

Dr inż. Jerzy Jeznach

Katedra Melioracji

Rolnych i Leśnych

SGGW - AR

PROPOZYCJA OBLICZANIA PRZEWODÓW  
NAWADNIAJĄCYCH Z ROZBIOREM  
NA TRASIE

1. Wprowadzenie

Analiza metod obliczeń hydraulicznych przewodów nawadniających w systemie nawodnień kropłowych wykazała bardzo duże zróżnicowanie wyników w zakresie ustalania strat ciśnienia wzdłuż przewodów. Stwierdzono zgodność niektórych formuł jedynie w pewnych, określonych zakresach prędkości przepływu, co świadczy o braku metody uniwersalnej obowiązującej dla szerokiego zakresu prędkości.

Sytuacja ta uzasadnia celowość dalszych poszukiwań i dociekań.

Dociekania te dotyczyły:

- sformułowania właściwej metody obliczania przewodów nawadniających z rozbiorem na trasie obowiązującej dla szerokiego zakresu prędkości przepływu,
- wyboru właściwych wzorów empirycznych do określenia współczynnika oporów hydraulicznych  $\lambda$ ,
- przyjęcia odpowiedniej wartości współczynnika  $\lambda$ , która zmienia się na długości przewodu z rozbiorem na trasie.
- sposobu uwzględnienia zmian energetycznych wynikających ze zmiany masy przepływu, które występują w przewodach nawadniających z rozbiorem na trasie.

## 2. Badania własne

Wyniki badań własnych dotyczące kształtowania się strat ciśnienia w przewodach nawadniających z rozbiorem na trasie porównano z wynikami otrzymanymi na podstawie obliczeń według formuły Darcy - Weisbacha. /Rys.1./. Formułę tę przedstawia się w następującej postaci:

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{L}{D} \quad /V$$

gdzie:

- $\Delta H$  - straty wysokości ciśnienia,
- $\lambda$  - współczynnik oporów hydraulicznych,
- $v$  - prędkość przepływu,
- $L$  - długość przewodu,
- $D$  - średnica przewodu.

Wzór Darcy - Weisbacha jest w Polsce zalecany przez Polską Normę PN-76/M-34034 pt.: "Zasady obliczeń strat ciśnienia", do obliczeń przewodów pod ciśnieniem. Stosowany jest powszechnie przy projektowaniu sieci deszczownianych i wodociągowych.

Porównanie wyników, przedstawione na rysunku 1, wskazuje na duże różnice między wartościami pomierzonymi i obliczonymi. Różnice te występują przede wszystkim przy mniejszych wartościach strat ciśnienia, które odpowiadają mniejszym prędkościom przepływu. Przy prędkościach większych wyniki pomiarów są zgodne z wynikami obliczeń.

Uzasadnia to celbwość stosowania formuły Darcy - Weisbacha do obliczeń sieci wodociągowej i deszczownianej, w których występują większe prędkości przepływu wody w przewodach.

Natomiast przy prędkościach mniejszych, które są charakterystyczne dla przewodów nawadniających w systemie nawodnień kropłowych zastosowanie tej formuły jest ograniczone.

Następnie przeprowadzono obliczenia, w których uwzględniono

zmiany energetyczne wynikające z zmian masy przepływu przez wprowadzenie współczynnika redukcyjnego F. Tab.1. Założenia takie przyjmuje wielu autorów. Porównanie wyników obliczeń i pomiarów przeprowadzono jedynie dla doświadczeń z wyższymi prędkościami przepływu, przy których uzyskano zgodność obliczeń z formułą Darcy - Weisbacha / rys.1/.

Z analizy porównawczej wynika, że uwzględnienie zmian energetycznych wynikających ze zmian masy przepływu przez przyjęcie przepływu zastępczego daje zdecydowanie dokładniejsze wyniki niż wprowadzenie współczynnika redukcyjnego F.

### 3. Sformułowanie założeń do obliczania przewodów nawadniających

Wyniki badań własnych oraz porównanie ich z danymi uzyskanymi na podstawie obliczeń z zastosowaniem różnych metod pozwoliły sformułować następujące założenia:

I. W warunkach przewodów nawadniających do nawodnień kropłowych, w których jak stwierdzono, mogą występować kolejno trzy rodzaje obszarów ruchu, nie można stosować założeń odnoszących się li tylko do jednego obszaru przepływu.

Należy więc określić formuły obejmujące trzy obszary ruchu /laminarny, przejściowy i burzliwy/.

Postawioną tezę przedstawić można według znanej formuły Darcy - Weisbacha, która została zmodyfikowana do następującej postaci:

$$\Delta H = \lambda \frac{v^m}{2g} \frac{L}{D} \quad /2/$$

Modyfikacja ta polega na przyjęciu wykładnika potęgowego m do funkcji prędkości zastępczej przepływu w przewodach nawadniających z całkowitym rozbiorem na trasie.

Wartość m zależy od rodzaju ruchu wody w przewodzie.

Tabela 1

Porównanie wartości strat ciśnienia w przewodzie nawadniającym pomierzonych i obliczonych przy wprowadzeniu współczynnika redukcyjnego F.

Doświadczenie		V <sub>o</sub>	F	m	ΔH	
Seria	Numer				Obliczo- ne	Pomie- rzone
I	1	0,55	0,335	2	0,30	0,27
	2	0,50	0,335	2	0,246	0,22
II	1	0,80	0,335	2	1,13	1,03
	2	0,62	0,335	2	0,72	0,65
	3	0,34	0,335	2	0,257	0,27

II. W przewodach nawadniających o całkowitym rozbiórce wydatku na trasie należy uwzględnić zmiany energetyczne wynikające ze zmian masy przepływu przez przyjęcie przepływu zastępczego w postaci:

$$Q_z = 0,55 Q_w \quad /3/$$

gdzie:

$Q_z$  - przepływ zastępczy,

$Q_w$  - wydatek na długości przewodu, przy zerowym przepływie w końcu przewodu.

Wyjaśnienia wymaga przyjęcie odpowiedniej wartości współczynnika oporów hydraulicznych  $\lambda$ . Na podstawie badań własnych [4] stwierdzono, że wartości  $\lambda$  zmieniają się w poważnych granicach na długości przewodu nawadniającego z rozbiorem na trasie.

Sformułowano następujące założenie:

III. Do obliczeń przewodów nawadniających z rozbiorem na trasie przyjmujemy współczynnik oporów hydraulicznych  $\lambda$  określony dla warunków ruchu na początku przewodu.

W warunkach ruchu laminarnego współczynnik  $\lambda$  należy określić wg wzoru:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad /4/$$

Natomiast w obszarze przepływu przejściowego i burzliwego dla rur gładkich na podstawie formuły Blasiusa.

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad /5/$$

#### 4. Sprawdzenie sformułowanych założeń.

Przyjmując sformułowane założenia określono, na podstawie ba-

dań własnych, wartości wykładnika potęgowego  $m$  przy zastępczej prędkości przepływu w przewodach nawadniających z całkowitym rozbiorem na trasie. Wyniki zestawiono w tab.2.

Następnie skonstruowano wykres /Rys.2/ przedstawiający zależność wykładnika potęgowego  $m$  od liczby Reynoldsa czyli:

$$m = f / Re/ \quad /6/$$

Otrzymano zbiór punktów, które na podziałce półlogarytmicznej układają się w kształcie linii prostych.

Wartość wykładnika potęgowego  $m$  zmienia się od jedności w obszarze ruchu laminarnego do dwóch w warunkach przepływu burzliwego.

Obliczenia te potwierdziły wątpliwość przyjmowania wartości  $m$  równej dwa jako stałej, uniwersalnej dla każdego obszaru ruchu wody w przewodzie.

Do wiarygodnego sprawdzenia sformułowanych założeń przeprowadzono dodatkowo badania kontrolne. Na ich podstawie obliczono wartości wykładnika potęgowego  $m$ , które zestawiono w tab.3 i zaznaczono na wykresie 2.

Stwierdzono, że wartości wykładnika  $m$  określone na podstawie badań kontrolnych, układają się zgodnie z skonstruowanym wykresem funkcji  $m = f / Re/_{0,1}$ .

Sprawdzenie sformułowanych założeń oparto także na niezależnie prowadzonych badaniach Rzekanowskiego [8], Kalińskiego [5] i Naumienko [6]. Wyniki zestawiono w tabeli 4 oraz przedstawiono na rys.2.

Otrzymano wysoką zgodność obliczeń strat ciśnienia według proponowanej metody z badaniami innych autorów.

## 5. Podsumowanie

Wyniki badań własnych oraz analiza metod obliczeń hydraulicz-

Tabela 2

Wartości wykładnika potęgowego  $m$  do funkcji  
prędkości zastępczej w przewodach nawadniających  
z całkowitym rozbiorem na trasie

Badania	$Q_0 = Q_w$ / $10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	$V_0$ / $\text{m/s}$	$Re/\alpha$	$\lambda_0$	$\frac{\Delta H}{\text{pomierzona}}$ / $\frac{\text{m}}{\text{m}}$	$Q_z = 0,55Q_0$ / $10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	$V_z$ / $\text{m/s}$	$m$
I	1	9,7046	8258,0	0,0330	0,27	5,3375	0,302	2,00
	2	8,7472	7370,5	0,0340	0,22	4,8109	0,275	2,00
	3	4,8048	4048,6	0,0397	0,12	2,6426	0,149	1,75
	4	3,0184	2543,0	0,0450	0,09	1,6601	0,094	1,53
II	1	14,1070	11886,4	0,0300	1,02	7,7589	0,439	2,00
	2	10,9500	9227,0	0,0320	0,65	6,0225	0,341	2,00
	3	6,0500	5062,5	0,0375	0,29	3,3275	0,187	1,85
III	1	2,3646	3320,7	0,0340	0,42	1,3005	0,204	1,65
	2	1,3827	1941,8	0,0329	0,17	0,7605	0,121	1,44
	3	0,9018	1266,0	0,0510	0,10	0,4959	0,077	1,23
IV	1	0,5465	628,0	0,102	0,03	0,3006	0,033	1,00

Tabela 3

Wartości wykładnika potęgowego  $m$  do funkcji prędkości zastępczej w przewodach nawadniających z całkowitym rozbiorem na trasie określone dla badań kontrolnych

Badania	$Q_0 = Q_v$ $/ 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	$V_0$ $/ \text{m/s}$	$Re/d$	$\lambda_0$	$\Delta H$ pomierzone $/ \text{m}$	$V_z$ $/ \text{m/s}$	$m$
I	5	2,4740	2085	0,0311	0,09	0,077	1,45
II	4	7,7752	6552	0,0352	0,20	0,242	1,93
II	7	6,7150	5658	0,0365	0,17	0,209	1,90
II	10	3,8876	3276	0,0420	0,11	0,121	1,67
III	5	1,7671	1489	0,0430	0,09	0,055	1,30



Tabela 4.

Wartości wykładnika potęgowego  $m$  do funkcji prędkości zastępczej w przewodach nawadniających określone dla badań Rzekanowskiego, Kalińskiego i Naumińskiego.

Autor	Nr pomiaru	Wyniki badań				Obliczenia					
		Długość przewodu $L$ / m	Średnica przewodu $D$ / mm	Wydatek $Q_w$ / l/min	Strata ciśnienia $\Delta H$ / m	Prędkość początkowa $v_0$ / m/s	Liczba Reynoldsa $Re$	Współczynnik oporów $\lambda$	Prędkość zastępcza $v_z$ / m/s	Wykładnik potęgowy $m$	$\Delta H$ / m
Rzekanowski	1	50	20	4	0,11	0,2122	4212,8	0,039	0,1167	1,76	0,113
	2	50	20	2	0,05	0,1061	2106,5	0,030	0,0584	1,46	0,058
Kaliński	1	26	15	1,8221	0,104	0,1700	2531	0,0450	0,0935	1,54	0,103
	2	26	15	1,3213	0,075	0,1246	1855	0,0345	0,0685	1,39	0,073
Naumiński	1	6	14,8	4,4385	0,045	0,430	5390	0,037	0,2363	1,85	0,0458
	2	11	14,8	9,0414	0,261	0,876	10970	0,031	0,4816	2,00	0,2605

nych przewodów nawadniających uzasadniały celowość poszukiwań nowych rozwiązań, które pozwalałyby dokładnie projektować przewody w systemie nawadnień kropłowych.

Podstawą propozycji obliczania przewodów nawadniających jest koncepcja przyjęcia przepływu zastępczego oraz ściśle zdefiniowanego wykładnika potęgowego  $m$  do funkcji prędkości przepływu, zależnego od rodzaju ruchu wody w przewodzie nawadniającym z całkowitym rozbiorem na trasie.

Wartość wykładnika  $m$  zmienia się od jednościci w obszarze ruchu laminarnego do dwóch w warunkach przepływu burzliwego.

Współczynnik oporów hydraulicznych  $\lambda$  określać należy dla warunków przepływu na początku przewodu odpowiednio według formuły Hagena - Poiseuille'a lub Blasiusa w zależności od charakteru ruchu wody w przewodzie.

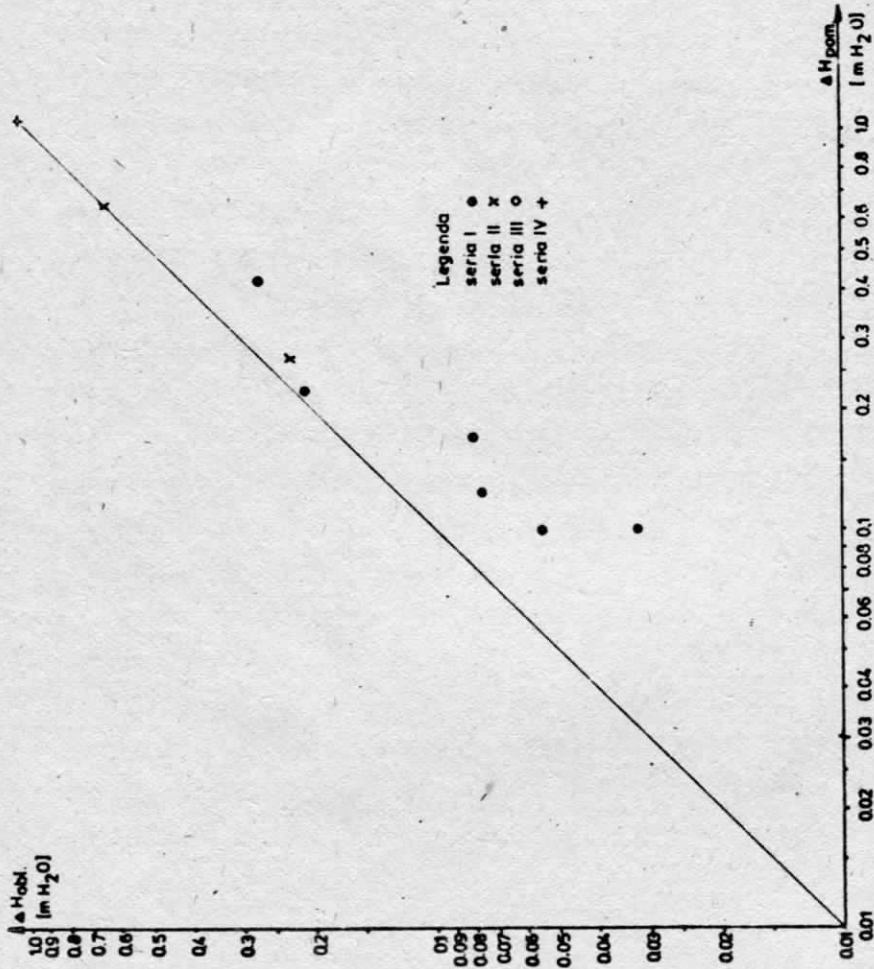
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wielkości strat ciśnienia określone według sformułowanych założeń są identyczne lub prawie identyczne z wynikami pomiarów. Dokładność ta dotyczy zarówno obszaru ruchu laminarnego i przejściowego jak i burzliwego.

Takiej zgodności obliczeń i pomiarów nie otrzymano przy zastosowaniu żadnej ze znanych metod.

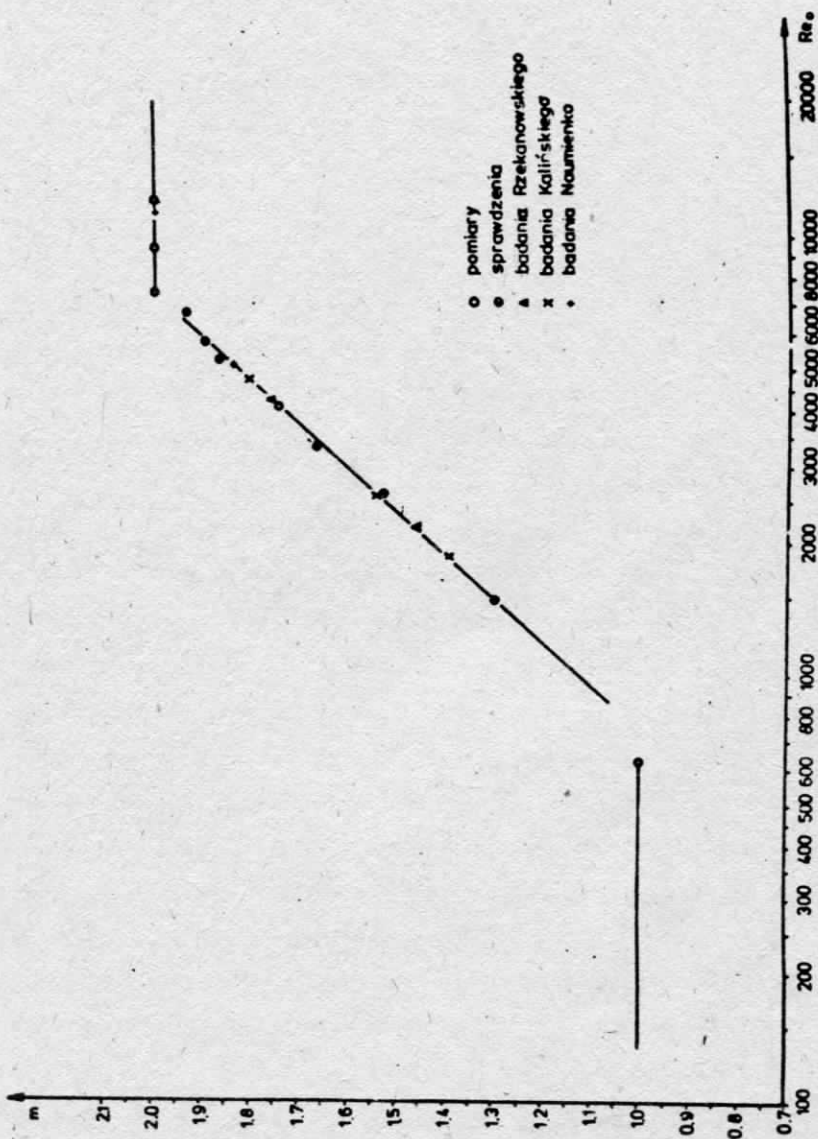
Sprawdzenie proponowanej metody obliczeń na podstawie osobnych badań własnych oraz doświadczeń Rzekanowskiego, Kalińskiego i Naumienko wskazuje na praktyczną możliwość zastosowania jej do wymiarowania przewodów nawadniających. Konieczne wydają się jeszcze szczegółowe badania kontrolne.

Literatura wykorzystana

1. Bukowski J. - Mechanika płynów. PWN 1976.
2. Czetwertyński E., Utrysko B. - Hydraulika i hydromechanika.  
PWN 1969.
3. Happel J., Brenner H. - Low Reynolds number hydrodynamics.  
Prentice - Hall. 1969.
4. Jeznach J. - Analiza metod obliczeń hydraulicznych w systemach  
nawodnień kropłowych. Maszynopis IMiGW. 1981.
5. Kaliński J. - Nawodnienia upraw szklarniowych. Maszynopis IMRIL.  
1974.
6. Naumienko I.I. - Gidravličeskij rasčet polivnyh truboprovodov  
kapel'nogo orošenija. Gidravlika i Gidrotechnika  
Vypusk 30. Kijev 1980. s.70-77.
7. Ostromęcki J. - Obliczenia hydrauliczne w projektowaniu i eksplo-  
atacji systemów nawodnień kropłowych. Wiadomości  
IMUZ T XIII z.3 1978. s.271-316.
8. Rzekanowski C. - Ocena przydatności trzech typów kropłomierzy  
do nawadniania kropłowego. Z.N.Akad.Tech.-  
Roln. Bydgoszcz "Rolnictwo" Nr 76, 8. 1979  
s. 135-159.



Rys.1 Porównanie pomierzonych oraz obliczonych wg wzoru Darcy-Weisbacha wartości strat ciśnienia w przewodzie nawadniającym.



Rys. 2 Zależność wykładnika potęgowego m od liczby Reynoldsa  $Re_0$  w przewodzie nawadniającym wydłużającym po drodze.