

Hanna NIEMCZYK¹, Bogda KOWALSKA², Grzegorz MAJEWSKI³,

¹Katedra Agronomii SGGW
Department of Agronomy WAU

²Katedra Biometrii SGGW
Department of Biometry WAU

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

Analiza zależności między aktualną wilgotnością warstwy ornej gleby lekkiej i wskaźnikami opadów uprzednich

Analysis relationship between actual soil moisture of light earth ploughing topsoil and anterior precipitation indexes

Słowa kluczowe: aktualna wilgotność gleby, opady atmosferyczne, wskaźnik opadów uprzednich

Key words: actual soil moisture, atmospheric precipitation, anterior precipitation index

Wprowadzenie

Głównym źródłem wody w glebie są opady atmosferyczne. Jednakże mimo tej samej ilości opadów zasoby wody w różnych glebach kształtują się różnie, ponieważ o warunkach wilgotnościowych decydują zdolności retencyjne gleby (Thompson i Troeh 1978, Trybała 1996, Roszak 1997). Woda z opadów, dostając się na powierzchnię gleby, częściowo spływa po powierzchni do cieków i zbiorników wodnych, szczególnie po gwałtownych i obfitych opadach, paruje, a reszta wsiąka w glebę. Część wody podlega działaniu sił

grawitacji i w ciągu 2–3 dni spływa do wód gruntowych, a część jest zatrzymywana w porach glebowych. Tempo wsiąkania wody w glebę zależy od właściwości fizycznych gleby, które są przede wszystkim determinowane przez skład granulometryczny. Ruch wody w głąb profilu glebowego odbywa się do momentu osiągnięcia stanu polowej pojemności wodnej, czyli tej ilości wody, która jest wiązana przez glebę siłami wyższymi od sił grawitacji. W tym stanie woda znajduje się w mikro- i mezoporach, a w makroporach znajduje się powietrze. Ilość wody, jaką gleba jest w stanie utrzymać przy polowej pojemności wodnej zależy od składu granulometrycznego, zawartości substancji organicznej i struktury gleby. Kształtuje się w granicach od 6% dla gleb o składzie granulometrycznym piasku luźnego do 34–35% dla gleb

cięższych o dużym udziale części spławianych (Trybała 1996). Zdolność zatrzymywania wody przez glebę jest ściśle skorelowana z wielkością powierzchni cząstek glebowych. Gleby piaszczyste charakteryzują się niekorzystnymi warunkami wodnymi. Po opadach większość wody odpływa w dół jako woda grawitacyjna szybko przesiąkająca, natomiast poziom wznieszenia kapilarnego jest stosunkowo niski; według Trybały dla piasku luźnego wynosi 30 cm, dla gliniastego 100 cm. Na glebach lekkich, o głęboko położonym zwierciadle wody gruntowej, opady atmosferyczne, rosa oraz kondensacja pary wodnej w glebie są jedyne źródłami zaopatrzenia roślin w wodę (Łykowski 1989). Należy przypuszczać, że te cechy gleby lekkiej będą kształtować wzajemne zależności uwilgotnienia gleby i wysokości opadów atmosferycznych.

Wilgotność gleby można ocenić na podstawie danych pomiarowych lub pośrednio za pomocą wskaźników wilgotności. Aktualna wilgotność gleby jest m.in. funkcją warunków meteorologicznych okresu poprzedzającego, głównie sumy i natężenia opadów oraz innych elementów kształtujących zdolność ewaporacyjną powietrza w tym okresie. Poza elementami meteorologicznymi, ilość wody znajdującej się w glebie zależy od właściwości fizycznych samej gleby i dlatego przy jednakowej ilości opadów i jednakowej ilości ciepła determinującego parowanie z gleby zasoby wody w różnych rodzajach gleb będą różne.

W ocenie uwilgotnienia gleby jako wskaźnik wilgotności gruntu stosuje się nieraz w prognozach hydrologicznych

tw. wskaźnik opadów uprzednich. Jest on funkcją opadów, które wystąpiły w okresie poprzedzającym dzień, dla którego oblicza się wskaźnik.

Istnieje kilka metod obliczania wskaźnika wilgotności gruntu. 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 obliczamy wskaźnik $a_1 = 15$, dla drugiego dnia $a_2 = 14$ itd., aż do dnia piętnastego $a_{15} = 1$,

P_i – dobowa suma opadu atmosferycznego w i -tym dniu [mm],

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

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

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 udział opadu w zasilaniu strefy aeracji zależy od terminu jego występowania.

Największy wpływ na wielkość wskaźnika ma opad z dnia bezpośrednio poprzedzający termin, dla którego obliczamy wskaźnik, najmniejszy zaś – opad, który wystąpił 15 dni wcześniej.

Z literatury wynika (Wąsek 1980, Rozbicki 1996), że wskaźnik opadów uprzednich, stosowany w hydrologii do oceny wilgotności gruntu, nie w pełni odzwierciedla zasoby wodne gleb. Według Rozbickiego (1997), zależność stanu uwilgotnienia powierzchniowych warstw gleby i wskaźnika opadów uprzednich jest większa dla gleb lekkich niż dla cięższych. Ocena współzależności między aktualną wilgotnością uzyskaną na drodze pomiarów a wskaźnikiem opadów uprzednich Lambora wykazała słabą, choć istotną zależność dla czarnej ziemi o składzie granulometrycznym gliny lekkiej pylastej (Niemczyk i in. 2004).

Niniejsza praca ma na celu weryfikację tych wielkości dla warstwy ornej gleby lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego.

Material i metoda

W opracowaniu wykorzystano wyniki pomiarów wilgotności aktualnej gleby uzyskane w dwu doświadczeniach

modelowych, prowadzonych w latach 1968–1981 na polu doświadczalnym Katedry Ogólnej Uprawy Roli i Roślin SGGW w Chylicach w woj. mazowieckim. Chylice znajdują się w kotlinie warszawskiej, w krajobrazie równinnym, wyniesionym około 105 m n.p.m., na obszarze zlewni rzeki Pisi. Doświadczenia były prowadzone na glebie piaszczystej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego lub mocnego (tab. 1). W pierwszym doświadczeniu betonowe kręgi o powierzchni 0,67 m² z otwartym dnem były wypełnione od góry do głębokości 0,7 m piaskiem; na głębokości 0,7–1,5 m gliną średnią. W drugim doświadczeniu glebę piaszczystą umieszczono w skrzynkach, których boki ograniczało zbrojone szkło, dno skrzynki było otwarte. Dzięki temu badana gleba miała bezpośredni kontakt z naturalnym podglebieniem gliniastym. Powierzchnia skrzynki wynosiła 0,25 m², a głębokość 0,3 m.

Zawartość wody przy połowej pojemności wodnej wynosiła 15–17% obj., a w punkcie trwałego więdnięcia 6–7% obj.

W poszczególnych latach gleba była pokryta roślinami uprawnymi; badano poszczególne gatunki zbóż, rzepak, strączkowe (groch, łubin żółty). W każdym roku kilkakrotnie pobierano próbki

TABELA 1. Skład granulometryczny gleby w doświadczeniach
TABLE 1. Granulometric composition of a soil in the experiments

Doświadczenie Experiment	Procentowa zawartość cząstek Percentage of particles			Grupa granulometryczna gleby Soil granulometric group
	średnica / diameter [mm]			
	1 – 0,1	0,1 – 0,02	<0,02	
I	63	21	16	piasek gliniasty mocny heavy loamy sand
II	64	24	12	piasek gliniasty lekki light loamy sand

TABELA 2. Wilgotność aktualna gleby, wskaźniki wilgotności gruntu i suma opadów atmosferycznych w analizowanych terminach

TABLE 2. Actual soil moisture, anterior precipitation indexes and rainfall analyzed in time limits

Data pomiaru / Date of measurement		Aktualna wilgotność [% wag.] Actual soil moisture [wt%]	Wskaźnik wilgotności gruntu (wskaźnik opadów uprzednich) Anterior precipitation index		Suma opadów z 15 dni P [mm] Total precipitations from 15 days
			I _i [-]	I _a [-]	
1	2	3	4	5	6
1	07.05.1968	9,1	1,306	11,223	34,9
2	27.05.1968	7,6	1,250	11,190	49,8
3	15.06.1968	10,8	3,798	44,462	101,7
4	29.06.1968	3,3	0,225	3,096	11,1
5	22.05.1969	8,8	1,073	10,833	31,3
6	25.06.1969	7,3	0,928	41,328	117,7
7	10.07.1969	11,3	0,978	25,695	37,2
8	24.07.1969	5,0	0,435	7,639	13,7
9	06.07.1970	7,9	0,332	8,389	40,5
10	24.07.1970	12,0	2,309	28,283	94,9
11	07.08.1970	8,2	0,431	9,050	40,5
12	02.10.1970	8,5	0,226	3,652	9,5
13	30.04.1971	11,6	0,925	10,384	32,4
14	05.04.1971	13,8	0,265	3,102	17,6
15	12.06.1971	13,6	4,294	31,863	63,8
16	05.07.1971	13,9	3,062	24,074	75,9
17	29.07.1971	2,6	0,001	0,297	3,6
18	14.09.1971	13,2	4,362	37,997	103,4
19	23.10.1971	13,7	1,842	24,251	92,5
20	25.05.1973	12,8	0,890	13,525	36,2
21	04.04.1973	12,8	0,007	0,356	0,6
22	09.04.1974	9,6	0,001	0,059	0,4
23	14.08.1974	13,4	1,581	12,678	51,4
24	23.04.1975	12,8	0,351	5,198	31,5
25	07.05.1975	13,8	0,339	13,606	20,9
26	23.05.1975	7,9	0,126	2,389	14,6
27	07.07.1975	4,2	0,096	4,213	36,1
28	11.07.1975	7,35	0,311	6,890	12,8
29	18.07.1975	5,7	0,124	3,074	6,1
30	22.08.1975	8,1	0,142	3,074	6,9
31	11.09.1975	8,3	1,396	12,486	26,8
32	11.10.1975	11,8	0,619	6,030	16,7
33	28.04.1976	13	0,075	1,641	10,7
34	22.05.1976	10,6	0,372	7,079	28
35	09.06.1976	2,8	0,213	3,325	23,4
36	30.06.1976	4,1	0,011	1,609	20
37	13.07.1976	3,6	0,288	5,159	10,5
38	01.08.1976	5,0	1,661	20,476	86,3
39	04.08.1976	12,9	1,217	14,587	89,6
40	05.08.1976	9,6	1,383	15,781	93,8
41	12.08.1976	12,3	1,668	17,079	41

cd. tab. 1
tab. 1 cont.

1	2	3	4	5	6
42	13.09.1976	5,2	0,059	1,233	7,5
43	13.05.1977	2,24	0,077	1,752	6,6
44	10.06.1977	4,3	1,137	12,935	28,2
45	26.07.1977	2,69	0,406	7,563	23,6
46	22.05.1978	7,3	0,126	3,466	30,3
47	27.05.1978	13,4	1,429	22,757	38,4
48	23.06.1978	7,2	0,118	2,193	15,2
49	03.07.1978	9,8	0,946	12,125	37,7
50	07.08.1978	7,9	0,195	4,684	7,8
51	28.09.1978	11,3	1,061	8,267	24,5
52	21.05.1981	8,5	0,171	3,398	5,5
53	03.06.1981	7,6	1,135	13,919	41,4
54	30.06.1981	11,9	4,411	29,339	102,5
55	14.07.1981	2,1	0,121	2,517	7,0
56	07.08.1981	5,2	0,822	10,981	38,6

gleby do oznaczenia wilgotności aktualnej. Każdy wynik zamieszczony w tabeli 2 jest średnią z 8–9 pomiarów. Glebę pobierano z warstwy do 25 cm. Aktualną wilgotność oznaczono metodą suszarkowo–wagową.

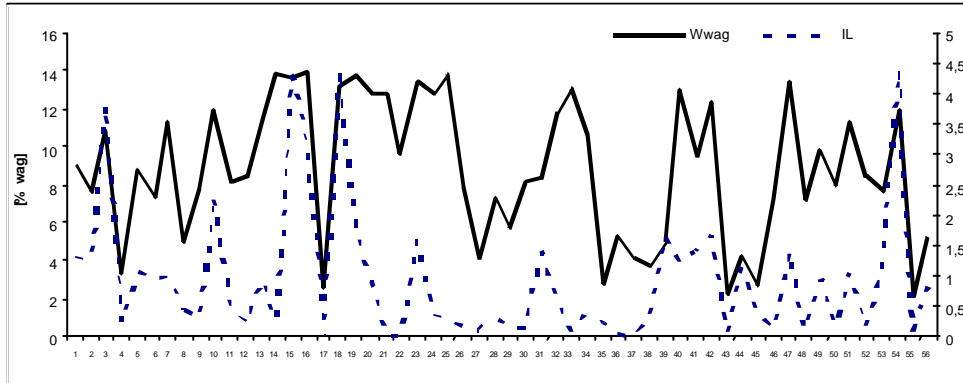
Dane opadowe pochodzą ze stacji meteorologicznej w RZD Chylice, zlokalizowanej w pobliżu prowadzonych doświadczeń. Do analizy wykorzystano wskaźnik wyznaczony za pomocą wzoru Lambora (1) oraz wskaźnik obliczany według formuły amerykańskiej służby meteorologicznej (2). Na podstawie dobowych sum opadu atmosferycznego z 15 dni poprzedzających rozpatrywany termin, obliczone zostały wartości obu wskaźników dla każdego dnia. Współczynniki wagowe przyjęto według zaleceń.

Wyniki

Z analizy danych w tabeli 2 wynika, że suma opadów z 15 dni wahała się w bardzo szerokich granicach: od 0,4 do

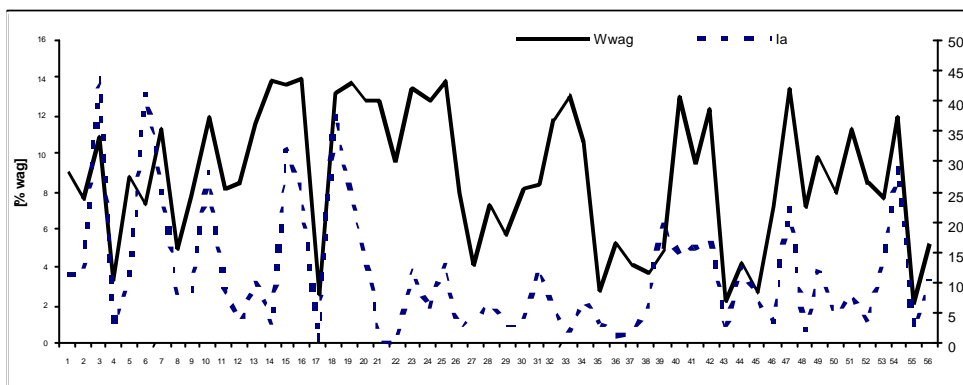
117,7 mm. Wilgotność gleby w analizowanych terminach wahała się od 2,1% wag. do 13,9% wag. Omawiane wskaźniki są odbiciem ilości i rozkładu opadów w danym okresie (rys. 1, 2). Wilgotność gleby w danym dniu nie zawsze jest w bezpośrednim związku z ilością opadów, np. 4.04.1976 r. – oznaczona wilgotność aktualna gleby wynosiła 12,8% wag. przy ilości opadów z ostatnich 15 dni 0,6 mm; identyczną wilgotność uzyskano z oznaczenia 23.04.1975 r. przy sumie opadów 31,5 mm.

Z analizy danych wynika, że największe rozbieżności mają miejsce w oznaczeniach wczesnowiosennych, co dowodzi, że dana gleba zgromadziła pewne ilości wody z wilgoci zimowej. Z tego powodu opracowanie statystyczne wykonano w dwóch wersjach: w pierwszej przy pełnych danych ($n = 56$), w drugiej po odrzuceniu oznaczeń wczesnowiosennych ($n = 50$), które w znacznym stopniu zamazują obraz zależności wilgotności aktualnej gleby i wskaźników opadów uprzednich.



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 4. Zmiany aktualnej wilgotności [% wag] i wskaźnika opadów uprzednich (I_a) w analizowanych terminach

FIGURE 4. Changes in actual soil moisture [wgt%] and anterior precipitation index (I_a) analyzed in time limits

Analiza obu zbiorów danych pozwoliła na próbę oceny zgodności między aktualną wilgotnością gleby uzyskaną w wyniku pomiarów a wskaźnikiem opadów uprzednich (I_L lub I_a). Mierniki siły związku (współczynniki korelacji) między wilgotnością wagową a wskaźnikami opadów uprzednich liczonych według wzoru Lambora (I_L) i wzoru amerykańskiej aplikacji (I_a) zawarte są w tabeli 3.

Na podstawie wyznaczonych współczynników korelacji można stwierdzić, że:

- zależność między aktualną wilgotnością gleby a dwoma wskaźnikami opadów uprzednich jest dodatnia i dość silna, szczególnie dla niepełnej bazy danych ($n = 50$),
- dla obu zestawów danych wskaźnik opadów uprzednich liczony według wzoru Lambora (I_L) jest bardziej skorelowany z parametrem Wwag,

określającym wilgotność gleby, niż wskaźnik amerykański (I_a),

- wszystkie rozważane korelacje są istotne, a więc rozpoznawane statystycznymi metodami (p-values = 0,0000).

Zgodność parametru zasobności gleby w wodę (Wwag) ze wskaźnikiem opadów uprzednich Lambora jest dość daleka od ideału, tzn. wartości współczynnika korelacji $r = 1$, jednakże z dużą ostrożnością można wykorzystać ten wskaźnik opadów w celu określania zasobów wody w glebie, szczególnie jeśli ta ocena nie odnosi się do okresu wczesnowiosennego.

Istotność statystyczna badanych zależności pozwoliła na wyznaczenie następujących równań regresji (dla mniejszego zestawu danych, $n = 50$):

$$Wwag = 1,88376 \cdot I_L + 6,41549$$

$$Wwag = 0,19306 \cdot I_a + 5,94847$$

Równania regresji dla wszystkich obserwacji ($n = 56$) mają zbliżoną postać.

Do powyższych wzorów można odnieść się jak do formuł przejścia ze wskaźników opadów uprzednich (I_L lub I_a) na parametr wilgotności (Wwag), choć nie są to formuły optymalne. Ideałem byłby model zależności o wartości współczynnika dopasowania R^2 bliskiej 100%. Rozważano różne funkcje regresji i wyniki tych poszukiwań zawarte są w tabeli 4.

Widoczne jest, że modele bardziej złożone (pierwiastkowy czy logarytmiczny) dają, dla obu formuł wskaźników opadów uprzednich (I_L i I_a), niewielką (8%–11%) poprawę współczynnika dopasowania R^2 . Nie jest to więc poprawa satysfakcjonująca. Nadal ba-

TABELA 3. Wartości współczynników korelacji
TABLE 3. Values of correlation coefficients

Aktualna wilgotność, Wwag Actual moisture, wgt %	Wskaźnik opadów uprzednich Anterior precipitation index	
	I_L	I_a
dla $n = 56$	$r = 0,478$	$r = 0,436$
dla $n = 50$	$r = 0,602$	$r = 0,582$

TABELA 4. Funkcje regresji
TABLE 4. The functions of regression

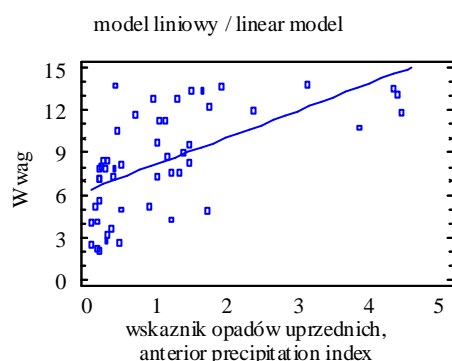
Zmienna zależna i niezależna Dependent and independent variable	Modele zależności Regression models	R^2 R-squared
Wwag (I_L)	model pierwiastkowy square root-X model	44,70%
	model logarytmiczny logarithmic model	42,80%
	model liniowy linear model	36,23%
Wwag (I_a)	model logarytmiczny logarithmic model	44,60%
	model pierwiastkowy square root-X model	42,03%
	model liniowy linear model	32,86%

dane modele są dalekie od ideału ($R^2 = 100\%$), a znacznie bardziej skomplikowane od modelu liniowego.

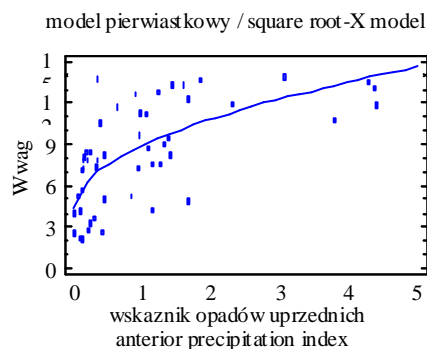
Podobnie jak dla warstwy ornej czarnej ziemi (Niemczyk i in. 2004), w przypadku warstwy ornej gleby lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, funkcja regresji pozwalająca zastąpić wskaźnik opadów uprzednich Lambora (I_L) parametrem W_{wag} jest typu $y = a + x$, gdzie stała a jest bliska 6. Dwie porównywane charakterystyki określające wilgotność gleby, W_{wag} i I_L , można traktować jako jednakowo precyzyjne, choć przesunięte w stosunku do siebie o stałą a .

Na rysunku 3 i 4 przedstawiono dwie funkcje regresji, opisujące zależność między dwoma parametrami zasobności gleby w wodę: wilgotnością wyrażoną w % wagowych (W_{wag}) i wskaźnikiem opadów uprzednich Lambora (I_L). Jest to funkcja o najlepszym dopasowaniu (model pierwiastkowy) i najprostszą (model liniowy).

Przeprowadzone badania statystyczne wskazują na dość silną i istotną



RYSUNEK 3. Punkty empiryczne i funkcja regresji
FIGURE 3. Empirical data and function of regression



RYSYNEK 4. Punkty empiryczne i funkcja regresji
FIGURE 4. Empirical data and function of regression

zgodność między wskaźnikiem opadów uprzednich Lambora (I_L), a wilgotnością aktualną warstwy ornej gleby o składzie granulometrycznym piasku gliniastego (W_{wag}). Wydaje się, że wskaźnik amerykański (I_a) jest mniej odpowiednim substytutem. Zaproponowana próba pewnej transformacji wskaźnika opadów uprzednich Lambora (I_L) na razie jest niezadowolająca.

Wykazana zależność między wskaźnikiem opadów uprzednich Lambora a oznaczoną wilgotnością aktualną gleby jest większa dla gleby o składzie granulometrycznym piasku gliniastego niż dla gliny lekkiej (Niemczyk i in. 2004). Dla obu analizowanych gleb stwierdzono, że wskaźnik opadów uprzednich nie odzwierciedla wilgotności aktualnej w okresie wczesnowiosennym ze względu na zdolności retencyjne gleby. Należy przypuszczać, że gleba piaszczysta o mniejszej ilości cząstek spławialnych, mająca małe zdolności magazynowania wody, może wykazywać większą zależność między wilgotnością aktualną a ilością opadów.

Wnioski

1. Wskaźnik Lambora (I_L) wykazuje większą zgodność z oznaczoną wilgotnością aktualną gleby niż wskaźnik amerykański.
2. Wskaźnik opadów uprzednich Lambora wykazuje dość silną, istotną zgodność z wilgotnością aktualną warstwy ornej gleby piaszczystej, szczególnie jeśli oceniana zależność nie dotyczy okresu wczesnowiosennego.
3. Aktualna wilgotność warstwy ornej gleby o składzie granulometrycznym piasku gliniastego w okresie wczesnej wiosny nie odzwierciedla ilości opadów ze względu na zdolności retencyjne gleby.

Literatura

- 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 wskaźnikiem opadów uprzednich. *Przeł. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* XIII, 1(28):
- Ogólna uprawa roli i roślin 1997 (red) W. Roszak. PWN, Warszawa.
- ROZBICKI T. 1995: Próba oceny przydatności wskaźnika gruntu. *Przeł. Nauk. Wydz. Melior. Inż. Środ.*: 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.
- THOMPSON L.M., TROEH F.R. 1978: Gleba i jej żyzność. PWRiL, Warszawa.
- TRYBAŁA M. 1996: Gospodarka wodna w rolnictwie. PWRiL, Warszawa.
- WĄSEK A. 1980: Zasoby wodne w górnej warstwie strefy aeracji a wskaźnik wilgotności gruntu. *Przeł. Geofizyczny* XXV, 1: 71–78.

Summary

Analysis relationship between actual soil moisture of light earth ploughing topsoil and anterior precipitation indexes. The aim of the paper is qualification of conformability between actual soil moisture appointed in laboratory and indexes of soil moisture used in hydrology: Lambor's anterior precipitation index (I_L) and American index (I_a). The qualification was performed for soil with granulation as in loamy sand. The notation for soil moisture is taken from model experiments conducted in Department of Agronomy experimental station in Chylice between 1968 and 1981.

Statistical analysis of results has proved that Lambor's index is more correlated with actual soil moisture than American index.

It was established that during early spring soil keeps significant humidity "in stock" after the winter and thus actual soil moisture is related with amount of rainfall only to a small degree. Otherwise correlation between moisture of soil with loamy sand granulation and the Lambor's anterior precipitation index is positive and rather strong ($r = 0,602$).

Authors' addresses:

Hanna NIEMCZYK¹, Bogda KOWALSKA², Grzegorz MAJEWSKI³
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
¹Katedra Agronomii, ²Katedra Biometrii,
³Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Poland
e-mail: majewskig@alpha.sggw.waw.pl

