

JAN GAWLIK

## ZMODYFIKOWANY POROMIERZ LOEBELLA ORAZ JEGO PRZYDATNOŚĆ DO BADAŃ POWIETRZNYCH WŁAŚCIWOŚCI GLEB

Komisja Fizyki Gleby Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego  
Pracownia Gleboznawstwa Melioracyjnego IMUZ w Lublinie

### WSTĘP

Pojemność powietrzna gleb określana także mianem porowatości gazowej  $\varepsilon_g$  stanowi jedną z istotnych właściwości fizycznych, która warunkuje przebieg oraz natężenie procesów biologicznych i chemicznych w środowisku glebowym. Wielkość tę na ogół wyznaczamy drogą pośrednią na podstawie ciężarów objętościowego i właściwego oraz aktualnej wilgotności gleb; można obliczyć ją również na podstawie samego ciężaru objętościowego i wilgotności gleby w oparciu o równanie regresji wyznaczone z zależności, jaka istnieje między ciężarem objętościowym a porowatością ogólną gleb [6].

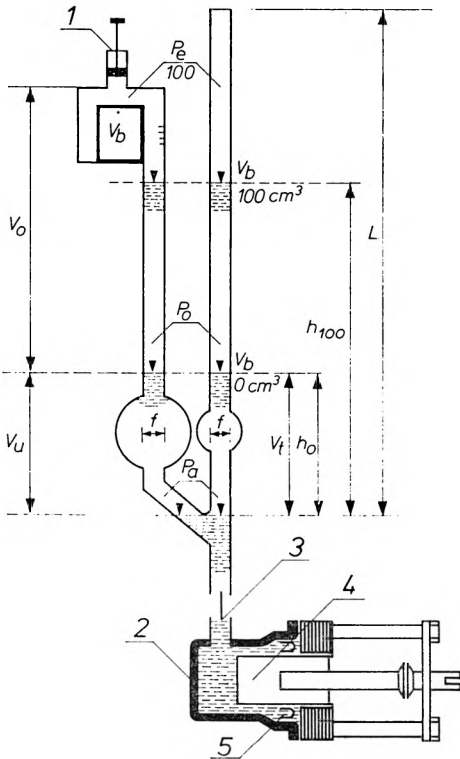
Istnieją także metody bezpośredniego wyznaczania porowatości gazowej gleb przy użyciu różnej konstrukcji porometrów działających na zasadzie prawa Boyle-Mariotte'a. Zaletą tych ostatnich jest przede wszystkim możliwość szybkiego wykonania oznaczeń bez potrzeby suszenia prób. Ma to szczególnie istotne znaczenie na przykład w badaniach stanu napowietrzenia gleb, aeracji itp.

Spośród znacznej liczby porometrów, jakie zostały dotychczas skonstruowane, na szczególną uwagę zasługuje porometr Loebella [4]. Podstawową zaletą tego aparatu jest całkowite uniezależnienie jego wskazań od zmian ciśnienia barometrycznego. Konstrukcja porometru opiera się na systemie manometru dwururkowego, który po raz pierwszy został zastosowany w roku 1937 przez Vissera [10].

### BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA POROMETRU

Podstawowym elementem porometru jest urządzenie manometryczne. Składa się ono z dwóch biegnących równolegle obok siebie rurek, które u dołu złączone są w jedną. Rurka ta jest wprowadzona do zbior-

niczka z rtęcią. U góry jedna z rurek jest szczelnie zatopiona, druga natomiast łączy się elastycznym grubościennym przewodem z hermetycznie zamykaną komorą mieszczącą cylinder z glebą. U dołu, tuż powyżej rozgałęzienia, każda z rurek ma bańkowate rozszerzenie o różnej objętości. Wtlaczana od dołu do rurek manometrycznych rtęć wyrównuje się w nich na różnym poziomie, zależnie od objętości fazy stałej i ciekłej gleby. Zasadę działania porometru, a także jego budowę wyjaśnia schematyczny rys. 1, gdzie:



Rys. 1. Schemat budowy zmodyfikowanego porometru Loebella

1 — urządzenie korekcyjne, 2 — pompa rtęciowa tłokowa, 3 — ciecz wtlaczana (rtęć), 4 — tłok, 5 — pierścień uszczelniający

Constructions scheme of the modified parameter of Loebell

1 — correcting device, 2 — mercury piston pump, 3 — extruded liquid (mercury), 4 — piston, 5 — rubber packing

- $V_b$  — objętość fazy stałej i ciekłej próbki glebowej,  
 $f$  — powierzchnia przekroju rurek manometrycznych w świetle na długości  $h_0$  do  $h_{100}$ ,  
 $h_0$  — położenie wyrównanej w obu rurekach rtęci (cieczy) gdy  $V_b=0$  (porowatość wtedy równa się 100% obj.),  
 $h_{100}$  — położenie wyrównanej w obu rurekach rtęci gdy  $V_b=100 \text{ cm}^3$  (porowatość równa się wtedy 0% obj.),  
 $l$  — długość prawej rurki przy założeniu, że ma ona jednakowy przekrój  $f$  na całej długości,  
 $p_a$  — ciśnienie wewnątrz rurek manometrycznych na początku pomiaru (odpowiada wartości ciśnienia atmosferycznego),

- $p_0$  — ciśnienie w obu ramionach rurek manometrycznych, gdy rtęć znajduje się w nich na wysokości  $h_0$  ( $V_b = 0 \text{ cm}^3$ ),
- $p_{100}$  — ciśnienie w obu ramionach rurek manometrycznych, gdy ciecz znajduje się w nich na wysokości  $h_{100}$  ( $V_b = 100 \text{ cm}^3$ ),
- $m_0 = \frac{p_0}{p_a}$
- $m_{100} = \frac{p_{100}}{p_a}$
- $V_0$  — objętość lewego rozgałęzienia manometru powyżej poziomu zerowego,
- $V_u$  — objętość rozszerzonej lewej rurki od rozgałęzienia do poziomu zerowego,
- $V_t$  — objętość rozszerzonej prawej rurki od rozgałęzienia do poziomu zerowego.

Biorąc za podstawę prawo Boyle'a-Mariotte'a możemy dla określonej stałej temperatury ująć występujące zależności w szereg matematycznych równań, a mianowicie:

$$V_0 + V_u = V_0 \cdot m_0 \quad (1)$$

$$V_0 + V_u - V_b = [V_0 - f(h_{100} - h_0) - V_b] m_{100} \quad (2)$$

$$(l - h_0) f + V_t = (l - h_{100}) f m_{100} \quad (3)$$

$$(l - h_0) f + V_t = (l - h_0) f m_0 \quad (4)$$

W przypadku pomiaru będącego przedmiotem niniejszego opracowania przyjęto następujące wielkości jako znane:

$$\begin{aligned} V_t &= 1,3 \text{ cm}^3, \\ V_u &= 14,1 \text{ cm}^3, \\ f &= 0,071 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

$$m_0 = \frac{p_0}{p_a} = 1,1$$

$$h_0 = 10 \text{ cm}.$$

Pozostałe parametry:  $V_0$ ,  $l$ ,  $m_{100}$ ,  $h_{100}$  oraz każdą dowolną wartość  $h_n$  dla określonej przynależnej jej wartości  $V_b$  przy założeniu, że zmienia się ona w granicach od 0 do  $100 \text{ cm}^3$ , zostały wyliczone na podstawie zestawionych wyżej równań. Wielkość  $V_0$  obliczono z równania (1):

$$V_0 = \frac{V_u}{m_0 - 1} = 141 \text{ cm}^3$$

Z równania (4) wyliczono wartość  $l$ :

$$l = \frac{h_0 f (m_0 - 1) + V_t}{f (m_0 - 1)} = 193,1 \text{ cm}$$

Wartość  $h_{100}$  uzyskano z równań (2) i (3) przez ich podzielenie:

$$h_{100} = \frac{fl (V_u - fh_0) - (V_t - fh_0) (V_0 + fh_0 - V_b)}{f (V_0 + V_u - V_1 - f) (l - h_0) - V_b} = 54,88 \text{ cm}$$

Jeśli w wyżej przytoczonym równaniu będziemy kolejno zmieniać wartości  $V_b$ , to możemy dowolnie uszczegółowić skalę porometru, wyzna-

T a b e l a

Wartości  $h_n$  dla wzrastających o  $5 \text{ cm}^3$  wartości  $V_b$   
 Values of  $h_n$  for increasing values of  $V_b$  by  $5 \text{ cm}^3$

$V_b$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$h_n$	10,0	10,68	11,40	12,18	13,04	13,95	14,96	16,05	17,28	18,60	20,10
P%	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
$V_b$	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	-
$h_n$	21,74	23,62	25,70	28,13	30,88	34,14	37,90	42,51	48,00	54,88	-
P%	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0,0	-
$V_b$ - objętości fazy stałej i ciekłej próbki glebowej w $\text{cm}^3$ volumes of solid and liquid phase of a soil sample in $\text{cm}^3$ $h_n$ - położenie wyrównanej w obu rurkach rtęci w cm, gdy $V_b = n \text{ cm}^3$ stand of mercury levelled in both pipes, in cm, at $V_b = n \text{ cm}^3$ P% - porowatość w % obj. porosity in vol. %											

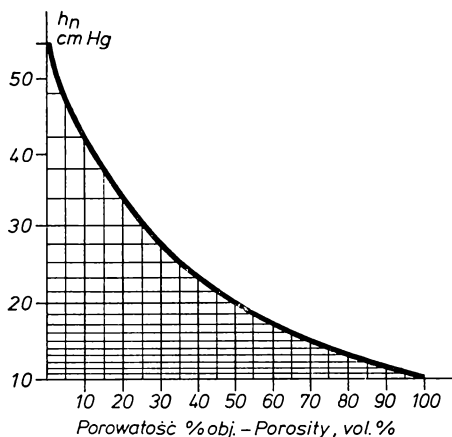
czając na niej poszczególne wartości  $h_n$  (tab. 1). Wartość  $m_{100}$  obliczona została z równania (2)

$$m_{100} = \frac{V_0 + V_u - V_b}{V_0 - f (h_{100} - h_{10}) - V_b} = 1,46$$

Ponieważ porometr został dostosowany do próbek glebowych o objętości  $100 \text{ cm}^3$ , stąd porowatość wyrażona w procentach objętości wynosi

$$p = 100 - V_b$$

Z uwagi na to, że bezpośredni pomiar wartości niektórych parametrów jest kłopotliwy, a z drugiej strony istnieją duże trudności wykonania elementów szklanych o ściśle i z góry określonych objętościach — skalę każdego pomierza wyznacza się eksperymentalnie. Do tego celu użyto odpowiednio dobranych krążków objętościowych, wykonanych z materiału nieporowatego (stal). Wstępną kalibrację pomierza, w ramach której została ustalona długość skali oraz wielkość  $h_0$ , dokonano przez odpowiedni dobór wartości parametrów  $V_0$  i  $l$ . Przy kalibracji szczegółowej posługiwano się krążkami objętościowymi o wymiarach  $\bar{\delta}$ ,



Rys. 2. Krzywa kalibracyjna pomierza.  
Calibration curve of the pomierz

10, 20 i 50 cm<sup>3</sup>. Szczegółowy podział skali z dokładnością do wartości 0,5% wykonano drogą interpolacji.

Wykonany w Pracowni Gleboznawstwa Melioracyjnego IMUZ w Lublinie pomierz odbiega znacznie swą konstrukcją i wyglądem od oryginalnego modelu aparatu Loebella. Pod względem obudowy (rys. 5) jest on zbliżony do wersji aparatu, jaką wykonali Frąckowiak i Rogiński [1]. Różni się on jednak od niej budową pompy. Zamiast pompy przeponowej, w którą jest wyposażony aparat Frąckowiaka i Rogińskiego, autor zastosował specjalnej konstrukcji pompę tłokową (rys. 1), która spełnia zarazem rolę zbiornika mieszczącego rtęć. Wprowadzona modyfikacja miała na celu wyeliminowanie zjawiska pełzania rtęci (opadania jej w dół) w rurkach manometrycznych, jakie występuje w czasie wykonywania pomiarów w aparatach wyposażonych w pompy przeponowe.

Jak już wspomniano, pomiary prezentowanego pomierza są niezależne od zmian ciśnienia barometrycznego. W pomierzu tym, w przeciwieństwie do aparatów opartych na systemie jednej rurki manometrycznej (np. aparaty Nitzscha [5], Kummera [3], Page'a [7], Russella [8], Święcickiego [9] i innych), gdzie mierzone są absolutne wartości ciśnienia początkowego i końcowego, mierzy się w odpowiednio sprzężonym i objętościowo zróżnicowanym podwójnym układzie manometrycznym jedynie wzajemny stosunek tych ciśnień.

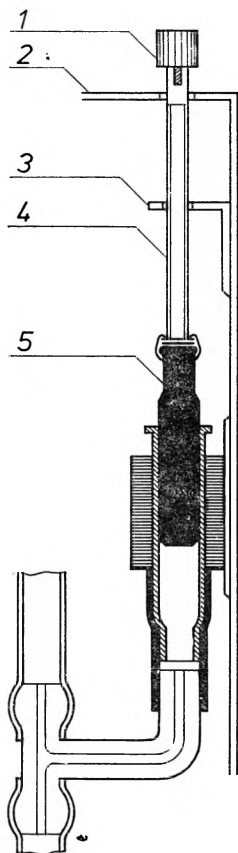
Pomierz był cechowany w 20°C, może on jednak być używany do pomiaru porowatości w temperaturze zarówno wyższej, jak i niższej.

Współczynnik rozszerzalności liniowej dla stali chromoniklowej, z jakiej wykonana została komora hermetyczna, wynosi  $17,5 \times 10^{-6}$ . W przeliczeniu na rozszerzalność objętościową daje to wartość  $52,5 \times 10^{-6}$ . Przyjmując, że objętość komory wynosi 115 cm<sup>3</sup>, otrzymamy przy odchyleniu o 10°C temperatury skalowania różnicę objętości równą:

$$115 \times 10 \times 52,5 = 10^{-6} = 0,060 \text{ cm}^3$$

Z wyliczenia wynika, że różnica tego rzędu wielkości może powodować na skali porometru odchylenia mieszczące się w przedziale od  $\pm 0,01$  do  $\pm 0,1$  cm, a więc zbyt małe, aby można je było dostrzec.

Dotychczas poczynione obserwacje wskazują jednak, że odchylenia te są z reguły większe niżby można było sądzić na podstawie rozważań teoretycznych [2]. Wynika to z tego, że wyznaczona w trakcie kalibracji skala aparatu jest funkcją określonego stosunku objętości dwóch sprzężonych ze sobą elementów manometrycznych. Części szklane tych elementów są wykonane z jednakowego szkła, a zatem ich stały stosunek objętości nie ulega zmianie, ponieważ zmiany objętości poszczególnych komór zachodzą w nich geometrycznie tak samo. Prócz części szklanych w układzie manometrycznym znajdują się jednak elementy wykonane ze stali (komora hermetyczna) oraz tworzywa sztucznego (grubościenne wąż z PCV długości ok. 1 m, łączący lewe ramie manometru z komorą hermetyczną), których zmiany objętości nie są już wzajemnie kompensowane. Zjawisko to niewątpliwie jest powodem pewnych odchyień we wskazaniach poromierza, które w przypadku zmian temperatury w gra-



Rys. 3. Konstrukcja urządzenia korekcyjnego

1 — pokrętko, 2 — obudowa aparatu, 3 — uchwyt mocujący śrubę do obudowy, 4 — śruba, 5 — tłoczek

Construction of the correcting device  
1 — hand wheel, 2 — housing of the apparatus, 3 — holder fixing the screw to the housing, 4 — screw, 5 — piston

nicach  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  mogą być łatwo dostrzeżone w czasie pomiaru kontrolnego.

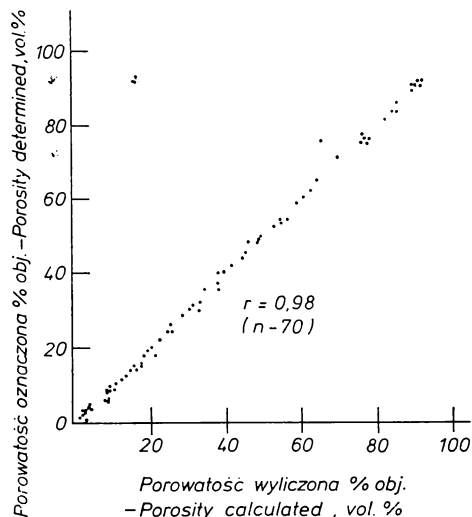
W celu wyeliminowania błędów warunkowych względami temperaturowymi prezentowany tu poromierz wyposażono w proste urządzenie korekcyjne własnego pomysłu (rys. 3).

Podstawowym elementem urządzenia jest dostępna w handlu  $2\text{ cm}^3$  strzykawka lekarska (insulinowa) marki IPAS, posiadająca szczelnie dopasowany tłoczek w postaci oszlifowanego kołka szklanego. Tłoczek ten za pomocą śruby sprzężono w pokrętle. Urządzenie korekcyjne jest włączone do lewostronnego ramienia układu manometrycznego i przytwierdzone do obudowy. Korekcję poromierza można wykonać w dowolnym czasie w sposób następujący. Do komory hermetycznej wkładamy cylinder stalowy wypełniony całkowicie krążkami objętościowymi ( $V_b = 100$ ,  $p = 0^0/0$ ) i wykonujemy odczyt kontrolny.

Jeśli rtęć wyrównuje się w rurkach manometrycznych powyżej podziałki  $0^0/0$ , to przez obrót w lewo pokrętle urządzenia korekcyjnego powiększamy nieco objętość lewostronnej części układu manometrycznego (zwiększamy wartość parametru  $V_0$ ). Jeśli natomiast rtęć wyrównuje się poniżej podziałki  $0^0/0$ , pokręcamy pokrętle w kierunku przeciwnym.

#### OCENA WYNIKÓW WSKAZAŃ POROMIERZA ORAZ OKREŚLENIE BŁĘDÓW OZNACZEŃ

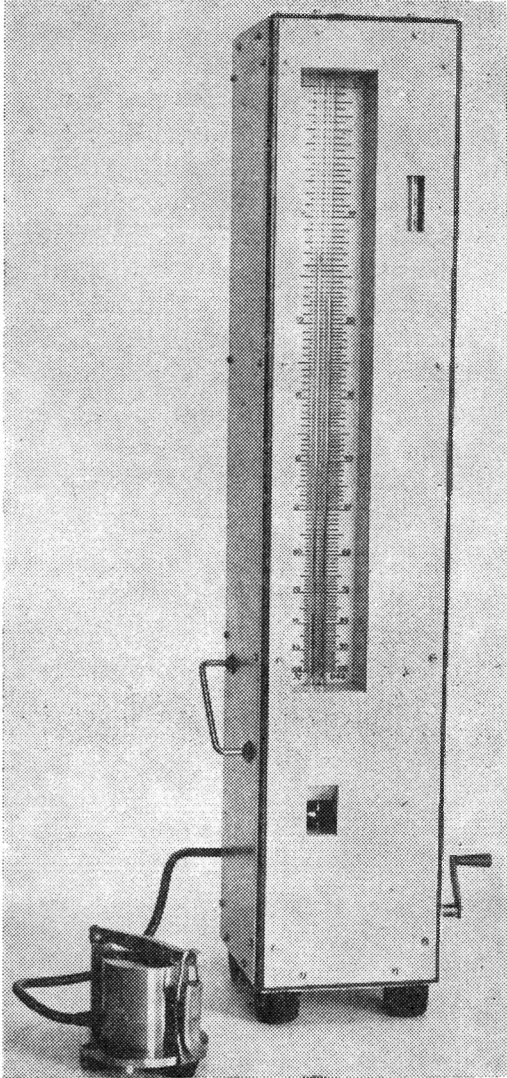
Przedstawione porównanie wyników oznaczeń porowatości gleb przy użyciu zmodyfikowanego poromierza Loebella z wynikami, jakie uzyskano na podstawie wyliczenia w oparciu o równanie regresji [6], wykazuje zgodność. Potwierdzeniem tego może być bardzo wysoka wartość współ-



Rys. 4. Porównanie wyników oznaczeń porowatości przy użyciu poromierza z wynikami uzyskanymi z wyliczenia

Comparison of the porosity determination results by means of the porometer with the results obtained on the basis of calculations

czynnika korelacji, który równa się 0,98 (rys. 4). Oznaczenia porównawcze przeprowadzono na glebach mineralnych (pyły zwykłe — 15 prób), mineralno-organicznych, zawierających od 10—25% substancji organicznej (30 prób) oraz na glebach organicznych o różnym stopniu zamulenia (25 prób), w których zawartość części popiołowych wynosiła od 5 do 75%. Próby glebowe pobierane były do cylindrów stalowych pojemności 100 cm<sup>3</sup>, posiadających całkowicie ujednoliconą tarę.



Rys. 5. Porometr wykonany w Pracowni Gleboznawstwa Melioracyjnego IMUZ w Lublinie

A porometer made by the Laboratory of Land Reclamation Pedology, Institute for Land Reclamation and Grassland Farming in Lublin



W celu uzyskania pełniejszej charakterystyki wskazań poromierza przeprowadzono także oznaczenia kontrolne w celu określenia wielkości błędów, jakie powstają w trakcie oznaczeń porowatości za pomocą omawianego aparatu. Nieliniowy (rys. 3) charakter podziałki sprawia, że dokładność wskazań aparatu jest na skali dość znacznie zróżnicowana. Z tych względów zarówno przy wyznaczaniu wielkości odchylenia standardowego  $\sigma_y$ , jak również współczynnika zmienności  $V$  przeprowadzono kontrolne oznaczenia wskazań poromierza dla trzech różnych wartości  $V_b$ , odpowiadających odczytom, które występują w różnych przedziałach skali aparatu. Pomiaru kontrolne przeprowadzono przy użyciu wzorcowych krążków stalowych o objętości 80 cm<sup>3</sup> ( $V_b=80$  cm,  $P=20\%$  obj.), 40 cm<sup>3</sup> ( $V_b=40$  cm<sup>3</sup>,  $P=60\%$  obj.) i 5 cm<sup>3</sup> ( $V_b=5$  cm<sup>3</sup>,  $P=95\%$  obj.). Dla każdej próby wykonano po 50 oznaczeń:

Porowatość $P$ % obj.	Odchylenia standartowe $\delta y$	Współczynnik zmienności $V$ %
20	0,208	1,043
60	0,335	0,556
95	1,273	1,335

Jak wynika z zestawienia, prezentowany aparat zapewnia bardzo wysoką zgodność i powtarzalność wyników i może być stosowany do oznaczania porowatości gazowej i ogólnej gleb. Obsługa aparatu jest bardzo prosta, a czas niezbędny do wykonania jednego oznaczenia wynosi około 1,5—2 min.

#### LITERATURA

- [1] Frąckowiak H., Rogiński S.: Porometr ciśnieniowy do oznaczania porowatości gleb. Gosp. Wodna, Biuletyn IMUZ, nr 11 (129) 1966, s. 440.
- [2] Gawlik J.: Wpływ uwilgotnienia i napowietrzenia gleb na przebieg procesu mikrodyfuzji tlenu (ODR) w niektórych glebach hydrogenicznym i bielicoziemnych. Roczn. Nauk rol. Ser. F, 79, 1975, 1, 95—116.
- [3] Kummer F. A., Cooper A. W.: Soil porosity determinations with the air pressure pycnometer as compared with the tension method. Agr. Eng. 26, 1945, 21—23.
- [4] Loebell R.: Barometerfreie Luftpyknometr. Z. Pfl. Ern. Düng. Bodenk. 60, 1953, 172—181.
- [5] Nitzsch W. von: Porengrößen im Boden, ihre Beziehungen zur Bodenbearbeitung und zum Wasserhaushalt. RKTU-Schriften, Heft 85, Berlin 1938.
- [6] Okruszko H.: Określenie ciężaru właściwego gleb hydrogenicznych na podstawie zawartości w nich części mineralnych. Wiadomości IMUZ 10, 1971, 1, 45—54.
- [7] Page J. B.: Advantages of the pressure pycnometer for measuring the pore space in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12, 1948, 81—84.

- [8] Russell M. B.: A simplified air-pycnometer for field use. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14, 1949, 73—76.
- [9] Świącicki C.: Nowe metody oznaczania niektórych właściwości fizycznych gleb. Roczn. glebozn. 3, 1954, 175—202.
- [10] Visser W. C.: Pore space determination as a field method. Soil Sci. 44, 1937, 467—480.

Я. Гавлик

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ПОРОМЕТР ЛЕБЕЛЛЯ И ЕГО ПРИГОДНОСТЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Комиссия физики почвы — Польское общество почвоведов  
Лаборатория мелиоративного почвоведения — Институт мелиорации и луговодства

### Резюме

В статье поданы принципы функционирования и опись строения видоизмененного порометра Лебелля. В этом приборе применен особой конструкции (рис. 1) поршневой насос, который устраняет ползучесть ртути в манометрических трубках, наблюдаемую во время ведения отсчетов в приборах снабженных мембранными (диафрагмовыми) насосами.

Добавочным усовершенствованием преследующим цель повышения точности данных измерения, является применение устройства для корректуры показаний порометра в зависимости от изменения температуры окружающей среды (рис. 3).

На основании контрольных определений, которые проводились при употреблении стальных дисков строго определенного объема, показания порометра были охарактеризованы путем уточнения значений стандартного отклонения  $\sigma_y$  и коэффициентов изменчивости (вариации)  $V$  для различных интервалов шкалы.

Установлено, что порометр обеспечивает отличную повторяемость результатов, а также их совпадаемость с результатами порозности полученными косвенным путем — по вычислениям. Порометр вполне пригоден для изучения воздушных свойств почвы.

J. GAWLIK

## MODIFIED POROMETER OF LOEBELL AND ITS USABILITY IN INVESTIGATIONS OF AIR PROPERTIES OF SOIL

Commission on Soil Physics, Polish Soil Science Society  
Laboratory of Reclamation Pedology, Institute for Land Reclamation  
and Grassland Farming, Lublin

### Summary

In the paper functioning principles and construction of the modified porometer of Loebell are described. In this apparatus the piston pump of special construction (Fig. 1) is applied, which eliminated the mercury creeping phenomenon in

manometer pipes, occurring in the course of readings in apparatus fitted with membrane pumps.

An additional improvement aiming at an increase of precision of the determination results, was the application of a device for correcting the porometer indications, depending on the environment temperature changes (Fig. 3).

On the basis of control determinations, carried out at use of a steel discs with exactly defined capacities, the porometer indications were characterized by means of the determination of standard deviations  $\sigma_y$  and variability coefficients  $V$  for different scale intervals.

It has been found that the porometer ensures an excellent repeatability of results and their accordance with the determination results obtained in an indirect way — on the basis of calculations. The porometer is fully suitable for investigations of the air properties of soil.

*Dr Jan Gawlik*

*Instytut Melioracji i Użytków Zielonych  
Lublin, Aleja PKWN 29*

