

Dr inż. Jerzy Jeznach

Katedra Melioracji

Rolnych i Leśnych

SGGW - AR

ANALIZA METOD OBLICZEN  
HYDRAULICZNYCH PRZEWODÓW  
NAWADNIAJĄCYCH W SYSTEMACH  
NAWODNIEN KROPELOWYCH

1. Wprowadzenie

Przedmiotem pracy jest analiza metod obliczeń hydraulicznych przewodów nawadniających w systemach nawodnień kropelowych. Mimo powszechnego stosowania szeregu metod, nie prowadzono żadnych badań sprawdzających dokładność istniejących metod, jak również nie podjęto ich weryfikacji i ustalenia praktycznego zakresu stosowania.

Powody te, jak również brak w literaturze krajowej i zagranicznej opracowań monograficznych, wskazały potrzebę podjęcia badań, które miały na celu:

- zweryfikowanie założeń i uproszczeń przyjmowanych w poszczególnych metodach obliczeń systemów nawodnień kropelowych,
- ustalenie praktycznego zakresu stosowania tych metod,
- porównanie metod obliczeń.

## 2. Teoretyczne podstawy obliczeń przewodów nawadniających

Ogólne równanie Petrova dla ruchu ustalonego w przewodzie zamkniętym z rozbiorem na trasie ma następującą postać podaną przez Ostromęckiego [5].

$$\alpha \frac{v}{g} \frac{dv}{dx} + \frac{\alpha / v - u/v}{gQ} \frac{dQ}{dx} + \frac{1}{\bar{f}} \frac{dp}{dx} + \frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} = 0 \quad /1/$$

gdzie:

$v$  - prędkość średnia w przekroju poprzecznym przewodu w odległości  $x$  od początku,

$A$  - powierzchnia przekroju poprzecznego,

$Q$  - natężenie przepływu,

$p$  - ciśnienie,

$z$  - wysokość położenia,

$\frac{p}{\bar{f}} = H$  - wysokość ciśnienia piezometrycznego,

$h$  - wysokość strat energetycznych,

$\alpha$  - współczynnik Saint - Venant'a,

$u$  - rzut prędkości rozbioru na kierunek prędkości  $v$  / w systemach nawadnień kropłowych równy 0;  $u = 0$  /.

Z równania wnioskujemy, że w przewodzie z rozbiorem na trasie występują zmiany energetyczne wynikające ze zmian prędkości przepływu. W systemach nawadnień kropłowych /podobnie jak i w innych systemach np.: deszczownianych, wodociągowych/ wyróżniamy trzy przypadki z jakimi spotykamy się w praktyce.

### Przypadek 1

Nie uwzględniamy zmian energetycznych wynikających ze zmiany

prędkości przepływu i ze zmian masy przepływu.

Tak więc:

- wpływ zmian prędkości /pierwszy człon równania 1/ równy jest zeru

$$\frac{v}{g} \frac{dv}{dx} = \frac{d}{dx} \cdot \left/ \frac{v^2}{2g} \right/ = 0 \quad /2/$$

- wpływ zmian masy /drugi człon równania 1/ równy jest zeru

$$\frac{v^2}{gA} \frac{dQ}{dx} = \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} = \frac{d}{dx} \left/ \frac{Q^2}{2gA^2} \right/ = 0 \quad /3/$$

Założenia te umożliwiają analityczne rozwiązanie ogólnego równania ruchu z rozbiorem na trasie.

W przypadku gdy przewód ułożony jest poziomo:

$$\frac{dz}{dx} = 0 \quad \text{to:} \quad \frac{dH}{dx} = \frac{dh}{dx} \quad /4/$$

czyli lokalny spadek hydrauliczny  $\left/ \frac{dh}{dx} \right/$  odpowiada lokalnemu spadkowi piezometrycznemu  $\left/ \frac{dH}{dx} \right/$ .

Uproszczenie takie jest niedopuszczalne w warunkach ruchu burzliwego. Natomiast przy przepływie laminarnym nie powoduje większego błędu przy określaniu wysokości ciśnienia na początku przewodu.

Jednak wysokość prędkości na początku przewodu  $\left/ \frac{v^2}{2g} \right/$  musi być mała w stosunku do występującej tu wysokości ciśnienia piezometrycznego.

W przypadku tym ze wzrostem sumy strat energetycznych wzdłuż przewodu maleją wysokości ciśnień piezometrycznych.

### Przypadek 2

Uwzględniamy zmiany energetyczne wynikające ze zmian prędkości, lecz bez uwzględnienia wpływu zmian masy przepływu, tak więc - wpływ zmian prędkości jest różny od zera

$$\frac{d}{dx} / \frac{v^2}{2g} / \neq 0 \quad /5/$$

- wpływ zmian masy przepływu jest równy zero

$$\frac{d}{dx} / \frac{Q^2}{2gA^2} / = 0 \quad /6/$$

Założenia te przybliżają model obliczeniowy do rzeczywistego, jednak utrudniają znacznie rozwiązanie analityczne.

W przypadku tym wraz ze wzrostem sumy strat energetycznych wzdłuż przewodu, ciśnienie piezometryczne przebiega różnie - po osiągnięciu pewnego minimum może wzrastać, a nawet na końcu przewodu okazać się większe niż ciśnienie na początku.

### Przypadek 3

Z uwzględnieniem zmian energetycznych wynikających ze zmian prędkości i masy przepływu.

Założenie takie najbardziej odpowiada rzeczywistości. Rozkład ciśnień piezometrycznych jest podobny do rozkładu uzyskanego w przypadku 2.

Przy obliczeniach sieci przewodów do nawodnień kropłowych przyjmuje się często rozbiór ciągły na trasie jako model zastępczy faktycznego rozbioru punktowego. Założenie to praktycznie nie deformuje rzeczywistości w systemach nawodnień kropłowych mamy

bardzo gęste rozmieszczenie zwilżaczy, a przy niektórych typach zwilżaczy np.: porowate, istotnie zachodzi rozbiór ciągły.

Jedynie przy bardzo rzadkim rozmieszczeniu zwilżaczy nie należy zastępować rozbioru punktowego ciągłym.

Równomierny wydatek poszczególnych punktów rozbioru jest najczęściej przyjmowany przy obliczeniach sieci przewodów, /podobnie jak założenie ciągłości rozbioru/. Pamiętać należy, iż założenie to jest dopuszczalne tylko w przypadku gdy różnica ciśnień piezometrycznych na długości przewodu jest mała i nie powoduje istotnych odchyleń wydatku zwilżaczy.

### 3. Przegląd i analiza metod obliczania przewodów nawadniających

Analityczne rozwiązanie ogólnego równania przepływu masy z rozbiorem na trasie jest dość skomplikowane i nie zawsze możliwe. W literaturze spotyka się szereg metod obliczeniowych, które oparte są na dodatkowych założeniach i uproszczeniach.

W pracy [4] przedstawiono i omówiono najczęściej stosowane metody wymiarowania przewodów nawadniających z rozbiorem na trasie.

Metody te uszeregować można w trzy grupy:

- I. Metody uwzględniające zmiany energetyczne wynikające ze zmian prędkości i masy przepływu - metoda Navojana.
- II. Metody, które nie uwzględniają zmian energetycznych wynikających ze zmian prędkości przepływu, natomiast zmiany masy przepływu uwzględniają przez wprowadzenie współczynnika redukcyjnego.
  - metody: I-pai Wu, Howella i Hilera, Branscheida, Keller i Karmeli, Baars'a, Gilaad'a, Perolda, bułgarska, ogólna, włoska.
- III. Metody nie uwzględniające zmian energetycznych wywołanych zmianami prędkości i masy przepływu
  - metody: Zsak'a, projektowania w warunkach ruchu laminarnego.

Z prezentowanych metod wyróżnić można te, które do obliczania strat ciśnienia stosują formułę Hazena - Williamsa. Są to metody: I-pai Wu, Howella i Hilera, Keller i Karmeli, Branscheida. Natomiast inne metody: Baars'a, Gilaad'a, bułgarska, proponują przyjmować formułę Darcy - Weisbacha. W pozostałych metodach używa się inne wzory takie jak Lamont'a, Marzolo i inne.

#### 4. Badania przewodów nawadniających

Duża różnorodność metod projektowania przewodów nawadniających wskazuje na brak opracowań, które umożliwiłyby projektantom obiektywny wybór sposobów obliczeń. Stała się więc nieodzowną potrzeba przeprowadzenia własnych badań przewodów polietylenowych produkcji krajowej i porównania wyników z obliczeniami według analizowanych metod.

Badania prowadzono na polietku doświadczalnym i w laboratorium. W czasie eksperymentów mierzono wydatki wszystkich zwilżaczy, oraz rozkład ciśnień i temperatury wody na długości przewodów. Stosowano rurociągi krajowe o długościach 26, 30 i 52 m oraz średnicach wewnętrznych 9, 11, 15 mm.

Na przewodach nawadniających zamocowano równomiernie zwilżacze. Badaniami objęto zwilżacze produkcji krajowej, a więc mikrorurki kapilarne proste i SK-1. Część eksperymentów przeprowadzono na przewodach ze zwilżaczami typu "mikrorurki kapilarne spiralne" produkcji węgierskiej.

Schemat badawczy przewodu nawadniającego przedstawiono na rys.1.

#### 5. Porównanie wyników badań własnych z obliczeniami według analizowanych metod

Wyniki badań własnych dotyczące kształtowania się strat ciśnienia

nia w przewodach nawadniających porównano z danymi uzyskanymi na podstawie obliczeń według znanych metod. Wyniki te przedstawiono na rys. 2, 3, 4.

Analiza otrzymanych danych wykazała, że nie ma metody uniwersalnej, która daje wyniki zgodne z badaniami. Stwierdzić jedynie można zgodność niektórych metod w pewnych, określonych zakresach prędkości przepływu. Najczęściej są to prędkości wyższe. Nie ma jednak metody, która dawałaby obliczenia zgodne w całym zakresie występujących prędkości.

Wartości strat ciśnienia określone według różnych metod są z reguły mniejsze od wartości pomierzonych.

Stwarza to niebezpieczeństwo niezbyt dokładnego projektowania systemów, w których rzeczywiste straty ciśnienia będą wyższe, od obliczonych, co uniemożliwi uzyskanie wymaganej równomierności nawodnienia. Błąd ten może się pogłębiać w toku eksploatacji, na skutek zmian przekrojów zwilżaczy i przewodów /zamulenie, zarastanie/.

Jedynie przy wyższych prędkościach przepływu wody w przewodach, stwierdzono stosunkowo dużą zgodność obliczeń z pomiarami. Wynika to zapewne z faktu, iż większość metod opracowana została dla przepływu wody w przewodach o wyższych ciśnieniach, w których występują warunki ruchu burzliwego.

Zdecydowanie niezgodne wyniki z pomiarami otrzymano na podstawie metod: Navojana, bułgarskiej oraz nomogramów izraelskich /Keller i Karmeli/. Różnice, przedstawione jako stosunek wartości strat ciśnienia pomierzonych i obliczonych do wartości ciśnienia początkowego, wynosiły od 70 do 300 /nawet 500/ procent.

Proponuję nie stosować tych metod do projektowania przewodów nawadniających w systemie nawodnień kroplowych.

Znacznie odbiegają również dane uzyskane z metody projektowania w warunkach ruchu laminarnego.

Tylko przy bardzo małych prędkościach przepływu, metoda ta dała

stosunkowo dużą zgodność. Można z tego wnioskować, że w długich przewodach nawadniających trudno jest stworzyć warunki ruchu laminarnego. Dlatego też, metoda ta ma praktycznie bardzo małe możliwości wykorzystania.

Najbardziej zbliżone wyniki obliczeń w stosunku do doświadczeń otrzymano według następujących metod: *Li-pai Wu* /wzór Hazena-Williamsa/, *Perold'a*, *Gilaada* oraz metody "Polyplot".

Różnice, przedstawione również jako stosunek wartości strat ciśnienia pomierzonych i obliczonych do wartości ciśnienia początkowego, wynosiły od jednego do kilkudziesięciu procent.

Na podstawie analizy metod obliczeń przewodów nawadniających stwierdzić można, iż występuje grupa metod dających zbliżone rezultaty.

Podobne wyniki otrzymano bowiem z metody ogólnej, *Baarsa*, nomogramów *Waldena* i *Sawickiego* jak również *Hazena-Williamsa*, *Gilaada*, *Lamonta* oraz metody włoskiej.

Stwierdzono również, że wyniki uzyskane z metod o podobnych założeniach np. nomogramy *Waldena* i *Sawickiego* i *Baarsa* czy *Hazena-Williamsa* i *Keller-Karmeli* nie są identyczne, a nawet znacznie się różnią. Wynika to prawdopodobnie z przyjętych przez poszczególnych autorów różnych założeń oraz uproszczeń. Dlatego metody te analizowano i porównywano oddzielnie.

## 6. Wnioski

Wyniki badań oraz analiza metod obliczeń przewodów nawadniających pozwalają sformułować następujące wnioski:

1. Analityczne rozwiązanie ogólnego równania przepływu masy z rozbiorem na trasie jest dość skomplikowane i nie zawsze możliwe. Stosowane na świecie metody obliczeń przewodów nawadniających oparte są z konieczności na dodatkowych założeniach i pewnych uproszczeniach. Uproszczenia te dotyczą

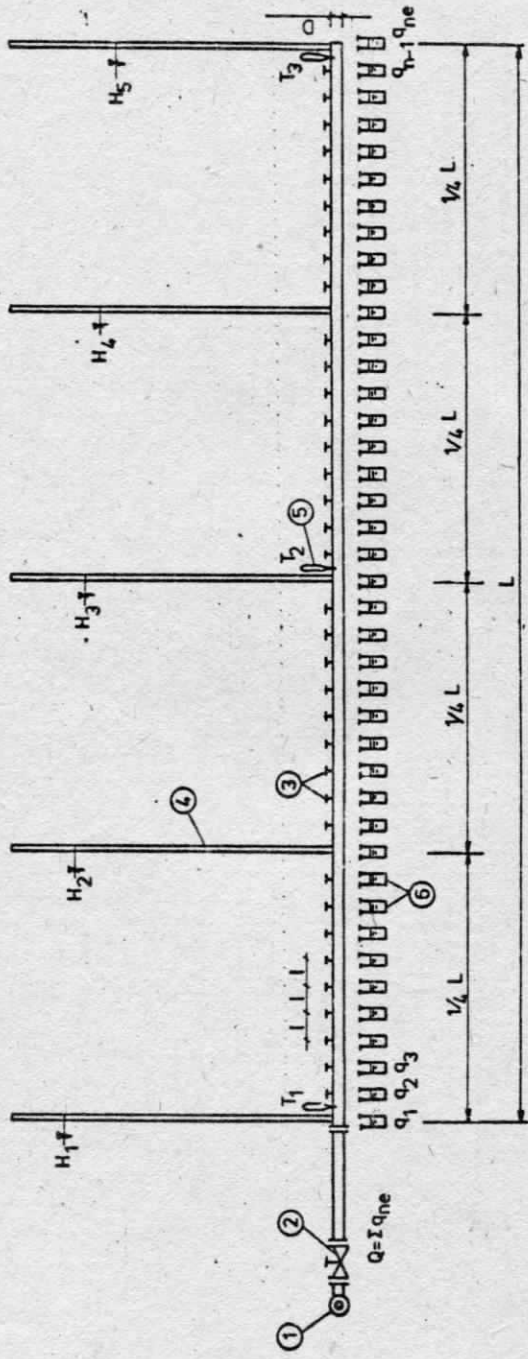


głównie zmian energetycznych wynikających ze zmian prędkości i masy przepływu.

2. W analizowanych kilkunastu metodach do obliczeń strat ciśnienia proponuje się najczęściej wzory Hazena-Williamsa, Darcy-Weisbacha lub inne /Lamont'a, Marzolo/.
3. Do obliczeń przewodów nawadniających bardziej celowe wydaje się stosowanie współczynnika oporów hydraulicznych  $\lambda$  niż współczynnika szorstkości C Hazena-Williamsa, ponieważ współczynnik C nie zależy od liczby Reynoldsa, a więc nie uwzględnia charakteru ruchu wody w przewodach.
4. Analiza porównawcza wyników obliczeń różnymi metodami i rezultatów badań eksperymentalnych wykazała bardzo duże zróżnicowanie wyników w zakresie ustalenia strat ciśnienia wzdłuż przewodów.
5. Nie ma metody, która daje wyniki zgodne z badaniami. Stwierdzono jedynie zgodność niektórych formuł w pewnych określonych zakresach prędkości przepływu, co świadczy o braku metody obowiązującej dla szerokiego zakresu prędkości.
6. Wartości strat ciśnienia obliczone według różnych metod są z reguły mniejsze od wartości pomierzonych, co stwarza niebezpieczeństwo niedokładnego projektowania systemów.
7. Zgodność wyników obliczeń i badań stwierdzono jedynie przy wyższych prędkościach przepływu.  
Zdecydowanie niezgodne wyniki z pomiarami otrzymano na podstawie metod: Navojana, bułgarskiej, oraz nomogramów izraelskich.  
Najbardziej zbliżone wyniki obliczeń w stosunku do doświadczeń otrzymano według metod: I-pai Wu, Perold'a, Gilaada oraz metody "Polyplot".
8. Metoda projektowania przewodów nawadniających w warunkach ruchu laminarnego ma praktycznie bardzo małe możliwości wykorzystania.

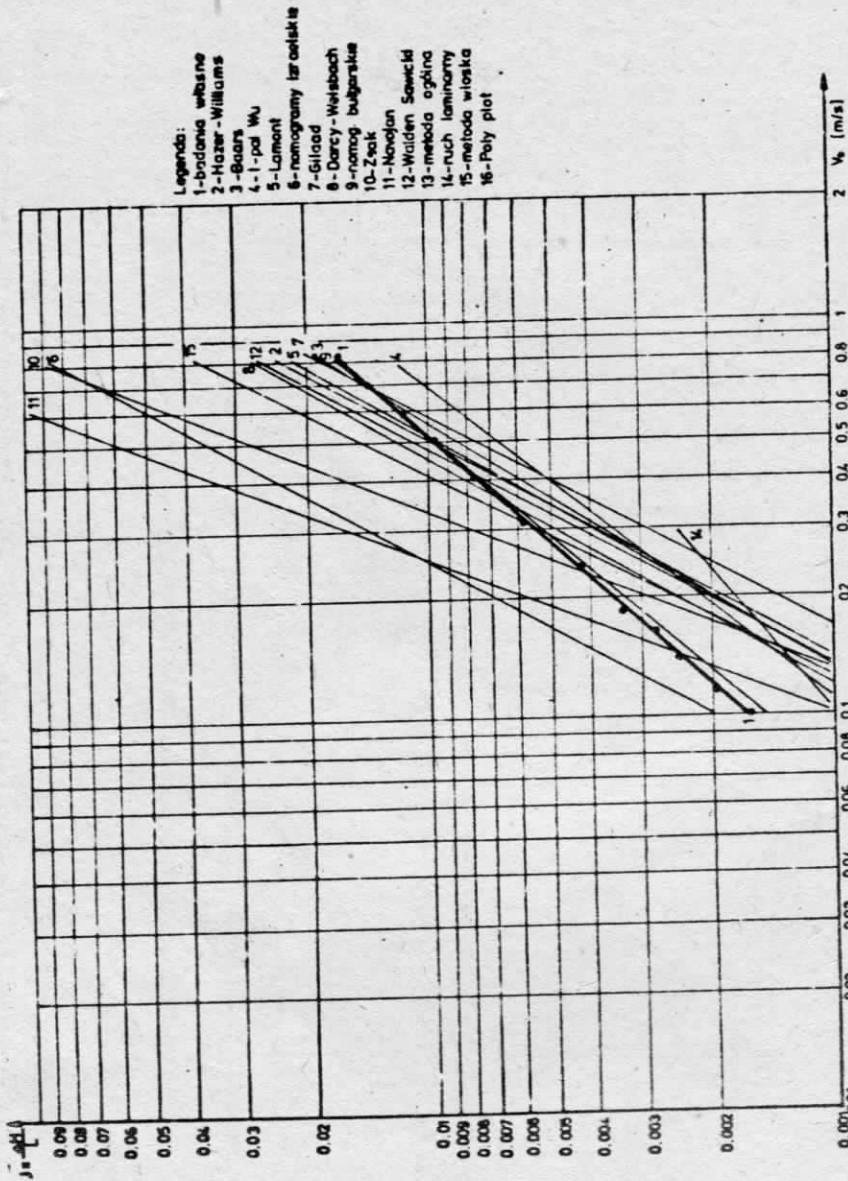
Literatura wykorzystana

1. Baars G. - Design of trickle irrigation systems  
Wageningen 1976.
2. Czetwertyński E. Utrysko B. - Hydraulika i hydromechanika.  
PWN 1969.
3. Jeznach J. - Projektowanie systemów nawodnień kropłowych.  
Maszynopis IMRIL. 1978.
4. Jeznach J. - Analiza metod obliczeń hydraulicznych w systemach  
nawodnień kropłowych. Maszynopis IMIGW. 1981.
5. Ostromecki J. - Obliczenia hydrauliczne w projektowaniu i  
eksploatacji systemów nawodnień kropłowych.  
Wiadomości IMUZ T XIII z.3 1978. str. 271-316.
6. Petrov G. A. - Dviżenie židkosti s izmeneniem raschoda  
vdol' puti. Moskva 1951.
7. Trickle irrigation. FAO, Roma Nr 14, 1973.



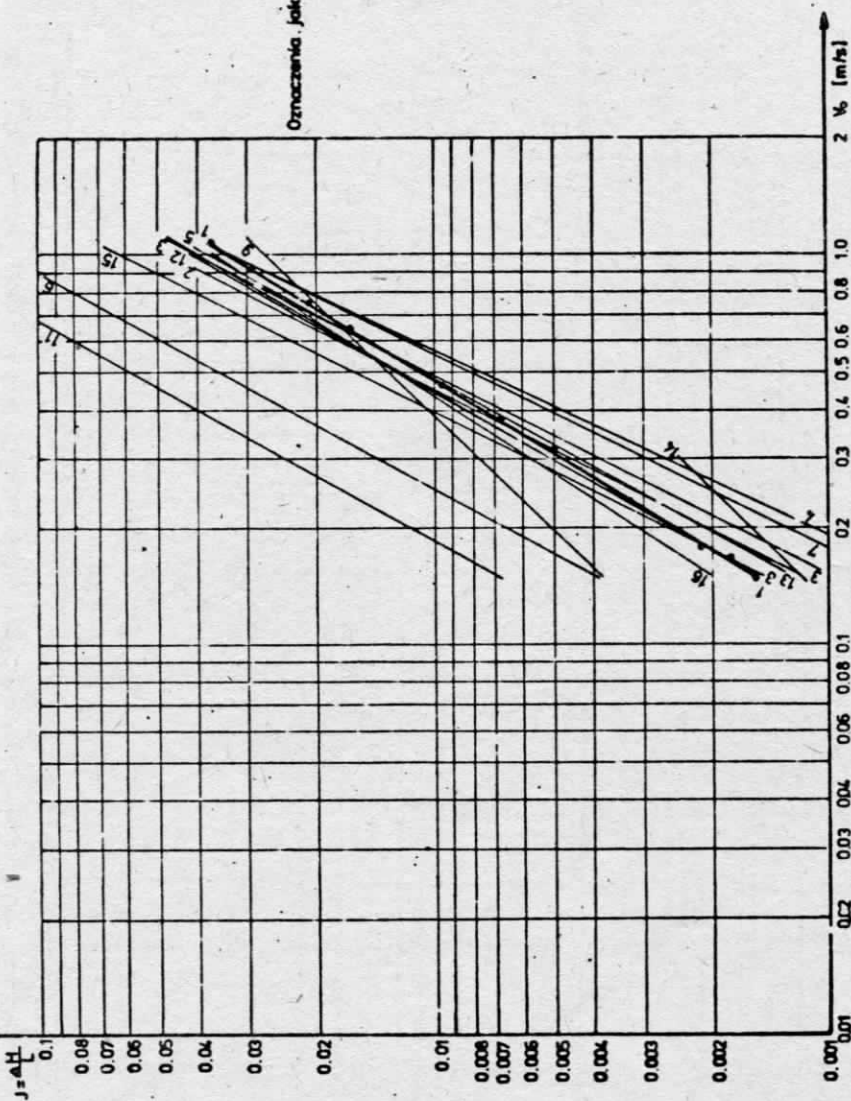
- ① źródło wody
- ② zawór
- ③ zwilżacze
- ④ piezometry
- ⑤ termometry
- ⑥ menzurki

Rys. 1. Schemat badawczy przewodu nawadniającego.

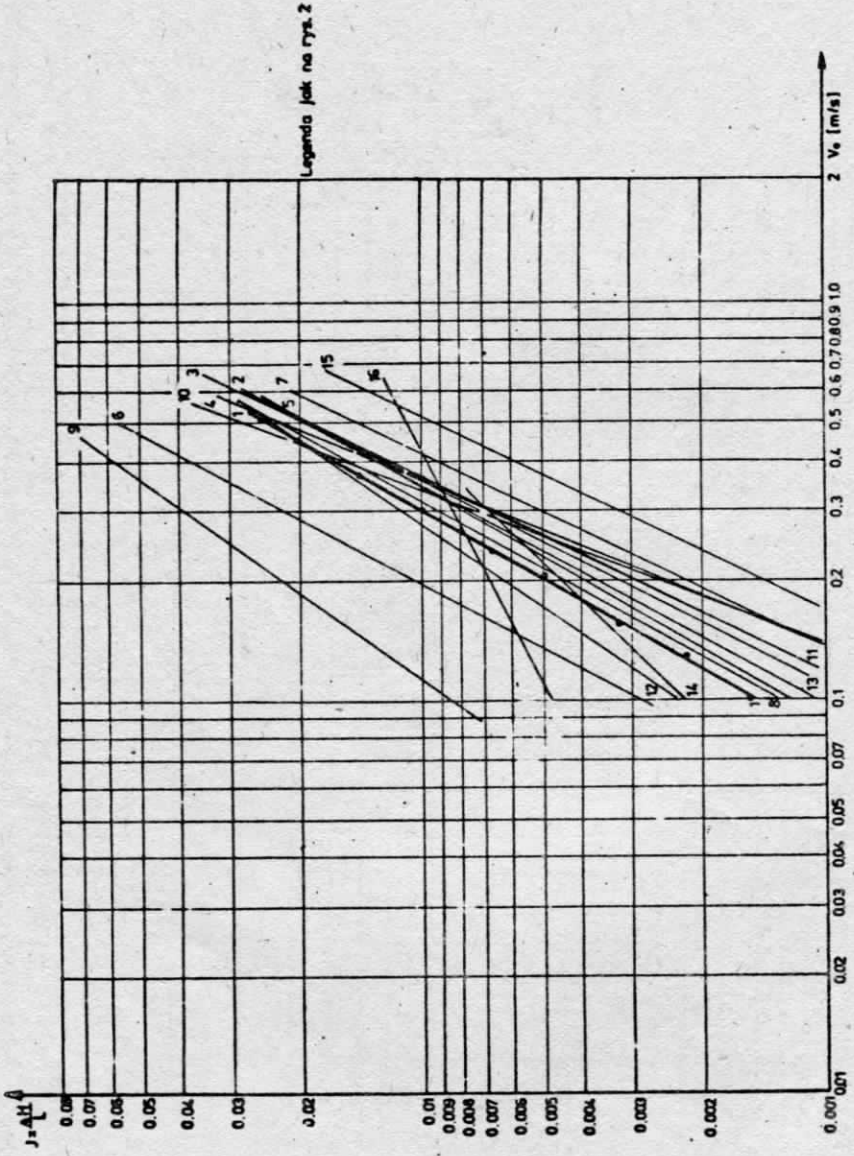


Rys. 2 Porównanie wyników badań własnych z obliczeniami według analizowanych metod (seria I)

Oznaczenia jak na rys. 2



Rys. 3 Porównanie wyników badań własnych z obliczeniami według analizowanych metod (seria II)



Rys. 4. Porównanie wyników badań własnych z obliczeniami według analizowanych metod ( seria III)