ROCZNIKI GLEBOZNAWCZE T. XXVII, Nr 4, WARSZAWA 1976

RYSZARD BARANOWSKI

TENSJOMETR KAPILARNY I JEGO ZASTOSOWANIE W BADANIACH POTENCJAŁU WODY GLEBOWEJ

Zakład Uprawy Roli i Roślin IUNG
w Laskowicach Oławskich

Stosunki wodne należą do podstawowych właściwości agrofizycznych gleby i z tego względu zagadnieniom potencjału kapilarnego, a zwłaszcza metodom jego oznaczania poświęca się szczególną uwagę [2, 4]. Analiza funkcji pF dostarcza informacji o zdolnościach retencyjnych gleby, pozwala określić zapasy wody łatwo dostępnej dla roślin oraz wskazuje stan wilgotności, przy którym następuje ograniczenie bądź zahamowanie procesu pobierania wody przez system korzeniowy roślin. Z przebiegu krzywych pF można wnioskować poza tym o rozkładzie wielkości porów glebowych i na tej podstawie charakteryzować stosunki powietrzne i stan strukturalny gleby.

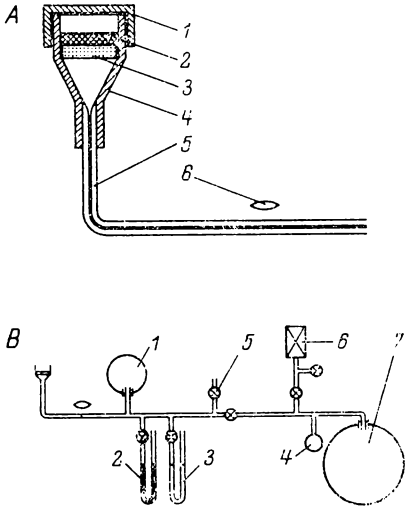
Najczęściej stosowane metody laboratoryjne oznaczania potencjału kapilarnego gleby polegają na doprowadzeniu w stopniowo odwadnianych próbkach glebowych do stanu równowagi między siłami wiążącymi wodę w glebie a przyłożonym z zewnątrz ciśnieniem [5, 6]. Metody oparte na tej zasadzie wymagają specjalnej aparatury oraz są czasochłonne. Wyznaczenie jednej krzywej pF zajmuje kilka tygodni, a w przypadku gleby o cięższym składzie mechanicznym czas wykonywania analiz jest jeszcze dłuższy.

Istnieje szybka metoda oznaczania siły ssącej gleby zaproponowana przez C r o n e y a i C o l e m a n a [1] i zmodyfikowana oraz adaptowana do badań polowych przez D u m b l e t o n a i W e s t a [3]. Pozwala ona mierzyć potencjał wody glebowej w zakresie od 0 do 3,0 pF, a przy stosowaniu dodatkowego ciśnienia zakres pomiarowy może zostać zwiększony do 3,35 pF. Opisana przez wymienionych autorów [3] aparatura ma dość istotny mankament z punktu widzenia interpretacji otrzymywanych wyników, polegający na tym, że płytka porowata, na której umieszcza się próbkę glebową, ma średnicę wynoszącą zaledwie 1 cm, co pozwala badać próbki małe pod względem masy i tylko o naruszonej strukturze.

Celem prac przeprowadzonych przez autora było wykonanie aparatury oraz sprawdzenie przydatności metody Croneya i Colemana do wyznaczania krzywych pF w warunkach laboratoryjnych. Chodziło między innymi o określenie szybkości wykonywania analiz w procesie nawilżania i osuszania próbek o reprezentatywnej masie oraz zbadanie możliwości wyznaczania tą metodą histerezy nawilżania gleby w próbkach o naturalnej strukturze.

OPIS TENSJOMETRU KAPILARNEGO I ZASADA JEGO DZIAŁANIA

Schemat aparatury stosowanej w Zakładzie Uprawy Roli i Roślin IUNG do szybkiego oznaczania siły ssącej gleby przedstawiono na rys. 1. Właściwy przyrząd (zwany w dalszym ciągu pracy tensjometrem kapilarnym) składa się z pojemnika na glebę, półprzepuszczalnej płytki cera-



rys. 1. Schemat aparatury do szybkiego oznaczania siły ssącej gleby

A — tensjometr kapilarny: *1* — wieczko, *2* — próbka glebowa, *3* — płytka ceramiczna, *4* — zbiorniczek na wodę, *5* — kapilara, *6* — lupa; *B* — urządzenie do regulacji ciśnienia: *1* — zbiornik powietrza, *2* — manometr rtęciowy, *3* — manometr wodny, *4* — wakuometr, *5* — odpowietrznik, *6* — pompa próżniowa, *7* — zbiornik powietrza

Scheme of an apparatus to the rapid determination of soil suction

A — capillary tensiometer: *1* — cap. *2* — soil sample, *3* — ceramic plate, *4* — water reservoir, *5* — flow tube, *6* — magnifier; *B* — arrangement of the suction system: *1* — air reservoir, *2* — mercury manometer, *3* — water manometer, *4* — vacuum gauge, *5* — vent, *6* — vacuum pump, *7* — air reservoir

micznej oraz stożkowego zbiorniczka na wodę połączonego z wygiętą pod kątem 90° szklaną kapilarą o średnicy 0,6 mm i długości ok. 30 cm. Pojemnik na glebę ma kształt cylindra o średnicy wewnętrznej 45 mm i wysokości 20 mm. Przykrywany jest szczelnie dopasowanym wieczkiem w celu zabezpieczenia próbki glebowej przed parowaniem. Drugi koniec kapilary połączony jest z pozostałą częścią aparatury, służącą do utrzymywania kontrolowanego ciśnienia od 0 do ok. 1,05 at. Napełnianie tensjometru wodą następowało przez płytkę przy dołączonym do kapilary podciśnieniu. Zabieg ten kontynuowano po wypełnieniu zbiorniczka jeszcze przez dłuższy czas w celu dokładnego usunięcia powietrza z samej płytki oraz ze ścianek naczynia. Aby nie dopuścić do zapowietrzenia i zabezpieczyć płytkę ceramiczną przed zanieczyszczeniem, tensjometr przechowywano w przygotowanej i zmienianej co kilka dni wodzie destylowanej.

Na czas wykonywania pomiarów umieszczony był w specjalnej oprawce zapewniającej stabilność ustawienia oraz przykrywany prostopadłościenną osłoną, wyścieloną od wewnątrz nawilżaną gąbką. Dzięki temu powietrze otaczające przyrząd miało wilgotność zbliżoną do stanu nasycenia. Położenie menisku w kapilarze obserwowano przez lupę, przy czym układem odniesienia była ruchoma podziałka umieszczona na oprawce.

Do oznaczania potencjału wody w próbkach o nienaruszonej strukturze stosowano tensjometry mające pojemnik o wielkości dostosowanej do wymiarów używanych cylinderków glebowych i specjalnie ukształtowaną podstawę do zapewnienia dobrego kontaktu gleby z płytką ceramiczną.

Umieszczenie próbki glebowej na nasiąkniętej wodą płytce ceramicznej powoduje wystąpienie siły ssącej i cofanie się menisku wody w kapilarze w kierunku próbki. Regulując odpowiednio podciśnienie w przewodzie połączonym z kapilarą doprowadza się menisk do stanu równowagi i na tej podstawie określa się wielkość potencjału wody w analizowanej próbce. Ponieważ na menisk wodny działa dodatkowo ciśnienie hydrostatyczne oraz ciśnienie związane z zakrzywieniem powierzchni cieczy w kapilarze, równowaga menisku świadczy o spełnieniu następującej zależności:

$$p = p_1 + h_1 + h_2$$

gdzie:

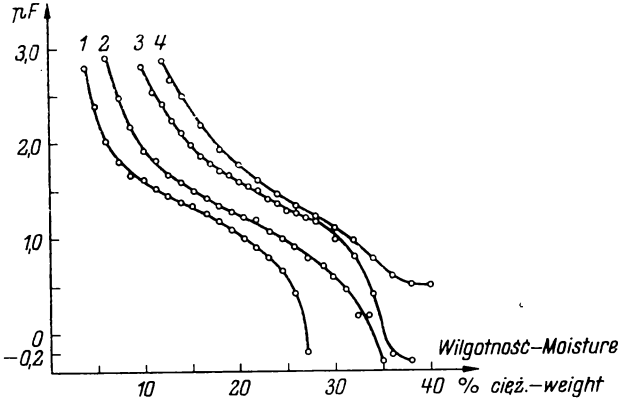
p — siła ssąca próbki glebowej,
p_1 — ciśnienie dołączone do kapilary i wskazywane przez manometr,
h_1 — ciśnienie hydrostatyczne wody w tensjometrze,
h_2 — ciśnienie związane z obecnością menisku wklęsłego w kapilarze.

Ciśnienie hydrostatyczne h_1 wyznaczyć można w prosty sposób przez zmierzenie wysokości odpowiedniego odcinka tensjometru, a wielkość h_2 wyliczyć ze wzoru $h_2 = 2T/r$, gdzie T oznacza napięcie powierzchniowe wody (72,8 erg/cm^2 w 20°C), a r — promień kapilary. Jednakże mniejszy błąd popełnia się, określając sumę $h = h_1 + h_2$, która dla danego przyrządu jest wielkością stałą. Wyznaczono ją przez zmierzenie p_1 przy $p = 0$, czyli w warunkach zastąpienia próbki glebowej paroma kroplami wody. Ponieważ oba ciśnienia h_1 i h_2 są skierowane tak, że wydłużają słupek wody w kapilarze, uzyskanie w tych warunkach stanu równowagi wymaga doprowadzenia odpowiedniego nadciśnienia, którego wielkość równa jest szukanej wartości h.

METODYKA I WYNIKI POMIARÓW

Przed przystąpieniem do pomiarów reguluje się długość słupka wody, tak aby menisk znajdował się mniej więcej w połowie długości kapilary. Wydłużenie słupka wody uzyskiwano przez połączenie kapilary z podciśnieniem, a skrócenie — przez zastosowanie nadciśnienia lub osuszenie

płytki ceramicznej. Następnie tensjometr tarowano i umieszczano w pojemniku nawilżoną kilka godzin wcześniej oraz odważoną próbkę glebową o masie od 10 do 20 g. Początkowa zawartość wody w próbce była tak dobierana, aby siła ssąca nie przekraczała górnej granicy zasięgu pomiarowego, czyli 1 at. Glebę o naruszonej strukturze dociskano z góry odpowiednio dopasowanym korkiem, dzięki czemu ciężar objętościowy analizowanych próbek był jednakowy i uzyskiwano lepszą powtarzalność wyników. Po doprowadzeniu menisku wody w kapilarze do stanu równowagi i odczytaniu wartości podciśnienia zwiększano wilgotność próbki celem uzyskania następnego punktu równowagi. Wzrost wilgotności wyliczano na podstawie liczby kropel dodanej wody lub jej objętości odczytanej na mikrobiurecie bądź też ciężaru próbki glebowej (ważonej razem z tensjometrem). Stopniowe nawilżanie próbki i odpowiadające im odczyty podciśnienia wykonywano do czasu, gdy siła ssąca nie ulegała już dalszym zmianom, co świadczyło o pełnym nasyceniu gleby wodą. Zestawiając na wykresie wartości pF i odpowiadające im zawartości wody w próbce otrzymywano krzywe zmian potencjału w procesie nawilżania gleby (rys. 2).



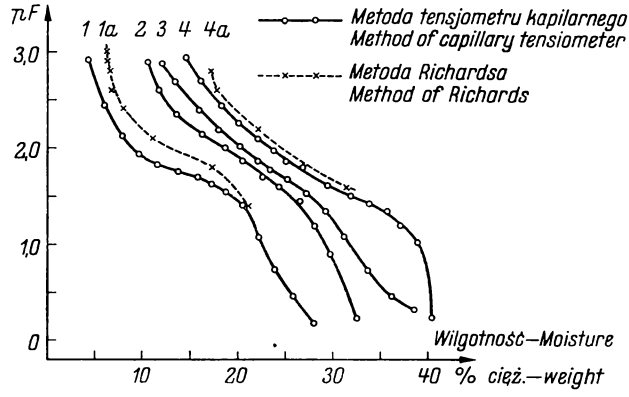
Rys. 2. Siła ssąca gleby w procesie nawilżania próbek wyznaczona tensjometrem kapilarnym

1 — piasek luźny (z podglebia), *2* — gleba bielicowa piaszczysta, *3* — gleba murszowa, *4* — czarna ziemia

Soil suction in the process of moisting samples, determined by the capillary tensiometer

1 — coarse sand (from the subsoil), *2* — sandy podzolic soil, *3* — mucked peat soil, *4* — black earth

Krzywe przedstawione na rys. 3 wykreślone zostały na podstawie pomiarów siły ssącej gleby w trakcie jej osuszania w strumieniu powietrza wytwarzanym przez wentylator. Trwające od 10 do 15 minut wentylowanie obniżało wilgotność próbki od ok. 1,5 do 2%, przy czym zawartości wody, odpowiadające mierzonym siłom ssącym w warunkach ustalonej równowagi, określano grawimetrycznie. Na czas ważenia wymagającego odłączenia tensjometru od układu ssącego, zabezpieczano kapilarę przed utratą



Rys. 3. Siła ssąca gleby w procesie suszenia próbek wyznaczona tensjometrem kapilarnym i metodą Richardsa

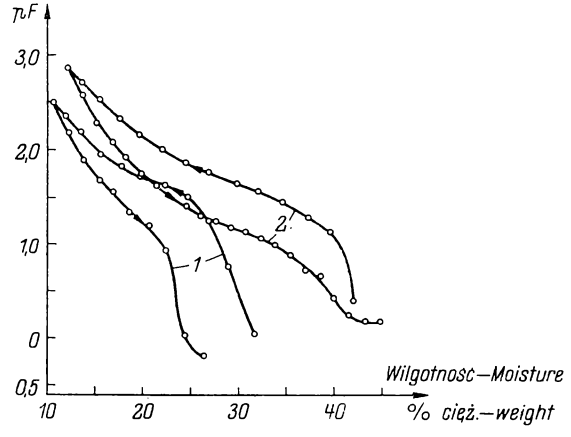
1, 1a — piasek luźny (z podglebia), *2* — gleba bielicowa piaszczysta, *3* — gleba murszowa, *4, 4a* — czarna ziemia

Soil suction in the process of drying up samples, determined by the capillary tensiometer and Richards' method

1, 1a — coarse sand (from the subsoil), *2* — sandy podzolic soil, *3* — mucked peat soil, *4, 4a* — black earth

podciśnienia, dzięki czemu menisk pozostawał zawsze w jej środkowej części.

Przy oznaczaniu potencjału kapilarnego gleby o nienaruszonej strukturze stosowano cylinderki o średnicy 5 cm i wysokości 1,5 cm. Pierścień taki zawierał ok. 40 g suchej gleby, a czas etapowego przesuszania próbki wynosił od 40 do 60 min. Wyznaczanie pętli histerezy rozpoczynano od stanu nasycenia próbki wodą, co zapewniało odpowiedni kontakt gleby



Rys. 4. Histereza wody glebowej oznaczona tensjometrem kapilarnym w próbkach o nienaruszonej strukturze

1 — gleba bielicowa piaszczysta, *2* — czarna ziemia

Soil water hysteresis determined by the capillary tensiometer in soil samples with undisturbed structure

1 — sandy podzolic soil, *2* — black earth

z płytką ceramiczną w czasie obu następujących po sobie procesów suszenia i nawilżania. Po zakończeniu pomiarów oznaczano suchą masę próbki i jej końcową wilgotność. Na podstawie tych danych oraz ciężarów pośrednich wyliczano wilgotność gleby odpowiadającą analizowanym punktom równowagi. Pętle histerezy zatrzymywania wody w glebie w próbkach o naturalnej strukturze, wyznaczone tensjometrem kapilarnym, przedstawiono na rys. 4.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Najważniejszą zaletą omawianej metody oznaczania siły ssącej gleby jest duża szybkość wykonywania pomiarów. Wynika to z zasady działania tensjometru kapilarnego, polegającej na „dostrajaniu" podciśnienia do siły ssącej analizowanej próbki glebowej. W metodach klasycznych (osuszanie próbek na płycie ceramicznej, blokach pyłowych, membranie) postępuje się odwrotnie, to znaczy potencjał kapilarny próbki doprowadza się do wartości równoważącej założone z góry ciśnienie. Szybkość wykonywania pomiarów limitowana jest w tym przypadku czasem odsączenia z próbki pewnej ilości wody, co jest procesem czasochłonnym, trwającym w zależności od rodzaju gleby od jednego do kilkunastu nawet dni. Natomiast w tensjometrze kapilarnym równowaga ustala się w warunkach zachowania stałej wartości potencjału wody w próbce, czyli bez zmiany jej wilgotności. Dzięki temu czas wykonywania pomiaru określany jest jedynie dobraniem równowagowego podciśnienia i w zależności od siły ssącej próbki wynosi od kilku do kilkunastu minut.

Górna granica wartości pomiarów wykonywanych tensjometrem kapilarnym określona jest wielkością ciśnienia atmosferycznego i wynosi 3,0 pF. Stosowanie wspomnianego we wstępie dodatkowego ciśnienia stwarza możliwość przekroczenia tej granicy, czyni jednak budowę przyrządu bardziej złożoną oraz komplikuje metodykę i wydłuża czas wykonywania oznaczeń. Dolna granica zasięgu pomiarowego przy stosowaniu manometru wodnego do odczytów siły ssącej wynosi około 0,5 cm H_2O, czyli w jednostkach pF około $-0{,}3$.

Układ punktów wyznaczających krzywe odpowiadające zarówno procesowi nawilżania, jak i osuszania gleby pozwala wnioskować, że błędy przypadkowe poszczególnych pomiarów są minimalne (rys. 2, 3, 4). Ta znaczna dokładność uwidoczniona została również na wykresach przedstawionych przez Dumbletona i Westa [3]. Wynika ona stąd, że wszystkie punkty, na podstawie których wykreśla się daną krzywą pF, dotyczą jednej i tej samej próbki glebowej, znajdującej się w nienaruszonym kontakcie z płytką ceramiczną przez cały czas trwania analizy.

Zaletą tensjometru kapilarnego jest również jego duża czułość, pozwalająca na obserwacje zmian potencjału kapilarnego w warunkach bardzo bliskich stanu nasycenia próbki wodą. Widać to zwłaszcza na rys. 2, gdzie

rzędne skrajnych punktów pomiarowych mają wartości zbliżone do zera lub nawet ujemne. Zwraca przy tym uwagę „nietypowy" kształt dolnych odcinków krzywych pF dla czarnej ziemi i gleby murszowej, sugerujący istnienie sił wiążących wodę w glebie w stanie pełnego nasycenia. Ta pozorna sprzeczność jest prawdopodobnie rezultatem zamulenia płytki ceramicznej, które tworzy się wskutek rozluźnienia struktury gleby pod wpływem nadmiaru wody.

Porównanie wyników otrzymanych przy stosowaniu tensjometru kapilarnego i metody Richardsa (rys. 3) pozwala wnioskować, że obie metody dają wyniki zbliżone. Niewielkie odstępy w przebiegu porównywanych krzywych mogą być wynikiem indywidualnych różnic między analizowanymi próbkami glebowymi.

Dużym mankamentem powszechnie stosowanych metod oznaczania siły ssącej gleby jest to, że nie dają one możliwości wykonywania pomiarów przy wzrastającej zawartości wody w glebie. Tensjometr kapilarny likwiduje tę lukę, ponieważ pozwala, jak już wspomniano, prowadzić oznaczenia zarówno w trakcie osuszania, jak i nawilżania próbek glebowych oraz wykreślać pętle histerezy potencjału wody glebowej (rys. 4).

Zasadniczym czynnikiem ograniczającym zakres stosowania dyskutowanej metody jest jej nieprzydatność do wykonywania oznaczeń seryjnych. W przeciwieństwie do metody Richardsa, która pozwala analizować jednocześnie dowolną w zasadzie liczbę próbek, tensjometrem kapilarnym może być badana tylko jedna próbka na raz. Mankament ten nie powinien jednakże przysłonić uprzednio wymienionych zalet, dzięki którym metoda tensjometru kapilarnego może być z korzyścią dla nauki stosowana w każdym laboratorium gleboznawczym.

WNIOSKI

1. Tensjometr kapilarny jest nieskomplikowanym przyrządem laboratoryjnym, pozwalającym na szybkie i dokładne oznaczanie siły ssącej gleby w zakresie od $-0{,}3$ do 3.0 pF.

2. Wymieniony przyrząd pozwala wyznaczać krzywe pF zarówno w trakcie nawilżania, jak i osuszania próbek glebowych, dzięki czemu metoda tensjometru kapilarnego może być wykorzystywana w badaniach zjawiska histerezy potencjału wody glebowej.

3. Czynnikiem ograniczającym zakres stosowania opisanej metody jest jej nieprzydatność do wykonywania oznaczeń seryjnych.

LITERATURA

[1] Croney D., Coleman J.: Soil structure in relation to soil suction (pF). J. Soil Sci. 5, 1954, 75—84.

[2] Dobrzański B. i inni: Znaczenie fizyki wody glebowej w gleboznawstwie i melioracjach wodnych. Probl. Agrofizyki 10, 1973, 7—19.
[3] Dumbleton M., West G.: Soil suction by the rapid method: an apparatus with extended range. J. Soil Sci. 19, 1968, 75—84.
[4] Kowalik P.: Podstawy teoretyczne pomiarów potencjału wody glebowej. Probl. Agrofizyki 2, 1972, 5—46.
[5] Trzecki S.: Badania zdolności zatrzymywania wody w glebie. SGGW, Warszawa 1967.
[6 Zawadzki S.: Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnej utworów glebowych. Wiad. IMUZ 11, 1973, 11—31.

Р. БАРАНОВСКИ

КАПИЛЛЯРНЫЙ ТЕНСИОМЕТР И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ИСПЫТАНИЯХ ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

Отделение общего земледелия, Институт Агротехники, удобрения и почвоведения, Ласковице Олавске

Резюме

Дана опись строения и функционирования капиллярного тенсиометра для определений сосущей силы почвы в лабораторных условиях по методу Кронейа (Croney) и Колемана. При помощи названного прибора проведено определение капиллярного потенциала 4-х разных почв во время увлажнения и осушки образцов, вычерчены тоже гистерезисные петли (шлейфы) потенциала почвенной влаги в образцах с ненарушенной структурой.

Преимущество названного метода заключается в быстроте выполнения определений, их точности и хорошей измерительности чувствительности в пределах низких значений pF. Главным фактором лимитирующим применение метода капиллярного тенсиометра является непригодность этого прибора для массовых определений.

R. BARANOWSKI

CAPILLARY TENSIOMETER AND ITS APPLICATION IN INVESTIGATIONS OF THE SOIL WATER POTENTIAL

Department of Soil and Plant Cultivation
Institute of Soil Science and Cultivation of Plants,
Branch Division at Laskowice Oławskie

Summary

Construction and functioning of the capillary tensiometer for determination of soil moisture suction in laboratory conditions according to the method of Croney and Coleman are described. By means of the above apparatus determinations of the capillary potential of 4 different soils in the course of moistening and drying up

samples were carried out as well as loops of the soil water potential hysteresis in samples with undisturbed structure were plotted.

The advantages of this method consist in a considerable rapidity of determinations, exactness and a high sensitiveness of the measurements within the range of low pF values. A main factor limiting the application range of the capillary tensiometer method is a uselesness of this apparatus for execution of serial determinations.

doc. dr Ryszard Baranowski
Zakład Uprawy Roli i Roślin IUNG
55-230 Laskowice Oławskie