

OPIS BUDOWY NOWEGO URZĄDZENIA DO POMIARU WILGOTNOŚCI GLEBY

Petr Šařec, Ondřej Šařec, Vaclav Prošek,
Katedra Użytkowania Maszyn, Czeski Uniwersytet Rolniczy w Pradze

Tomasz K. Dobek
Zakład Użytkowania Maszyn i Urządzeń Technicznych, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Streszczenie. W artykule przedstawiono opis nowej konstrukcji urządzenia do pomiaru wilgotności gleby oraz wyniki jego kalibracji. W zaprojektowanym przez autorów wilgotnościomierzu wykorzystano zjawisko zmian charakterystyk dielektrycznych gleby w wyniku zmian zawartości wody w glebie. Podstawowym elementem urządzenia są trzy elektrody. Zastosowane elektrody tworzą kondensator włączony w obwód oscylatora. Badane próbki gleby o różnej wilgotności wpływają na pojemność elektryczną, a tym samym i częstotliwość oscylatora. Wykorzystany w wilgotnościomierzu procesor zapisuje w pamięci i oblicza różnicę pojemności elektrycznej oraz częstotliwości oscylatora i po porównaniu z wzorcem wyświetla uzyskane wartości procentowej wilgotności badanej próbki. Wzorcowa tabela wilgotności gleby stworzona była metodą klasyczną.

Słowa kluczowe: pomiar wilgotności gleby, metoda dielektryczna, wilgotnościomierz

Wstęp

W ramach realizowanego projektu „Fizyczne właściwości gleby – pomiar wilgotności i stopnia ugniecenia gleby, a możliwości wykorzystania tradycyjnej i uproszczonej technologii uprawy”, powstała potrzeba opracowania metody szybkiego pomiaru wilgotności gleby. Jedną z możliwości jest pomiar metodą laboratoryjną walcowych próbek gleby. Metoda ta jest bardzo precyzyjna i obiektywna, ale zbyt pracochłonna żeby mogła znaleźć zastosowanie w pomiarach polowych. W polu nie dysponuje się niezbędnym wyposażeniem laboratoryjnym umożliwiającym szybki pomiar. To było powodem opracowania nowego wilgotnościomierza opartego na zasadzie pomiaru zmian właściwości dielektrycznych gleby wskutek zmian zawartości wody w glebie. Wykorzystanie wilgotnościomierza do określenia objętościowej zawartości wody jest możliwe dla gleby, dla której ten wilgotnościomierz został skalibrowany. Według sposobu pomiaru wilgotności gleby wyróżniamy metody bezpośrednie, gdy mierzoną wielkością jest bezpośrednio ilość wody w glebie (metoda grawimetryczna) i metody pośrednie gdy mierzona wielkość jest funkcyjnie zależna od wilgotności, np. pojemność elektryczna, przewodność cieplna, pochłanianie promieniowania, opór elektryczny i inne wielkości, z których następnie wilgotność gleby jest wyliczana. Aktualnie w praktyce stosowanych jest sześć metod służących do pomiaru wilgotności gleby. Należą do nich metody: neutronowa, gammaskopowa, pojemnościowa, TDR (Time Domain Reflektometry), oporowa oraz telemetryczna [Pospíšil 1981; Valla, Kozák 2000].

Metoda neutronowa oparta jest na następującej zasadzie: przy interakcji szybkich neutronów z jądrami atomów o małych masach atomowych dochodzi do spowalniania tych neutronów. Zjawisko to nosi nazwę termolizy neutronów. Termoliza jest największa przy zderzeniu neutronów z atomami wodoru. Jeżeli zawartość wodoru w glebie jest względnie mała, termoliza jest zależna od zawartości wody w glebie. Wokół źródła szybkich neutronów powstaje ośrodek zawierający wolne neutrony. Szybkie neutrony ze źródła emitowane są do otoczenia radialnie, zderzają się sprężysto z jądrami atomowymi i stopniowo tracą część swej energii kinetycznej. Największa strata energii ma miejsce przy zderzeniach z cząsteczkami o takiej samej masie i na odwrót, przy zderzeniu z dużym jądrem atomowym neutron odbija się bez straty energii. Spowalniane neutrony wytwarzają wokół źródła jak gdyby sferyczny „obłok”. Im większa jest wilgotność gleby tym szybciej neutrony ulegną spowolnieniu i wytworzą obłok o małej średnicy.

Metoda gammaskopowa jest to metoda służąca zarówno do pomiarów laboratoryjnych jak i terenowych. Zasada pomiaru jest następująca: przy przejściu promieniowania gamma przez materiał obniża się jego natężenie wprost proporcjonalnie do gęstości materiału. W przypadku materiału glebowego natężenie to jest zależne od gęstości i wilgotności. Do pomiaru wilgotności używa się monoenergetycznego promieniowania gamma ze źródła, którym zazwyczaj jest Ameryk izotop 241 (Am^{241}). Promieniowanie przechodzi przez szczelinę kolimacyjną tworząc wąską wiązkę promieniowania padającego na scyntylicyjny detektor. Detektor mierzy natężenie przechodzącego promieniowania za pomocą kryształku jodku potasu aktywowanego talem. Miarą natężenia przechodzącego promieniowania jest ilość fotonów emitowanych w jednostce czasu. W przypadku nie pęczniejącego materiału glebowego można metodą gammaskopowa określić jedynie zmianę wilgotności, a przy stałej wilgotności musimy również zmierzyć gęstość objętościową materiału glebowego.

Metoda pojemnościowa. Zaletą tej metody jest bezpieczeństwo. Nie używa się w tym przypadku szkodliwego promieniowania. Ideą tej metody jest wytworzenie kondensatora z dielektrykiem, którym jest gleba zawarta pomiędzy elektrodami. Własności dielektryczne gleby zależą od zawartości wody w porach – wilgotności. Ponieważ między elektrodami wytworzone jest słabe, zmienne pole elektryczne własności dielektryczne możemy charakteryzować przenikalnością względną oraz tangensem kąta strat dielektrycznych $\tan \delta$ (stratność dielektryczna) ponieważ względna przenikalność powietrza ϵ jest w przybliżeniu równa 1, a wody przy temperaturze $18^\circ C - 81$. Zawartość wody w glebie będzie miała znaczny wpływ na wartość ϵ . Zależy ona również od zmian gęstości właściwej gleby, temperatury i składu chemicznego roztworu glebowego. W pojemnościowych metodach pomiaru jest określana bezpośrednio lub za pomocą wielkości, które są zależne od ϵ .

Metoda TDR (Time Domain Reflektometry) polega na pomiarze czasu przejścia wysokoczęstotliwościowego impulsu magnetycznego pomiędzy prętami wciśniętymi w glebę. Gleba jest dielektrykiem którego stała dielektryczna zależy od wilgotności.

Metoda oporowa. Metoda ta wykorzystuje zależność oporności elektrycznej porowatego materiału glebowego od zmian wilgotności tego materiału. Faza stała gleby nie jest przewodnikiem elektrycznym. Zależność oporu elektrycznego R_E od wilgotności określa wzór (1):

$$R_E = \frac{a}{W^b} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (1)$$

gdzie:

- T – temperatura,
- α – współczynnik temperatury zależny od oporu R_E ,
- a, b – stałe zależne od składu chemicznego gleby, własności fazy stałej i gęstości objętościowej.

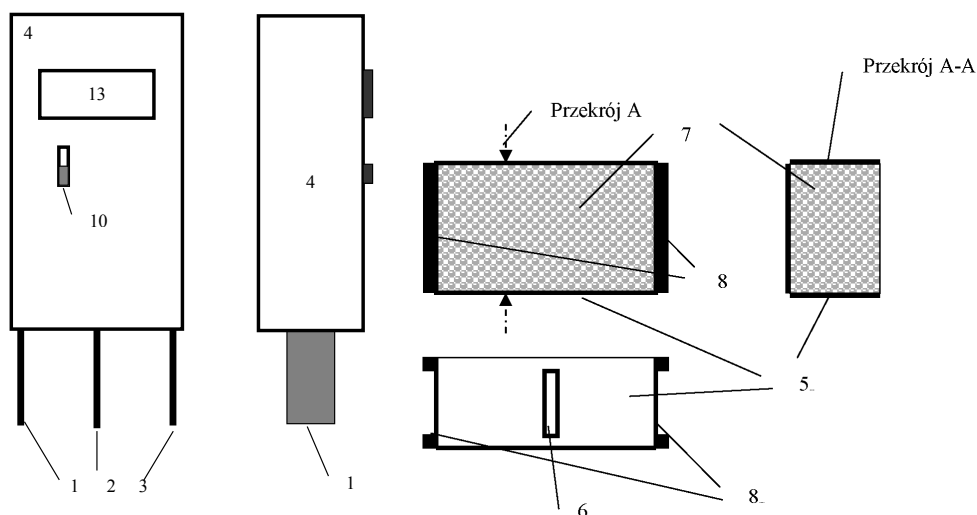
Zależność ta przy niskiej wilgotności jest praktycznie liniowa. Przy wysokiej wilgotności dochodzi do małej zmiany wilgotności, a zatem i oporu. Wpływ na wynik pomiaru ma również temperatura. Wpływ ten kompensuje się w ten sposób, że opór R_T zmierzony przy temperaturze T przeliczany jest na opór przy temperaturze T_S . Do pomiaru używa się metalowych elektrod o różnym kształcie (pręty, płaskie i walcowe siatki itp.). W celu zachowania geometrii i kontaktu elektrod z glebą, elektrody te zalewa się różnymi porowatymi tworzywami sztucznymi tworząc bloczki. Do pomiaru oporności można użyć typowych przyrządów jak omomierze, mostki oporowe lub przyrządy specjalnie skonstruowane do mierzenia oporności i temperatury gleby. Dokładność pomiaru tą metodą jest około 2%. Metoda jest odpowiednia do stacjonarnych pomiarów w terenie w długich odcinkach czasu. Charakterystyka kalibracyjna nie jest tu liniowa. Należy ją wyznaczać w jednokierunkowym procesie suszenia materiału ponieważ nie można założyć, że rozkład porów w glebie i bloczkach pomiarowych jest jednakowy we wszystkich próbkach gleby. Przy wyrównywaniu wilgotności pomiędzy bloczkiem pomiarowym i mierzonym materiałem występuje histereza.

Metody telemetryczne. Pomiar wilgotności gleby metodami zdalnego skanowania może być wykonywany ze stacji naziemnych, zdalnie sterowanych samolotów, samolotów załogowych i satelitów. Metody te umożliwiają śledzenie zmian wilgotności gleby przy charakteryzowaniu glebowych procesów hydrologicznych. Zdjęcia mogą objąć obszarowo rozległe zjawiska na powierzchni ziemi, których nie da się śledzić za pomocą metod naziemnych. Metody zdalne dostarczają kompleks dodatkowych informacji jak np. temperatura, kształt powierzchni promieniowanie i inne. Do zdalnego pomiaru można wykorzystać najróżniejsze techniki pomiarowe takie jak: detekcja naturalnego promieniowania gamma, przy wykorzystaniu zależności naturalnego promieniowania gamma z powierzchni mokrej i suchej, czy techniki mikrofalowe – oparte na podobnej zasadzie jak pojemnościowa metoda pomiaru wilgotności tj. zależność pomiędzy wartością stałej dielektrycznej gleby a jej wilgotnością. Zdalne metody pomiaru są dziedziną szybko rozwijającą się i w fachowej literaturze stale pojawiają się nowe techniki pomiaru [Pospíšil 1981; Valla, Kozák 2000]. Celem pracy był opis budowy oraz ocena działania nowego urządzenia do pomiaru wilgotności badanych próbek gleby.

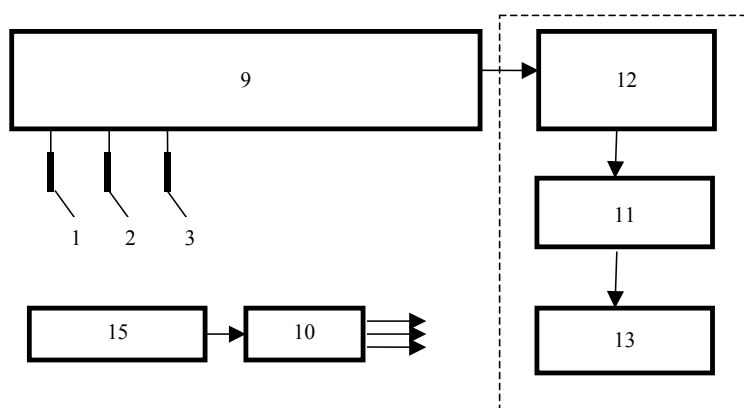
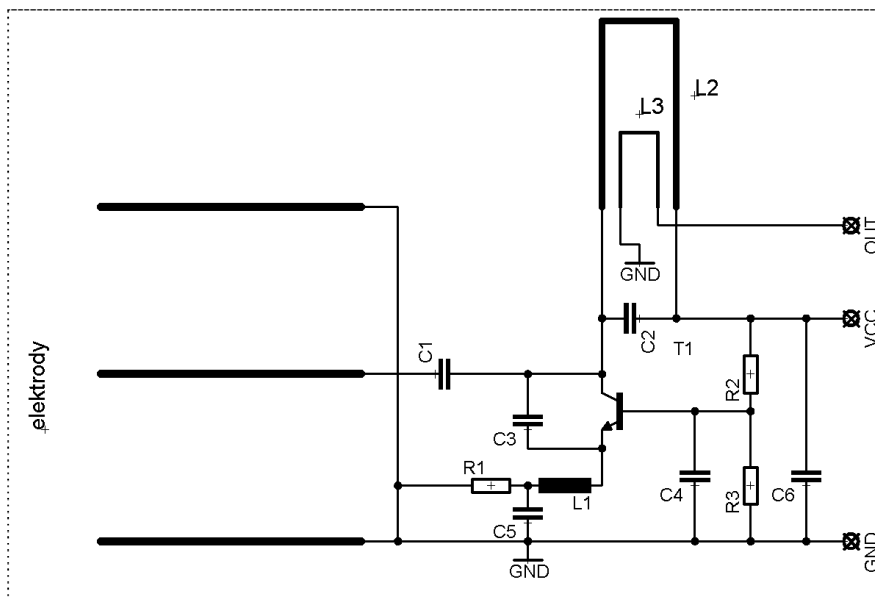
Metodyka pomiaru

W nowo skonstruowanym wilgotnościomierzu zasadniczą częścią urządzenia są trzy elektrody (rys. 1) o kształcie prostokątnym i wymiarach 20 x 60 x 1 mm umieszczone na obudowie przyrządu. Na elektrody nasuwany jest pojemnik (5) wykonany z materiału izolacyjnego. Pojemnik ma o profilowane boki i jest napełniany próbką badanej gleby. W próbce gleby jest wykonany otwór na środkową elektrodę. Dwie zewnętrzne elektrody

(rys.2) są połączone z masą przyrządu, a środkowa elektroda jest wsunięta do ziemi. Trzy elektrody tworzą kondensator włączony w obwód oscylatora (9). Próbką gleby o różnej wilgotności umieszczona pomiędzy elektrodami pełni rolę dielektryka, który wpływa na pojemność, a tym samym na częstotliwość oscylatora w sposób zależny od zawartości wody w badanej próbce ziemi. Po podłączeniu źródła napięcia (15) przełącznikiem (10), procesor (11) mierzy częstotliwość (rys. 2) oscylatora (9) przez dzielnik częstotliwości (12) w stosunku 1/256. Zmierzona wartość jest zapisywana w wewnętrznej pamięci i zerowany jest wyświetlacz (13), w ten sposób następuje zerowanie przyrządu. Po wsunięciu naczynia (5) z badaną próbką gleby (7) zmienia się pojemność elektryczna pomiędzy elektrodami (1), (2), (3), a zatem i częstotliwość oscylatora (9). Wartość częstotliwości z dzielnika napięcia (12) zapisywana jest w wewnętrznej pamięci procesora (11). Procesor oblicza różnice obu zmierzonych wartości i porównuje z wzorcową tabelą wilgotności. Uzyskane z pomiaru wartości procentowej wilgotności są pokazywane na wyświetlaczu (13). Tabela jest częścią programu zapisanego w pamięci procesora (11). Jest ona utworzona w oparciu o pomiary próbek o różnej wilgotności metodą klasyczną (ważenia i suszenia). Ze zmierzonych wartości utworzony był wykres gradientu trendu, a z tego wykresu odczytywane były wartości co 0,1% wilgotności.



Rys. 1. Przyrząd do pomiaru wilgotności: 1, 2, 3 – elektrody, 4 – obudowa, 5 – pojemnik na glebę, 6 – otwór na elektrodę, 7 – badana gleba, 8 – profilowane boki pojemnika, 10 – włącznik, 13 – wyświetlacz
 Fig. 1. Instrument measuring humidity: 1, 2, 3 – electrodes, 4 – housing, 5 – container for soil, 6 – hole for electrode, 7 – examined soil, 8 – profiled sides of container, 10 – switch, 13 – display



Rys. 2. Układ pomiarowy wilgotnościomierza: 1, 2, 3 – elektrody, 9 – oscylator, 10 – włącznik, 11 – procesor, 12 – dzielnik częstotliwości, 13 – wyświetlacz, 15 – zasilacz
 Fig. 2. Hygrometer measuring system: 1, 2, 3 – electrodes, 9 – oscillator, 10 – switch, 11 – processor, 12 – frequency divider, 13 – display, 15 – power supply unit

Dla sprawdzenia prawidłowości działania nowego wilgotnościomierza przeprowadzono kalibrację urządzenia, a uzyskane średnie wartości wilgotności badanej gleby przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Średnie wartości wilgotności badanych próbek gleby uzyskane za pomocą nowego wilgotnościomierza oraz metodą klasyczną
 Table 1. Average humidity values for the examined soil samples obtained using the new hygrometer and the conventional method

| Pomiar wilgotności | Średnia wilgotność badanych próbek [%] | | | | | | | | | |
|--------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Nowy wilgotnościomierz | 13,2 | 14,8 | 16,4 | 17,4 | 18,2 | 19,3 | 20,1 | 21,3 | 22,4 |
| Metoda klasyczna | 13,5 | 15,1 | 16,5 | 17,5 | 18,1 | 19,1 | 19,8 | 21,0 | 22,1 | |

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Zaprojektowane urządzenie charakteryzuje się prostotą budowy oraz łatwą obsługą. W stosunku do urządzeń pomiarowych stosowanych we wcześniej omawianych metodach zasada pomiaru jak i odczytu, w omówionym wilgotnościomierzu, nie wymaga dodatkowych przyrządów, a na wyświetlaczu odczytywany jest wynik pomiaru. Wilgotnościomierz mierzy wilgotność w oparciu o zmiany właściwości dielektrycznych gleby, które zależą od wilgotności badanej próbki. Pomiar ilości wody jest objętościowy. Zmierzona wilgotność jest zależna od stopnia ugniecenia próbki gleby w pojemniku pomiarowym. Im większe jest ugniecenie tym większą wilgotność wskazuje przyrząd. Przy niskiej wilgotności 0-10%, przy pobieraniu próbki gleba rozpada się na grudki. W pojemniku pomiarowym zwiększa się przez to zawartość powietrza (stała dielektryczna powietrza równa się 1), co powoduje powstanie błędu pomiaru 0-1,5% przy przeliczeniu na wilgotność masową. Pomiar wilgotności masowej w oparciu o wilgotność objętościową wymaga znajomości lokalnej stałej dielektrycznej, masy właściwej i struktury masy suchej, a wtedy przy takim samym stopniu ugniecenia próbek wyniki pomiarów będą bardzo dokładne. Wilgotnościomierz jest cechowany dla średnio ciężkiej gleby i wynik pomiaru jest interpretowany jako wilgotność masowa. Cechowanie było prowadzone w oparciu o pomiary 7 próbek o dokładnie znanej wilgotności masowej, a powstała tabelka była wykorzystana do stworzenia wzorcowego wykresu. Wykres ten jest wykorzystywany przez program mikrokomputera zainstalowany w wilgotnościomierzu i służy do określania rzeczywistej wilgotności gleby badanej próbki. Taki wariant został wybrany jako optymalny ze względu na szybkość i dokładność pomiaru.

Bibliografia

- Pospíšil F.** 1981. Group and fractional composition of the humus of different soil. Proceedings of the 5 International Soil Science Conference. Prague, Part I s. 135-138.
Valla M., Kozák J. 2000. Pedologické Praktikum, Česká zemědělská univerzita v Praze Agronomická Fakulta s. 33-38.

DESCRIPTION OF NEW DESIGN OF AN INSTRUMENT MEASURING SOIL HUMIDITY

Abstract. The article contains description of a new design of an instrument measuring soil humidity and presents its calibration results. Hygrometer designed by the authors uses the effect of changes in dielectric characteristics of soil resulting from changes of water content in soil. Three electrodes constitute basic element of the instrument. Employed electrodes form a condenser included in the oscillator circuit. Examined soil samples characterised by different humidity affect oscillator capacitance and thus its frequency. The processor installed in the hygrometer stores in its memory and computes differences in capacitance and frequency of the oscillator. Then, after having compared them to standard values, it displays obtained results of examined sample percent humidity. Model soil humidity chart has been created using the conventional method.

Key words: soil humidity measurement, dielectric method, hygrometer

Adres do korespondencji:

Prof. Ing. Ondřej Šařec, CSc.: e-mail: sarec@tf.czu.cz
Katedra Využití Strojů, Technická fakulta, Česká Zemědělská Univerzita v Praze
ul. Kamýcká 129
65 21, Praha 6- Suchbátka, Česká Republika