

KALIBRACJA SPEKTROFOTOMETRYCZNA MODELU SONDY ODBICIOWEJ DO DYNAMICZNEGO POMIARU WILGOTNOŚCI GLEBY

Tomasz Wojciechowski, Leszek Piechnik

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Upowszechnienie systemów rolnictwa precyzyjnego ograniczane jest przez brak lub małą dostępność wydajnych dynamicznych metod monitorowania środowiska glebowego. Rolę odegrać może tutaj zastosowanie metody odbiciowej pomiaru wilgotności gleb. W ramach prowadzonych działań opracowano metodykę dynamicznego pomiaru wilgotności gleby metodą odbiciową oraz sformułowano założenia i skonstruowano miernik z komercyjnym czujnikiem odbiciowym. Przeprowadzono badania spektrofotometryczne w zakresie NIR co pozwoliło na określenie długości fal najsilniej skorelowanych z wilgotnością gleb oraz ich porównanie z operacyjną długością fali czujnika optoelektronicznego miernika.

Słowa kluczowe: wilgotność gleby, czujnik, odbicie, spektrofotometria, pomiar dynamiczny

Wstęp

Metoda odbiciowa wykorzystuje związek pomiędzy wilgotnością gleby, a jej fizyczną cechą do odbicia lub absorpcji promieniowania elektromagnetycznego. Badania korelacji wartość odbicia - zawartość wody w glebie prowadzone są przy użyciu komercyjnych spektrofotometrów lub konstrukcji własnych czujników jednowiązkowych i hiperspektralnych [Stafford 1988; Price i Gaultney 1993; Sudduth i Hummel 1993; Shibushawa i in. 2000]. Tylko nieliczne doniesienia przedstawiają konstrukcje pozwalające na pomiar odbicia w ruchu [Mouazen i in. 2005]. Wynika to przede wszystkim z skomplikowanej budowy układów spektrofotometrycznych i problemu ich aplikacji w pomiarach terenowych, a także trudnościami z montażem delikatnych elementów optycznych w urządzeniach roboczych pracujących w niekiedy ciężkich warunkach glebowych.

Większość przedstawionych rozwiązań charakteryzowała się dużą kosztocłonnością materiałową, ale dla szerokiego zastosowania konstruowanych sensorów w systemach rolnictwa precyzyjnego potrzebne jest, aby były one jednocześnie trwałe i tanie. Propozycją wykorzystania tańszych emiterów i detektorów fal podczerwonych jest miernik skonstruowany w Instytucie Techniki Rolniczej Uniwersytetu Hohenheim w Niemczech [Engler 1996] wraz z późniejszymi modyfikacjami wprowadzonymi przy współpracy Instytutu Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej w Poznaniu [Morhard i in. 2001]. Podstawą jego konstrukcji jest wykorzystanie czujnika optoelektronicznego typu transoptora otwartego odbiciowego jako źródła i detektora promieniowania NIR (near infrared) w odróżnieniu od innych konstrukcji sond NIR, gdzie fotoemiter i fotodetektor występowały jako osobne elementy układu [Shonk i in. 1991]. Sprzężenie optyczne występujące w transoptorze

pozwała na jego wykorzystanie w metodzie obciążeniowej pomiaru wilgotności gleb. Komercyjne transoptory odbiciowe charakteryzują się długością operacyjną fal w zakresie promieniowania VIS (visible) i NIR. Nie przekracza ona jednak 1050 nm. Mimo ich małego spektrum działania i zakresu fal o słabszej korelacji z wodą dotychczasowe prace pozwalają stwierdzić, iż metoda ta wydaje się być skuteczna zarówno przy pomiarze wilgotności podłoża ogrodniczych [O'Mahony i in. 1998; Morhard i in. 2002; Weerasinghe i in. 2008], jak i gleb rolniczych w pomiarach statycznych [Piechnik 2002].

Podjęto zatem próbę oceny metody odbiciowej dynamicznego pomiaru wilgotności gleb zbudowanym modelem miernika wyposażonym w czujnik optoelektroniczny. Ocena wykonana została w kilku etapach. W niniejszej pracy przedstawiona zostanie jej pierwsza część tj. charakterystyka modelu miernika oraz badania spektrofotometryczne wybranych gleb określające wpływu wilgotności bezwzględnej (W) czterech gleb lekkich na wartość odbicia fali (R) z zakresu NIR. Wykonanie charakterystyk spektralnych pozwoliło na określenie długości fal najsilniej skorelowanych z wilgotnością gleb oraz ich porównanie z operacyjną długością fali czujnika optoelektronicznego miernika.

Materiał i metody badań

W badaniach użyto próbek glebowych pobranych z poziomów orno-próchnicznych czterech pól uprawnych. Glebę przesiano na sucho przez sito o średnicy oczek 2 mm. Pobrane gleby (oznaczone kodami D, Wrz1, Wrz2 i M) należące do podgrupy granulometrycznej piasków gliniastych charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością próchnicy od 1,34 do 8,74%. Charakterystyki podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych badanych gleb (tabela 1) oznaczono metodami powszechnie znanymi i stosowanymi w analizie gleboznawczej [Oyama i Takehara 1995; Mocek i in. 2004].

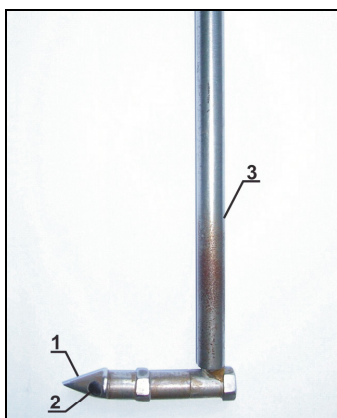
Tabela 1. Właściwości fizyczne i chemiczne gleb użytych w badaniach
Table 1. Physical and chemical properties of solids used in tests

Kod próbki glebowej	Gęstość fazy stałej ρ [g/cm ³]	Zawartość substancji organicznej		Wilgotność gleby powietrznie suchej W_{PS} [% wag.]	Wilgotność przy laboratoryjnej pojemności wodnej W_{LPW} [% wag.]	pH		Kolor	
		C_{org} [%]	Próchnica [%]			1nKCl	H ₂ O	S-sucha	M-mokra
D	2,54	0,78	1,34	0,44	13,81	5,8	6,8	10YR 6/3	10YR
Wrz1	2,62	0,85	1,47	0,57	16,93	5,7	7	10 YR 7/4	10YR 4/3
Wrz2	2,5	1,32	2,28	0,94	18,77	6,9	7,6	10YR 5/2	10YR 3/1
M	2,33	5,07	8,74	2,71	33,41	6,5	7,3	10YR 4/1	10YR 1.7/1

Badania spektrofotometryczne przeprowadzono przy użyciu spektrofotometru NIR System 6500 w zakresie długości fal od 400 do 2500 nm z interwałem 2 nm w standardowych pojemnikach pomiarowych. Badano próbki gleby o zawartości wody w zakresie od wilgotności gleby powietrznie suchej (W_{PS}) do wilgotności przy laboratoryjnej pojemności wodnej (W_{LPW}). Kontrolę wilgotności wykonywano metodą suszarkowo-wagową.

Budowa miernika

Miernik składa się z sondy roboczej, układu elektronicznego wzmocnienia sygnału, układu zasilania, układu odczytu oraz uchwyty. Zakończony jest sondą ze stalowym stożkiem. Dla potrzeb badań statycznych i dynamicznych wykonano dwa typy sond – pracującą w ruchu pionowym i poziomym. W niniejszej pracy przedstawiono sondę o ruchu poziomym (rys. 1.).



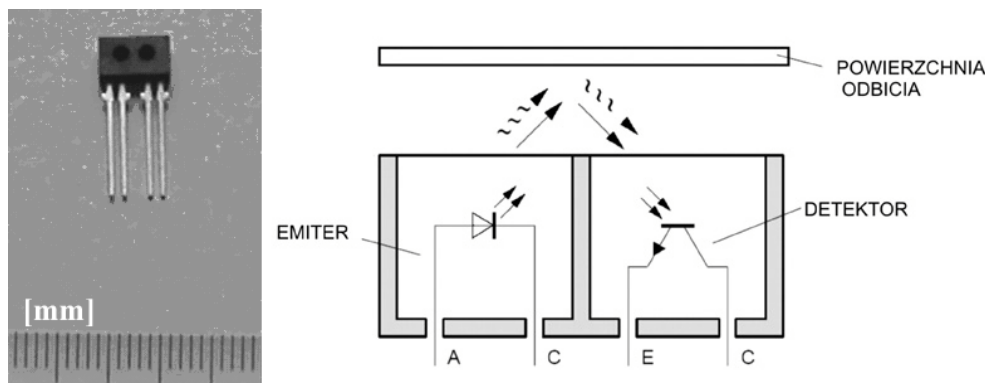
Rys. 1. Element sondy roboczej do badań laboratoryjnych: 1 – stożek roboczy sondy, 2 – czynna powierzchnia pomiarowa, 3 – trzon sondy

Fig. 1. An element of working probe for laboratory tests: 1 – working cone of the probe, 2 – active measurement surface, 3 – probe shank

W stożku sondy umieszczony jest czujnik optoelektroniczny - transoptor typu odbiciowego TCRT 1000 (Vishay Semiconductors) z operacyjną długością fali czujnika 950 nm. Małe wymiary czujnika 7x 4x2,5 mm (rys. 2) pozwoliły na jego umieszczenie w stożku roboczym miernika. Układ wzmocnienia sygnału jest zmodyfikowanym układem zastosowanym przez Morharda i współpracowników [2001] posiadającym regulację kalibracyjną miernika. Układem zasilania w warunkach polowych jest bateria 12V AC.

Zasada działania

Zasada działania miernika opiera się na metodzie odbiciowej pomiaru wilgotności gleb. Model miernika wilgotności wykorzystuje czujnik optoelektroniczny typu transoptora otwartego, odbiciowego do emisji i pomiaru odbicia fali elektromagnetycznej z zakresu bliskiej podczerwieni od powierzchni gleby. Transoptor jest półprzewodnikowym elementem optoelektronicznym, składającym się z fotoemitery i fotodetektora, skierowanych w tym samym kierunku i umieszczonych we wspólnej obudowie (rys. 2). W transoptorze promieniowanie wysyłane przez fotoemiter ulega odbiciu od przedmiotu zewnętrznego (gleby, wody) i powraca do fotodetektora. Wartości transmisyjne emiter-detektor uzależnione są od stopnia odbicia światła przez glebę lub wodę. Odczyt wartości odbicia wykonywany jest na mierniku napięcia jako wartość prądu stałego (U).



Rys. 2. Transoptor odbiciowy TCRT 1000 (fot. T. Wojciechowski) z lewej i schemat jego działania (za. Vishay Semic. Document Number 83752) z prawej

Fig. 2. Reflective optical coupler TCRT 1000 (photo by T. Wojciechowski) on the left, and its operation diagram (according to Vishay Semic. Document Number 83752) on the right

Badania spektrofotometryczne gleb

Jako wynik badania spektrofotometrycznych uzyskano 80 krzywych spektralnych badanych gleb w zakresie od 400 do 2500 nm dla analizowanych poziomów wilgotności gleby, jako krzywych współczynnika odbicia (R) i długości fali (λ). W celu zniwelowania różnic pomiędzy poszczególnymi glebami odbicie wyrażono względnym współczynnikiem odbicia (R_w) dla danej długości fali ($R_{w,\lambda}$) [Cierniewski 1988].

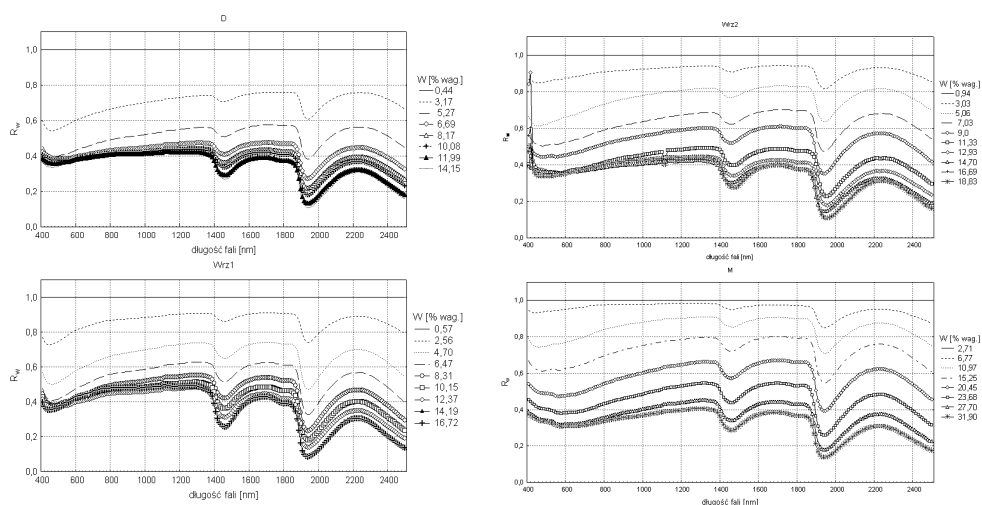
$$R_{w\lambda} = \frac{R_{p,\lambda}}{R_{s,\lambda}}, \quad (1)$$

Względny współczynnik odbicia odnoszący się do określonej długości fali (λ), wyraża stosunek współczynnika odbicia spektralnego od gleby przy określonej wilgotności ($R_{p,\lambda}$) do współczynnika odbicia tej samej gleby, ale powietrznie suchej ($R_{s,\lambda}$).

Dla wszystkich badanych gleb stwierdzono wpływ zawartości wody na wartość względnego współczynnika odbicia w całym analizowanym zakresie fal od 400 do 2500 nm (rys. 4). Zmiana wartości R_w przy wzroście wilgotności dla poszczególnych długości fal miała różny przebieg. Obserwowano, że od wilgotności najniższej aż do wilgotności ok. 50% laboratoryjnej pojemności wodnej następował stały spadek względnego współczynnika odbicia. Dalszy wzrost wilgotności gleb aż do wilgotności najwyższych powodował zmianę wartości odbicia, ale nie były one już takie same dla wszystkich fal.

Przeprowadzona analiza wyników wykazała, że zarówno dla fal krótszych (<1000 nm) jak i dłuższych (>1000 nm) najlepszą estymację wilgotności uzyskano dla środkowego przedziału z analizowanego zakresu wilgotności. Jest to też przedział szczególnie interesujący z punktu widzenia praktyki rolniczej. Obejmuje bowiem zakres tak zwanych wilgotności uprawowych. Wyniki te są różne od opisywanych przez Weidonga i współautorów [2002], którzy podkreślili, że większe długości fal lepiej korespondują z niższymi pozo-

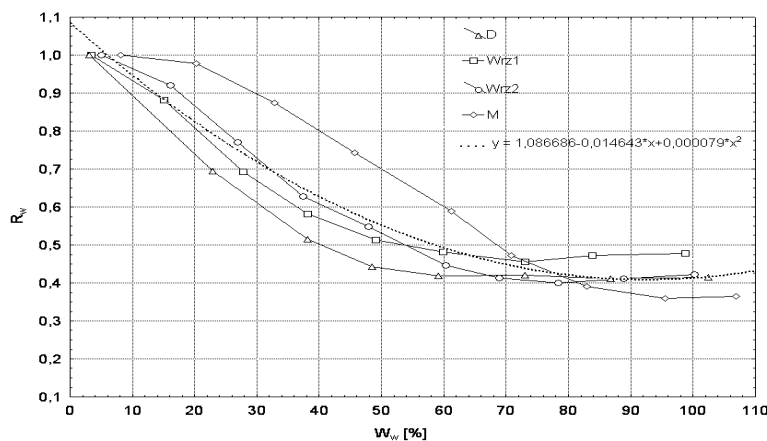
mami wilgotności, krótsze zaś z wyższymi. Oznaczone współczynniki korelacji $W:R_w$ nie przekroczyły wartości 0,68, co sugerowało średnią siłę korelacji cech pomimo małej grupy badanych gleb. Oznaczono zatem siłę korelacji odbicia i zawartości wody, ale wyrażonej w procentach wagowych laboratoryjnej pojemności wodnej tj. wilgotnością względną (W_w). Parametr ten w lepszym stopniu opisuje zmianę zawartości wody w porach gleb, pozwala również na porównanie gleb o różnej pojemności wodnej.



Rys. 4. Charakterystyki spektralne gleby D ($C_{org} = 0,78$ %), Wrz1 ($C_{org} = 0,85$ %), Wrz2 ($C_{org} = 1,32$ %) i M ($C_{org} = 5,07$ %) w zakresie fal 400-2500 nm przy różnych poziomach wilgotności bezwzględnej gleby (W). R_w – względny współczynnik odbicia
 Fig. 4. Spectral characteristics for soil D ($C_{org} = 0.78$ %), Wrz1 ($C_{org} = 0.85$ %), Wrz2 ($C_{org} = 1.32$ %) and M ($C_{org} = 5.07$ %) within wave range 400-2500 nm for different relative humidity levels for soil (W); R_w – relative reflection coefficient

Obliczone współczynniki korelacji cząstkowej relacji $W_w:R_w$ dla poszczególnych fal były wyższe niż dla pierwszego porównania i mieściły się w zakresie 0,83-0,92. Najlepsze współczynniki korelacji uzyskano dla długości fal 1470 nm, 1880 nm, 2090 nm i 2370 nm ($r=0,91-0,92$). Długości te są zbliżone do typowych, spotykanych w badaniach innych autorów opisujących zależność odbicia fal od powierzchni gleb z ich wilgotnością [Stafford 1988; Rossel i McBratney 1998; Weidong i in. 2002].

Współczynnik korelacji dla długości 950 nm wyniósł 0,86 wskazując na silną korelację cech. Przebieg zależności $R_w:W_w$ przy długości fali 950 nm dla gleb nie był taki sam pomimo wykonania procedury znormalizowania wartości współczynnika odbicia (rys. 5). W analizowanej grupie gleb zaobserwować można, że wraz ze wzrostem zawartości materii organicznej, następuje wzrost poziomu wilgotności o R_w minimalnym. Można więc stwierdzić, że dla wybranego czujnika odbiciowego o długości operacyjnej ok. 950 nm jego praca w badanych glebach, pomimo ich zbliżonego składu granulometrycznego, wymagać będzie indywidualnej kalibracji. Kalibracja czujnika dla całej grupy gleb umożliwi oszacowanie wilgotności, jednak błąd oszacowania będzie większy.



Rys. 5. Zależność średniego względnego współczynnika odbicia (R_w) od wilgotności względnej (W_w) przy długości fali 950nm dla gleb D, Wrz1, Wrz2 i M i całej grupy

Fig. 5. Relationship between mean relative reflection coefficient (R_w) and relative humidity (W_w), for wavelength 950nm for soils: D, Wrz1, Wrz2 and M, and for the whole group

Przedstawione wyniki badań spektrofotometrycznych dają podstawy aby stwierdzić, że można oszacować wilgotność gleby lekkiej o zawartości próchnicy 1,34 – 8,74% korzystając z jednej długości fali o długości 950 nm. Błąd oszacowania parametru odbicia jest jednak tutaj większy niż dla „optymalnych” długości fal. Zakres najlepszej jakości pracy czujnika 950 nm zawierać się będzie w przedziale od wilgotności gleby powietrznie suchej do ok. 80-85 % połowej pojemności wodnej w glebach o zawartości materii organicznej ok. 2,5%.

Wnioski

1. Wyniki badań spektrofotometrycznych wykazały, iż obszar najsilniejszej korelacji względnego współczynnika odbicia z jej wilgotnością bezwzględną uzyskano dla długości fal ok. 1440, 1880, 2090 i 2370 nm. Zakres pracy proponowanego komercyjnego czujnika odbiciowego (950 nm) leży poza przedziałem najsilniejszej korelacji.
2. Zakres charakterystyk widmowych badanych gleb przy długości fali 950 nm był różny. Zwiększał się on wraz ze wzrostem zawartości materii organicznej w glebach i ich pojemności wodnej. Przy zastosowaniu czujników o długości fali ok. 950 nm konieczna będzie kalibracja mierników dla poszczególnych gleb.
3. Wybór czujnika o długości operacyjnej fali 950 nm był wynikiem analizy trzech kryteriów, które obejmowały powierzchnię czynną pracy, wymiary oraz długość operacyjną fali.

Bibliografia

- Cierniewski J.** 1988. Wpływ wilgotności i zbrylenia powierzchni gleby na jej odpowiedź spektralną w zakresie widma widzialnego i bliskiej podczerwieni oraz modelowanie matematyczne tej zależności. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Rozprawy naukowe.* z. 178. ISSN 0208-8436.
- Engler W.** 1996. Optoelektronisches Verfahren zur Online-Materialfeuchtemessung von rieselfähigen Meßobjekten (z. B. Erdboden, Pflanzsubstrat, Kompost, Sand usw.). Niemcy, DE19538145A1 07.03. DPMA, 07.03.
- Mocek A., Drzymala St., Maszner P.** 2006. Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wydanie AR Poznań. 83-7160-209-7.
- Morhard J., Kleisinger S., Piechnik L., Czaczyk Z., Wojciechowski T.** 2001. A modified optoelectronic sensor for quick measurement of humidity in growing media. *Proceedings of 6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, Potsdam, Germany.* s. 651-656.
- Morhard, J., Henle W., Kleisinger S.** 2002. Mobile Erfassung des Wassergehalts in Rasentrag-schichten mittels IR-Remission. *Rasen-Turf-Gazon* 33. s. 80-88.
- Mouazen M.A., Baerdemaker J.D., Ramon H.** 2005. Towards developments of on-line soil moisture content sensor using fibre-type NIR spectrophotometer. *Soil & Tillage Research* 80. s. 171-183.
- O'Mahony M.J., Ward S.M., Lynch J.** 1998. A small-scale prototype peat harvester, using NIR moisture content sensing. Part 1: Sensor development, calibration and utilization. *J. Agricult. Eng. Res.* 70(3). s. 267-273.
- Piechnik L.** 2002. Opracowanie założeń do dynamicznych pomiarów wilgotności gleby metodą spektroskopii odbiciowej. *Mat. Konf. Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej w aspekcie przystosowań do problemów badawczych w UE.* AR Wrocław. s. 121-124.
- Price R.R., Gaultney L.D.** 1993. Soil moisture sensor for predicting seed plant depth. *Trans. of the ASAE* 36(6). s. 1703-1711
- Rzasa St., Owczarzak W.** 2004. Struktura gleb mineralnych. Wyd. Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu. KBN 8371603347.
- Shibusawa S., Hirako S., Otomo A., Sakai K., Sasao A., Yamazaki K.** 2000. Real-time soil spectrophotometer for in-situ underground sensing. *J. of the Japan. Soc. of Agri. Mach.* 62(5). s. 79-86.
- Shonk J.L., Gaultney L.D., Schulze D.G., Van Scoyoc G.E.** 1991. Spectroscopic sensing of soil organic matter content. *Trans. of the ASAE* 34(5). s. 1978-1984.
- Stafford J.V.** 1988. Remote, Non-contact and in-situ Measurement of Soil Moisture Content: a Review. *J. Agric. Engng. Res.* 41. s. 151-172.
- Sudduth K.A., Hummel J.W.** 1993. Soil organic matter, CEC, and moisture sensing with a portable NIR spectrophotometer. *Trans. of the ASAE* 36(6). s. 1571-1582.
- Weerasinghe V.P.A., Sinn H., Kleisinger S.** 2008. Acquisition of soil moisture data by low cost opto-electronic Soil Moisture Sensor. *Proc. Vth IS on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort.* 792. s. 693-700.
- Weidong L., Baret F., Xingli G., Qingxi T., Lanfen Z., Bing Z.** 2002. Relating soil surface moisture to reflectance. *Remote Sensing of Environ.* 81. s. 238-246.

SPECTROPHOTOMETRIC CALIBRATION IN A REFLECTION PROBE MODEL FOR DYNAMIC SOIL HUMIDITY MEASUREMENT

Abstract. Popularisation of precise agriculture systems is limited by complete lack or low availability of efficient, dynamic methods for soil environment monitoring. Using a reflection method for soil humidity measurement may play a role here. In the scope of carried out works, the researchers developed a methodology for dynamic soil humidity measurement using the reflection method, formulated guidelines and designed a meter with commercial reflection sensor. Spectrophotometric tests in NIR range were carried out, allowing to determine wavelengths most strongly correlated with humidity of soils, and to compare them to an operating wavelength of sensor in an optoelectronic meter.

Key words: soil humidity, sensor, reflection, spectrophotometry, dynamic measurement

Adres do korespondencji:

Tomasz Wojciechowski; e-mail: tomwoj@up.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-627 Poznań