

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 1 (47), 2010: 13–19  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 1 (47), 2010)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 1 (47), 2010: 13–19  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 1 (47), 2010)

**Hanna NIEMCZYK<sup>1</sup>, Bogda KOWALSKA<sup>2</sup>, Grzegorz MAJEWSKI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Katedra Agronomii SGGW w Warszawie  
Department of Agronomy WULS – SGGW

<sup>2</sup>Katedra Biometrii SGGW w Warszawie  
Department of Biometry WULS – SGGW

<sup>3</sup>Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW w Warszawie  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WULS – SGGW

## **Analiza zależności między aktualną wilgotnością gleby a wskaźnikami opadów przednich i temperaturą powietrza Analysis of the relationship between actual soil moisture and anterior precipitation indexes and air temperature**

**Słowa kluczowe:** aktualna wilgotność gleby, opady atmosferyczne, wskaźnik opadów przednich, temperatura powietrza

**Key words:** actual soil moisture, atmospheric precipitation, anterior precipitation index, air temperature

### **Wprowadzenie**

Jednym z najbardziej zmiennych elementów środowiska glebowego są warunki wodne. Zawartość wody w glebie jest określana przez takie wskaźniki, jak: aktualna wilgotność wagowa (wyrażana w stosunku do absolutnie suchej masy gleby), aktualna wilgotność objętościowa (wyrażana w stosunku do objętości gleby), wilgotność względna (wyrażana w stosunku do pojemności wodnych

gleby). Może być również wyrażana w jednostkach bezwzględnych: w  $t \cdot ha^{-1}$  lub w mm jako zapas wody w określonej warstwie gleby.

Metod oznaczania wilgotności gleby jest wiele; różnią się dokładnością pomiaru, pracochłonnością, destruktywnością, selektywnością (Malicki 1980). Najdokładniejszą metodą, do której wyników odnosi się pomiary wykonane innymi metodami, jest metoda suszarkowo-wagowa.

W bilansie wodnym gleby najważniejszym źródłem po stronie przychodów jest opad atmosferyczny. Wysokość opadu jest czynnikiem zmiennym w zależności od położenia geograficznego i roku. W ocenie uwilgotnienia gleby jako wskaźnik wilgotności gruntu stosowany jest w prognozach hydrologicz-

nych tzw. wskaźnik opadów uprzednich. Jest on funkcją opadów, które wystąpiły w okresie poprzedzającym dni, dla którego określa się wskaźnik. W Polsce do tego celu stosuje się często formułę zaproponowaną przez Lambora (1962):

$$I_L = \left( \frac{1}{120} \cdot \sum_{i=1}^{15} a_i \cdot \sqrt{P_i} \right)^2 \quad (1)$$

gdzie:

$I_L$  – wskaźnik wilgotności gruntu obliczony metodą Lambora,

$a_i$  – współczynnik wagowy przyjmowany w ten sposób, że dla opadu z dnia bezpośredniego, poprzedzającego dzień, w którym obliczany jest wskaźnik,  $a_1 = 15$ , dla drugiego dnia  $a_2 = 14$  itd., aż do dnia piętnastego  $a_{15} = 1$ ,

$P_i$  – dobowy suma opadu atmosferycznego w  $i$ -tym dniu [mm].

Służba hydrologiczna Stanów Zjednoczonych stosuje wskaźnik wilgotności gruntu definiowany za pomocą równania:

$$I_a = \sum_{i=1}^{15} k^i P_i \quad (2)$$

gdzie:

$I_a$  – wskaźnik wilgotności gruntu obliczony metodą amerykańską,

$k$  – stały współczynnik przyjmowany najczęściej jako  $k = 0,84$ ,

$i$  – kolejny dzień, poprzedzający dzień, dla którego oblicza się wskaźnik.

Z wymienionych równań wynika, że wpływ opadu na uwilgotnienie gleby zależy od terminu jego wystąpienia; największy wpływ ma opad z dnia bezpośrednio poprzedzającego termin, dla którego obliczamy wskaźnik, najmniejszy – opad, który wystąpił 15 dni wcześniej.

Z podjętych prób weryfikacji wskaźnika opadów uprzednich (wskaźnika wilgotności gruntu) z wilgotnością gleby uzyskaną na drodze pomiarów wynika, że wykazują one słabą, choć istotną zgodność (Wąsek 1980, Rozbicki 1995, Niemczyk i in. 2005). Silniejsza zależność występuje na glebach słabszych, o mniejszych zdolnościach retencyjnych. O zdolności magazynowania wody w glebie decyduje przede wszystkim skład granulometryczny. Ilość wody, jaką gleba może utrzymać przez dłuższy czas, charakteryzuje połowa pojemność wodna, której wielkość waha się od 6% dla gleby o składzie granulometrycznym piasku luźnego do 34–35% dla gliny ciężkiej i iltu pylastego (Trybała 1996).

Główną przyczyną strat wody z gleby w warunkach polowych jest ewapotranspiracja, która zależy od gatunku rośliny, charakteru terenu oraz czynników środowiska. Jednym z istotnych czynników klimatycznych, decydujących o szybkości wyparowywania wody z gleby i rośliny, jest temperatura powietrza.

Autorzy w 2007 roku podjęli próbę wyznaczenia zależności aktualnej wilgotności gleby od ilości opadów z uwzględnieniem temperatury powietrza (Niemczyk i in. 2007). Propozycja rozszerzenia modelu o temperaturę powietrza dała bardzo dobre rezultaty. Powyższą analizę wykonano na podstawie danych z jednego roku. Celem niniejszej pracy jest próba weryfikacji zależności między aktualną wilgotnością gleby (oznaczaną metodą suszarkowo-wagową) a wskaźnikiem opadów uprzednich, przy uwzględnieniu temperatury powietrza na większej liczbie danych zgromadzonych w ciągu 9 lat.

## Material i metoda

W opracowaniu wykorzystano wyniki pomiarów aktualnej wilgotności gleby uzyskanych w doświadczeniach polowych prowadzonych w latach 2001–2009 na polu doświadczalnym Katedry Agronomii SGGW w Chylicach, w woj. mazowieckim. Chylisce leżą w Kotlinie Warszawskiej, w krajobrazie równinnym, wyniesionym około 105 m nad poziomem morza, na obszarze zlewni rzeki Pisi. Poziom wody gruntowej waha się od 70 cm w kwietniu do 170–200 cm w miesiącach letnich. Doświadczenia założone były na czarnej ziemi, tzw. błońskiej, o składzie granulometrycznym gliny lekkiej pylastej, a w 2006 roku – na piasku gliniastym mocnym. Poziom próchniczny ma miąższość 30–35 cm, charakteryzuje go średnia zawartość próchnicy; zawartość wody przy PPW w granicach 17,5–23%.

Próbki gleby do oznaczenia wilgotności pobierano z warstwy 5–10 cm w czasie wegetacji następujących roślin: w latach 2001–2005 rzepaku ozimego, w 2006 roku – pszenicy jarej (do sierpnia, sierpień–listopad bez okrywy roślinnej), w latach 2007–2009 ziemniaka.

Próby pobierano w 10 powtórzeniach, kilkakrotnie w okresie wegetacji każdej rośliny. Terminy i liczba oznaczeń wynikają z długości okresu wegetacji roślin. Aktualną wilgotność gleby oznaczano metodą suszarkowo-wagową.

Dane opadowe pochodzą ze stacji meteorologicznej w RZD Chylisce, zlokalizowanej w pobliżu prowadzonych doświadczeń. Do analizy wykorzystano wskaźnik wilgotności gruntu wyznaczony za pomocą wzoru Lambora (1) oraz wskaźnik obliczany według for-

muły amerykańskiej (2). Na podstawie dobowych sum opadu atmosferycznego z 15 dni poprzedzających rozpatrywany termin obliczone zostały wartości obu wskaźników dla każdego dnia. Współczynniki wagowe przyjęto według zaleceń.

Dekadowy rozkład temperatury powietrza wyliczono z pomiarów wykonanych termometrem stacyjnym umieszczonym (2 m n.p.g), w standardowej klatce meteorologicznej, na stacji meteorologicznej RZD Chylisce.

Wyniki opracowano statystycznie, stosując metody analizy korelacji i analizy regresji. Obliczenia wykonano za pomocą pakietu STATGRAPHICS Plus v. 4.1.

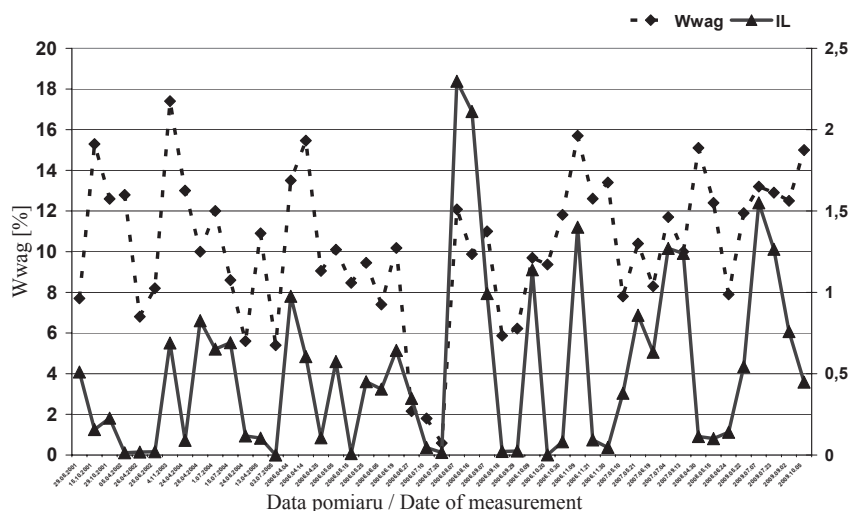
## Wyniki

Analizowane lata były zróżnicowane pod względem ilości opadów. W miejscowości Jaktorów w 2003 roku spadło 518,7 mm, a w 2009 roku – 666,4 mm. Również wystąpiło duże zróżnicowanie rozkładu opadów w czasie. Największe różnice wystąpiły w dwóch kolejnych miesiącach 2006 roku: lipiec był miesiącem bardzo suchym – spadło tylko 6,1 mm, natomiast sierpień był wyjątkowo wilgotny – spadło 203,1 mm. Tylko w I dekadzie tego miesiąca wystąpiły dwukrotnie opady ulewne – powyżej 45 mm na dobę.

Wilgotność wagowa w analizowanych terminach wahała się w bardzo szerokich granicach – od 0,6 do 17,4%. Większe wartości występowały zwykle wiosną, gdy gleba utrzymywała przez dłuższy czas wodę z wilgoci pozimowej, i w niektóre lata jesienią (wrzesień,

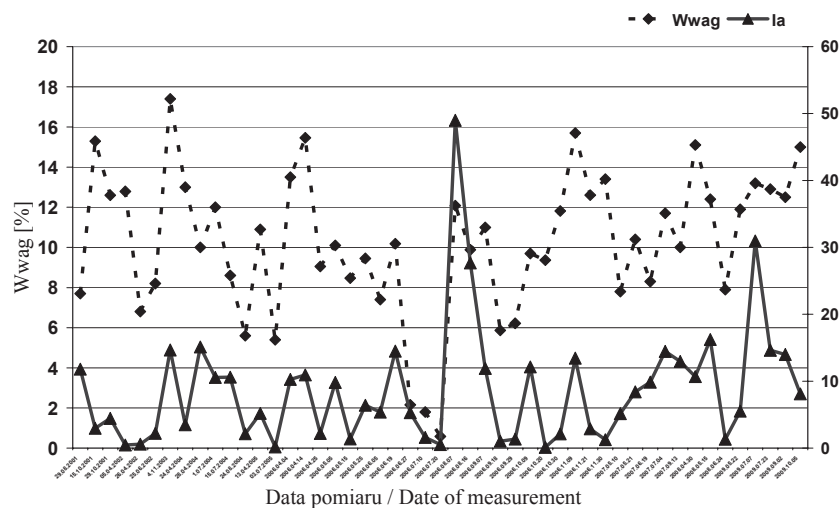
październik), kiedy niska temperatura powietrza ograniczała wyparowywanie wody z gleby (2001 i 2006 rok). Przebieg obliczonych wskaźników opadów uprzednich  $I_L$  i  $I_a$  i aktualnej wilgotności

gleby przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Analizując przebieg krzywych, należy stwierdzić, że w większości terminów wykres wilgotności wagowej i wskaźników opadów uprzednich mają podobny



RYSUNEK 1. Zmiany aktualnej wilgotności (%wag) i wskaźnika opadów uprzednich ( $I_L$ ) w analizowanych terminach

FIGURE 1. Changes in actual soil moisture (wgt%) and anterior precipitation index ( $I_L$ ) analyzed in time limits



RYSUNEK 2. Zmiany aktualnej wilgotności (%wag) i wskaźnika opadów uprzednich ( $I_a$ ) w analizowanych terminach

FIGURE 2. Changes in actual soil moisture (wgt%) and anterior precipitation index ( $I_a$ ) analyzed in time limits

charakter; jednakże w niektórych terminach zauważa się pewne rozbieżności. Największe rozbieżności mają miejsce w oznaczeniach wczesnowiosennych, co dowodzi, że dana gleba zgromadziła pewne ilości wody z wilgoci zimowej.

W ocenie statystycznej porównywano zależność parametru stosowanego w określeniu aktualnej wilgotności gleby, wilgotność wyrażaną w procentach wagowych w stosunku do suchej masy gleby ( $W_{\text{wag}}$ ), od średniej dekadowej temperatury powietrza ( $T$ ) i jednego z dwóch wskaźników opadów uprzednich, wykorzystywanych w prognozach hydrologicznych. Wskaźniki te liczone były według dwóch formuł: Lambora ( $I_L$ ) i amerykańskiej ( $I_a$ ). Zastosowano analizę regresji wielokrotnej, w obu przypadkach zaproponowano model liniowy tej zależności.

Analiza zbioru danych ( $n = 48$ ), reprezentujących badane dziewięć lat, pozwoliła na próbę oceny zależności między aktualną wilgotnością gleby, uzyskaną dzięki pomiarom, a wskaźnikiem opadów uprzednich ( $I_L$  lub  $I_a$ ) i temperaturą powietrza (średnią dekadową). Mierniki siły zależności liniowej (współczynniki korelacji wielokrotnej) między wilgotnością wagową ( $W_{\text{wag}}$ ) a temperaturą powietrza ( $T$ ) i jednym ze wskaźników opadów uprzednich, wyliczonym według wzoru Lambora ( $I_L$ ) lub wzoru amerykańskiej aplikacji ( $I_a$ ), zawarte są w tabeli 1.

Na podstawie wielkości wyznaczonych współczynników korelacji i determinacji można stwierdzić, że:

1. Zależność między aktualną wilgotnością gleby a temperaturą powietrza i jednym z dwóch wskaźników opadów uprzednich jest bardzo silna, szczególnie dla amerykańskiego wskaźnika opadów uprzednich ( $I_a$ ).

2. Obie rozważane korelacje są wysoce istotne, a więc udowodnione za pomocą metody statystycznej ( $p\text{-values} = 0,0000$ ).

3. Uzyskane rezultaty są na tyle satysfakcjonujące, że w pracy zawarta jest tylko statystyczna analiza badanych modeli liniowych.

Jak widać, uzyskane rezultaty są zachęcające; współczynniki determinacji mogą być interpretowane jako co najmniej dobre, a wartości krytyczne ( $p$ ) wskazują na istotność badanych zależności. Co więcej, zaproponowane modele liniowe mają dość prostą interpretację występujących w nich cząstkowych współczynników regresji. Z dwu analizowanych modeli większą determinacją, a więc lepiej dopasowaną zależnością, charakteryzuje się model, którego jedną ze zmiennych zależnych jest amerykański wskaźnik opadów uprzednich ( $I_a$ ), choć różnica ta nie jest duża (około 4%).

Model liniowy zależności wilgotności wagowej ( $W_{\text{wag}}$ ) od amerykańskiego wskaźnika opadów uprzednich ( $I_a$ ) i od

TABELA 1. Wartości współczynników korelacji i determinacji wielokrotnej  
TABLE 1. Values of multiple correlation and determination coefficients

Aktualna wilgotność, $W_{\text{wag}}$ Actual moisture, wgt %	Wskaźnik opadów uprzednich Anterior precipitation index	
	$I_L$	$I_a$
Dla $n = 48$	$R = 0,815$ $R^2 = 66,415\%$	$R = 0,837$ $R^2 = 70,025\%$

średniej, dekadowej temperatury powietrza ( $T$ ) ma postać:

$$W_{\text{wag}} = 16,0531 + 0,191835 I_a - 0,533224 T$$

Zależność między wilgotnością wagową ( $W_{\text{wag}}$ ) a wskaźnikiem opadów uprzednich Lambora ( $I_L$ ) i temperaturą powietrza ( $T$ ) jest opisana funkcją:

$$W_{\text{wag}} = 16,132 + 2,7695104 I_L - 0,522457 T$$

W obu modelach, bazując na testach szczegółowych, nie możemy uprościć zależności przez usunięcie jednej ze zmiennych niezależnych. Wpływ obu – temperatury powietrza i wskaźnika opadów uprzednich ( $I_a$  i  $I_L$ ), na wilgotność wagową jest wysoce istotny.

Porównując uzyskane wyniki z badanego dziesięciolecia z wynikami reprezentującymi tylko 2006 rok (Niemczyk i in. 2007), można zauważyć, że modele liniowe zależności wilgotności wagowej od temperatury powietrza i każdego ze wskaźników opadów uprzednich ( $I_a$  lub  $I_L$ ) są bardzo zbliżone, a współczynniki determinacji dla obu analizowanych okresów są satysfakcjonujące, choć okres badany w artykule z 2007 roku charakteryzował się większymi, a więc lepszymi wartościami. Różnica dla obu wskaźników opadów uprzednich jest na poziomie prawie 10%.

## Wnioski

1. Propozycja liniowego modelu zależności między aktualną wilgotnością gleby a temperaturą powietrza ( $T$ ) i wskaźnikiem opadów uprzednich dała dobre rezultaty dla obu wskaź-

ników opadów uprzednich Lambora ( $I_L$ ) i amerykańskiego ( $I_a$ ).

2. Z dwu analizowanych modeli większą determinacją, a więc lepiej dopasowaną zależnością, charakteryzuje się model, którego jedną ze zmiennych zależnych jest amerykański wskaźnik opadów uprzednich ( $I_a$ ).

## Literatura

- BUCKMAN H.C., BRADY N.C. 1971: Gleba i jej właściwości. PWRiL, Warszawa
- LAMBOR J. 1962: Metody prognoz hydrologicznych. Warszawa.
- MALICKI M. 1980. Przegląd metod pomiaru wilgotności gleby i ocena ich przydatności w badaniach polowych. *Problemy Agrofizyki* 31: 47–55.
- NIEMCZYK H., KOWALSKA B., MAJEWSKI G. 2004: Współzależność między aktualną wilgotnością warstwy ornej czarnej ziemi a wskaźnikiem opadów uprzednich. *Przegl. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 1 (28): 88–95.
- NIEMCZYK H., KOWALSKA B., MAJEWSKI G. 2005: Analiza zależności między aktualną wilgotnością warstwy ornej gleby lekkiej i wskaźnikami opadów uprzednich. *Przegl. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2 (32): 111–125.
- NIEMCZYK H., KOWALSKA B., MAJEWSKI G. 2007: Kształtowanie się aktualnej wilgotności gleby w zależności od ilości opadów i temperatury powietrza. *Przegl. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2 (36): 11–19.
- ROZBICKI T. 1995: Próba oceny przydatności wskaźnika gruntu. *Przegl. Nauk. Wýdz. Melior. Inż. Środ.* 8: 77–82.
- ROZBICKI T. 1997: Związek między wskaźnikami opadów uprzednich i wilgotnością gruntu na wybranych typach gleb lekkich i ciężkich. *Rocznik Akademii Rolniczej w Poznaniu 1997 CCXCI, Melior. Inż. Środ.* 17: 105–115.
- THOMPSON L.M., TROEH F.R. 1978: Gleba i jej żyzność. PWRiL, Warszawa.

- TRYBAŁA M. 1996: Gospodarka wodna w rolnictwie. PWRiL, Warszawa.
- WAŚEK A. 1980: Zasoby wodne w górnej warstwie strefy aeracji a wskaźnik wilgotności gruntu. *Przegląd Geofizyczny* XXV, 1: 71–78.

## Summary

**Analysis of the relationship between actual soil moisture and anterior precipitation indexes and air temperature.** The aim of this paper is the analysis of the relationship between actual soil moisture, which was determined in a laboratory as the weight content, and land moisture indexes applied in hydrology: anterior precipitation index by Lambor ( $I_L$ ) and the American index ( $I_a$ ). The relationship of both: actual soil moisture and anterior precipitation indexes with air temperature was also considered. The determination of actual soil moisture was performed within the modeling experiment at an experimental field of the Agronomy Department of Warsaw University of Life Science in Chylce from 2001 to 2009. Daily precipitation and mean daily air temperature values were recorded at the meteorological station of the Agricultural Research Station in Chylce, located near the experimental field. The analysis, performed in this paper,

considered the soil of the granulometric composition typical for lightsilty clay, and in 2006 it was typical for heavy-clayey sand. The statistical analysis, which was part of the research, involved the estimation of the relationship between actual soil moisture parameters, the actual soil moisture expressed as a percentage weight content, with mean decade air temperature and with one of two anterior precipitation indexes. The estimated relationships were expressed as linear equations by applying multi-dimensional regression analysis. Basing on the calculated correlation and determination coefficients it was concluded, that there was a significant relationship of the actual soil moisture and air temperature and there was also a significant relationship of the actual soil moisture and the anterior precipitation indexes, especially strong for the American index.

### Authors' address:

Hanna Niemczyk<sup>1</sup>, Bogda Kowalska<sup>2</sup>,  
Grzegorz Majewski<sup>3</sup>  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
<sup>1</sup>Katedra Agronomii, <sup>2</sup>Katedra Biometrii,  
<sup>3</sup>Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: grzegorz\_majewski@sggw.pl