

# PARAMETRY TECHNICZNE PRZEWODÓW POROWATYCH A ICH PRZYDATNOŚĆ W SYSTEMACH NAWODNIENIOWYCH

## TECHNICAL PARAMETERS OF POROUS PIPES AND THEIR SUITABILITY FOR IRRIGATION SYSTEMS

*Paweł Konopacki<sup>1</sup>, Waldemar Treder<sup>1</sup>, Ewa Kowalska<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach

<sup>2</sup> Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie

### Wstęp

Przewody porowate są zalecane w wielu krajach do nawadniania ogródków działkowych, ogrodów publicznych, jak również upraw komercyjnych. Ich udział w istniejących systemach nawodnieniowych jest jednak niewielki.

Przewody porowate są tłoczone z granulatu będącego mieszaniną głównie gumy oraz tworzywa sztucznego, zazwyczaj polietylenu. Powodem intensywnej promocji przewodów porowatych jest fakt, że granulaty gumy używane do ich produkcji pochodzą z utylizacji zużytych opon samochodowych.

Właśnie to pochodzenie surowca powoduje poważne ograniczenie lub wręcz całkowity brak kontroli równomierności używanego granulatu i powtarzalności kolejnych jego partii, a co za tym idzie większą zmienność parametrów technicznych przewodów porowatych.

Celem przeprowadzonych laboratoryjnych i polowych badań kilku partii wyprodukowanych w Polsce przewodów porowatych było określenie ich przydatności do celów nawodnieniowych poprzez porównanie parametrów przewodów porowatych do parametrów sprzętu standardowo używanego w systemach nawodnieniowych.

## Przegląd literatury

Pomimo pozornych podobieństw, sposób działania przewodów porowatych jest całkowicie odmienny od sposobu działania linii kroplujących. Linia kroplująca składa się z szeregu równomiernie rozmieszczonych emiterów kropłowych, które cechują się wysoką powtarzalnością parametrów pracy tj. charakterystyki wydatku w zależności od ciśnienia. Powtarzalność ta określona jako współczynnik zmienności produkcyjnej  $C_v$  była przedmiotem badań już od lat 70-tych (Keller i Karmeli, 1974b; Solomon, 1979) i jest określona normami (ISO 9261, BN-89/9191-17, ASAE Standard EP405.1). Przestrzeganie norm dotyczących zmienności produkcyjnej umożliwia zaprojektowanie instalacji nawodnieniowej o wymaganej równomierności emisji wody (Keller i Karmeli, 1974b; Bralts, 1986).

Przewody porowate cechują się wypływem wody nie przez pojedyncze emitery, a poprzez mikropory rozmieszczone w całej objętości przewodu. Pory te nie są (i ze swojej natury nie mogą być) jednorodne - ich średnica wg jednego z producentów amerykańskich (Yoder i Mote, 1995) wynosi od 5 do 15  $\mu\text{m}$ . Taka zmienność wielkości mikropor musi rzutować na ilość wypływającej przez nie wody. Zakładając, że przepływ wody przez mikropory jest ruchem laminarnym o charakterystyce zbliżonej do przepływu przez emitery kapilarne, to wydatek wody jest proporcjonalny do czwartej potęgi średnicy mikropory (Ostromięcki, 1978). Wobec tego trzykrotna różnica średnic mikropor powinna (teoretycznie) powodować 81-krotną różnicę ich wydatków.

Dodatkowo elastyczna, gąbczasta struktura ścianki przewodu może spowodować, że wraz ze wzrostem ciśnienia niektóre pory zostaną znacznie powiększone, podczas gdy inne, blisko położone, ulegną prawie całkowitemu zamknięciu.

Osobnym czynnikiem różnicującym parametry pracy polietylenowych linii kroplujących i przewodów porowatych są opory przepływu wody. Ścianka przewodu polietylenowego cechuje się bardzo niskimi oporami przepływu, podczas gdy już sama porowata struktura przewodów porowatych powoduje większe straty ciśnienia przepływającej wody. Różnice w parametrach produkcji mogą powodować powstawanie "zadziorów" na wewnętrznej ściance przewodów porowatych.

Aby możliwie zredukować zmienność emisji wody producenci przewodów porowatych zalecają ich używanie w instalacjach niskociśnieniowych, to jest przy ciśnieniu wody poniżej 0,1 MPa.

Różnice wydatków nominalnych przewodów porowatych są powodem różnych zaleceń producentów dotyczących zakresów ciśnień roboczych i dopuszczalnych maksymalnych długości używanych przewodów. Jedni zalecają używanie ich produktu w przedziale ciśnienia od 0,04 do 0,1 MPa oraz maksymalną długość używanego przewodu 150 m (Euro-Distribution), inni, przy takiej samej długości maksymalnej podają zakres ciśnienia roboczego od 0,02 do 0,1 MPa (Friedel &

Hilkert GmbH), jeszcze inni zalecają ciśnienie od 0,025 do 0,075 MPa i maksymalną długość 50 m (Porous Pipe Ltd.).

## Metody badań

### Badania laboratoryjne na stanowisku badawczym

Badania laboratoryjne parametrów hydraulicznych przewodu wykonywano w oparciu o wskazania normy ISO 9261:1991 (z zachowaniem dokładności pomiarowych opisanych tą normą), przy założeniu, że pojedynczym emiterym jest krótki odcinek przewodu porowatego.

Z trzech partii przewodów porowatych o długości ok. 100 m każda pobrano łącznie 25 próbek o długości ok. 25 cm każda, starając się o równomierne rozmieszczenie miejsc pobrania. Wszystkie próbki poddano kondycjonowaniu przez 1 godzinę. Natychmiast po zakończeniu kondycjonowania wykonano pomiary wydatku poszczególnych próbek.

Na podstawie danych pomiarowych wyliczono średnie wydatki przewodu porowatego dla różnych poziomów ciśnienia (w przeliczeniu na  $\text{dm}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ ) oraz współczynniki zmienności produkcyjnej  $C_v$  wg następującego równania (Solomon, 1979; ISO 9261:1991):

$$C_v = \frac{S_q}{\bar{q}} 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:  $S_q$  - odchylenie standardowe wydatków (w przeliczeniu na  $\text{dm}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ ) próbek przewodu w badanej próbce,

$\bar{q}$  - średni wydatek próbki przewodu porowatego (w przeliczeniu na  $\text{dm}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$ ) w badanej próbce.

Wyliczono również współczynniki regresji potęgowej do równań wydatków poszczególnych partii przewodów w funkcji ciśnienia. W tym celu, zgodnie z normami ISO, próbki przewodów uszeregowano w kolejności wielkości wydatków i brano pod uwagę jedynie próbki o numerach 3, 12, 13 i 23.

Ze względu na przypuszczalną zmienność pomiędzy trzema badanymi partiami przewodów porowatych, próbki pobierane do badań były oznaczane wg partii z których pochodziły. Po wykonaniu badań wyliczono dodatkowo szacunkowe (na podstawie 8-9 próbek) parametry osobno dla każdej partii.

### Badania równomierności wydatku na długości przewodu porowatego

Badania przeprowadzono na losowo wybranej partii przewodu. Odcinek o długości 50 m (jako długości dużego tunelu foliowego) podłączono do źródła wody o stałym ciśnieniu (zmienność ciśnienia maksymalnie  $\pm 2\%$ ). Pomiary służące do określenia równomierności wydatku na długości przewodu przeprowadzono na 12 odcinkach pomiarowych o długości 1 m każdy, poprzez równoczesne zbieranie wydatkowanej wody do 12 rynien o jednakowej długości. Objętość zebranej wody była mierzona z

maksymalnym błędem 2%, a pomiary strat ciśnienia mierzono manometrem dyferencyjnym klasy 1,6. Badania przeprowadzono dla wartości ciśnienia początkowego: 0,02 MPa, 0,03 MPa, 0,04 MPa oraz 0,05 MPa (mierzono manometrem klasy 1,6). Dla każdego z tych ciśnień pomiary powtórzono 3 razy. Czas pomiarowy wynosił 5 minut (po ustabilizowaniu się ciśnienia).

Współczynniki zmienności wydatku  $C_v$  obliczano wg równania (1).

Zmienność ciśnienia na całej długości przewodu  $P_{var}$  obliczano wg równania (Bralts, 1986):

$$P_{var} = \frac{\Delta P}{P_{max}} 100 \quad [\%] \quad (2)$$

gdzie:  $\Delta P$  - różnica ciśnień na całej długości przewodu, mierzona manometrem dyferencyjnym,

$P_{max}$  - ciśnienie maksymalne (początkowe).

Współczynnik połowej (eksploatacyjnej) równomierności emisji wody  $EU'$  obliczano zgodnie z równaniem zaproponowanym przez Keller'a i Karmeli'ego (1974a):

$$EU' = \frac{q_{min\frac{1}{4}}}{\bar{q}} 100 \quad [\%] \quad (3)$$

gdzie:  $q_{min\frac{1}{4}}$  - średni wydatek z  $\frac{1}{4}$  najniższych wydatków (czyli z trzech odcinków o najmniejszych wydatkach),

$\bar{q}$  - średni wydatek odcinka przewodu.

### Badanie oporów przepływu wody przez przewód porowaty

Badania wykonano tak, aby można było wyliczyć współczynnik oporów hydraulicznych używany w równaniu Hazen'a-Williams'a, który w układzie SI ma następującą postać:

$$\Delta P = 0,1091 L Q^{1,852} C^{-1,852} D^{-4,871} \quad [MPa] \quad (4)$$

gdzie:  $\Delta P$  - strata ciśnienia w przewodzie [MPa],

$L$  - długość rozpatrywanego przewodu [m],

$Q$  - przepływ wody przez przewód [ $m^3 s^{-1}$ ],

$C$  - współczynnik oporów hydraulicznych [-],

$D$  - średnica wewnętrzna przewodu [m].

Aby wyeliminować zmiany ciśnienia wskutek wydatku wody wzdłuż przewodu badany odcinek został umieszczony w przewodzie polietylenowym o większej średnicy, który następnie uszczelniono. Tak przygotowany przewód porowaty podłączono do źródła wody o stałym ciśnieniu (zmienność maksymalna  $\pm 2\%$ ). Podczas badań wykonywano pomiary strat ciśnienia (przy użyciu profesjonalnego manometru dyferencyjnego klasy 1,6; prod. Manometerwerk Richard Matthes

GmbH), pomiary ciśnienia początkowego, pomiary wydatku i pomiary temperatury wody przepływającej przez przewód porowaty.

Na podstawie pomiarów temperatury dokonano korekcji strat ciśnienia do temperatury odniesienia 20°C, wg normy ISO/TR 10501:1993.

Badania przeprowadzono, po uprzednim dokładnym odpowietrzeniu przewodu osłonowego, dla kilku poziomów różnicy ciśnień od 0,03 MPa do 0,06 MPa (łącznie w 9 powtórzeniach). Minimalna objętość pomiarowa wynosiła 20 dm<sup>3</sup>, a maksymalna 112 dm<sup>3</sup>.

Po zakończeniu badań przewodu porowatego wykonano dodatkowe pomiary mające na celu określenie strat ciśnienia na złączkach, którymi przewód był podłączony do manometru różnicowego, natomiast sam przewód porowaty został pocięty na 13 odcinków w celu pomiaru średnicy wewnętrznej. Średnica była mierzona w każdym przekroju w dwóch prostopadłych kierunkach, a następnie wyliczono wartość średnią z wszystkich 52 pomiarów.

## Wyniki

Wyniki badań laboratoryjnych (Tab. 1) wskazują, że badane przewody porowate nie odbiegają pod względem zmienności produkcyjnej od produktów wcześniej badanych przez Solomona (1979, 1993), jednakże są gorsze od przewodów badanych przez Yoder'a i Mote'go (1995). Równocześnie wielkość wykładnika potęgowego charakterystyki wydatku (Tab. 1) świadczy, że wypływ wody przez mikropory ma charakter bardziej burzliwy niż w przewodach porowatych badanych przez Solomona (1979, 1993), u których wykładniki potęgowe wyniosły odpowiednio 1,0 i 0,756.

Tab. 1 Wydatki badań laboratoryjnych przewodu porowatego oraz wyliczona charakterystyka wydatku (badane wg metodyki ISO, ciśnienie rosnące)  
Results of laboratory tests of porous pipe and derived discharge equation (according to ISO conditions, increasing pressure)

Ciśnienie Pressure p [MPa]	0,02	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1
Średni wydatek Q Mean discharge Q [dm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]	4,77	7,63	8,35	9,40	10,46	14,51
Wsp. zmienności C <sub>v</sub> Coef. of variation C <sub>v</sub> [%]	42,40	40,84	40,01	39,08	43,78	36,13
Charakterystyka wydatku Discharge equation	$Q = 46,87 p^{0,5942}$					

Bardzo istotne są różnice parametrów pomiędzy poszczególnymi badanymi partiami przewodów. Szacunkowo obliczone parametry (Tab. 2) świadczą, że różne partie przewodu porowatego wytworzone wg jednakowej technologii mogą się cechować bardzo różnymi wydatkami, tak, że statystyczna zmienność wydatku różnych partii

może przekraczać 20%. Dane zamieszczone w Tabeli 2 wskazują również, że średni wydatek przewodu porowatego i jego zmienność produkcyjna mogą być ze sobą odwrotnie skorelowane. Spośród przebadanych partii przewodu porowatego, partie oznaczone numerami 1 i 2 miały wprawdzie wyższy wydatek niż średni obliczony dla tego produktu (Tab. 1), ale za to współczynniki zmienności produkcyjnej  $C_v$  obliczone dla tych partii były znacznie niższe od średniej. Natomiast dla partii przewodu oznaczonej numerem 3 niższy wydatek był powiązany ze znacznie wyższym współczynnikiem zmienności  $C_v$ .

Należy przy tym pamiętać, że nawet te partie przewodu porowatego, które cechują się niższymi współczynnikami zmienności nie mogą być substytutem dla linii kroplujących spełniających normy jakości. Wg ISO 9261 zmienność produkcyjna emiterów kroplowych w żadnym przypadku nie powinna przekraczać 10 % (klasa B), a wg normy ASAE 405.1 (za Solomonem, 1993) współczynnik  $C_v$  linii kroplujących nie powinien przekraczać 20 %. Polska norma BN-89/9191-17 plasuje się tutaj pośrodku dopuszczając istnienie klasy C o maksymalnym współczynniku zmienności  $C_v$  równym 15 %.

Tab. 2 Parametry poszczególnych partii węża porowatego (obliczone szacunkowo dla 8-9 próbek, ciśnienie rosnące)

Parameters of individual lots of porous pipe (estimated for 8-9 samples, increasing pressure)

Ciśnienie Pressure p [MPa]	Średni wydatek Q Mean discharge Q [dm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]			Wsp. zmienności $C_v$ Coef. of variation $C_v$ [%]			Wsp. $C_v$ pomiędzy partiami $C_v$ coef. between lots [%]
	Partia 1 Lot 1	Partia 2 Lot 2	Partia 3 Lot 3	Partia 1 Lot 1	Partia 2 Lot 2	Partia 3 Lot 3	
0,02	5,67	5,19	3,59	29,60	27,99	64,67	22,65
0,04	9,09	8,28	5,76	28,63	26,43	61,50	22,52
0,05	10,10	9,03	6,40	27,54	27,00	59,45	22,37
0,06	11,27	9,99	7,22	26,20	26,35	58,14	21,82
0,08	13,62	11,93	7,92	22,14	26,56	58,25	26,23
0,10	17,09	15,49	11,33	25,53	26,18	50,18	20,31

Wykładniki potęgowe szacunkowych charakterystyk wydatku poszczególnych partii przewodu porowatego (Tab. 3) wskazują, że wszystkie trzy partie przewodu cechowały się praktycznie jednakową burzliwością przepływu wody przez mikropory. Jednakże duże różnice pomiędzy współczynnikami stałymi uniemożliwiają uznanie tego przewodu za jednorodny produkt.

Tab. 3 Szacunkowe charakterystyki wydatku poszczególnych partii przewodu porowatego.

Estimated discharge equations of individual lots of porous pipe.

Partia przewodu	Lot of pipe	Charakterystyka wydatku	Discharge equation
	1		$Q = 74,82 p^{0,6607}$
	2		$Q = 63,94 p^{0,6434}$
	3		$Q = 47,01 p^{0,6581}$

Tab. 4 Wyniki pomiarów równomierności wydatku przewodu o długości 50 m przy różnych poziomach ciśnienia początkowego (średnie z trzech powtórzeń)

Results of field tests of discharge uniformity of 50 m long porous pipe for different initial pressure levels (means of three repetitions)

Ciśnienie początkowe Initial pressure [MPa]	Różnica ciśnień Outlet-inlet pressure difference [bar]	Zmienność ciśnienia Pressure variation $P_{var}$ [%]	Zmienność wydatku Discharge variation $C_v$ [%]	Równomierność emisji Emission uniformity $EU'$ [%]	Średni wydatek Mean discharge $Q$ [dm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]
0,02	0,036	18,00	24,54	81,64	3,45
0,03	0,087	28,89	29,38	79,32	4,90
0,04	0,123	30,75	28,93	82,21	5,54
0,05	0,178	35,53	28,67	84,32	6,69

Tab. 5. Wyniki badań oporów hydraulicznych przewodu porowatego (po korekcji do temperatury 20°C; D = 12,61 mm; Re = 12550).

Results of porous pipe roughness test (after correction to temperature 20°C; D = 12,61 mm; Re = 12550)

Ciśnienie początkowe Initial pressure [MPa]	0,051	0,058	0,065	0,077	0,079	0,079	0,084	0,096	0,097
Wsp. oporów C [-] Hazen-Williams coef.	109,0	109,3	108,5	108,6	107,9	107,9	116,0	107,7	108,3
Średnio Mean	109,24								

Dla wielu badaczy parametrem decydującym o przydatności danego sprzętu do celów nawodnieniowych jest równomierność emisji. Badania losowo wybranego 50 m przewodu (Tab. 4) świadczą, że współczynnik połowej (eksploatacyjnej) równomierności emisji  $EU'$  waha się od 79,3 do 84,3 % (w zależności od ciśnienia) i jest na dopuszczalnym poziomie (Bralts, 1986).

Niemniej średni współczynnik oporów przepływu wody Hazen'a-Williams'a (C) wyliczony na poziomie 109,2 (Tab. 5) jest znacznie gorszy od współczynników

charakteryzujących przewody PE lub PCW (z których zazwyczaj buduje się systemy nawodnieniowe) i mieszczących się w przedziale 130-150. Oznacza to, że w bardziej złożonych instalacjach nawodnieniowych zmienność ciśnienia będzie większa niż w analogicznych systemach zbudowanych z przewodów PE lub PCW. A ponieważ zmienność ciśnienia jest jednym z podstawowych (obok zmienności produkcyjnej) parametrów wpływających na równomierność emisji, należy przypuszczać, że współczynnik EU' w większych instalacjach będzie znacznie niższy niż dla pojedynczego przewodu (jak w Tab. 4).

### Wnioski

1. Zmienność wydatku przewodu porowatego badana laboratoryjnie wykracza poza wartość zmienności statystycznej dopuszczalnej przez normy ISO dla emiterów kropłowych.
2. Wyniki badań zmienności wydatku przewodu na długości 50 m wykazały zmienność statystyczną 24,54 % do 29,38 % (w zależności od ciśnienia), przy połowej równomierności emisji wahającej się od 79,32 do 84,32 %.
3. Stwierdzono nieliniową zależność współczynnika połowej równomierności emisji (EU') od ciśnienia w wynikach badań przewodu na długości 50 m co wskazuje na możliwość dużej zmienności rozmiarów mikropor w ściankach przewodu i potrzebę kondycjonowania przewodu.
4. Współczynnik oporów hydraulicznych Hazena-Williamsa (C) został określony na 109,24 dla temperatury odniesienia 20°C, co oznacza znacznie większe spadki ciśnienia w przewodach porowatych niż w powszechnie stosowanych przewodach PE.
5. Wyniki badań wykazały ograniczone możliwości stosowania badanych przewodów porowatych w komercyjnych systemach nawodnieniowych.

### Literatura

- American Society of Agricultural Engineers, 1989. *Design and Installation of Microirrigation Systems*. ASAE Standard EP405.1
- BN-89/9191-17. Nawodnienia umiejscowione. Przewody nawadniające. Określenia i metody badań.
- BRALTS V.F. 1986. *Operational Principles - Field Performance and Evaluation*. Nakayama F.S., Bucks D.A. (red.) *Trickle Irrigation for Crop Production*. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam: 216-240.
- ISO 9261:1991. *Agricultural irrigation equipment - Emitting-pipe systems Specification and test methods*. ss: 7.
- ISO/TR 10501:1993. *Thermoplastic pipes for the transport of liquids under pressure - Calculation of head losses*. ss. 5.

- KELLER J., KARMELI D. 1974a. *Trickle Irrigation Design Parameters*. Trans. ASAE 17(4): 678-684.
- KELLER J., KARMELI D. 1974b. *Trickle Irrigation Design*. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp. Glendora, California. Manuscript, ss.182
- OSTROMEŃCKI J. 1978. *Obliczenia hydrauliczne w projektowaniu i eksploatacji systemów nawodnień kropłowych*. Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, t. XIII, z. 3: 271-316.
- SOLOMON K.H.. 1979. *Manufacturing Variation of Trickle Emitters*. Trans. ASAE 22(5): 1034-1038, 1043.
- SOLOMON K.H. 1993. *Subsurface Drip Irrigation: Product Selection and Performance*. Proc. of "Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practices and Application" Conference. Visalia, California. CATI Publication No. 92 1001: 3-25.
- VON BERNUTH R.D., SOLOMON K.H. 1986. *Design Principles - Emitter Construction*. Nakayama F.S., Bucks D.A. (red.) *Trickle Irrigation for Crop Production*. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam: 27-52.
- YODER R.E., MOTE C.R. 1995. *Porous Pipe Discharge Uniformity*. Proc. Fifth Intern. Microirrigation Congress "Microirrigation for a Changing World: Conserving Resources / Preserving the Environment". Orlando, Florida. 2-6.04.1995: 750-755.

### Summary

**Technical parameters of porous pipes and their suitability for irrigation systems.** Laboratory tests of three lots of porous pipes, showed that mean coefficient of manufacturing variation  $C_v$  was 40.0% ( $p=0.05$  MPa), while estimated coefficients of individual lots were between 27.0% and 59.5%. These  $C_v$  values place porous pipes beyond normative ranges acceptable for drip lines. Much better results were obtained during field test of single lateral, where field emission uniformity  $EU'$  was 84.3% ( $p=0,05$  MPa) what is the acceptable value. Unfortunately Hazen-Williams roughness coefficient (calculated on the basis of special test), was 109.2, and suggests that emission uniformity of bigger irrigation system could be lower.

Paweł Konopacki, Waldemar Treder  
 Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa  
 ul. Pomologiczna 18, 96-100 Skierniewice  
 e-mail: pkonopac@insad.isk.skierniewice.pl  
 Ewa Kowalska  
 Instytut Chemii Przemysłowej  
 ul. Rydygiera 8, 01-793 Warszawa