

Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach

Prof. dr hab. Waldemar Treder

Dr Krzysztof Klamkowski

Mgr Anna Tryngiel - Gać

**Techniczne i technologiczne możliwości oszczędzania wody do nawadniania  
roślin uprawnych**



Ekspertyza dotycząca stosowanych w gospodarstwach rolnych systemów/instalacji służących do nawadniania, które mogą przynieść potencjalną oszczędność wody, w związku z realizacją operacji typu „Modernizacja gospodarstw rolnych“ objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich 2014 – 2020 w obszarze dotyczącym nawadniania w gospodarstwie.

Instytut Ogrodnictwa  
Ul. Konstytucji 3 Maja 1/3  
96-100 Skierniewice  
[www.inhort.pl](http://www.inhort.pl)

## Spis treści

1. Wprowadzenie	4
2. Systemy nawadniania roślin uprawianych w polu	6
2.1. Nawadnianie deszczowniane	6
2.2. Minizraszanie	7
2.3. Nawadnianie kropłowe	8
3. Systemy nawadniania roślin pod osłonami	9
4. Podsumowanie	17
5. Inwestycje dotyczące ulepszenia instalacji	20
6. Inwestycje dotyczące powiększenia netto nawadnianego obszaru	21
7. Literatura	24

## 1. Wprowadzenie

Polska ma jeden z najgorszych bilansów wodnych w Europie. Powodem takiej sytuacji są małe opady roczne (średnio ok. 650 mm), duża ewapotranspiracja (450 mm) i mały udział dopływu rzecznej spoza granic kraju (13%). Ograniczone zasoby wodne mogą w przyszłości stanowić barierę rozwoju gospodarczego kraju oraz negatywnie wpływać na stan środowiska i jakość życia społeczeństwa. Dostępność wody jest jednym z ważniejszych czynników określających możliwość rozwoju gospodarczego. Przy obecnie panujących tendencjach, wraz ze wzrostem populacji obserwujemy coraz większy wzrost zapotrzebowania na wodę. Wynika to nie tylko z poprawy jakości życia i wzrostu uprzemysłowienia, ale także z intensyfikacji rolnictwa, które w wielu rejonach świata jest głównym konsumentem wody. W studium „Water Scarcity and Droughts”, wykonanym na zlecenie Komitetu ds. Środowiska, Zdrowia Społecznego i Bezpieczeństwa Żywnościowego Parlamentu Europejskiego podkreśla się, że deficyt wody w Europie, w szczególności dla celów rolniczych, będzie pogłębiał się w wyniku zmian klimatu, a także zwiększenia skażenia środowiska. Dlatego zaleca się m.in. opracowanie i wdrożenie systemów zarządzania zasobami wodnymi dla celów rolniczych (Framer i in., 2008). Konieczne jest zatem podjęcie działań na rzecz stosowania racjonalnych metod gospodarowania wodą, retencjonowania powstałych zasobów wodnych, ich zagospodarowywania i ochrony. Zbiega to się z koniecznością realizacji wspólnej polityki UE kreującej standardy w ochronie środowiska. W Unii Europejskiej średnio 24% rocznego poboru wody jest zużywane w rolnictwie, ale na obszarach o intensywnej produkcji rolnej i gorącym klimacie udział wody stosowanej do nawodnień sięga nawet 80% (European Environment Agency, 2009). Między innymi z powodu znacznego zwiększenia powierzchni upraw nawadnianych w latach 1960 - 2000 zużycie wody na świecie wzrosło dwukrotnie (Wada i in., 2011). Także w skali naszej gospodarki rolnictwo jest znaczącym konsumentem wody. Chcąc konkurować na rynkach światowych będziemy zmuszeni do znacznego zwiększenia powierzchni nawadnianych upraw, a więc i większego zużycia wody. W celu zwiększenia efektywności wykorzystania wody i zminimalizowania jej strat rolnicy powinni wykorzystywać oszczędne metody nawadniania, połączone z nawykiem poszanowania tego surowca. Konieczne jest wprowadzenie metod integrowanego nawadniania, polegające na tym by nawadniać rośliny tylko wtedy, gdy przyniesie to oczekiwane efekty związane ze wzrostem plonu i poprawą jego jakości. Kluczowe znaczenie ma tu także zastosowanie automatyki nawodnieniowej, która wyeliminuje potencjalną możliwość popełnienia błędów przez użytkownika, a tym samym znacząco obniży straty wody.

Większość modeli klimatycznych wskazuje, że z powodu globalnego ocieplenia opady w regionach klimatu umiarkowanego ulegną zmniejszeniu. Nasili się także występowanie zjawisk ekstremalnych jak susze czy lokalnie występujące gwałtowne ulewy (deszcze o niskiej efektywności). Ponieważ jednocześnie w wyniku wzrostu średniej temperatury wzrośnie ewapotranspiracja, bilans wodny znacząco się pogorszy (Parry i in., 2007; Lobell i in., 2008, Kuchar i in., 2015).

Oszczędzanie wody jest nie tylko działaniem proekologicznym, ale będzie miało także wpływ na naszą sytuację ekonomiczną. Ograniczone zasoby wodne mogą w przyszłości stanowić barierę rozwoju nie tylko szeroko pojętego rolnictwa, ale także innych działów gospodarki. Dlatego należy jak najoszczędniej gospodarować zasobami wodnymi, a wodę pobierać tylko zgodnie z regulacjami opisanymi w Prawie Wodnym. Oszczędzanie wody powinno być regułą - nie tylko w przypadku zajmowania się produkcją roślinną czy zwierzęcą, ale w ogóle, w życiu codziennym.

W warunkach Polski podstawowym źródłem wody dla roślin uprawianych w polu są opady atmosferyczne. Niestety ich wielkość i rozkład w czasie jest często niewystarczający dla uprawy nie tylko roślin jednorocznych, ale także drzew i krzewów owocowych. W wielu rejonach Polski ze względu na przebieg pogody oraz intensyfikację produkcji nawadnianie upraw staje się zabiegiem koniecznym (Koszański i Rumasz Rudnicka, 2008; Treder i in., 2009; Żarski i in., 2013; Tryngiel-Gać i Treder, 2017). Średnio susze w Polsce występują raz na 4 - 5 lat. Bardzo niekorzystnym zjawiskiem jest zwiększenie częstotliwości występowania lat z niedoborami opadów oraz coraz częstsze występowanie ciągów (następujących po sobie) lat suchych (Łabędzki, 2006; Łabędzki i in., 2008). Wilhite i Glantz (1985) definiują cztery podstawowe rodzaje suszy: meteorologiczną, hydrologiczną, rolniczą oraz społeczno-ekonomiczną. Susza, która negatywnie wpływa na wzrost i plonowanie roślin nazywana jest suszą rolniczą. Ostatnia dotkliwa susza rolnicza na terenie całego kraju wystąpiła w 2015 roku. Bardzo suchy był także rok 2018. Znaczne niedobory opadów obserwujemy również w roku bieżącym (2019).

Sposobem uniezależnienia się od zagrożenia suszą rolniczą jest zwiększenie pojemności wodnej gleb, nawadnianie lub ograniczenie ewaporacji poprzez stosowanie ściółek. Niestety w przypadku przedłużającej się suszy zwiększenie pojemności wodnej gleb, czy też zastosowanie ściółki także może być nieskuteczne. Niedobory opadów występujące w ostatnich latach przekonały nas, że dla uzyskania wysokiego plonowania roślin konieczne jest nawadnianie. Ważnym są tutaj nie tylko aspekty techniczne, ale i technologiczne. Niestety na obu płaszczyznach jest jeszcze dużo do zrobienia. Obserwując dostępny na rynku sprzęt

nawodnieniowy i powstające na jego bazie instalacje można zauważyć gwałtowne pogarszanie się jakości towarów i usług branży związanej z nawadnianiem roślin. Większość nowych instalacji jest znacznie gorsza od tych wykonywanych np. 10-15 lat temu. Oferowane na krajowym rynku elementy sieci nawodnieniowej (emitery kropłowe, taśmy i linie kroplujące) nie podlegają żadnej ocenie jakościowej. W przypadku emiterów bardzo ważnym parametrem jest współczynnik zmienności wydatku wody. Parametr ten określa zmienność wydatku wody fabrycznie nowych emiterów kropłowych. Zmienność ta ma istotny wpływ na równomierność nawadniania, która bezpośrednio przenosi się na efektywność zużycia wody. Konsekwencją nierównomierności wypływu wody w instalacji jest tzw. „przelewanie” obszarów o wyraźnie wyższym wydatku wody. Złej jakości przewody, elementy złączne i emitery są przyczyną częstej awaryjności instalacji nawodnieniowych, która jest powodem istotnych strat wody. Na krajowym rynku mamy bardzo szeroką gamę oferowanego sprzętu i wiele firm instalatorskich, niestety duża część tych instalacji nie spełnia światowych norm równomierności dystrybucji wody. Powodem jest zła jakość elementów sieci nawodnieniowej oraz brak doświadczenia i podstaw wiedzy inżynierskiej instalatorów. Niestety nie lepiej jest ze stosowaną w praktyce technologią nawadniania. Na podstawie prowadzonych ankiet Treder i współautorzy (2011) stwierdzili, że aż 80% sadowników posiadających instalacje nawodnieniowe, nawadnia swoje sady na tzw. „oko” nie stosując żadnych wiarygodnych kryteriów. Nie lepsza sytuacja jest w innych polowych działkach produkcji roślinnej. Na dzień dzisiejszy zaawansowane technologie sterowania nawadnianiem stosuje się w intensywnych uprawach szklarniowych prowadzonych na podłożach inertnych.

## **2. Systemy nawadniania roślin uprawianych w polu**

Do nawadniania roślin uprawianych w polu stosujemy deszczownie i systemy mikro nawadniania (minizraszanie i nawadnianie kropłowe).

### **Nawadnianie deszczowniane**

Nawadnianie deszczowniane stosowane jest przede wszystkim w uprawach rolniczych, warzywnictwie i szkółkarstwie. Nawadnianie deszczowniane imituje opad deszczu, woda podawana jest w formie kropel za pomocą różnego rodzaju zraszaczy. Konsekwencją stosowania tego rodzaju nawadniania są straty wody wynikające z intensywnego parowania podczas samego deszczowania, oraz straty przy parowaniu wody ze zwilżonej gleby (ewaporacja).

Ze względu na sposób montażu konwencjonalne systemy deszczowniane dzielimy na:

- stałe - wszystkie elementy zamontowane są na stałe bez możliwości ich przenoszenia,
- przenośne - cała deszczownia w trakcie sezonu wegetacyjnego może być przenoszona na inne kwatery,
- półstałe - gdzie rurociąg główny i rurociągi doprowadzające wraz z hydrantami umieszczone są na stałe. Przenoszone są tylko rurociągi rozprowadzające i deszczujące.

Poza systemami konwencjonalnym w praktyce coraz częściej stosowane są systemy mobilne:

- deszczownie szpulowe - deszczownia składa się ze szpuli z hydraulicznym napędem, na której nawinięty jest rurociąg wykonany z polietylenu. Na końcu rurociągu umieszczony jest zraszacz dalekiego zasięgu lub konsola zraszająca. W trakcie deszczowania następuje powolne nawijanie rurociągu na bęben deszczowni i przesuwanie się emitera wody wzdłuż nawadnianego pasa uprawy;
- deszczownie mostowe frontalne (kierunek przemieszczania jest równoległy do osi przewodu rozdzielczego) lub obrotowe - gdzie urządzenie nawadniające obraca się wokół hydrantu umieszczonego centralnie.

W przypadku konwencjonalnych deszczowni i części deszczowni mobilnych stosuje się obrotowe zraszacze jedno i dwustrumieniowe. W celu obniżenia zapotrzebowania na energię oraz zwiększenia jakości i precyzji deszczowania na konsolach zraszających bardzo często montowane są tzw. zraszacze nasadkowe lub nasadkowe zraszacze niskociśnieniowe (Drupka, 1980; Benami i Ofen, 1993; Kaniszewski, 2005; Drupka, 2006).

### **Minizraszanie**

Systemy minizraszania stosowane są w szkółkach kontenerowych, sadownictwie oraz produkcji pod osłonami. Nawadnianie polega na zraszaniu roślin lub powierzchni gleby tylko w pobliżu roślin (drzewa i krzewy owocowe, uprawy kontenerowe) za pomocą niewielkich wykonanych z tworzyw sztucznych minizraszaczy. Zależnie od rodzaju zastosowanej wkładki uderzeniowej, minizraszacze podają wodę w postaci kropel lub strumieni. Rodzaj zastosowanej wkładki wpływa także na kształt zwilżanej powierzchni. W celu zwiększenia równomierności nawadniania i możliwości zainstalowania długich ciągów nawodnieniowych, stosuje się coraz częściej minizraszacze kompensujące, o stałym wydatku wody, w szerokim zakresie ciśnień.

Najnowsze światowe rozwiązania techniczne stanowią minizraszacze pulsacyjne o wydatku wody od 2 do 12 l/h. Tak niewielki jednostkowy wydatek umożliwia zastosowanie minizraszania pulsacyjnego, nawet przy bardzo ograniczonych możliwościach źródła wody. Minizraszacze montowane są także na suwnicach nawodnieniowych stosowanych do nawadniania roślin pod osłonami (Armoni, 1986; Benami i Ofen, 1993; Charles i in., 1999).

### **Nawadnianie kropłowe**

Systemy kropłowe stosowane są przede wszystkim do nawadniania upraw ogrodniczych prowadzonych zarówno w polu jak i pod osłonami. W Polsce systemy kropłowe stosowane są również do nawadniania chmielu. W USA, Australii, Izraelu i kilku innych krajach systemy kropłowe stosowane są także do nawadniania upraw rolniczych (kukurydza, słonecznik). W przypadku systemów kropłowych woda podawana jest przez emitory (kropłowniki) o bardzo małym jednostkowym wydatku wody (0,5 - do kilku litrów/h) bezpośrednio do aktywnej strefy korzeniowej roślin.

Ze względu na budowę zewnętrzną kropłowniki możemy podzielić na:

- liniowe, montowane między poszczególnymi odcinkami przewodu polietylenowego,
- guzikowe, montowane na przewodzie polietylenowym,
- linie i taśmy kroplujące, gdzie kropłowniki podczas procesu produkcji umieszczane są wewnątrz przewodu polietylenowego.

Najważniejszą zaletą wyróżniającą systemy kropłowe w odniesieniu do innych rodzajów nawadniania jest wysoka efektywność nawadniania (najmniejsza ilość wody zużyta na jednostkę wyprodukowanego plonu). W przypadku stosowania nawadniania kropłowego straty spowodowane ewaporacją są znacznie niższe w porównaniu np. do systemów deszczowniczych. Różnice te są największe w przypadku stosowania nawadniania roślin uprawianych rzędowo (rośliny sadownicze, warzywnicze, chmiel). Straty spowodowane parowaniem wody podczas samego procesu nawadniania są tu także minimalne. Systemy kropłowe mogą być montowane zarówno na, ponad jak i pod powierzchnią gleby (tzw. nawadnianie wglębne). W przypadku precyzyjnego stosowania nawadniania wglębnego straty wody nawodnieniowej podczas ewaporacji możemy ograniczyć wręcz do zera (Benami i Ofen, 1993; Dasberg i Or, 1999; Charles i in., 1999; Jorgensen i Norum, 1993).



### 3. Systemy nawadniania roślin uprawianych pod osłonami

W przypadku upraw prowadzonych pod osłonami stosowane są wspomniane już stałe lub mobilne systemy minizraszania, różne rozwiązania nawadniania kropłowego, oraz:

- systemy podsiąkowe - gdzie rośliny uprawiane w małych doniczkach lub multiplatach ustawione są na parapetach, na których rozłożone są maty podsiąkowe o dużej pojemności wodnej. Optymalna wilgotność podłoża utrzymywana jest dzięki podsiąkaniu wody z maty do doniczki. Maty nawilżane są za pomocą systemów kropłowych,
- cienkowarstwowe kultury przepływowe (NFT) - w tym przypadku rośliny stoją na powierzchni po której płynie cienka warstwa pożywki nawozowej,
- zalewowe - nawadnianie polega tu na okresowym zalaniu pożywką powierzchni (stoły lub podłogi zalewowe), na której stoją uprawiane rośliny,
- hydroponiczne - rośliny uprawiane są bezpośrednio w pożywce (wodny roztwór nawozów),
- aeroponiczne (na dzień dzisiejszy w Polsce praktycznie w fazie doświadczalnej) - system korzeniowy roślin jest osłonięty, ale umieszczony w powietrzu. Nawadnianie polega na częstym jego zraszaniu pożywką nawozową.

Stosowane pod osłonami hydroponiki, aeroponiki, systemy zalewowe i NFT dzięki zamkniętemu obiegowi wody charakteryzują się wysoką efektywnością nawadniania. W przypadku nawadniania kropłowego prowadzonego pod osłonami większość instalacji nawodnieniowych odprowadza wody drenażowe do środowiska. W zależności od uprawianego gatunku roślin i technologii uprawy, wody drenażowe mogą stanowić od 10 do 30% całości użytej wody. Woda która w większości gospodarstw odprowadzana jest do środowiska powinna zostać wprowadzona do obiegu zamkniętego (Treder, 1997; Jeznach i Treder, 2006).

W skład systemu nawodnieniowego poza emiterami oraz rurociągami (magistrale, kolektory) wchodzi także pompownia, system filtracji, dozowniki nawozów, kontrolery, elementy złączne i pomiarowe. Wybór rodzaju oraz szczegółowa budowa systemu nawodnieniowego zależy od technologii uprawy określonego gatunku roślin, dostępności i jakości wody, dostępności energii oraz możliwości inwestycyjnych.

Nowoczesna produkcja rolna opiera się o zasady integrowane tak też powinno być prowadzone nawadnianie roślin.

Główne zasady integrowanego nawadniania to:

1. Oszczędne gospodarowanie zasobami wodnymi na wszystkich etapach użytkowania. Należy unikać strat wody zarówno podczas transportu, gromadzenia jak i nawadniania.
2. Nawadniać tylko w miarę potrzeb według **wiarygodnych kryteriów**.
3. Należy chronić źródła wody przed zanieczyszczeniem.

Konsekwencją prowadzenia nawadniania, bez szacowania potrzeb wodnych roślin (nawet z wykorzystaniem wodo-oszczędnych systemów nawodnieniowych) są straty wody, energii oraz składników pokarmowych, które są wymywane z podłoża i przedostają się do środowiska. W celu poprawy efektywności wykorzystania wody rolnicy powinni stosować oszczędne metody nawadniania, połączone z wykorzystaniem obiektywnych kryteriów umożliwiających szacowanie potrzeb nawodnieniowych upraw (wyznaczanie dawek i terminów nawadniania). Kluczowe znaczenie ma także zastosowanie automatyki nawadniania, która eliminuje potencjalną możliwość popełnienia błędów przez użytkownika, a tym samym znacząco obniża straty wody.

*Ad.1.* Duże oszczędności wody można uzyskać dzięki eliminacji strat wynikających z transportu i magazynowania wody i wymianie systemu nawodnieniowego na bardziej efektywny. Według Kaniszewskiego (1993) w uprawie pomidora pod osłonami wykazano, że zużycie wody przy zastosowaniu systemu kropłowego było o prawie 40% niższe w porównaniu do ręcznego podlewania roślin i o 34% niższe w porównaniu z systemem deszczowania. Na wyprodukowanie 1 kg owoców w systemie kropłowym zużyto 46% wody mniej w porównaniu z podlewaniem ręcznym i 27% wody mniej w porównaniu z deszczowaniem przykorzeniowym. Podobne wyniki uzyskał również Dyśko (1988) w uprawie papryki pod folią wysoką. Zaobserwował on bardzo duże różnice w ilości zużytej wody przy porównywaniu czterech systemów nawadniania. Największą ilość wody zużyto przy podlewaniu ręcznym (274,7 l/m<sup>3</sup>), natomiast najmniejszą przy systemie kropłowym (174,3 l/m<sup>3</sup>). W stosunku do ręcznego podlewania i za pomocą deszczownia przykorzeniowego, zużycie wody przy systemie kropłowym było niższe odpowiednio o 36% i 25%. Na wyprodukowanie 1 kg owoców papryki w systemie kropłowym zużyto o 39% wody mniej w porównaniu z podlewaniem ręcznym i o 21% wody mniej w porównaniu z deszczowaniem przykorzeniowym. W badaniach nad nawadnianiem jabłoni Pacholak (1986) wykazał, że nawadnianie sposobem kropłowym w porównaniu z nawadnianiem deszczownianym było o około trzy razy bardziej oszczędne w

zużyciu wody umożliwiając jednocześnie czterokrotne wydłużenie czasu jego działania. Pozwala to na wykorzystanie mniejszych źródeł wody oraz zapewnia lepsze warunki wilgotnościowe gleby dla wzrostu drzew owocowych. Przy różnej ilości zużytej wody nie stwierdzono istotnych różnic we wzroście, zawiązywaniu owoców i plonowaniu jabłoni między nawadnianiem deszczownianym a kropłowym. W badaniach Rolbieckiego (2006) nad porównaniem wpływu deszczowania i nawadniania kropłowego na produkcję jednorocznych sadzonek brzozy brodawkowatej wykazano 39% oszczędność wody dzięki zastosowaniu nawadniania kropłowego. Treder i współautorzy (1992/1993) wykazali, że zastosowanie nawadniania kropłowego na kwaterze jabłoni pozwoliło na 22% oszczędność wody w porównaniu do stosowania minizraszania podkoronowego. Według Tredera (2003) w młodym sadzie, dzięki nawadnianiu kropłowemu można oszczędzić od 50% do 80% wody w porównaniu z deszczowaniem, w sadzie starszym natomiast od 20% do 40%.

*Ad.2.* W praktyce do planowania częstotliwości i wielkości dawek nawodnieniowych wykorzystuje się kryteria klimatyczne lub glebowe.

#### *Kryteria klimatyczne*

Potrzeby wodne roślin zależne są od przebiegu warunków pogody, specyficznych cech gatunkowych oraz wielkości roślin. Przebieg pogody wpływa na wysokość parowania z powierzchni gleby (ewaporacja) oraz roślin (transpiracja). Suma parowania nazywana jest ewapotranspiracją.

Rzeczywistą wartość ewapotranspiracji szacuje się poprzez pomiar tzw. ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET<sub>o</sub>), która określa zdolność atmosfery do wywołania parowania wody z powierzchni pokrytej roślinami niezależnie od ich rodzaju i poziomu uwilgotnienia gleby. Oddziaływanie szaty roślinnej na proces parowania jest określane za pomocą tzw. współczynników roślinnych (k). Wartość tych współczynników jest charakterystyczna dla określonego gatunku i zmienia się w poszczególnych fazach rozwojowych rośliny w okresie wegetacyjnym. Ponieważ wielkość ewapotranspiracji (ET<sub>o</sub>) zależy od czynników klimatycznych (temperatura powietrza, promieniowanie słoneczne, wiatr, zawartość pary wodnej w powietrzu), można ją wyznaczyć wykorzystując dane meteorologiczne (przy pomocy modeli matematycznych o różnym stopniu złożoności) lub różnego typu ewaporometry (Hattendorf i Davenport, 1996; La Loggia i in., 1997; Treder i in., 2010; Treder i Klamkowski, 2017). Dostępne na rynku, automatyczne stacje meteorologiczne, jeżeli są wyposażone w odpowiedni zestaw czujników, mogą obliczać wartość ET<sub>o</sub>. Określenie rzeczywistych potrzeb wodnych wykonujemy mnożąc wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET<sub>o</sub>) przez

współczynnik roślinny ( $k$ ). Wartości współczynników roślinnych dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych dostępne są w literaturze (Allen i in., 1998).

Do planowania nawodnień najważniejszych gatunków roślin ogrodnich przy wykorzystaniu opisanej powyżej metody można skorzystać z zasobów opracowanej w Instytucie Ogrodnictwa Internetowej Platformy Wspomagania Decyzji Nawodnieniowych (<http://www.nawadnianie.inhort.pl/>). Platforma ma funkcjonalność systemu wspomagania decyzji i przy szacowaniu potrzeb nawodnieniowych określonej uprawy automatycznie uwzględnia okres wegetacji (współczynnik  $k$ ), rodzaj gleby, wysokość ewapotranspiracji, rozstaw i wielkość roślin, a także parametry instalacji nawodnieniowej (Treder, 2017).

W celu podniesienia efektywności wykorzystania wody planowanie nawadniania upraw na podstawie kryteriów klimatycznych prowadzone jest w wielu krajach świata. W uprawie pomidora (USA) stosując nawadnianie w oparciu o pomiary ewapotranspiracji uzyskano oszczędności wody do ok. 45% w porównaniu do dotychczas prowadzonego podejścia intuicyjnego (stała dawka, kilka razy na tydzień) (Munoz-Carpena i in., 2005). W doświadczeniu na jabłoni (USA) porównując nawadnianie przy zastosowaniu różnych kryteriów uzyskano mniejsze zużycie wody (o ok. 65%) w przypadku wykorzystania pomiarów ewapotranspiracji (w porównaniu do praktyki stosowanej w tamtym regionie - nawadnianie w określone dni tygodnia, dawka wody zależna od temperatury) (Osroosh, 2014). Nawadnianie borówki (Australia) z wykorzystaniem metody opartej na szacowaniu ewapotranspiracji dało oszczędność wody o ok. 22% w porównaniu do strategii stosowanej w praktyce przez farmerów (określona dawka wody stosowana w kilka razy w tygodniu) (Keen i Slavich, 2011).

Wyniki badań wskazują na dużą praktyczną przydatność tej metody prowadzenia nawadniania, należy jednak podkreślić że wymaga ona odpowiedniej wiedzy, wiarygodnych danych meteorologicznych i zaangażowania czasowego. W przypadku braku któregokolwiek z tych elementów trudno będzie uzyskać podobny poziom oszczędności wody.

#### *Kryteria glebowe*

Alternatywą lub uzupełnieniem dla metod opartych o analizę danych klimatycznych są techniki wykorzystujące pomiary parametrów glebowych.

Właściwości wodne gleby/podłoża można opisać dwójako - określając ilość wody w danej objętości (lub masie) gleby/podłoża, oraz charakteryzując jej dostępność, poprzez określenie siły, z jaką jest zatrzymywana w glebie/podłożu (potencjał wody, przyjmuje wartości ujemne, jest wyrażany w jednostkach ciśnienia). Pomiędzy tymi parametrami istnieje zależność charakterystyczna dla określonego rodzaju gleby/podłoża. Wyznacza się ją laboratoryjnie (krzywa retencji wody).

Stosunki wodne gleby mogą zostać określone poprzez dwa parametry charakterystyczne dla danego typu gleby - połową pojemność wodną i punkt trwałego wędnięcia (Vanderlinden i Giráldez, 2011).

Połowa pojemność wodna (PPW) - określona przez zawartość wody w momencie gdy ustanie odpływ wody grawitacyjnej (odpowiada wartości potencjału w zakresie ok. (-)10 - (-)50 kPa; (-)33 kPa jest najczęściej akceptowaną wartością referencyjną).

Punkt trwałego wędnięcia (PTW) - w miarę parowania wody z gleby i pobierania jej przez rośliny, zawartość wody w podłożu zmniejsza się aż do stanu, w którym nie może już zostać pobrana przez rośliny w wystarczającym tempie, aby mogły one utrzymać swój naturalny stan uwodnienia (turgor). Prowadzi to do trwałego wędnięcia roślin co oznacza, że nie odzyskują one pełnego turgoru nawet w przypadku zwiększenia zawartości wody w glebie (potencjał poniżej (-)1,5 MPa). Na podstawie powyższych kategorii można obliczyć zapas wody ogólnie dostępnej dla roślin (PPW-PTW). W praktyce nawadnianie rozpoczyna się w momencie wyczerpywania zapasu tzw. wody bardzo łatwo dostępnej, mieszczącej się w zakresie od połowej pojemności wodnej do początku hamowania wzrostu roślin (w zakresie potencjału do ok. (-)70 kPa).

Opracowano szereg technik umożliwiających pomiar zmian zawartości (lub potencjału) wody w glebie/podłożu (Freeland, 1989; Malicki 1996; Ley i in., 1994; Pardossi i in., 2009). Poniżej przedstawiono najczęściej stosowane w praktyce ogrodniczej.

*Metoda tensjometryczna.* Tensjometr składa się z ceramicznego sączka, rurki z tworzywa sztucznego i wakuometru. Po napełnieniu tensjometru wodą i umieszczeniu go w glebie ustala się stan równowagi. Gdy gleba przesyca, woda przemieszcza się do niej przez element ceramiczny powodując zmianę ciśnienia w rurce i odczytu na mierniku. W handlu dostępne są tensjometry o zróżnicowanej długości rurki, umożliwiające pomiar potencjału wody w glebie na różnych głębokościach. Zakres działania tensjometru wynosi od 0 (pełne nasycenie gleby wodą) do ok. (-)70 kPa. Tensjometr jest urządzeniem wymagającym nadzoru. W przypadku zbyt niskiego potencjału do wnętrza tensjometru może dostać się powietrze. Zapowietrzony tensjometr podaje błędny odczyt i należy go ponownie napełnić wodą. Istnieje możliwość podłączenia tensjometrów do układów elektronicznych umożliwiając automatyczny odczyt i rejestrację danych.

*Pomiar oporności elektrycznej.* W metodzie tej wykorzystuje się czujniki (w kształcie bloczków, walców) zbudowane z materiału porowatego, w którym umieszczone są elektrody połączone z miernikiem. Oporność elektryczna takiego materiału zmienia wraz ze zmianą wilgotności gleby. W nowszych typach sensorów (granular matrix sensors) stosuje się materiał

w formie granulatu. Takie rozwiązanie zapewnia dłuższą trwałość czujników, szybszy czas reakcji i większą precyzję pomiarów (zakres pomiarowy ok. 0 – 200 kPa).

*Metoda grawimetryczna (suszarkowo-wagowa).* Jest to podstawowa metoda pomiaru zawartości wody w glebie, stosowana do kalibracji czujników pomiarowych. Polega na pobraniu próbek gleby (według ściśle określonej metodyki), które następnie są suszone w temperaturze 105°C. Zawartość wody jest obliczana jako różnica masy próbki gleby przed i po wysuszeniu. Z uwagi na czasochłonność pomiaru i konieczność dostępu do sprzętu laboratoryjnego (suszarki i wagi), sposób ten jest rzadko stosowany w warunkach polowych. W uprawach bezglebowych, do analiz zawartości wody w niewielkich próbkach podłoża można wykorzystać tzw. wagosuszarki, które automatycznie obliczają wilgotność.

*Pomiar przenikalności elektrycznej (sondy TDR, TDT, FDR, pojemnościowe).* Określenie wilgotności gleby w tej metodzie odbywa się na podstawie pomiaru przenikalności elektrycznej ośrodka, która uzależniona jest od zawartości wody. Czujniki tego typu znajdują coraz szersze zastosowanie do kontrolowania wilgotności gleby w warunkach polowych, oraz wilgotności podłoża bezglebowych w uprawach pod osłonami. Są one łatwe w użyciu, a uzyskane za ich pomocą wyniki charakteryzują się dużą dokładnością. Dla uzyskania bardziej precyzyjnych wyników czasami istnieje konieczność zastosowania kalibracji specyficznej dla określonego rodzaju gleby/podłoża. Do zalet sond tego typu należy łatwa integracja z systemami gromadzenia danych (np. automatyczną stacją meteorologiczną) oraz możliwość przesyłania wyników pomiarów bezprzewodowo.

W ostatnich latach czujniki wilgotności (zwłaszcza pojemnościowe) znajdują zastosowanie w automatycznych systemach sterujących nawadnianiem. Współpracują ze sterownikiem czasowym, blokując nawadnianie w sytuacji gdy wilgotność jest wysoka (powyżej zdefiniowanej wartości progowej, która uzależniona jest od charakterystyki gleby/podłoża). W innych rozwiązaniach sensory mogą autonomicznie sterować nawadnianiem uruchamiając instalację nawodnieniową w momencie obniżenia się wilgotności poniżej wartości progowej (Nemali i van Iersel, 2006).

W szeregu prac wykazano, że stosując czujniki zawartości/potencjału wody w glebie/podłożu można osiągnąć znaczące oszczędności wody w trakcie uprawy roślin. Ilość zaoszczędzonej wody zależy od szeregu czynników (rodzaj uprawy, stosowany system nawodnieniowy, warunki agroklimatyczne). Zaletą stosowania czujników jest także utrzymanie wilgotności podłoża na stabilnym poziomie podczas uprawy (unikanie zalania roślin) oraz mniejsze wymywanie składników pokarmowych. W dostępnej literaturze są publikacje

dotyczące zrównoważonego nawadniania (przy wykorzystaniu czujników) wielu rodzajów upraw. Poniżej zamieszczono kilka przykładów.

W szkółce roślin ozdobnych (USA), w bezglebowej uprawie hortensji prowadzonej w nieogrzewanej szklarni stosując czujniki wilgotności podłoża (technologia FDR) uzyskano oszczędności wody rzędu 83% (w porównaniu do standardowych praktyk używanych w tym gospodarstwie - sterownik czasowy) (van Iersel i in., 2009). W uprawie kontenerowej złocienia wielkokwiatowego z wykorzystaniem miernika potencjału, uzyskano oszczędności wody w zakresie 8% do 24% (w zależności od wartości progowej, przy której było włączane nawadnianie), w porównaniu do nawadniania prowadzonego codziennie określoną dawką wody (Lieth i Burger, 1989). Podobnie, znaczne oszczędności wody (sięgające 50 - 70%), stosując nawadnianie w oparciu o tensjometry (w porównaniu do regularnego nawadniania określoną dawką wody) uzyskali Kiehl i in. (1992). Znaczącą redukcję zużycia wody (ok. 26%) wykazano również w szklarniowej uprawie róż (USA) stosując tensjometry do sterowania systemem nawodnieniowym (Oki i in., 2001). W doświadczeniu z pojemnikową uprawą skrzydłokwiatu (USA) uzyskano oszczędności wody rzędu 50 - 78% stosując tensjometry lub czujniki wilgotności podłoża (TDR), w porównaniu do nawadniania przy pomocy sterownika czasowego (Haman i Yeager, 2003). W doświadczeniach na 4 gatunkach roślin ozdobnych (cyprys wielkoszyszkowy, dereń biały, dziurawiec, bodziszek; uprawianych w szklarni lub w warunkach polowych), zastosowanie systemu sterowania nawadnianiem w oparciu o tensjometry umożliwiło zaoszczędzenie do ok. 45% wody bez negatywnego wpływu na jakość roślin (w porównaniu z nawadnianiem opartym o sterownik czasowy) (Bacci i in., 2007). Systemy nawadniania wykorzystujące pomiar zawartości wody wykorzystywano także na terenach zieleni. Przykładowo na terenach zieleni miejskiej w USA stosując sondy wilgotności gleby (TDT) zintegrowane z automatycznym systemem sterowania zaoszczędzono przeciętnie ok. 34% wody (Ranton i Karling, 2014). W badaniach prowadzonych w Australii uzyskano oszczędności wody sięgające 25% wykorzystując pomiar jej potencjału, w odniesieniu do tradycyjnego schematu nawadniania terenów zielonych stosowanego na tym obszarze (Pathan i in., 2007). W uprawach warzyw podejmowano prace nad wykorzystaniem czujników do sterowania nawadnianiem pomidora. W badaniach prowadzonych w Hiszpanii porównano zużycie wody podczas uprawy, prowadzonej w oparciu o pomiary ewapotranspiracji lub przy wykorzystaniu czujników (wilgotności i potencjału). Oszczędności wody w trakcie sezonu uprawowego sięgały 15 - 25% (w porównaniu do nawadniania opartego o szacowanie ewapotranspiracji, (Vazquez i in., 2011). W uprawie pomidora w USA stosując nawadnianie w oparciu o pomiary potencjału (przy użyciu tensjometrów lub czujników opornościowych)

uzyskano oszczędności wody w zakresie ok. 50 - 70%, w odniesieniu do schematu nawadniania stosowanego powszechnie przez producentów na tamtym obszarze (stała dawka, kilka razy na tydzień). Oszczędność wody była także większa w porównaniu do metody wykorzystującej szacowanie ewapotranspiracji (Munoz-Carpena i in., 2005). Nawadnianie w oparciu o sensory glebowe spowodowało oszczędności rzędu 34 - 60% wody podczas polowej uprawy pomidora i papryki (USA), w porównaniu do systemu tradycyjnie stosowanego przez producentów (stała dawka, regularne nawadnianie w określonym czasie) (Dukes i in., 2007). W innym doświadczeniu na papryce (USA), stwierdzono ok. 50% redukcję zużycia wody korzystając z automatycznego systemu nawadniania (z wykorzystaniem sensorów pojemnościowych) w porównaniu z nawadnianiem prowadzonym ręcznie (na podstawie pomiarów ewaporometrem) (Dukes i in. 2003). W polowej uprawie ogórka (Palestyna) uzyskano oszczędności wody (ok. 36%) stosując nawadnianie w oparciu o pomiary tensjometrem w porównaniu do tradycyjnego nawadniania opartego na doświadczeniu farmera i obserwacji kondycji roślin (Allah i Sholi, 2016). Oszczędność wody uzyskiwano także w uprawach sadowniczych. W badaniach na jabłoni (USA) porównując nawadnianie przy zastosowaniu różnych kryteriów uzyskano ok. 70 - 80% mniejsze zużycie wody szacując potrzeby wodne na podstawie pomiarów sondami glebowymi (Osroosh, 2014). W doświadczeniu tym obserwowano jednak objawy niedostatecznego zaopatrzenia roślin w wodę, co jest dowodem na to, że optymalne wykorzystanie nawet najlepszych urządzeń pomiarowo-sterujących jest możliwe tylko przy odpowiedniej wiedzy i doświadczeniu użytkownika. W uprawie grochu siewnego (Egipt) wykorzystanie automatycznego sterowania systemem nawodnieniowym (przy wykorzystaniu tensjometrów) skutkowało zaoszczędzeniem do ok. 35% wody, w porównaniu z sytuacją gdy nie monitorowano wilgotności gleby (Marwa i in., 2017)

Wymienione kryteria mogą być stosowane rozdzielnie lub łącznie. W zależności od potrzeb nawadnianej uprawy i posiadanych rozwiązań technicznych może to być przykładowo:

- określanie częstotliwości i dawki wody na podstawie szacowanej ewapotranspiracji przy wspomaganie się okresowymi pomiarami wilgotności gleby,
- nawadnianie na podstawie ciągłych pomiarów wilgotności (potencjału wodnego) gleby przy korygowaniu dawek i częstotliwości nawadniania w oparciu o klimatyczny bilans wodny.

Bardzo ważnym elementem jest także znajomość okresów krytycznych wrażliwości na suszę poszczególnych gatunków roślin, głębokości ich korzenienia się, a także znajomość właściwości wodnych gleb i podłoży ogrodniczych.



Niezależnie od zastosowanych kryteriów nawadniania użytkownik instalacji nawodnieniowej powinien:

- Ustalić empirycznie, lub oszacować maksymalną jednorazową dawkę wody tak, aby glebę zwilżać tylko na głębokość zalegania systemu korzeniowego nawadnianych roślin. Symulację taką dla systemów kropłowych można przeprowadzić za pomocą aplikacji <http://www.nawadnianie.inhort.pl/gleba/118-zasięg-zwilżania>.
- Określić intensywność wypływu wody na określone kwatery. Można to zmierzyć za pomocą wodomierza, który powinien być na wyposażeniu instalacji, lub oszacować za pomocą aplikacji <http://www.nawadnianie.inhort.pl/systemy-nawodnieniowe>. Informacja ta jest niezbędna dla ustalenia czasu nawadniania poszczególnych kwater.

*Ad. 3.* Woda jest bardzo cennym dobrem dlatego należy ją chronić przed zanieczyszczeniem. W przypadku instalacji nawodnieniowych konieczny jest montaż zaworów zwrotnych aby w trakcie prowadzenia fertygacji wyeliminować możliwość zanieczyszczenia źródła wody nawozami lub kwasami stosowanymi do nawożenia roślin.

#### 4. Podsumowanie

**Potencjalne oszczędności wody do nawadniania roślin można uzyskać poprzez:**

1. Ograniczenie strat podczas transportu oraz gromadzenia wody i zwiększenie potencjału retencyjnego.
2. Ograniczenie strat wynikających z nieszczelności instalacji nawodnieniowej.
3. Wprowadzenie zamkniętego obiegu wody w produkcji pod osłonami, daszkami i kontenerowych szkółkach roślin ozdobnych.
4. Zwiększenie efektywności nawadniania poprzez zmianę systemu nawodnieniowego na bardziej oszczędny.
5. Zastosowanie automatyki nawadniania.
6. Prowadzenie nawadniania w oparciu o wiarygodne kryteria klimatyczne i/lub glebowe.

*Ad.1.* Woda od miejsca poboru do zbiornika retencyjnego lub instalacji nawodnieniowej może być prowadzona kanałem otwartym lub rurociągiem. Straty wody podczas przepływu kanałem i podczas gromadzenia w otwartym zbiorniku wynikają z jej parowania z otwartej powierzchni oraz potencjalnego przesiąkania w głąb gruntu. Parowanie z wolnej powierzchni wody może być szacowane na podstawie danych o powierzchni parowania oraz warunkach pogodowych. W zależności od przebiegu pogody można przyjąć, że parowanie z wolnej

powierzchni wody jest wyższe o ok. 20 - 30% od wyznaczonej dla określonych warunków ewapotranspiracji wskaźnikowej. Określenie potencjalnych oszczędności wody po ograniczeniu ewaporacji poprzez przykrycie powierzchni wody zależne jest od proporcji pomiędzy otwartą powierzchnią wody, a powierzchnią netto nawadnianych upraw. Należy tu zwrócić uwagę, że straty związane z parowaniem rekompensowane są częściowo poprzez opady deszczu trafiające bezpośrednio do kanału lub otwartego zbiornika retencyjnego. Wydaje się więc, że inwestycje związane z przykryciem powierzchni wody w kanałach transportowych i otwartych zbiornikach retencyjnych w naszych warunkach klimatycznych mogą być nieuzasadnione ekonomicznie szczególnie, że mają niewielki wpływ na potencjalne oszczędności wody. Duże straty mogą występować natomiast poprzez przesiąkanie wody do gruntu z kanałów i zbiorników retencyjnych, dlatego ich uszczelnienie może owocować nawet znacznymi oszczędnościami wody. Straty te w zależności od obiektu i warunków pogodowych mogą być bardzo różne. Przykładowo według Europejskiej Agencji Środowiska (2012) wprowadzenie usprawnionej sieci transportu i wydajnej dystrybucji wody w jednym z regionów Grecji doprowadziło do uzyskania wzrostu w zakresie oszczędnego gospodarowania wodą na poziomie 95%. Jest to przykład skrajny, świadczący o początkowym stanie tego systemu. W przypadku wielu instalacji transportowych i zbiorników straty na poziomie 10% mogą być nawet niezauważane. Rzeczywiste oszczędności ilości wód powierzchniowych i gruntowych wykorzystywanych do nawadniania można uzyskać poprzez gromadzenie wód opadowych. W praktyce najczęściej zbiorniki retencyjne do gromadzenia wody deszczowej stosowane są na obiektach szklarniowych, ale w szczególnych przypadkach poprzez odpowiednią zmianę infrastruktury gromadzenie nadmiaru wody deszczowej może dotyczyć także upraw polowych. Potencjalne oszczędności wody uzależnione są od powierzchni, z której gromadzona jest woda, objętości zbiorników retencyjnych i przebiegu pogody.

*Ad. 2.* Wysokość strat wody spowodowana nieszczelnościami i uszkodzeniami instalacji nawodnieniowej może być bardzo różna. Podstawowym błędem wielu użytkowników jest zaniechanie regularnego przeglądu i konserwacji instalacji nawodnieniowej. Zła jakość niektórych materiałów, zaniechanie przygotowania instalacji do zimy i brak przeglądów okresowych skutkuje często występowaniem przecieków. Ze względu na częsty brak wyposażenia instalacji w manometry i wodomierze montowane na poszczególnych kwaterach użytkownik przez nawet długi okres czasu nie ma świadomości o stratach wody. Wymiana uszkodzonych elementów, uszczelnienie instalacji oraz montaż na poszczególnych kwaterach manometrów i wodomierzy może w wielu przypadkach spowodować co najmniej 5% oszczędności wody.

*Ad. 3.* Intensywna produkcja roślin ogrodnich pod osłonami prowadzona jest przede wszystkim w podłożach inertnych (wełna mineralna, wełna szklana, perlit, kokos, torf, itp.). Uprawa tego rodzaju charakteryzuje się szczególnie wysokim drenażem („przelewem”). Z powodu wymogów technologicznych stosowane tu sumaryczne dzienne dawki wody są zazwyczaj wyższe o 20 do 30% od potrzeb wodnych roślin. Podwyższone dawki wody mają za zadanie „przeżyć” podłoże w celu wypłukania z nich gromadzących się składników dotychczas nie pobranych przez rośliny. W olbrzymiej większości naszych gospodarstw przy zastosowaniu systemów kroplowych wody drenażowe odprowadzane są bezpośrednio do środowiska naturalnego powodując jego eutrofizację. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej filtracji i dezynfekcji wody drenażowe mogą być powtórnie użyte do nawadniania roślin.

*Ad. 4.* W przypadku nawadniania większości upraw ogrodnich oszczędności wody mogą być uzyskane poprzez zmianę rodzaju systemu nawodnieniowego. Najwyższą efektywność nawadniania mają tu systemy kroplowe.

*Ad. 5.* Instalacja nawodnieniowa może być uruchamiana ręcznie lub automatycznie. Wprowadzenie automatyki daje przede wszystkim oszczędności czasu pracy i pewność wyeliminowania podstawowego błędu ludzkiego, jakim jest zapominanie o zamknięciu zaworu. To właśnie brak dyscypliny kontroli zaworów jest częstym powodem zawyżania dawek wody. Sterowanie automatyczne może pracować w oparciu o prosty sterownik czasowy, lub urządzenie współpracujące z czujnikami wilgotności gleby lub/i stacją pogodową wyznaczającą ewapotranspirację. To drugie rozwiązanie pozwala na automatyczne wyznaczanie częstotliwości nawodnienia w oparciu o mierzalne kryteria. W przypadku użycia prostych sterowników czasowych ustawione dawki wody i częstotliwości nawadniania nie zależą od zmieniających się warunków pogody. Obecny rozwój techniki pozwala na zdalne bezprzewodowe sterowanie nawadnianiem, co znacznie ułatwia przeprogramowywanie urządzeń sterujących. Zdalne przeprogramowywanie nawet prostego sterownika czasowego daje dodatkowe potencjalne oszczędności wody.

*Ad. 6.* Niezależnie od tego czy instalacja sterowana jest automatycznie, czy ręcznie dawki nawodnieniowe powinny być uzależnione od głębokości korzenienia się roślin, oraz właściwości wodnych gleb lub podłoży ogrodnich. Częstotliwość nawadniania uzależniona jest natomiast od przebiegu wilgotności gleby, na którą ma wpływ przebieg pogody i podsiąkanie wody z głębszych warstw gleby. Dlatego każdy użytkownik, który będzie mierzył wilgotność gleby i/lub szacował ewapotranspirację na podstawie lokalnych pomiarów meteorologicznych (automatyczna stacja meteorologiczna) i wykorzysta te dane do

prowadzenia tzw. „ręcznego” nawadniania będzie miał potencjalne możliwości oszczędzania wody. Nie bez znaczenia jest tu także rola doradztwa nawodnieniowego. Europejska Agencja Środowiska (2012) podaje, że na Krecie, dzięki działalności prowadzonej przez służbę doradcą ds. nawadniania, udało się uzyskać oszczędności w wykorzystaniu wody na poziomie 9 - 10%. Przedstawiciele służby udzielali rolnikom telefonicznych informacji na temat częstotliwości i metod nawadniania upraw w oparciu o przeprowadzane codziennie szacunki pogodowe.

## 5. Inwestycje dotyczące ulepszenia instalacji

Tabela 1. Potencjalne oszczędności wody (w %) po zastosowaniu modernizacji instalacji i infrastruktury nawodnieniowej.

Działanie	Potencjalna oszczędność wody (%)
1.1 Ulepszenie istniejącej instalacji przesyłowej i retencyjnej: a - uszczelnienie kanałów i zbiorników retencyjnych, b - powiększenie zbiorników retencyjnych, c - modernizacja rurociągów przesyłowych.	10 *
1.2 Ulepszenie istniejącej instalacji nawodnieniowej poprzez: a - wymiana zawodnych w pracy elementów (np. zawory), b - wyeliminowanie nieszczelności, c - modernizacja instalacji poprzez zastosowanie, manometrów, regulatorów ciśnienia i wodomierzy.	5 **
1.3 Ulepszenie istniejącej instalacji poprzez wprowadzenie zamkniętego obiegu wody.	20
1.4 Ulepszenie istniejącej instalacji poprzez zmianę systemu nawodnieniowego na bardziej oszczędny (np. system deszczowniany na kroplowy).	25
1.5 Ulepszenie istniejącej infrastruktury poprzez zastosowanie sensorów służących do wyznaczania potrzeb wodnych roślin lub wilgotności/potencjału wodnego gleby lub podłoży ogrodniczych.	15
1.6 Ulepszenie istniejącej instalacji poprzez zastosowanie automatyki nawadniania: a - zastosowanie prostego sterownika czasowego, b - zastosowanie sterownika współpracującego z czujnikami określającymi potrzeby wodne roślin lub wilgotność/potencjał wodny gleby.	15 30

\* W przypadku działania 1.1 wartości potencjalnej oszczędności wody dla wymienionych wariantów (oznaczonych literami a, b, c) nie mogą być sumowane.

\*\* W przypadku działania 1.2 wartości potencjalnej oszczędności wody dla wymienionych wariantów (oznaczonych literami a, b, c) nie mogą być sumowane.

W celu osiągnięcia maksymalnego wpływu inwestycji na oszczędność zużycia wody poszczególne działania mogą być sumowane. Podczas aplikowania o środki należy jednak szczegółowo opisać, czy konkretne działanie dotyczy całości ulepszanej infrastruktury, dla której w przyszłości będzie oceniana rzeczywista oszczędność zużycia wody, czy tylko jej części. W przypadku rozbudowanych instalacji nawodnieniowych określone działanie nie musi dotyczyć całości ulepszanej instalacji/infrastruktury. Np. na części instalacji, która będzie podlegała ulepszeniu (przykładowo 70%) zostanie zastosowane działanie nr 1.5, a na części (30%) działanie nr 1.6b. Procentowe oszczędności zużycia wody dla całej inwestycji szacujemy tu na  $(0,7 \times 15\%) + (0,3 \times 30\%) = 19,5\%$ . W przypadku zastosowania działania nr 1.6b na całej powierzchni inwestycji niemożliwe już jest zastosowanie działania nr 1.5 (i odwrotnie). Przy przyznawaniu punktacji analogicznie trzeba analizować pozostałe działania. Przykładowo w aplikacji podajemy, że działanie nr 1.1 dotyczy całości inwestycji (10% oszczędności), a działanie nr 1.4 planujemy na 60% nawadnianej powierzchni netto ( $0,6 \times 25\% = 15\%$ ). Całość inwestycji ma potencjalnie przynieść **25%** oszczędności wody.

## 6. Inwestycje dotyczące powiększenia netto nawadnianego obszaru

Szacowane potencjalne oszczędności wody będą zależały nie tylko od przyjętych działań (tabela 2), ale także od zakresu o jaki procent powierzchni netto instalacja będzie powiększona. Przedstawione w tabeli nr 2 procentowe zakresy oszczędności wody odnoszą się do stanu wdrożenia tych działań na powierzchni obecnie istniejącej instalacji (przed powiększeniem).

*Przykład 1.* Powierzchnia nawadniania netto wynosi 10 ha. Zakładamy powiększenie jej o 1 ha (10%). Cała powierzchnia po przeprowadzeniu inwestycji będzie więc miała 110% w stosunku do powierzchni pierwotnej. Na całej powierzchni (istniejąca instalacja + instalacja dodana) planujemy podjęcie działania nr 2.1, które według szacunków pozwoli na 15% oszczędność wody.

Po zastosowaniu tego działania zużycie wody na instalacji pierwotnej (do której odnosimy końcowe oszczędności wody po rozszerzeniu) będzie równe 85% zużycia przed wykonaniem inwestycji.

**85%** (zużycie na starej instalacji po wprowadzeniu działania 2.1) x **1,1** (110% pierwotnej powierzchni) = **93,5%** (szacowane zużycie wody w odniesieniu do instalacji pierwotnej).

**100%** (zużycie pierwotne) – **93,5%** (zużycie obecne) = **6,5%** (oszczędności wody).

Oszczędność wody po wykonaniu powiększenia wraz z wprowadzeniem działania nr 2.1 (opisanego w tabeli 2) wyniesie **6,5%**.

*Przykład 2.* Powierzchnia nawadniania deszczownianego netto wynosi 10 ha. Zakładamy powiększenie jej o 1 ha (10%). Na nowej powierzchni zastosujemy instalacje kroplową, dla której potencjalna oszczędność zużycia wody w odniesieniu do instalacji deszczownianej wynosi 25% (punkt 1.4, tabela 1). Cała powierzchnia po przeprowadzeniu inwestycji będzie miała 110% w stosunku do powierzchni pierwotnej. Na całej powierzchni (istniejąca instalacja + instalacja dodana) planujemy podjęcie działania nr 2.1 (tabela 2), które według szacunków pozwoli na 15% oszczędność wody. Po zastosowaniu tego działania zużycie wody na instalacji pierwotnej (do której odnosimy końcowe oszczędności wody po rozszerzeniu) będzie równe 85% zużycia przed wykonaniem inwestycji.

**85%** (zużycie na starej instalacji po wprowadzeniu działania 2.1)

**75 %** (zużycie na dodanej powierzchni w odniesieniu do zużycia pierwotnego 100% (deszczowanie) - 25% oszczędności z działania 1.4 tab. 1) =  $75\% \times 0,1$  (potencjalne zużycie x 10% dodanej powierzchni) = 7,5%

Zużycie wody na dodanej powierzchni (w odniesieniu do zużycia pierwotnego) po dodatkowym zastosowaniu działania 2.1

$$7,5\% \times 0,85 = 6,4\%$$

Sumaryczne zużycie wody w odniesieniu do instalacji pierwotnej (starej)

$$85\% + 6,4\% = 91,4\%$$

Szacowane sumaryczne oszczędności

$$100\% - 91,4\% = 8,6\%$$

Szacowana oszczędność zużycia wody po wykonaniu powiększenia instalacji i działań nr 1.4 i 2.1 wynosi **8,6%**.

Tabela 2. Potencjalne oszczędności wody (w %) po powiększeniu netto nawadnianego obszaru.

Działanie	Potencjalna oszczędność wody (%)
2.1 Zastosowanie sensorów służące do wyznaczania potrzeb wodnych roślin lub wilgotności/potencjału wodnego gleby lub podłoży ogrodniczych dla całej instalacji nawodnieniowej.	15
2.2 Zastosowanie automatyki nawadniania dla całej instalacji nawodnieniowej: a) zastosowanie prostego sterownika czasowego, b) zastosowanie sterownika współpracującego z czujnikami określającymi potrzeby wodne roślin lub wilgotność/potencjał wodny gleby.	15 30
2.3 Wprowadzenie zamkniętego obiegu wody.	20

Ponieważ oszczędność trzeba wykazać po powiększeniu netto istniejącej już instalacji, działania 2.1 i 2.2b nie mogą być sumowane. Mogą być one jednak rozbite na określone powierzchnie całości instalacji. Sumować można działania 2.1 i 2.3; 2.1 i 2.2a oraz 2.2 i 2.3.

*Przykład 3.* Powierzchnia nawadniania netto wynosi 10 ha. Zakładamy powiększenie jej o 1 ha (10%). Cała powierzchnia po przeprowadzeniu inwestycji będzie więc miała 110% w stosunku do powierzchni pierwotnej. Na całej powierzchni (istniejąca instalacja + instalacja dodana) planujemy podjęcie działania nr 2.2b i 2.3, które według szacunków pozwolą na 50% oszczędność wody.

Po zastosowaniu tych działań zużycie wody na instalacji pierwotnej (do której odnosimy końcowe oszczędności wody po rozszerzeniu) będzie równe 50% zużycia przed wykonaniem inwestycji.

**50%** (zużycie na starej instalacji po wprowadzeniu działania 2.1) x **1,1** (110% pierwotnej powierzchni) = **55%** (szacowane zużycie wody w odniesieniu do instalacji pierwotnej).

**100%** (zużycie pierwotne) – **55%** (zużycie obecne) = **45%** (oszczędności wody).

Oszczędność wody po wykonaniu powiększenia wraz z wprowadzeniem działania nr 2.2b i 2.3 (opisanego w tabeli 2) wyniesie **45%**

Naturalnym jest, że gospodarstwa rolne i ogrodnicze nie są zunifikowane, w wielu przypadkach może być wskazane jednoczesne ulepszenie i rozszerzenie instalacji nawodnieniowych.

## 7. Literatura

- Allah R.J., Sholi N.J. 2016. Tensiometer as an irrigation management tool and its effect on water use and yield of open field grown cucumber. *Journal of Agricultural Science and Technology B*. 6: 303-306.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Armoni S. 1986. Micro-Sprinkler Irrigation. *Dan Sprinklers*. ss 91.
- Bacci L., Battista P., Checcacci E., Sabatini F., Rapi B. 2007. L'impiego di tensiometri nel controllo automatic dell'irrigazione di specie ornamentali in contenitore. *Italian Journal of Agronomy* 2: 179-187.
- Benami A., Ofen A. 1993. Irrigation Engineering. *AGRIPRO*. ss 257.
- Charles M., Burt P.E. Stuart W., Styles P.E. 1999. Irrigation Training and Research Centre. ss 288.
- Dasberg S., Or D. 1999. Drip irrigation. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp: 162.
- Drupka S. 1980. Deszczowanie i deszczownie. PWRiL Warszawa.
- Drupka S. 2006. Budowa i eksploatacja deszczowni. W: Nawadnianie roślin (S, Karczmarczyk, L. Nowak eds.), PWRiL: 199-231.
- Dukes M.D., Simonne E.H., Davis W.E., Studstill D.W., Hochmuth R. 2003. Effect of sensor-based high frequency irrigation on bell pepper yield and water use. *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Irrigation and Drainage*, May 12-15. Phoenix, AZ. pp. 665-674.
- Dukes M., Muñoz-Carpena R., Zotarelli L., Icerman J., Scholberg J. 2007. Soil moisture-based irrigation control to conserve water and nutrients under drip irrigated vegetable production. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* 8: 229-236.
- Dyśko J. 1988. Porównanie różnych systemów nawadniania w uprawie papryki pod folią wysoką. Komitet Melioracji V wydziału PAN, Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych SGGW, II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa, 120-128.
- European Environment Agency. 2009. Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought. <https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe>
- Europejska Agencja Środowiska. 2012. Woda na potrzeby rolnictwa. <https://www.eea.europa.eu/pl/articles/woda-na-potrzeby-rolnictwa>



- Farmer A., Bassi S., Fergusson M. 2008. Water Scarcity and Droughts. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2008/401002/IPOL-ENVI\\_ET\(2008\)401002\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2008/401002/IPOL-ENVI_ET(2008)401002_EN.pdf)
- Freeland R. S. 1989. Review of soil moisture sensing using soil electrical conductivity. *Transactions of the ASAE* 32: 2190-2194.
- Haman D.Z., Yeager T.H. 2003. Controlling irrigation with tensiometers and time domain reflectometry (TDR). A final report from years of research about using various tools to monitor water in containers to control irrigation. Final Report of University of Florida.
- Hattendorf M. J., Davenport J. R. 1996. Cranberry evapotranspiration. *HortScience* 31: 334-337.
- Jeznach J., Treder W. 2006. Nawadnianie roślin w szklarniach i pod osłonami. W: Nawadnianie roślin (S, Karczmarczyk, L. Nowak eds.), PWRiL: 233-267.
- Jorgensen G.S., Norum K.N. (eds) 1993. Subsurface drip irrigation. Theory, practices and application. CATI Publication number: 921001, ss 216.
- Kaniszewski S. 1993. Kroplowe nawadnianie warzyw. *Poligraf. Iwarz. Skierniewice* z.174/93: 1-15.
- Kaniszewski S. 2005. Nawadnianie warzyw polowych. Plantpress, ss 85.
- Keen B., Slavich P. 2011. Comparison of irrigation scheduling strategies for achieving water use efficiency in highbush blueberry. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 40: 1-18.
- Kiehl P.A., Lieth J.H., Burger D.W. 1992. Growth response of chrysanthemum to various container medium moisture tension levels. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117: 224–229.
- Koszański Z., Rumasz-Rudnicka E. 2008. Efekty nawadniania roślin jagodowych. *Acta Agrophysica*, 11(2): 437-442
- Kuchar L., Iwański S., Diakowska E., Gąsior E. 2015. Symulacja warunków hydrologicznych w północnej części centralnej Polski w perspektywie lat 2050-2060 dla potrzeb produkcji roślinnej i wybranych scenariuszy klimatycznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr II: 319-334.
- La Loggia F., Pennisi M., Sardo V. 1997. Hargreaves-Samani method and evaporation pan in the estimation of reference evapotranspiration. *Acta Horticulturae* 449: 113-118.
- Ley T. W., Stevens R. G., Topielec R. R., Neibling W. H. 1994. Soil water monitoring and measurement. *Pacific Northwest Extension Publication* 475: 1-36.

- Lieth J.H., Burger D.W. 1989. Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114: 387-392.
- Lobell D.B., Burke M.B., Tebaldi C., Mastrandrea M.D., Falcon W.P., Naylor R.L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319: 607-610.
- Łabędzki L. 2006. Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie nr 17*, ss 107.
- Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K. 2008. Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie nr 25*, ss 137.
- Malicki M. A. 1996. Elektryczny pomiar wilgotności i zasolenia gleby z zastosowaniem techniki reflektometrycznej (TDR). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 429: 215-221.
- Marwa, M. A., Abdelraouf R. E., Wahba S. A., El-Bagouri K. F., El-Gindy A. G. 2017. Scheduling Irrigation using automatic tensiometers for pea crop. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Special issue*: 174–183.
- Munoz-Carpena R., Dukes M.D., Li Y.C., Klassen W. 2005. Field comparison of tensiometer and granular matrix sensor automatic drip irrigation on tomato. *HortTechnology* 15: 584-590.
- Nemali, K.S., van Iersel, M.W. 2006. An automated system for controlling drought stress and irrigation in potted plants. *Scientia Horticulturae* 110: 292-297.
- Oki L., Lieth J.H., Tjosvold S. 2001. Irrigation of *Rosa hybrida* L. 'Kardinal' based on soil moisture tension increases productivity and flower quality. *Acta Horticulturae* 547: 213-219.
- Osroosh Y. 2014. Determining water requirements and scheduling irrigation of apple trees using soil-based, plant-based and weather-based methods. Thesis (Ph.D.), Department of Biological Systems Engineering, Washington State University.
- Pacholak E. 1986. Efekty produkcyjne nawodnień kropłowych i deszczownianych w sadownictwie. Konferencja, Stan i perspektywy rozwoju nawodnień w ogrodnictwie, Warszawa: 35-43.

- Pardossi A., Incrocci L., Incrocci G., Malorgio F., Battista P., Bacci L., Rapi B., Marzialetti P., Hemming J., Balendonck J. 2009. Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors (Basel)* 9: 2809–2835.
- Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E., (eds). 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 976 p.
- Pathan S.M, Barton L., Colmer T.D. 2007. Evaluation of a soil moisture sensor to reduce water and nutrient leaching in turfgrass (*Cynodon dactylon* cv. Wintergreen), *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47: 215-222.
- Ranton J., Carlin S.C. 2014. Soil Moisture Sensor Pilot Program Project Summary. Portland Water Bureau. Portland, Oregon. June 30, 2012, with corrections published in 2014.
- Rolbiecki S., Rolbiecki R., Klimek A. 2006. Porównanie wpływu deszczowania i mikronawodnień na produkcję jednorocznych sadzonek brzozy brodawkowatej w warunkach zoomelioracji. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* Nr 2006/2/2: 2015-117.
- Treder W., Mika A., Cegłowski M. 1992/93. Efekty kropłowego i podkoronowego nawadniania jabłoni. *Prace Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa. Seria A tom 31*: 33-40.
- Treder W. 1997. Systemy nawadniania i nawożenia roślin doniczkowych. Wybrane zagadnienia z uprawy roślin doniczkowych. *Materiały konferencyjne .Skierniewice* : 18-24.
- Treder W. 2003. Jak nawadniać sady – systemy kropłowe czy deszczownie? *Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa, VIII Ogólnopolskie Spotkanie Sadowników w Grójcu*: 86-92.
- Treder W., Klamkowski K., Krzewińska D., Tryngiel-Gać A. 2009. Najnowsze trendy w nawadnianiu upraw sadowniczych – *Prace badawcze związane z nawadnianiem roślin prowadzone w ISK w Skierniewicach. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. Nr 6*: 95-107.
- Treder W., Wójcik K., Źarski J. 2010. Wstępna ocena możliwości szacowania potrzeb wodnych roślin na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa* 18: 143-153.

- Treder W., Wójcik K., Tryngiel-Gać A., Krzewińska D., Klamkowski K. 2011. Rozwój nawodnień roślin sadowniczych w świetle badań ankietowych. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*. Nr 5: 61-69.
- Treder W. 2017. Integrowane nawadnianie sadów. Materiały konferencyjne XIII Międzynarodowych Targów Agrotechniki Sadowniczej FruitPro, MTAS Warszawa 2 II 2017: 56-64. Plantpress.
- Treder W., Klamkowski K. 2017. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2017/II/1*: 469–481.
- Tryngiel-Gać A., Treder W. Efficiency of irrigation of highbush blueberry in Poland. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* Nr III/2/2017, s.1099-1114
- van Iersel M., Seymour R.M., Chappell M., Watson F., Dove S.K. 2009. Soil moisture sensor-based irrigation reduces water use and nutrient leaching in a commercial nursery. *Proceedings Southern Nursery Association Research Conference* 54:17–21.
- Vanderlinden K., Giráldez J.V. 2011. Field Water Capacity. In: Gliński J., Horabik J., Lipiec J. (eds) *Encyclopedia of Agrophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht.
- Vázquez N., Huete J., Pardo A., Suso M.L., Tobar V. 2011. Use of soil moisture sensors for automatic high frequency drip irrigation in processing tomato. *Acta Horticulturae* 922: 229-235.
- Wada Y., van Beek L. P. H., Bierkens M. F. P. 2011. Modelling global water stress of the recent past: on the relative importance of trends in water demand and climate variability. *Hydrology and Earth System Sciences* 15: 3785–3808.
- Wilhite D.A., Glantz M.H. 1985. *Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions*. Drought Mitigation Center Faculty Publications. 20. <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/20>
- Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Rolbiecki R., Rolbiecki S. 2013. Prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej. *Annual Set The Environment Protection* 15: 2185-2203.