

ZASTOSOWANIE TENSJOMETRÓW DO USTALANIA POTRZEB I TERMINÓW NAWADNIANIA ROŚLIN

ÜBER DIE ANWENDUNG DES TENSIO-METER ZUR BESTIMMUNG DER ZEITEN
UND DES BEDARFS DER PFLANZENBEWASSERUNG

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДОБНОСТИ
И СРОКОВ ОРОШЕНИЯ КУЛЬТУР

WŁADYSŁAW BYSZEWSKI, JÓZEF DZIEŻYC, CZESŁAW ŚWIĘCICKI

SGGW — Warszawa i WSR — Wrocław

Spośród licznych metod oznaczania wilgotności gleby w polu szczególnie przydatna wydaje się metoda tensjometryczna (4, 7). Przy pomocy tej metody określamy potencjał wiązania wody w glebie, który wskazuje nie tylko na to, ile wody znajduje się w glebie, ale również w jakim stopniu ta woda może być przyswajalna dla roślin. Jak wiadomo oznaczanie wyłącznie wilgotności gleby bez określenia siły wiązania wody nie mówi nam o tym, w jakim stopniu woda ta może być zużywana przez rośliny. Na przykład gleby cięższe, zawierające większy procent wody, mają stosunkowo więcej wody niedostępnej dla roślin niż gleby lekkie (5, 9, 10).

Metoda pomiaru siły ssącej gleb przy pomocy tensjometrów jest stosowana przez nas od kilku lat w licznych doświadczeniach z nawadnianiem różnych roślin i na różnych typach gleb (1, 2, 3). Na tej podstawie możemy już wyciągnąć pewne ogólne wnioski dotyczące możliwości wykorzystania ich na polach nawadnianych.

Zasada pomiarów polega na wykorzystaniu stanu równowagi pomiędzy potencjałem wodnym gleby i słupkiem rtęci manometru na tensjometrze (rys. 1). Ciśnienie to ustala się w naczyniu wykonanym z porowatej glinki ceramicznej, skąd jest przekazywane do manometru za pośrednictwem słupa wody wypełniającej rurkę łącznikową. Wielkość porów w naczynku porowatym wynosi 1 do 2 μ , co pozwala mierzyć ciśnienie ponad 1 atmosferę (atm). W naszych doświadczeniach wykonujemy pomiary do 0,9 atm (najczęściej na trzech głębokościach: 20, 40 i 80 cm). Liczne pomiary wykazały, że 80—90% wody pobierają rośliny z warstwy nie głębszej niż 50 cm. W większości naszych doświadczeń największe średnie potencjały

kapilarne (czyli największe przesychnanie gleb) występowały podczas badanego okresu na głębokości 40 cm, natomiast najmniejsze przesychnanie stwierdzono na głębokości 80 cm. Również największe wahania potencjałów kapilarnych i wilgotności gleb występowały w poziomie 40 cm, natomiast w poziomach na głębokości 80 cm wahania te były najmniejsze. Dla określenia potrzeb nawadniania na badanych glebach można się ograniczyć do pomiarów wykonywanych na głębokościach

15—20 cm i 35—40 cm, nie biorąc pod uwagę warstw głębszych. Dużą jednak rolę odgrywa mikromorfologia, typ, rodzaj i gatunek gleby. Stwierdziliśmy np., że w obrębie tego samego tarasu nawet wzniesienie około 0,5 m powoduje znaczne różnice wilgotności.

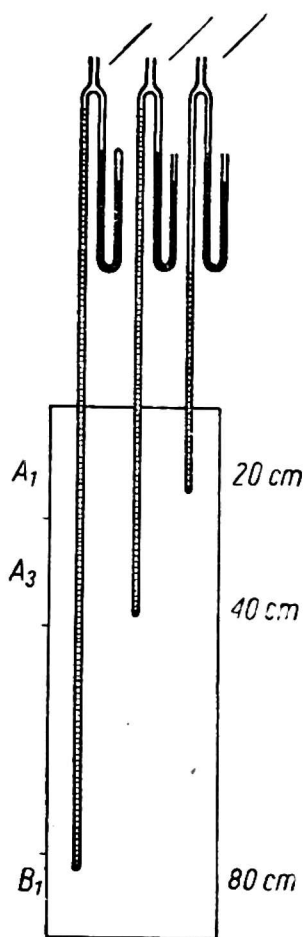
Mierzone ciśnienie, po uwzględnieniu poprawki na temperaturę, wyrażamy w atmosferach, cm HOH, w dynach lub w wielkości pF wg Sheffielda. W ten sposób mierzymy siłę, z jaką woda jest wiązana w glebie przy określonej wilgotności badanej gleby. Zależność pomiędzy wilgotnością gleby wyrażoną w procentach i potencjałem wodnym gleby możemy znaleźć z krzywych sorpcji wody (rys. 2), które wyznaczaliśmy w różnych latach dla różnych głębokości, różnych typów gleb i dla rozmaitych gatunków roślin. Krzywe sorpcji wody wykonuje się na podstawie odczytów tego samego tensjometru, albo na podstawie wyników uzyskanych przy pomocy porowatej płyty (8) i aparatu membranowego (6) (rys. 3). Z krzywych sorpcji metodą interpolacji możemy każdorazowo odczytać wilgotność gleby i odwrotnie, znając wilgotność gleby możemy odczytać siłę ssącą gleby.

Na podstawie potencjału wodnego gleb możemy określać potrzeby nawadniania roślin uprawnych. Jako najwłaściwszą wilgotność gleby, odpowiadającą najlepszym stosunkom powietrzno-wodnym gleb średnio przepuszczalnych, przejęto na podstawie licznych badań około $1/3$ atm ($pF = 2,5$), odpowiadającą potencjałowi wodnemu tych gleb.

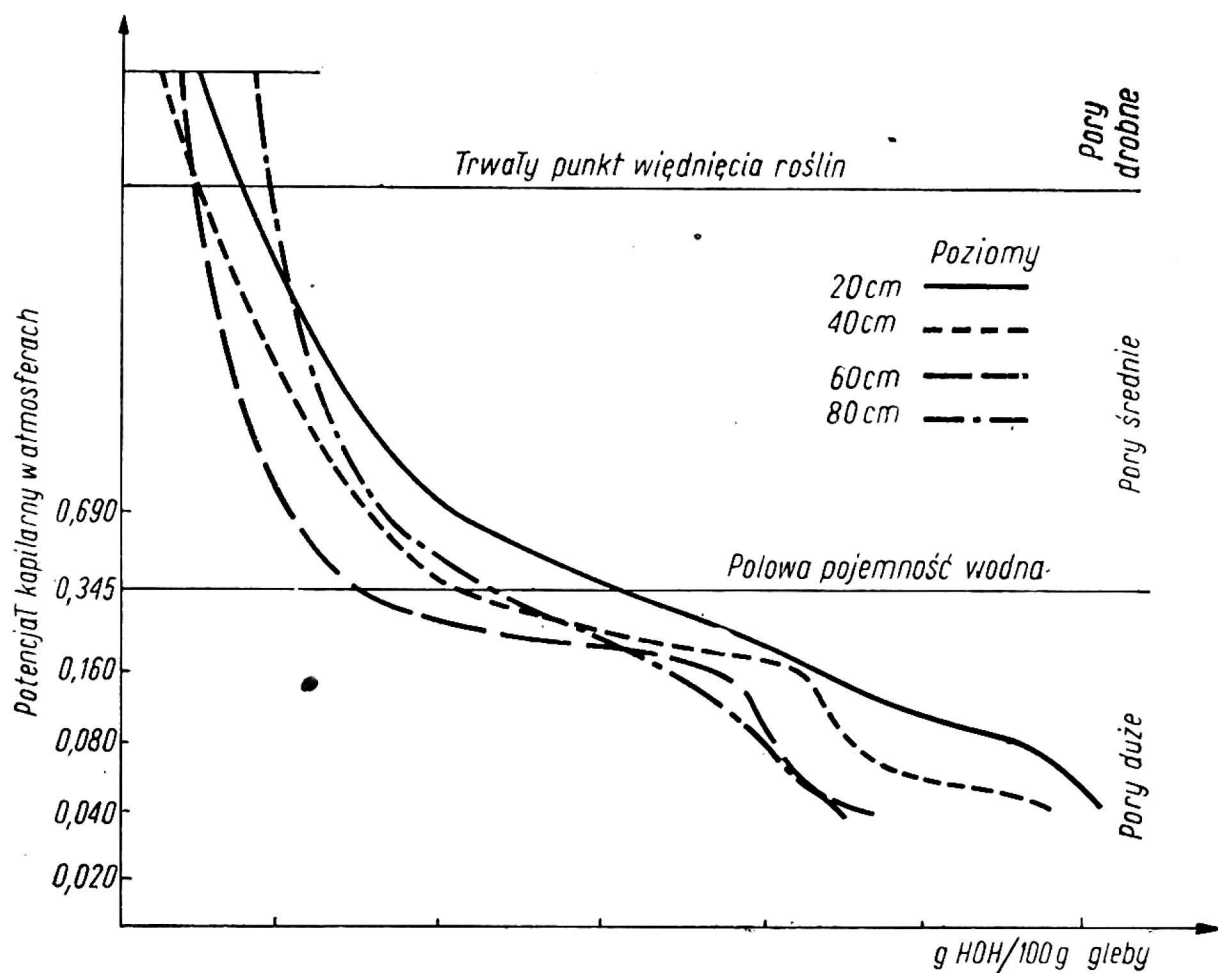
Punkt wędnięcia roślin odpowiada jak wiadomo wilgotności gleby przy potencjale wodnym około 15 atm. Określonej wielkości kapilarów glebowych odpowiada określone ciśnienie wody glebowej zgodnie z wzorem:

$$d_{cm} = \frac{0,294}{h} \text{ cm, gdzie } d \text{ — średnica kapilarów w cm, } h \text{ — ciśnienie wy-}$$

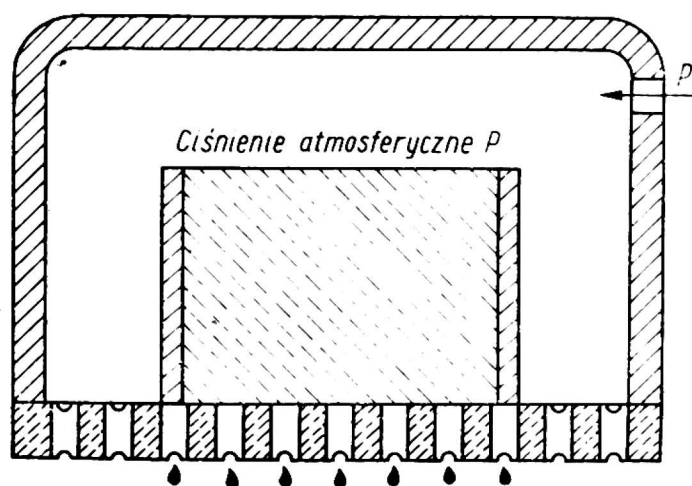
rażone w cm słupa wody. W przedziale wielkości porów $8,5\text{—}0,2 \mu$ (odpowiada to ciśnieniu od $1/3$ do 15 atm) znajduje się woda dostępna dla roś-



Rys. 1. Rozmieszczenie tensjometrów w profilu glebowym .



Rys. 2. Krzywe sorpcji wody dla gleby z RZD Wolica



Rys. 3. Schemat działania płyty porowatej

lin. Przy potencjale $1/3$ atm woda jest pobierana przez rośliny swobodnie, a wzrost i rozwój roślin odbywają się normalnie. Natomiast przy sile wiązania wody około 5 atm następuje tzw. „rozrywanie kapilarów” i ustaje prawie całkowicie wzrost roślin, chociaż brak jeszcze objawów więdnienia. W przedziale 5 do 15 atm zawarta jest woda trudno dostępna.

W praktyce powinniśmy rozpocząć deszczowanie, gdy występuje tendencja wzrostu potencjału kapilarnego powyżej 0,6 atm, co odpowiada

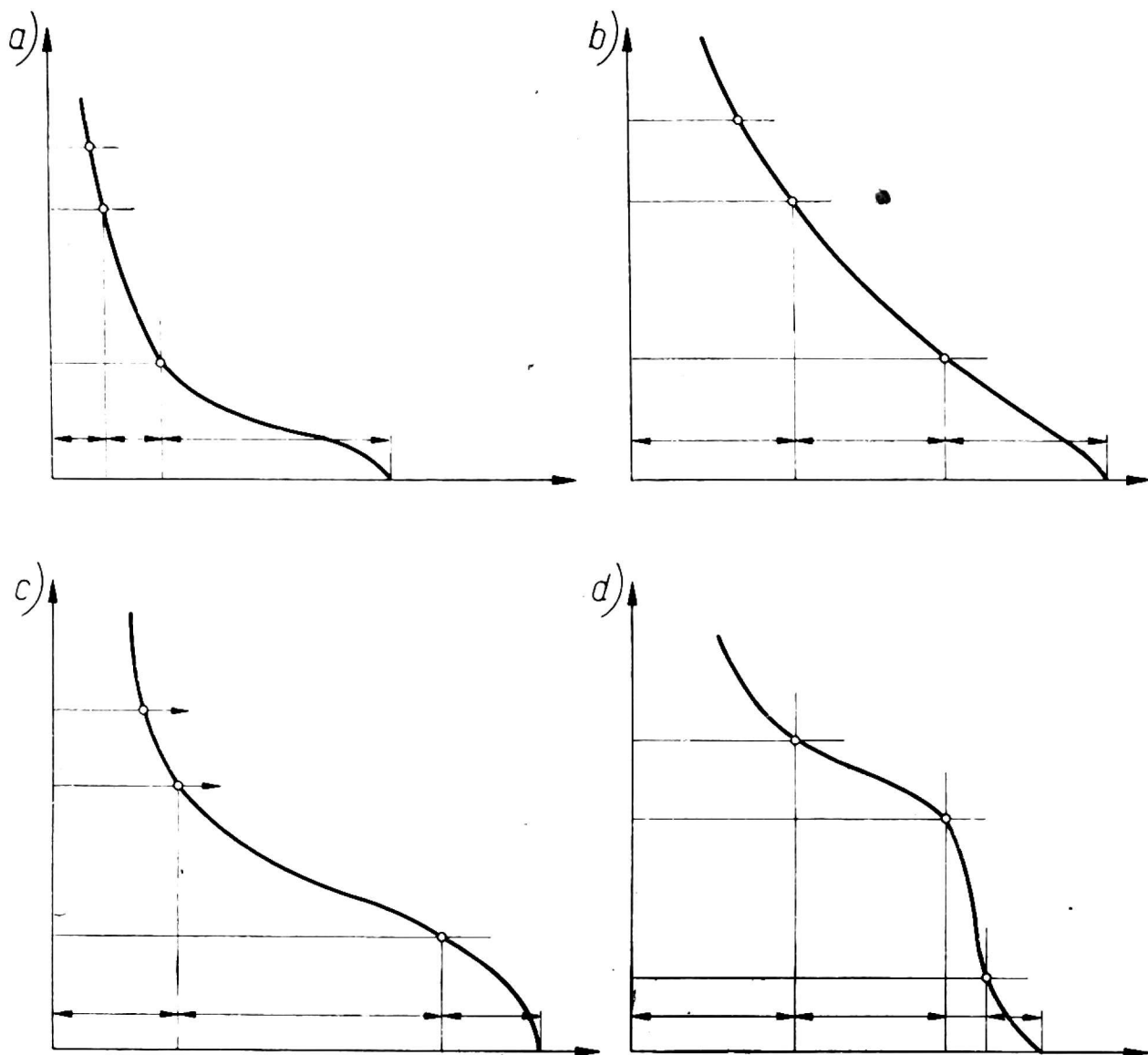
około 75—80% połowej pojemności wodnej gleby. Wielkości dawek wody są uzależnione od stosunku różnej wielkości porów w glebie, które dzielimy następująco:

pory duże o średnicy ponad $8,5 \mu$

pory średnie o średnicy od $0,2$ do $8,5 \mu$

pory drobne o średnicy mniejszej od $0,2 \mu$

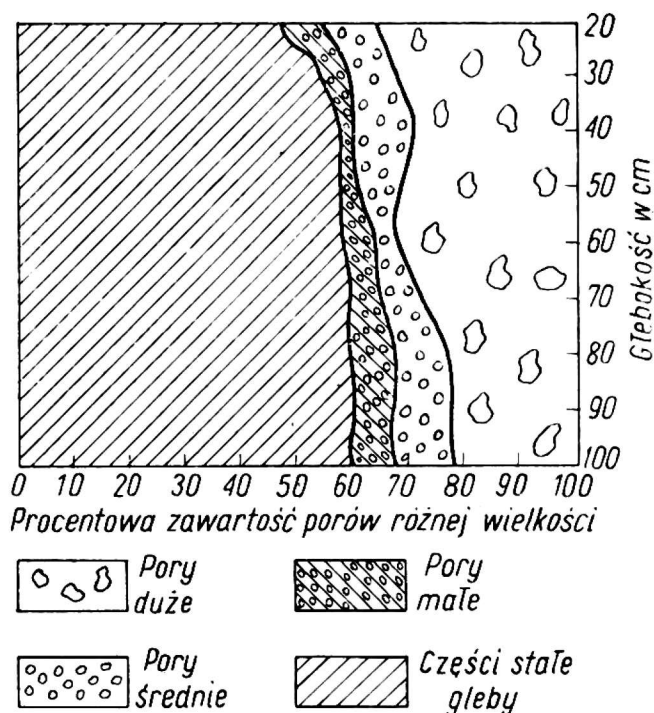
Na rys. 4 wykres a) przedstawia krzywą sorpcji wody w glebie zawierającej małą ilość porów drobnych i średnich, a znaczną ilość porów



Rys. 4. Krzywe sorpcji wody przez różne gleby: a — gleba wytworzona z piasku, b — gleba średnio zwięzła, c — gleba lessowa, d — gleba ciężka

dużych. Rośliny na takiej glebie często cierpią na niedostatek wilgoci. Wykres b) na tym samym rysunku przedstawia krzywą sorpcji wody w glebie, w której ilości porów drobnych, średnich i dużych są jednakowe. Gleba ta charakteryzuje się dobrymi stosunkami powietrzno-wodnymi. Na wykresie c) przedstawiono krzywą sorpcji wody w glebie zawierającej

największą ilość porów średnich. Gleba taka ma duże zdolności retencji wody przyswajalnej dla roślin. Ostatni wykres d) dotyczy gleby ciężkiej zawierającej mało porów dużych. W tym przypadku rośliny mogą odczu-



Rys. 5. Układ różnych wielkości porów w glebie z RZD Wolica

wać brak tlenu w glebie. Następny rys. 5 ilustruje układ różnych wielkości por w badanej glebie z RZD Wolica.

Stosowane dawki wody powinny zapełnić pory odpowiadające pojemności połowej oraz pory zawierające wodę wolno przesiąkającą, o średnicy nie większej niż 20μ (co odpowiada $pF = 2,2$) do głębokości około 0,5 metra profilu glebowego.

Poniżej podajemy zawartość wody dostępnej dla roślin w badanych dwóch glebach, obliczoną na podstawie krzywych sorpcji wody:

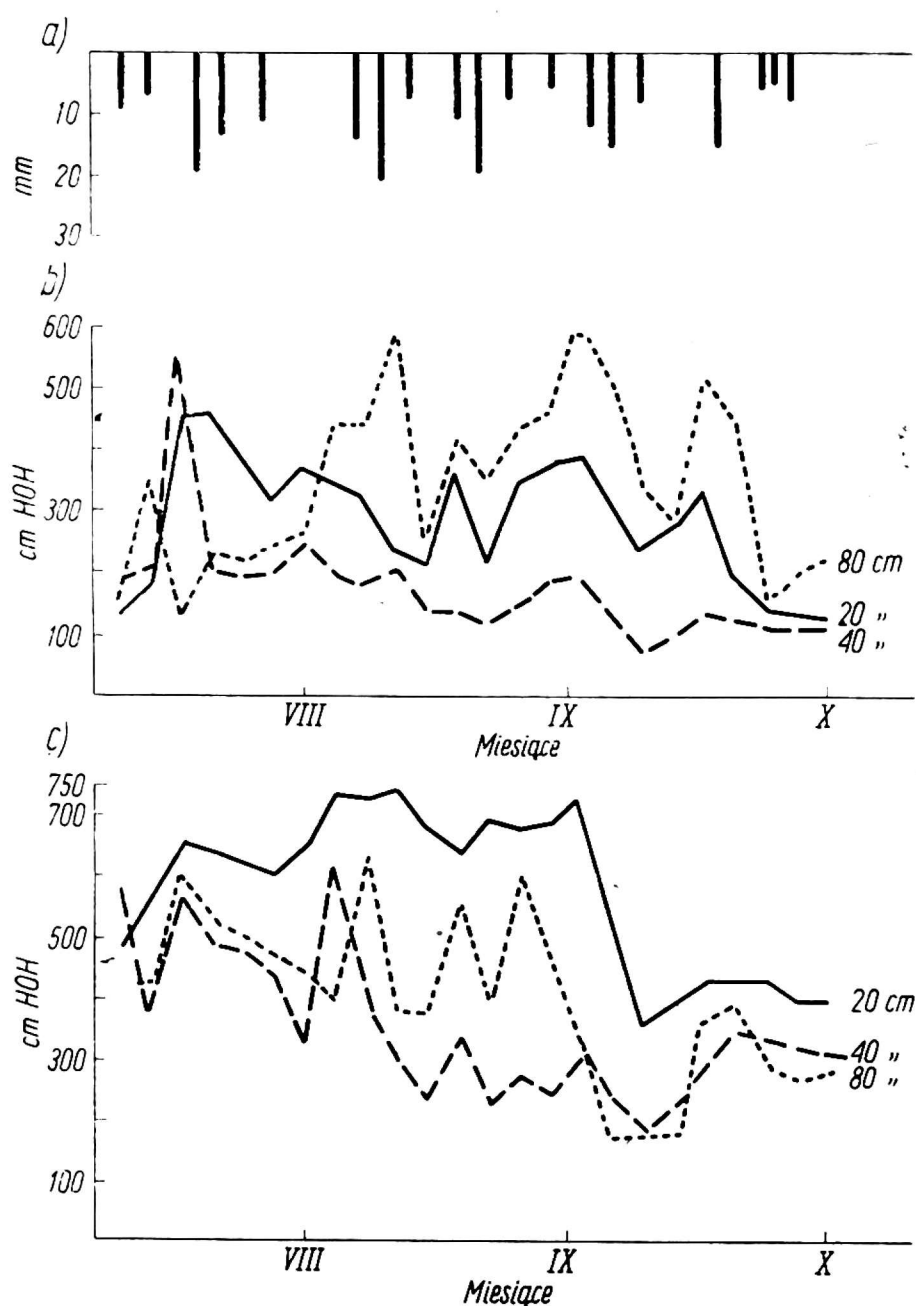
	Gleba pseudo-bielicowa średnia (Wolica)	Gleba pseudo-bielicowa pyłowa średnia (Warszawa, Rakowiecka)
Woda dostępna w 1 m ³ gleby	103,6 l	179,6 l
Zapas wody dostępnej dla roślin bez opadów	na 26 dni	na 45 dni

Przeprowadzone badania wskazują między innymi na to, że ilość opadów nie jest dostatecznym wskaźnikiem potrzeb nawadniania, gdyż nawilgocenie gleby zależy nie tylko od ilości opadów w danym okresie, ale również od ilości opadów w poprzednich okresach, od właściwości wodnych gleby, poziomu wody gruntowej oraz nasłonecznienia terenu. W rezultacie przy tej samej ilości opadów w jednym przypadku nawilgocenie gleby może być dla roślin wystarczające, a w innych może wystąpić

susza glebowa. Poza tym należy brać pod uwagę typ i rodzaj gleby, budowę profilu glebowego, gatunek rośliny, wysokość dawek nawozowych, a na polach nawadnianych — dawki i terminy poprzednich nawodnień.

W świetle dotychczasowych badań Zakład Roślin Przemysłowych i Katedry Gleboznawstwa Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (W. Byszewski i Cz. Świącicki) oraz Katedry Rolniczego Użytkowania Terenów Zmeliorowanych Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu (J. Dzieżyc, M. Trybuła) wydaje się, że metoda tensjometryczna może być bardzo pomocna zarówno w badaniach naukowych jak też w praktycznym prowadzeniu nawodnień systemem deszczownianym.

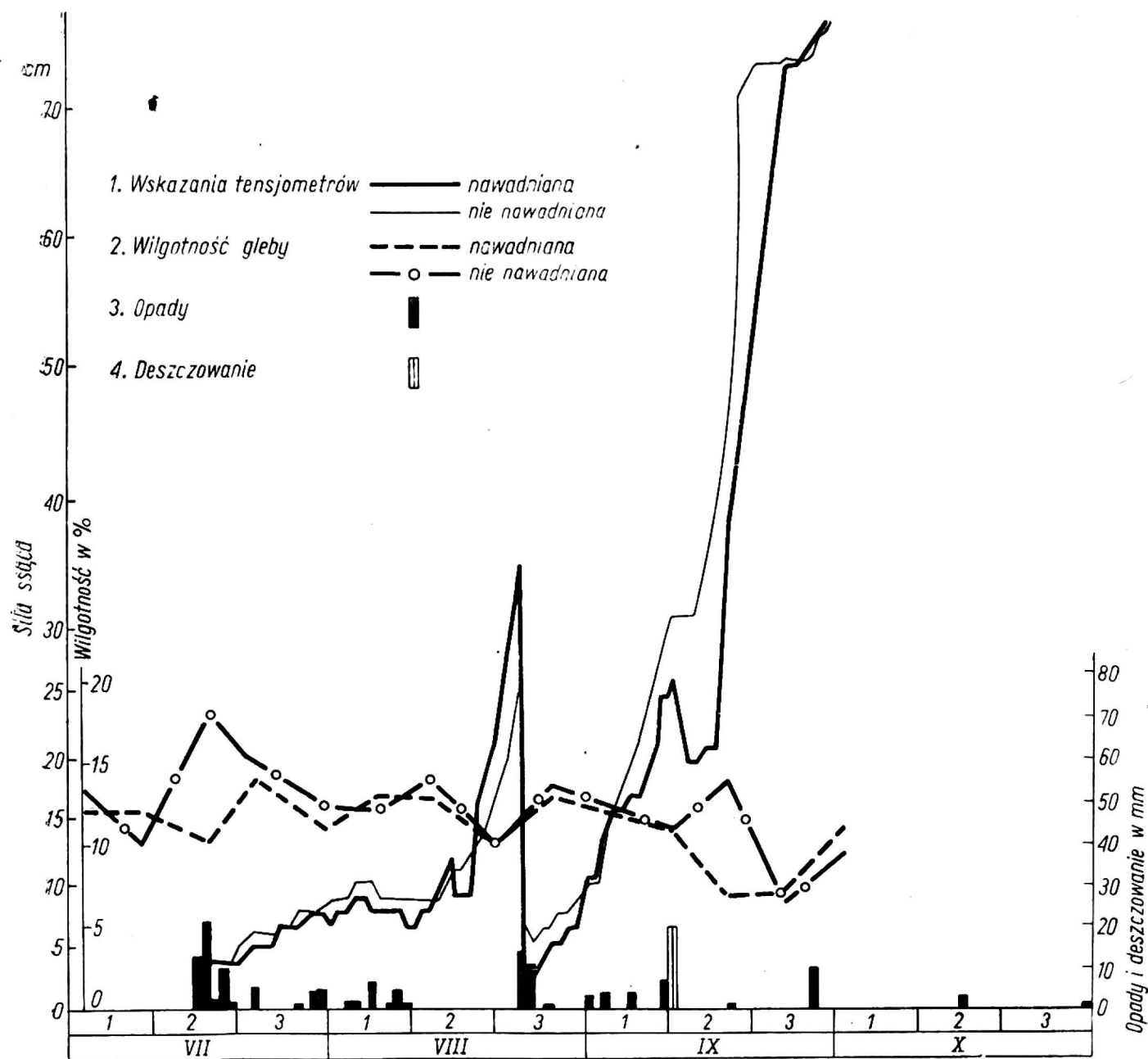
W latach 1962—1965 przeprowadzono pomiary tensjometryczne siły ssącej gleby wykonane dwa razy w tygodniu na polach doświadczalnych SGGW pod różnymi roślinami nawadnianymi i nie nawadnianymi, jak również na poletkach, na których „zdejmowano” co roku około 100 mm



Rys. 6. Dynamika wilgotności profilu gleby z RZD Wolica

opadów przy pomocy zasłon plastikowych. Rys. 6 ilustruje odnośne dane dla roku 1963.

Doświadczenie to wykazało dodatnie działanie nawadniania na poprawienie stosunków wilgotnościowych w glebie, szczególnie w warstwie wierzchniej do 20 cm. Wykres 8b wyraźnie wskazuje na potrzebę nawadniania co znalazło swój wyraz również w plonach buraków cukrowych z tego doświadczenia.



Rys. 7. Porównanie wskazań tensjometrów na glebie nie nawadnianej i nawadnianej na tle rozkładu opadów

Na rys. 7 podajemy przykład wskazań dwóch tensjometrów typu „Biebrza” ustawionych na madzie lekkiej (na głębokości 20—25 cm) w łanie pszenicy ozimej z siewką koniczyny, a po żniwach w dniu 11. VIII — w koniczynie, której część była jeden raz deszczowana dawką 20 mm.

Jak widzimy, zanotowana przed pierwszym deszczem wielkość siły ssącej gleby zmniejszyła się wyraźnie po deszczach pod koniec drugiej dekady lipca. Następnie z powodu braku większych opadów gleba stopniowo wysychała, a jej siła ssąca zwiększała się systematycznie aż do początku trzeciej dekady sierpnia. Dwudniowy opad w ilości 24 mm spowodował gwałtowny spadek siły ssącej prawie do zera. Potem nastąpił znów stopniowy wzrost siły ssącej aż do daty nawadniania w dniu 19. IX. Nawadnianie obniżyło wyraźnie wielkość siły ssącej i zapoczątkowało zróżnicowanie krzywych wykresu dla poletek nawadnianych i nie nawadnianych.

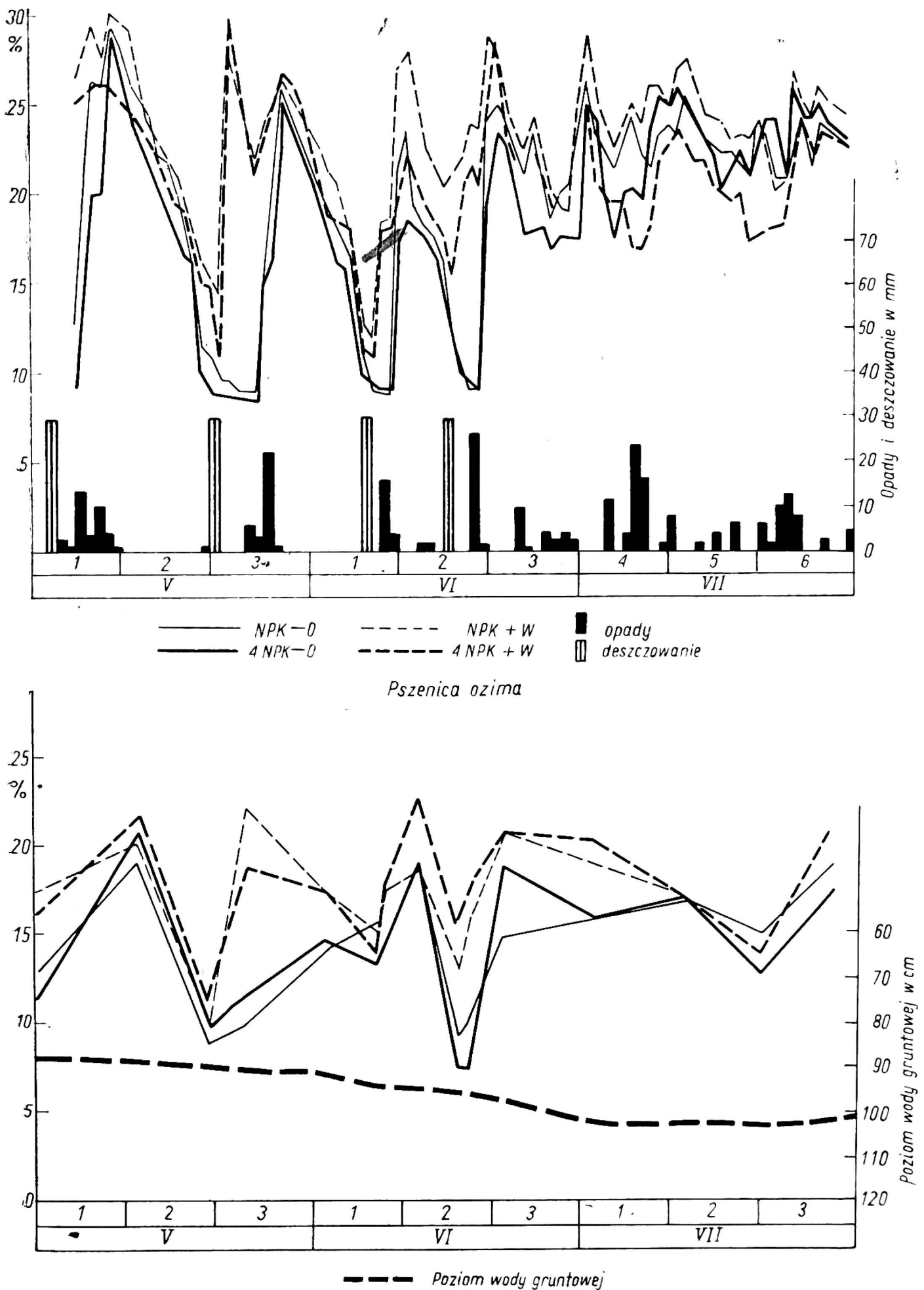
Równoległe z odczytami tensjometrów prowadzono oznaczanie wilgotności gleby metodą suszarkowo-wagową na poletkach nawadnianych i nie nawadnianych przy poziomie nawożenia NPK i 2NPK. Próbkę glebowe były pobierane co tydzień z 2—3 powtórzeń i z różnych poziomów do głębokości 1 m. Na wykresie przytaczamy średnie dane dla poziomu 20—25 cm, w celu porównania z wykresem odczytów siły ssącej. Mimo stosunkowo częstego pobierania prób, metoda suszarkowo-wagowa okazała się mniej „czuła” na opad naturalny i sztuczny oraz na nawożenie i wysokość plonu, a przebieg krzywych wykresu jest nieuporządkowany.

Na rys. 8 i 9 podajemy przykłady zastosowania tensjometrów na polach różnie nawożonych i nawadnianych oraz porównanie odczytów z wynikami uzyskanymi metodą suszarkowo-wagową.

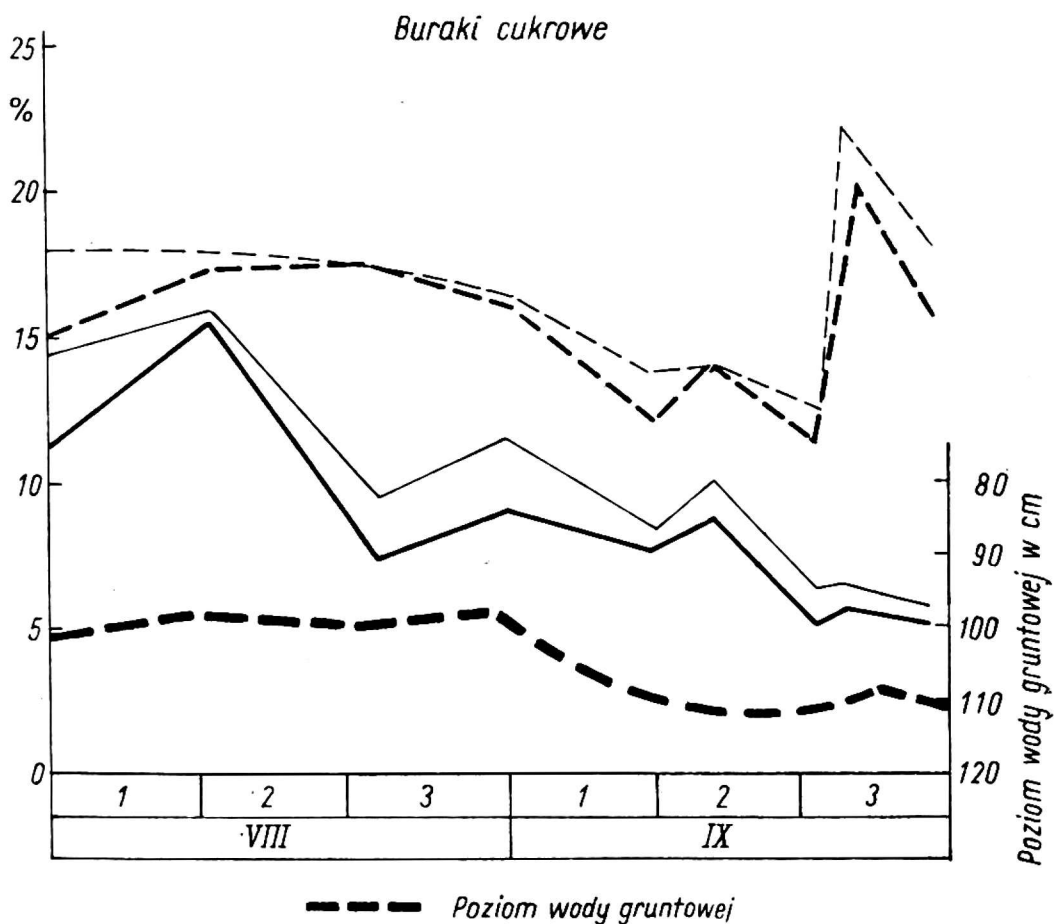
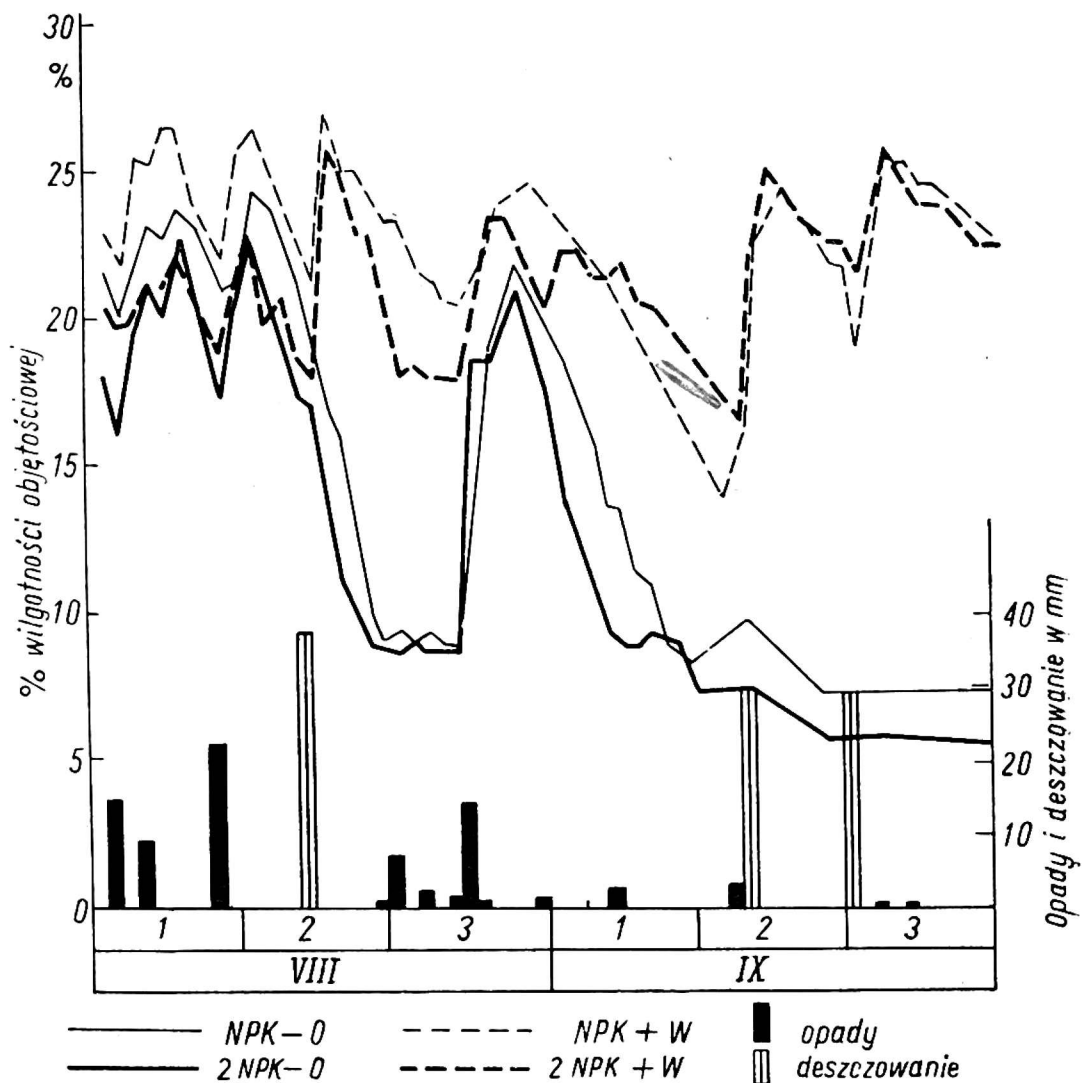
W pierwszej dekadzie maja 1966 r. na jednym z doświadczeń ścisłych z pszenicą ozimą uprawianą na glebie lekkiej ustawiono tensjometry typu „Biebrza” na głębokości 20—25 cm. Cztery badane poletka były różnie nawożone (NPK = 100 kg/ha i 4 NPK = 400 kg/ha), przy czym dwa poletka różnie nawożone były deszczowane a pozostałe dwa nie deszczowane. Codzienne odczyty na skali tensjometrów zostały wyrażone w procentach objętościowych wilgotności gleby i zestawione na rys. 8: jednocześnie z danymi w opadach.

Jak widać z wykresu dla poletek nie nawadnianych, tensjometry reagowały bardzo wyraźnie na wszystkie nawet małe opady, a przy wyższej wilgotności gleby — także na zwiększenie dawki NPK. Na poletkach deszczowanych tensjometry wskazywały zmiany wilgotności gleby zarówno pod wpływem naturalnych jak też sztucznych opadów, a działanie nawożenia było tu jeszcze wyraźniejsze niż na poletkach nie nawadnianych. Równoległe oznaczanie metodą suszarkowo-wagową wilgotności gleby na tej samej głębokości dało mniej logiczny i mniej uporządkowany obraz zmian wilgotności pod wpływem badanych czynników.

Po sprzęcie pszenicy tensjometry zostały przeniesione na pole z burakami cukrowymi i ustawione na analogicznych obiektach wodnych i nawozowych. Dane z odczytów siły ssącej wyrażono również w procentach wilgotności objętościowej i zestawiono na rys. 9.



Rys. 8. Porównanie krzywych wilgotności gleby na głębokości 25 cm pod pszenicą ozimą: a — metoda tensjometryczna, b — metoda suszarkowo-wagowa



Rys. 9. Porównanie krzywych wilgotności gleby na głębokości 25 cm pod burakami cukrowymi: a — metoda tensjometryczna, b — metoda suszarkowo-wagowa

Widzimy, że wykresy wskazań tensjometrów dobrze odzwierciedlają dynamikę uwilgotnienia gleby w zależności od przebiegu opadów naturalnych i terminów deszczowania, zwłaszcza we wrześniu. Wykazują one także większe zużycie wody przez rośliny silniej nawożone i dające wyższy plon, zwłaszcza na poletkach nie deszczowanych. Zostało to potwierdzone także metodą suszarkowo-wagową, jednak przy tej metodzie nie uchwycono tak wyraźnych zależności, gdyż stany ekstremalne uległy zatarciu z powodu braku codziennych obserwacji.

Równoległe na tych samych poletkach z pszenicą oznaczano połowe zużycie wody metodą prof. St. Baca dla warstwy 0—100 cm gleby i śledzono dynamikę przyrostu świeżej i suchej masy roślin. W tabeli 1 podajemy średnie dane o wielkości połowego zużycia wody za okres IV—VII w latach 1965 i 1966 oraz wysokość zebranych plonów (średnie 3 powtórzeń) w zależności od nawożenia i nawadniania.

Tabela 1

Wpływ deszczowania i nawożenia na połowe zużycie wody i plony

Obiekt	Połowe zużycie wody IV—VII		Plony ziarna q/ha	
	1965	1966	1965	1966
NPK	332	384	23,1	24,8
NPK + woda	352	520	24,8	23,9
4 NPK	344	390	25,5	30,9
4 NPK + woda	360	562	34,6	34,7

Połowe zużycie wody na poletkach deszczowanych było naturalnie znacznie większe. Przy niskim nawożeniu zwiększało się prawdopodobnie przede wszystkim parowanie gleby bardziej uwilgotnionej, a przy wyższym nawożeniu — zwiększała się transpiracja i plon, o czym mogą świadczyć znaczne zwwyżki plonu w obydwóch latach.

Należy podkreślić, że plon jest zależny nie tyle od okresowego czy końcowego bilansu gospodarki wodnej w glebie, ile od stanów chwilowych uwilgotnienia, zwłaszcza w okresach krytycznych. Te okresy można łatwo wykazać przy pomocy wykresów przyrostu zawartości wody w roślinach w czasie wegetacji.

Okresy dużego zapotrzebowania na wodę są u zbóż stosunkowo krótkie. Dlatego jest bardzo pożądane, aby w tym czasie śledzić codziennie zmiany wilgotności gleby. Klasyczna metoda suszarkowo-wagowa nie nadaje się do tego celu, gdyż wymaga zbyt dużego nakładu pracy oraz daje wyniki ze znacznym opóźnieniem. Natomiast codzienne odczyty wskazań na tensjometrach nie stwarzają większych trudności ani w warunkach doświadczalnych ani w warunkach produkcyjnych (z wyjątkiem bardzo suchych

gleb lekkich). Ich interpretacja z punktu widzenia zalecanych terminów i dawek nawadniania może być ułatwiona po opracowaniu specjalnych skal dla różnych gleb z uwzględnieniem punktu pojemności polowej gleby, punktu wędnięcia i granicy między wodą łatwo i trudno dostępną oraz z uwzględnieniem zróżnicowania siły ssącej rozmaitych grup roślin. Dla praktyki rolniczej można przewidywać także instruowanie bieżące (np. co dekadę) w oparciu o wielkość opadów i temperatury oraz wskazania tensjometrów w poprzedniej dekadzie.

Na podstawie dotychczasowych obserwacji sądzimy, że tensjometry mogą dać duże usługi na nawadnianych polach doświadczalnych i produkcyjnych, gdyż pozwalają ściślej ustalać właściwe terminy i dawki nawadniania i oszczędniej gospodarować wodą.

LITERATURA

1. Byszewski W., Kiełbaska M.: *Gazeta Cukrownicza*, t. LXXIII, nr 2, 1965.
2. Byszewski W., Kiełbaska M.: Wyniki badań nad gospodarką wodną buraków cukrowych i łubinu, Referat w Zespole Gosp. Wodnej Roślin PAN, Wrocław, 24. X. 1966 (w druku).
3. Dzieżyc J.: *Deszczowanie roślin*, PWRiL, Warszawa 1967.
4. Musierowicz A., Świącicki Cz., Król H., Kiersnowska A.: *Rocz-ki Glebozn.* t. XIII, z. I (1963).
5. Richard F.: *Zeitschrift für Forstwesen*, Nr 4 (1955).
6. Richards L. A.: *Agr. Eng.* 28, 10, 451—454 (1947).
7. Szuniewicz J.: *Tensjometr z manometrem rtęciowym konstrukcji Rolniczego Zakładu Biebrza (maszynopis)*.
8. Świącicki Cz.: *Rocz-ki Glebozn.* t. 10, z. 2, (1961).
9. Świącicki Cz.: *Post. Nauk roln.*, t. 2 (92), s. 23—64 (1965).
10. Świącicki Cz.: *Podstawowe wiadomości o wodzie glebowej*, Dział Wydawnictw SGGW, Warszawa 1967.

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund von mehrjährigen Untersuchungen über die Anwendung von Tensiometern in den Versuchen über Pflanzenbewässerung durch Beregnungsanlagen können folgende einleitende Folgerungen aufgestellt werden:

1. Tensiometer, die man verschieden tief installieren kann, lassen die Veränderung der Saugkraft und indirekt auch der Feuchtigkeit des Bodens, je nach dessen Art, Profillbau, Tiefe, Pflanzenart, Gabengröße an NPK, Verlauf von Nie-

derchlägen und Bewässerung unterbrochen Verfolgen und können beim Bestimmen des Bewässerungsbedarfs und Zeiten behilflich sein.

2. Saugkraftablesungen können in Wassersäulezentimetern, in Atmosphären oder Volumenprozenten der Bodenfeuchte ausgedrückt werden. Veränderungen der Bodensaugkraft oder der mit Hilfe von Tensiometern ermittelten Feuchtigkeit wieder spiegeln den Einfluss von verschiedenen, in Pkt. 1 genannten Faktoren viel genauer als die mittels Methode „Trockenschrank-Waage“ geschehen kann, und ausserdem sind die Tensiometermessungen billiger und einfacher, was die Veränderungen der Wasserbedingungen während der ganzen Vegetationsperiode und insbesondere in den kritischen Zeitabschnitten der gegebenen Pflanzen leichter zuverfolgen erlaubt.

3. Es wird erwünscht die tensiometrische Methode weiterhin zu vervollkommen, und insbesondere die Skale den verschiedenen Bodentypen mit Berücksichtigung der charakteristischen Feuchtigkeitsverhältnisse (Feldkapazität, Gehalt an leicht zukommendem Wasser), anzupassen, als auch die Anzahl von Messungsstellen je nach der Bodenveränderlichkeit und Feldgrösse zu bestimmen.

РЕЗЮМЕ

На основании многолетних исследований применения тензометров в опытах с орошением растений при помощи дождевальни можно заключить следующее:

1. Благодаря тензометрам, которые можно устанавливать на разной глубине, можно непрерывно наблюдать изменения сосущей силы, а косвенно и влажности почвы в зависимости от ее рода, структуры профиля, глубины, вида культуры, величины дозы РК, процесса атмосферных осадков и орошения, а также можно определять надобность и сроки орошения.

2. Отчитывание сосущей силы можно изобразить в см столба воды, в атмосферах или в объемных процентах влажности почвы. Изменения сосущей силы почвы или влажности, обозначенной при помощи тензометров, точнее отражают влияние разных факторов, упомянутых в пункте I, в сравнении с сушительно-весовым методом, а кроме того тензометрические измерения гораздо быстрее, дешевле и проще, что облегчает наблюдение изменения водных условий в течение всего периода вегетации, причем прежде всего в критических периодах данной культуры.

3. Весьма желательными и необходимыми являются дальнейшие исследования тензометрического метода, в особенности приспособления шкалы к разным типам почв с учетом характерных положений увлажнения (например полевая емкость, содержащее воды легко доступной), а также определение количества пунктов измерения в зависимости от почвенной изменчивости и размеров поля.

STRESZCZENIE

Na podstawie kilkuletnich badań nad zastosowaniem tensjometrów w doświadczeniach z nawadnianiem roślin przy pomocy deszczowni można wyciągnąć następujące wstępne wnioski:

1. Tensjometry, które można instalować na różnej głębokości, pozwalają śledzić w sposób ciągły zmiany siły ssącej a pośrednio i wilgotności gleby zależnie od jej

rodzaju, budowy profilu, głębokości, gatunku rośliny, wielkości dawki NPK, przebiegu opadów i nawadniania, oraz mogą być przydatne do ustalania potrzeb i terminów nawadniania.

2. Odczyty siły ssącej można wyrazić w cm słupa wody, w atmosferach lub w procentach objętościowych wilgotności gleby. Zmiany siły ssącej gleby lub wilgotności oznaczonej przy pomocy tensjometrów dokładnie odzwierciedlają wpływ różnych czynników wymienionych w punkcie 1, w porównaniu z metodą suszarkowo-wagową, a poza tym pomiary tensjometryczne są szybsze, tańsze i łatwiejsze, co ułatwia śledzenie zmiany stosunków wodnych w całym okresie wegetacji, a przede wszystkim w okresach krytycznych danej rośliny.

3. Pożądane jest dalsze doskonalenie metody tensjometrycznej a zwłaszcza dostosowanie skali do różnych typów gleb z uwzględnieniem charakterystycznych stanów uwilgotnienia (np. pojemność polowa, zawartość wody łatwo dostępnej) oraz ustalenie ilości punktów pomiaru zależnie od zmienności glebowej i wielkości pola.