

**Tomasz ROZBICKI**

Zakład Meteorologii i Klimatologii  
Katedra Rekultywacji Środowiska Przyrodniczego SGGW

## **Próba oceny wskaźnika wilgotności gruntu pod kątem przydatności do modelowania agrometeorologicznego**

### **Wstęp**

Klimatycznymi czynnikami decydującymi o wielkości roślinnej produkcji rolniczej są energia oraz ilość wody dostarczane roślinom. Ilość wody można wyrazić za pomocą sumy opadu atmosferycznego lub wilgotności gleby obrazującą zasoby wodne w górnej strefie aeracji. Ze względu na brak sieci punktów pomiarowych wilgotności gleby, nieregularność pomiarów, a także ich pracochłonność, w hydrologii zaczęto posługiwać się wskaźnikami wilgotności gruntu. Praca niniejsza ma na celu sprawdzenie przydatności wskaźnika obliczonego metodą Lambora oraz wskaźnika używanego przez amerykańską służbę hydrologiczną pod kątem oceny stosunków wilgotnościowych gleby na potrzeby modelowania agrometeorologicznego.

### **Materiały i metoda**

W opracowaniu wykorzystano dane dotyczące wilgotności gruntu oraz opadu atmosferycznego z 1969 roku Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Oborach,

zamieszczone w pracy H. Pawłata (1974). Użytki zielone, na których znajdują się stanowiska pomiarowe, położone są na tarasie zalewowym Wisły, na południowy wschód od Jeziorny. Teren ten tworzy równinę, lekko pochyloną w kierunku północnym. W miejscach leżących nieco dalej od Wisły występują liczne starorzecza. Jest to obszar zlewni rzeki Wilanówki – lewego dopływu Wisły. Zlewnia ograniczona jest od północy wałem przeciwpowodziowym rzeki Jeziorki, od wschodu wałem przeciwpowodziowym Wisły, a od południa i zachodu zlewnią rzeki Małej – prawego dopływu Jeziorki.

Gleba, z której pobierane były próbki do analizy zasobów wodnych, to mada rzeczna brunatna, bardzo ciężka, średnio głęboka wytworzona z gliny ciężkiej na utworach pyłowych, podścielona piaskiem luźnym. Do analizy wybrano stanowisko pod łąkową mieszanką traw i roślin motylkowych, nie nawożoną, ze stosunkowo niskim poziomem zwierciadła wody gruntowej, wahającym się od 50 cm na początku kwietnia do około 100 cm na początku października. Stosunki

wilgotnościowe w glebie scharakteryzowane są jako procent pełnej pojemności wodnej gleby.

Dane opadowe pochodzą ze stacji meteorologicznej oddalonej o 1200 m od stanowisk pomiarowych wilgotności gleby. Do obliczeń wykorzystano dekadowe sumy opadów, a także wskaźnik opadów uprzednich, charakteryzujący warunki opadowe w okresie bezpośrednio poprzedzającym rozpatrywany dzień. Wskaźnik opadów uprzednich można zdefiniować jako:

$$I = \sum_{i=1}^t a_i \cdot P_i \quad (1)$$

gdzie:

$I$  – wskaźnik opadów uprzednich (wskaźnik wilgotności gruntu),

$a_i$  – współczynnik wagowy zależny od fizycznych i geograficznych charakterystyk zlewni oraz od czasu wystąpienia opadu,

$P_i$  – wysokość opadu atmosferycznego w  $i$ -tym dniu,

$t$  – liczba dni w całym okresie poprzedzającym rozpatrywany dzień.

Spośród kilku metod obliczania wskaźnika, w niniejszej pracy zastosowano dwie. W Polsce do obliczeń wskaźnika bardzo często stosuje się formułę zaproponowaną przez Lambora:

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

gdzie:

$I_L$  – wskaźnik obliczony metodą Lambora,

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

$P_i$  – jak we wzorze ogólnym (1).

Drugą, badaną metodą jest metoda stosowana przez Służbę Hydrologiczną Stanów Zjednoczonych. Wskaźnik oblicza się w tym przypadku ze wzoru:

$$I_a = \sum_{i=1}^{30} k^i \cdot P_i \quad (3)$$

gdzie:

$I_a$  – wskaźnik obliczony metodą amerykańską,

$k$  – stały współczynnik przyjmowany zwykle za  $k = 0,84$ ,

$P_i$  – jak we wzorze ogólnym (1),

$i$  – kolejny dzień poprzedzający dzień, dla którego obliczamy wskaźnik.

Podobnie jak w metodzie Lambora, tak i tutaj występuje krzywoliniowy rozkład współczynników  $a_i$ . Także w obydwu formułach największy wpływ na wielkość wskaźnika ma opad z dnia bezpośrednio poprzedzającego dzień, dla którego obliczamy wskaźnik.

Licząc od 1 kwietnia, w pierwszym dniu dekady wyznaczana była zawartość wody w glebie (w dwóch poziomach 5–10 cm oraz 15–20 cm), za pomocą wzorów (1) i (2) obliczany był wskaźnik wilgotności gruntu (wskaźnik opadów uprzednich), a także dekadowa suma opadów z dekady bezpośrednio poprzedzającej wybrany dzień. Wielkości te przedstawia tabela 1. Tak obliczone zmienne poddano analizie regresji, w której zmienny-

TABELA 1. Zestawienie wartości zasobów wody glebowej, wskaźników wilgotności gruntu i sum opadów atmosferycznych

Data	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	I <sub>L</sub>	I <sub>a</sub>	P
1,04	89,5	93,8	0,025	0,94	0,8
11,04	85,0	90,6	0,081	1,70	7,7
21,04	94,4	93,7	1,089	11,32	20,6
2,05	77,7	90,6	0,073	2,14	2,3
10,05	64,8	78,7	0,091	3,21	3,8
20,05	53,1	72,7	0,842	10,76	20,2
1,06	68,1	75,9	0,979	14,00	23,3
10,06	51,7	63,7	0,381	5,72	10,7
20,06	53,4	69,1	0,129	5,97	24,5
1,07	44,5	56,6	0,020	2,21	8,0
10,07	59,1	65,7	1,094	28,82	36,6
19,07	44,2	59,2	0,275	6,85	3,4
30,07	37,2	52,2	0,210	4,89	14,0
9,08	34,1	51,8	0,001	0,70	0,0
20,08	42,1	57,3	1,133	14,60	28,3
1,09	81,2	86,7	3,308	26,97	61,4
10,09	64,5	73,7	0,138	5,81	0,4
20,09	49,6	61,7	0,027	2,13	2,0
1,10	59,9	70,8	0,168	3,32	14,5

w<sub>1</sub> – ilość wody w glebie w warstwie 5–10 cm w procentach pełnej pojemności wodnej,

w<sub>2</sub> – ilość wody w glebie w warstwie 15–20 cm w procentach pełnej pojemności wodnej,

I<sub>L</sub> – wskaźnik wilgotności gruntu (wskaźnik opadów uprzednich) obliczony wzorem Lambora (2),

I<sub>a</sub> – wskaźnik wilgotności gruntu (wskaźnik opadów uprzednich) obliczony według metody amerykańskiej (3),

P – suma opadu atmosferycznego z dekady poprzedzającej rozważany dzień w mm.

mi zależnymi były stany wilgotności gleby w<sub>1</sub> i w<sub>2</sub>, a zmiennymi niezależnymi suma opadu P, wskaźnik I<sub>L</sub> oraz wskaźnik I<sub>a</sub>. Po obliczeniach dotyczących stanu uwilgotnienia, w dalszej części pracy podobnej analizie poddano zmiany dekadowe stanu uwilgotnienia gleby. Obliczono różnice zapasów wody z końca dekady i jej początku i analogiczne różnice wartości wskaźników I<sub>L</sub> oraz I<sub>a</sub>. Te wielkości przedstawia tabela 2.

## Wyniki

W tabeli 3 zamieszczono równania regresji liniowej zasobów wodnych gleby względem wskaźników wilgotności

gruntu i opadu, a także ich wybrane charakterystyki statystyczne. Najwyższa wartość współczynnika korelacji występuje w przypadku zależności ze wskaźnikiem Lambora I<sub>L</sub>, i to zarówno dla poziomu 5–10 cm, jak i 15–20 cm, ale współczynnik ten jest bardzo niski ( $r = 0,283$  i  $r = 0,235$ ). Żadne z uzyskanych równań nie jest istotne nawet na poziomie  $\alpha = 0,05$ .

W tabeli 4 zestawiono natomiast równania regresji liniowej zmienności zasobów wodnych gleby  $\Delta w_1$  i  $\Delta w_2$  względem zmienności wskaźników wilgotności gruntu  $\Delta I_L$  i  $\Delta I_a$  oraz opadu. Wszystkie uzyskane równania są istotne na poziomie  $\alpha = 0,01$  i oczywiście  $\alpha = 0,05$ . Najwyższa korelacja ( $r = 0,885$

TABELA 2. Zestawienie wartości zmienności zasobów wody glebowej, zmienności wskaźników wilgotności gruntu i sum opadów atmosferycznych

Dekada	$\Delta w_1$	$\Delta w_2$	$\Delta I_L$	$\Delta I_a$	$P$
1.04–11.04	-4,5	-3,2	0,056	0,76	7,7
12.04–21.04	9,5	3,1	1,008	9,62	20,6
20.04–2.05	-1,7	-3,1	-1,016	-9,18	2,3
3.05–10.05	-12,9	-11,9	-0,018	1,07	3,8
11.05–20.05	-11,7	-6,0	0,751	7,55	20,2
21.05–1.06	15,3	3,2	0,137	3,24	23,3
2.06–10.06	-16,7	-12,2	-0,598	-8,28	10,7
11.0–20.06	1,7	5,4	-0,252	0,25	24,5
21.06–1.07	-9,0	-12,5	-0,109	-3,76	8,0
2.07–10.07	14,6	9,1	1,074	26,61	36,6
11.07–19.07	-14,9	-6,5	-0,819	-21,97	3,4
20.07–30.07	-6,7	-7,0	-0,065	-1,96	14,0
31.07–9.08	-3,4	-0,4	-0,209	-4,19	0,0
10.08–20.08	8,0	5,5	1,132	13,90	28,3
21.08–1.09	39,1	29,4	2,175	12,37	61,4
2.09–10.09	-16,7	-13,0	-3,170	-21,16	0,4
11.09–20.09	-14,9	-12,0	-0,111	-3,81	2,0
21.09–1.10	10,3	9,1	0,141	1,32	14,5

$\Delta w_1$  – dekadowa zmiana ilości wody w glebie w warstwie 5–10 cm w procentach pełnej pojemności wodnej,

$\Delta w_2$  – dekadowa zmiana ilości wody w glebie w warstwie 15–20 cm w procentach pełnej pojemności wodnej,

$\Delta I_L$  – dekadowa zmiana wskaźnika wilgotności gruntu (wskaźnika opadów uprzednich) obliczonego ze wzoru Lambora (2),

$\Delta I_a$  – dekadowa zmiana wskaźnika wilgotności gruntu (wskaźnika opadów uprzednich) obliczonego według metody amerykańskiej (3),

$P$  – dekadowa suma opadu atmosferycznego w mm.

TABELA 3. Zależność wartości zasobów wody glebowej od wskaźników wilgotności gruntu i sum opadów atmosferycznych

Postać równania	$r$	$F$	$F\alpha = 0,05$	$F\alpha = 0,01$	$S_{YX}$
$Y_1 = 57,38 + 6,40 \cdot X_1$	0,283	1,48	4,45	8,40	17,72
$Y_1 = 58,32 + 0,31 \cdot X_2$	0,140	0,34	4,45	8,40	18,29
$Y_1 = 57,99 + 0,19 \cdot X_3$	0,162	0,46	4,45	8,40	18,23
$Y_2 = 69,60 + 4,18 \cdot X_1$	0,235	0,998	4,45	8,40	14,06
$Y_2 = 70,91 + 0,11 \cdot X_2$	0,066	0,074	4,45	8,40	14,44
$Y_2 = 70,30 + 0,10 \cdot X_3$	0,113	0,219	4,45	8,40	14,37

TABELA 4. Zależność zmienności wartości zasobów wody glebowej od zmienności wskaźników wilgotności gruntu i sum opadów atmosferycznych

Postać równania	$r$	$F$	$F\alpha = 0,05$	$F\alpha = 0,01$	$S_{YX}$
$\Delta Y_1 = -1,74 + 9,97 \Delta X_1$	0,728	18,05	4,49	8,53	10,76
$\Delta Y_1 = -1,83 + 0,91 \Delta X_2$	0,709	16,19	4,49	8,53	11,06
$\Delta Y_1 = -15,18 + 0,86 X_3$	0,885	57,70	4,49	8,53	7,31
$\Delta Y_2 = -1,33 + 6,61 \Delta X_1$	0,680	13,73	4,49	8,53	8,17
$\Delta Y_2 = -1,39 + 0,57 \Delta X_2$	0,628	10,42	4,49	8,53	8,67
$\Delta Y_2 = -10,63 + 0,60 X_3$	0,862	46,30	4,49	8,53	5,64

$Y_1 = w_1; Y_2 = w_2; X_1 = I_L; X_2 = I_a; X_3 = P;$

$\Delta Y_1 = \Delta w_1; \Delta Y_2 = \Delta w_2; \Delta X_1 = \Delta I_L; \Delta X_2 = \Delta I_a;$

$r$  – współczynnik korelacji prostej,

$F$  – wartość obliczona testu  $F$  (istotność równania),

$F\alpha$  – wartość krytyczna testu  $F$  na poziomie 5% i 1%.

$S_{YX}$  – błąd standardowy równania w procentach pełnej pojemności wodnej.

i  $r = 0,862$ ) występuje z sumą opadów; dotyczy to obydwu poziomów (5–10 cm i 15–20 cm). Nieco mniejszą korelację uzyskano dla różnic wskaźników  $\Delta I_L$  oraz  $\Delta I_a$ , przy czym spośród nich wyższą dla wskaźnika  $\Delta I_L$  obliczanego metodą Lambora.

## Podsumowanie

1. Wskaźniki wilgotności gruntu (wskaźniki opadów uprzednich) oraz suma opadów atmosferycznych słabo obrazują rzeczywisty stan uwilgotnienia przypowierzchniowych warstw gleby w przypadku 10-dniowych interwałów czasowych.

2. Różnice między wskaźnikami na końcu i na początku okresów 10-dniowych, a więc ich dekadowa zmienność, dość dobrze odzwierciedlają dekadową zmienność rzeczywistego stanu uwilgotnienia przypowierzchniowych warstw gleby ( $r = 0,628 - 0,728$ ).

3. Należy sprawdzić relacje wskaźników wilgotności z rzeczywistym

uwilgotnieniem gruntu na glebach lżejszych oraz w innych interwałach czasowych (np. na wartościach dobowych lub pentadowych).

## Literatura

PAWŁAT H. 1974: *Wpływ uwilgotnienia i nawożenia na dynamikę przyrostu, plon i skład florystyczny łąki madowej*. Roczniki Nauk Rolniczych; Seria D- Monografie- Tom 156. PWN, Warszawa 1974.

WĄSEK A. 1980: *Zasoby wodne w górnej warstwie strefy aeracji a wskaźnik wilgotności gruntu*. Przegląd Geofizyczny; Rocznik XXV (XXXIII), Zeszyt 1, s: 71–78. PWN, Warszawa-Łódź 1980.

## Summary

**The test appreciation of soil moisture index from the point of agrometeorological modelling use.** The try to appreciate hydrological soil moisture index (anterior precipitation index) from the point of agrometeorological modelling use has been presented in this paper. The elaboration bases on soil moisture (natural) data, rainfall data of Agricultural Experience Division in Obory. Anterior precipitation index (API) has been calculated

by Lambor's formula and US Hydrological Service's one.

The relationship between soil moisture and API, precipitation and also ten day variabilities of these factors have been calculated. Unlike simple factors (soil moisture, API, precipitation) the variability of API, and ten day amount of precipitation represent variability of real soil moisture good.

Author's address

T. Rozbicki

Warsaw Agricultural University – SGGW  
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166  
Poland