

P O L S K A   A K A D E M I A   N A U K  
I N S T Y T U T   M A S Z Y N   P R Z E P Ł Y W O W Y C H

PRACE  
I N S T Y T U T U   M A S Z Y N  
P R Z E P Ł Y W O W Y C H

T R A N S A C T I O N S  
O F   T H E   I N S T I T U T E   O F   F L U I D - F L O W   M A C H I N E R Y

61

W A R S Z A W A — P O Z N A Ń   1 9 7 3

---

P A Ń S T W O W E   W Y D A W N I C T W O   N A U K O W E

---

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPLYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

\*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW  
MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

---

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS  
KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR  
JÓZEF ŚMIGIELSKI · ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA - EDITORIAL OFFICE  
Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 80-952 Gdańsk  
ul. Gen. J. Fiszer 14, tel. 41-12-71

Copyright  
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe  
Warszawa 1973

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 410+90 egz.	Oddano do składania 22 VIII 1972 r.
Ark. wyd. 9,0. Ark. druk. 7,5	Podpisano do druku 14 III 1973 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 62 g	Druk ukończono w marcu 1973 r.
Nr zam. 554/128	D-4/155. Cena zł 27,-

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

STEFAN KRZECZKOWSKI

Gdańsk

## Badanie eksperymentalne wpływu wzajemnego stosunku sił aerodynamicznych i grawitacyjnych na powstawanie strug z warstewki wody

W pracy przedstawiono wyniki eksperymentalnego badania dezintegracji warstewki wody pod działaniem sił aerodynamicznych i grawitacyjnych.

### Ważniejsze oznaczenia

$b$  – długość płytki,

$$B = \frac{V_1 \mu_1}{\delta d g \rho_2}$$

$d$  – średnica strugi cieczy,

$D$  – maksymalna średnica kropli powstałej z rozpadu strugi,

$g$  – przyspieszenie ziemskie,

$l$  – długość strugi,

$q$  – objętościowe natężenie przepływu cieczy odniesione do szerokości płytki,

$S$  – szerokość strugi przy krawędzi spływu,

$V$  – prędkość,

$\delta$  – grubość warstwy przyściennej fazy gazowej przy krawędzi spływu,

$\lambda$  – średni rozstaw strug,

$\mu$  – dynamiczny współczynnik lepkości,

$\nu$  – kinematyczny współczynnik lepkości,

$\sigma$  – współczynnik napięcia powierzchniowego,

$\rho$  – gęstość.

### Indeksy

1 – dotyczy gazu,

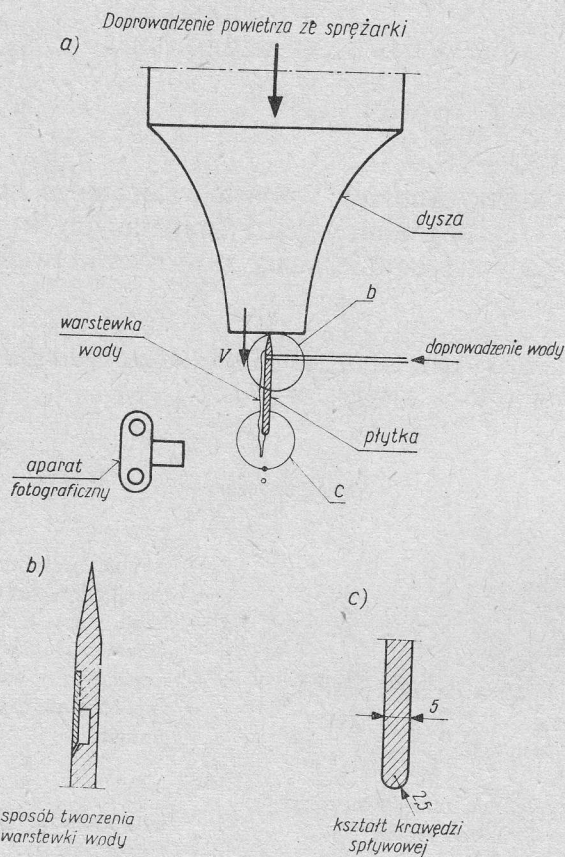
2 – dotyczy cieczy.

## 1. Wstęp

Niniejsze opracowanie zawiera krótkie omówienie rezultatów eksperymentalnego badania procesu rozpadu warstewki wody przy zmiennym stosunku sił aerodynamicznych i grawitacyjnych, determinujących ten rozpad. Jest ono pewnym nawiązaniem do prac [1] i [2]. Pierwsza z nich dotyczyła wpływu sił aerodynamicznych, druga – grawitacyjnych; w tej ostatniej sformułowano pewne prawidłowości opisujące mechanizm tworzenia się strug i kropeł. W przedstawionej tu pracy prześledzono ewolucję tych prawidłowości przy obecności sił aerodynamicznych intensyfikujących dezintegrację filmu wodnego.

## 2. Opis stoiska badawczego

Badania wykonano na stoisku przedstawionym schematycznie na rysunku 1. Na płaskiej, pionowo ustawionej płytce, umieszczonej u wylotu dyszy zasilanej powietrzem, tworzą warstwą wody, która spływając po powierzchni rozpadała się na krawędzi



Rys. 1

spływowej tworząc strugi i krople. Źródłem powietrza była 6 stopniowa sprężarka promieniowa; prędkości powietrza zmieniano w zakresie  $V_1 = 0 \div 40$  m/s. Liczba Reynoldsa dla powietrza  $Re_1 = V_1 b / \nu_1$  zawierała się w granicach  $\sim 0 \div 6 \cdot 10^5$ . Wymiary dyszy u wylotu wynosiły  $100 \times 125$  mm, wymiary płytki –  $200 \times 100 \times 5$  mm. Wodę podawano przez szczelinę (rys. 1b) mierząc jej natężenie przepływu. Natężenie przepływu odniesione do szerokości strugi wynosiło  $q = 0,5$  oraz  $1,0$  g/cm $\cdot$ s (przy mniejszych wartościach nie udało się utrzymać jednolitej warstewki wody na płytce). Liczba Reynoldsa dla wody  $Re_2 = q / \nu_1$  wynosiła około 50 oraz 100.

Rozpad warstewki wody rejestrowano aparatem fotograficznym współpracującym

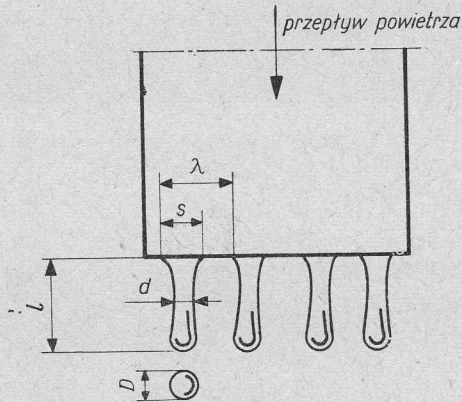
z lampą iskrową o czasie ekspozycji rzędu  $10^{-6}$  s. Zdjęcia fotograficzne pozwalały na odtworzenie struktury strug i kropeł w pięciokrotnym powiększeniu.

### 3. Rezultaty badań

Uzyskane w trakcie eksperymentów serie zdjęć fotograficznych (przykładowe egzemplarze pokazano na rys. 3÷6) wykorzystano do określenia geometrii strug powstających z warstewki wody. Zdecydowano się na określanie kształtów strug następującymi wyzamiarami (rys. 2):

- maksymalna długość strugi –  $l$ ,
- przeciętna średnica strugi –  $d$ ,
- szerokość strugi przy krawędzi spływu –  $S$ ,
- średni rozstaw strug –  $\lambda$ ,

Ponadto określono maksymalne średnice kropeł powstałych z rozpadu strug –  $D$ .



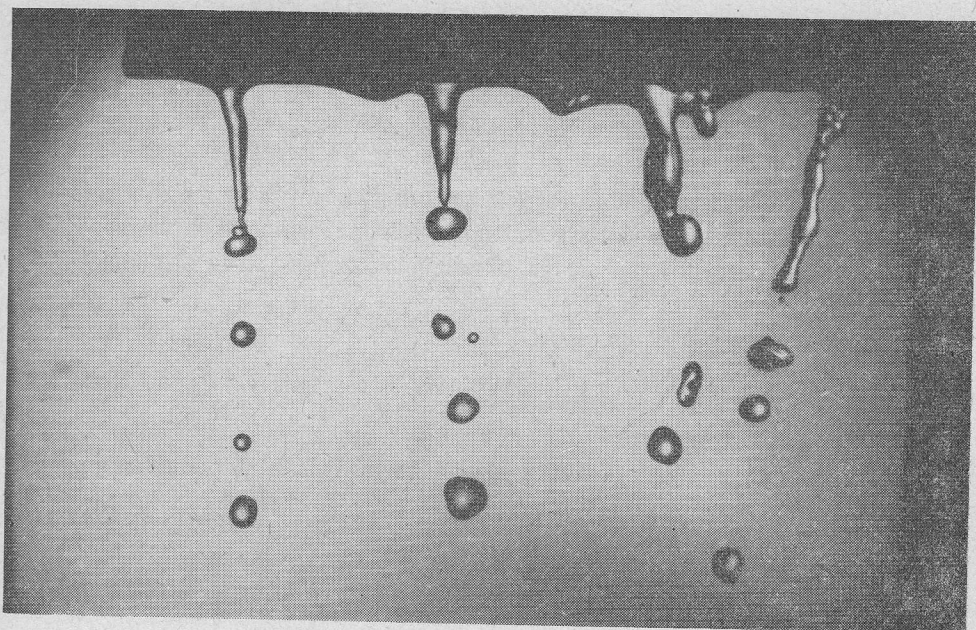
Rys. 2

Wymienione wielkości geometryczne przedstawiono w postaci bezwymiarowej, analogicznej do liczby Webera (określającej stosunek sił grawitacyjnych i kapilarnych):

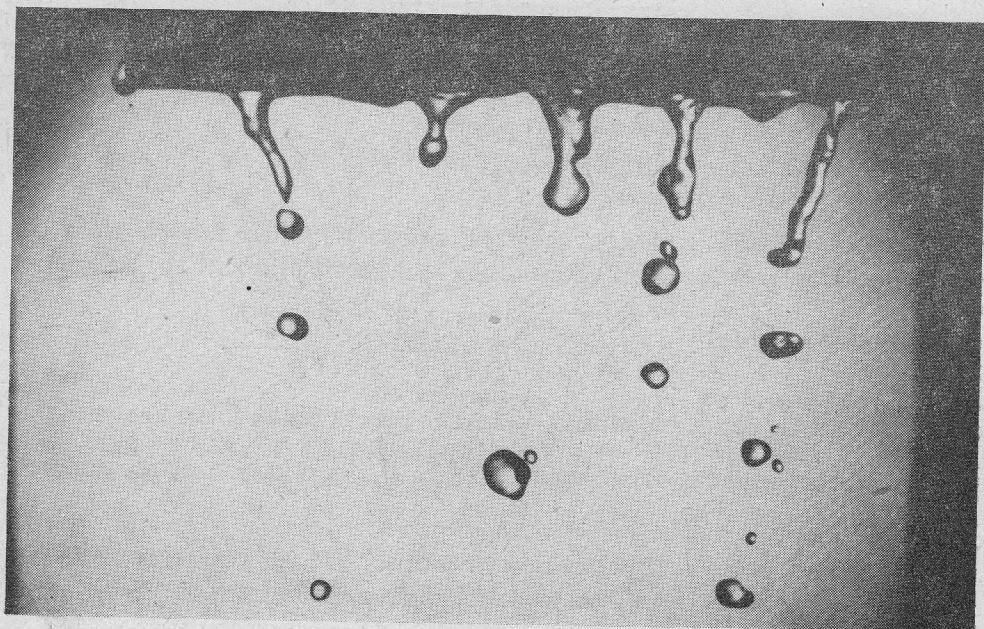
$$\sqrt{\frac{\rho_2 g l^2}{\sigma}}, \quad \sqrt{\frac{\rho_2 g d^2}{\sigma}}, \quad \sqrt{\frac{\rho_2 g S^2}{\sigma}}, \quad \sqrt{\frac{\rho_2 g \lambda^2}{\sigma}}.$$

Zmianę powyższych parametrów ujęto w funkcji bezwymiarowego współczynnika  $B = \frac{V_1 \mu_1}{\delta d g \rho_2}$ , proporcjonalnego do stosunku sił lepkości i grawitacji, działających na element strugi cieczy\*. Rezultaty eksperymentów przedstawiono na wykresach (rys. 7, 8, 9). Zwraca uwagę znaczny rozrzut punktów, wynikający jak się wydaje głównie z charakteru badanego zjawiska (niestabilności w samym filmie, na które nakładają się wymuszenia

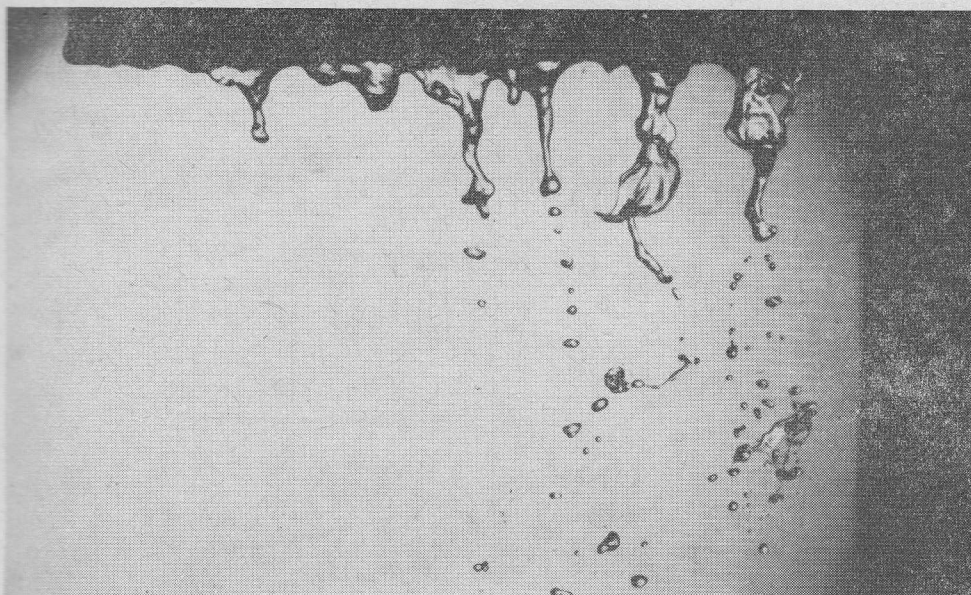
\* Grubość warstwy przyściennej na krawędzi spływowej określano tu znaną formułą =  $0,37 b \left( \frac{V_1 b}{\nu_1} \right)^{-1/5}$ .



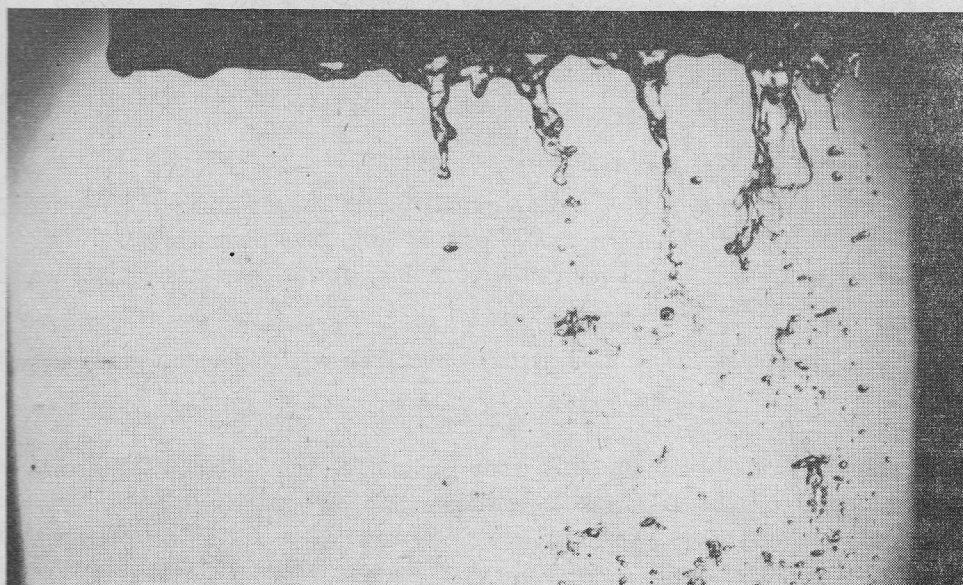
Rys. 3.  $B=0$  ( $V_1=0$ )



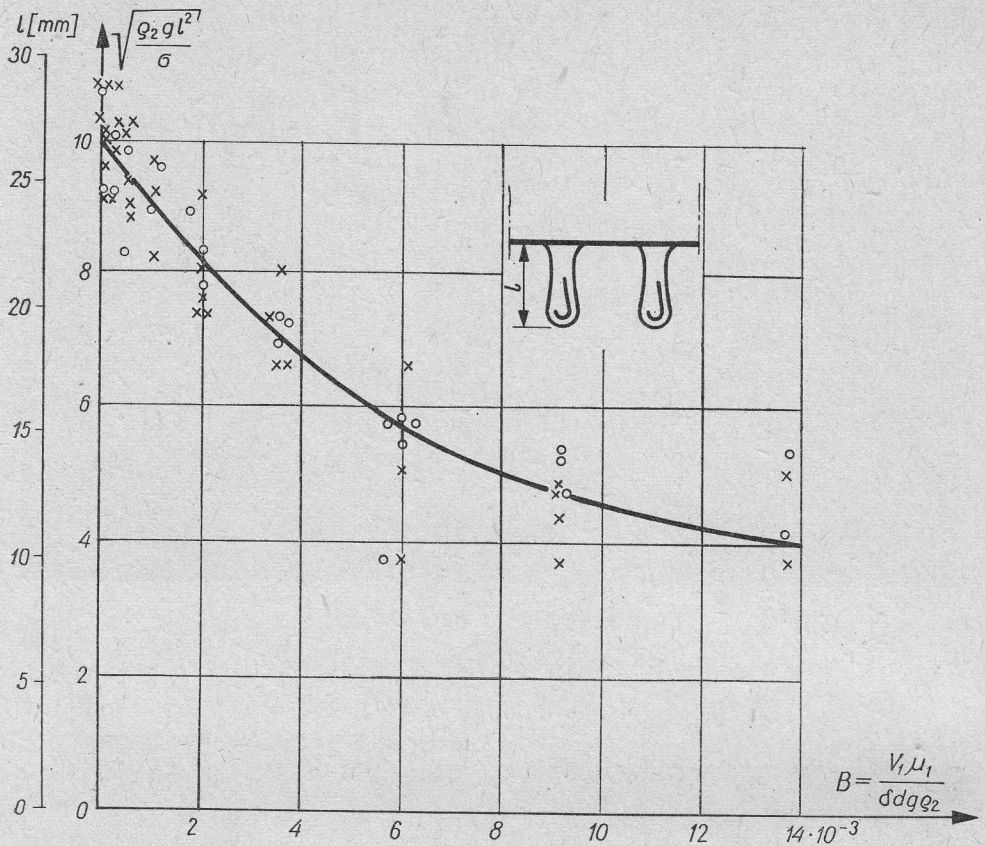
Rys. 4.  $B=0,23 \cdot 10^{-3}$  ( $V_1=5\text{m/s}$ )



Rys. 5.  $B=2 \cdot 10^{-3}$  ( $V_1=20\text{m/s}$ )



Rys. 6.  $B=6 \cdot 16^{-3}$  ( $V_1=30\text{m/s}$ )



Rys. 7

od przepływu powietrza). Wpływ błędów pomiarowych na ten rozrzut nie jest duży, ocenia się go na 5% przy pomiarze  $l$ ,  $\lambda$ ,  $S$  oraz na 20% przy pomiarze  $d^*$ .

Podane na wykresach wyniki pomiarów pozwalają sformułować następujące wnioski o charakterze jakościowym:

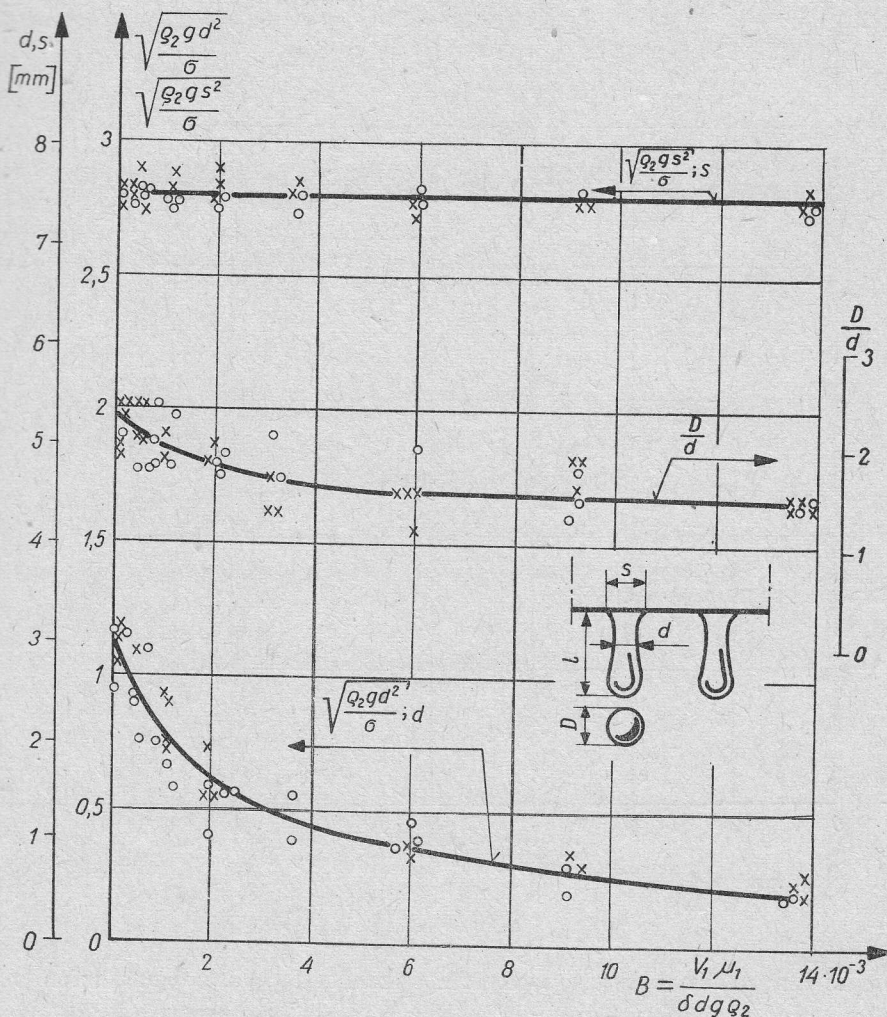
1. Wraz z rosnącym udziałem sił aerodynamicznych w stosunku do grawitacyjnych (rosnącym parametrem  $B = \frac{V_1 \mu_1}{\delta dg \rho_2}$ )

a) następuje ewolucja kształtu strug wody „cylindrycznych” ( $d \cong \text{const}$ ) na stożkowe, o średnicy malejącej wraz z odległością od krawędzi splywowej (rys. 3÷6),

b) maleją długości strug  $l$  (rys. 7),

\*Długość strugi oraz jej szerokość w krawędzi splywu określano biorąc wartość maksymalną z serii pomiarów dla określonego miejsca na krawędzi splywu; średnice uśredniono przez aproksymowanie nieregularnego kształtu strugi walcem.





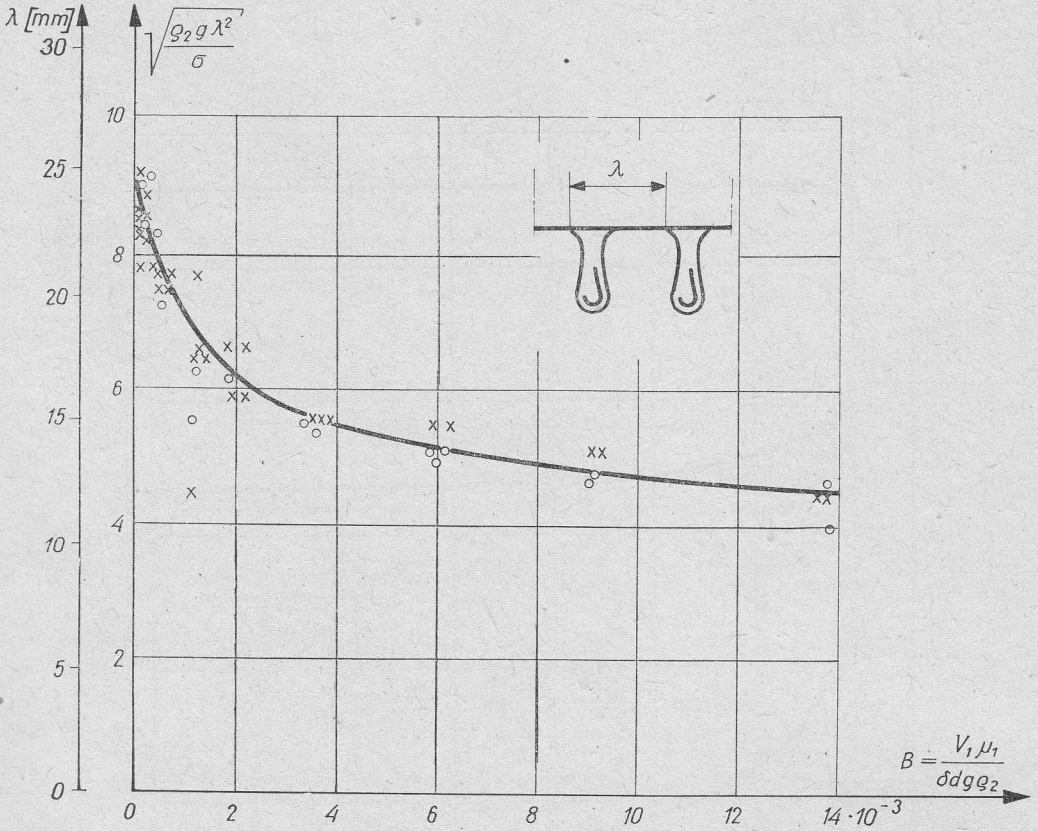
Rys. 8

- c) maleją średnice strug  $d$  (rys. 8),  
 d) maleją odległości między strugami  $\lambda$  (rys. 9).

2. Szerokości strug przy krawędzi spływu –  $S$  pozostają stałe, niezależne od zmiany parametru  $B$ .

3. Stosunek średnic kropeł powstałych z rozpadu strug wynosi  $D/d \approx 2$  dla parametru  $B=0$  (podobnie, jak dla strugi cieczy swobodnie rozpadającej się na krople [3]) wykazując nieznacznie tendencję malejącą przy wzroście tego parametru (rys. 8).

4. Natężenie przepływu warstewki wody – w realizowanym zakresie zmienności – nie oddziaływało w sposób zauważalny (wykraczający poza zakres fluktuacji form i błędów pomiarowych) na wyniki pomiarów.



Rys. 9

W miarę wzrostu udziału sił aerodynamicznych zanika stopniowo regularność wymiarów i kształtów strug charakterystyczna dla małych wartości parametru  $B$  ( $B < 10^{-3}$ ), rośnie fluktuacja form, tworzą się i zanikają nowe strugi (stąd rozrzut wartości  $\lambda$ ). Przy wartościach  $B > 6 \cdot 10^{-3}$  obserwuje się ciągłą fluktuację form przy zachowaniu niezmiennego w zasadzie mechanizmu rozpadu warstewki wody.

Praca wpłynęła do Redakcji w marcu 1972 r.

#### Literatura

- [1] R. Puzyrewski, S. Krzeczowski, *Niektóre wyniki badań nad rozdrabnianiem warstewki wody i ruchem kropli w śladzie aerodynamicznym*. Prace IMP, z. 29 - 31, 1966.
- [2] R. Puzyrewski, E. E. Żukouski, *Desintegration of a Liquid Sheet Due to Gravity Force*. Fluid Dynamics Transaction, Vol. 4, 1969, p. 619 - 633.
- [3] R. S. Brodkey, *The Phenomena of Fluid Motions*. 1967.

## Экспериментальное исследование взаимного влияния отношения аэродинамических и гравитационных сил на возникновение струй из водяной пленки

### Резюме

Работа касается дезинтеграции пленки жидкости, текущей по вертикальной поверхности и разрывающейся на струи под влиянием гравитационных и аэродинамических сил (рис. 3 ÷ 6).

Представлены здесь результаты экспериментального исследования влияния переменного отношения аэродинамических и гравитационных сил (определенного коэффициентом  $B$ ) на геометрию струй, возникающих вследствие разрыва водяной пленки (рис. 7 ÷ 9). Схема измерительной системы показана на рис. 1.

## Experiments on the Influence of Interaction between Aerodynamic and Gravitational Forces on the Formation of Rivulets from a Film of Water

### Summary

A film of water flowing down a vertical surface, disintegrating into rivulets under the influence of aerodynamic and gravitational forces (figs 3 - 6) is considered. Results of the experimental investigation into the influence of the variable ratio of aerodynamic forces to gravitational ones (expressed by coefficient  $B$ ) on the geometry of rivulets formed from the disintegrating water film (figs 7 - 9) have been presented. The experimental set-up is shown in fig. 1.