

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPIYWOVYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPIYWOVYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

74

WARSZAWA—POZNAN 1977

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 PRZEPŁYWOWYCH

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
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA — EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN,
80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, ul. Gen. Józefa Fiszer 14, tel. 41-12-71

Copyright

by Państwowe Wydawnictwo Naukowe

Warszawa 1977

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 350+90 egz.	Oddano do składania 1 II 1977 r.
Ark. wyd. 13,5. Ark. druk. 10,25.	Podpisano do druku 2 VIII 1977 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g.	Druk ukończono w sierpniu 1977 r.
Nr zam. 72/239, 70×100 cm. U-1/466.	Cena zł 42,—

DRUKARNIA UNIwersYTETU IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

KRYSTYNA NAMIEŚNIK, LEON BITEL, EDWARD GOMUŁKA,
TADEUSZ KRÓL

Gdańsk

Automatyczny optyczny pomiar rozkładu grubości warstwy cieczy na stanowisku analogii hydrogazodynamicznej*

W pracy przedstawiono stanowisko do badania rozkładu grubości spływającej warstwy cieczy, modelującej przepływ gazu. Pomiar rozkładu grubości wykonywany jest automatycznie, na zasadzie pomiaru osłabiania światła przez badaną warstwę.

1. Wstęp

Przepływ ściśliwy gazu przez kanały płaskie o zadanym kształcie lub opływ ściśliwy gazu wokół płaskich ciał o zadanych kształtach może być przedstawiony za pomocą modelu badanego przepływu, wykorzystującego analogie między ściśliwym przepływem gazu a swobodnym przepływem warstwy cieczy. Taka zasada modelowania ściśliwego przepływu gazu nazywana jest analogią hydrogazodynamiczną.

Podstawą analogii hydrogazodynamicznej jest podobieństwo równań zachowania masy i pędu, opisujących izentropowy przepływ płaski gazu ściśliwego oraz równań, opisujących swobodny przepływ warstwy cieczy w polu grawitacyjnym. Zachodzą między nimi następujące różnice: w równaniach opisujących przepływ gazu występuje gęstość gazu oraz wykładnik adiabaty k , natomiast w równaniach opisujących przepływ warstwy cieczy występuje grubość warstwy cieczy oraz liczba 2 zamiast wykładnika k .

W celu wykorzystania metody analogii hydrogazodynamicznej do analizy ilościowej modelowanego przepływu, należy wykonać pomiar rozkładu grubości warstwy cieczy znajdującej się w takich samych warunkach geometrycznych jak modelowany przepływ gazu. Otrzymany rozkład grubości warstwy cieczy można następnie interpretować jako rozkład gęstości gazu w modelowanym przepływie płaskim. Rozkład ten może służyć jako dane wejściowe do dalszego opracowania i określenia innych parametrów i efektów gazodynamicznych opisujących badany przepływ.

Celem pracy opisanej w niniejszym opracowaniu było zbudowanie układu pomiarowego do szybkiej rejestracji grubości warstwy cieczy w wielu punktach siatki współrzędnych, w obszarze modelowanego przepływu, na stanowisku analogii hydrogazodynamicznej w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku.

* Praca wykonana w ramach problemu resortowego PAN 19, grupa tematyczna 2.

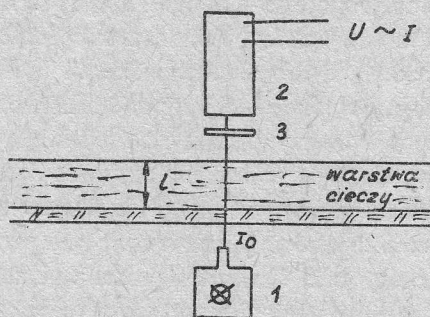
2. Zasada pomiaru grubości warstwy cieczy

Spośród możliwych metod pomiaru grubości warstwy cieczy wybrano metodę wykorzystującą osłabienie światła przez przepływającą warstwę cieczy. Metoda ta okazała się najłatwiejsza w realizacji — pozwalała na szybki, bezstykowy pomiar grubości i dawała możliwość przekształcenia sygnału świetlnego na sygnał elektryczny, za pomocą fotopowielacza.

Załóżmy, że wiązka światła monochromatycznego o natężeniu I_0 przechodzi przez warstwę ośrodka osłabiającego (rys. 1). Natężenie wiązki po przejściu przez warstwę o grubości l będzie wynosiło

$$I = I_0 e^{-\xi l}, \quad (1)$$

gdzie ξ jest współczynnikiem ekstynkcji, który określa własności osłabiające danego ośrodka. Jest on związany ze współczynnikiem absorpcji w przypadku pochłaniania światła przez badaną warstwę cieczy, lub ze współczynnikiem absorpcji roztworu pochłaniającego światło. Jego wartość może być wówczas dobierana poprzez zmianę stężenia roztworu. W przypadku cieczy zmętnionej, współczynnik ξ będzie zależny od własności rozpraszających wtrąceń zmętniających oraz ich koncentracji. W ogólnym przypadku, współczynnik osłabiania ξ określa własności osłabiające badanego ośrodka, na które składają się wszystkie trzy wymienione wyżej efekty.



Rys. 1. Schemat ideowy metody pomiaru

W przypadku zastosowania wody jako czynnika przepływającego, efekty osłabiania światła otrzymuje się dopiero w podczerwieni (np. dla $\lambda = 1,14 \mu$) lub w nadfiolecie. W celu uzyskania efektu osłabiania światła dla długości fal światła z zakresu światła widzialnego, należy w wodzie rozpuścić substancję absorbującą światło widzialne, np. nadmanganian potasu (KMnO_4). Kontrolując stężenie tego roztworu można dobierać wartości współczynnika ekstynkcji ξ tak, aby dokładność pomiaru była najlepsza dla aktualnego zakresu grubości warstwy cieczy. Współczynnik ekstynkcji można określić poprzez pomiar natężeń I_1 i I_2 osłabionych wiązek światła odpowiadających znanym wzorcowym grubościom

warstwy l_1 i l_2

$$\xi = \frac{\ln I_2 - \ln I_1}{l_1 - l_2}. \quad (2)$$

Mierzona grubość warstwy l możemy określić ze wzoru (3) na podstawie zmierzonego natężenia wiązki światła I

$$l = l_1 + (l_2 - l_1) \frac{\ln I - \ln I_1}{\ln I_2 - \ln I_1}. \quad (3)$$

3. Opis układu pomiarowego

Obiektem, który użyto do wykorzystania przedstawionej wyżej zasady pomiaru, była warstwa wodnego roztworu nadmanganianu potasu, przepływająca przez otwarty kanał o przezroczystym szklanym dnie, nazywany wanną analogową (rys. 8). Ustawienie na drodze płynącej warstwy cieczy przeszkód (np. modeli profili łopatek turbinowych) powodowało charakterystyczny rozkład grubości warstwy cieczy, modelujący rozkład gęstości gazu opływającego łopatkę w turbinie. Na badaną warstwę cieczy od dołu, prostopadłe do szklanego dna wanny, padała równoległa wiązka światła z kolimatora, w którym znajdowała się żarówka (12 V, 50 W), zasilana z zasilacza stabilizowanego. Wiązka ta przechodząc przez warstwę cieczy zmieniała kierunek w przypadku gdy przecinała zboczę fali, natomiast przebiegała bez zmiany kierunku jeśli warstwa cieczy była idealnie płaska. Następnie, jako wiązka światła osłabionego padała na filtr monochromatyczny przepuszczający światło o długościach fal około $0,56 \mu$ (filtr interferencyjny Zeiss), a następnie na fotokatodę fotopowielacza (EMI9556QB). W trakcie przechodzenia wiązki przez górną granicę cieczy część energii wiązki ulega odbiciu. Ta strata energii jest funkcją kąta padania wiązki. Jak wynika z analizy [1], na podstawie wzorów Fresnela, błąd wynikający z nieuwzględnienia zmian współczynnika odbicia w funkcji kąta padania, ma istotne znaczenie dopiero przy odchyleniu powierzchni cieczy od poziomu powyżej 40° , a więc dla zboczy bardzo stromych fal.

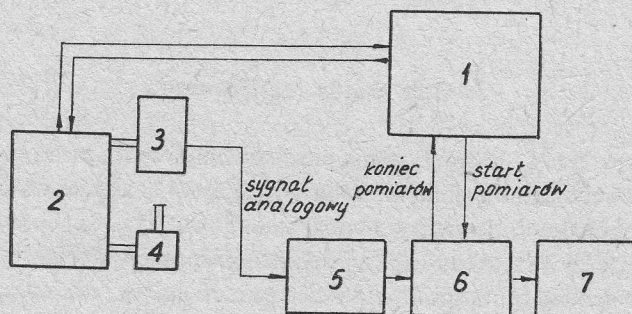
Natężenie wiązki osłabionej jest przetwarzane przez fotopowielacz na natężenie prądu płynącego w obwodzie wyjściowym fotopowielacza. W obwodzie tym umieszczono rezystor $1 \text{ M}\Omega$. Spadek napięcia na tym rezystorze mierzono za pomocą woltomierza cyfrowego typ V530 i rejestrowano za pomocą układu opisanego w punkcie 4.

4. System automatycznej rejestracji grubości warstwy cieczy w węzłach siatki współrzędnych

W celu szybkiego pomiaru grubości warstwy cieczy w wielu punktach przepływu (duża liczba danych), wykonano układ do automatycznego, sekwencyjnego wybierania punktu pomiaru grubości oraz układ automatycznej, wielokrotnej rejestracji grubości cieczy w tym punkcie.

4.1. Schemat blokowy systemu

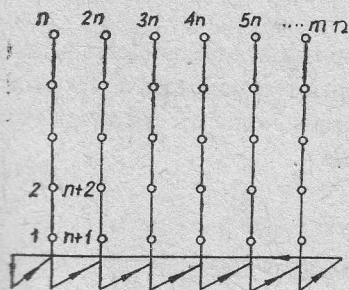
Schemat blokowy (rys. 2) zawiera trzy podstawowe człony: układ sterujący wybieraniem punktu pomiarowego ROB1 (1), obiekt sterowania, którym jest wózek pomiarowy (2) wraz z zamontowanymi na nim fotonowielaczem (3) i kolimatorem (4) i układ przetwarzania danych, w skład którego wchodzi woltomierz cyfrowy V530 (5), uniwersalny przetwornik danych MULTI-1 (6) (skonstruowany w Zakładzie Gazodynamiki IMP) oraz perforator taśmy DT 105 (7).



Rys. 2. Schemat blokowy systemu rejestracji

4.2. Zasada działania systemu

System powinien zapewnić kolejne wybieranie ściśle określonych położzeń wózka pomiarowego i wykonywanie określonej liczby pomiarów w danym położeniu wózka. Jako najprostszą w realizacji, ze względu na łatwość sterowania, wybrano siatkę kwadratową o podstawowym wymiarze oczek 5×5 mm, w węzłach której zatrzymuje się wózek. Kolejność wybierania węzłów pokazano na rys. 3.



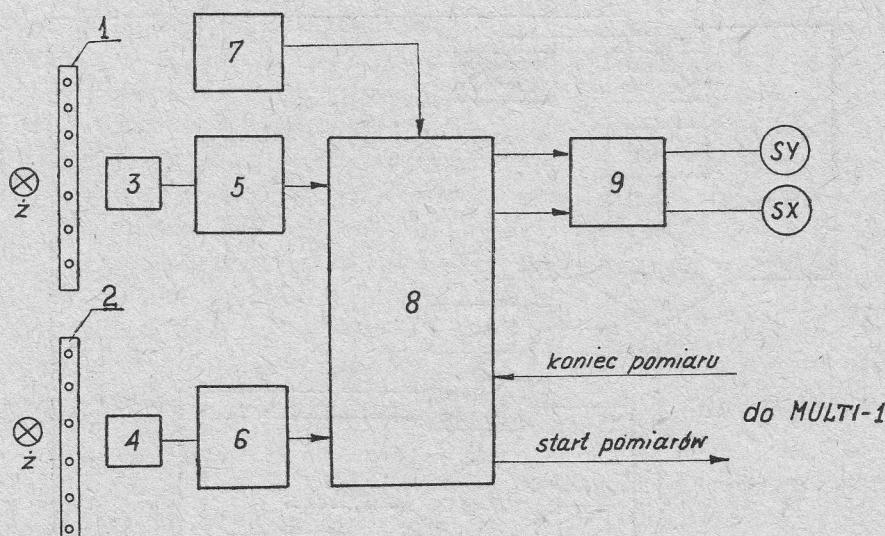
Rys. 3. Droga zakreślona przez wózek w czasie pomiarów

W celu wyeliminowania błędów, spowodowanych histerezą układu pomiaru położenia wózka, po każdym ruchu rejestrującym (do góry linii) wózek wykonuje ruch jałowy (na dół), po czym przechodzi do następnej linii o współrzędnej zwiększonej o wielokrotność odstępu 5 mm.

4.3. Układ sterujący wybieraniem punktu pomiarowego ROB1

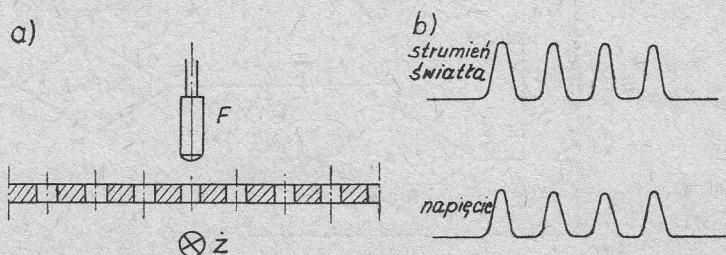
4.3.1. Schemat blokowy (rys. 4)

Układ sterujący można podzielić na trzy zasadnicze bloki: blok określania położenia wózka, blok zapewniający przesuw wózka i blok logiki (8). Do bloku określania położenia wózka należą listwy kodowe osi X i Y (1, 2), fotodiody (3, 4), żarówki ($\dot{Z}$), liczniki nastawne (5, 6) i zespół wyłączników krańcowych (7). Listwy kodowe (1, 2) mają otwory o średnicy 2 mm



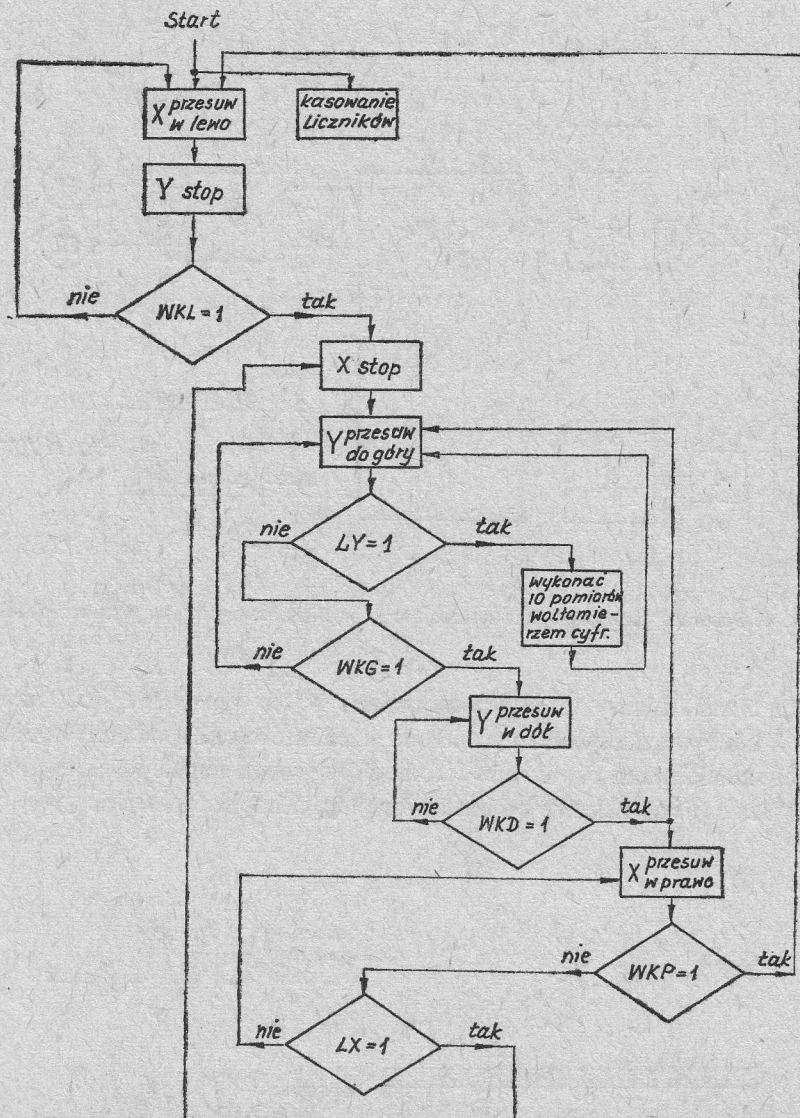
Rys. 4. Schemat blokowy układu sterującego wybieraniem punktu pomiaru ROB1

w odstępach 5 mm. Listwy te są przymocowane w ten sposób, że przy ruchu wózka w kierunku X lub Y wiązka światła wytwarzana przez żarówkę ($\dot{Z}$) pada na fotodiodę 3 lub 4 (rys. 5a). Na skutek zmian oświetlenia fotodioda wytwarza impulsy elektryczne (rys. 5b). Liczniki nastawne (5 i 6), zależnie od nastawionej ilości impulsów wejściowych, dają jeden



Rys. 5. Zasada działania przetwornika położenia

impuls wyjściowy na 1, 2, 3 lub 4 impulsy wejściowe. W ten sposób można skokowo regulować odległość punktów pomiarowych. Blok przesuwu wózka składa się z układu sterowania silników (9) i silników osi X (Y) – SX (SY) wraz z przekładniami. Układ sterowania silnikami zapewnia wykonywanie rozkazów podawanych przez układ logiczny (8). Jego drugim zadaniem jest dostarczenie mocy niezbędnej do napędu silników, ponieważ moc dostarczana przez układ logiczny jest niewystarczająca.



Rys. 6. Algorytm pracy układu sterującego ROBI

Włączniki krańcowe: WKG – górny, WKD – dolny, WKP – prawy, WKL – lewy, LX – licznik X, LY – licznik Y

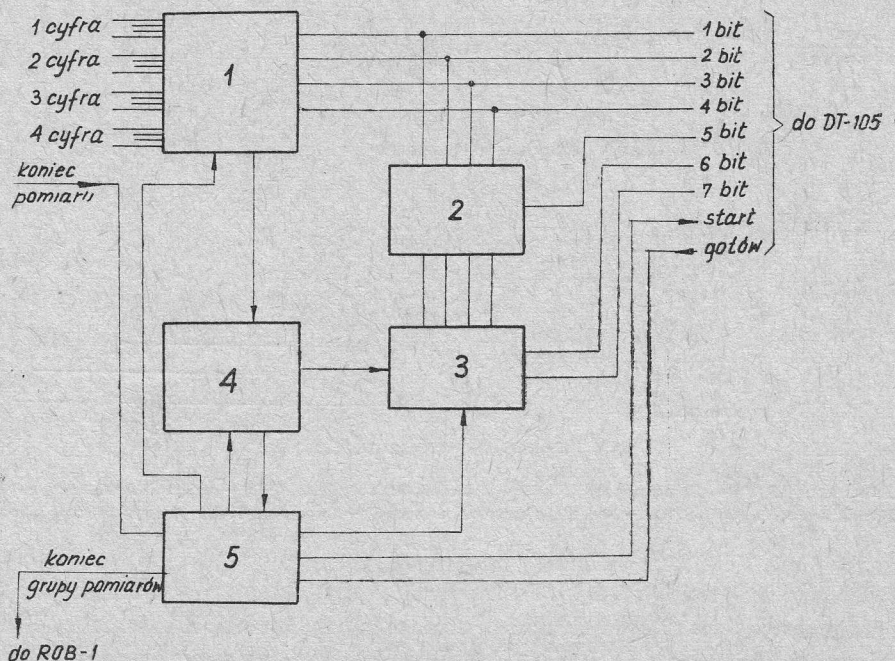
4.3.2. Algorytm pracy układu ROB1

Ścisłe określoną kolejność działań układu posuwu i odpowiednie reagowanie na sygnały pochodzące z bloku wykrywania położenia wózka zapewnia układ logiczny (8). Umożliwia on wykonywanie przez automat ROB1 algorytmu przedstawionego na rys. 6. Układ logiczny jest układem sekwencyjno-kombinacyjnym zminimalizowanym metodami opisanymi np. w [2].

4.4. Układ przetwarzania danych

Napięcie elektryczne z fotopowielacza jest nośnikiem informacji o poziomie cieczy znajdującej się pomiędzy kolimatorem a katodą fotopowielacza. Napięcie to ma wartość ciągle zmieniającą się w procesie pomiarowym, zależnie od grubości warstwy cieczy przepływającej między kolimatorem a fotopowielaczem. Celem uzyskania miarodajnych wyników, postanowiono rozpatrywać średnią arytmetyczną z wielokrotnie powtarzanych pomiarów, w dyskretnych przedziałach czasowych. Jako przetwornik próbkujący wielkość napięcia mierzonego zastosowano woltomierz cyfrowy V-530. Zasada działania woltomierza opiera się na podwójnym całkowaniu, co pozwala na uzyskanie dużego współczynnika tłumienia zakłóceń. Woltomierz ten ma wyjścia w kodzie BCD dogodne do dołączenia zewnętrznych układów rejestracji. Czas repetycji pomiaru można regulować w zakresie $120 \text{ ms} \div 2 \text{ s}$.

Kod napięcia z wyjść woltomierza można zapisywać na różnych nośnikach i na wiele sposobów. Ponieważ napięcia te stanowią część danych do opracowanego numerycznego programu obliczania na maszynie cyfrowej, zdecydowano się na rejestrowanie ich na

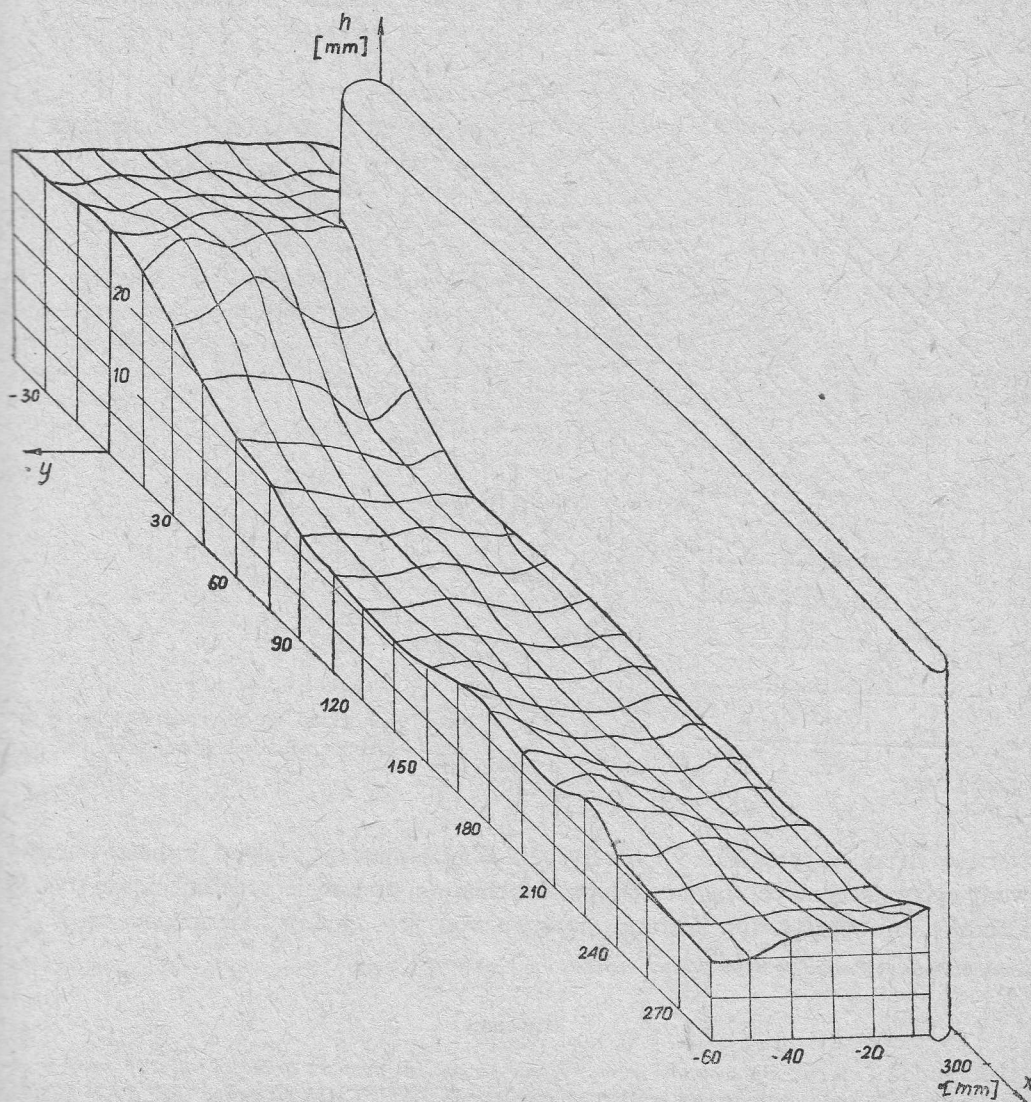


Rys. 7. Schemat blokowy uniwersalnego przetwornika danych MULTI1

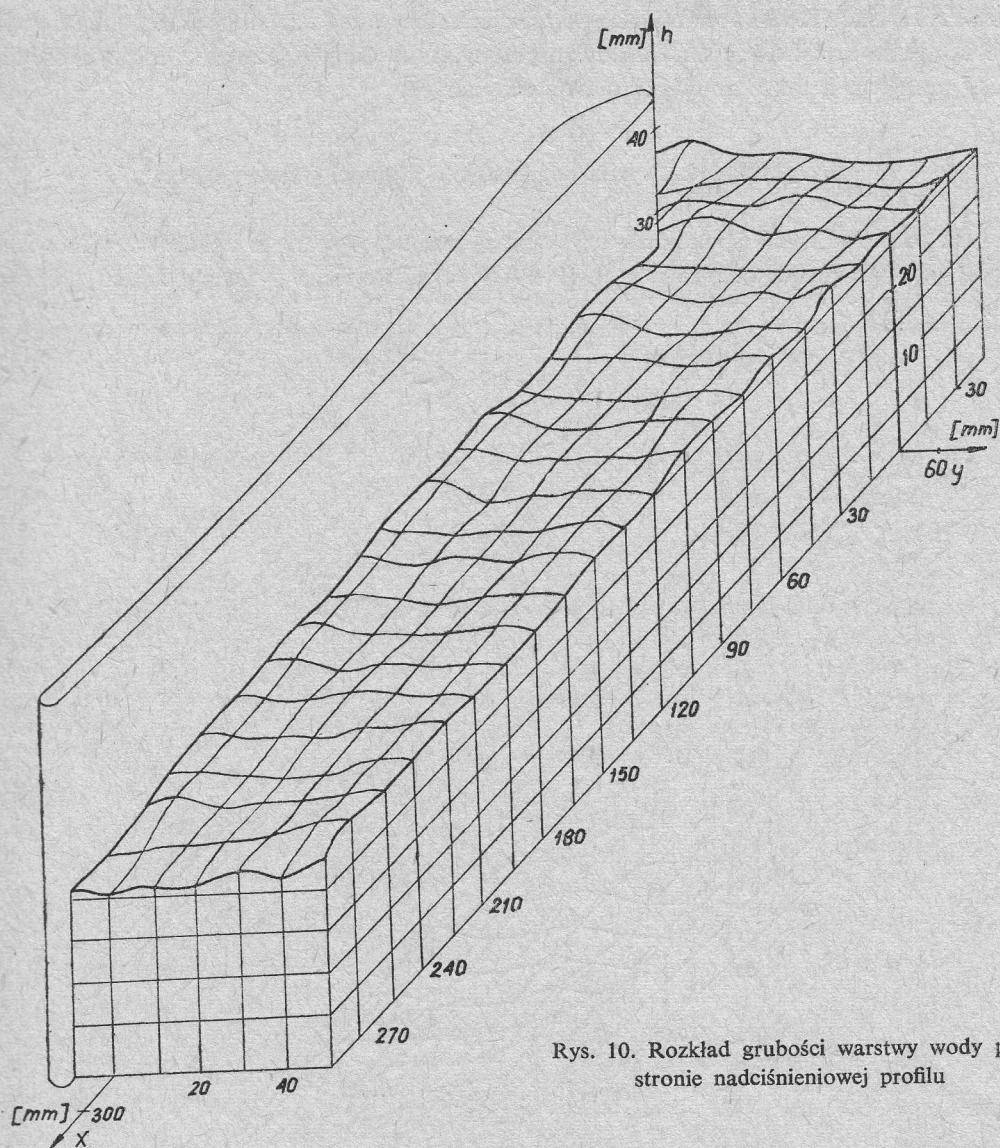
działanie układu ROB1 pozwoliło na pominięcie zapisywania adresu punktu pomiarowego, co uprościło konstrukcję uniwersalnego przetwornika danych i zwiększyło szybkość zapisu pomiaru, a także zmniejszyło objętość danych.

5. Przykładowe wyniki pomiaru pola grubości warstwy cieczy

Przykładowe wyniki pomiarów uzyskane za pomocą opisanego układu na stanowisku analogii hydrogazodynamicznej w IMP PAN przedstawiono w formie szkicu grubości



Rys. 9. Rozkład grubości warstwy wody po stronie podciśnieniowej profilu



Rys. 10. Rozkład grubości warstwy wody po stronie nadciśnieniowej profilu

warstwy cieczy na rysunkach 9 i 10. Rysunki te przedstawiają rozkład grubości warstwy wody opływającej model fragmentu łopatki turbinowej po stronie podciśnieniowej (rys. 9) i nadciśnieniowej (rys. 10). Kierunek napływu wody jest zgodny z kierunkiem osi X .

Praca wpłynęła do Redakcji w lutym 1976 r.

Literatura

- [1] K. Jucha T. Król, *Opracowanie metody i próby szybkiego pomiaru grubości warstwy wody w zakresie 1 - 20 mm*. Opracowanie wykonane na zlecenie ZAMECHU, nr arch. IMP PAN 130/72, 1972.
- [2] J. Bromirski, *Teoria automatów*. WNT, Warszawa 1970.

Автоматическое оптическое измерение распределения толщины слоя жидкости на стенде гидродинамической аналогии

Резюме

В работе представлен принцип измерения толщины слоя жидкости на стенде гидродинамической аналогии, основанный на ослаблении света поглощающим свет слоем водного раствора перманганата калия. Описана также система автоматического перемещения фотометрического агрегата и автоматической регистрации значений напряжений на выходе из фотоумножителя в форме перфорированной ленты, которую можно непосредственно вчитать в ЭВМ.

В заключении представлены примерные результаты измерений толщины слоя жидкости обтекающей модель турбинной лопатки.

Automatical Optical Measurements of the Liquid Layer Thickness Distribution on a Hydrodynamic Analogy Stand

Summary

The principle of measurements of the liquid layer thickness on a hydro-gasdynamic analogy stand is described in the paper. The method consists in decreasing the light intensity by an absorbing layer of water solution of potassium permanganate. A system used to automatically move the photometric device and record photomultiplier output voltages on a punched tape directly compatible with a computer is described. Finally, exemplary results of measurements of the thickness distribution of a layer of liquid flowing around a model turbine blade are presented.