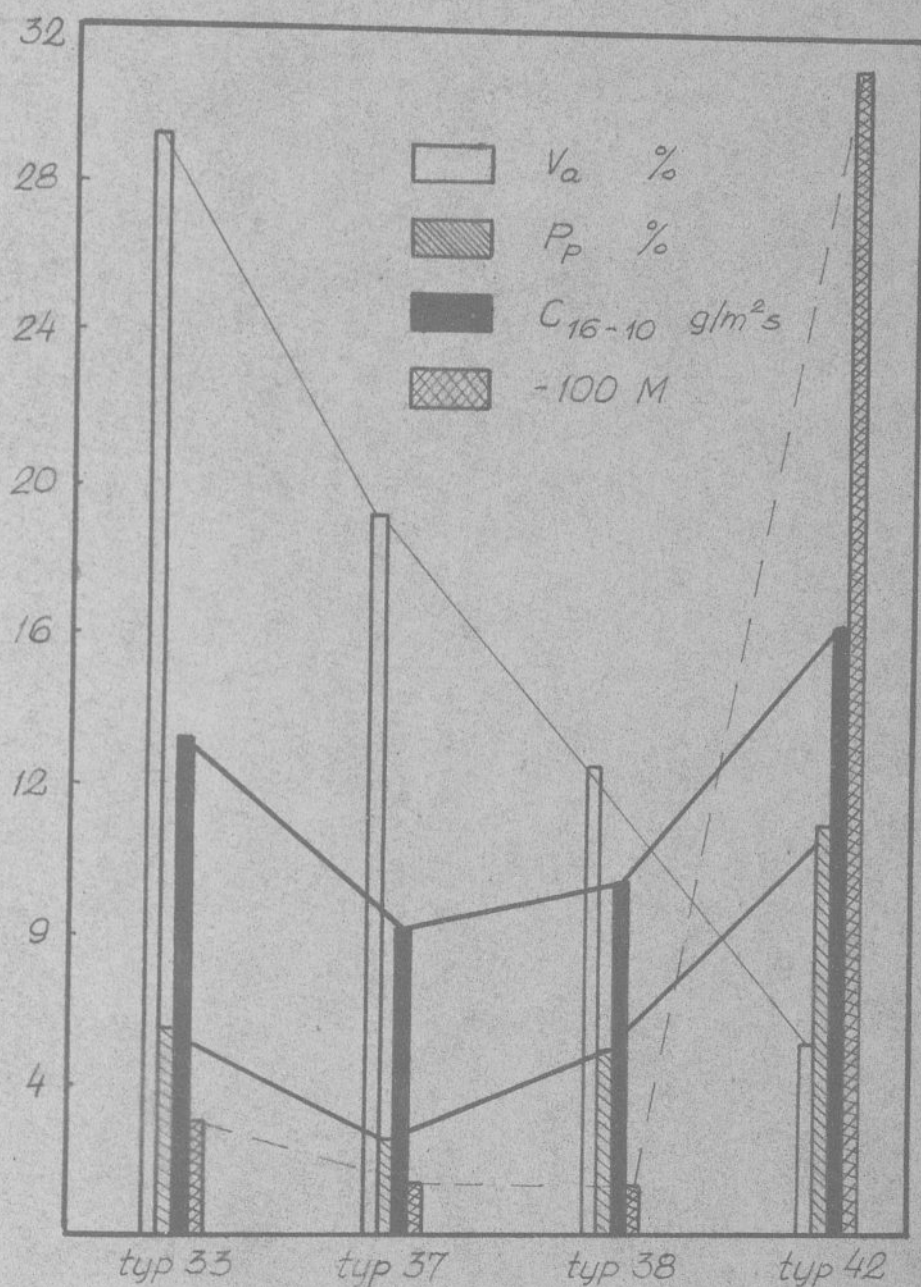
1	2	3	4	5	6	7
Pył węgla typu 42	1580	16,20	0,8875	0,510	0,372	-0,3110
Mączka kwarcowa	2685	17,84	0,9876	0,495	0,493	-0,5751
Mączka wapienna	1735	17,94	0,9845	0,501	0,228	-0,7390
Pył wzorcowy Skaleń 4900	2540	17,62	0,9664	0,568	0,163	-0,5471
Mączka ceramiczna	2310	17,80	0,9759	0,587	0,280	-0,4850
Pył żywicy Nowolak	1035	11,91	0,6530	0,508	1,714	-0,0240

x/ wartości określone dla ziarn o prędkości opadania 16 cm/s przy prędkości powietrza zasilającego $v = 10,0$ m/s.

Celem określenia czynników wpływających na zwilżalność pyłów powstałych z podobnych materiałów, w tabeli 7 i na rys. 75 zestawiono wartości wybranych parametrów charakterystycznych dla badanych pyłów węglowych z wartościami szybkości wiązania pyłu z cieczą /określonymi dla $u_p = 16,0$ cm/s i $v = 10,0$ m/s/ oraz współczynników g' , h' , M .

Tabela 8 zawiera dane dotyczące zawartości niespalonego węgla, szybkości wiązania pyłu z cieczą /dla $v = 10,0$ m/s/ oraz stałej h' dla poszczególnych klas ziarnowych pyłu lotnego popiołu węgla brunatnego.

Porównując zestawione w tabeli 6 wartości parametrów i stałych charakteryzujących przydatność badanych pyłów na zwilżanie z wartościami gęstości tych pyłów, można stwierdzić brak ścisłej zależności między tymi własnościami.



Rys. 75. Zawartości części lotnych i popiołu oraz wartości szybkości wiązania z cieczą i stałej M pyłów węgla kamiennych.

T a b e l a 7.

Typ węgla	Gęstość pyłu ρ_p	Zawartość części lotnych V_a	Zawar- tość popio- łu P_p	Szyb- kość wiąza- nia pyłu z cieczą c_{16-10}	δ'	h'	M
	kg/m^3	%	%	$g/m^2/s$			
33	1456	29,21	5,40	13,19	0,614	1,475	-0,0299
37	1470	19,08	2,44	8,08	0,599	1,350	-0,0127
38	1434	12,46	4,89	9,39	0,672	1,588	-0,0122
42	1580	5,02	10,90	16,20	0,510	0,372	-0,3110

T a b e l a 8.

Średnia prędkość opadania ziarn	Zawartość części palnych V_p	Szybkość wiązania pyłu z cieczą c_{10}	h'
u_m	%	$g/m^2/s$	-
2,35	0,39	16,81	0,2018
4,7	0,48	17,65	0,1596
9,4	0,51	18,05	0,1260
16,0	0,72	18,17	0,1043
22,4	2,08	18,08	0,0285

Pyły o zbliżonych gęstościach, np. drewna dębowego i węgla typu 33 $\rho_p = 1450 \text{ kg/m}^3$ oraz drewna bukowego i węgla typu 38 $\rho_p = 1430 \text{ kg/m}^3$ różnią się znacznie wartościami parametrów charakteryzujących ich podatność na zwilżanie w warunkach dynamicznych.

Jeśli jako kryterium oceny zwilżalności pyłu przyjąć szybkość wiązania go z cieczą, to dla przykładu, według zwilżalności klasy ziarnowej o prędkości opadania $u_p = 16,0 \text{ m/s}$ badane pyły można usystematyzować w następującej kolejności:

1/ pył popiołu lotnego węgla brunatnego	$\rho_c = 18,17 \text{ g/m}^2/\text{s}$
2/ mączka wapienna	17,94
3/ mączka kwarcowa	17,84
4/ mączka ceramiczna	17,80
5/ pył wzorcowy Skaleń 4900	17,62
6/ pył drewna bukowego /szliflerski/	17,47 ^{x/}
7/ pył drewna mahoniowego	17,25 ^{x/}
8/ pył węgla typu 42	16,20
9/ pył drewna orzechowego	15,38
10/ pył drewna dębowego	14,52
11/ pył węgla typu 33	13,19
12/ pył drewna bukowego	12,61
13/ pył żywicy Nowolak	11,91
14/ pył drewna sosnowego	11,54
15/ pył węgla typu 38	9,39
16/ pył drewna świerkowego	9,16
17/ pył węgla typu 37	8,08

x/ dla klasy ziarnowej o prędkości unoszenia $17,1 \text{ cm/s}$

Z powyższego zestawienia wynika, że w warunkach dynamicznych najlepszą podatność na wiązanie się z wodą mają pyły, będące bądź rozdrobnionymi substancjami mineralnymi /popiół, mączki surowców mineralnych/, bądź będące mieszaninami tych substancji i związków organicznych /pyły drewna powstałe przy szlifowaniu go materiałami ściernymi/. Pozostałe pyły: węgla drewna oraz żywicy Nowolak charakteryzują się mniejszą podatnością na zwilżanie.

Z pyłów drzewnych bardziej podatne na wiązanie się z wodą są pyły drzew liściastych /orzecha, dębu, buku/, mniej natomiast drzew iglastych /sosny, świerku/.

Z porównania wartości zestawionych w tabeli 7 oraz z wykresu na rys. 75 można wnioskować, że o podatności na wiązanie się pyłu węglowego z wodą w znacznej mierze decyduje zawartość popiołu w węglu.

Również stała h' , warunkująca szybkość wiązania z cieczą poszczególnych klas ziarnowych pyłu lotnego popiołu węgla brunatnego maleje jak to wynika z tabeli 8, wraz ze wzrostem zawartości niespalonego węgla /czyli substancji mineralnych/. Potwierdza to podaną wyżej zależność podatności na zwilżanie w warunkach dynamicznych od zawartości w pyłe substancji mineralnych.

8. Badania nad wpływem napięcia powierzchniowego cieczy na skuteczność wiązania z cieczą pyłów węglowych i żywicy Nowolak.

Celem uzyskania potwierdzenia słuszności wyprowadzonego w p. 5.5. wzoru /56/, przeprowadzono badania nad wpływem

napięcia powierzchniowego wodnych roztworów Alfenolu 8 /z dodatkiem alkoholu n-oktylowego jako środka zapobiegającego pienieniu/ na skuteczność wiązania (z tymi roztworami) pyłów węgla typu 33, 37, 38 i 42 oraz żywicy Nowolak.

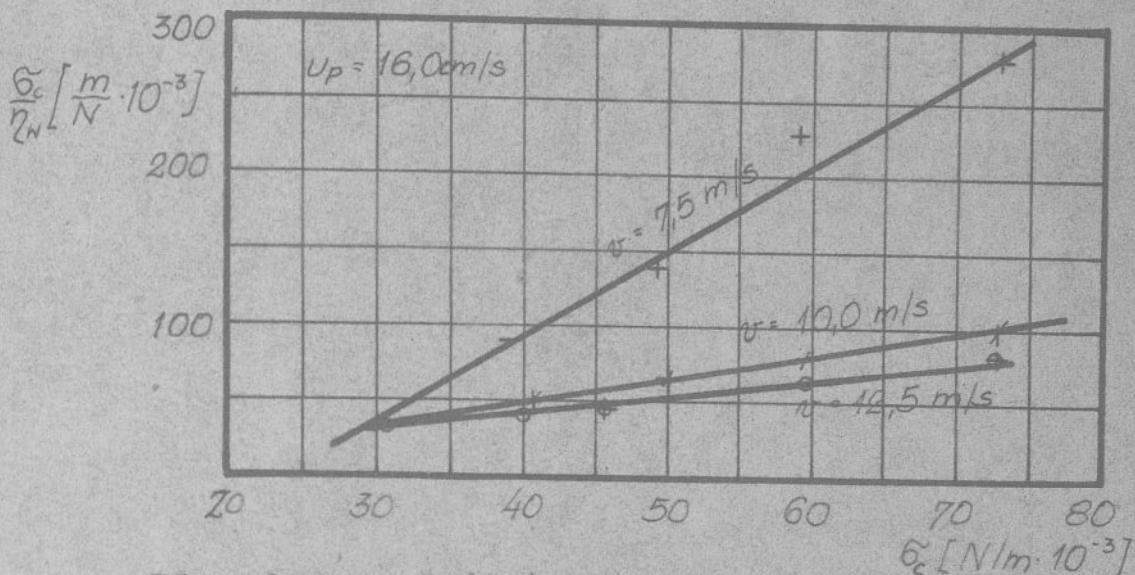
Wyniki badań w postaci zależności $\frac{\zeta_c}{\eta_w} = f / \zeta_c /$ przedstawiono na rys. 76 - 80.

Proste przedstawione na rysunkach określono ze wzorów /51/ /56/, posługując się przy tym danymi z tabeli 6.

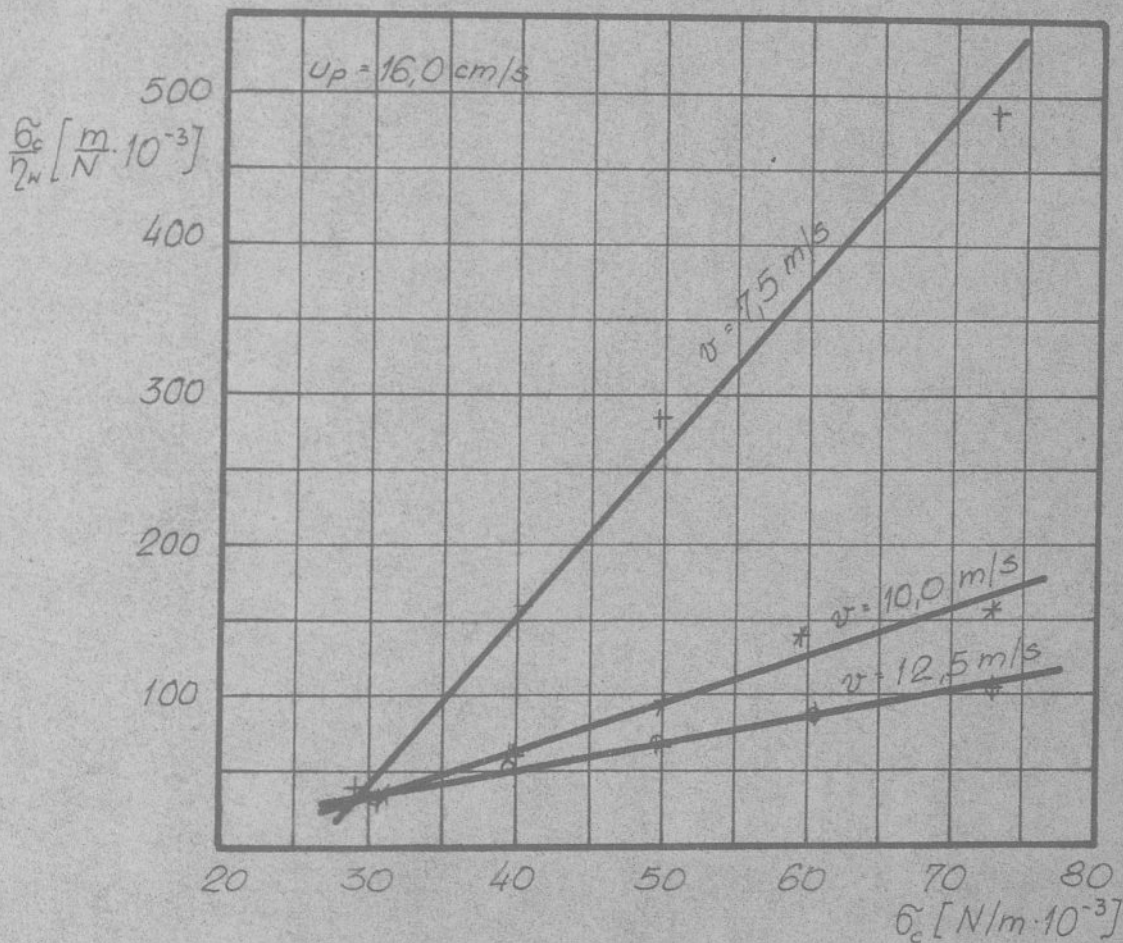
9. Wnioski^z badań nad szybkością i skutecznością wiązania pyłu z cieczą.

Ogólne wnioski, jakie można wyciągnąć z powyższej części badań są następujące:

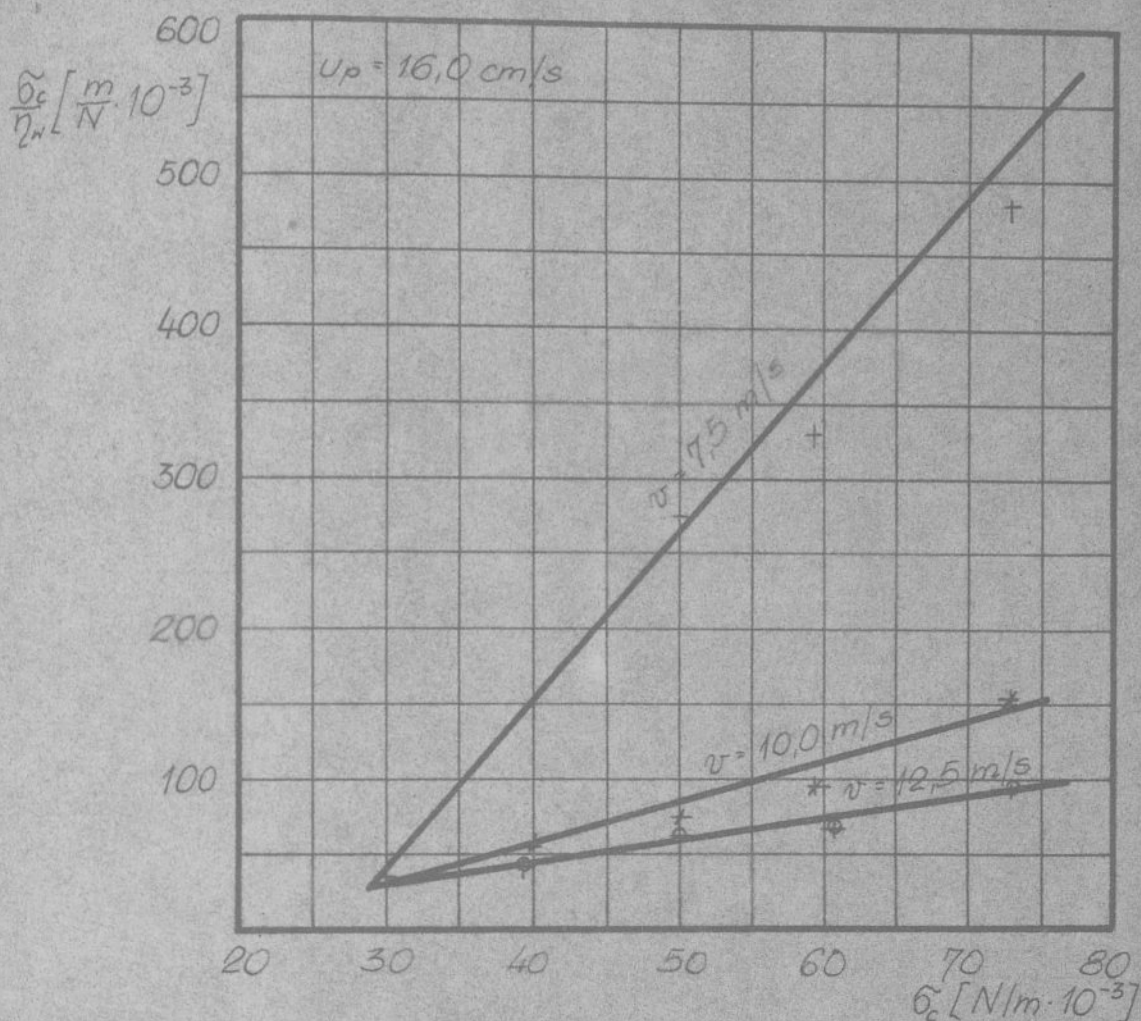
- przy pomocy opracowanej metody badania w warunkach dynamicznych szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą, można jednoznacznie określać podatność na wiązanie z cieczą dowolnych pyłów /i poszczególnych klas ziarnowych/, będących składnikami ruchomego układu trójfazowego ciecz-pył-gaz. Tak więc, opracowana metoda pozwala na oznaczanie zwilżalności pyłów w warunkach zbliżonych do panujących w mokrych odpylaczach, z uwzględnieniem wszystkich czynników tę właściwość determinujących. Stanowi to główną zaletę opracowanej metody w porównaniu z dotychczas stosowanymi metodami badania zwilżalności pyłów,
- badania wykazały, że wartości parametrów charakteryzujących podatność pyłu na wiązanie go z cieczą, tj. szybkości i skuteczności wiązania, zależą od całokształtu fizyko-chemicznych własności pyłu, zapyłonego gazu i cieczy.



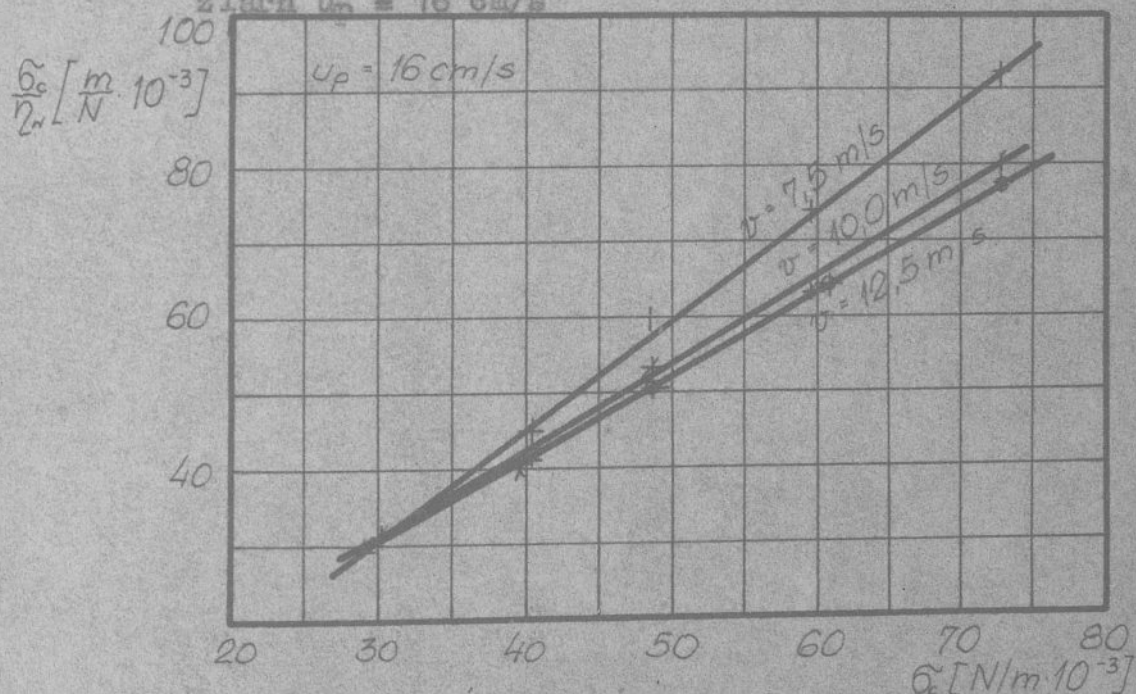
Rys. 76. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą od napięcia powierzchniowego wodnego roztworu Alfenolu dla pyłu węgla typu 33 o średniej prędkości opadania ziarn $u_p = 16 \text{ cm/s}$.



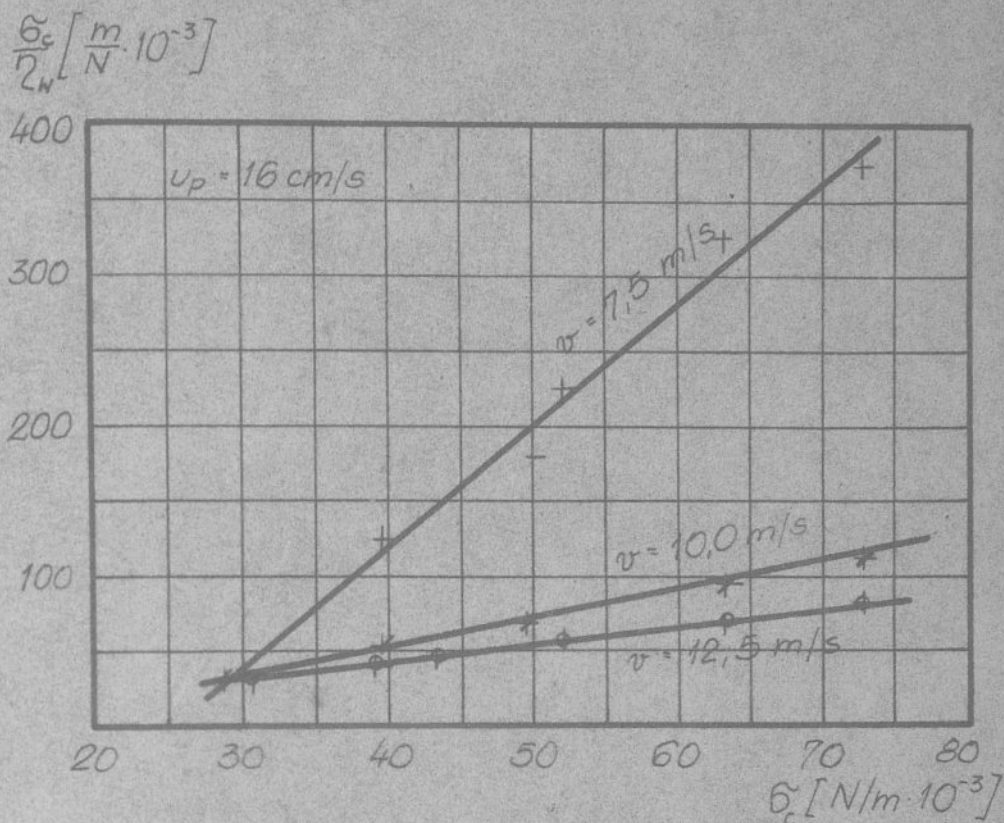
Rys. 77. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą od napięcia powierzchniowego wodnego roztworu Alfenolu dla pyłu węgla typu 37 o średniej prędkości opadania ziarn $u_p = 16 \text{ cm/s}$.



Rys. 78. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą od napięcia powierzchniowego wodnego roztworu Alfenolu dla pyłu węgla typu 38 o średniej prędkości opadania ziarn $u_p = 16$ cm/s



Rys. 79. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą od napięcia powierzchniowego wodnego roztworu Alfenolu od pyłu węgla typu 42 o średniej prędkości opadania ziarn $u_p = 16$ cm/s.



Rys. 80. Wykresy zależności skuteczności wiązania z cieczą od napięcia powierzchniowego wodnego roztworu Alfenolu dla pyłu żywicy Nowolak o średniej prędkości opadania ziarn $v_p = 16$ cm/s.

Skuteczność wiązania pyłu z cieczą rośnie wraz ze wzrostem względnej prędkości ruchu ziarn pyłu i elementów cieczy, zaś dla pyłów jednorodnych również ze wzrostem wielkości ziarn /charakteryzowanej przez prędkość opadania/ wg wzoru /51/. Stałe g' , h' , M występujące we wzorze /51/ charakteryzują w sposób jednoznaczny podatność pyłu jednorodnego na wiązanie go z cieczą.

- w przypadku badanych pyłów niejednorodnych, udało się stwierdzić jedynie jakościowo zależność parametrów charakteryzujących podatność na wiązanie pyłu z cieczą od składu mieszaniny materiałów tworzących poszczególne klasy ziarnowe.

- zwiększenie szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą jest możliwe przez zmniejszenie napięcia powierzchniowego cieczy /np. przez dodanie środków powierzchniowo czynnych/, przy czym zależność szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą od napięcia powierzchniowego cieczy określona wzorami /51/ /56/ znalazła pełne potwierdzenie w wynikach badań.

10. Badania nad oddzielaniem pyłu w modelu płuczki uderzeniowej.

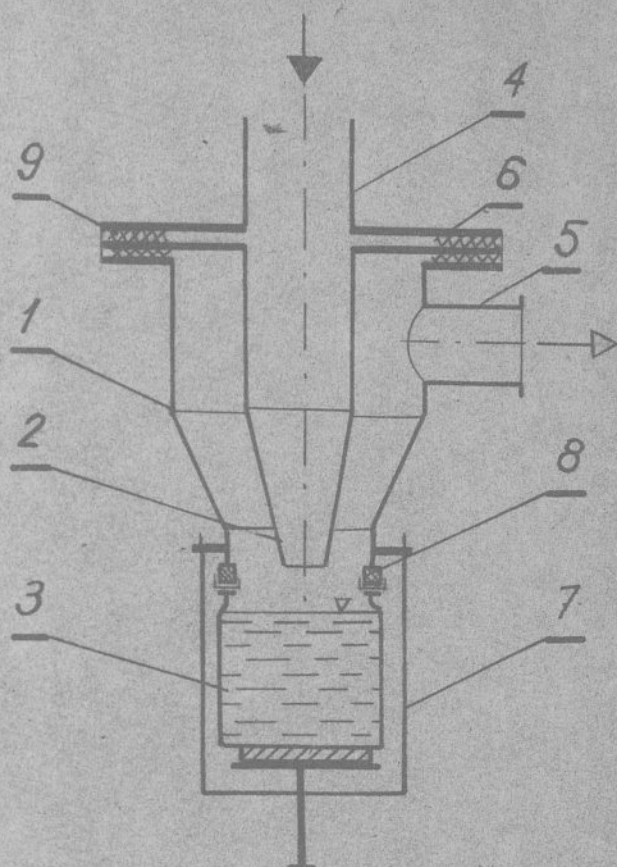
10.1. Cel i zakres badań.

Celem badań było opracowanie na przykładzie płuczki uderzeniowej sposobu wykorzystywania wyników badań szybkości i skuteczności wiązania pyłu z cieczą dla określania skuteczności odpylania odpylaczy mokrych. Zajęto się również badaniem wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych płuczki uderzeniowej na skuteczność odpylania.

Do badań w modelu płuczki użyto pyłów drewna świerkowego, orzechowego i dębowego. Cieczą oddzielającą była woda.

10.2. Opis modelu płuczki uderzeniowej i stanowiska badawczego.

Model płuczki uderzeniowej, którego budowę przedstawiono schematycznie na rys. 81, składał się z obudowy 1, dyszy 2, zbiornika z cieczą 3, króćców: zasilającego 4 i odciągowego 5, kołnierzy 6, uchwytu mocującego zbiornik 7 oraz uszczelek 8 i 9.



Rys. 81. Schemat budowy modelu płuczki uderzeniowej

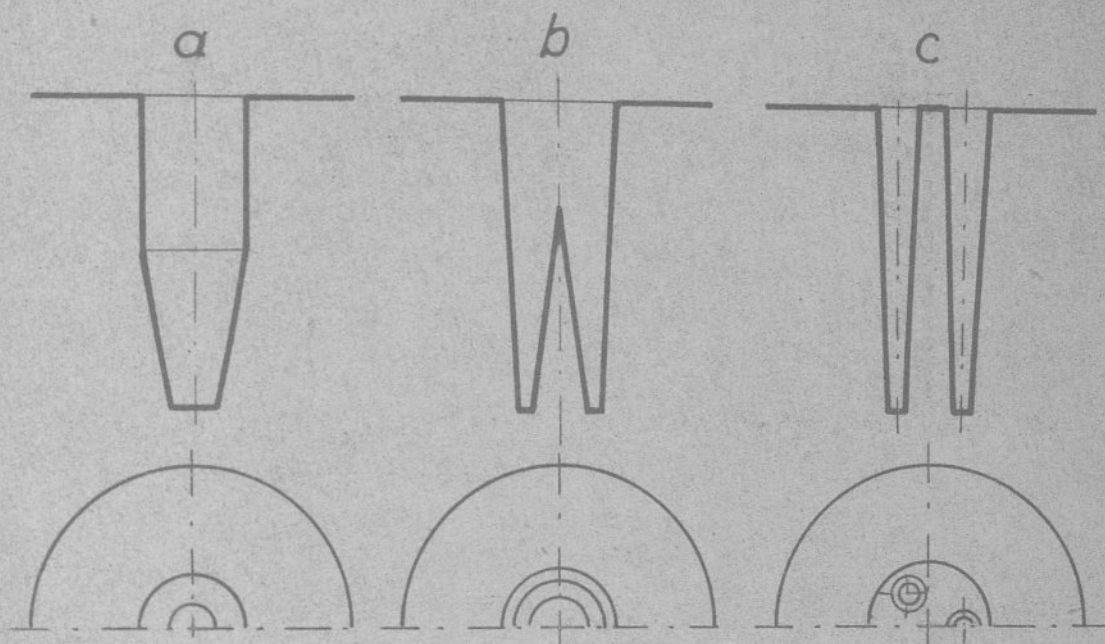
1 - obudowa, 2 - dysza, 3 - zbiornik z cieczą,
4 - króciec zasilający, 5 - króciec odciągowy,
6 - kołnierze, 7 - uchwyt mocujący zbiornik,
8, 9 - uszczelki.

Zasada działania płuczki uderzeniowej jest następująca: strumień sypionego gazu wypływający ze znaczną prędkością z dyszy, uderza o powierzchnię cieczy zmieniając swój kierunek o 180° . Oddzielanie pyłu następuje w wyniku inercyjnych zderzeń ziarn z powierzchnią cieczy, ewentualnie z powierzchniami kropeł lub pęcherzyków piany, jakie mogą powstawać przy większych prędkościach wypływu gazu z dyszy.

Elementem posiadającym zasadniczy wpływ na skuteczność odpylania płuczki uderzeniowej jest dysza. Dla określenia wpływu kształtu dyszy na przebieg procesu odpylania w badanym modelu zastosowano wymienne dysze.

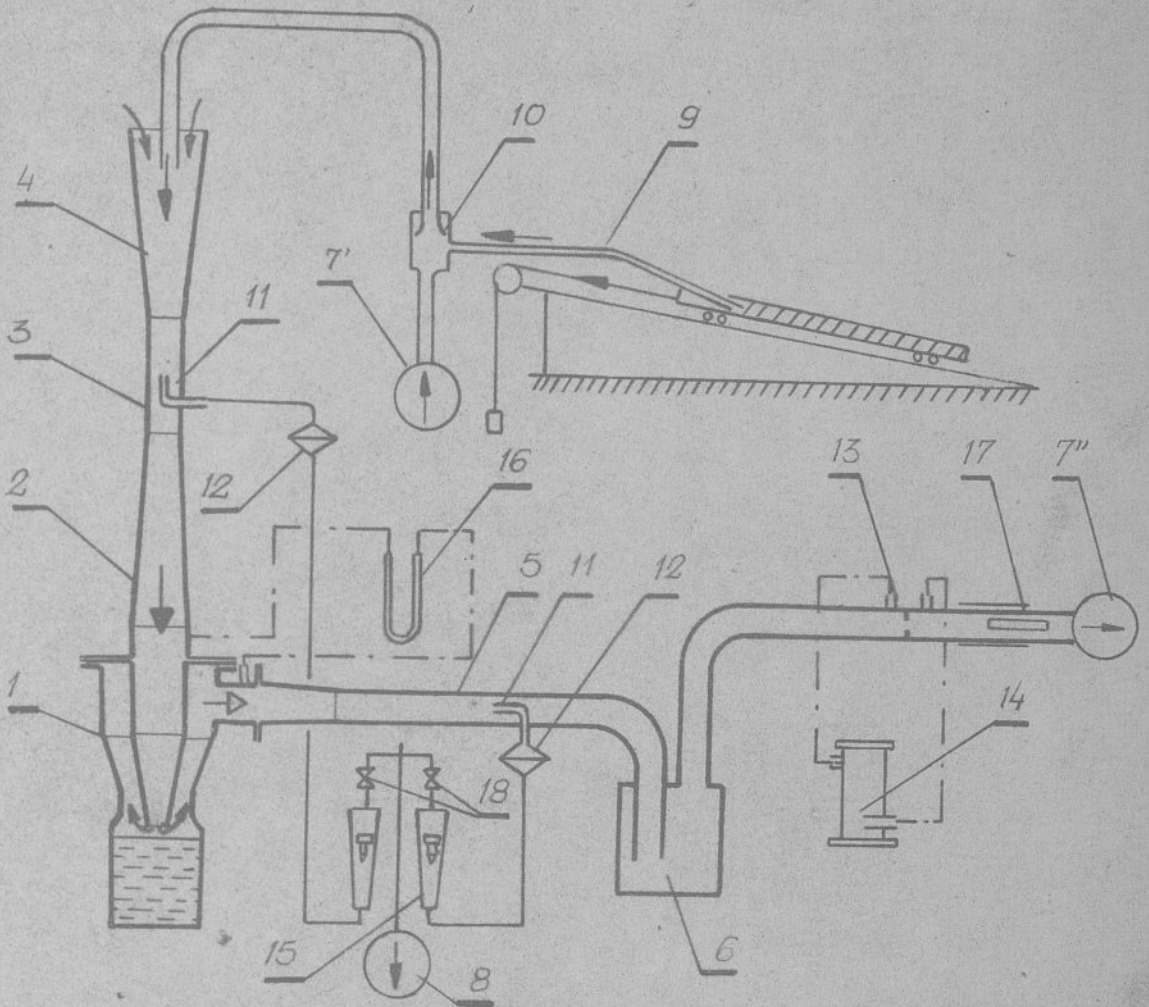
Wykonano 3 elementy o jednakowej powierzchni otworów wylotowych wynoszącej $4,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, lecz różnych kształtach /rys. 82/:

- pojedynczą dyszę stożkową, dyszę szczelinową /ze szczeliną koncentryczną/ oraz zespół 3 dysz.



Rys. 82. Dysze wymienne: a - pojedyncza stożkowa, b - szczelinowa, c - potrójna stożkowa.

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 83. Powietrze tłoczone przez dmuchawę 7, przepływając przez ejetor 10 zasysało z dozownika 9 pył. Zapyłone powietrze przepływało następnie przez konfuzor 4, przewężenie 3 i dyfuzor 2 do króćca wlotowego płuczki. Po odpyleńiu w płuczce 1 powietrze przepływało przez prostkę 5, odkraplacz 6, zwężkę mierzniczą 13 i regulator przepływu /upust szczelinowy/ 17 do króćca ssawnego dmuchawy 7.



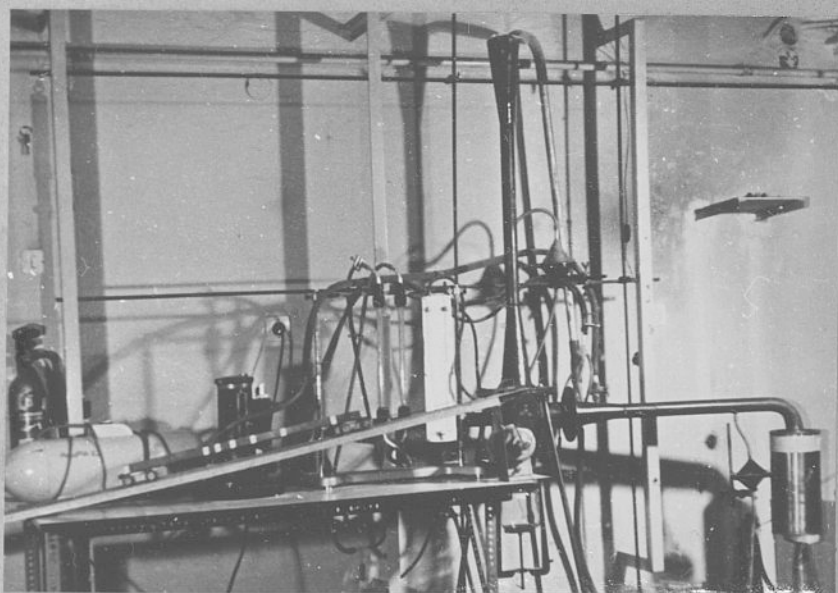
Rys. 83. Schemat stanowiska badawczego modelu płuczki uderzeniowej.

1 - płuczka uderzeniowa, 2 - dyfuzor, 3 - przewężenie, 4 - konfuzor wlotowy, 5 - przewód odciągowy, 6 - odkraplacz, 7' i 7'' - dmuchawy, 8 - urządzenie ssące, 9 - dozownik pyłu, 10 - ejektor, 11 - sonda, 12 - filtr, 13 - zwężka miernicza, 14 - mikromanometr, 15 - przepływomierz /rotametry/, 16 - U-rurka, 17 - regulator przepływu /upust szczelinowy/, 18 - regulatory przepływu.

Układ pomiarowy stężeń pyłu w przewodach składał się z wbudowanych w odcinki proste sond do poboru próbek zapyłonego powietrza, filtrów 12 służących do oddzielania pyłu z tych próbek, przepływomierzy /rotametrów/ 15, regulatorów natężenia przepływu 18 i urządzenia ssącego 8. Układ służący do pomiaru natężenia przepływu powietrza w instalacji modelowej składał się ze zwężki mierniczej /kryzy/ 13 oraz mikromanometru różnicowego 14.

Ponadto przy pomocy U-rurki 16, połączonej z rurkami impulsowymi, umieszczonymi w ściankach króćców zasilającego i odciągowego, mierzono opory przepływu gazu w płuczce.

Zewnętrzny wygląd stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 84.



Rys. 84. Stanowisko badawcze modelu płuczki uderzeniowej - wygląd zewnętrzny.

10.3. Program badań.

Program badań nad oddzielaniem pyłu z modelu płuczki uderzeniowej był następujący:

- badania nad wpływem prędkości wypływu z dyszy stożkowej na skuteczność odpylania powietrza z pyłów drewna świerkowego, orzechowego i dębowego,
- badania nad wpływem kształtu dyszy oraz odległości wylotu dyszy od zwierciadła cieczy /wysokości czynnej/ na skuteczność odpylania powietrza z pyłu drewna świerkowego.

10.4. Badania nad wpływem prędkości wypływu powietrza z dyszy i rodzaju pyłu na skuteczność odpylania.

Badania przeprowadzono przy zastosowaniu pojedynczej dyszy stożkowej.

Celem umożliwienia prostego porównywania wyników, a tym samym oceny wpływu zwilżalności /podatności pyłu na wiązanie z cieczą/ na skuteczność odpylania, do badań użyto jednakowej klasy ziarnowej wszystkich trzech rodzajów pyłów drzewnych /świerkowego, orzechowego i dębowego/. Średnia prędkość opadania ziarn wybranej klasy ziarnowej wynosiła 16,0 cm/sek. Badaną klasę ziarnową otrzymano w wyniku separacji pyłu w aparacie Gonella.

W trakcie badań utrzymywano stałe stężenie pyłu w powietrzu wprowadzanym do modelu płuczki. Wynosiło ono 10 g/m³.

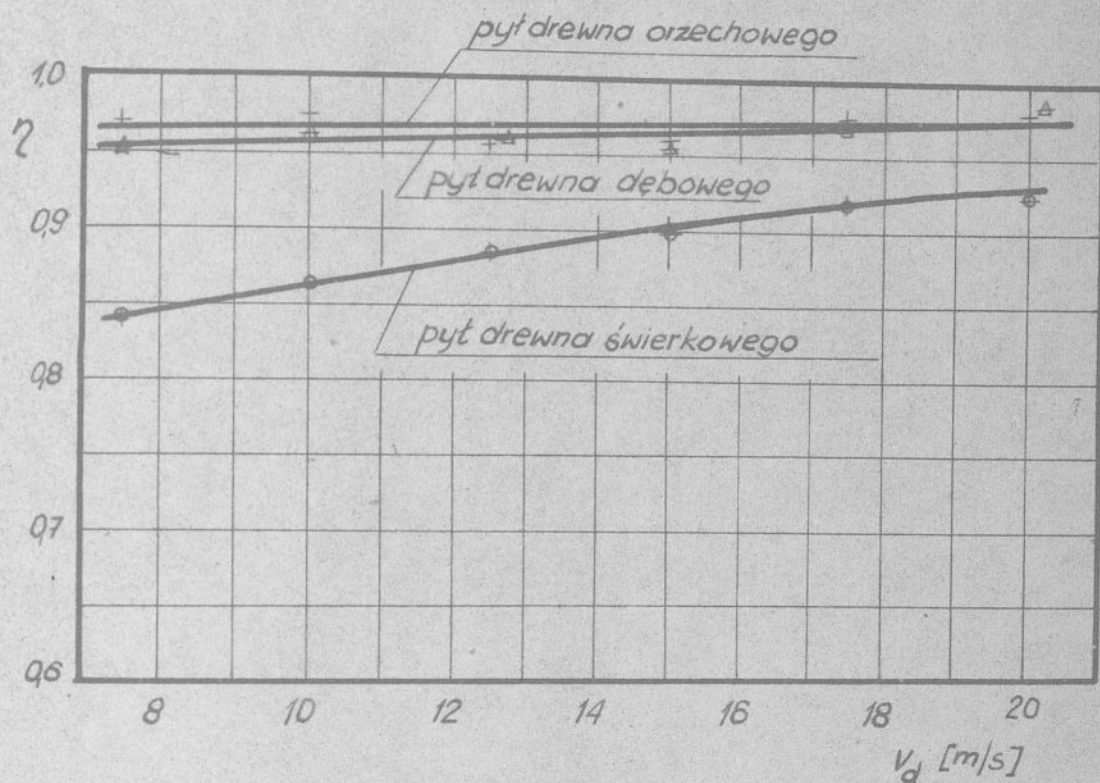
Stała była również wysokość czynna, tj. odległość wylotu dyszy od zwierciadła cieczy pozostającej w spoczynku. Wysokość czynna wynosiła 1,0 cm.

Cieczą oddzielającą była woda destylowana.

Temperatura powietrza i wody wahała się w granicach 292,5 - 294,2°K.

Prędkość wypływu powietrza z dyszy zmieniano w granicach 7,5 - 20,0 m/s.

Wyniki badań w postaci zależności skuteczności odpylania η od prędkości wypływu powietrza z dyszy v_d dla trzech badanych pyłów przedstawiono wykreślnie na rys. 85.



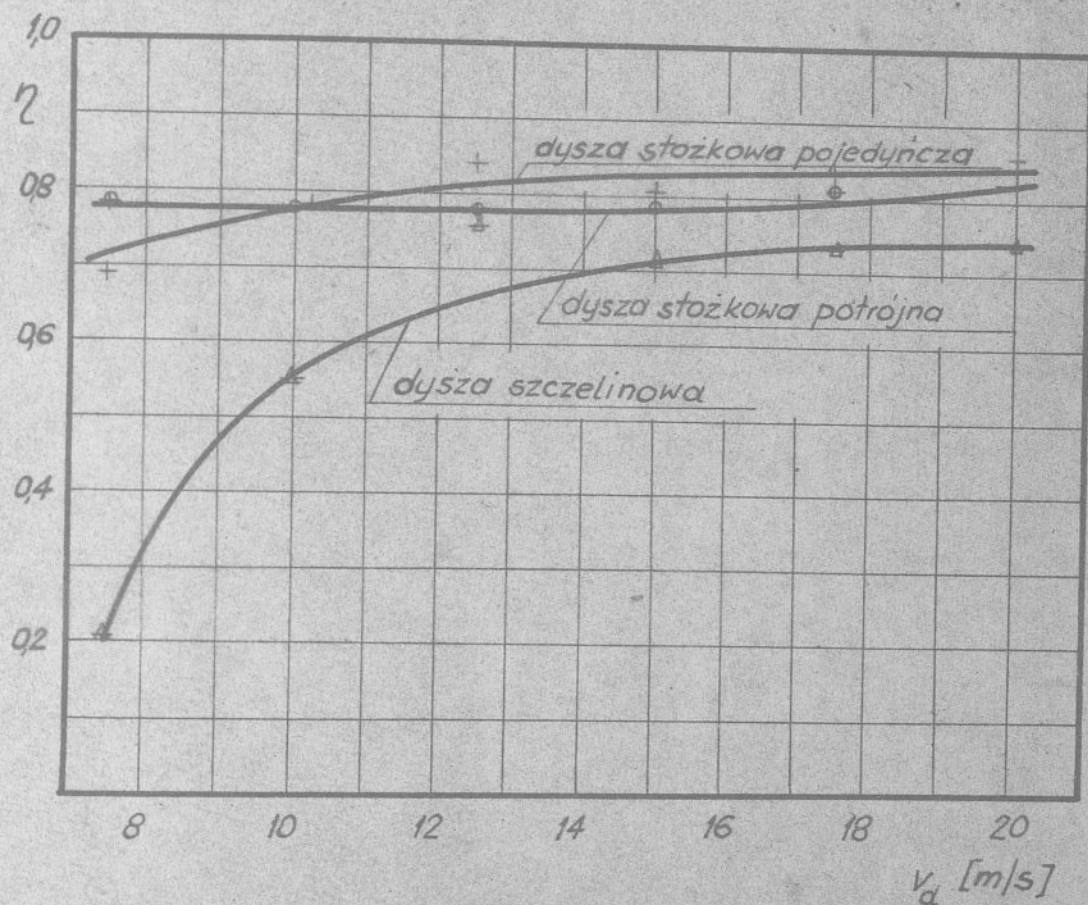
Rys. 85. Wyniki badań zależności skuteczności odpylania w modelu płuczki uderzeniowej od prędkości wypływu powietrza z dyszy /dla klasy ziarnowej $u_p = 16,0$ cm/s/ pyłów drewna świerkowego, orzechowego i dębowego .

10.5. Badania nad wpływem kształtu dyszy i wysokości czynnej na skuteczność odpylania.

Do badań nad wpływem kształtu dyszy i wysokości czynnej na skuteczność odpylania użyto aerozolu, zawierającego pył świerkowy o średniej prędkości opadania $u_p = 16,0$ cm/s.

Stężenie pyłu w powietrzu wprowadzanym do płuczki wynosiło 10 g/m^3 .

Na rys. 86 przedstawiono wykreslinie wyniki badań nad wpływem prędkości wypływu powietrza z dyszy v_d na skuteczność odpylania η przy zastosowaniu dysz: pojedynczej stożkowej, koncentrycznej szczelinowej i potrójnej stożkowej. Badania prowadzono przy stałej wysokości czynnej wynoszącej $3,0 \text{ cm}$.



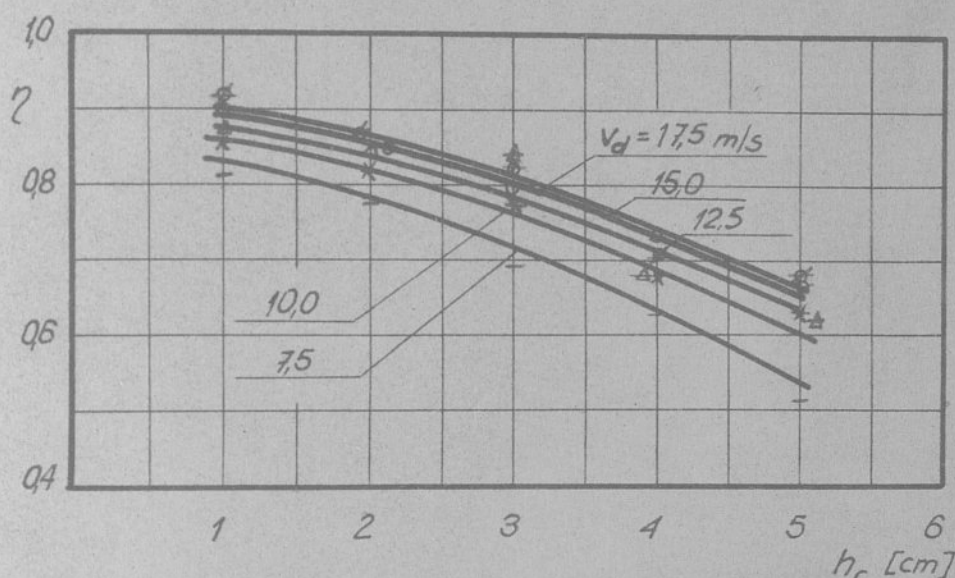
Rys. 86. Wyniki badań nad wpływem prędkości wypływu powietrza z dysz /pojedynczej stożkowej, koncentrycznej szczelinowej i potrójnej stożkowej/ na skuteczność odpylania pyłu świerkowego w modelu płuczki uderzeniowej.

Ponieważ wyniki badań wykazały, że najwyższą skuteczność odpylania można uzyskać stosując pojedynczą dyszę stożkową,

dalsze badania nad wpływem wysokości czynnej /odległości wylotu dyszy od zwierciadła cieczy/ na skuteczność odpylania przeprowadzono przy wbudowaniu w płuczkę tej właśnie dyszy.

Wysokość czynną zmieniano w zakresie 1,0 - 5,0 cm /co jeden centymetr/.

Wyniki badań wpływu wysokości czynnej h_c na skuteczność odpylania η przedstawiono wykreślnie na rys. 87.



Rys. 87. Wyniki badań zależności skuteczności oddzielenia pyłu świerkowego w modelu płuczki uderzeniowej /z pojedynczą dyszą stożkową/ od wysokości czynnej.

10.6. Analiza wyników badań.

Badania nad oddzielaniem w modelu płuczki uderzeniowej /z pojedynczą dyszą stożkową/ tej samej klasy ziarnowej $u_p = 16,0$ cm/s/ pyłów drewna świerkowego, orzechowego i dębowego wykazały, że najwyższą skuteczność odpylania uzyskano dla pyłu orzechowego, nieznacznie mniejszą dla pyłu dębowego, zaś najmniejszą dla pyłu świerkowego. Dla wszystkich rodzajów pyłów stwierdzono wzrost skuteczności odpylania przy wzroście prędkości wypływowej z dyszy.

Badając wpływ kształtu dyszy na skuteczność odpylania stwierdzono, że najmniejszą skuteczność oddzielania pyłu ściernego uzyskuje się przy stosowaniu dyszy szczelinowej. Pozostałe dysze pozwalają na osiąganie podobnych skuteczności, choć przy prędkościach wypływu v_d w zakresie 11,0 - 20,0 m/s nieco lepsze wyniki daje stosowanie pojedynczej dyszy stożkowej. Jeśli określić za pomocą liczby Reynoldsa charakter przepływu strumienia powietrza wypływającego z dyszy, to w badanym zakresie prędkości wypływu z dysz /7,5 - 20,0 m/s/ wartości tej liczby zawarte były w granicach

$$Re = 2520 - 6730 \text{ dla dyszy szczelinowej}$$

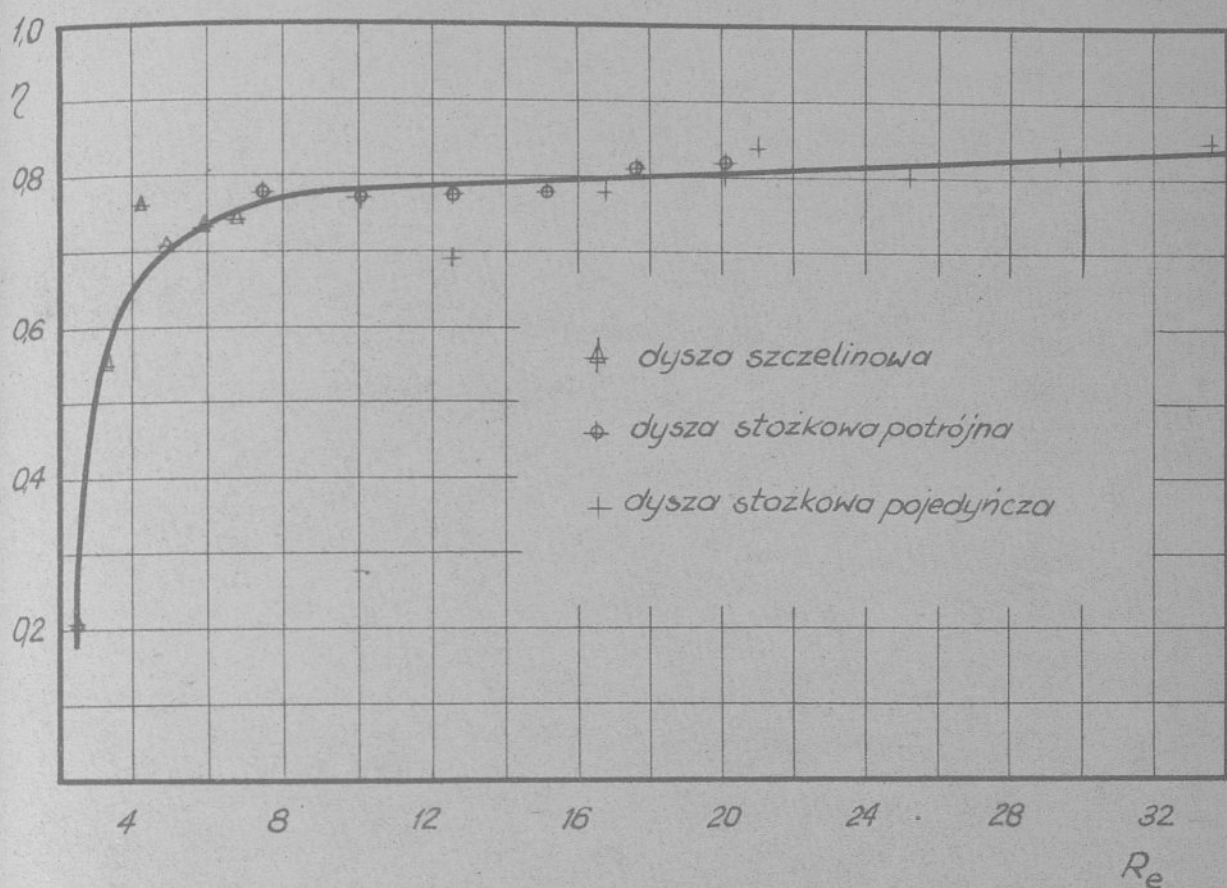
$$Re = 7540 - 20120 \text{ dla dyszy stożkowej potrójnej}$$

$$Re = 12580 - 33600 \text{ dla dyszy stożkowej pojedynczej}$$

Dla oceny wpływu burzliwości strumienia powietrza wypływającego z dyszy na skuteczność odpylania na rys. 88 zestawiono wyniki badań dla wszystkich trzech dysz w postaci zależności $\eta = f / Re$.

Z przebiegu wykreślonej krzywej wynika, że w zakresie wartości $Re = 2500 - 6000$ niewielki wzrost liczby Reynoldsa wiąże się ze znacznym wzrostem skuteczności odpylania. W zakresie wartości $Re = 10000 - 33000$ skuteczność rośnie nieznacznie liniowo wraz ze zwiększaniem się liczby Reynoldsa.

Jak wynika z rys. 87, skuteczność odpylania rośnie wraz ze zmniejszaniem się wysokości czynnej. Przyczyną tego jest głównie powiększanie się średnicy i zmniejszanie głębokości wgłębienia, tworzącego się na powierzchni cieczy w wyniku aerodynamicznego naporu strumienia gazu wypływającego z dyszy. Wiąże się to z powiększeniem promienia torów ruchu ziarn pyłu.



Rys. 88. Wykres zależności skuteczności odpylania pyłu ściernego od liczby Reynoldsa, określającej charakter przepływu strumienia powietrza wypływającego z dyszy.

10.7. Próba określenia zależności między skutecznością odpylania płuczki a parametrami charakteryzującymi podatność pyłu na wiązanie z cieczą w warunkach dynamicznych.

Zgodnie z wysuniętą w p. 1. cz. IV tezą, że na przebieg i efektywność mokrego odpylania wpływają dwie grupy czynników - jedna, ujmująca całokształt parametrów konstrukcyjnych płuczki, druga - podatność pyłu na wiązanie go z cieczą, można przedstawić skuteczną skuteczność odpylania η_p w dowolnym typie płuczki określić ogólnym wzorem

$$\eta_p = 1 - \exp K_p Y_p$$

gdzie:

X_p - wielkość charakteryzująca podatność rozpatrywanej klasy ziarnowej na wiązanie z cieczą,

Y_p - wielkość ujmująca wpływ czynników konstrukcyjnych /geometrii płuczki, rozdrobnienia cieczy, prędkości i natężenia przepływu gazu itp./ na skuteczność oddzielania rozpatrywanej klasy ziarnowej.

Autor postanowił sprawdzić słuszność wysuniętej tezy na przykładzie wyników badań nad oddzielaniem w modelu płuczki pyłów drewna świerkowego, orzechowego i dębowego.

W tabeli 9 zestawiono wyniki pomiarów skuteczności odpylania klasy ziarnowej $u_p = 16,0$ cm/s badanych pyłów oraz wyliczone na ich podstawie wartości stałej Z_p określonej wzorem

$$Z_p = \frac{X_{p1}}{X_{p2}} = \frac{\ln /1 - \eta_{p2}/}{\ln /1 - \eta_{p1}/} \quad /59/$$

gdzie:

1,2 - indeksy określające rodzaj pyłu.

Wzór /59/ wyprowadzono przy założeniu, że dla danej klasy ziarnowej wielkość Y_p jest stała dla danego odpylacza i warunków jego pracy oraz nie zależy od rodzaju oddzielanego pyłu.

T a b e l a 9.

Prędkość wypływu powietrza z dyszy v_d	Rodzaj pyłu	Skuteczność odpylania	$Z_p = \frac{\ln /1 - \eta_n/}{\ln /1 - \eta_2/}$	
m/s	$\bar{2}$	$\bar{n}$	$\bar{4}$	
1	2	3	4	
7,5	orzech	1	0,9710	0,845
	dąb	2	0,9505	1,000
	świerk	3	0,8410	1,630

1	2	3	4
10,0	orzech	1	0,9740
	dąb	2	0,9615
	świerk	3	0,8620
12,5	orzech	1	0,9560
	dąb	2	0,9580
	świerk	3	0,8815
15,0	orzech	1	0,9510
	dąb	2	0,9595
	świerk	3	0,8975
17,5	orzech	1	0,9765
	dąb	2	0,9765
	świerk	3	0,9185
20,0	orzech	1	0,9835
	dąb	2	0,9805
	świerk	3	0,9250

Na rys. 89 wyniki obliczeń przedstawiono w postaci zależności $Z_p = f /v_d/$.

Dla sprawdzenia czy istnieje korelacja między oznaczonymi wcześniej wartościami szybkości wiązania badanych pyłów /klasy ziarnowej $u_p = 16,0$ cm/s/ a skutecznością oddzielania ich w płucze uderzeniowej wyliczono wartości stałej Z_p z warunku

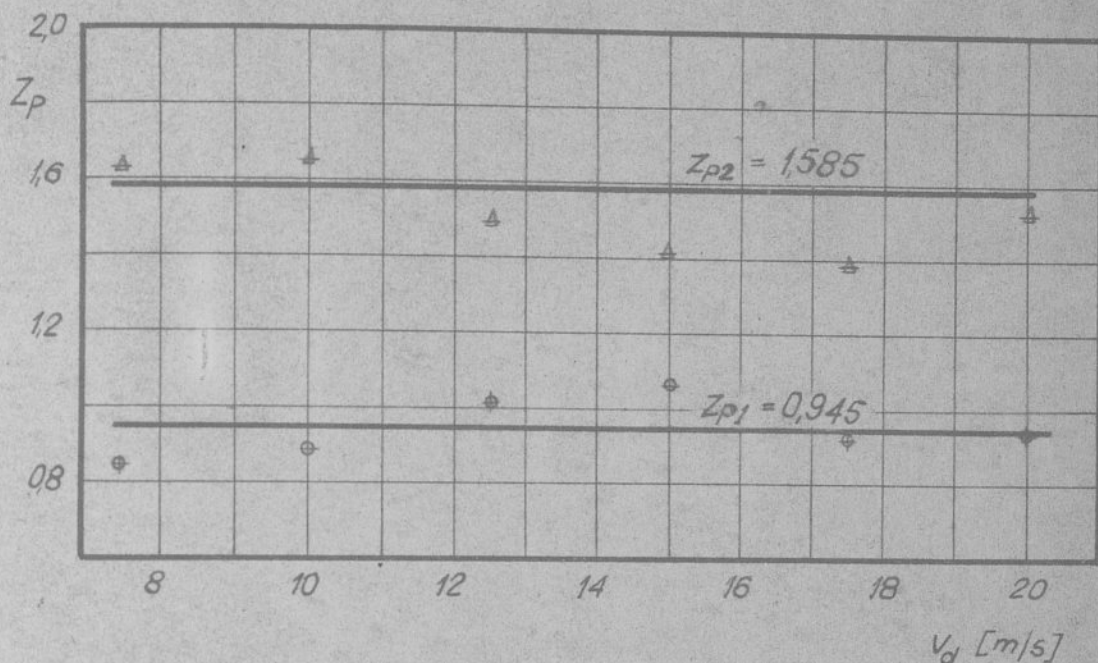
$$Z_p = \frac{c_1}{c_2} \quad /60/$$

I tak

$$Z_{p1} = \frac{c_{debu}}{c_{orzecha}} = \frac{14,52}{15,38} = 0,945$$

$$Z_{p2} = \frac{c_{\text{debu}}}{c_{\text{świerku}}} = \frac{14,52}{9,16} = 1,585$$

Wyliczone wartości naniesiono w postaci prostych na rys. 89.



Rys. 89. Wyniki badań zależności $z = f / V_d$

Porównanie przedstawionych na rys. 89 wartości stałej Z_p , określonych w oparciu o wyniki badań szybkości wiązania pyłów z cieczą z wartościami stałej Z_p , określonymi na podstawie skuteczności oddzielania tych pyłów w płuczce, wskazuje na ich dostateczną zgodność między sobą, a tym samym jest potwierdzeniem tezy wysuniętej w p. 4 cz. IV oraz słuszności wzorów /59/ i /60/ o możliwości łącznego ujęcia wpływu czynników konstrukcyjnych na przedziałową skuteczność odpylania.

10.8. Wnioski z badań nad oddzielaniem pyłu w modelu płuczki uderzeniowej.

Badania nad oddzielaniem w modelu płuczki uderzeniowej 3-ch

rodzajów pyłów drewna: świerkowego, orzechowego i dębowego wykazały, że:

- skuteczność odpylania zależy od parametrów konstrukcyjnych płuczki takich jak: kształt dyszy, prędkość wypływu powietrza z dyszy i wysokość czynna. Skuteczność odpylania rośnie wraz ze wzrostem liczby R_e określającej burzliwość strumienia wypływającego z dyszy, przy czym w zakresie $R_e = 10\ 000 - 33\ 000$ zależność tę można określić jako liniową. Skuteczność odpylania maleje ze wzrostem wysokości czynnej. Przy stałej prędkości wypływu, najwyższe skuteczności uzyskiwano stosując dyszę stożkową pojedynczą, zaś najmniejsze dla dyszy szczelinowej,
- istnieje zależność między szybkością wiązania danego pyłu z cieczą /określaną metodą dynamiczną/ a skutecznością odpylania tego pyłu w płuczce uderzeniowej. Wydaje się, że w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań można podać sposób praktycznego wykorzystania wyników badań szybkości wiązania pyłu do określania skuteczności oddzielania go /odpylania/ w dowolnym typie odpylaczy mokrych. Z dostateczną dla praktyki dokładnością można przyjąć, że dla danego typu odpylacza i określonych warunków jego pracy stała Y_p ujmująca łączny wpływ parametrów konstrukcyjnych płuczki na skuteczność oddzielania określonej klasy ziarnowej /charakteryzowanej prędkością opadania ziarn/ jest stała i niezależna od podatności pyłu na wiązanie go z cieczą. Stała ta może być określona zależnością

$$Y_p = \frac{\ln /1 - \eta_{p1}/}{c_{p1}} = \frac{\ln /1 - \eta_{p2}/}{c_{p2}} = \text{const} \quad /62/$$

gdzie:

- c_{p1}, c_{p2} - szybkości wiązania danej klasy ziarnowej pyłów 1 i 2,
 η_{p1}, η_{p2} - skuteczności oddzielania danej klasy ziarnowej pyłów 1 i 2 /przedziałowe skuteczności odpylania/ w rozpatrywanym typie płuczki.

V. WNIOSKI KOŃCOWE

Dokonany przegląd piśmiennictwa dotyczącego zagadnień mokrego odpylania, przeprowadzone badania oraz analiza wyników tych badań upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Opracowana dynamiczna metoda badania szybkości wiązania pyłu z cieczą pozwala w sposób jednoznaczny określać podatność na wiązanie z cieczą dowolnych pyłów z zachowaniem wszystkich właściwości pyłu i zapyłonego gazu, które na tą podatność mogą wpływać. Warunki badań w aparaturze są odznaczają się dużym podobieństwem do warunków, jakie występują w mokrych odpylaczach, co stanowi podstawową zaletę metody w porównaniu z dotychczas stosowanymi metodami badania zwilżalności pyłów. Wobec braku w chwili obecnej ujednoliconej metodyki badań zwilżalności pyłów, można by postulować wprowadzenie metody dynamicznej jako metody znormalizowanej.
2. Szybkość wiązania pyłu z cieczą = masa pyłu przenikającego w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni cieczy /w głąb cieczy/ lub związanego z tą powierzchnią - oznaczona

według opracowanej metody, jest parametrem charakteryzującym kinetykę procesu wiązania pyłu z cieczą. Badania wykazały, że parametr ten zależy od całokształtu fizykochemicznych własności pyłu, zapyłonego gazu i cieczy.

3. Stwierdzono ścisłą zależność między szybkością wiązania pyłów jednorodnych materiałowo a wielkością ziarn, przy czym parametrem charakteryzującym wielkość ziarn jest prędkość ich opadania. Zależność ta określona jest wzorem /52/.
4. W przypadku pyłów niejednorodnych /mieszanin ziarn różnych materiałów/ o szybkości wiązania poszczególnych klas ziarnowych decyduje skład mieszaniny materiałów tworzących te klasy.
5. Spośród przebadanych 17-tu rodzajów pyłów największą szybkością wiązania z wodą charakteryzowały się pyły, będące rozdrobnionymi substancjami mineralnymi, bądź mieszaninami tych substancji i związków organicznych. Mniejsza była szybkość wiązania pozostałych pyłów: węglowych, drzewnych i mas plastycznych.
6. Wzrost stężenia pyłu w gazie powoduje zwiększenie szybkości wiązania pyłu z cieczą, jednak w stopniu mniejszym niż przy zależności liniowej. Współzależność tych parametrów określa wzór /48/. Skuteczność wiązania pyłu z cieczą, tj. stosunek masy pyłu związanego z cieczą do masy pyłu wprowadzonego do aparatu w zapyłonym gazie, maleje ze wzrostem stężenia pyłu w oczyszczanym gazie.
7. Dla badanych pyłów stwierdzono, że wraz ze zmniejszaniem się napięcia powierzchniowego cieczy rośnie szybkość wią-

zenia go z cieczą. Zależność między tymi parametrami określają wzory /56/ i /57/.

8. Na podstawie badań nad odpylaniem powietrza z pyłów drzewnych w modelu płuczki uderzeniowej wykazano, że istnieje związek między przedziałową skutecznością odpylania /w odpylaczu/ a szybkością wiązania określonej klasy ziarnowej pyłu. Wykazano, że na podstawie znajomości przedziałowej skuteczności odpylania jednego rodzaju pyłu, szybkości wiązania poszczególnych klas ziarnowych tego pyłu oraz szybkości wiązania tych samych klas drugiego pyłu, można określić przedziałowe skuteczności odpylania tego drugiego rodzaju pyłu. Wzajemną relację między tymi czynnikami ujmuje równanie /62/. Wydaje się przy tym, że dalsze badania winny być prowadzone w kierunku określania wielkości ujmujących łącznie wpływ na skuteczność odpylania parametrów konstrukcyjnych poszczególnych typów odpylaczy.
9. Stwierdzono, że skuteczność odpylania płuczki uderzeniowej zależna jest m.in. od kształtu dyszy i prędkości wypływu z niej gazu, ogólnie zaś od stopnia burzliwości strumienia gazu wypływającego z dyszy określonego liczbą Reynoldsa. Zależność $\eta = f /Re/$ jest liniowa w zakresie $Re = 10000 - 33000$.
10. Wyniki pracy mogą być przydatne w pracach badawczych nad zagadnieniami mokrego odpylania, oznaczaniu podatności pyłów przemysłowych na zwilżanie, projektowaniu i doborze urządzeń do odpylania gazów metodami mokrymi.

L i t e r a t u r a

1. Barth W.: Staub 9, 382 /1961/
2. Andrzejewski R.: Wpływ zwilżalności pyłu na procesy odpylania w mokrych urządzeniach odpylających. Materiały konferencji n.t. Zanieczyszczenie powietrza w przemyśle chemicznym. Wisła /1965/.
3. Weber E.: Zjawiska zachodzące w procesie odpylania w odpylaczach mokrych. Materiały konferencji n.t. Nowoczesne kierunki w dziedzinie oczyszczania gazów przemysłowych metodami mokrymi. Katowice /1969/.
4. Baum K.: Staub 21, 417 /1961/
5. Juda J.: Pomiarzy zapylenia i technika odpylania. WNT. Warszawa /1968/.
6. White P., Smith S.E.: High Efficiency Air Filtration. Butterworths, London /1964/
7. Kleinschmidt R.K.; Anthony A.W.: Trans. Amer. Soc. Mech. Eng. 63, 349 /1941/
8. Stairmand C.J.: Trans. Inst. Chem. Eng. 28, 86 /1950/
9. Bosanquet C.H.: Heat. Vent. Eng. 308, 349 /1953/
10. Boucher R., Vert.G.: Genie Chimique 74, 1, 38 /1955/
11. Langmuir I., Blodgett K.B., Army Contract T-33-038-ac. 9151 Departament of War /1945/
12. Barth W.: Staub 19, 175 /1959/
13. Fuks N.A.: Mechanika aerozolej. IAN, Moskwa /1955/
14. Andrzejewski R.: Ogólna statystyczna teoria filtracji aerozoli. Prace ZBN GOF PAN
15. Andrzejewski R.: Teoretyczne podstawy filtracji aerozoli

w płuczkach z wypełnieniem i skrubierach natryskowych. Materiały konferencji n.t. Nowoczesne kierunki w dziedzinie oczyszczania gazów przemysłowych metodami mokrymi. Katowice /1969/

16. Gutowski W.: Ochrona powietrza nr 2 /1967/
17. Gutowski W.: Teoretyczne podstawy filtracji aerozoli w płuczkach barbotażowych i pianowych. Materiały konferencji n.t. Nowoczesne kierunki w dziedzinie oczyszczania gazów przemysłowych metodami mokrymi. Katowice /1969/.
18. Pikoń J.: Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 155 /1966/
19. Johnstone R.P., Roberts M.H.: Ind.Eng.Chem. 41, 2427 /1949/
20. Pozin M.E., Muchlenow I.P., Tarat E.J.: Pianowe oczyszczalniki gazu. WNT, Warszawa /1962/.
21. Pikoń J.: Przegląd mechaniczny 16, 513 /1963/.
22. Semrau K.: Staub 22, 184 /1962/.
23. Adamson A.W.: Chemia fizyczna powierzchni. PWN, Warszawa /1963/
24. Krell E.: Chem. Techn. 56, 591 /1964/
25. Gutowski W.: Zagadnienia Techniki Pyłowej. Nr 2, 14 /1965/
26. Andrzejewski R., Gutowski W.: Fizyczne własności pyłów. Śląsk, Katowice /1969/
27. Meldau R.: Handbuch der Staubtechnik. VDI-Verlag. Düsseldorf /1956-1958/
28. Rebinder P., Serb, Serbina N., Kordiukowa N.: Borba s silikozom /zbornik statiej nr 1/. AN SSSR, Moskwa /1953/
29. Denisow N.W.: Dokład k seminarium po woprosach pylentawliwanija w cwiethnoj mietalżurgii. Moskwa /1960/
30. Pozin M.E., Muchlenow I.P., Demszin W.J.: Żurnal Prikl.Chim. nr 8, 841 /1955/

31. Bierkowicz M., Grigorowa L.: *Oświetnyje Metalle*, nr 6 /1957/
32. Ciborowski J., Iwiński I.: *Przem. Chemiczny* nr 12, 719 /1962/
33. Derjagin B.W., Duchin S.S.: *Doklady AN SSSR* 111, 613 /1956/
34. Zajączkowski J.: *Odpylanie w przemyśle*. Arkady, Warszawa /1964/
35. Schmitt K.H.: *Staub* 21, 173 /1961/
36. Lapple C.E., Kamack H.J.: *Chem. Eng. Progr.* 51, 110 /1955/
37. Lenard P.: *Ann. d. Phys.* 46, 584 /1892/
38. Chapman H., Seruille: *Thunderstrom Electricity*. University of Chicago Press /1953/.
39. Buse W.: *Ann. d. Phys.* 76, 495 /1925/
40. Blanchard D.C.: *Nature* 175, 334 /1955/
41. Loeb L.B.: *Static Electrification*. Springer - Verlag, Berlin /1958/
42. Kunkel W.B.: *Appl. Phys.* 21, 820 /1950/
43. Runge W.A.: *Phil. Mag.* 25, 481 /1913/
44. Guest P.A.: *Static Electricity in Nature and Industry*. U.S. Bureau Mines Bull. 36 B. Washington /1933/
45. Whitman V.E.: *Phys. Rev* 28, 1237 /1926/
46. Szaynok A., Syczewska K., Głowiak B.: *Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej* nr 112 /1965/
47. Malcher J.: *Elektryzacja pyłu wytworzonego z niektórych przewodników typu A^{II} B^{IV}*. Praca doktorska, Wrocław /1967/.
48. Wolniewicz W.: *Badania nad elektryzacją pyłu wytworzonego z niektórych gatunków szkła oraz kwarcu*. Praca doktorska, Wrocław /1968/
49. Rutkowski J., Głowiak B.: *Ochrona Pracy* 270, 26 /1969/
50. Lutyński J.: *Elektrostatyczne odpylanie gazów*. WNT, Warszawa /1965/.

51. Johnstone N.F.; Peild B.B.; Tassler M.C.: Ind. Engng. Chem. 46, 1501 /1954/
52. Adam H.K., Jessop G.: J. Chem. Soc. s. 1863 /1925/
53. Ablett R.: Phil. Mag. 46, 244 /1923/
54. Piekarczyk J., Gogoliński H.: Rudy i Metale Nieżelazne, nr 4 196 /1964/
55. Rebinder P. i inni: Koll. Żurnal 65, 268 /1933/
56. Falkowicz B.: Tekstylna Promyszl. nr 4 /1954/
57. Gogoliński H., Gutowski W.: Prace Instytutu Metali Nieżelaznych nr 526, Gliwice /1960/
59. Bajer B.: Prace Centralnego Instytutu Ochrony Pracy nr 57 /1968/
60. Bretsznajder S.: Zagadnienia projektowania procesów przemysłu chemicznego, PWT, Warszawa 1956.
61. Polska Norma PN-64/Z-01001. Pyły, papylony gaz, urządzenia odpylające. Nazwy, określenia i symbole.