

OZNACZANIE WILGOTNOŚCI GLEBY ZA POMOCĄ NEUTRONOWEJ SONDY POWIERZCHNIOWEJ

KOMUNIKAT

Ryszard Baranowski

Zakład Uprawy Roli i Roślin IUNG, Laskowice Oławskie

Najbardziej rozpowszechnionym typem wilgotnościomierza neutronowego jest cylindryczna sonda odwiertowa, przeznaczona do mierzenia wilgotności głębszych warstw gleby i podglebia. Przyrząd tego typu nie nadaje się jednak do wykonywania pomiarów w wierzchniej warstwie gleby, ponieważ przy płytkim zagłębieniu sondy część neutronów „ucieka” w powietrze, co powoduje znaczny błąd pomiarowy, obniżający w istotny sposób wartość otrzymywanych wyników [1, 3, 4].

Dla zopobieżenia ucieczce neutronów Mercesse proponuje stosowanie polietylenowego reflektora, który na czas pomiarów nakłada się na wlot rury osłonowej. Według opinii autora zastosowanie tego urządzenia umożliwia pomiary sondą odwiertową od dowolnej głębokości w górę aż do 10 cm poniżej powierzchni gleby. Popelniany błąd przy najwyższym poziomie pomiarowym nie przekracza wtedy $\pm 1\%$ H₂O [9]. Inny sposób wykorzystania wilgotnościomierza cylindrycznego do pomiarów powierzchniowych prezentuje opisana przez Ungera tzw. „kwedlinburska sonda pomiarowa”. Dzięki zastosowaniu ruchomych członów parafinowej osłony można wykonywać pomiary, kładąc sondę poziomo na powierzchnię gleby [12]. Należy jednak zaznaczyć, że takie usytuowanie zmniejsza czułość przyrządu wskutek ograniczenia strefy spowalniania neutronów i zwiększenia odległości pomiędzy źródłem neutronów i detektorem.

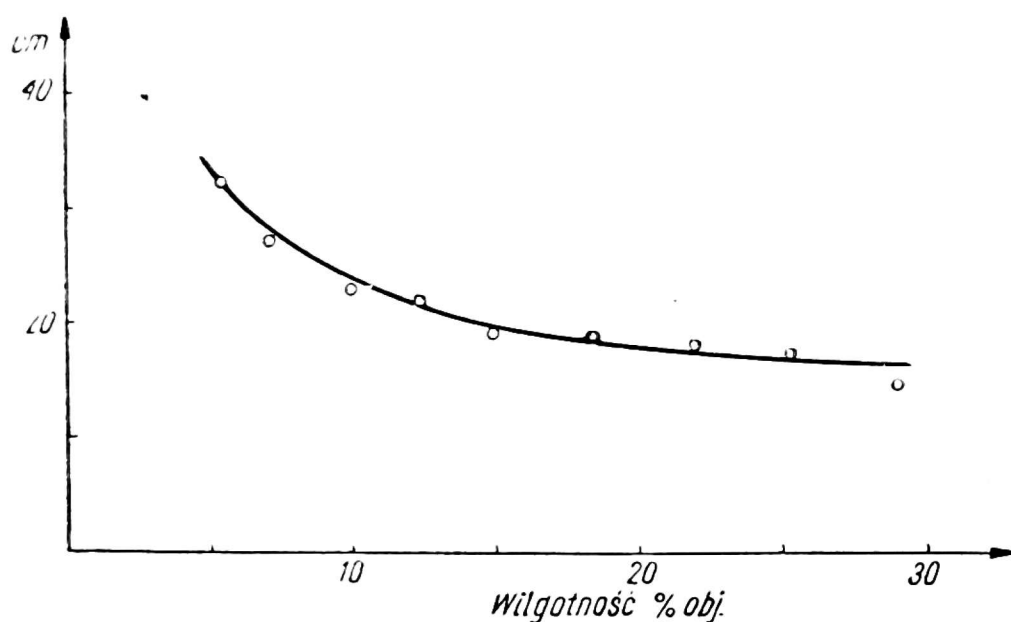
Do pomiarów zawartości wody w ornej warstwie gleby najlepiej nadają się specjalnie do tego celu konstruowane wilgotnościomierze powierzchniowe. Przyrząd tego typu (P 21 Nuclear Chicago) stosowany był przez Phillipisa, Jensena i Kirkhama w doświadczeniach uprawowych z kukurydzą i soją [11]. Dokładność pomiarów przy poziomie ufności 0,01 wynosiła w pierwszym doświadczeniu 0,011, a w drugim 0,017 g H₂O/cm³, przy czym uzyskano trzykrotne skrócenie czasu wykonywania oznaczeń w stosunku do metody suszarkowej. Boekstegen badając przydatność sondy P 21, stwierdził konieczność stosowania oddzielnych wy-

kresów kalibracyjnych dla różnych gleb [5]. Borowczyk podaje krótką charakterystykę polskiego wilgotnościomierza powierzchniowego typu WP-61 i WP-62 [6]. Wynika z niej, że średni zasięg pomiarowy przyrządu wynosi około 20 cm, a dokładność w zakresie wilgotności 0 – 50% ok. 0,3 do 1,5% H_2O .

W Zakładzie Uprawy Roli i Roślin IUNG zbadano przydatność neutronowej sondy powierzchniowej WP-64 do pomiarów wilgotności gleby w doświadczeniach uprawowych. Wykonane prace laboratoryjne i polowe miały na celu wyskalowanie przyrządu w zależności od rodzaju gleby i jej ciężaru objętościowego, określenie procentowego zasięgu pomiarowego oraz porównanie wyników otrzymywanych metodą radiometryczną i suszarkową.

PRACE LABORATORYJNE I POLOWE

W badaniach stosowano neutronowy wilgotnościomierz powierzchniowy WP-64 produkowany przez Zakład Doświadczalny w Służewcu. Podstawowym elementem przyrządu jest prostopadłościenna sonda pomiarowa, w której umieszczone są cztery liczniki GM typu STS-5 otoczone kadmem i transformatorowy układ przesyłowy. Źródłem neutronów był preparat Pu-Be, emitujący ok. $5 \cdot 10^5$ neutronów na sekundę. Do zliczania impulsów używano przenośnego przelicznika produkcji AGH w Krakowie, ważącego wraz z akumulatorem ok. 8 kg.

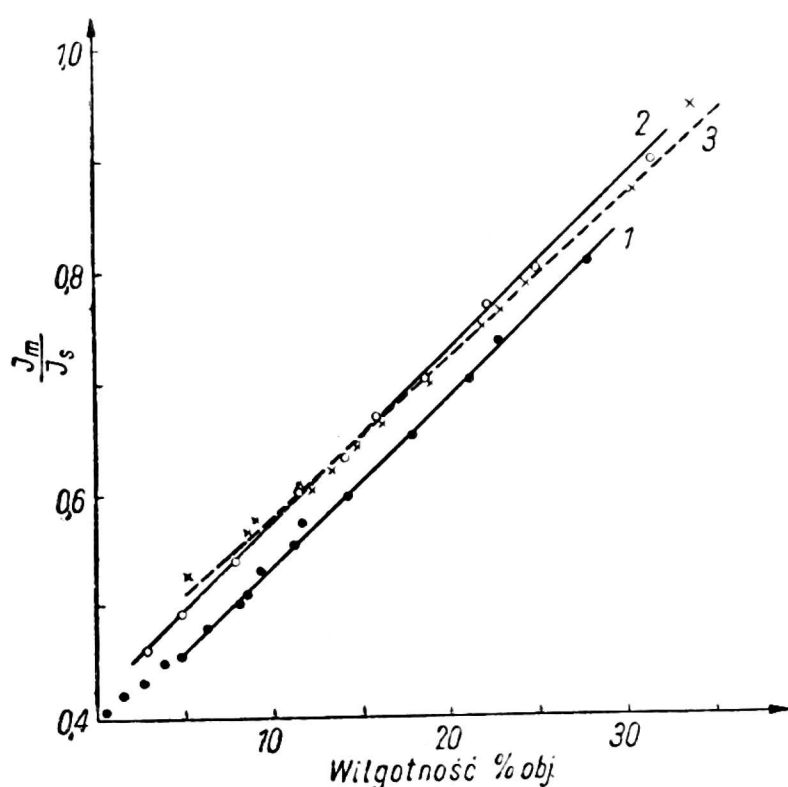


Rys. 1. 95-procentowy zasięg pomiarowy neutronowej sondy powierzchniowej WP-64

Właściwa interpretacja wskazań wilgotnościomierza, jak również poprawne przeprowadzenie skalowania przyrządu wymagają znajomości jego zasięgu pomiarowego. Przez procentowy zasięg pomiarowy przyrządu rozumieć należy grubość warstwy ośrodka, z której dochodzi do detektora decydująca część (np. 90, 95 lub 99%) promieniowania w stosunku do warstwy tego samego ośrodka o nieskończonej grubości [7].

Zasięg pomiarowy sondy wyznaczono w prostopadłościennym pojemniku o wymiarach $50 \times 60 \times 40$ cm. Wielkość pojemnika gwarantowała dokładne przeprowadzenie pomiarów dla gleby o zawartości wody powyżej $0,05 \text{ g/cm}^3$. W pojemniku umieszczono odpowiednio nawilżony piasek i wykonywano pomiary radiometryczne, zwiększając co 2 cm grubość warstwy aż do 40 cm, czyli całkowitego wypełnienia zbiornika. Wykonano łącznie 9 serii pomiarów dla różnych wilgotności i na podstawie interpolacji wyników wyznaczono grubości warstw gleby, stanowiące 95-procentowy zasięg pomiarowy odpowiadający danej wilgotności. Otrzymane wyniki ilustruje wykres przedstawiony na rys. 1.

Skalowanie przyrządu wykonano w warunkach laboratoryjnych, przy czym materiałem kalibracyjnym były trzy rodzaje gleby wziętej z pól doświadczalnych ZNB Laskowice, tj. piasek luźny, glina lekka zbliżona do piasku gliniastego mocnego i mursz. Glebę nawilżano do odpowiedniej wilgotności, mieszano, i po zważeniu umieszczano w pojemniku, w którym uprzednio wyznaczany był zasięg. Bezpośrednio po wykonaniu pomiarów radiometrycznych kontrolowana była wilgotność gleby przez pobranie próbek z całej objętości zbiornika i suszenie w temperaturze 105°C . Ciężar objętościowy gleby używanej do skalowania wynosił: $1,56 \text{ g/cm}^3$ dla piasku, $1,78 \text{ g/cm}^3$ dla gliny i $1,35 \text{ g/cm}^3$ dla murszu. Oprócz właściwych pomiarów kalibracyjnych (I_m) wykonywano pomiary standaryzacyjne (I_s), których celem było zabezpieczenie przed błędami wynikającymi z ewentualnych zmian wydajności liczników, fluktuacji napięcia itp. Jako funkcję wilgotności przyjęto stosunek zliczeń pomiarowych do standaryzacyjnych czyli I_m/I_s . Wyniki skalowania przedstawione zostały na rys. 2, z którego widać, że wykresy kalibracyjne w za-



Rys. 2. Kalibracja neutronowej sondy powierzchniowej WP-64 1 — piasek luźny
2 — glina lekka, 3 — mursz

kresie wilgotności od 5 do ponad 30% mają przebieg prostoliniowy. Równania prostych regresji i wartości współczynników korelacji są następujące:

dla piasku luźnego	$I_m/I_s = 0,0154 w + 0,383$	$R = 0,9987$
dla gliny lekkiej	$I_m/I_s = 0,0156 w + 0,421$	$R = 0,9990$
dla murszu	$I_m/I_s = 0,0145 w + 0,437$	$R = 0,9958,$

gdzie w — wilgotność gleby w procentach objętościowych.

Ciężar objętościowy wierzchniej warstwy gleby ulega wskutek przeprowadzania zabiegów uprawowych lub oddziaływania czynników przyrodniczych znacznym fluktuacjom, które muszą być uwzględniane przy pomiarach wilgotności metodą neutronową. Dla znalezienia wielkości odpowiednich poprawek wykonano dodatkowe skalowanie przyrządu przy luźnym ułożeniu gleby w zbiorniku kalibracyjnym. Przeprowadzone pomiary wykazały, że wzrost ciężaru objętościowego powoduje zwiększenie stosunku I_m/I_s , przy czym zmianie gęstości o $0,1 \text{ g/cm}^3$ odpowiada ekwiwalent wilgotności wynoszący $1,1\%$ dla gleby murszowej, $0,8\%$ dla gliny lekkiej i $0,5\%$ dla piasku luźnego.

Sprawdzenie wskazań neutronowej sondy powierzchniowej przeprowadzono na dwóch poletkach o powierzchni 200 m^2 każde, usytuowanych na piasku gliniastym mocnym. Na każdym z nich wykonano 50 oznaczeń radiometrycznych, a następnie z każdego miejsca, w którym była umieszczona sonda pomiarowa, pobrano po 4 próbki glebowe o nie naruszonej strukturze z poziomów 0–5, 2–7, 5–10 i 10–15 cm. Na obu obiektach wykonano łącznie 100 oznaczeń metodą neutronową i 400 suszarkową. Średni ciężar objętościowy gleby w warstwie 0–15 cm wynosił na pierwszym poletku $1,39 \text{ g/cm}^3$, a na drugim $1,65 \text{ g/cm}^3$. Wyniki pomiarów radiometrycznych odczytywano z wykresu kalibracyjnego sporządzonego dla gliny lekkiej, dodając odpowiednie wartości wynikające z różnic ciężaru objętościowego. Wielkość poprawki dla pierwszego obiektu wynosiła $(1,78-1,39) \cdot 0,8 \cdot 10 = 3,1\%$, a drugiego $(1,78-1,65) \cdot 0,8 \cdot 10 = 1,0\%$. Średnia wilgotność pierwszego poletka wyznaczona metodą neutronową wynosiła $16,7 \pm 0,4\%$ (poziom ufności 0,05), a metodą tradycyjną $17,0 \pm 0,3\%$. Odpowiednie liczby dotyczące drugiego poletka wynosiły $21,7 \pm 0,5\%$ i $21,0 \pm 0,4\%$ H_2O .

OMÓWIENIE WYNIKÓW I WNIOSKI

Jak widać z rys. 1 zasięg pomiarowy neutronowej sondy powierzchniowej WP-64 wynosi przy średnim uwilgotnieniu gleby ok. 20 cm. Można więc przyjąć, że wskazania przyrządu dotyczą warstwy, która pokrywa się z głębokością najczęściej wykonywanych orek i posiada decydujące znaczenie w zaopatrywaniu roślin w wodę [5, 11]. Wynik pomiaru wykonanego sondą neutronową nie jest jednakże średnią arytmetyczną wilgotności występujących w strefie pomiarowej przyrządu.

Ze wzrostem odległości od źródła neutronów zmniejsza się udział danej warstwy w kształtowaniu wyniku wskazywanego przez przyrząd [4, 13]. Zjawisko to nie odgrywa oczywiście żadnej roli w przypadku równomiernego uwilgocenia całej strefy pomiarowej.

Z przeprowadzonej kalibracji wynika, że przyrząd pomiarowy wymaga oddzielnego skalowania dla różnych gleb [5]. Pracochłonność tej czynności wybitnie się zmniejsza dzięki temu, że wykresy kalibracyjne mają charakter liniowy. Dla gleb mineralnych (piasek luźny i glina lekka) proste regresji przebiegają równolegle, natomiast dla murszu współczynnik kierunkowy jest nieco inny, co wynika z odmiennego składu chemicznego tej gleby [8]. Punkty kalibracyjne dla piasku w zakresie wilgotności 0–5% są obciążone pewnym błędem, ponieważ zasięg pomiarowy przyrządu przy niewielkich wilgotnościach gleby przekraczał wymiary pojemnika, w którym umieszczano glebę przy cechowaniu sondy pomiarowej.

Fakt, że wyniki pomiarów otrzymywanych metodą neutronową zależą od gęstości ośrodka, nie odgrywa większej roli przy stosowaniu sondy odwiertowej [8, 10]. W głębszych warstwach zmiany ciężaru objętościowego gleby są bowiem niewielkie i ich wpływ na dokładność oznaczeń może być pominięty. Nie można natomiast pominąć tego wpływu w przypadku stosowania sondy powierzchniowej, której pomiary dotyczą wierzchniej warstwy gleby. Jeśli zatem gęstość mierzzonego ośrodka różni się w istotnym stopniu od gęstości kalibracyjnej, konieczna jest odpowiednia korektura wyników, co wiąże się z kolei z koniecznością określania ciężaru objętościowego badanego ośrodka. Trzeba wszakże dodać, że żadna ze znanych dotychczas metod oznaczania wilgotności w procentach objętościowych nie jest wolna od tego mankamentu. W przypadku stosowania metody neutronowej najlepszym rozwiązaniem problemu jest jednoczesne przeprowadzanie pomiarów wilgotności sondą WP-64 i ciężaru objętościowego gęstościomierzem powierzchniowym gamma-gamma typu GP-64. Oba przyrządy dostosowane są do współpracy z jednym przelicznikiem [2].

Przeprowadzone pomiary polowe metodą neutronową i suszarkową wykazują dobrą zgodność wyników dotyczących średniej wilgotności badanych poletek. Różnice pomiędzy poszczególnymi pomiarami radiometrycznymi i odpowiadającymi im oznaczeniami suszarkowymi kształtowały się następująco: z ogólnej liczby pomiarów 32% wyników wykazywało różnice mniejsze od 0,5%, 30% miało odchylenia w granicach 0,6 i 1,0% oraz reszta, tj. 38% miała odchylenia większe od 1% H_2O . Na podstawie wymienionych liczb nie można wszakże wnioskować o dokładności metody neutronowej. Przyczynę odchyłeń należy upatrywać głównie w niedoskonałości metody wzorcowej, a zwłaszcza w błędach popełnianych przy objętościowym pobieraniu próbek glebowych cylindrami. Niedokładność metody neutronowej wynika w zasadzie tylko

z fluktuacji statystycznych rozpadu promieniotwórczego, a spowodowany nimi błąd standardowy wahał się przy dwuminutowych pomiarach w zakresie od 0,005 do 0,007 g H₂O/cm³, w zależności od stopnia nawilgocenia gleby.

Laboratoryjne i polowe badania przydatności sondy powierzchniowej do mierzenia wilgotności gleby pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Omawiana metoda pozwala na szybkie wykonywanie pomiarów wilgotności wierzchniej warstwy gleby do głębokości ok. 20 cm bez naruszania struktury.

2. Dzięki temu, że przyrząd pomiarowy jest przenośny, można dowolnie zagęszczać punkty pomiarowe i określać wilgotność badanych obiektów z żadaną dokładnością.

3. W badanym przedziale wilgotności zależność pomiędzy zawartością wody w glebie i częstością zliczeń ma charakter liniowy, co zmniejsza pracochłonność czynności związanych z kalibrowaniem przyrządu.

4. Jeśli ciężar objętościowy gleby badanego obiektu różni się istotnie od gęstości gleby używanej do kalibracji przyrządu, wówczas przy odczytach wilgotności należy uwzględnić poprawkę, której wielkość zależy od rodzaju gleby.

5. Użytkowanie sondy neutronowej wymaga ścisłego przestrzegania przepisów dotyczących bezpieczeństwa pracy przy posługiwaniu się źródłami promieniotwórczymi.

STRESZCZENIE

Przeprowadzone badania laboratoryjne i polowe miały na celu określenie przydatności neutronowej sondy powierzchniowej typu WP-64 do oznaczania wilgotności gleby w doświadczeniach uprawowych. Wykonano laboratoryjną kalibrację przyrządu na piasku luźnym, glinie lekkiej i glebie murszowej. W badanym zakresie wilgotności wykresy kalibracyjne mają przebieg liniowy, a współczynniki korelacji wynoszą: 0,9987, 0,9990 i 0,9958. Określono wpływ gęstości gleby na wskazania sondy pomiarowej. Zmianie gęstości o 0,1 g/cm³ odpowiada ekwiwalent wilgotności wynoszący dla piasku luźnego 0,5%, dla gliny lekkiej 0,8% i dla murszu 1,1%. W zakresie wilgotności od 5 do 30% zasięg pomiarowy przyrządu wynosi od 33 do 18 cm.

W warunkach polowych wykonano na dwóch poletkach 100 pomiarów przy pomocy sondy neutronowej i porównano wyniki z oznaczeniami wilgotności metodą suszarkową w 400 próbkach pobranych z wierzchniej warstwy gleby. Średnia wilgotność pierwszego obiektu wyznaczona metodą neutronową wynosiła $16,7 \pm 0,4\%$, a suszarkową $17,0 \pm 0,3\%$. Odpowiednie wielkości dotyczące drugiego obiektu wynosiły $21,7 \pm 0,5\%$ oraz $21,0 \pm 0,4\%$.

LITERATURA

1. Baranowski R. Post Nauk rol., (w druku).
2. Baranowski R. Pamiętnik Puławski, (w druku).
3. Barrada Y. Inter. Atom. Energy Agency, Vienna (1965).
4. Bavel C.H.M. van, Underwood N., Swanson R. W.: Soil Sci. 8, (1956).
5. Boekstegen P. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 4 (1963).
6. Borowczyk i inni: Nukleonika 9 (1964).
7. Czubek J. Sympozjum „Zastosowanie izotopów w geofizyce, hydrogeologii i geologii inż.” Karpacz 1967.
8. Marais P. G., Smitt W. B. South Afr. J. of Agr. Sci., 5 (1962).
9. Marcesse J. Atomic Energy Agency, Vienna (1967).
10. Olgaard P. L. Riso Report nr 97, Kopenhagen (1965).
11. Phillips R. E., Jensen C. R., Don Kirkham. Soil Sci. 89 (1960).
12. Unger K. Veröffentlichungen des Instituts für Agrarmeteorologie der Karl-Marks-Universität Leipzig 2 (1963).
13. Zuber A., Cameron J. F. Atomic Energy Review 4 (1966).

P. БАРАНОВСКИ

ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НЕЙТРОННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ ЗОНДОМ

Резюме

Проведенные лабораторные и полевые исследования имели за цель определение пригодности нейтронного поверхностного влагомератипа WP-64 для измерений влажности почвы в вспашковых опытах. Калибровку прибора сделано на рыхлом песке, легким суглинке и муршовой почве. В исследованном пределе влажности калибровочные графики имеют прямолинейное течение, причем корреляционные коэффициенты равны: 0,9987, 0,9990, и 0,9958. Определялось влияние плотности почвы на показания прибора. Разницы плотности равной $0,1 \text{ г/см}^3$ отвечает эквивалент влажности состоящий 0,5% для песка, 0,8% для суглинки и 1,1% для мурша. В пределе влажности от 5 до 30% показания влагомера распространяются на глубину 33—18 см.

В полевых условиях на двух объектах было проведено 100 измерений нейтронным прибором. Результаты по определению влажности сравнились весовым способом в 400 образцах извлеченных из поверхностного слоя почвы. Средняя влажность первого объекта определенная нейтронным методом составила $16,7 \pm 0,4\%$, а весовым $17,0 \pm 0,3\%$. Соответствующие величины другого объекта составляли $21,7 \pm 0,5\%$ и $21,0 \pm 0,4\%$.

LA MESURE DE L'HUMIDITÉ DU SOL À L'AIDE D'UNE SONDE SUPERFICIAIRE À NEUTRON

R é s u m é

Les recherches faites au laboratoire et en plein champ ont eu en vue de déterminer l'utilité pratique d'une sonde à neutron superficielle, type WP-64, servant à indiquer l'humidité du sol au cours des expériences culturales. On a effectué au laboratoire une calibration du dispositif sur le sable fin, l'argile léger et sur le sol humifère.

Par rapport à l'humidité soumise à l'examen les diagrammes de calibration font paraître un parcours linéaire, et les coefficients de corrélation se montent à 0,9987, 0,9990 et 0,9958. On a établi l'influence de la densité du sol sur les données de la sonde à mesure. Au changement de la densité de $0,1 \text{ g/cm}^3$ répond un équivalent d'humidité s'élevant à 0,5% pour le sable fin, à 0,8% pour l'argile léger et à 1,1% pour le sol humifère.

Au sujet de l'humidité de 5 à 30% la zone d'action du dispositif à mesure s'étend de 33 à 18 cm.

Dans les conditions de champ on a effectué sur deux parcelles 100 mesures à l'aide d'une sonde à neutron et ensuite on a comparé les résultats avec les données d'humidité obtenues par méthode de dessiccation sur 400 échantillons prélevés sur la couche supérieure du sol. L'humidité moyenne du premier objet désignée par méthode à neutron se montait à $16,7 \pm 0,4\%$ et par méthode de dessiccation à $17,0 \pm 0,3\%$. Les grandeurs analogues concernant le second objet s'élevaient à $21,7 \pm 0,5\%$ et à $21,0 \pm 0,4\%$.

BESTIMMUNG DER BODENFEUCHTIGKEIT MITTELS EINER NEUTRONEN-OBERFLÄCHENSONDE

Zusammenfassung

Durchgeführte Labor- und Felduntersuchungen hatten den Zweck die Verwendungsmöglichkeiten der Neutronensonde WP-64 zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit in Feldversuchen zu prüfen. Die Eichung des Gerätes wurde im Laboratorium auf einem Flugsandboden, lehmigen Sand und einem Murschboden ausgeführt. Im geprüften Feuchtebereich weisen die Eichungsdiagramme einen geradelinigen Verlauf auf und die Korrelationskoeffiziente haben die Werte: 0,9987, 0,9990 und 0,9958. Es wurde der Einfluss der Bodendichte auf die Messergebnisse bestimmt. Der Dichtedifferenz von $0,1 \text{ G/cm}^3$ entspricht einem Feuchteäquivalent von 0,5% für den Flugsandboden, 0,8% für lehmigen Sand und 1,1% für den Murschboden. Im Feuchtebereich von 5 bis 30% beträgt die Messtiefe der Sonde von 33 bis 18 cm.

Im Gelände wurden auf zwei Versuchsfeldern 100 Einzelmessungen mit der Neutronensonde durchgeführt und mit dem gravimetrisch bestimmten Wassergehalt in 400 von der oberen Bodenschicht entnommenen Bodenproben verglichen. Die nach der Neutronenmethode bestimmte Bodenfeuchtigkeit des ersten Objekts hatte einen Mittelwert von $16,7 \pm 0,4\%$ und durch Trocknung der Vergleichsproben $17,0 \pm 0,3\%$. Entsprechende Mittelwerte des zweiten Objekts betragen $21,7 \pm 0,5\%$ und $21,0 \pm 0,4\% \text{ H}_2\text{O}$.