

ZAPOTRZEBOWANIE NA WODĘ KRZEWU OZDOBNEGO
SZAFIROWA BURZA (*Lycianthes rantonnetii*)
ZASILANEGO RÓŻNYMI SYSTEMAMI NAWODNIEŃ KROPOLOWYCH*

Grzegorz Janik, Łukasz Maciantowicz

Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24; 50-363 Wrocław
e-mail: janik@miks.ar.wroc.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono przykład precyzyjnej regulacji wilgotności gleby w czynnej warstwie krzewu ozdobnego Szafirowa Burza (*Lycianthes rantonnetii*). Przeanalizowano skuteczność trzech systemów nawadniających. Pierwszy i drugi zbudowano na bazie linii kroplujących umieszczonych na lub 5 cm pod powierzchnią gleby. Trzeci system zbudowano wykorzystując przewód z igłowymi emiterami kropel. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano przydatność metody TDR do wyznaczania wilgotności gleby w obrębie masy korzeniowej rośliny nawodnianej kroploво. Stwierdzono, że zużywana ilość wody niezbędna do zapewnienia roślinie optymalnych warunków jest najmniejsza, gdy zastosowany zostanie system z igłowymi emiterami kropel. Stwierdzono ponadto, że prowadzenie precyzyjnej regulacji wilgotności wymaga rozwiązania problemu wzajemnego położenia emiterów nawadniających i punktów, w których zainstalowane są czujniki mierzące wielkość regulowaną.

Słowa kluczowe: nawodnienia kropłowe, regulacja wilgotności, technika TDR

WSTĘP

Nawodnienia kropłowe umożliwiają precyzyjne dostarczanie wody do strefy korzeniowej roślin. Dlatego, w ostatnich latach, przyrodnicze i techniczne aspekty tego typu nawodnień są przedmiotem rozważań w wielu ośrodkach badawczych. Stosowane są głównie w ogrodnictwie, sadownictwie, szkółkarstwie oraz podczas uprawy warzyw (Jeznach 2005, Reinhard 2007, Sokalska i Nyc 2005). Efektem nawadniania kropłowego w ogrodnictwie powinno być zwiększanie plonów.

* Eksperyment przeprowadzono przy udziale studentów z SKN Meliorantów im. prof. S. Baca z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu

Przykładowo, zastosowanie systemu kroplującego w sadzie eksperymentalnym w Bydgoszczy pozwoliło na zwiększenie zbioru jabłek letniej odmiany Melba o 19%, jesiennej odmiany McIntosh o 22%, a zimowej odmiany Spartan nawet o 25% (Rzekanowski i Rolbiecki 2000). Prowadzono również badania nad efektywnością nawodnień kroplowych w szkółkarstwie. W Białych Błobach porównano wpływ trzech systemów nawadniających na produkcję jednorocznych sadzonek brzozy brodawkowatej. Stwierdzono, że system nawodnień kroplowych jest bardziej oszczędny od deszczowni i mikrozaszaczki (Rolbiecki i in. 2005).

Celem niniejszej pracy jest porównanie efektywności różnych wariantów nawodnień kroplowych zasilających system korzeniowy wybranego krzewu ozdobnego.

METODYKA

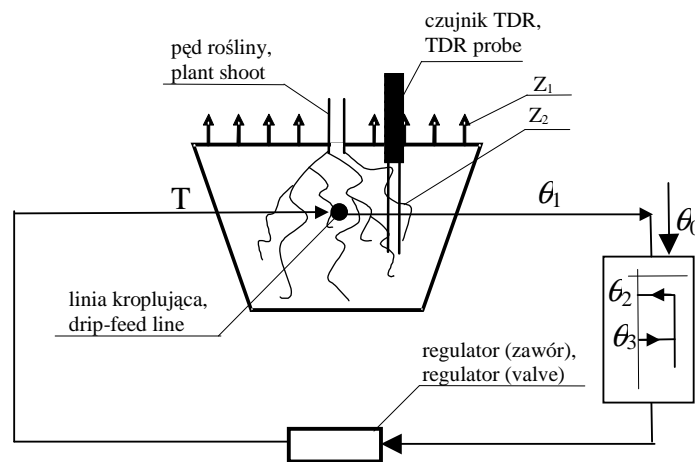
Do badań wykorzystano krzew ozdobny Szafirowa Burza (*Lycianthes rantonnetii*), pochodzący z Paragwaju i osiągający wysokość do 2 metrów. Roślina ta do prawidłowego rozwoju potrzebuje dużej ilości wody. Do zasilania rośliny w wodę zastosowano trzy warianty systemów nawodnień kroplowych zbudowanych na bazie elementów firmy Rain Bird. Poniżej opisane zostanie działanie obiektu poddanego regulacji, którego elementy przedstawiono na rysunku 1 (Reinhard 2001). Wielkością regulowaną jest wilgotność objętościowa gleby w obrębie masy korzeniowej rośliny. Założono, że wilgotność optymalna na głębokości 7 cm (θ_0), jest równa 29,5% i można ją uzyskać doprowadzając odpowiednią ilość wody, równoważąc w ten sposób straty wynikające z parowania (Z_1) oraz straty wynikające z poboru wody przez korzenie roślin (Z_2). Natężenie wydatku wody z emitera jest stałe i wynosi:

$$J_e = \frac{dV}{dt}, \quad (1)$$

gdzie: J_e – natężenie, V – objętość dopływającej wody, t – czas.

W prezentowanym przykładzie tylko poprzez zmianę czasu nawadniania można, niezależnie od warunków atmosferycznych, wpływać na wilgotność. Dlatego wielkość tę przyjęto jako tzw. sygnał regulujący. Regulator (zawór) decyduje o tym czy woda ma być podawana roślinie. Przyjęto następujące kryterium regulacji. Jeżeli wilgotność aktualna θ_1 jest mniejsza od wilgotności $\theta_2 = 29\%$ to zawór należy otworzyć. Jeżeli zaś θ_1 jest większe od wilgotności $\theta_3 = 30\%$ to zawór należy zamknąć ($\theta_0 = 0,5 (\theta_2 + \theta_3)$). Jeżeli θ_1 osiąga wartość pomiędzy θ_2 i θ_3 to znajduje się w strefie niejednoznaczności. Oznacza to, że o tym czy zawór ma zostać zamknięty czy otwarty decyduje przeszłość. Ponieważ wilgotność odczytywano z krokiem czasowym $\Delta t = 5$ min, to decyzja o otwarciu lub zamknięciu

zaworu podejmowano również co 5 minut. Długość kroku czasowego Δt determinującego dawkę doprowadzonej wody ustalono w sposób empiryczny, tak aby zminimalizować przesterowanie wielkości regulowanej. Opisany powyżej sposób prowadzenia nawodnienia jest przykładem prostego układu regulacji dwupołożeniowej. Regulacja dwupołożeniowa wprowadza histerezę, która chroni przed „drzganiami” układ sterowania w momencie znalezienia się na progu regulacji (Węgrzyn 1974).



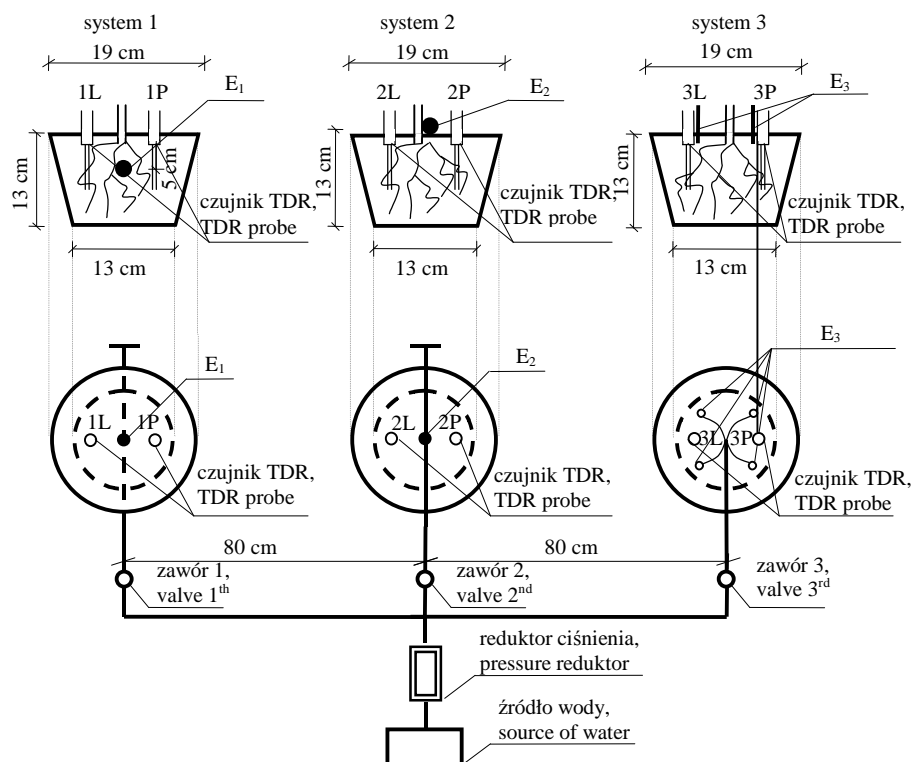
Rys. 1. Obiekt poddany regulacji, T – czas nawadniania, θ_1 – wilgotność aktualna, θ_2 – wilgotność, przy której zawór należy otworzyć, θ_3 – wilgotność, przy której zawór należy zamknąć, θ_0 – średnia wilgotności θ_2 i θ_3 , Z_1 – parowanie z powierzchni gleby, Z_2 – pobór wody przez roślinę

Fig. 1. Object subjected to moisture regulation, T – irrigation time, θ_1 – current moisture, θ_2 – moisture value at which the valve should be opened, θ_3 – moisture value at which the valve should be closed, θ_0 – mean of moisture values θ_2 and θ_3 , Z_1 – evaporation from soil surface, Z_2 – water uptake by the plant

TESTOWANIE REAKCJI GLEBY NA NAWODNIENIE KROPLOWE

Celem pierwszego eksperymentu było sprawdzenie poprawności reakcji wilgotności gleby na nawodnienia kropłowe. Do badań wykorzystano trzy jednakowe krzewy Szafirowej Burzy, każdy nawadniany w takich samych warunkach, w tym samym czasie i taką samą ilością wody, ale inaczej skonfigurowanym systemem nawodnień kropłowych. Pierwsza roślina (system 1) była zasilana linią kroplującą umieszczoną 5 cm pod powierzchnią, w osi symetrii rośliny. Drugą roślinę również zasilano linią kroplującą ale umieszczoną na powierzchni w pobliżu pędu głównego (system 2). Do trzeciej rośliny wodę dostarczano przez przewód z czterema igłowymi emiterami kropel. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2 (Maciantowicz 2007). W każdej donicy umieszczono po

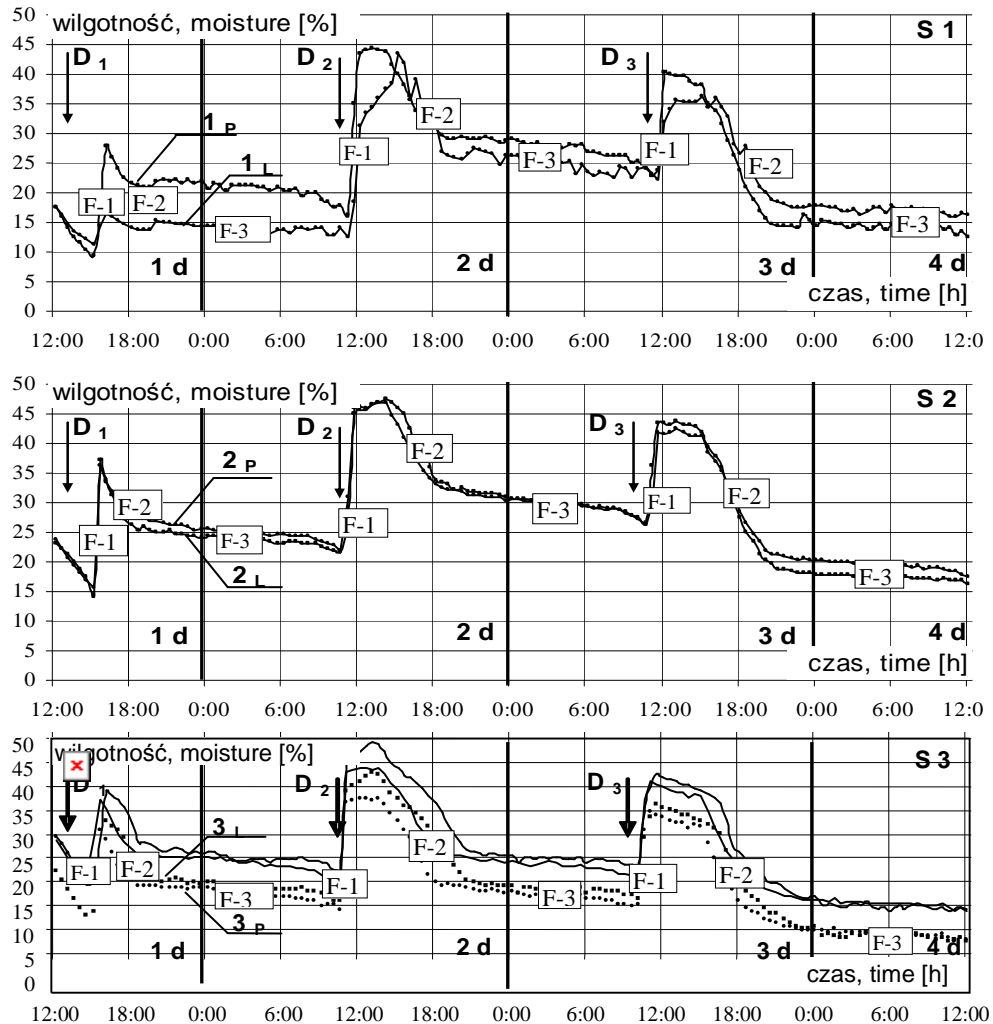
dwa czujniki TDR wyprodukowane przez Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie (Maliński i in. 1992, Skierucha 2005). Eksperyment prowadzono przez cztery doby w naturalnych warunkach atmosferycznych. Temperatura powietrza podczas nawadniania wynosiła 24°C w pierwszej dobie, 23°C w drugiej, 25°C w trzeciej i 18°C w czwartej dobie. Podczas trwania eksperymentu nie zanotowano opadów atmosferycznych. Numery czujników oraz ich rozmieszczenie przedstawiono również na rysunku 2. Podczas trwania eksperymentu każdą z roślin poddano trzykrotnemu nawodnieniu.



Rys. 2. Schemat eksperymentu, 1_L, 1_P, 2_L, 2_P, 3_L, 3_P – numery czujników TDR, E₁ – emiter 5 cm pod powierzchnią, E₂ – emiter na powierzchni, E₃ – igłowy emiter kropel

Fig. 2. Schematic of the experiment, 1_L, 1_P, 2_L, 2_P, 3_L, 3_P – numbers of TDR probes, E₁ – emitter 5 cm beneath the soil surface, E₂ – emitter on the soil surface, E₃ – needle-type drop emitter

Wielkości dawek oraz termin ich podania przedstawiono na rysunku 3, na którym przedstawiono również dynamikę wilgotności w czynnej warstwie gleby Szafirowej Burzy. Ponieważ rozmieszczenie czujników było symetryczne to wskazane wartości powinny być jednakowe. Dla każdego wariantu nawodnień kropelowych stwierdzono zadawalającą zgodność zmierzonych wilgotności przez pary czujników 1_L i 1_P, 2_L i 2_P oraz 3_L i 3_P. Jedynie w początkowym okresie (w pierwszej



Rys. 3. Testowanie poprawności reakcji wilgotności podczas nawadniania, D₁, D₃ – dawki wody 500 cm³, D₂ – dawka wody 700 cm³, 1_L, 1_P, 2_L, 2_P, 3_L, 3_P – numery czujników TDR, 1d, 2d, 3d, 4d – kolejne doby prowadzonego eksperymentu, S1, S2, S3 – system 1, 2, 3, F-1, 2, 3 – faza 1, 2, 3

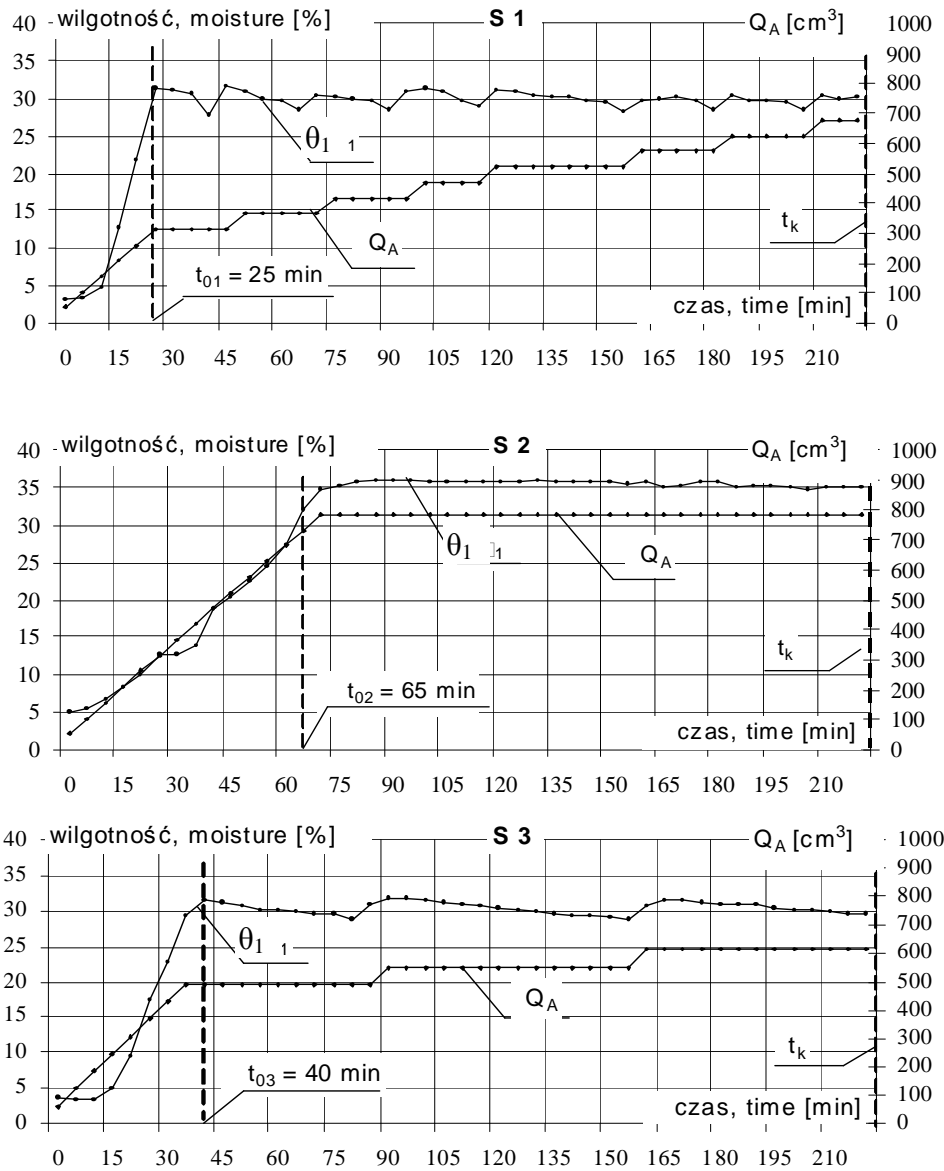
Fig. 3. Testing of soil moisture response correctness during irrigation, D₁, D₃ – water doses of 500 cm³, D₂ – water dose of 700 cm³, 1_L, 1_P, 2_L, 2_P, 3_L, 3_P – numbers of TDR probes, 1d, 2d, 3d, 4d – successive days of the experiment, S1, S2, S3 – systems 1, 2, 3, F-1, 2, 3 – phase 1, 2, 3

dobie) w systemie 3 zaobserwowano znaczące różnice pomiędzy zmierzonymi wilgotnościami. Może to wynikać, np z lokalnej zmienności ośrodka glebowego w obrębie masy korzeniowej rośliny (Janik 2000, Jeznach 1996, Sokalska i Nyc 2005, Wasilewski i in. 2005).

Analizując zmienność czasową dynamiki wilgotności wyodrębniono trzy fazy. Faza pierwsza (F-1) to skokowy wzrost wilgotności o około 30% dla dawki 700 cm^3 (druga doba) oraz skokowy wzrost wilgotności o około 15% gdy dawka nawodnieniowa wynosiła 500 cm^3 (pierwsza i trzecia doba). Faza druga (F-2) to wyraźny spadek wilgotności w ciągu dnia, spowodowany intensywnym poborem wody przez roślinę i parowaniem z powierzchni gleby. Faza druga występuje w godzinach od około 10^{00} do około 20^{00} , z przerwą na fazę F-1. Faza trzecia (F-3) to nocne i poranne godziny, w których wilgotność jest praktycznie stała, ponieważ rośliny nie pobierają wody.

PRZYKŁAD PRECYZYJNEJ REGULACJI DWUPOŁOŻENIOWEJ

W drugim eksperymencie wykorzystano to samo stanowisko badawcze, z tą różnicą, że w donicach pozostawiono po jednym czujniku. Celem tego eksperymentu było porównanie sprawności trzech wariantów nawodnień. Przyjęto opisane w metodyce pracy kryterium włączania i wyłączania nawodnienia. Natężenie wody z emitera (I_e) w czasie, kiedy zawór był otwarty, wynosiło $10,4 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ dla dwóch pierwszych wariantów i $13 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ w przypadku wariantu trzeciego. Na rysunku 4 przedstawiono dynamikę wilgotności gleby podczas regulowanego nawodnienia. Początkowa wilgotność w każdym przypadku była jednakowa i wynosiła 5%. Wilgotność optymalną najszybciej osiągnął system 1 (po $t_{01} = 25 \text{ min}$), następnie system 3 (po $t_{03} = 40 \text{ min}$), a jako ostatni system 2 (po $t_{02} = 65 \text{ min}$). Oznacza to, że najmniejsza ilość wody, której dostarczenie zapewni uzyskanie optymalnej wilgotności po raz pierwszy, występuje przy zastosowaniu systemu 1, zaś największa ilość wody potrzebna jest przy zastosowaniu systemu 2. Po czasie t_{01} i t_{03} wilgotność w systemach 1 i 3 nadal wzrastała pomimo, że zawór był zamknięty. W systemie 1 do około 32% w systemie 3 do 33%. Następnie, po około 5 minutach od t_{01} i t_{03} wilgotność zaczęła spadać, by po 45 minutach w systemie 3 i po 15 minutach w systemie 1 osiągnąć wartość poniżej 29%. Wtedy następowało włączenie zaworów. Od chwili t_{01} do zakończenia eksperymentu zawór 1 był włączany 7 razy a od chwili t_{03} system 3 był włączony dwa razy. Inna sytuacja wystąpiła w systemie 2. Tu po czasie $t_{02} = 65 \text{ min}$ wilgotność wzrastała w dalszym ciągu aż do 35% i utrzymywała się do końca eksperymentu na tym samym poziomie. Oznacza to, że chcąc prowadzić precyzyjne nawadnianie należy rozwiązać problem wzajemnego położenia kroploznika podającego wodę i urządzenia mierzącego wielkość regulowaną.



Rys. 4. Dynamika wilgotności w obrębie masy korzeniowej rośliny poddanej regulowanemu nawodnieniu, t_{01} , t_{02} , t_{03} – chwila, w której osiągnięto wilgotność optymalną w systemie 1, 2 i 3, t_k – chwila, w której zakończono eksperyment, Q_A – ilość wody zasilającej roślinę θ_1 – aktualna wilgotność, S1, S2, S3 – system 1, 2, 3

Fig. 4. Dynamics of soil moisture within the root mass of the plant subjected to controlled irrigation, t_{01} , t_{02} , t_{03} – moment at which optimum soil moisture was achieved in systems 1, 2 and 3, t_k – moment at which the experiment was terminated, Q_A – amount of water feeding the plant, θ_1 – current soil moisture, S1, S2, S3 – systems 1, 2, 3

Dla porównania efektywności systemów 1 i 3 obliczono średnie natężenie wody w czasie od t_{01} i od t_{03} do zakończenia eksperymentu (t_k). Dla systemu 1 natężenie to wyrażono zależnością:

$$J_1 = \frac{J_{e1} \cdot t_{w1}}{t_k - t_{01}}, \quad (2)$$

gdzie: J_1 – średnie natężenie dopływu wody zapewniające optymalną wilgotność w czasie od t_{01} do t_k w pierwszym systemie, J_{e1} – natężenie wody z emitera w systemie 1, w czasie kiedy zawór był otwarty, t_{w1} – czas, w którym zawór 1 był otwarty, t_{01} – chwila, w której uzyskano po raz pierwszy optymalną wilgotność dla systemu 1, t_k – chwila, w której zakończono eksperyment.

Obliczona wartość J_1 wynosi $1,77 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, a obliczone w analogiczny sposób średnie natężenie dla systemu 3 (J_3) wynosi $0,62 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Oznacza to, że bardziej oszczędnym systemem nawadniającym jest podsystem, w którym zastosowano kroplownik wraz z emiterami.

WNIOSKI

1. Wykazano przydatność techniki TDR do wyznaczenia dynamiki wilgotności w czynnej przestrzeni glebowej krzewu ozdobnego Szafirowa Burza.
2. Porównując różne konfiguracje nawodnień kroplowych stwierdzono, że zapewnienie optymalnej wilgotności gleby w czynnej warstwie krzewu ozdobnego Szafirowa Burza wymaga trzykrotnie większego zużycia wody w przypadku zastosowania linii kroplujących w stosunku do systemu z igłowymi emiterami kropel. Wymagane średnie natężenie dla linii kroplującej wynosi $1,77 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, a dla systemu z igłowymi emiterami kropel $0,62 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.
3. Stwierdzono, że podczas prowadzenia precyzyjnej regulacji wilgotności gleby stosując nawodnienia kroplowe należy mieć na uwadze wzajemne położenie emiterów i czujników mierzących uwilgotnienie

PIŚMIENNICTWO

- Janik G., 2005. Spatial variability of soil moisture in grassland. *Int. Agrophysics*, 19(1), 37-45.
- Jeznach J., 1996. Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kroplowych w różnych warunkach środowiskowych. *SGGW Rozprawy Naukowe*, Warszawa.
- Jeznach J., 2005. Techniczne problemy nawodnień. *Post. Nauk Roln.*, 3, 135-145.
- Maciantowicz Ł., 2007. Czasowy i przestrzenny rozkład poboru wody przez korzenie roślin nawadnianych liniami kroplującymi. Praca magisterska – maszynopis, 44.

- Malicki M.A., Plagge R., Renger M., Walczak R.T., 1992. Application of time-domain reflectometry (TDR) soil moisture miniprobe for the determination of unsaturated soil water characteristics from undisturbed soil cores. *Irrigation Sci.*, 13, 65-72.
- Reinhard A., 2001. Regulacja i matematyczne modelowanie ruchu wody w glebie. Wyd. AR Wrocław.
- Reinhard T., 2007. Model gospodarowania wodą w glebie nawadnianej systemem kroplowym. Maszynopis pracy doktorskiej wykonanej w Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 119.
- Rolbiecki R., Rolbiecki S., Klimek A., Hilszczańska D., 2005. Wpływ mikronawodnień i nawożenia organicznego na produkcję jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z udziałem zabiegu zoomelioracji. *Zesz. Probl. Nauk Roln.*, 506, 335-343.
- Rzekanowski C., Rolbiecki S., 2000. The influence of drip irrigation on yields of some cultivars of apple trees in central Poland under different rainfall conditions during the vegetation season. III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, ISHS Acta Horticulturae 537, art. 113.
- Skierucha W., 2005. Wpływ temperatury na pomiar wilgotności gleby metodą reflektometryczną. *Acta Agrophysica. Rozprawy i monografie*, 5.
- Sokalska D., Nyc K., 2005. Określenie przestrzennej zmienności uwilgotnienia gleby w warunkach nawodnień kroplowych. *Zesz. Nauk AR im. H. Kołłątaja w Krakowie*, 420, *Inżynieria Środowiska*, 26, 149-156.
- Wasilewski M., Franczak E., Janik G., 2005. Pomiar wilgotności gleby techniką TDR w warunkach niejednorodności ośrodka. I Międzynarodowa Konferencja Meliorantów i Inżynierów Środowiska. *Aspekty Melioracji Wodnych*, Wrocław, 33-40.
- Węgrzyn S., 1974. *Podstawy automatyki*. PWN Warszawa, 475.

WATER REQUIREMENTS OF SAPHIRE STORM (*Lycianthes rantonnetii*)
DECORATIVE BUSH FED WITH VARIOUS SYSTEMS
OF DRIP IRRIGATION*

Grzegorz Janik, Łukasz Maciantowicz

Institute of Environment Protection and Management, University of Nature in Wrocław
pl. Grunwaldzki 24; 50-363 Wrocław
e-mail: janik@miks.ar.wroc.pl

Abstract. The paper presents an example of precision regulation of soil moisture in the active layer of the Sapphire Storm (*Lycianthes rantonnetii*) decorative bush. The effectiveness of three irrigation systems was analysed. Systems One and Two were built based on drip-feed lines placed on the soil surface or 5 cm beneath the soil surface. System Three was built with the use of a hose with needle-type drop emitters. The study demonstrated the applicability of time-domain reflectometry (TDR) for the determination of soil moisture within the root mass of a drip-irrigated plant. It was found that the amount of water used, necessary to ensure optimum moisture conditions for the plant, was the lowest when the system with needle-type drop emitters was employed. Moreover, it was determined that precision control of soil moisture requires a solution of the problem of mutual location of the irrigation emitters and of the points of placement of the sensors measuring the moisture value under control.

Keywords: drop irrigation, soil moisture control, TDR technique

*The experiment was conducted with students from Professor Stanisław Bac Students' Science Organization