

## METODYCZNE ASPEKTY OCENY KOMPENSACJI CIŚNIENIA W EMITERACH NAWODNIENIOWYCH

*Ewa Frieske-Górska, Leszek Piechnik*  
*Instytut Inżynierii Biosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodykę i stanowisko pomiaru kompensacji ciśnienia w tulejkowych emiterach linii kroplujących w funkcji zmian ciśnienia zasilania. Celem pracy badawczej było określenie wielkości kompensacji, która może posłużyć do utworzenia podstaw klasyfikacji emiterów kroplowych oraz oceny ich stanu technicznego lub stopnia zużycia. Pomiary wielkości kompensacji wykonano na kroplownikach z kompensacją ciśnienia. Przeprowadzone pomiary pozwoliły określić zakres efektywnego działania kompensacji i zależności pomiędzy ciśnieniem zasilania a objętościowym natężeniem wypływu oraz ciśnieniem na wyjściu z labiryntu turbulentnego przepływu wody w kroplowniku. Utworzona metodyka pomiarów oraz układ stanowiska laboratoryjnego sprawdziły się w badaniach eksperymentalnych. Pozwolą one również po niedużej adaptacji na przeprowadzenie w przyszłości wielokrotnych badań innych typów emiterów kroplowych. Otrzymane wyniki pozwoliły określić zakres przedziału kompensacji, natomiast do utworzenia klas podziału emiterów niezbędne jest pozyskanie kroplowników od innych producentów.

**Słowa kluczowe:** nawodnienia umiejscowione, linia kroplująca, emiterzy kroplujące, kompensacja ciśnienia

### Wstęp

W dobie oszczędnego gospodarowania wodą ważną i stale rozwijającą się metodą nawadniania są systemy nawodnień umiejscowionych. Do nich zalicza się systemy nawodnienia z emiterami kroplowymi, liniowymi, strużkowymi i rozpryskowymi. Do cech, które spowodowały bardzo dynamiczny rozwój wszystkich odmian mikronawodnień, należą m. in. oszczędne gospodarowanie wodą i nawozami, zwiększenie plonów i poprawa ich jakości czy racjonalne wykorzystywanie nawozów i innych środków chemicznych [Jeznach 2009]. Cechą charakterystyczną nawodnień kroplowych jest podawanie precyzyjnie, punktowo określonej ilości wody indywidualnie pod poszczególne rośliny lub liniowo w rzędzie [Brzozowski 2007; Karczmarczyk, Nowak 2006, Kaniszewski 2000], norma PN-EN 13635 definiuje zaś nawadnianie kroplowe jako dostarczanie przez otworki wody w formie kropel lub malutkich strużek. Dla uzyskania właściwego wydatku wody przy

nawadnianiu kropłowym niezbędne jest utrzymywanie stałego ciśnienia wody [Dudek 2007]. W niniejszej pracy zajęto się emiterami kropłowymi w kształcie tulejki, które są zintegrowane wewnątrz grubościennych linii kroplujących. Emiter kropłowy, tzw. kropłownik, to urządzenie dozujące wodę w formie kropel, którego objętościowe natężenie wypływu nie przekracza  $12 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$  [PN-R-01000 1997].

W obszarze zintegrowanych kropłowników w grubościennych liniach kroplujących wyróżnia się kropłowniki tradycyjne z turbulentnym przepływem wody w kanałkach labiryntu kropłownika (rys. 1A) oraz kropłowniki bardziej zaawansowane technicznie – z kompensacją ciśnienia (rys. 1B). Według normy PN-R-01000 emiterem bez kompensacji ciśnienia nazywa się urządzenie o zmiennym objętościowym natężeniu wypływu przy zmieniającym się ciśnieniu na wlocie do emitera. Natomiast emiter z kompensacją ciśnienia to urządzenie o względnie stałym objętościowym natężeniu wypływu przy zmieniającym się ciśnieniu wody na wlocie do emitera. Wśród emiterów kropłowych z kompensacją ciśnienia można wyróżnić emitery płytkowe, krążkowe i tulejkowe. Kropłowniki tulejkowe są najczęściej stosowane w grubościennych liniach kroplujących. Obecnie dokonanie oceny lub klasyfikacji takich rozwiązań wymaga formy opisowej, która w tym przypadku jest mało precyzyjna. W związku z tym podjęto badania, których celem było poznanie mechanizmu kompensacji i opracowanie metody pomiaru jej wielkości oraz zakresu w kropłownikach tulejkowych stosowanych w grubościennych liniach kroplujących. Umożliwi to docelowo sparametryzowanie cylindrycznych kropłowników z kompensacją ciśnienia i utworzenie podstaw ich klasyfikacji. W związku z tym opracowano metodykę diagnostycznych pomiarów, zaprojektowano i zbudowano stanowisko pomiarowe do określania wielkości i zakresu kompensacji.

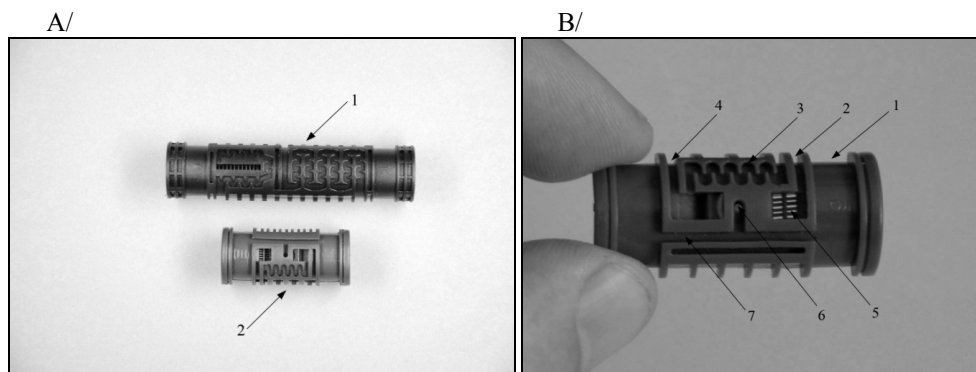
## Zakres i metodyka badań

W pierwszym etapie pracy zgromadzono podstawowe wielkości techniczne i użytkowe emiterów tulejkowych z kompensacją ciśnienia. Do tych cech zaliczono:

- wymiary (średnica, długość i grubość) ścianki przewodu,
- wymiary i kształt kanałków turbulentnego przepływu wody w kropłowniku,
- zakres ciśnień roboczych zasilania i ciśnienie nominalne,
- zakres natężenia wypływu – wydatku wody.

Przykład powierzchni czynnej kropłownika tulejkowego z kompensacją ciśnienia pokazano na rys. 1B. Powierzchnia czynna to zewnętrzna część kropłownika tulejkowego, po której w labiryntowych kanałkach (3) przepływa woda od filtra (5) zaczynając, a kończy na zbiorczej komorze kompensacyjnej (4). Z niej dalej wydostaje się przez kanałek stałego wypływu pod membraną i otwór (6) do kanałka rozprowadzającego (7). Z tego kanałka dostaje się do pierścieniowych komór gromadzenia (1) i później otworem w ściance przewodu na zewnątrz.

Do oceny zjawiska kompensacji ciśnienia potrzebne są pomiary dwóch podstawowych wielkości charakteryzujących przepływ wody przez emiter nawadniający: jeden z nich dotyczy pomiaru ciśnienia zasilania kropłownika ( $P_1$ ), a drugi pomiaru ciśnienia ( $P_2$ ) na wyjściu z kanałka turbulentnego przepływu wody (4) w pobliżu komory kompensacyjnej.



Rys. 1. A – Przykłady cylindrycznych kroplowników tulejkowych, 1 – kroplownik bez kompensacji ciśnienia, 2 – kroplownik z kompensacją ciśnienia; B – Powierzchnia czynna kroplownika tulejkowego z kompensacją ciśnienia: 1 – pierścieniowy kanał wypływu wody, 2 – początek kanałika labiryntowego, 3 – kanałik labiryntowy turbulentnego przepływu wody, 4 – kanałik dopływu wody do komory kompensacyjnej, 5 – filtr, 6 – otwór wypływu, 7 – kanałik rozdzielający wodę do pierścieniowych komór

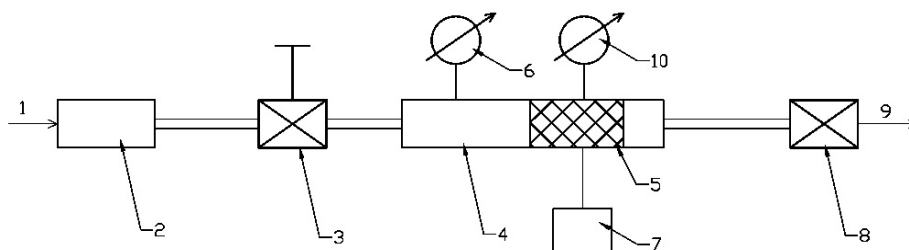
Fig. 1. A – Examples of cylindrical tube drip emitters: 1 – emitter without pressure compensation, 2 – emitter with pressure compensation; B – Active surface of tube emitter with pressure compensation: 1 – ring-shaped canal of the water outflow, 2 – beginning of the labyrinth canal, 3 – labyrinth canal of turbulent water flow, 4 – canal of the water inflow to the compensation chamber, 5 – filter, 6 – outflow opening, 7 – canal of division of water between ring-shaped chambers

Do jednoczesnego pomiaru ciśnienia zasilania i ciśnienia kompensacji zbudowano stanowisko, którego schemat budowy pokazano na rys. 2A, a stolik pomiarowy z zestawem manometrów na rys. 2B. Pomiar ciśnienia kompensacji na wypływie wody z labiryntu kroplownika rozpoczyna się po odpowietrzeniu kroplownika. Następuje wówczas ustabilizowanie ciśnienia, które otrzymuje się w wyniku otwarcia zaworu zasilania (3) i wyregulowaniu ciśnienia przepływu na wejściu do kroplownika. Pomiar dla pojedynczego kroplownika wykonywano w dwóch seriach. Pierwszą serią pomiaru kompensacji dokonywano, rozpoczynając od najmniejszego ciśnienia ( $P_{1min}$ ) co 0,2 bar i kończąc na największym ciśnieniu ( $P_{1max}$ ), dopuszczalnym przez producenta. Druga seria była wykonywana w odwrotnym kierunku, tj. rozpoczynano od największego ciśnienia zasilania kroplownika ( $P_{1max}$ ), a zakończono na najmniejszym ( $P_{1min}$ ).

Wyniki pomiaru ciśnienia zasilania kroplownika odczytywano z manometru oznaczonego na schemacie numerem (10), a ciśnienie po kompensacji z manometru (6).

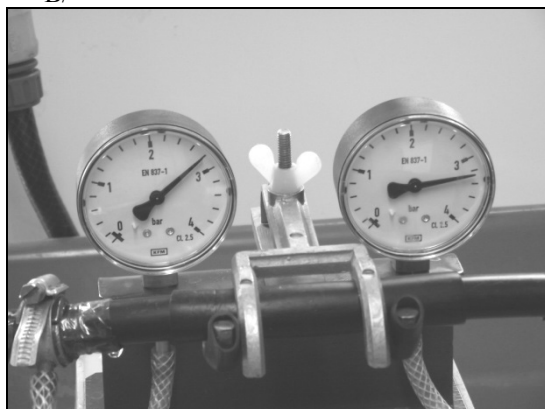
Przedmiotem drugiego pomiaru był wydatek wody w funkcji zmian ciśnienia zasilania. Pomiary również wykonywane zostały na stanowisku przedstawionym na rysunku 2. Wydatek mierzono z dokładnością  $1 \text{ cm}^3$  na poziomach ciśnienia zmienianych co 0,2 bar. Czas pomiaru wynosił 15 minut i wykonywany był w trzech powtórzeniach.

A/



1 – kierunek przepływu wody, 2 – filtr, 3 – zawór zasilania, 4 – linia kroplująca, 5 – kropłownik, 6 – manometr pomiaru ciśnienia kompensacji ( $P_2$ ), 7 – pojemnik na wodę, 8 – zawór regulacji ciśnienia, 9 – wypływ wody z układu pomiarowego, 10 – manometr pomiaru ciśnienia zasilania ( $P_1$ )  
 1 – water flow direction, 2 – filter, 3 – feed valve, 4 – drip irrigation line, 5 – dripper, 6 – compensation pressure measuring manometer ( $P_2$ ), 7 – water container, 8 – pressure regulation valve, 9 – water outflow from the measurement system, 10 – measuring manometer of supply pressure ( $P_1$ )

B/



Rys. 2. A – Schemat stanowiska laboratoryjnego do oceny kompensacji kropłowników tulejkowych; B – manometry na stanowisku pomiarowym, (od prawej) do odczytu wartości ciśnienia ( $P_1$ ), (od lewej) do odczytu wartości ciśnienia ( $P_2$ )

Fig. 2 A – Scheme of the laboratory test station for evaluation of compensation in tube drip emitters, B – manometers on the test station, on the right – for reading the value of  $P_1$  pressure, on the left – for reading the value of  $P_2$  pressure

Do badań wylosowano trzy kropłowniki z odcinka o długości 3 m linii kroplującej krajowej produkcji z kompensacją ciśnienia o parametrach:

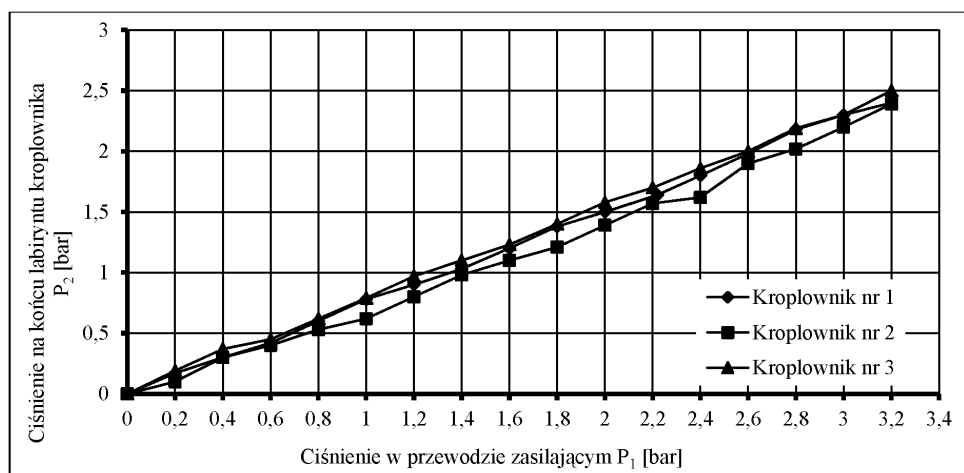
- średnica emitera – 16 mm, długość emitera – 37 mm,
- rozstaw emiterów na linii kroplującej – 40 cm,
- zakres optymalnego ciśnienia – 0,5 do 3,4 bar.

Przez wielkość kompensacji rozumie się różnicę pomiędzy ciśnieniem zasilania ( $P_1$ ), a ciśnieniem na wyjściu z labiryntu kropłownika ( $P_2$ ). Przez zakres kompensacji rozumie się takie wartości kompensacji, które uzyskano dla skrajnych wartości ciśnień zasilania od ( $P_{1min}$ ) do ( $P_{1max}$ ) podanych przez producenta dla danego typu kropłowników lub linii kroplującej.

## Wyniki badań

W pierwszej kolejności omówiono wyniki dotyczące pomiarów ciśnienia wykonanych na kroplownikach z kompensacją ciśnienia. Badano trzy jednakowe kroplowniki oznaczone nr 1, 2 i 3. Na rysunku 3 pokazano wpływ ciśnienia w przewodzie zasilającym ( $P_1$ ) linii kroplującej na zmianę wartości ciśnienia ( $P_2$ ) na końcu labiryntu turbulentnego przepływu wody. Dla każdego badanego kroplownika zamieszczono wartości średnie z dwóch serii pomiarowych. Jak widać na rysunku 3, wyniki kroplownika nr 2 różnią się istotnie (0,05) w stosunku do kroplowników nr 1 i nr 3 już od wartości  $P_1 = 1,4$  bar. Już na tym etapie badań można będzie dokonywać oceny lub selekcji kroplowników. Badana zależność ma charakter liniowy, a ciśnienia są do siebie proporcjonalne.

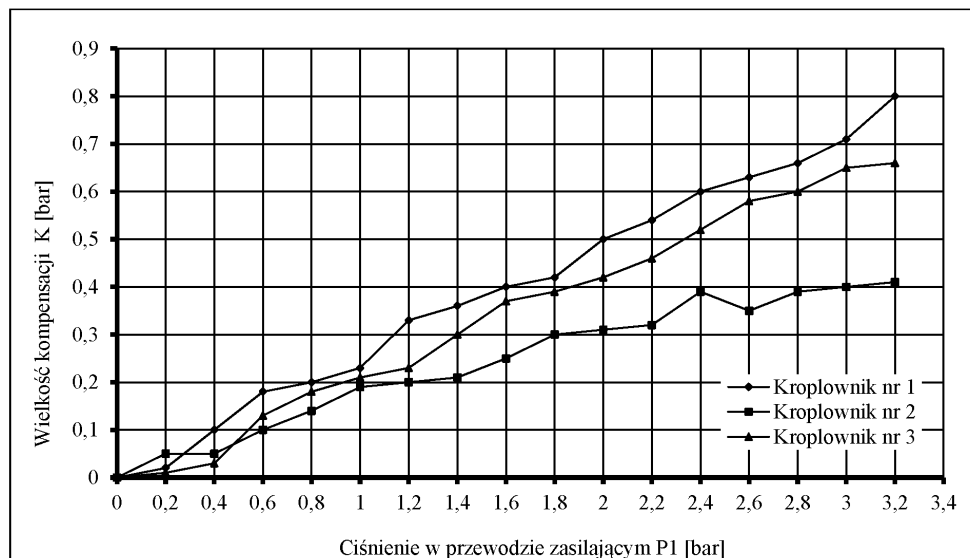
Obliczenie średniej ciśnien dla badanej grupy nowych kroplowników nr 1, 2, i 3 (dla tej linii kroplującej) jest bazą, do której będzie można również porównać kroplowniki po przepracowaniu określonej liczby godzin.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Zależność ciśnienia na końcu labiryntu kroplownika  $P_2$  od ciśnienia zasilającego  $P_1$   
 Fig. 3. Relation between feeding pressure  $P_1$  and pressure at the emitter outflow  $P_2$ .

Kolejnym określonym parametrem jest wartość kompensacji ( $K$ ). Jak wspomniano w metodyce, przez wielkość kompensacji rozumie się różnicę pomiędzy ciśnieniem zasilania ( $P_1$ ) a ciśnieniem ( $P_2$ ) zmierzonym przy wyjściu z labiryntu kroplownika. Dla trzech badanych kroplowników z kompensacją ciśnienia, w obydwu seriach pomiarowych obliczono wartości kompensacji i pokazano na rysunku 4. Uogólniając, można powiedzieć, że różnica ciśnienia w przewodzie zasilającym  $P_1$  i ciśnienia na końcu labiryntu kroplownika  $P_2$  zwiększa się wraz ze wzrostem wartości ciśnienia  $P_1$ . Różnica ta jest wielkością charakteryzującą kompensację – im wyższe ciśnienie zasilania, tym większa różnica ciśnień i tym większy efekt kompensacji.



Źródło: opracowanie własne

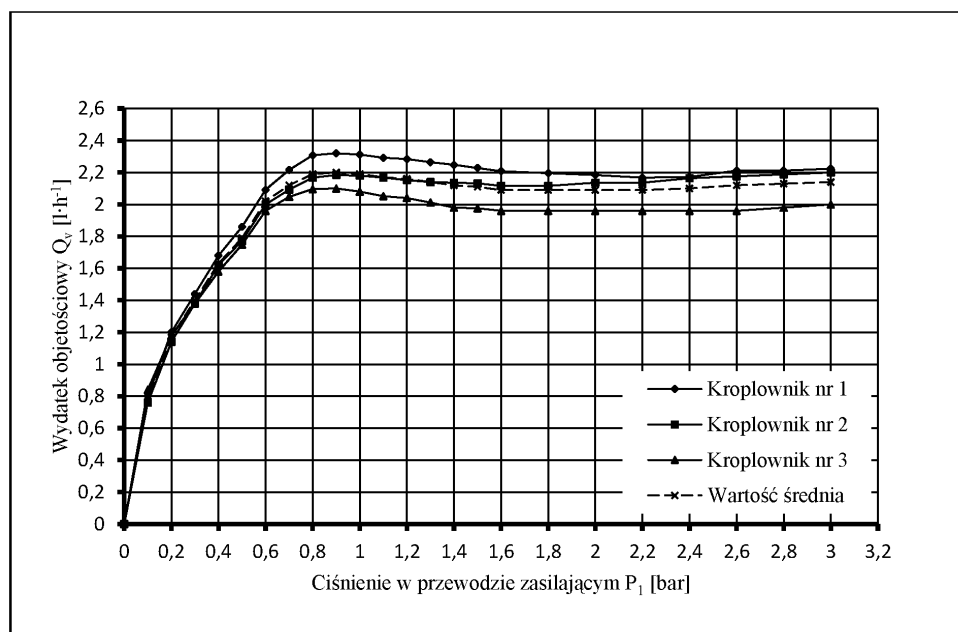
Rys. 4. Zależność wielkości kompensacji K od ciśnienia zasilającego  $P_1$   
 Fig. 4. Relation between compensation magnitude K and feeding pressure  $P_1$

Mając takie wyniki, możemy oceniać wartość kompensacji przy danym ciśnieniu zasilania lub zakwalifikować kroplovník do grupy o zbliżonej wartości kompensacji. Ważnym jest fakt, iż w tym przypadku zapoczątkowano tworzenie bazy danych, która posłuży do oceny lub porównywania kroplovníków tulejkowych z kompensacją ciśnienia. Z dotychczasowych pomiarów utworzono zbiór wartości kompensacji, ale nie upoważniają one jeszcze do opublikowania klasyfikacji kroplovníków według tej cechy. Po otrzymaniu większej liczby kroplovníków od innych liczących się producentów pozwoli to w najbliższej przyszłości na opracowane takiej klasyfikacji.

Badanie wydatku wody z kroplovníka było wykonane w zakresie ciśnień do 1,6 bara co 0,1 bar, a następnie do 3 bar co 0,2 bar. Pozwoliło to szczegółowo pokazać przebieg zmian w początkowej fazie, gdy te zmiany są największe (rys. 5). Analizując przebieg wydatku wody, trzeba mieć również na uwadze zakres kompensacji od ( $P_{1min}$ ) do ( $P_{1max}$ ). W tym przypadku zakres kompensacji obejmuje od  $P_{1min}=0,7$  bar do  $P_{1max}=3,0$  bar.

Jak wynika z rysunku 5, membrana zapewniająca kompensację ciśnienia zaczyna pracować od ciśnienia 0,6 bar do 0,8 bar. Wówczas wydatek wody zaczyna się stabilizować. Uogólniając, należy zauważyć, iż w kolejnej fazie wydatek objętościowy wody pozostaje niezmienny pomimo rosnącego ciśnienia zasilania ( $P_1$ ). Oznacza to, że kompensacja spełnia swoje zadanie, zapewniając stały wydatek wody z kroplovníka dla dowolnego ciśnienia z zakresu zasilania od ( $P_{1min}$ ) do ( $P_{1max}$ ). Jest to szczególnie przydatne na długich odcinkach linii kroplujących powyżej 120 m [Jeznach 1996; Mahmood 2010; Rai 2009]. Wiadomo, że im dalej znajduje się emiter od punktu zasilania, tym mniejsze jest

ciśnienie, pod którym woda wpływa do emitera. Zatem w takich warunkach emiter na końcu linii kroplującej zapewni podobny wydatek wody jak ten, który znajduje się najbliżej punktu zasilania.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Wydatek wody  $Q_v$  w zależności od ciśnienia zasilania  $P_1$  kropłownika tulejkowego z kompensacją ciśnienia

Fig. 5. Discharge of water  $Q_v$  in relation with feeding pressure  $P_1$  for tube emitter with pressure compensation

## Podsumowanie

Podsumowując, należy powiedzieć, że parametryzowane trzy wielkości, których przebieg pokazano na rysunkach 3, 4 i 5 stanowią podstawowy zestaw charakterystyk potrzebnych do parametryzacji kropłowników tulejkowych linii kroplujących, które pracują z kompensacją ciśnienia.

Badania wykazały, że w kropłowniku z kompensacją ciśnienia w całym zakresie zmian ciśnienia zasilania rośnie proporcjonalnie wielkość kompensacji. Przy ciśnieniu zasilania od 0,5 do 3,2 bar wielkość kompensacji zmienia się w zakresie od 0 do 0,8 bar. Badania potwierdzają wpływ wielkości ciśnienia zasilania na wielkość kompensacji, jednakże w przedziale kompensacji nie wpływa to na zmianę wydatku wody z kropłownika.

Otrzymane wyniki pozwoliły określić wielkość kompensacji i zakres przedziału kompensacji, natomiast do utworzenia podstaw klasyfikacji tulejkowych emiterów kropłowych niezbędne jest pozyskanie kroplowników od innych producentów i zgromadzenie zasobniejszych baz danych. Opracowana metoda umożliwi badanie i ocenę stopnia utraty wartości kompensacyjnej wybranych kroplowników, co pozwoli w przyszłości na wykorzystanie utworzonego stanowiska i opracowanych procedur do diagnostyki linii kroplujących z kompensacją ciśnienia.

Utworzona metodyka pomiarów oraz układ stanowiska laboratoryjnego sprawdziły się w badaniach eksperymentalnych kroplowników tulejkowych. Należy sądzić, że pozwolą one po niedużej adaptacji na prowadzenie powtarzalnych badań innych typów emiterów kropłowych. Równocześnie istnieje możliwość wykorzystania opracowanej metodyki i stanowiska do procesu dydaktycznego w celach poznawczych ukazujących mechanizm kompensacji oraz w celu doskonalenia umiejętności pomiarowych i określenia wpływu parametrów konstrukcji kanałika labiryntu turbulentnego przepływu wody na wartość ciśnienia kompensacji i ocenę stanu technicznego kroplownika.

## Bibliografia

- Brzozowski J., Miatkowski Z.** (2007): Nawadnianie kropelkowe. Wirtualny Instytut Rolnictwa Zrównoważonego, 2.
- Dudek J., Babik J., Dyśko J.** (2007): Technologia kropłowego nawadniania warzyw korzeniowych uprawianych na redlinach. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 3(52), 32-36.
- Jeznach J.** (1996): Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kropłowych w różnych warunkach środowiskowych. SGGW, Warszawa, ISBN83-00029-7-7.
- Jeznach J.** (2009): Aktualne trendy w rozwoju mikronawodnień. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 6, 83-94.
- Kaniszewski S.** (2005): Nawadnianie warzyw polowych. Plantpress, Kraków, ISBN83-89874-14-8.
- Karczmarczyk S. Nowak L.** (red.). (2006): Nawadnianie roślin. PWRiL, Poznań, 143-156.
- Mahmood S.** (2010): Surface and subsurface drip irrigation. VDM Verlag, Saarbrücken, ISBN 36-392464-9-7.
- Rai N. A.** (2009): Drip irrigation and soil moisture, VDM Verlag, Saarbrücken, ISBN 36-39210-13-1.
- PN-EN 13635:2003. Nawodnienia. Systemy nawodnień umiejscowionych. Terminologia oraz dane dostarczane przez producentów.
- PN-R-01000:1997. Nawodnienia; Nawodnienia umiejscowione; Terminologia.



## **METHODOLOGICAL ASPECTS OF PRESSURE COMPENSATION EVALUATION IN EMITTERS OF DRIP IRRIGATION LINES**

**Abstract.** The paper presents methodology and a measuring test station for evaluation of pressure compensation for tube emitters of drip lines as a function of feeding pressure changes. The purpose of the research was to determine the size of the compensation, which may be used to form basis for qualification of drip emitters and evaluation of their technical condition or degree of wear and tear. Pressure compensation emitters have been selected for the research. Conducted measurement allowed to determine the range of effective operation of pressure compensation and to define the character of relation between feeding pressure, outflow pressure and water discharge at the drip line outflow. The methodology, which has been created and the design of the test station have performed effectively in laboratory conditions. Moreover, they will allow, after slight adaptation, to conduct numerous studies of other types of drip emitters in the future. The obtained results allowed determining the range of the compensation, while for creating classes of emitter division, it is necessary to examine the emitters of various manufacturers.

**Key words:** localized irrigation, drip line, drip emitters, pressure compensation

**Adres do korespondencji:**

Ewa Frieske-Górska; e-mail: [efrieske@up.poznan.pl](mailto:efrieske@up.poznan.pl)  
Instytut Inżynierii Biosystemów  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 50  
60-637 Poznań