

## WARUNKI METEOROLOGICZNE KSZTAŁTUJĄCE UWILGOTNIENIE GLEBY POD ZIEMNIAKIEM W STACJI AGROMETEOROLOGICZNEJ W LIPKACH W LATACH 1998 I 1999

*C. Koźmiński<sup>1</sup>, B. Michalska<sup>2</sup>, J. Nidzgorska-Lencewicz<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Zakład Klimatologii i Meteorologii Morskiej, Uniwersytet Szczeciński, ul. Wąska 3, 71-407 Szczecin

<sup>2</sup>Katedra Agrometeorologii i Melioracji, Akademia Rolnicza, ul. Papieża Pawła VI, 3, 71-434 Szczecin  
e-mail: bmichalska@agro.ar.szczecin.pl

**Streszczenie.** W pracy określono wpływ dobowych temperatur powietrza, opadów i parowania wody z ewaporometru Wilda na wielkość uwilgotnienia gleby lekkiej na pięciu głębokościach (5, 10, 20, 30 i 50 cm) pod ziemniakiem średniopóźnym, w Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach k/Stargardu Szczecińskiego, w latach 1998 i 1999. Analizowano wpływ wymienionych czynników z dnia pomiaru oraz z kolejnych dni poprzedzających pomiar (od 1 do 10) na wielkość uwilgotnienia gleby na różnych głębokościach, w okresie wegetacji ziemniaka. Dobowe opady do około 5 mm zmieniały z reguły stan uwilgotnienia gleby do głębokości 5 cm, a jeśli występowały w ciągach kilkudniowych, to do głębokości 10 cm, zaś opady w przedziale od 5 do 10 mm powodowały wzrost uwilgotnienia gleby pod ziemniakiem na głębokościach 20 i 30 cm, a występujące w ciągach dni - nawet do głębokości 50 cm. Na podstawie tylko dobowych opadów atmosferycznych z 10 kolejnych dni można w sposób zadowalający określać wielkość uwilgotnienia gleby na głębokości 5 cm pod ziemniakiem w okresie wschody-zbiory, a w sposób bardzo dokładny na podstawie opadów z co najmniej 7 dni w okresie pełnia kwitnienia-początek zasychania łętów.

**Słowa kluczowe:** wilgotność gleby, czynniki meteorologiczne, ziemniak, prognozowanie.

### WSTĘP

Spośród czynników agrometeorologicznych, uwilgotnienie gleby jest najbardziej kompleksowym wskaźnikiem odzwierciedlającym przebieg pogody i zmieniające się potrzeby wodne roślin w okresie ich wegetacji. Aktualny stan uwilgotnienia gleby zależy głównie od dotychczasowego przebiegu pogody, kompleksu glebowego, ukształtowania terenu i poziomu wód gruntowych, a także od gatunku i fazy rozwojowej roślin rosnących na tej glebie [10]. Powyższe uwarunkowania znajdują

potwierdzenie w wieloletnich badaniach zmienności uwilgotnienia gleby lekkiej do głębokości 70 cm pod wybranymi roślinami w porównaniu z ugorzem w Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach [4,5,6,7]. Dotychczas w stacji prowadzono co 10 dni pomiary uwilgotnienia gleby metodą suszarkową, a od kilku lat równocześnie prowadzi się codzienne pomiary za pomocą czujników elektrycznych. Pozwala to na określanie zależności pomiędzy uwilgotnieniem gleby na różnych głębokościach a przebiegiem pogody w kolejnych dniach. Podobne wieloletnie pomiary uwilgotnienia gleby pod różnymi roślinami prowadzone są w stacjach agrometeorologicznych we Wrocławiu-Swojcu na glebie brunatnej wytworzonej z glin zwałowych oraz w Lublinie-Felinie na glebie brunatnej wytworzonej z pyłów lessopodobnych z podsiąkiem wód gruntowych [1,12].

Celem pracy było określenie wielkości uwilgotnienia gleby lekkiej pod ziemniakiem na podstawie dostępnych danych meteorologicznych, a także wyznaczenie równań regresji, które mogą być wykorzystane do szacowania stopnia uwilgotnienia głębszych warstw gleby.

#### MATERIAŁY I METODY

W Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach k/Stargardu Szczecińskiego występuje gleba brunatna kwaśna wytworzona z gliniastego piasku zwałowego z wkładkami gliny na głębokości 70-80 cm. [9]. Połowa pojemność wodna dla warstwy gleby do głębokości 100 cm wynosi 169 mm, a przeciętny dekadowy zapas wody użytecznej w okresie wegetacji waha się w ugorze od 88 do 122 mm [6].

W pracy wykorzystano dobowe – uśrednione z czterech terminów (z godz. 2<sup>00</sup>, 8<sup>00</sup>, 14<sup>00</sup> i 20<sup>00</sup>) pomiary wilgotności gleby pod ziemniakiem średniopóźnym w latach 1998 i 1999. Pomiary wykonywano czujnikami elektrycznymi Theta Probe firmy Delta-T zainstalowanymi na głębokościach: 5, 10, 20, 30 i 50 cm w okresie od wschodów do zbioru roślin. W roku 1999, w wyniku awarii czujników na głębokościach 20, 30 i 50 cm, pomiary na tych głębokościach prowadzono tylko do 10 sierpnia, czyli do początku zasychania łątów. Ziemniak uprawiany był na glebie kompleksu żytniego dobrego (IV b), bez podsiąku wód gruntowych, w następującym płodozmianie: ziemniak, jęczmień jary, rzepak ozimy, żyto. Równoległe z pomiarami wilgotności gleby za pomocą czujników elektrycznych prowadzono na tych samych głębokościach co dekadę pomiary tradycyjną metodą suszarkową, którą stosuje się na Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach od 1961 roku [6]. Ponadto notowano początek i pełnię ważniejszych faz rozwojowych u ziemniaka.

Dobowe dane meteorologiczne dotyczące temperatury powietrza i opadów uzyskano z automatycznej stacji meteorologicznej, a parowanie z powierzchni wodnej z ewaporometru Wilda umieszczonych w ogródku meteorologicznym w sąsiedztwie doświadczenia. Przy określaniu wilgotności gleby w przyjętym dniu wykorzystywano dane meteorologiczne z dnia pomiaru oraz z kolejnych dni poprzedzających pomiar posługując się metodą regresji liniowej. Uzyskane wyniki zamieszczono w 8 tabelach i na 4 rysunkach.

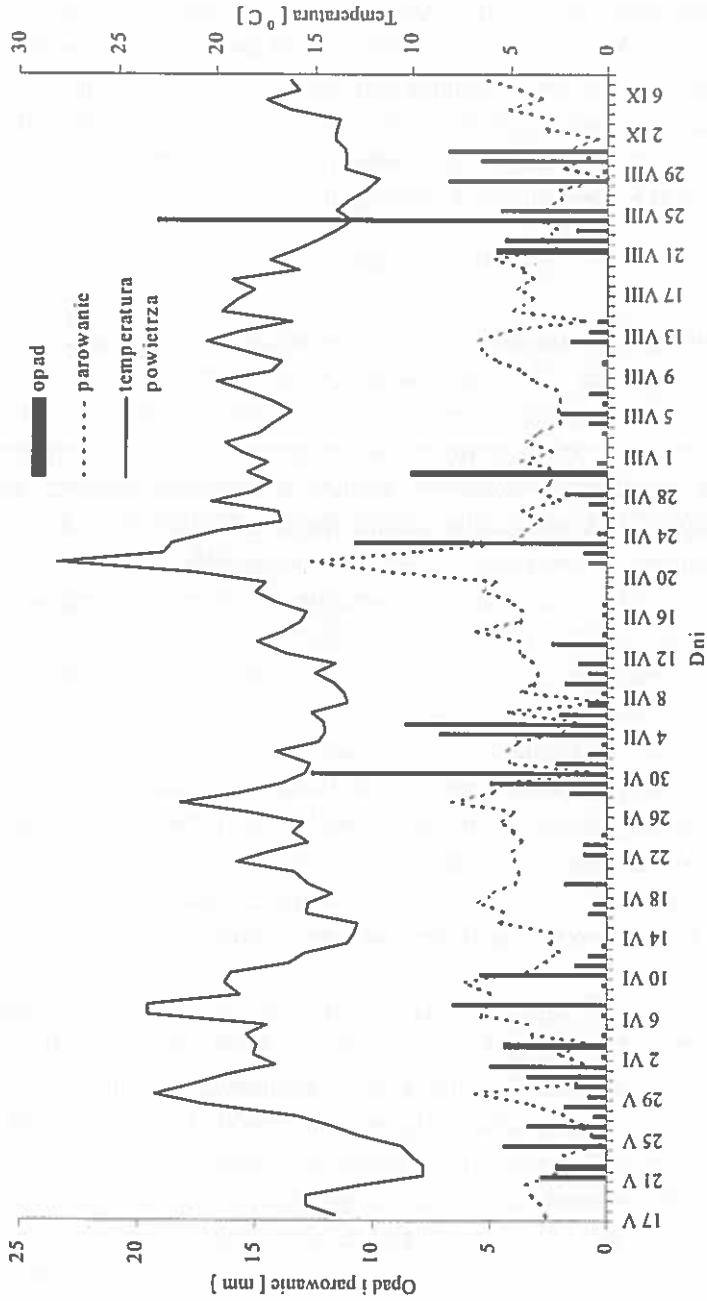
## WYNIKI I DISKUSJA

W okresie wegetacyjnym ziemniaka w analizowanych latach wystąpiły bardzo duże dobowe (dochodzące do  $7,0^{\circ}\text{C}$ ) wahania temperatury powietrza (Rys. 1 i 2), powodowane częstym przemieszczaniem się frontów atmosferycznych i zmianą rodzaju mas powietrza [6]. Duży dopływ energii promieniowania słonecznego z reguły generował wysokie parowanie z wolnej powierzchni wodnej, które przeciętnie, w badanych latach wynosiło w rejonie Stacji w Lipkach od 3 do 5 mm, a maksymalnie osiągnęło wielkość nawet 12,6 mm – 21 lipca 1998 roku.

W obydwu analizowanych sezonach wegetacyjnych ziemniaka temperatura powietrza kształtowała się powyżej normy, zwłaszcza w pierwszej dekadzie czerwca 1998 roku (odchylenie  $3,5^{\circ}$ ) oraz drugiej dekadzie lipca 1999 roku (odchylenie  $2,9^{\circ}\text{C}$ ). Zdarzały się również okresy chłodu jak np. w pierwszej dekadzie lipca i w trzeciej dekadzie sierpnia 1998 (odchylenie  $-2,5^{\circ}$ ), co potwierdza dużą zmienność warunków pogodowych występującą na Pomorzu Zachodnim [11].

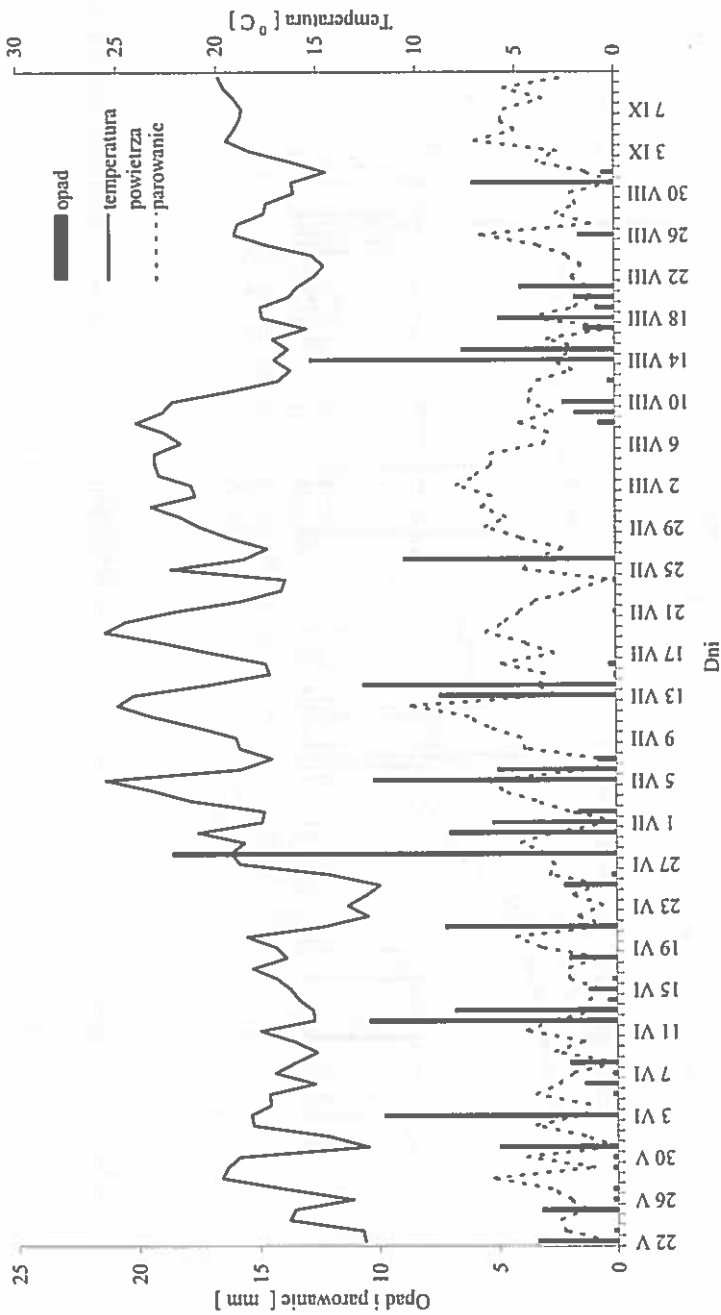
Posługując się metodą ciągów dni bezopadowych w roku 1998 można wyróżnić kilka okresów posusznych: od 13 do 27 czerwca, od 14 do 21 lipca i od 1 (z przerwami) do 20 sierpnia, a w roku 1999: od 15 do 25 lipca i od 27 lipca do 7 sierpnia, podczas których notowano bardzo wysokie parowanie z wolnej powierzchni wodnej.

W przebiegu dobowych wartości uwilgotnienia gleby w okresie wegetacyjnym ziemniaka (Rys. 3 i 4) zaznacza się, mimo okresowych wahań, konsekwentne zmniejszanie się wartości tego elementu na analizowanych głębokościach począwszy od wschodów do zasychania łątów. Na przykład, w roku 1998 na głębokości 10 cm wilgotność na początku wschodów ziemniaków wyniosła 6,9%, a na początku zasychania łątów 1,7%, zaś na głębokości 30 cm odpowiednio 15,9% i 7,8%, a w roku 1999 wilgotność gleby na głębokości 10 cm wyniosła na początku wegetacji 17,4%, a przy zasychaniu łątów już tylko 5,6%, zaś na głębokości 30 cm odpowiednio 21,1 i 7,8%.



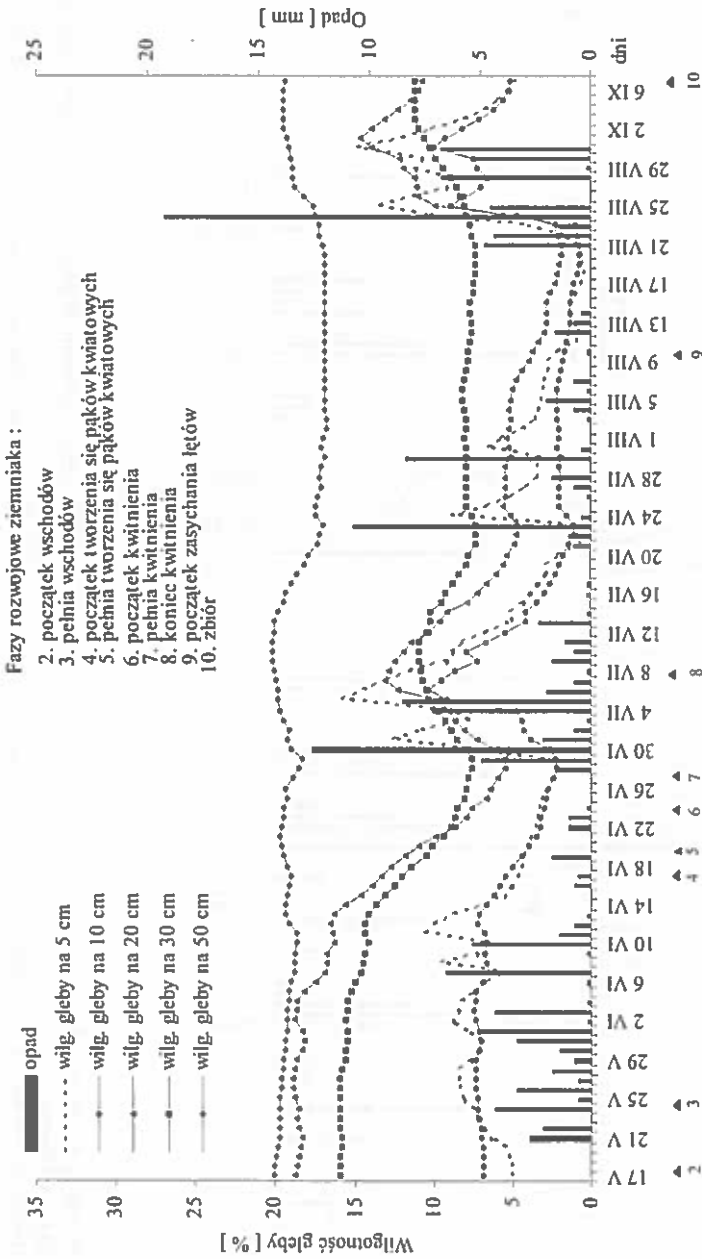
Rys. 1. Przebieg dobowych temperatur powietrza, opadów oraz parowania wody z ewaporometru Wilda w Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach w 1998 roku.

Fig. 1. Twenty-four hours air temperature, precipitation and evaporation from the Wild evapometer at the Agrometeorological Station Lipki in 1998.



Rys. 2. Przebieg dobowych temperatur powietrza, opadów oraz parowania wody z ewaporometru Wilda w Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach w 1999 roku.

Fig. 2. Twenty-four hours air temperature, precipitation and evaporation from the Wild evapometer at the Agrometeorological Station Lipki in 1999.



Rys. 3. Przebieg dobowych wilgotności gleby na 5 głębokościach pod ziemniakami na tle opadów w 1998 roku w Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach.

Fig. 3. Twenty-four hours soil moisture at 5 depths in the potato field, on the background of precipitation in 1998, at the Agrometeorological Station Lipki.



Obliczony współczynnik zmienności uwilgotnienia gleby na głębokości 5 cm wyniósł w analizowanych latach 59,3%, na 10 cm 57,5%, a na pozostałych głębokościach odpowiednio: 20 cm – 44,7%, 30 cm – 36,2% i 50 cm – 18,7%.

Zaznacza się charakterystyczne 1-2 dniowe przesunięcie przyrostu uwilgotnienia gleby w zależności od wielkości opadu i współczynnika przepuszczalności w warstwie gleby do danej głębokości. Według badań Chudeckiego i współ. [2], współczynnik przepuszczalności wodnej gleby  $K$  na polu doświadczalnym w Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach wahał się od  $0,306 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-2}$  w warstwie gleby 18-24 cm do  $0,798 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-2}$  w warstwie 0-6 cm i zależał głównie od właściwości fizycznych gleby.

Z dotychczasowych badań wynika [4,6], że ziemniak z grupy średniopóźnych wykazuje największe zapotrzebowanie na wodę w okresie: jedna dekada przed kwitnieniem, dekada przypadająca na początek kwitnienia oraz cztery dekady po początku kwitnienia, co w warunkach klimatycznych Niziny Szczecińskiej występuje przeciętnie od 21 czerwca do 20 sierpnia. Plony ziemniaka uprawianego z reguły na glebach lekkich, wykazują dużą zależność od stanu uwilgotnienia gleby w wymienionym okresie krytycznym [3,4,8]. Stąd potrzeba pośredniego określania wilgotności gleby na podstawie dostępnych danych meteorologicznych.

W pierwszej kolejności rozpatrywano wpływ sumy opadów w dniu pomiaru oraz z dni poprzedzających pomiar, na uwilgotnienie gleby pod ziemniakiem na pięciu głębokościach w okresie od wschodów do zbiorów (Tab. 1). W tym okresie pojedyncze dobowe sumy opadów o wielkości do 2,5 mm nie oddziaływały w sposób istotny na zwiększenie wilgotności gleby na głębokości większej niż 5 cm, co znalazło także potwierdzenie w badaniach wpływu opadów tej wielkości na zmianę uwilgotnienia gleby pod trawnikiem [2]. Opady do 2,5 mm stanowiły w Stacji około 17% ogólnej sumy opadów w okresie wegetacyjnym. Zdaniem Chudeckiego i współ. [2] zmniejsza to sumę opadów użytecznych decydujących o zmianie uwilgotnienia gleby. Dlatego też, w miarę uwzględniania w równaniu regresji kolejnych dni z opadem poprawiał się opis wilgotności gleby na dany dzień na głębokości 5 cm – od 29,6% ( $R^2$ ) przy kolejnych dwóch dniach ( $x_1$   $x_2$ ) do 60,4% ( $R^2$ ) przy kolejnych dziesięciu dniach ( $x_1 \dots x_{10}$ ). Największy wpływ na stan uwilgotnienia miały opady z dwóch, trzech i czterech dni poprzedzających pomiar. Określanie stanu uwilgotnienia gleby za pomocą opadów na większych głębokościach nie dało zadowalających wyników. Ścisłejszy opis wpływu dobowych sum opadów w kolejnych dniach na uwilgotnienie gleby głębszych warstw na przyjęty termin uzyskiwano dla okresu od pełni kwitnienia do początku zasychania łętów ziemniaków (Tab. 1). Najwyższe wartości współczynnika



determinacji  $R^2 = 71,1\%$  otrzymano w wymienionej międzyfazie dla głębokości gleby 5 cm już przy opadach z czterech kolejnych dni, a przy siedmiu i większej liczbie dni –  $R^2$  wyniósł powyżej 80%. Dla głębszych warstw gleby uzyskano znacznie niższe wartości współczynników determinacji, stąd nie zamieszczono równań regresji w Tabeli 1. Tak więc wykorzystując opady z kolejnych, co najmniej trzech dni, przed i w dniu przyjętego terminu można zadowalająco określać wielkość uwilgotnienia gleby na głębokości 5 cm posługując się równaniami regresji.

W Tabeli 2 przedstawiono wyniki wpływu łącznej sumy opadów z kolejnych dni (od 1 do 10) na wielkość uwilgotnienia gleby na dwóch głębokościach w okresie od wschodów do zbiorów ziemniaka. Jednak dla żadnej sumy opadów z różnych ciągów dni wartości współczynników determinacji  $R^2$  nie przekroczyły 50%. Jeżeli rozpatruje się łączne sumy opadów z kolejnych dni, ale w okresie największego zapotrzebowania ziemniaka na wodę, (pełnia kwitnienia – początek zasychania łątów), to ich wpływ na uwilgotnienie gleby jest wysoki, szczególnie na głębokości 5 cm –  $R^2$  od 8,2% dla sumy z jednego dnia do 68,8% dla sumy z siedmiu dni, a na głębokości 50 cm –  $R^2$  od 6,4% do 46,8% dla sumy z dziesięciu dni (Tab. 3). Stąd sumując opady z co najmniej czterech kolejnych dni można w sposób zadowalający określać stan uwilgotnienia gleby pod ziemniakiem na głębokości 5 cm.

W Tabeli 4 przedstawiono dodatkowo wpływ dwóch czynników meteorologicznych: temperatury powietrza i parowania wody z ewaporometru Wilda na stan uwilgotnienia gleby na pięciu głębokościach pod ziemniakiem w okresie od wschodów do zbiorów. Parowanie wykazuje większy, aniżeli temperatura powietrza ujemny wpływ na wielkość uwilgotnienia gleby, zwłaszcza w głębszych warstwach, jednakże wielkość oddziaływania każdego z tych czynników jest znacznie mniejsza niż opadów atmosferycznych.

Stosując metodę regresji określono łączny wpływ trzech analizowanych elementów na stan uwilgotnienia gleby na różnych głębokościach w całym okresie wegetacyjnym, uzyskując wartości współczynników determinacji  $R^2$  powyżej 50% jedynie na głębokości 5 cm (Tab. 5). Na większych głębokościach wartości  $R^2$  tylko w kilku przypadkach wyniosły około 40%.

Stosując tę samą metodę obliczeń dla okresu pełnia kwitnienia – początek zasychania łątów, uzyskano wysokie oceny stanu uwilgotnienia gleby na głębokości 5 cm na podstawie dobowych wartości opadów, temperatury powietrza i parowania z dnia pomiaru i dni poprzedzających (Tab. 6). Wymienione elementy z trzech kolejnych dni opisują stan uwilgotnienia gleby na głębokości 5 cm w 67,3%,

Tabela 1. Równania regresji dla zależności dobowych sum opadów atmosferycznych w dniu pomiaru ( $x_1$ ) i z dni poprzedzających pomiar ( $x_2 \dots x_{10}$ ) na stan uwilgotnienia gleby pod ziemniakiem na głębokości 5 cm. Lata 1998 i 1999  
 Table 1. Regression equations for dependence of twenty-four hours soil moisture at 5 cm during potato growth on twenty-four hours rain totals at the day of the measurement ( $x_1$ ), and the previous days' totals ( $x_2 \dots x_{10}$ ). Years 1998 and 1999

Kolejne dni	Równania regresji	R <sup>2</sup>	F	S <sub>y</sub>	S
	okres: wschody-zbiory				
$x_1 \dots x_{10}$	$y = 2,4683 + 0,2203x_1 + 0,5519x_2 + 0,3552x_3 + 0,3128x_4 + 0,1853x_5 + 0,1709x_6 + 0,1396x_7 + 0,1251x_8 + 0,1529x_9 + 0,1639x_{10}$	60,4	31,85	31,85	3,80
	okres: pełnia kwitnienia-początek zasychania łęgów				
$x_1$	$y = 5,2990 + 0,3304x_1$	8,2	7,45	3,94	4,09
$x_1, x_2$	$y = 4,1769 + 0,2545x_1 + 0,7004x_2$	44,8	33,26	3,07	
$x_1, x_3$	$y = 3,4101 + 0,2666x_1 + 0,6511x_2 + 0,4575x_3$	60,3	41,06	2,62	
$x_1, x_4$	$y = 2,7430 + 0,2873x_1 + 0,6582x_2 + 0,4180x_3 + 0,3801x_4$	71,1	49,15	2,25	
$x_1, x_5$	$y = 2,2636 + 0,2924x_1 + 0,6723x_2 + 0,4241x_3 + 0,3523x_4 + 0,2672x_5$	76,4	51,08	2,05	
$x_1, x_6$	$y = 1,9135 + 0,2827x_1 + 0,6769x_2 + 0,4352x_3 + 0,3562x_4 + 0,2452x_5 + 0,2063x_6$	79,5	50,5	1,92	
$x_1, x_7$	$y = 1,4902 + 0,3045x_1 + 0,6675x_2 + 0,4402x_3 + 0,3708x_4 + 0,2520x_5 + 0,1855x_6 + 0,2069x_7$	82,7	52,75	1,77	
$x_1, x_8$	$y = 1,3169 + 0,2746x_1 + 0,6823x_2 + 0,4351x_3 + 0,3714x_4 + 0,2590x_5 + 0,1903x_6 + 0,1946x_7 + 0,1114x_8$	83,6	48,48	1,74	
$x_1, x_9$	$y = 1,0474 + 0,2830x_1 + 0,6375x_2 + 0,4576x_3 + 0,3644x_4 + 0,2603x_5 + 0,1998x_6 + 0,2040x_7 + 0,0914x_8 + 0,1631x_9$	85,5	49,04	1,65	
$x_1, x_{10}$	$y = 0,8188 + 0,2881x_1 + 0,6438x_2 + 0,4240x_3 + 0,3824x_4 + 0,2556x_5 + 0,2009x_6 + 0,2124x_7 + 0,0980x_8 + 0,1486x_9 + 0,1254x_{10}$	86,8	47,68	1,60	

Objaśnienia: R<sup>2</sup> - współczynnik determinacji, F- test Snedecora, S<sub>y</sub> - błąd równania regresji, S - odchylenie standardowe, poziom istotności  $\alpha_{0,01}$ ;  $\alpha_{0,05}$ ;  $\alpha_{0,1}$ .

Tabela 2. Wartości współczynników determinacji ( $R^2$ ) i testu Snedecora (F) dla zależności dobowego stanu uwilgotnienia gleby na głębokości 5 i 10 cm pod ziemniakiem, w okresie wschody-zbiór od sumowanych opadów atmosferycznych w dniu pomiaru oraz sum z: 2,3,...,10 dni poprzedzających pomiar. Lata 1998 i 1999

Table 2. Values of determination coefficients ( $R^2$ ) and Snedecor's test for dependence of twenty-four hours soil moisture at 5 and 10 cm during potato growth (planting-harvest) on rain totals on the day of measurement and totals of day 2,3,...,10 before. Years 1998 and 1999

Głębokość	Miary statystyczne	Wartości $R^2$ i F z kolejnych dni												
		1 dnia	2 dni	3 dni	4 dni	5 dni	6 dni	7 dni	8 dni	9 dni	10 dni			
n=220														
5 cm	$R^2$ (%)	5,6	25,4	37,8	43,8	44,6	45,4	44,9	44,7	47,6	48,6			
	F	13,08	74,44	132,63	169,57	175,66	181,63	177,66	175,99	198,46	206,49			
10 cm	$R^2$ (%)	0,1	1,4	3,5	5,3	6,4	7,4	8,2	9,6	11,4	13,4			
	F	0,26	3,14	7,92	12,24	15,01	17,45	19,47	23,23	28,13	33,77			

n – liczba przypadków

Tabela 3. Wartości współczynników determinacji ( $R^2$ ) i testu Snedecora (F) dla zależności dobowego stanu uwilgotnienia gleby na 5-ciu głębokościach pod ziemniakiem, w okresie pełnia kwitnienia-początek zasychania łętów, od sumowanych opadów atmosferycznych w dniu pomiaru oraz sum z: 2,3,...10 dni poprzedzających pomiar. Lata 1998 i 1999

Table 3. Values of determination coefficients ( $R^2$ ) and Snedecor's test for dependence of twenty-four hours soil moisture at a fifth depths during potato growth blooming to begin of haulm drying on rain totals on the day of measurement and totals of day 2,3,...10 before. Years 1998 and 1999

Głębokość n=85	Miary statystyczne	Wartości $R^2$ i F z kolejnych dni									
		1 dnia	2 dni	3 dni	4 dni	5 dni	6 dni	7 dni	8 dni	9 dni	10 dni
5 cm	$R^2$ (%)	8,2	38,1	55,4	66,1	68,4	67,4	68,8	63,7	67,1	67,5
	F	7,45	51,10	103,04	161,73	179,98	171,50	182,79	145,63	169,29	172,55
10 cm	$R^2$ (%)	0,3	2,0	5,6	9,7	13,7	18,2	24,3	27,4	29,4	31,7
	F	0,27	1,72	4,91	8,94	13,18	18,48	26,59	31,36	34,49	38,55
20 cm	$R^2$ (%)	1,2	3,6	7,8	12,6	17,0	20,5	26,2	29,6	32,6	35,8
	F	0,99	3,13	7,05	11,95	16,95	21,41	29,44	34,98	40,14	46,24
30 cm	$R^2$ (%)	2,6	5,8	10,1	14,9	19,6	23,3	28,4	30,6	32,3	35,0
	F	2,22	5,11	9,33	14,53	20,20	25,24	32,85	36,55	39,66	44,75
50 cm	$R^2$ (%)	6,4	12,1	18,3	24,6	30,6	35,2	41,2	43,3	44,7	46,8
	F	5,70	11,43	18,62	27,12	36,56	44,99	58,11	63,51	67,12	72,95

**Tabela 4.** Współczynniki korelacji ( $r$ ) i wartości testu Snedecora ( $F$ ) dla zależności dobowego stanu uwilgotnienia gleby na 5 głębokościach pod ziemniakiem od dobowych temperatur powietrza i parowania z wolnej powierzchni wodnej, liczonych w dniu pomiaru ( $x_1$ ) i sum z dni poprzedzających pomiar ( $x_2...x_{10}$ ). Lata 1998 i 1999

**Table 4.** Correlation coefficients ( $r$ ) and values of Snedecor's test ( $F$ ) for dependence of twenty-four hours soil moisture at 5 depths during potato growth from emergence to harvest on twenty-four hours air temperature and evaporation from a water surface, assessed at the day of the measurement ( $x_1$ ) and totals from the previous days ( $x_2...x_{10}$ ). Years 1998 and 1999

Głębokość	Temp. pow.	$r$	$F$	Parowanie	$r$	$F$
5 cm	tp <sub>1</sub>	-0,41	44,90	pa <sub>1</sub>	-0,46	55,40
	tp <sub>2</sub>	-0,40	40,69	pa <sub>2</sub>	-0,53	83,74
	tp <sub>3</sub>	-0,38	35,75	pa <sub>3</sub>	-0,51	78,53
	tp <sub>4</sub>	-0,36	32,57	pa <sub>4</sub>	-0,49	69,27
	tp <sub>5</sub>	-0,36	31,84	pa <sub>5</sub>	-0,47	61,03
	tp <sub>6</sub>	-0,38	33,42	pa <sub>6</sub>	-0,47	62,40
	tp <sub>7</sub>	-0,39	36,27	pa <sub>7</sub>	-0,48	65,64
	tp <sub>8</sub>	-0,40	39,69	pa <sub>8</sub>	-0,49	69,59
	tp <sub>9</sub>	-0,40	41,49	pa <sub>9</sub>	-0,50	73,10
	tp <sub>10</sub>	-0,40	41,87	pa <sub>10</sub>	-0,51	75,34
10 cm	tp <sub>1</sub>	-0,13	3,97	pa <sub>1</sub>	-0,35	31,03
	tp <sub>2</sub>	-0,15	4,84	pa <sub>2</sub>	-0,43	48,74
	tp <sub>3</sub>	-0,15	5,09	pa <sub>3</sub>	-0,47	60,64
	tp <sub>4</sub>	-0,15	5,06	pa <sub>4</sub>	-0,49	69,60
	tp <sub>5</sub>	-0,15	5,00	pa <sub>5</sub>	-0,50	73,92
	tp <sub>6</sub>	-0,15	5,20	pa <sub>6</sub>	-0,52	79,30
	tp <sub>7</sub>	-0,16	5,55	pa <sub>7</sub>	-0,53	85,29
	tp <sub>8</sub>	-0,16	6,06	pa <sub>8</sub>	-0,54	91,61
	tp <sub>9</sub>	-0,17	6,52	pa <sub>9</sub>	-0,56	97,61
	tp <sub>10</sub>	-0,18	6,97	pa <sub>10</sub>	-0,57	104,92
20 cm	tp <sub>1</sub>	-0,23	11,20	pa <sub>1</sub>	-0,36	28,70
	tp <sub>2</sub>	-0,26	13,60	pa <sub>2</sub>	-0,43	42,75
	tp <sub>3</sub>	-0,27	15,74	pa <sub>3</sub>	-0,47	54,50
	tp <sub>4</sub>	-0,29	17,74	pa <sub>4</sub>	-0,50	63,24
	tp <sub>5</sub>	-0,30	19,68	pa <sub>5</sub>	-0,52	71,15
	tp <sub>6</sub>	-0,32	21,79	pa <sub>6</sub>	-0,54	78,89
	tp <sub>7</sub>	-0,33	23,90	pa <sub>7</sub>	-0,56	87,21
	tp <sub>8</sub>	-0,34	25,97	pa <sub>8</sub>	-0,58	96,32
	tp <sub>9</sub>	-0,36	28,00	pa <sub>9</sub>	-0,60	105,78
	tp <sub>10</sub>	-0,37	29,99	pa <sub>10</sub>	-0,61	116,06

c.d. Tab.4.

30 cm	tp <sub>1</sub>	-0,11	2,44	pa <sub>1</sub>	-0,33	23,91
	tp <sub>2</sub>	-0,12	2,96	pa <sub>2</sub>	-0,39	35,30
	tp <sub>3</sub>	-0,13	3,37	pa <sub>3</sub>	-0,43	45,03
	tp <sub>4</sub>	-0,14	3,73	pa <sub>4</sub>	-0,46	53,17
	tp <sub>5</sub>	-0,15	4,18	pa <sub>5</sub>	-0,49	61,21
	tp <sub>6</sub>	-0,16	4,85	pa <sub>6</sub>	-0,52	70,14
	tp <sub>7</sub>	-0,17	5,72	pa <sub>7</sub>	-0,54	79,67
	tp <sub>8</sub>	-0,18	6,80	pa <sub>8</sub>	-0,57	90,78
	tp <sub>9</sub>	-0,20	8,07	pa <sub>9</sub>	-0,59	103,32
	tp <sub>10</sub>	-0,22	9,51	pa <sub>10</sub>	-0,62	117,63
50 cm	tp <sub>1</sub>	-0,38	33,18	pa <sub>1</sub>	-0,33	24,19
	tp <sub>2</sub>	-0,41	28,02	pa <sub>2</sub>	-0,39	35,42
	tp <sub>3</sub>	-0,42	42,27	pa <sub>3</sub>	-0,44	45,63
	tp <sub>4</sub>	-0,44	45,48	pa <sub>4</sub>	-0,47	54,20
	tp <sub>5</sub>	-0,45	48,89	pa <sub>5</sub>	-0,50	62,98
	tp <sub>6</sub>	-0,60	53,20	pa <sub>6</sub>	-0,52	72,74
	tp <sub>7</sub>	-0,48	57,83	pa <sub>7</sub>	-0,55	81,67
	tp <sub>8</sub>	-0,50	62,87	pa <sub>8</sub>	-0,56	90,39
	tp <sub>9</sub>	-0,51	68,00	pa <sub>9</sub>	-0,58	98,33
	tp <sub>10</sub>	-0,53	73,53	pa <sub>10</sub>	-0,59	105,58

 $r_{xy}$  – współczynnik korelacji

**Tabela 5.** Wartości testu t-Studenta określające łączny wpływ opadów, temperatury powietrza i parowania z wolnej powierzchni wodnej na stan uwilgotnienia gleby na głębokości 5 cm pod ziemiakiem, występujących w dniu pomiaru ( $x_1$ ) oraz sum z dni poprzedzających pomiar ( $x_2...x_{10}$ ) w okresie wschody-zbiór. Lata 1998 i 1999

**Table 5.** Values of t-Student's test describing joint influence of precipitation, air temperature and evaporation from water surface on soil moisture at 5 cm, measured at potato emergence to harvest, on day one ( $x_1$ ) and totals taken on the days before day one ( $x_2...x_{10}$ ). Years 1998 and 1999

Głębokość	Dni	Opad	Temp. pow.	Parowanie	R <sup>2</sup>	F	S <sub>y</sub>	S
5 cm n=220	Wartość testu t-Studenta							
	x <sub>1</sub>	2,63	-3,24	-3,99	27,2	26,86	3,26	3,80
	x <sub>2</sub>	7,96	-2,59	-5,00	44,8	58,52	2,84	
	x <sub>3</sub>	11,08	-2,39	-5,07	53,5	82,90	2,61	
	x <sub>4</sub>	12,44	-2,45	-4,58	56,2	92,41	2,53	
	x <sub>5</sub>	12,38	-2,81	-3,71	55,0	87,87	2,57	
	x <sub>6</sub>	12,42	-3,19	-3,88	55,5	89,72	2,55	
	x <sub>7</sub>	12,16	-3,56	-3,20	55,4	89,40	2,56	
	x <sub>8</sub>	11,99	-3,85	-3,14	55,7	90,59	2,54	
	x <sub>9</sub>	12,71	-4,03	-3,06	58,4	100,89	2,47	
x <sub>10</sub>	12,81	-3,93	-3,03	58,9	103,15	2,45		

**Tabela 6.** Wartości testu t-Studenta określające łączny wpływ opadów, temperatury powietrza i parowania z wolnej powierzchni wodnej na stan uwilgotnienia gleby na głębokości 5 cm pod ziemią, występujących w dniu pomiaru ( $x_1$ ) oraz sum z dni poprzedzających pomiar ( $x_2...x_{10}$ ) w okresie pełnia kwitnienia - początek zasychania łątów. Lata 1998 i 1999

**Table 6.** Values of t-Student's test describing joint influence of precipitation, air temperature and evaporation from water surface on soil moisture at 5 cm, measured at potato blooming to the begin of haulm drying, on day one ( $x_1$ ) and totals taken on the days before day one ( $x_2...x_{10}$ ). Years 1998 and 1999

Głębokość	Dni	Opad	Temp. pow.	Parowanie	R <sup>2</sup>	F	S <sub>y</sub>	S
		Wartość testu t-Studenta						
5 cm n=85	x <sub>1</sub>	2,41	-3,12	-1,64	31,9	12,64	3,44	4,09
	x <sub>2</sub>	6,97	-2,55	-2,51	56,0	34,38	2,76	
	x <sub>3</sub>	10,13	-2,01	-2,80	67,3	55,49	2,38	
	x <sub>4</sub>	12,30	-1,60	-2,18	72,0	69,50	2,20	
	x <sub>5</sub>	12,45	-1,47	-1,25	71,4	67,30	2,23	
	x <sub>6</sub>	11,90	-1,63	-0,97	70,1	63,19	2,28	
	x <sub>7</sub>	12,00	-1,84	-0,71	71,2	66,71	2,23	
	x <sub>8</sub>	10,44	-2,15	-0,70	67,1	55,00	2,39	
	x <sub>9</sub>	11,31	-2,50	-0,49	70,6	64,70	2,26	
	x <sub>10</sub>	11,39	-2,57	-0,25	70,7	65,25	2,25	

a z dziesięciu dni w 70,7%. Słabsze związki uzyskano dla oceny stanu uwilgotnienia głębszych warstw, przykładowo wartości R<sup>2</sup> dla głębokości 10 cm wahały się od 9,8% przy danych z jednego dnia do 56,5% przy danych z dziesięciu dni.

Od wielu lat prowadzone są oceny stanu uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby na większych obszarach za pomocą zdjęć satelitarnych oraz wizualnych i organoleptycznych obserwacji wykonywanych przez terenowych korespondentów IMGW [1]. Stąd powstaje pytanie czy można szacować wielkość uwilgotnienia gleby głębszych warstw na podstawie znanej wilgotności warstwy wierzchniej.

W Stacji Agrometeorologicznej w Lipkach spośród trzech rozpatrywanych okresów rozwojowych ziemniaka, najściślejszy związek uzyskano pomiędzy stanem uwilgotnienia gleby na głębokości 5 a 30 cm w okresie pełnia wschodów-pełnia kwitnienia – R<sup>2</sup> = 68,9%, a następnie między głębokościami 5 i 10 cm (R<sup>2</sup> = 62,3%) oraz między 5 i 20 cm (R<sup>2</sup> = 59,2%) – Tab. 7. W okresie największego zapotrzebowania ziemniaka na wodę tj. od pełni kwitnienia do początku zasychania łątów opisywane zależności nie były już tak duże. Z tych względów przy określaniu uwilgotnienia głębszych warstw gleby w przyjętym terminie należy wykorzystywać dane meteorologiczne z dni poprzedzających.

**Tabela 7.** Równania regresji dla zależności dobowego stanu uwilgotnienia gleby pod ziemniakiem, na głębokościach 10,20,30,50 cm od dobowej wilgotności gleby na poziomie 5 cm. Lata 1998 i 1999.

**Table 7.** Regression equations for dependence of twenty-four hours soil moisture during potato growth at 10,20,30,50 cm on the moisture at the depth of 5 cm. Years 1998 and 1999.

Równanie regresji	R <sup>2</sup>	F	S <sub>y</sub>
okres: wschody-zbiór			
$y_{10}=2,6862+0,7506x_1$ ***	43,7	169,5	3,2
$y_{20}=6,0352+0,9061x_1$ ***	42,3	141,7	4,1
$y_{30}=8,0574+0,7577x_1$ ***	38,3	119,6	3,7
$y_{50}=15,1981+0,6024x_1$ ***	42,1	140,2	2,7
okres: pełnia wschodów - pełnia kwitnienia			
$y_{10}=-1,0741+1,3451x_1$ ***	62,3	106,0	2,9
$y_{20}=8,0989+1,0048x_1$ ***	59,2	92,8	2,3
$y_{30}=6,4801+1,2204x_1$ ***	68,9	142,0	2,3
$y_{50}=16,8700+0,5760x_1$ ***	41,0	44,5	1,9
okres: pełnia kwitnienia - początek zasychania łątów			
$y_{10}=3,5376+0,4439x_1$ ***	26,8	30,4	3,0
$y_{20}=6,6711+0,4917x_1$ ***	31,3	37,8	3,0
$y_{30}=8,5041+0,5191x_1$ ***	27,0	30,6	3,5
$y_{50}=14,7592+0,5303x_1$ ***	38,1	51,1	2,8

Ponieważ w opracowaniach agrometeorologicznych często wykorzystuje się dekadowe wartości, w niniejszej pracy podjęto próbę określenia wpływu stanów uwilgotnienia z pierwszej i drugiej dekady poprzedzającej na stan uwilgotnienia badanej dekady (Tab. 8). Najlepsze wyniki uzyskano dla głębszych warstw – od



20 do 50 cm, dla których współczynniki korelacji  $r$  wyniosły od 0,74 do 0,79. Wynika to zapewne z malejącej zmienności uwilgotnienia gleby z dekady na dekadę w miarę wzrostu głębokości do 50 cm, co znalazło także potwierdzenie w wynikach badań z uwilgotnieniem gleby pod jęczmieniem jarym [5].

**Tabela 8.** Miary statystyczne dla zależności uwilgotnienia gleby pod ziemniakiem w danej dekadzie, od uwilgotnienia gleby w pierwszej i drugiej dekadzie poprzedzającej. Lata 1998 i 1999.

**Table 8.** Statistic measures for dependence of soil moisture during potato growth at a given ten-day period, on the moisture during the previous one and two ten-day periods. Years 1998 and 1999.

Miary statystyczne	Głębokość [cm]				
	5	10	20	30	50
$r$	0,28	0,61	0,74	0,78	0,79
$F$	0,63	4,36	7,90	9,99	11,03
$\alpha$	0,540	0,032	0,006	0,002	0,002
$n$	18	18	16	16	16

## WNIOSKI

Dwuletnie badania wpływu warunków meteorologicznych na uwilgotnienie gleby lekkiej pod ziemniakiem umożliwiły sformułowanie ważniejszych wyników i wniosków.

1. Dobowe opady do około 5 mm zmieniały z reguły stan uwilgotnienia gleby do głębokości 5 cm, a jeśli występowały w ciągach kilkudniowych, to do głębokości 10 cm, zaś opady w przedziale od 5 do 10 mm powodowały również wzrost uwilgotnienia gleby na głębokościach 20 i 30 cm, a występujące w ciągach dni – nawet do głębokości 50 cm. Każdorazowy dobowy opad powyżej 10 mm powodował przyrost uwilgotnienia gleby lekkiej pod ziemniakiem do głębokości 50 cm.
2. Wykorzystując sumy opadów z kolejnych dni można orientacyjnie określać stan uwilgotnienia gleby lekkiej pod ziemniakiem na głębokości 5 cm w okresie od wschodów do zbiorów, a z dużą dokładnością w okresie od pełni kwitnienia do zasychania łątów. Dobre wyniki uzyskuje się w tym okresie, posługując się zsumowanymi opadami z co najmniej czterech kolejnych dni przed przyjętym terminem pomiaru.

3. Spośród trzech rozpatrywanych elementów meteorologicznych największy związek z uwilgotnieniem wierzchniej warstwy gleby pod ziemniakiem wykazywały opady atmosferyczne, a następnie parowanie wody z ewaporometru Wilda i temperatura powietrza.
4. Uwzględniając w równaniach regresji wielokrotnej, nie tylko sumy opadów, ale także temperaturę powietrza i parowanie z wolnej powierzchni wodnej z kolejnych dni można z większą dokładnością szacować stany uwilgotnienia głębszych warstw gleby pod ziemniakiem.
5. W okresie największego zapotrzebowania ziemniaka na wodę, czyli od pełni kwitnienia do początku zasychania łątów związek elementów meteorologicznych z uwilgotnieniem gleby jest największy, co może być wykorzystane przy pośredniej ocenie uwilgotnienia gleb lekkich pod plantacjami ziemniaków.
6. W okresie pełni wschodów- pełni kwitnienia ziemniaka zachodzi wysoko istotna statystycznie ( $\alpha$  0,01) zależność między uwilgotnieniem gleby na głębokości 5 cm a 10, 20, 30 i 50 cm, co może być wykorzystane w ocenie uwilgotnienia głębszych warstw gleby na podstawie warstwy wierzchniej.
7. Znając wielkość uwilgotnienia gleby pod ziemniakiem z pierwszej i drugiej dekady poprzedzającej dekadę badaną można z dużym prawdopodobieństwem określać stan uwilgotnienia na głębokościach 30 i 50 cm.

## PIŚMIENNICTWO

1. Atlas uwilgotnienia gleby w Polsce, pod red. nauk. C. Koźmińskiego i B. Michałskiej. AR Szczecin, 1995.
2. Chudecki Z., Duda L., Koźmiński C.: Wpływ wielkości opadów atmosferycznych na zmianę uwilgotnienia gleby lekkiej na terenie RZD Lipki. Zesz. Nauk. WSR w Szczecinie, 37, 47-68, 1971.
3. Czarnecka M., Kalbarczyk R.: Wpływ dostatecznego uwilgotnienia gleby na plonowanie ziemniaka w Polsce. Folia Univ. Agric. Stet. 209, Agricultura (83): 13-20, 2000.
4. Koźmiński C.: Plonowanie ziemniaków na stacji agrometeorologicznej w RZD Lipki k/Stargardu w zależności od przebiegu warunków wilgotnościowych powietrza i gleby w latach 1962-1977. Zesz. Nauk. AR Szczec. 72, Ser. Rolnictwo XIX, 1-11, 1978.
5. Koźmiński C., Michalska B.: Kształtowanie się wilgotności gleby pod jęczmieniem jarym w stacji agrometeorologicznej w Lipkach w latach 1997 i 1998. Folia Univ. Agric. Stet. 201, Agricultura (78), 77-92, 1999.
6. Koźmiński C., Michalska B.: Klimatyczna charakterystyka rejonu stacji agrometeorologicznej w Lipkach k. Stargardu Szczecińskiego. AR Szczecin, 2000.

7. **Koźmiński C., Nidzgorska-Lencewicz J.:** Kształtowanie się zasobów wody w profilu gleby lekkiej w stacji agrometeorologicznej w Lipkach koło Stargardu Szczecińskiego. *Acta Agrophysica*, 78, 133-151, 2002.
8. **Michalska B.:** Uwilgotnienie gleby pod oziminami i ziemniakiem w województwie gorzowskim. *Pam. Pol.–Prace IUNG*, 110, 137-150, 1997.
9. **Niedźwiecki E., Koćmit A., Greinert H., Zabłocki Z.:** Ogólna charakterystyka gleb brunatnych kwaśnych wytworzonych z piasków morenowych na przykładzie RZD Lipki k. Stargardu Szczecińskiego. *Zesz. Nauk. AR*. 64, 139-143, 1997.
10. **Walczak R., Ostrowski J., Witkowska-Walczak B., Sławiński C.:** Hydrologiczne charakterystyki mineralnych gleb ornych w Polsce. *Acta Agrophysica* 79. Monografia, Lublin 2002.
11. **Woś A.:** *Klimat Polski*. PWN, Warszawa, 1999.
12. **Żyromski A.:** Czynniki agrometeorologiczne a kształtowanie się zasobów wody w glebie lekkiej z podsiąkiem wód gruntowych w okresie wiosennym. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 404, Rozprawy, 2001.

## METEOROLOGICAL CONDITIONS WHICH SHAPED THE SOIL MOISTURE OF A POTATO FIELD AT THE AGROMETEOROLOGICAL STATION LIPKI IN 1998 AND 1999

*C. Koźmiński<sup>1</sup>, B. Michalska<sup>2</sup>, J. Nidzgorska-Lencewicz<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Climatology and Marine Meteorology, ul. Wąska 3, 71-407 Szczecin

<sup>2</sup>Department of Agrometeorology and Land Reclamation, University of Agriculture  
ul. Papieża Pawła VI, 3, 71-434 Szczecin  
e-mail: [bmichalska@agro.ar.szczecin.pl](mailto:bmichalska@agro.ar.szczecin.pl)

**Abstract.** The influence of twenty-four hours air temperature, precipitation, and water evaporation from Wild evapometer on soil moisture in a potato field at the depth of 5,10,20,30 and 50 cm was assessed at the Agrometeorological Station in Lipki by Stargard Szczeciński, in the years 1998 and 1999. The measurements were taken at a certain date and 10 consecutive days before that date in the different depths. If the twenty-four hours precipitation did not exceed 5 mm, the soil moisture was affected to the depth of 5 cm, and if it rained for several days – the effect visible to 20 and 30 cm, and if the precipitation lasted for several days – even to 50 cm depth. On the basis of twenty-four hours precipitation measured for ten consecutive days, the soil moisture at the depth of 5 cm can be estimated in a potato field during its growth, that is from planting to harvesting. If the rain amounts are measured for at least 7 consecutive days at the time from full bloom to the begin of the begin of haulm drying, the soil moisture can be determined very accurately.

**Key words:** soil moisture, meteorological conditions, potato, forecast.