

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

<sup>1</sup>Katedra Agronomii SGGW  
Department of Agronomy WAU

<sup>2</sup>Katedra Biometrii SGGW  
Department of Biometry WAU

<sup>3</sup>Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

## **Kształtowanie się aktualnej wilgotności gleby w zależności od ilości opadów atmosferycznych i temperatury powietrza** **The formation of actual soil moisture depending on the amount of precipitation and air temperature**

**Słowa kluczowe:** aktualna wilgotność gleby, opady atmosferyczne, wskaźnik wilgotności gruntu, temperatura powietrza

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

### **Wprowadzenie**

Woda jest podstawowym czynnikiem decydującym o wzroście i rozwoju roślin, o życiu mikroorganizmów glebowych i szeregu procesach zachodzących w glebie. Głównym źródłem wody w glebie są opady atmosferyczne. Często dla tych samych miejscowości czynnik ten jest skrajnie zróżnicowany w latach. Ponadto pomimo tych samych opadów różne gleby wykazują różną wilgotność, ponieważ zasoby wody w glebie zależą od zdolności retencyjnych (Buckman

i Brady 1971, Trybała 1996, Ogólna uprawa... 1996).

Główną przyczyną strat wody z gleby w warunkach polowych jest ewapotranspiracja. Zużycie wody na ewapotranspirację może podlegać dużym wahaniom w zależności od rodzaju rośliny, charakteru terenu oraz czynników środowiska. Szybkość utraty wody w wyniku parowania zarówno z gleby, jak i z rośliny zależy od gradientu ciśnienia pary wodnej na powierzchni gleby lub liścia i w atmosferze. Gradient ciśnienia pary wodnej zależy od wielu czynników klimatycznych i glebowych. Jednym z istotnych czynników klimatycznych jest temperatura powietrza. W gorące dni występują duże różnice między ciśnieniem pary wodnej w atmosferze i tuż nad powierzchnią liści lub gleby i parowanie przebiega bardzo szybko. Przy małej zawartości wody siła ssąca gleby ograni-

cza ruch wody w glebie i jej dostępność dla roślin, w wyniku czego straty przez parowanie i transpirację odpowiednio maleją. W miarę wyczerpywania wody z wierzchnich poziomów glebowych i strefy przykorzeniowej straty wilgoci przez ewapotranspirację ulegają zmniejszeniu. W glebie podsiąkanie kapilarne uzupełnia początkowo straty spowodowane przez parowanie powierzchniowe. Z czasem parowanie wody z gleby i pobieranie jej przez rośliny wyczerpują zapas wilgoci z wierzchnich poziomów gleby i podsiąk kapilarny traci praktyczne znaczenie. W takich warunkach następuje przemieszczanie wody z głębszych poziomów glebowych w postaci pary wodnej (Buckman i Brady 1971, Łykowski 1989, Trybała 1996).

Opad atmosferyczny kształtuje poziom uwilgotnienia gleby. Próby określenia zależności między rozkładem opadów a poziomem wilgotności gleby podejmowano wielokrotnie. Najczęściej wykorzystuje się do określania tej zależności różne wskaźniki wilgotności gruntu. Z badań wynika, że wilgotność gleby wyznaczona na drodze pomiarów i wyliczone wskaźniki wilgotności gruntu wskazują na słabą, choć istotną zgodność. Silniejsze zależności stwierdzono na glebach słabszych o mniejszych zdolnościach retencyjnych (Wąsek 1980,

Rozbicki 1995, 1997, Niemczyk i in. 2004, 2005).

W niniejszej pracy autorzy podjęli próbę wyznaczenia zależności między aktualną wilgotnością gleby a wskaźnikami wilgotności gruntu przy uwzględnieniu temperatury powietrza.

## Material i metoda

Badania były prowadzone na polu doświadczalnym Katedry Agronomii SGGW w Chylicach w województwie mazowieckim. Chylice leżą w Kotlinie Warszawskiej, w krajobrazie równinym, 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.

Badania prowadzono na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego (tab. 1). Od kwietnia do sierpnia gleba była obsiana pszenicą jara, od sierpnia była bez okrywy roślinnej. Próbkę na aktualną wilgotność gleby były pobierane w odstępach dekadowych (w przybliżeniu) od początku kwietnia do końca listopada 2006 roku z warstwy gleby do 25 cm. Każdy wynik zamieszczony w tabeli 3 jest średnią z 10 pomiarów. Wilgotność aktualną

TABELA 1. Skład granulometryczny gleby  
TABLE 1. Granulometric composition of a soil

Procentowa zawartość cząstek Percentage of particles			Grupa granulometryczna gleby Soil granulometric group
średnica / diameter [mm]			
1–0,1	0,1–0,02	< 0,02	
66	15	19	piasek gliniasty mocny heavy loamy sand

gleby oznaczono metodą suszarkowo-wagową.

Dane opadowe i rozkład temperatury pochodzą ze stacji meteorologicznej w RZD Chylice, zlokalizowanej w pobliżu prowadzonego doświadczenia (tab. 2 i 3). Na podstawie ilości i rozkładu opadów obliczono wskaźnik wilgotności gruntu:

- według metody Lambora

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

gdzie:

$I_L$  – wskaźnik wilgotności gruntu obliczony metodą Lambora (wskaźnik opadów uprzednich),

$a_i$  – 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  $a_{15} = 1$ ,

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

- według metody „amerykańskiej”

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

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,

$P_i$  – dobową sumę opadu atmosferycznego w  $i$ -tym dniu [mm].

Dekadowy rozkład temperatury wyliczono na podstawie pomiarów w klatce meteorologicznej na wysokości 2 m.

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

## Wyniki

Rozkład opadów w 2006 roku był skrajnie zróżnicowany (tab. 2). Opady miesiące zimowych oraz kwietnia i maja w niewielkim stopniu odbiegały od średnich z wielolecia, stosunkowo mało opadów, jak na polskie warunki, spadło w czerwcu, ale ekstremalnie suchym miesiącem okazał się lipiec – miesięczny opad wyniósł 6,1 mm, natomiast sierpień był wyjątkowo wilgotnym miesiącem

TABELA 2. Rozkład opadów w stacji meteorologicznej Chylice w 2006 roku

TABLE 2. Precipitation distribution in Chylice station in 2006

Miesiąc / Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I dekada / decade	12,4	12,7	7,8	10,3	1,9	8,4	1,6	120,4	7,3	37,8	28,1	4,7
II dekada / decade	7,2	22,0	2,8	17,5	24,2	17,5	1,2	27,4	0,0	0,0	10,6	20,3
III dekada / decade	3,4	9,3	0,5	23,2	21,5	4,1	3,3	55,3	1,6	4,2	4,6	1,4
Suma miesięczna Monthly sum	23,0	44,0	31,1	51,0	47,6	30,0	6,1	203,1	8,9	42,0	43,3	26,4
Suma miesięczna z wielolecia / Long- -term monthly sum	25,5	28,9	31,4	44,6	56,6	76,6	87,4	56,9	58,0	37,8	40,3	35,6

– 203 mm. Już w pierwszej dekadzie sierpnia spadło 120 mm, dwukrotnie były to opady ulewne (> 45 mm/dobę). Wrzesień był znów miesiącem bardzo suchym – miesięczny opad wynosił 8,9 mm. W pierwszej dekadzie października spadło 37 mm, ale dwie kolejne dekady były posuszne.

Tak skrajnie zróżnicowane opady stworzyły dobre warunki do badania zależności aktualnej wilgotności gleby i ilości opadów.

Aktualna wilgotność gleby w badanym okresie wahała się w szerokich granicach od 15,5%wag do 0,58%wag (tab. 3). Najwyższą wilgotność wykazywała gleba wczesną wiosną. Na uwilgotnienie gleby w tym okresie miały wpływ zdolności retencyjne gleby. Piasek gliniasty mocny ma średnie zdolności retencyjne i dlatego jest w stanie zgromadzić i zatrzymać pewne ilości wody z wilgoci pozimowej.

TABELA 3. Wilgotność aktualna gleby, średnia dekadowa temperatura powietrza i wskaźniki wilgotności gruntu w analizowanych terminach

TABLE 3. Actual soil moisture, mean decade air temperature and anterior precipitation indexes and analyzed in time limits

Data pomiaru Date of measurement	Aktualna wilgotność [% wag] Actual soil moisture [wgt %]	T [°C] Mean decade air temperature	Wskaźnik wilgotności gruntu Anterior precipitation index	
			I <sub>L</sub> [-]	I <sub>a</sub> [-]
2006.04.04	13,5	7,2	0,9755	10,26
2006.04.14	15,5	5,6	0,6055	10,95
2006.04.25	9,05	10,5	0,1053	2,18
2006.05.05	10,1	13,5	0,5746	9,83
2006.05.15	8,5	14,9	0,0091	1,37
2006.05.25	9,5	14,4	0,4502	6,41
2006.06.05	7,4	12,0	0,4053	5,38
2006.06.19	10,2	18,5	0,6428	14,49
2006.06.27	2,2	22,3	0,3486	5,29
2006.07.10	1,8	23,8	0,0456	1,61
2006.07.20	0,6	23,2	0,0158	0,53
2006.08.07	12,1	20,8	2,2978	48,99
2006.08.16	9,9	18,2	2,1119	27,69
2006.08.28	14,5	18,7	1,2387	17,58
2006.09.07	11,0	15,6	0,9929	11,91
2006.09.18	5,9	16,2	0,0218	1,03
2006.09.29	6,2	16,5	0,025	1,34
2006.10.09	9,7	14,4	1,1382	12,15
2006.10.20	9,4	10,3	0,0011	0,12
2006.10.30	11,8	12,4	0,0818	2,14
2006.11.09	15,7	3,6	1,3999	13,45
2006.11.21	12,6	8,2	0,0928	2,88
2006.11.30	13,4	7,3	0,0463	1,26

Wyraźnie poziom uwilgotnienia spadł w pierwszej dekadzie czerwca, w drugiej dekadzie stwierdzono wzrost wilgotności, który wynikał z oznaczenia bezpośrednio po dwudniowych opadach, a następnie obserwowano systematyczny spadek wilgotności od trzeciej dekady czerwca do końca lipca. Poziom wilgotności był ekstremalnie niski (0,58% wag) i był w bezpośrednim związku z długo utrzymującą się suszą przy wysokiej temperaturze powietrza.

Ulewne opady sierpnia nie są w pełni odzwierciedlone w kolejnych oznaczeniach aktualnej wilgotności gleby. Po ulewnych opadach znaczna ilość wody spłynęła makroporami jako woda grawitacyjna; ponadto należy przypuszczać, że panująca wysoka temperatura wzmagała ewapotranspirację. W miesiącach jesiennych, przy niższych opadach, wilgotność gleby była znacznie wyższa

W statystycznej ocenie zależności między wilgotnością aktualną ( $W_{wag}$ ) i wskaźnikami wilgotności gruntu: Lambora ( $I_L$ ) i amerykańskiej służby hydrologicznej ( $I_a$ ) zastosowano analizę korelacji i analizę regresji, przy czym rozpatrywano dwa przypadki:

- analizę prostej zależności między aktualną wilgotnością gleby uzyskaną dzięki pomiarom a wskaźnikiem wilgotności gruntu ( $I_L$  lub  $I_a$ ),
- analizę powyższej relacji rozszerzoną o temperaturę powietrza (średnią dekadową).

Mierniki siły zależności liniowej (współczynniki korelacji) między wilgotnością wagową a wskaźnikami wilgotności gruntu, obliczonych według wzoru Lambora ( $I_L$ ) i wzoru amerykańskiej aplikacji ( $I_a$ ), zawarte są w tabeli 4.

Wielkości wyznaczonych współczynników korelacji pozwalają stwierdzić, że:

- zależność między aktualną wilgotnością gleby a dwoma wskaźnikami wilgotności gruntu jest dodatnia i niezbyt silna, szczególnie dla amerykańskiego wskaźnika wilgotności gruntu ( $I_a$ ),
- pierwsza z rozważanych korelacji jest istotna, a więc udowodniona statystyczną metodą ( $p$ -value = 0,0356), drugi związek niestety jest nieistotny ( $p$ -value = 0,0814),
- uzyskane rezultaty nie zachęcają do kontynuowania analizy statystycznej dla badanych modeli liniowych.

W poszukiwaniu korzystniejszych zależności między aktualną wilgotnością wagową a każdym ze wskaźników wilgotności gruntu rozważano różne funkcje regresji i rezultaty tych poszukiwań zawarte są w tabeli 5.

Funkcje regresji bardziej złożone (pierwiastkowe czy logarytmiczne) dają, dla obu formuł wskaźników  $I_L$  i  $I_a$  niewielką (0,04–0,099) poprawę współczynnika korelacji (R). Są też modelami istotnymi (choć niewysocze istotnymi) statystycznie. Nie jest to więc poprawa

TABELA 4. Wartości współczynników korelacji  
TABLE 4. Values of correlation coefficients

Aktualna wilgotność, $W_{wag}$ Actual moisture, wgt %	Wskaźnik opadów uprzednich Anterior precipitation index	
	$I_L$	$I_a$
dla $n = 23$	R = 0,440	R = 0,371

TABELA 5. Funkcje regresji  
TABLE 5. The functions of regression

Zmienna zależna (i niezależna) Dependent (and independent) variable	Model zależności Regression model	R Correlation coefficient	Wartość p p-value
$Wwag (I_L)$	model pierwiastkowy square root-X model	0,488	0,0181
	model liniowy linear model	0,440	0,0356
$Wwag (I_a)$	model logarytmiczny logarithmic model	0,470	0,0238
	model liniowy linear model	0,371	0,0814

zadowalająca. Nadal badane modele są dalekie od ideału ( $|R| = 1$ ), a znacznie bardziej skomplikowane od modelu liniowego.

Satysfakcjonująca natomiast jest analiza uwzględniająca jako zmienną niezależną, oprócz wskaźnika wilgotności gruntu, średnią dekadową temperaturę powietrza. Do badania tej zależności zaproponowano metodę korelacji i regresji wielokrotnej.

Rozpatrywano dwa modele dla każdego ze wskaźników wilgotności gruntu: model regresji liniowej i model nieliniowy. Wyniki zawarte są w tabeli 6.

Jak widać, uzyskane rezultaty są bardzo zachęcające. Współczynniki determinacji mogą być interpretowane jako

co najmniej dobre, a wartości krytyczne (p) wskazują na wysoką istotność badanych zależności. Co więcej zaproponowane modele liniowe mają dość prostą interpretację występujących w nich współczynników cząstkowych.

Model liniowy zależności aktualnej wilgotności wagowej ( $Wwag$ ) od amerykańskiego wskaźnika wilgotności gruntu ( $I_a$ ) i od średniej dekadowej temperatury powietrza ( $T$ ) ma postać:

$$Wwag = 16,4254 + 0,203379I_a + - 0,609849T$$

Zależność między wilgotnością wagową ( $Wwag$ ) a wskaźnikiem wilgotności gruntu Lambora ( $I_L$ ) i temperaturą powietrza ( $T$ ) jest opisana funkcją:

TABELA 6. Funkcje regresji wielokrotnej  
TABLE 6. The functions of multiple regression

Zmienne niezależne Independent variables	Model zależności Regression model	R <sup>2</sup> [%] R-squared	Wartość p p-value
$I_L, T$	model liniowy linear-X model	76,88	0,0000
	model nieliniowy nonlinear model	78,29	0,0000
$I_a, T$	model liniowy linear-X model	80,24	0,0000
	model nieliniowy nonlinear model	81,14	0,0000

$$W_{wag} = 15,6839 + 3,07904I_L + - 0,556644T$$

Modele nieliniowe, wybrane metodą regresji krokowej, mają dla badanych zmiennych postaci:

$$W_{wag} = 12,7043 + 0,20651I_a + - 0,02139 \cdot T^2$$

$$W_{wag} = 12,2929 + 3,16216I_L + - 0,01962T^2$$

Widać, że nieliniowość modelu powoduje kwadratowy wpływ temperatury na wilgotność wagową.

Potwierdzeniem znacznej zgodności między empirycznymi pomiarami wilgotności a wartościami teoretycznymi wilgotności, czyli uzyskanymi z równań regresyjnych, są wykresy 1 i 2. Pierwszy z nich (rys. 1) zawiera wartości teoretyczne dla liniowego modelu opartego na wskaźniku Lambora ( $I_L$ ) i temperaturze powietrza ( $T$ ). Na drugim wykresie (rys. 2) wartości teoretyczne są obliczone

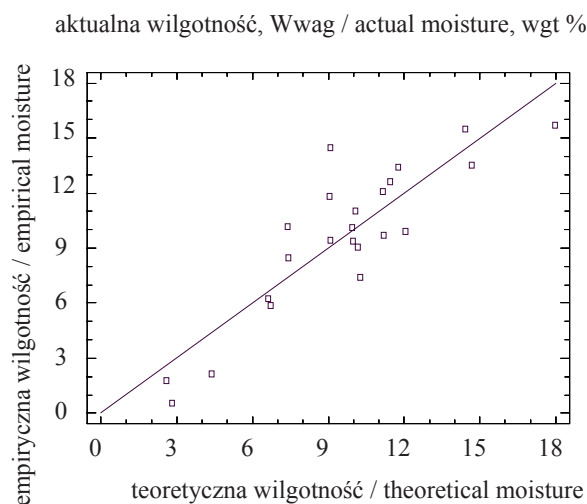
zgodnie z liniowym równaniem między wilgotnością a wskaźnikiem amerykańskim ( $I_a$ ) i temperaturą powietrza ( $T$ ).

## Wnioski

1. Zaproponowana prosta, czyli jednokrotna regresja między aktualną wilgotnością gleby a dwoma wskaźnikami wilgotności gruntu – Lambora ( $I_L$ ) i amerykańskim ( $I_a$ ), nie przyniosła zachęcających wyników.
2. Propozycja rozszerzenia modelu o temperaturę powietrza ( $T$ ) dała bardzo dobre rezultaty dla obydwóch wskaźników wilgotności gruntu – Lambora ( $I_L$ ) i amerykańskiego ( $I_a$ ).

## Literatura

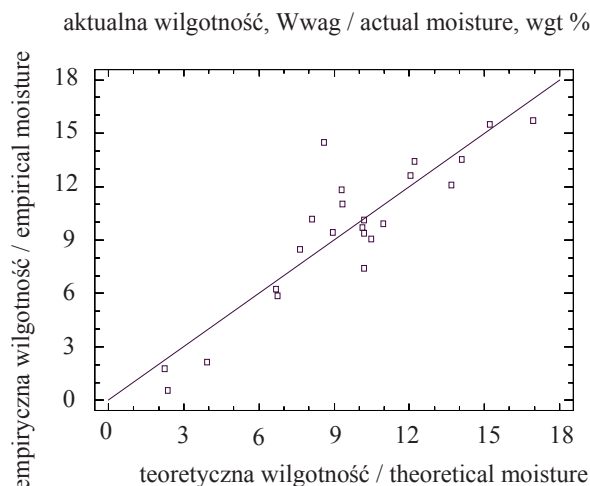
BUCKMAN H.C., BRADY N.C. 1971: Gleba jej właściwości. PWRiL, Warszawa.



RYSUNEK 1. Porównanie zgodności między wilgotnością teoretyczną i empiryczną dla modelu liniowego ze wskaźnikiem wilgotności gruntu Lambora ( $I_L$ )

FIGURE 1. Comparison of agreement between theoretical and empirical soil moisture for linear model with Lambor's interior precipitation index ( $I_L$ )





RYSUNEK 2. Porównanie zgodności między wilgotnością teoretyczną i empiryczną dla modelu liniowego z amerykańskim wskaźnikiem wilgotności gruntu ( $I_a$ )

FIGURE 2. Comparison of agreement between theoretical and empirical soil moisture for linear model with american interior precipitation index ( $I_a$ )

LAMBOR J. 1962: Metody prognoz hydrologicznych. Warszawa.

ŁYKOWSKI B. 1989: Warunki meteorologiczne zaopatrzenia roślin w wodę [w:] Potrzeby wodne roślin uprawnych (red.) J. Dzieżyca. PWN, Warszawa.

NIEMCZYK H., KOWALSKA B., MAJEWSKI G. 2004: Współzależność między aktualną wilgotnością warstwy ornej czarnej ziemi a wskaźnikami 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.

Ogólna uprawa roli i roślin, 1997 (red.) W. Roszak. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

ROZBICKI T. 1995: Próba oceny przydatności wskaźnika gruntu. *Przegl. Nauk. Wyzd. 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 CCXCI, Melior. Inż. Środ.* 17: 105–115.

TRYBAŁA M. 1996: Gospodarka wodna w rolnictwie. PWRiL, Warszawa.

WĄSEK A. 1980: Zasoby wodne w górnej warstwie strefy aeracji a wskaźnik wilgotności gruntu. *Przegląd Geofizyczny* 1: 71–78.

## Summary

**The formation of actual soil moisture depending on the amount of precipitation and air temperature.** The aim of the paper is evaluation of conformability between actual soil moisture appointed in laboratory and indices of soil moisture used in hydrology: Lambor's anterior precipitation index ( $I_L$ ) and American index ( $I_a$ ). The notation for soil moisture is taken from experiments conducted in Department of Agronomy experimental station in Chylice between April and November 2006. Statistical analysis of results proves that for soil with strong loamy sand granulation the dependence between actual soil moisture and each of anterior precipitation indices ( $I_L$  lub  $I_a$ ) is not too strong, although significant (maximum value of



correlation coefficient  $R = 0,488$ ). After including the second independent variable, air temperature, in the regression model, maximum value of  $R$ , measuring dependence between actual soil moisture and anterior precipitation index ( $I_L$  lub  $I_a$ ) and air temperature equals 0,896.

**Authors' addresses:**

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