

Metody pomiaru wilgotności gleby

Dr Krzysztof Klamkowski, doc. dr hab. Waldemar Treder

Institut Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach

Postępujące ograniczanie zasobów wody przydatnej dla potrzeb rolniczych powoduje konieczność zwiększenia efektywności nawadniania. Celowe staje się zatem kontrolowanie zawartości wody w glebie i dostarczanie jej roślinom tylko wtedy, kiedy jest to niezbędne. Monitorowanie bieżącego poziomu uwilgocenia gleby ma także na celu przeciwdziałanie skutkom zalania roślin. Nadmiar wody wypiera powietrze z gleby ograniczając oddychanie korzeni, co w rezultacie prowadzi do ich gnicia i zamierania roślin.

Właściwości wodne gleby opisać można dwojako – określając ilość zawartej w niej wody (wilgotność gleby) oraz charakteryzując stan energetyczny wody na podstawie prawa termodynamiki (potencjał wody). Pomiar potencjału umożliwia określenie siły, z jaką woda jest zatrzymywana w glebie. Gdy potencjał wody glebowej się obniża, staje się ona coraz trudniej dostępna dla roślin. Wilgotność gleby jest wyrażana w procentach (najczęściej objętościowych). Potencjał wody jest natomiast określany w jednostkach ciśnienia (paskal, bar, atmosfera i ich wielokrotności) i przyjmuje wartości ujemne (w urządzeniach pomiarowych znak minus jest czasami pomijany). Aby dokładnie określić potrzeby nawadniania roślin, należy znać obie te wielkości (potencjał i zawartość wody). Informacja o samej ilości wody zawartej w glebie nie mówi bowiem nic o jej dostępności dla roślin. W praktyce często wykonuje się pomiary tylko jednego z tych parametrów, ponieważ przy uwzględnieniu zależności, jakie pomiędzy nimi występują, można scharakteryzować pozostałe. Zależność pomiędzy potencjałem a zawartością wody nie jest liniowa. Aby ją ustalić, należy opracować tzw. krzywą retencji wody dla danego rodzaju gleby.

Opracowano szereg technik umożliwiających pomiar zmian zawartości (lub potencjału) wody w glebie. Poniżej dokonano przeglądu najważniejszych i najczęściej stosowanych w praktyce ogrodniczej.

POMIAR POTENCJAŁU WODY

Techniki tensjometryczne. Tensjometr to wypełniona wodą plastikowa rurka zakończona elementem ceramicz-

nym i połączona z miernikiem ciśnienia – wakuometrem (fot. 1). Po umieszczeniu tensjometru w glebie ustala się stan równowagi (niezbędny jest dokładny kontakt pomiędzy elementem ceramicznym a glebą). 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 różnicowanej długości rurki, umożliwiające pomiar potencjału wody w glebie na różnych głębokościach. Tensjometry często wyskalowane są w zakresie od 0 do 100 centybarów (lub w innych jednostkach ciśnienia). W praktyce zakres ich działania jest mniejszy i wynosi od 0 (pełne nasycenie gleby wodą) do ok. 75 centybarów (75 kPa). Graniczne wskazanie tensjometru (75 kPa) w przypadku gleb piaszczystych oznacza wyczerpanie niemal całej dostępnej dla roślin wody, natomiast gleb zwięzłych – o wykorzystaniu dostępnej wody tylko w ok. 30%.

Tensjometry używane są głównie przy podejmowaniu decyzji o rozpoczęciu i zakończeniu nawadniania. W ostatnich latach opracowano metodę pozwalającą na podłączenie tensjometrów do układów elektronicznych umożliwiających automatyczny odczyt i rejestrację danych. Z uwagi na opisane powyżej ograniczenia funkcjonalności tych urządzeń, wykorzystanie tensjometrów do sterowania nawad-



fot. 1-3, 5-8 W. Treder

Fot. 1. Tensjometr

nianiem powinno jednak być wspomagane przez informacje uzyskane z czujników mierzących zawartość wody w glebie.

Pomiar oporności elektrycznej. W metodzie tej wykorzystujemy czujniki (w kształcie bloczków, walców) zbudowane z materiału porowatego (najczęściej gipsu), w którym umieszczone są dwie elektrody połączone z miernikiem. Oporność elektryczna takiego materiału jest uzależniona od zawartości wody. Wyższa oporność oznacza niższą zawartość wody w bloczku. Mierniki oferowane na rynku są często wyskalowane w jednostkach względnych,



Fot. 2. Sensor typu *granular matrix* z czytnikiem



Fot. 3. System sterowania nawadnianiem wykorzystujący sensory *granular matrix*

co pociąga za sobą konieczność odczytu potencjału wody z załączonych tabel. Zaletą takiego rozwiązania jest niski koszt pojedynczego czujnika. Do wad zaliczyć ►

reklama

◀ należy konieczność kalibracji dla danego rodzaju gleby (w praktyce dla każdego bloczka), wolny czas reakcji (po umieszczeniu w glebie wymagane jest kilka godzin dla osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy bloczkiem a glebą), ograniczona żywotność czujnika (1–3 lat) oraz mała dokładność pomiaru. W nowszych typach sensorów (*granular matrix sensors*) stosuje się materiał w formie granulatu, który otoczony jest specjalną membraną i perforowaną osłoną zbudowaną ze stali lub PCW (fot. 2 na str. 13). Takie rozwiązanie zapewnia dłuższą trwałość czujników, szybszy czas reakcji i nieco większą precyzję pomiarów (zakres pomiarowy mieści się w granicach 0–200 centybarów). Bloczki tego typu mogą być wykorzystywane w automatycznych systemach sterowania nawadnianiem (fot. 3). Z uwagi na opisane powyżej niedoskonałości tego typu czujników, niezbędny jest jednak nadzór nad działaniem takiego systemu.

POMIAR ZAWARTOŚCI WODY

Metoda grawimetryczna (suszarkowo-wagowa). Polega na pobraniu próbek gleby (według ściśle określonej metodyki), które następnie są suszone w temperaturze 105°C aż do chwili ustabilizowania się ich masy. 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, wagi), sposób ten nie jest stosowany do szacowania potrzeb nawodnieniowych w warunkach polowych.

Pomiar przenikalności elektrycznej (sondy TDR oraz sondy FDR, zwane również pojemnościowymi). Określenie wilgotności podłoża lub gleby w tej metodzie odbywa się na podstawie pomiaru przenikalności elektrycznej (stałej dielektrycznej) ośrodka, która uzależniona jest przede wszystkim od zawartości wody (względna przenikalność elektryczna wody w temperaturze 20°C wynosi ok. 80, powietrza ok. 1, dla fazy stałej ok. 2–8). Różnica pomiędzy sensorami TDR (*time domain reflectometry*) a FDR (*frequency domain reflectometry*) wynika ze sposobu pomiaru przenikalności elektrycznej. Zmiana zawartości wody w glebie powoduje zmianę jej przenikalności elektrycznej, co umożliwia wyznaczenie zależności dla tych parametrów.

Dzięki rozwojowi techniki, metoda ta cieszy się coraz większą popularnością. Czujniki tego typu (zwłaszcza „pojemnościowe”) znajdują coraz szersze zastosowanie przy kontrolowaniu wilgotności gleby w warunkach polowych oraz wilgotności podłoża bezglebowych w uprawach pod osłonami. Są one łatwe w użyciu, a uzyskane za



fot. K. Klamkowski

Fot. 4. Sondy pojemnościowe z czytnikiem (sensor umieszczony pośrodku mierzy także EC i temperaturę gleby)

ich pomocą wyniki charakteryzują się dużą dokładnością. Sondy tego typu wymagają kalibracji. Kalibracja fabryczna jest najczęściej wystarczająca dla pomiaru zawartości wody w glebach mineralnych, jednak dla uzyskania bardziej precyzyjnych wyników istnieje konieczność wykonania kalibracji specyficznej dla określonego rodzaju podłoża. W większości przypadków producent dostarcza gotowy zestaw kalibracji dla różnych gleb i podłoży, zgodnie z wymaganiem nabywcy.

Wśród czujników „pojemnościowych” można wyróżnić dwa główne typy konstrukcji. Pierwszy obejmuje niewielkie sondy (o długości od kilku do kilkunastu centymetrów), które mogą być umieszczone na stałe w glebie lub w pojemnikach z podłożem bezglebowym (fot. 4). Odczyt wilgotności gleby lub podłoża uzyskuje się po podłączeniu przenośnego miernika. W ostatnich latach czujniki tego typu znalazły również zastosowanie w automatycznych systemach sterujących nawadnianiem. W Pracowni Nawadniania i Upraw Roślin pod Osłonami ISK prowadzone są badania nad możliwością integracji sond „pojemnościowych” z układami sterującymi nawadnianiem (fot. 5, 6) – pomiar wilgotności podłoża odbywa się w sposób ciągły, a wyniki są rejestrowane przez komputer. Gdy zawartość wody w podłożu obniży się poniżej zdefiniowanej wcześniej wartości, nawadnianie włącza się automatycznie i (w zależności od ustawień) może trwać do chwili, gdy wilgotność podłoża wzrośnie dożądanego poziomu. Wykorzystanie mierników wilgotności usprawnia zarządzanie systemami nawodnieniowymi, przyczynia się do ograniczenia kosztów nawadniania oraz zmniejszenia strat wody i energii. Do zalet sond tego typu należy także możliwość



Fot. 5. Sonda pojemnościowa umieszczona w podłożu (bezglębowa uprawa truskawki)



Fot. 6. Moduł sterujący nawadnianiem na podstawie odczytów z sond pojemnościowych

przesyłania wyników pomiarów bezprzewodowo (drogą radiową lub na większe odległości poprzez sieć telefonii komórkowej).



Fot. 7. Sonda do pomiaru zawartości wody w profilu glebowym

Drugie, dostępne na rynku rozwiązanie umożliwia pomiar wilgotności na różnych poziomach w profilu glebowym (fot. 7). W tym przypadku sonda umieszczona jest na pręcie o różnej długości (np. 0,7–1,6 m). W glebie umieszcza się specjalne rury, wykonane z PCW (o średnicy kilku cm). Pomiar polega na dwukrotnym przemieszczeniu sondy wzdłuż rury (wsunięciu i wysunięciu). Za pomocą połączonego z sondą miernika można odczytać zawartość wody na wybranych (lub wcześniej zdefiniowanych) poziomach w profilu glebowym (z reguły co 10 cm) – wykres na str. 16 przedstawia zmiany wilgotności gleby na poletkach doświadczalnych (nawadnianym i nienawadnianym). Wadą takiego rozwiązania jest pracochłonność. Aby uzyskać dobrą orientację odnośnie do stanu uwilgocenia gleby, nie wystarczy zamontowanie pojedynczej rury. Im więcej zostanie przygotowanych punktów pomiarowych, tym pełniejszy ▶

Charakterystyka metod pomiaru wilgotności gleby

Metoda	Określany parametr	Zalety	Wady	Orientacyjna cena
Pomiar tensjometryczny	Potencjał wody (matrycowy)	Dokładność, prosta konstrukcja i niska cena urządzeń	Utrudniona automatyzacja, wymaga nadzoru, ograniczony zakres działania do ok. (-)75 kPa	150–250 zł (zależnie od długości)
Pomiar oporności elektrycznej	Potencjał wody (matrycowy)	Większy zakres pomiarowy, w porównaniu z tensjometrami, możliwość odczytu ciągłego, możliwa automatyzacja sterowania nawadnianiem	Niska precyzja pomiaru, krótka żywotność, wymaga nadzoru, wrażliwość na zasolenie	50–250 zł (bloczek) 1500–2500 zł (miernik)
Pomiar grawimetryczny	Zawartość wody (wilgotność)	Duża dokładność	Wymagany sprzęt laboratoryjny, brak powtarzalności (pomiar destrukcyjny), czasochłonność	–
Pomiar przenikalności elektrycznej	Zawartość wody (wilgotność)	Dokładność, łatwość użycia, możliwość integracji z systemami sterującymi nawadnianiem, pomiar w profilu glebowym	Dla zwiększenia precyzji wymagana kalibracja, możliwy wpływ zasolenia gleby, zakłócenia w odczycie w przypadku niedokładnego kontaktu czujnika z glebą	700–1000 zł (pojedyncza sonda pojemnościowa), 3000–4000 \$ (zestaw do pomiaru w profilu)
Pomiar stopnia rozproszenia neutronów	Zawartość wody (wilgotność)	Dokładność i szybkość pomiaru, pomiar w profilu glebowym	Kalibracja dla danego typu gleby, wykorzystanie materiału radioaktywnego, wpływ zasolenia	4000–5000 \$

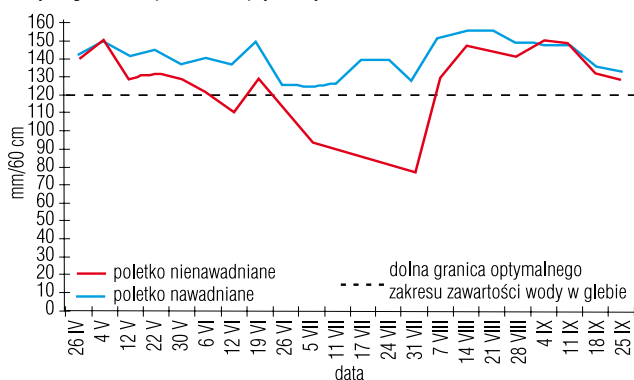
◀ będzie obraz zasobności w wodę gleby na danym obszarze. Na rynku dostępne są także warianty tego urządzenia, w których sondy umieszczone są na stałe w rurze na wybranych głębokościach. Odczyt odbywa się automatycznie, a dane są przesyłane na stanowisko odbiorcy. Koszt takiego urządzenia jest jednak znacznie większy.

Pomiar stopnia rozproszenia neutronów (sondy neutronowe). W metodzie tej szybkie neutrony emitowane przez radioaktywne źródło są spowalniane przez atomy wodoru zawarte w glebie (przede wszystkim w wodzie glebowej). Na podstawie tempa spowolnienia neutronów wyznaczyć można zawartość wody w danej objętości gleby. Technika pomiaru przypomina nieco tę opisaną dla sensorów „pojemnościowych”. Sonda pomiarowa zawierająca źródło i detektor neutronów jest przemieszczana wzdłuż umieszczonej w glebie rury. Do zalet metody należą duża dokładność i szybkość pomiarów oraz możliwość pomiaru na różnych poziomach w profilu glebowym. Wadami są koszt urządzenia, pośredni kontakt z materiałem radioaktywnym (a co się z tym wiąże wymóg przeszkolenia personelu, specjalne procedury związane z transportem i przechowywaniem urządzenia) oraz konieczność kalibracji urządzenia (szczególnie w przypadku gleb o wysokiej zawartości materii organicznej). Poza tym, przy użyciu tej metody nie można mierzyć zawartości wody w powierzchniowych warstwach gleby („ucieczka” neutronów). W praktyce, z uwagi na rozwój technik „pojemnościowych”, metoda ta jest wykorzystywana coraz rzadziej.

CO I JAK WYBIERAĆ?

Gdy korzysta się z mierników wilgotności gleby (lub potencjału), należy zwrócić uwagę na sposób ich montażu w warunkach polowych. Podstawowym celem nawadniania

Zmiany zawartości wody w glebie (0–60 cm); na podstawie pomiarów wilgotności prowadzono nawadnianie, co pozwoliło utrzymać zawartość wody w glebie na poziomie optymalnym dla wzrostu roślin



Fot. 8. Sondy pojemnościowe umieszczone w glebie

nia jest stworzenie roślinom optymalnej wilgotności gleby w strefie występowania i największego zagęszczenia korzeni. Na przykład, dla roślin jagodowych jest to warstwa do ok. 20-cm, a drzew – ok. 30–40 cm. Czujniki wilgotności, z uwagi na ich charakterystykę pomiarową (sondy „pojemnościowe” mierzą średnią wilgotność gleby otaczającej czujnik, przy czym grubość mierzonej warstwy nie przekracza kilku centymetrów licząc od powierzchni czujnika) powinny być montowane w strefie, z której woda jest aktywnie pobierana przez korzenie roślin. Optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie kilku czujników umieszczonych na różnych głębokościach (fot. 8). Kolejna kwestia dotyczy liczby punktów pomiarowych na danym polu (kwaterze). Większa liczba punktów umożliwia pewniejszą ocenę stopnia zaopatrzenia roślin w wodę, co ułatwia podjęcie decyzji o konieczności nawadniania. Ma to szczególne znaczenie, gdy sad czy plantacja znajdują się na obszarze zróżnicowanym pod względem rodzaju gleby i (lub) ukształtowania terenu.

Powyższe zestawienie (tabela na str. 15) nie obejmuje wszystkich metod, które mogą znaleźć zastosowanie do pomiaru zawartości (potencjału) wody w glebie lub podłożu. Dzięki rozwojowi techniki wprowadzane są coraz nowsze rozwiązania, a urządzenia już istniejące są udoskonalane. Ostatnio na rynku pojawiły się na przykład kombinowane sondy „pojemnościowe”, umożliwiające pomiar nie tylko wilgotności, ale również EC i temperatury gleby (fot. 4 na str. 14). Sondy takie mogą znaleźć zastosowanie w systemach sterujących fertygacją roślin. Prowadzone są również prace nad wykorzystaniem technik zdalnego pomiaru wilgotności gleby, np. z użyciem satelitów. Umożliwia to objęcie monitoringiem znacznych obszarów na kuli ziemskiej. ■