

Z. A. Pietrzyk
POMIAR ŚREDNIEGO
WSPÓLCZYNNIKA
POCHŁANIANIA ŚWIATŁA
PRZEZ PLAZMĘ

19/1968

WARSZAWA



W prawach rękopisu
Do użytku wewnętrznego

Zakład Mechaniki Cieczy i Gazów IPPT PAN

Nakład 150 egz. Ark.wyd.1,4. Ark.druk.1,25.

Oddano do drukarni w sierpniu 1968r.

Wydrukowano we wrześniu 1968r.Nr zam.713\0

Warszawska Drukarnia Napkowa, Warszawa,
ul.Śniadeckich 8

Pomiar średniego współczynnika pochłaniania światła przez plazmę

Z.A.Pietrzyk

1. Wstęp

W pracy [1] podano, że zmierzone promieniowanie ciągle plazmy prawie nie zależy od ciśnienia początkowego w elektromagnetycznej rurze uderzeniowej. Jako przypuszczalną przyczynę tego zjawiska podano, że plazma w badanych warunkach może nie być optycznie cienką. W celu sprawdzenia tej hipotezy przeprowadzono pomiary rozkładu średniego współczynnika pochłaniania światła przez plazmę.

Dla przeprowadzenia pomiarów przepuszczono po raz drugi przez plazmę promieniowanie pochodzące z plazmy. Metodę tą opisano już kilkakrotnie np [2], [3] jako sposób sprawdzenia optycznej grubości plazmy. W przedstawionej pracy przeprowadzono pomiary ilościowe współczynnika pochłaniania.

Pomiary prowadzono w dwóch różnych elektromagnetycznych rurkach uderzeniowych. Jako gazu roboczego użyto powietrza. Jedną rurką w której prowadzono pomiary była rurka z koncentrycznymi elektrodami o konstrukcji opisanej w pracach [4], [5]. Średnica wewnętrzna rurki wynosiła 30 mm. Drugą rurką stosowaną do badań była z bezelektrodowym wyładowaniem stożkowym typu θ -pinchu [6].

Średnica jej wyniła 50 mm.

Wszystkie pomiary prowadzono w powietrzu przy ciśnieniach od $2 \cdot 10^{-3}$ mmHg do 1 mmHg. Bateria kondensatorów $4 \mu\text{F}$ ładowana była do napięcia 25 lub 15 kV.

2. Metoda pomiaru

Po jednej stronie rurki uderzeniowej umieszczono zwierciadło powierzchniowe oskonięte przesłoną o otworze 5 mm /rys.1/. Po drugiej stronie rurki ustawiono kamerę z wiru-

jacym zwierciadłem S.F.R. przy pomocy, której dokonano zdjęć obszaru plazmy obejmującym punkt gdzie umieszczono zwierciadło.

Parametry układu dobrano w ten sposób, że zwierciadło umieszczono bezpośrednio za rurką /w odległości ok.1cm/ natomiast kamere z obiektywem o ogniskowej 210 mm umieszczono w odległości ok.2 m od rurki. Przy takim układzie do kamery docierały praktycznie tylko promienie biegnące prostopadle do osi rurki. Dzięki umieszczeniu przed zwierciadłem przesłony, również tylko takie promienie odbite od zwierciadła mogą dotrzeć do kamery.

Z obszaru plazmy, za którym nie umieszczono zwierciadła, pada na błonę światło o natężeniu I_1 . Natomiast z obszaru plazmy, za którym umieszczono zwierciadło, na błonę pada światło z plazmy i dodatkowo światło odbite od zwierciadła. W rezultacie na przeciw zwierciadła na błonę padać będzie światło o natężeniu

$$I_2 = I_1 / (1 + \alpha e^{-2\ell/D})$$

gdzie: D jest średnicą rurki,

α - współczynnikiem odbicia zwierciadła łącznie z pochłanianiem światła przez rurkę.

Współczynnik α został zmierzony w układzie zbliżonym do pomiarowego i wynosił dla szkła czystego $\alpha = 0,66$, a dla rurki z częściowo napyłconymi ściankami warstwą tlenków miedzi z elektrod $\alpha = 0,59$. Na rys.2 pokazano zależność

$\frac{I_2}{I_1} - 1 = f(\ell/D)$ dla obu wymienionych wyżej współczynników

α . Z wykresu widać, że proponowana metoda nadaje się do pomiaru jeżeli ℓ/D zawarte jest w granicach od ok.0,2 do 3. Czym wyższe jest ℓ/D tym mniejszy wpływ na wynik pomiaru ma błąd w określeniu α .

Pomiaru $\frac{I_2}{I_1}$ dokonano z klisz naświetlanych w kame-

marze S.F.R. rys.3. Mierzono zaczernienie kliszy przed i za zwierciadłem i na samym zwierciadle. Każdą kliszę cechowano 20-stopniowym filtrem schodkowym i w ten sposób możliwe było przeniesienie zaczernienia na intensywność promieniowania. Na rys.3 pokazani zdjęcie w układzie $x - t$ z przeprowadzonych pomiarów za falą padającą, a na rys.4 za falą odbitą.

3. Wyniki pomiarów

Pomiary przeprowadzono w rurze uderzeniowej z koncentrycznymi elektrodami przy napięciu 25 kV dla ciśnień początkowych $2 \cdot 10^{-3}$ mmHg, 0,1 mmHg i 0,8 mmHg dla napięcia 15 kV dla ciśnień $2 \cdot 10^{-3}$ mmHg i 0,1 mmHg oraz w rurze bez-elektrodowej typu 0-pinczowego przy napięciu 25 kV dla ciśnień $5 \cdot 10^{-3}$ mmHg, 0,02 mmHg, 0,9 mmHg i 1,3 mmHg. W rurce bezelektrodowej przeprowadzono również pomiary współczynnika pochłaniania za falą odbitą.

Na rys.5a i 5b przedstawiono wyniki pomiarów względnej intensywności promieniowania /względem stałego nieokreślonego poziomu/ oraz współczynnik pochłaniania w cm^{-1} w rurce z koncentrycznymi elektrodami dla napięcia na kondensatorach 15kV. Przebieg obu wielkości ma podobny charakter. Plazma świeci właściwie tylko bezpośrednio w otoczeniu fali uderzeniowej do ok. $2,5 \mu\text{s}$. za falą.

Rys.6a,b,c przedstawia wyniki pomiarów w rurce z koncentrycznymi elektrodami dla różnych ciśnień i napięcia 25 kV. W tym przypadku widać, że świecenie plazmy jest bardzo długie - ponad $30 \mu\text{s}$. Również współczynnik pochłaniania światła przekracza $0,1 \text{ cm}^{-1}$ dla długiego okresu czasu - ponad $30 \mu\text{s}$.

Nie daje się zauważyć wyraźnej periodyczności związanej z periodycznym wyładowaniem kondensatorów. Widocznie w tej odległości od elektrod /ok.150 mm/ drgania plazmy zanikają.

Na rys.7a, b, c, d, przedstawiono wyniki pomiarów promieniowania i współczynnika pochłaniania światła zmierzone

w rurce bezelektrodowej. Widać tutaj wyraźny wzrost promieniowania i pochłaniania ze wzrostem ciśnienia początkowego. Przy ciśnieniach niskich $5 \cdot 10^{-3}$ mmHg i $2 \cdot 10^{-2}$ mmHg widać kilka oddzielnych fal uderzeniowych powstałych przy periodycznym wyładowaniu.

Na rys.8 przedstawiono zestawienie wyników podając zależność maksymalnej intensywności promieniowania i maksymalnego pochłaniania za falą padającą w funkcji ciśnienia początkowego. Jak widać z wykresu w rurce z koncentrycznymi elektrodami maksymalny współczynnik pochłaniania światła i maksymalne promieniowanie prawie nie zależy od ciśnienia początkowego. Średnie wielkości dla napięcia początkowego 25kV są wyższe niż dla 15kV jednak różnica mieści się w granicach błędu pomiarowego.

W rurce bezelektrodowej zarówno maksymalny współczynnik pochłaniania jak i maksymalne promieniowanie rośnie ze wzrostem ciśnienia początkowego. Wzrost współczynnika pochłaniania jest w przybliżeniu proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego z ciśnienia, natomiast promieniowanie rośnie jak pierwiastek trzeciego stopnia z ciśnienia. Zarówno współczynnik pochłaniania jak i promieniowanie ma mniejsze wartości w rurce bezelektrodowej niż w rurce z koncentrycznymi elektrodami.

W celu zbadania zależności współczynnika pochłaniania i promieniowania od gęstości plazmy przeprowadzono pomiary w pobliżu ścianki odbijającej falę uderzeniową /5mm od ścianki/, zarówno za falą padającą na ściankę jak i za odbitą od ścianki.

Przykładową zależność współczynnika pochłaniania i promieniowania od czasu w pobliżu ścianki odbijającej pokazano rys.10. Na rys.11 pokazano zależności wynikowe stosunku współczynnika pochłaniania za falą odbitą do współczynnika pochłaniania za falą padającą w funkcji ciśnienia początkowego, taką samą zależność dla stosunku promieniowa-

nia oraz stosunek gęstości na fali odbitej obliczonej na podstawie prawa zachowania masy przy znanej /zmierzonej/ prędkości fali padającej i odbitej i założeniu, że fale uderzeniowe są skokiem matematycznym. Przy powyższych założeniach i założeniu, że skok gęstości na fali padającej jest dużo większy od jedności otrzymujemy:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 1 - \frac{U_p}{U_0}$$

gdzie ρ_2 - gęstość za falą odbitą
 ρ_1 - gęstość za falą padającą
 U_p - prędkość fali padającej
 U_0 - prędkość fali odbitej

Z rys.11 widać, że dla ciśnień początkowych ponad 0,1 mmHg stosunek współczynników pochłaniania światła równy jest w przybliżeniu pierwiastkowi ze stosunku gęstości. Natomiast stosunek intensywności promieniowania równy jest stosunkowi gęstości lub nieco większy.

Obniżając ciśnienie początkowe poniżej 0,1 mmHg otrzymujemy spadek stosunku intensywności promieniowania oraz spadek stosunku współczynników pochłaniania światła. Stosunek współczynników pochłaniania jest bliski zera, a niekiedy nawet ujemny. Stosunek intensywności promieniowania spada poniżej wartości pierwiastka ze stosunku gęstości.

Te anomalne zachowanie mierzonych wartości dla ciśnień poniżej 0,1 mmHg nie zostało do tej pory wyjaśnione.

4. Wnioski

1. W elektromangetycznej rurce uderzeniowej z koncentrycznymi elektrodami zależność maksymalnego świecenia i współczynnika pochłaniania światła od ciśnienia początkowego jest bardzo słaba. Z tego faktu można wnosić, że dużą rolę w promieniowaniu i pochłanianiu światła mają zanieczyszcze-

nia z elektrod których ilość prawie nie zależy od ciśnienia początkowego.

2. Dla napięć 15 kV maksymalne wartości promieniowania i współczynnika pochłaniania światła są niewiele niższe niż dla napięcia 25 kV. Natomiast obserwuje się dużą różnicę w długotrwałości świecenia. Fakt ten pozwala przypuszczać, że zmiana napięcia kondensatorów powoduje zmianę charakteru dostarczania energii w czasie /dla 25 kV energia przekazywana jest przez dłuższy okres czasu/.

3. W rurce bezelektrodowej zaobserwowano piarwiastkową zależność współczynnika pochłaniania od ciśnienia początkowego. Taką samą zależność w/w współczynnika w funkcji gęstości zaobserwowano przy pomiarze skoku współczynnika pochłaniania na fali odbitej. Trudno wyjaśnić to zjawisko na podstawie znanych teorii promieniowania [7].

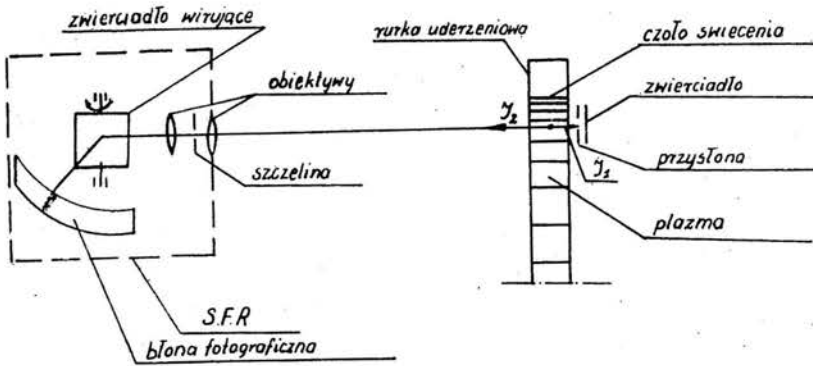
4. Inna zależność współczynnika pochłaniania niż promieniowania zarówno od ciśnienia początkowego jak i od skoku gęstości może wskazywać na niesłuszność prawa Kirchhoff'a w plazmie przy badanych parametrach lub na silną zmianę temperatury ze zmianą ciśnienia początkowego.

W celu wyjaśnienia zaobserwowanych zjawisk należy przeprowadzić analizę zależności współczynnika pochłaniania i promieniowania od głębokości fali światła. Szczególnie interesująca jest plazma za falą odbitą dla ciśnień początkowych poniżej 0,1 mmHg.

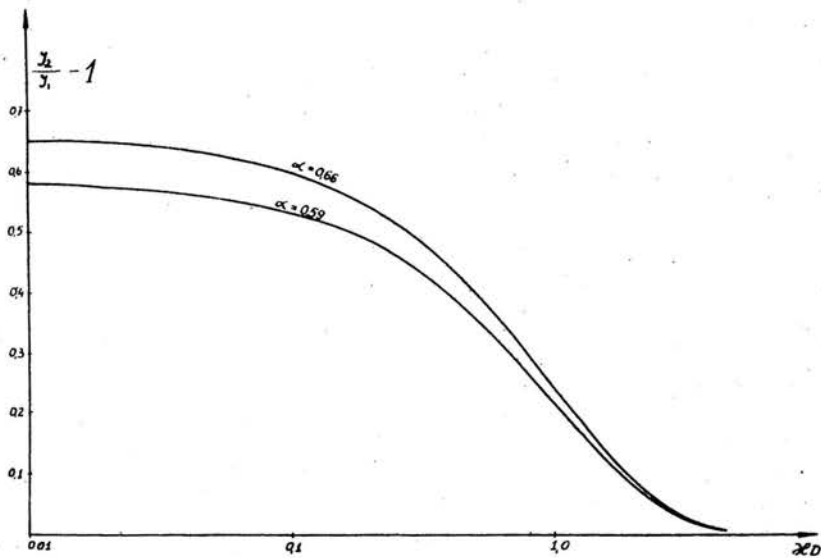
Literatura

1. E.M. Leśkiewicz, Z.A. Pietrzyk, T.T. Rudowska - The Measurement of Gas Velocity and Temperature Behind a Strong Shock Wave Moving in Hydrogen. VIII Symposium on Advanced Problems and Method in Fluid Mechanics. Poland, Tarda /1967/.

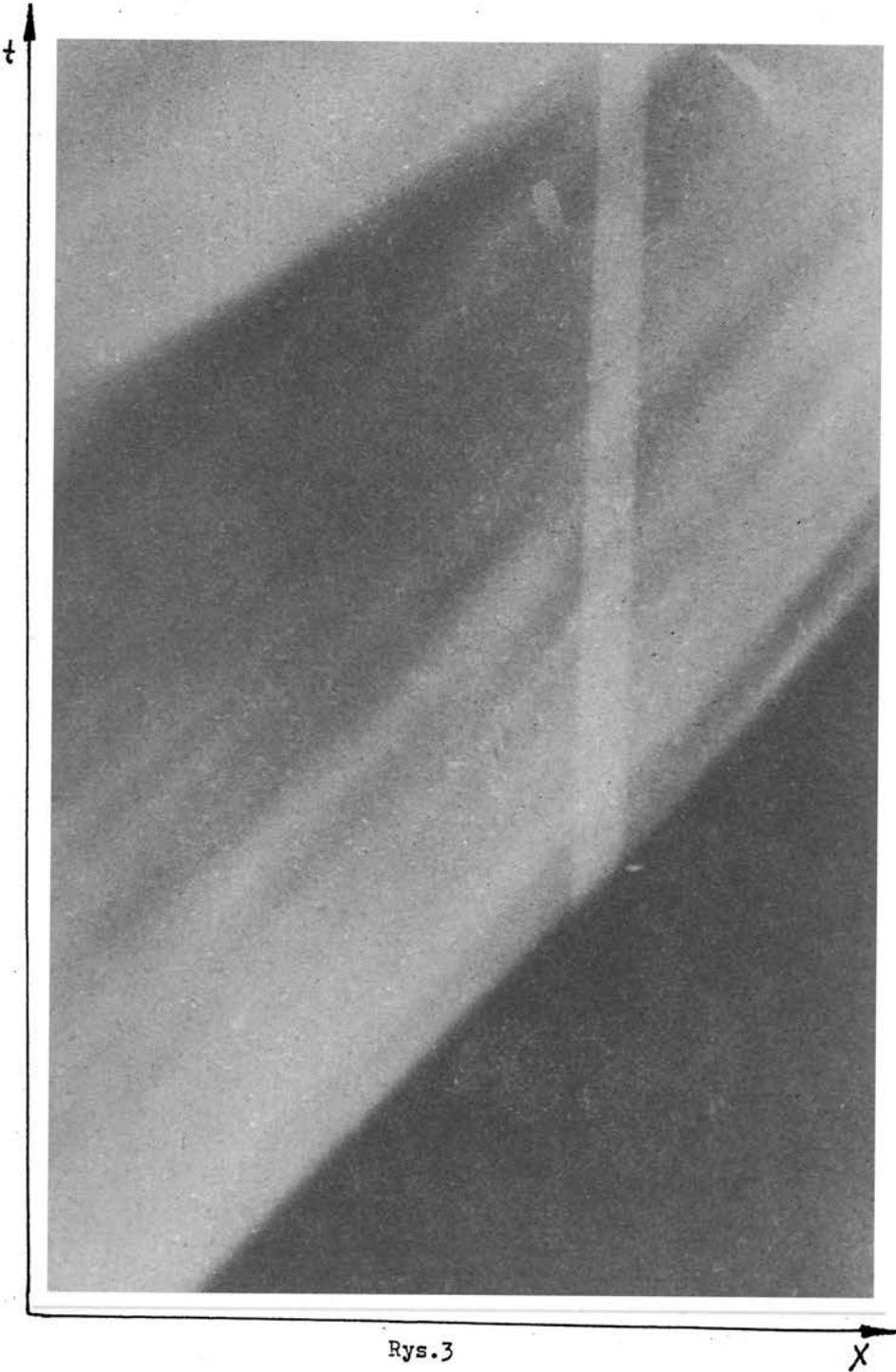
2. D.Robinson, P.D.Lenn - Plasma Diagnostics by Spectroscopic Method. Applied Optics Vo 6, No 6, /1967/.
3. Plasma Diagnostic Techniques edited by R.H.Huddlestone, S.L.Leonard California /1965/.
4. W.W.Byszewski, J.Kopystyński, Z.Mucha, Z.A.Pietrzyk - Zastosowanie modelu "śnieżnego pługa" do rurki uderzeniowej ze współosiowymi elektrodami. Rozpr.Inż. 4, 13 /1965/.
5. Z.A.Pietrzyk - Investigation of Plasma Behind a Strong Shock wave in an Electromagnetic Shock Tube, Fluid Dynamics Transactions t.III, /1967/.
6. Z.Mucha - Application of the Θ -pinch Effect for Generation of Strong Shock Waves. Bulletin de l'Académie Polonoise des Sciences. V. XV No 1 /1967/.
7. R.H.Griem - Plasma Spectroscopy /1964/



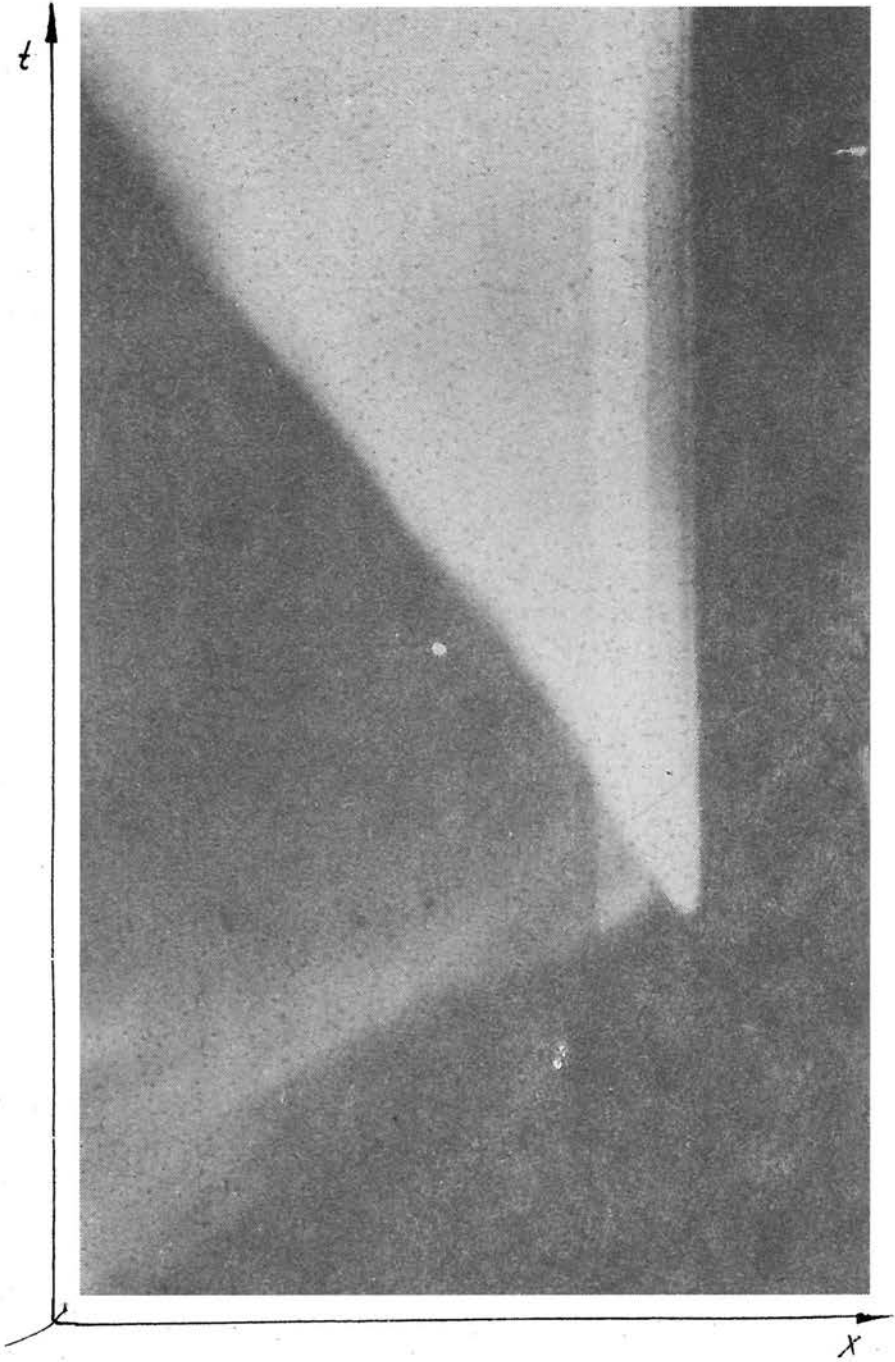
Rys. 1



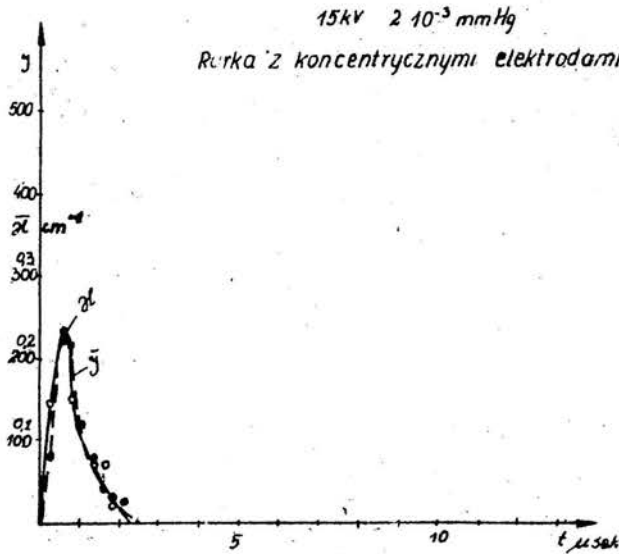
Rys. 2



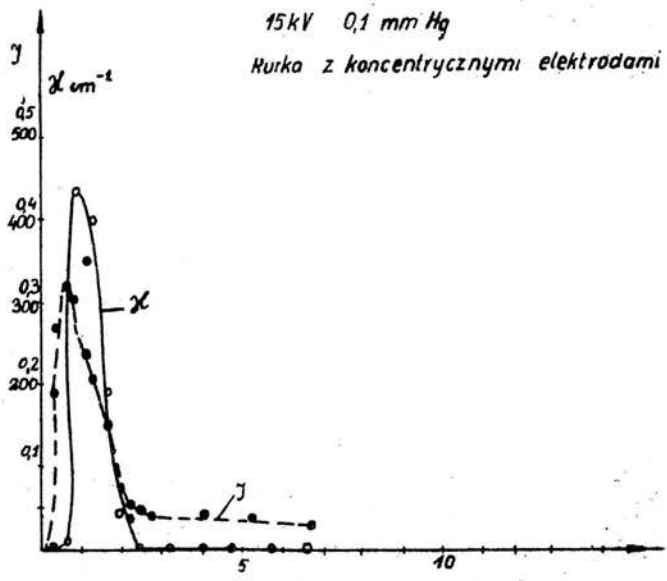
Rys. 3



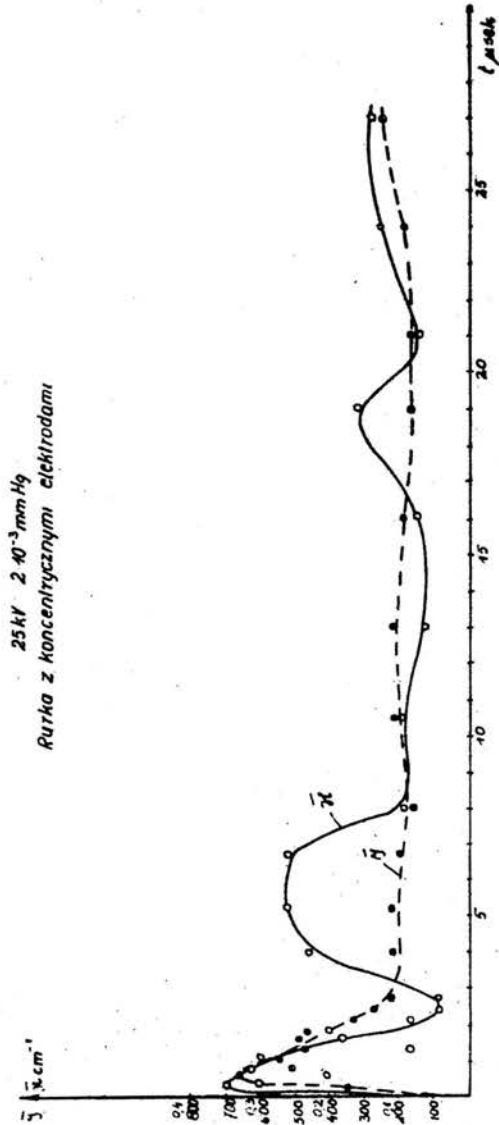
Rys.4



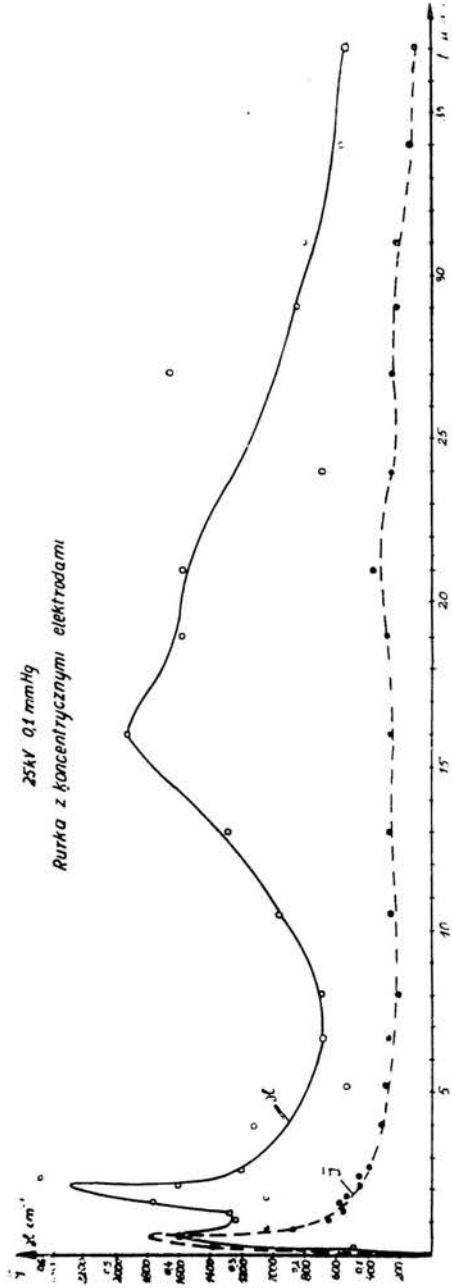
Rys. 5a



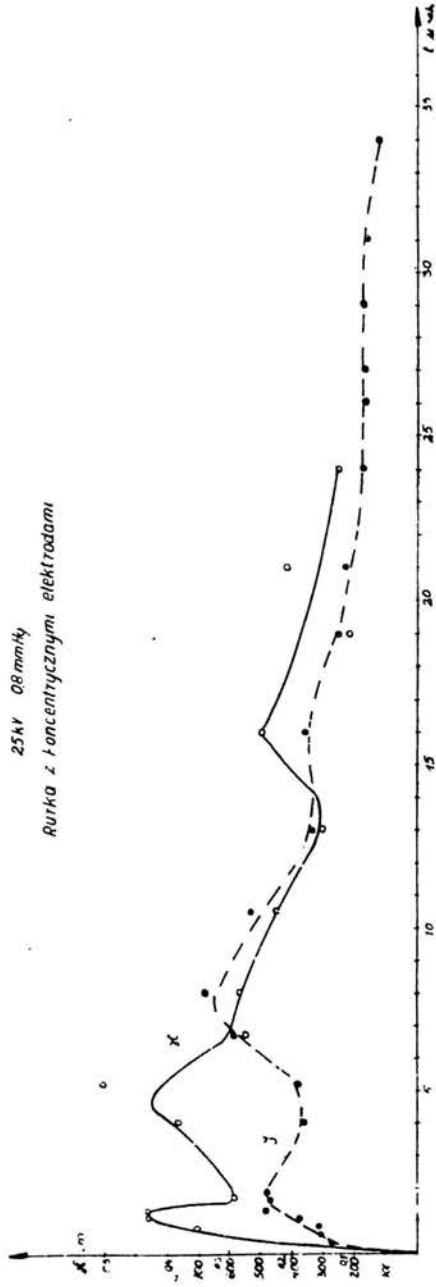
Rys. 5b



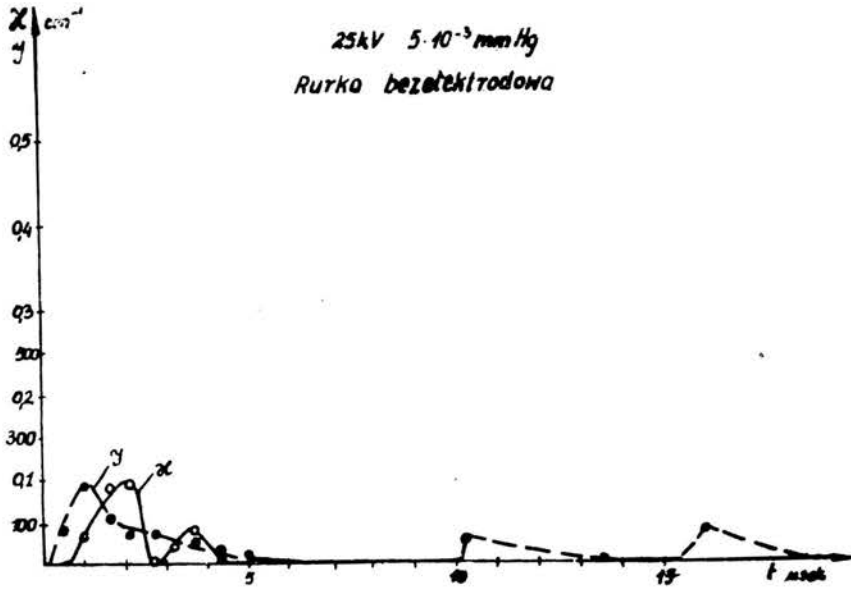
Rys. 6a



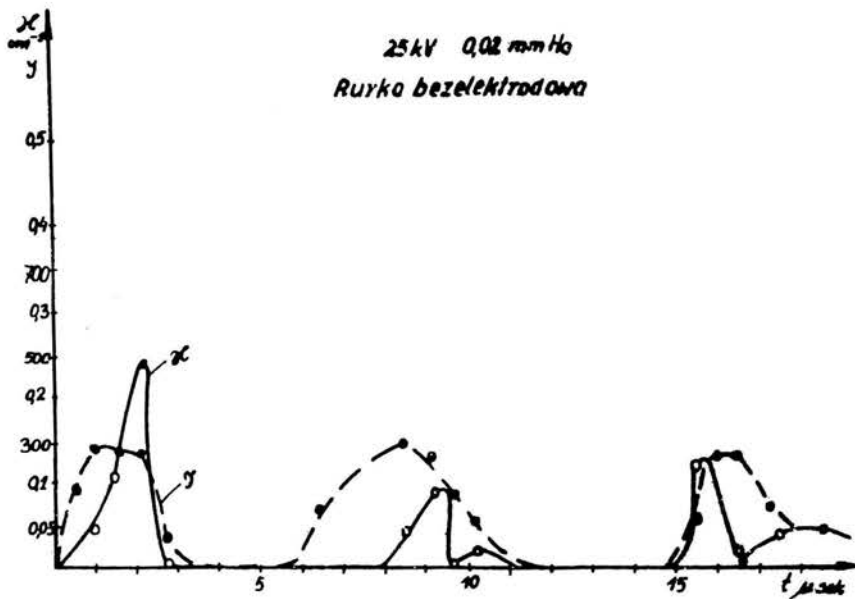
Rys. 6b



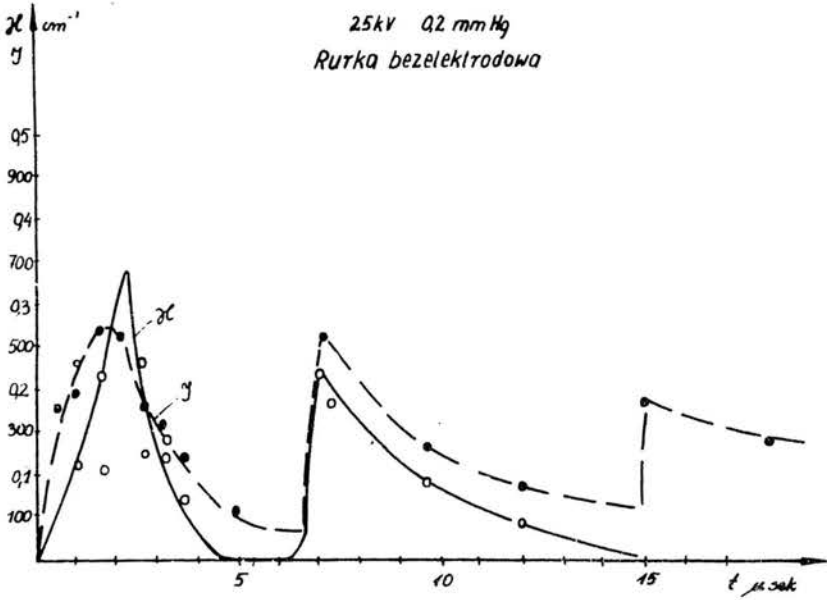
Rys. 6c



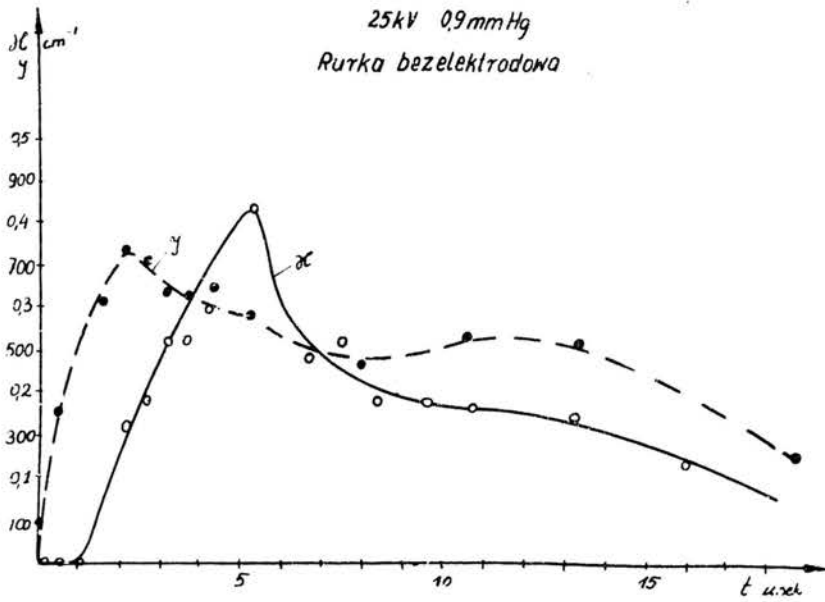
Rys. 7a



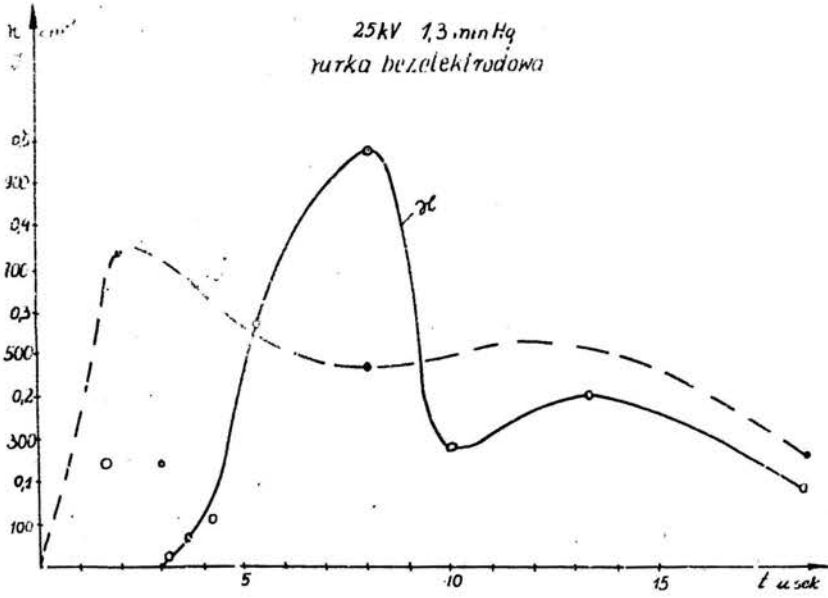
Rys. 7b



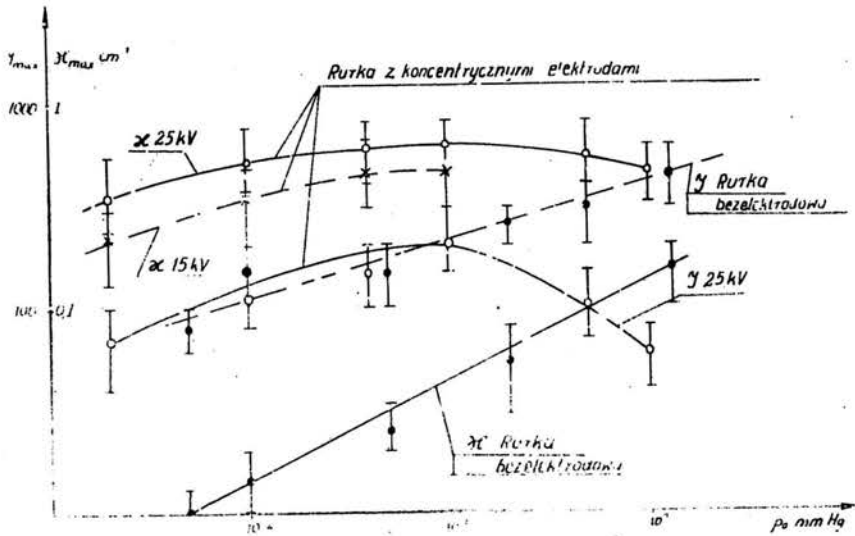
Rys. 7c



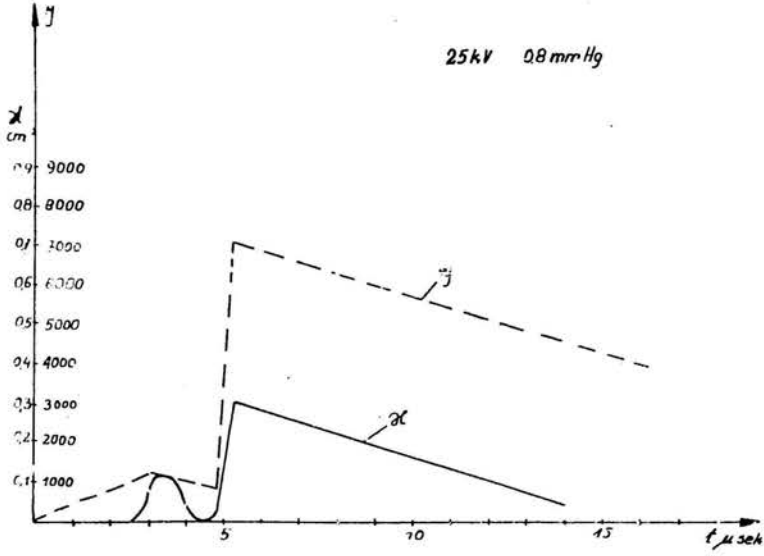
Rys. 7d



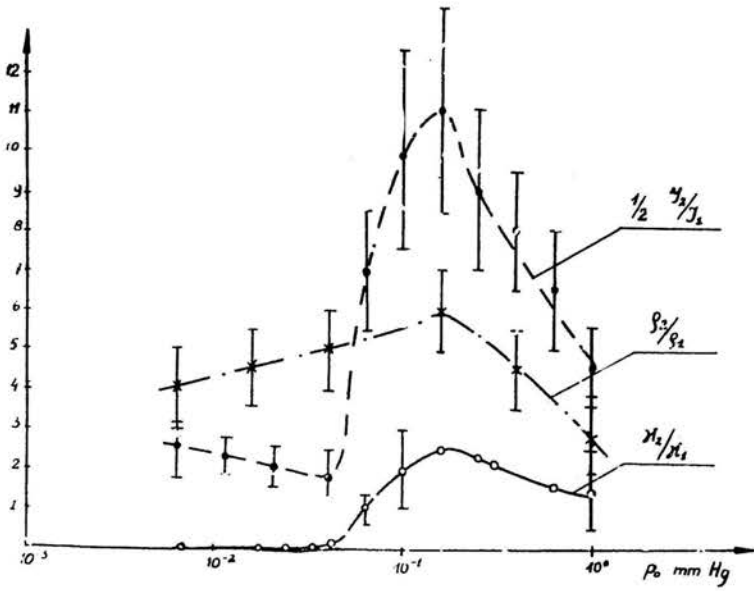
Rys. 7e



Rys. 8



Rys.9



Rys.10