

Ryszard RYBSKI¹, Tomasz FRYGIEL¹, Jakub KOSTECKI², Krzysztof PIOTROWSKI³

¹Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki

²Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska

³IHP – Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik, Frankfurt (Oder), Germany

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII REFLEKTOMETRII W DZIEDZINIE CZASU DO BADAŃ PARAMETRÓW GRUNTÓW

W pracy przedstawiono koncepcję budowy stanowiska badawczego opartego o metodę TDR (Time Domain Reflectometry) umożliwiającego w sposób nieniszczący zbadanie wilgotności próbki gruntu na wielu poziomach jej pionowego przekroju z możliwością automatycznej rejestracji wyników serii pomiarów.

APPLICATION OF TIME DOMAIN REFLECTOMETRY TECHNOLOGY FOR MONITORING SOIL PARAMETERS

The paper presents a concept of constructing a testing station based on Time Domain Reflectometry (TDR) method, which enables non-destructive testing of ground sample moisture content at many levels of its vertical cross-section with the functionality of automatic registration of measurement series results.

1. WPROWADZENIE

Celem niniejszej pracy jest prezentacja koncepcji systemu pomiarowego do badania wilgotności gruntu przy zastosowaniu technologii reflektometrii w dziedzinie czasu TDR (Time Domain Reflectometry). Metoda wprowadzona została na potrzeby badań realizowanych w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego w celu usprawnienia i zwiększenia wydajności pomiarów wilgotności próbek gruntu, które do tej pory w Instytucie badane były metodą grawimetryczną. Metoda ta ogranicza możliwości zbadania w szybki i wydajny sposób wilgotności na kilku poziomach wysokości próbki gruntu oraz dodatkowo działa na próbkę niszcząco. Pomiar metodą TDR odbywają się w obrębie cylindra kolumny gruntowej z badaną próbką gruntu i czujnikami umieszczonymi wewnątrz. Opracowano oraz wdrożono stanowisko umożliwiający w sposób nieniszczący zbadanie próbki na wielu poziomach jej pionowego przekroju z możliwością rejestracji wyników pomiarów oraz ich automatyzacji w interwałach czasu [1].

Wilgotność jest jedną z podstawowych cech fizycznych gruntu. Występuje jako szukany parametr w badaniach środowiskowych gruntów z różnych powodów m. in. celem wyznaczenia krzywej sorpcji wody. Ciągły rozwój badań agrofizycznych dla doskonalenia jakości płodów rolnych opiera się między innymi na rozwoju metod szybkiego i precyzyjnego pomiaru właściwości fizycznych gruntu. Wilgotność jest głównym parametrem, którego kontrola jest decydująca w zakresie określania parametrów drogi wody w układzie gleba-roślina-powietrze. Z definicji wilgotność oznaczana jest na podstawie badań laboratoryjnych i jest to procentowy stosunek masy wody zawartej w jego wolnych przestrzeniach (porach) do masy szkieletu gruntowego [2].

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\% \quad (1)$$

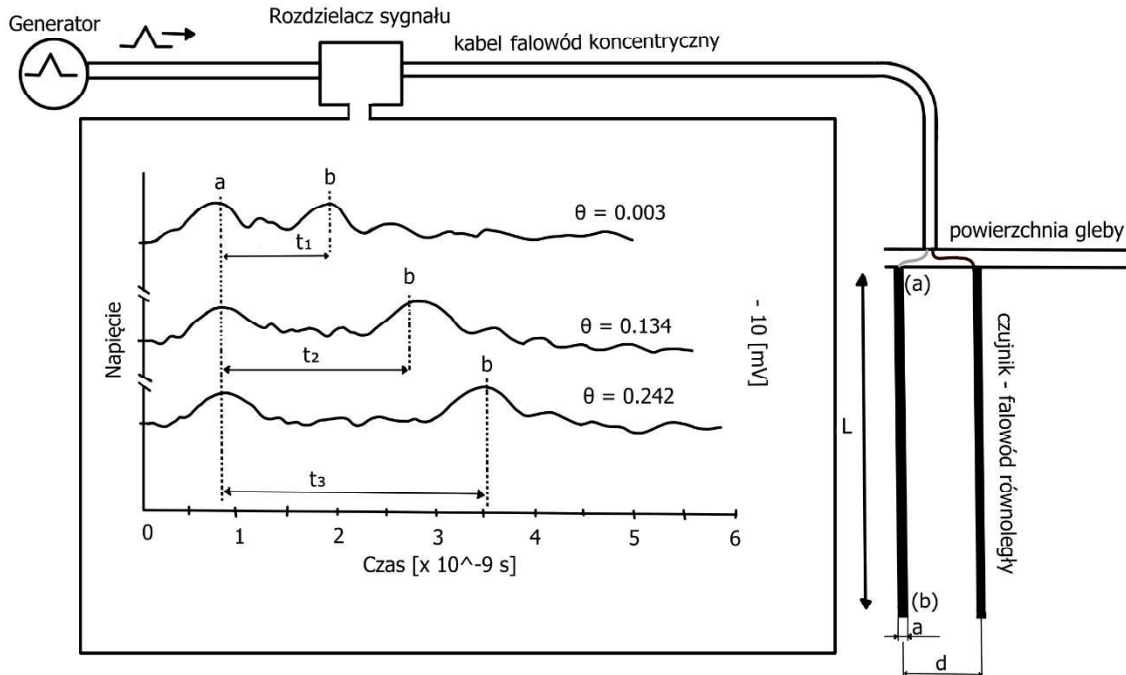
gdzie:

m_w - masa wody, m_s - masa szkieletu gruntowego, czyli cząstek gruntu.

Jedną z najnowszych zdobyczy nauk technicznych w tej dziedzinie jest wykorzystanie reflektometrii w dziedzinie czasu do wyznaczenia wilgotności gruntu.

2. METODYKA BADAŃ

Metoda TDR bazująca na reflektometrii w dziedzinie czasu została zastosowana do budowy stanowiska do badań wilgotności gruntu prezentowanego w niniejszej pracy. Głównym elementem systemu pomiarowego jest połączona z komputerem klasy PC, ośmiokanałowa jednostka laboratoryjna TDR/MUX/MPTS do pomiaru wilgotności metodą TDR wraz z sondami pomiarowymi LP/ms stanowiącymi falowód równoległy (rys. 1) [1].



Rys. 1. Zasada działania przyrządu TDR do badania wilgotności gruntu.
Fig. 1. Principle of operation of the TDR instrument for soil moisture testing.

Metoda TDR polega na wygenerowaniu impulsu wejściowego o czasie narastania i opadania oscylującego wokół $300 \cdot 10^{-12}$ s i przemieszczenie go z generatora impulsu szpilkowego kablem koncentrycznym o impedancji falowej 50Ω do falowodu z dielektrykiem o wyznaczonej przenikalności dielektrycznej (rys. 1). Falowód to sonda pomiarowa utworzona z dwóch równoległych prętów ze stali nierdzewnej. Długość prętów wynosi L . Linia transmisyjna monitorowana jest przez rejestrator monitorujący umieszczony pomiędzy generatorem a sondą. Odbicie impulsu, które występuje z powodu braku ciągłości impedancji między falowodem a kablem rejestrowane jest jako a natomiast pozostała nieodbita część impulsu propaguje wzdłuż prętów sondy i odbija się od ich końca b [3, 4].

Rys. 1 obrazuje reflektogramy zarejestrowane dla suchego, lekko wilgotnego oraz mokrego gruntu i widać na nim, że czas t między odbiciami jest wprost proporcjonalny do wilgotności gleby- zwiększa się wraz ze wzrostem wilgotności. W gruncie więc wraz ze wzrostem wilgotności dochodzi do spadku prędkości rozchodzenia się impulsu fali elektromagnetycznej [3 - 5].

Wzór wyrażający prędkość propagacji v impulsu elektrycznego wzdłuż prętów sondy:

$$v = \frac{2L}{(t_b - t_a)} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_b}} \quad (2)$$

gdzie:

v - prędkość propagacji impulsu, $\epsilon_b(\theta)$ - pozorna względna przenikalność ośrodka- zależna od jego wilgotności.

W temperaturze pokojowej przenikalność fazy ciekłej wynosi 80, a fazy stałej 3-5 natomiast fazy gazowej 1. Można zatem przy pomocy metody TDR wyznaczyć pozorną przenikalność materiału i

następnie jego wilgotność objętościową θ , która jest parametrem szukanym przy pomiarze wilgotności za pomocą reflektometru i wyznacza się ją z zależności $\theta_{TDR} = f(\epsilon_b)$.

Reflektometria w dziedzinie czasu jest bardzo dobrym i wydajnym rozwiązaniem przy konieczności zastosowania ciągłego monitoringu rozkładu wody w glebie, zarówno w terenie jak i laboratorium. Wyniki pomiarów w pełnym zakresie od 0% do 100% wilgotności obarczone są niewielkim błędem rzędu 1 – 2%. Niewątpliwą wielką zaletą jest monitorowanie sygnałów z wielu sond jednocześnie przy zastosowaniu jednego systemu monitorującego. Temperatura i zasolenie nie mają wpływu na wyniki pomiarów. Czynnikiem zakłócającym mogą być kamienie bezpośrednio przylegające do sond w próbce oraz wolne przestrzenie powietrzne w niej występujące [1, 4].

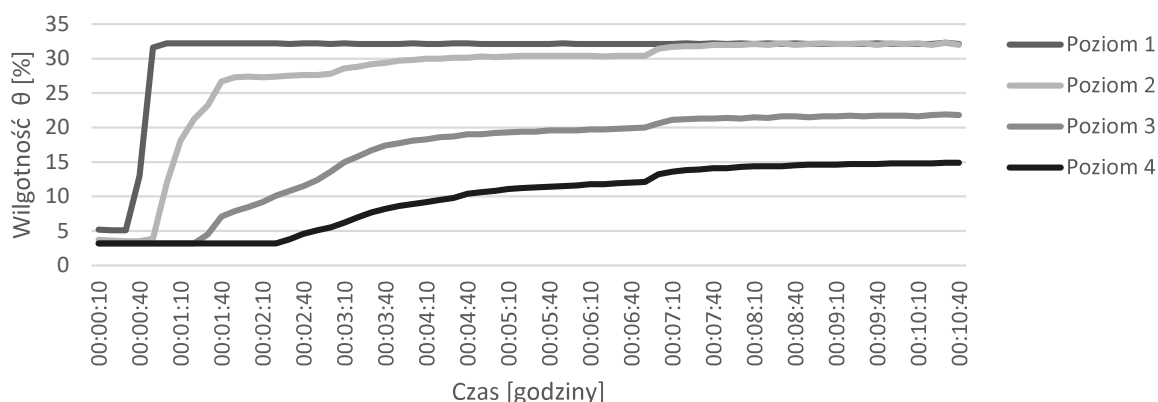
3. WYNIKI BADAŃ METODĄ TDR

Eksperyment z pomiarami wilgotności dla piasku przeprowadzono z wykorzystaniem czterech poziomów tzw. kolumny gruntowej (rys. 2). Pomiar odbywa się w trakcie podciągu wody przez grunt ponad jej lustro. Piasek został przesiany przez sito 0 - 1 mm. Jego próbka została wsypana do kolumny gruntowej i zagęszczona niewielką siłą [1].



Rys.2. Kolumna gruntowa z sondami wprowadzonymi w próbkę piasku na czterech poziomach wysokości.
Fig.2. A soil column with probes inserted into the sand sample at four height levels.

Kolumna gruntowa została postawiona na naczyniu o wysokości około 10 mm. Czas między seriami pomiarowymi ustawiony na 10 s. Po napełnieniu naczynia rozpoczął się proces podciągu wody przez piasek w kierunku górnej części kolumny. Pomiar zakończono w momencie całkowitego wysycenia próbki piasku wodą. Przykładowe wyniki pomiarów przedstawia rys. 3 [1].



Rys. 3. Wykres wilgotności piasku na czterech poziomach kolumny gruntowej w funkcji czasu.
Fig. 3. Sand moisture at four levels of the soil column in time function.

Wysycenie próbki od momentu jej zetknięcia z lustrem wody do momentu całkowitego jej wypełnienia trwało około 10 minut, w których trakcie przeprowadzono 63 pomiary dla każdego z 4 poziomów kolumny gruntowej.

Pomiary wilgotności metodą TDR realizowane są bez zauważalnych zakłóceń. Widać na nich wzrost poziomu wilgotności próbki piasku na poszczególnych poziomach jej wysokości. Poprawność działania systemu zbadana została poprzez wykonanie wielu serii pomiarów w skrajnie odmiennych ośrodkach gruntowych od piasków po glinę. Każdorazowo uzyskano serie danych umożliwiające zobrazowanie wysycania próbki wodą na wzór wykresów zaprezentowanych na rys. 3.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda jest nowoczesna i dokładna, a w zasadzie należy do najdokładniejszych ze wszystkich dostępnych bezpiecznych dla użytkownika metod. Zaprezentowano metodę nieinwazyjną, nieniszczącą. Próbki po pomiarach i wysuszeniu mogą być badane wielokrotnie w różnych warunkach temperaturowych, różnych wilgotnościach powietrza i innych zmiennych warunkach przyjętych na cele dowolnego eksperymentu.

Zachodzi potrzeba przeprowadzenia dalszych testów systemu w kolumnach gruntowych o różnych wymiarach i różnych próbkach choćby dla potwierdzenia stabilności pomiarów przy ich powtarzaniu w identycznych warunkach czy zbadania błędu pomiarowego z jakim pracuje system. Konieczne jest ustalenie ostatecznych parametrów kolumny glebowej tak, aby możliwie najwierniej umożliwiała zachować naturalną pracę gruntu. Koniecznym elementem rozwoju systemu jest zastosowanie wielu kolumn, aby w ciągu jednego dnia możliwe było wykonywanie wielu eksperymentów. Proponuje się również pobieranie próbek polowych bezpośrednio do kolumn glebowych celem późniejszego montażu sond pomiarowych w laboratorium w sposób bezpośredni – bez konieczności przekładania próbki gruntu do właściwej kolumny. Próbki mogą być z różnych względów w takich kolumnach również archiwizowane.

Zaproponowana metoda pomiarowa może służyć do badań wilgotności nie tylko gruntów. System pomiarowy wraz z rozwiązaniem polegającym na badanych w pionowej kolumnie można zaadoptować w innych dziedzinach, gdzie wilgotność może służyć różnym celom związanym z badaniem profili rozchodzenia się wody w dowolnych układach być może wykraczając daleko poza geotechnikę i agrofizykę.

PODZIĘKOWANIE

Praca była częściowo finansowana ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu BB-PL INTERREG V A 2014-2020 „Redukcja barier – wykorzystanie wspólnych mocnych stron”, projekt SmartRiver, grant nr 85029892. Instytucje finansujące nie brały udziału w projektowaniu badania, gromadzeniu, analizie lub interpretacji danych, w pisaniu manuskryptu ani w podejmowaniu decyzji o publikacji wyników.

LITERATURA

1. Frygiel T.: System pomiarowy do monitorowania parametrów gruntu. Praca magisterska, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki, Zielona Góra 2022.
2. Szymański A.: Mechanika Gruntów, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2007.
3. Suchorab Z., Widomski M., Łagód G, Barnat-Hunek D., Smarzewski P.: Methodology of moisture measurement in porous materials using Time Domain Reflectometry, DE Gruyter, Lublin 2014.
4. Gliński J., Horabik J., Lipiec J., Sławiński C.: Agrofizyka - procesy, właściwości, metody. Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2014.
5. Górniak A., Matyka M.: Metody monitoringu wilgotności gleby, Zagadnienia Doradztwa Rolniczego nr 2/2016, Puławy 2016.