

## PROGNOZOWANIE ZASOBÓW WODNYCH GLEBY Z RÓŻNYM PROGIEM CZASOWYM

*Andrzej Żyromski*

Zakład Agro- i Hydrometeorologii, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza  
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław  
e-mail: Zyromski@ozi.ar.wroc.pl

**Streszczenie.** W oparciu o średnie dekadowe wartości stanów wód gruntowych, sumy dekadowe opadów atmosferycznych oraz liczbę dni z opadem w dekadzie dla różnych klas wyprowadzono zależności w postaci równań regresji pomiędzy wymienionymi powyżej elementami i zasobami wodnymi gleby na wiosnę dla pięciu terminów. Do wykonania tego zadania wykorzystano materiały pochodzące od 1 listopada roku poprzedniego do pierwszej dekady maja roku następnego dla powierzchni nieporośniętej.

**Słowa kluczowe:** zasoby wodne gleby, prognozy wiosenne

### WSTĘP

Ze względu na to, że głównym źródłem uzupełniania zasobów wodnych gleby są opady atmosferyczne, w wielu ośrodkach naukowych prowadzone są badania, które mają na celu lepsze rozpoznanie zmienności czasowej i przestrzennej tego czynnika meteorologicznego oraz w jakim zakresie ma on wpływ na kształtowanie się zasobów wodnych gleby [4,7,9]. Z kolei występujące coraz częściej susze i powodzie również wymuszają prowadzenie badań nad metodami szacowania zasobów wodnych gleby [1,2,4,7,13]. Wiedza o wiosennych zasobach wodnych gleby [2,4,6,13], jest istotna do oceny stadium początkowego wegetacji roślin. Jednak to ograniczenia przestrzenne realizacji pomiarów stworzyły sytuację, w której koniecznością stało się prowadzenie – z różnym skutkiem – prób szacowania zasobów wodnych gleby w oparciu o wyniki istniejących lub prowadzonych obserwacji elementów agrometeorologicznych [1,2,4,6,7,13]. Różnorodność prowadzonych badań z wykorzystaniem zasobów wodnych gleby [12] uzasadnia możliwość, a nawet często potrzebę zastosowania tego elementu również w badaniach

o innym profilu. Wahania zwierciadła wody gruntowej zależne są w znacznym stopniu od podstawowych procesów, jakimi są: opady atmosferyczne, parowanie oraz odpływ. Stąd potwierdza to tezę, że te elementy agrometeorologiczne też są ze sobą powiązane. Stopień powiązań zasobów wodnych gleby oraz wahań zwierciadła wody gruntowej zależny jest od rodzaju gleby i uwzględniany jest w wielu badaniach [1,3,10,11].

Mając na uwadze istotność problemu dotyczącego szacowania zasobów wodnych gleby w oparciu o dane meteorologiczne, przeprowadzono takie badania wykorzystując do ich realizacji długie serie pomiarowe zasobów wodnych gleby dla powierzchni nieporośniętej w początkowym okresie wiosny i wybranych standardowych czynników meteorologicznych.

Celem badań była ocena możliwości prognozowania zasobów wodnych gleby pod powierzchnią nieporośniętą w oparciu o trzy łatwo dostępne elementy agrometeorologiczne:

1. średnie wartości dekadowe stanów wód gruntowych,
2. sumy dekadowe opadów atmosferycznych,
3. liczba dni z opadem w dekadzie dla różnych klas.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzone od wielu lat w Zakładzie Agro i Hydrometeorologii, Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu wskazują jednoznacznie na fakt, że elementy te można ze sobą powiązać, co w wielu przypadkach w zadowalający sposób może posłużyć do oceny zasobów wodnych gleb. Jednak najbardziej interesującym w tym układzie jest informacja o zasobach wody w glebie uzyskana z wyprzedzeniem. W tym celu przeprowadzono badania polegające na wyprowadzeniu zależności w postaci równań regresji, wykorzystując do tego celu: zasoby wodne gleby, wartości dekadowe stanów wód gruntowych, sumy dekadowe opadów atmosferycznych oraz liczbę dni z opadem dla różnych ich klas w dekadach. Dane agrometeorologiczne pochodziły z okresu od początku roku hydrologicznego tj. od 1 listopada roku poprzedniego do pierwszej dekady maja roku następnego. Wyznaczono pięć terminów prognostycznych: 1, 11 i 21 kwietnia oraz 1 i 11 maja. Zależności wyprowadzono dla warstw gleby; 0-5, 0-20, 0-40, 0-60, 0-80 i 0-100 cm pod powierzchnią nieporośniętą. Prognozy sporządzono dla terminów podstawowych jak również z progami czasowymi oddalonymi o jedną i dwie dekady wstecz od podanych powyżej terminów.

Do realizacji badań przedstawionych w niniejszej pracy wykorzystano obliczone – w oparciu o pomiary wilgotności gleby prowadzone metodą suszarkowo-wagową – zasoby wodne gleby pod powierzchnią nieporośniętą, z terenu Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego Wrocław-Swojec Akademii Rolniczej

we Wrocławiu. Wyniki badań terenowych pomiarów wilgotności gleby pochodziły z lat 1963-1969 [3], natomiast w okresie 1974-1998 wykonywane były przez autora. Z zaprezentowanego ciągu materiałów pomiarowych dotyczących wilgotności gleby wybrano po trzydzieści wartości zasobów wodnych gleby odpowiadających podanym wyżej terminom prognostycznym i warstwom gleby. Pochodziły one z lat 1963-1969 oraz 1976-1998. Charakterystyka gleb na obiekcie przedstawiona jest w pracy [5].

W oparciu o obserwacje opadów atmosferycznych wyliczono niezależnie od klasycznych przedziałów liczby dni z opadem dodatkowe przedziały, pozwalające spośród nich wyznaczyć takie, które mogłyby wykazywać istotne związki z zasobami wodnymi gleby. Przedziały te wygenerowano zliczając liczbę dni z opadem, dla sum dobowych w obrębie dekady, w zakresie od 0,0 do 15,0 mm, z krokiem co 1,0 mm. Wyznaczone przedziały wyglądały następująco; 0,0-1,0, 0,0-2,0, 1,0-2,0, 1,0-3,0. Na podstawie tak przeprowadzonej analizy wygenerowano do dalszych badań 120 plików.

Ze względu na fakt, że podstawowym przedziałem czasowym była dekada, zliczanie przeprowadzono dla przedziałów czasowych: dekada, oraz wielokrotności dekad z okresu od 1 dekady listopada roku poprzedzającego do terminu, na który oceniano zasoby wodne w poszczególnych warstwach gleby. Posługiwanie się tak olbrzymią ilością wygenerowanego materiału badawczego było znacznie utrudnione, ze względu na zróżnicowanie istotności związków pomiędzy liczbą dni z opadem dla różnych okresów i poszczególnych warstw oraz terminów prognostycznych. Z tego też względu wykorzystując analizę korelacji dokonano przeliczenia dla poszczególnych okresów, terminów i warstw zależności korelacyjne z zasobami wodnymi gleby pod powierzchnią trawiastą. Przeprowadzona analiza korelacji między tak pogrupowanymi danymi wyjściowymi, pozwoliła na wyłonienie takich częstości sum dobowych opadów atmosferycznych, które wykazywały istotne związki z zasobami wodnymi gleby. Działanie to pozwoliło ograniczyć ilość uzyskanych wyników do wielkości powiązanych ze sobą w sposób statystycznie istotny. Wyliczone współczynniki korelacji posłużyły jako kryterium wyboru analizowanych częstości do konstrukcji w dalszej kolejności równań regresji dla każdej warstwy gleby analizowanej powierzchni.

W kolejnym etapie wykorzystując program komputerowy STATISTICA [8] wykonano analizę regresji wielokrotnej krokowej. Przy jej pomocy wyznaczono zależności w postaci równań regresji, pomiędzy zasobami wodnymi gleby pod powierzchnią nieporośniętą jako zmienną zależną dla przyjętych terminów i warstw gleby oraz sumami opadów atmosferycznych, liczbą dni z opadem i stanami wody gruntowej dla podanych powyżej okresów.

## WYNIKI I DYSKUSJA

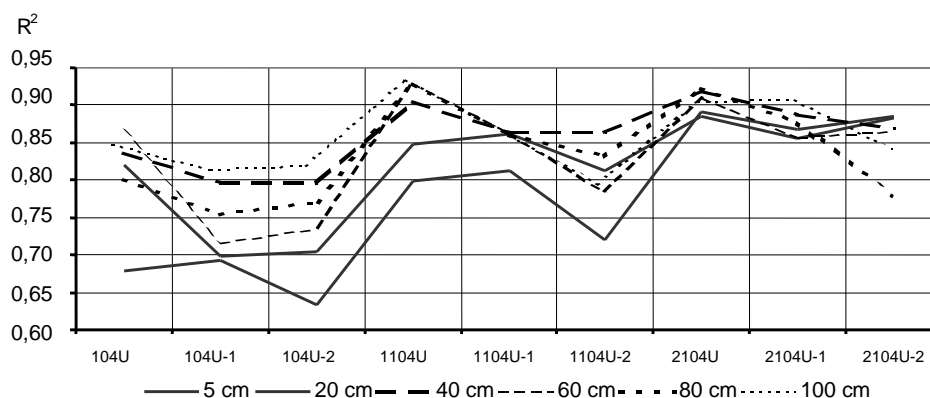
Dla każdego terminu oraz warstwy gleby wyliczono wartości współczynników determinacji  $R^2$ , określające, w jakim stopniu wyprowadzone modele wyjaśniają badane zależności. Wyliczono również wartości  $R^2$  poprawione, które uwzględniają fakt, że  $R^2$  jest obliczony z określonej próby a nie z całej populacji. W ten sposób wyliczone współczynniki determinacji pozwalają nam ocenić, w jakim stopniu wyprowadzone równania regresji byłyby dopasowane do innej próby z tej samej populacji. Oszacowano również błędy standardowe estymacji informujące o stopniu dopasowania uzyskanych modeli do danych empirycznych. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe podsumowanie regresji krokowej dla warstwy gleby 20 cm powierzchni nieporośniętej jako zmiennej zależnej, z terminem oddalonym o dwie dekady od daty 1 kwietnia (104U-2 [0-20 cm]).

**Tabela 1.** Przykładowe elementy równania regresji wyliczone dla warstwy gleby 0-20 cm z zastosowaniem regresji wielokrotnej krokowej (zrzut ekranu)

**Table 1.** Example elements of regression equation calculated for 0-20 cm soil layer using multiply step regression (screen copy)

Podsumowanie regresji zmiennej zależnej – Summary of dependent variable regression: R3U		104U-2 [0-20 cm]				
R = ,83864637 R2 = ,70332773 Popraw. – Correct R^2 = ,62593497						
F(6,23) = 9,0878 p<.00004 Błąd std. estymacji – Standard error of estimation: 6,4575						
		Błąd st. St. error	Błąd st. St. error			
	BETA	BETA	B	B	t(23)	poziom p level p
W. wolny – Free			75,4430	7,1761	10,5131	0,0000
CZ37	0,3635	0,1264	11,0991	3,8613	2,8744	0,0086
CZ17	-0,5971	0,1418	-5,1792	1,2304	-4,2095	0,0003
WG3	-0,5342	0,1770	-0,1754	0,0581	-3,0182	0,0061
WG11	-0,5449	0,1560	-0,1877	0,0538	-3,4920	0,0020
P12	-0,3580	0,1184	-0,6151	0,2034	-3,0237	0,0060
WG6	0,3794	0,1984	0,1438	0,0752	1,9123	0,0684

W kolumnie „BETA”, przedstawiono znormalizowane parametry równania regresji. Można przez to porównywać ze sobą wyliczone parametry równania oraz oceniać istotność poszczególnych elementów w wyprowadzonym równaniu (w tabeli zaznaczono na kolor szary zmienną niezależną, która weszła w skład zmiennych opisujących jednak nie jest parametrem istotnym statystycznie w równaniu). Zaletą tej interpretacji jest jej niezależność od jednostek miary zmiennych zależnych. Symbol „B” z kolei grupuje wartości odpowiadające współczynnikom kierunkowym równania, a następną kolumną określa wielkości błędów, jakimi są one obarczone. Wyliczono również dla każdego równania wielkości cząstkowych i całkowitych współczynników determinacji. Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na ich weryfikację merytoryczną. Przeprowadzone badania pozwoliły uzyskać grupę równań regresji, oceniających zasoby wodne gleby dla podanych w metodyce badań terminów kwietniowych i majowych. Ze względu na fakt, że podstawowym parametrem wskazującym na jakość dopasowania jest współczynnik determinacji jego zmienność dla poszczególnych terminów oraz warstw bilansowania przedstawiono na (rys. 1). Natomiast wartości jego odchyień od wielkości uzyskanych dla terminów podstawowych przedstawiono w (tab. 2).



**Rys. 1.** Zmienność współczynników determinacji  $R^2$  dla wyprowadzonych równań regresji przy zróżnicowaniu warstw gleby, dla podstawowych terminów i oddalonych od niego o jedną oraz dwie dekady wstecz. Terminy – kwietniowe

**Fig. 1.** Variability of determination coefficients  $R^2$  for educed regression equations according to the differentiation of soil layers for basic terms and distant from it one or two decades ago. Terms – April

Na rysunku 1 widoczny jest trend wzrostowy wszystkich współczynników determinacji uzyskanych dla terminów kwietniowych. Powiązany jest on ze wzrostem grubości analizowanej warstwy gleby. Jednocześnie widoczny jest też

spadek jego wartości dla skracanych okresów wyboru o kolejne dekady wstecz od terminu podstawowego. Zauważalna jest też zmniejszająca się amplituda zmian tego elementu powiązana ze wzrostem miąższości badanej warstwy gleby i terminem, dla którego wyprowadzono równanie. Dla terminów majowych daje się zauważyć przebieg odwrotny, z o wiele łagodniejszą tendencją spadkową przy znacznie mniejszej amplitudzie zmian biorąc pod uwagę poszczególne terminy i warstwy gleby. Bardzo duża zbieżność pod względem podobieństwa fluktuacji współczynników determinacji występuje, dla większości analizowanych warstw gleby na terminu 1 maja.

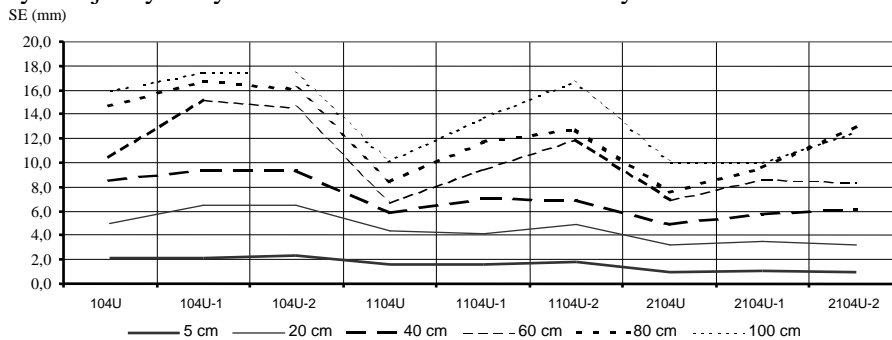
**Tabela 2.** Odchylenia wartości współczynników determinacji od ich wielkości uzyskanych dla terminów podstawowych, przy zróżnicowaniu warstw gleby.

**Table 2.** Deviation of determination coefficients values from their quantity obtained for basic terms at the differentiation of soil layers.

Warstwa gleby	Terminy podstawowe – Elementary terms									
	104U		1104U		2104U		105U		1105U	
Soil layer (cm)	Liczba dekad wstecz od podstawowego terminu Number of decades backward from the elementary terms									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
5	-1,39	4,48	-1,41	7,93	2,32	0,69	3,88	2,47	11,80	12,76
20	12,29	11,70	-1,42	3,57	2,87	0,12	1,11	1,52	8,61	5,69
40	3,78	3,78	4,28	4,22	3,06	4,79	0,00	4,01	17,70	17,79
60	15,04	13,02	6,82	14,79	5,17	4,54	0,74	-0,52	3,17	5,96
80	4,76	2,94	6,91	9,64	4,60	15,01	0,00	4,24	1,50	3,53
100	3,07	2,72	6,59	13,51	-0,08	6,18	-9,68	-7,56	5,70	5,50

Nieodłącznym elementem równań regresji dającym informację o ich precyzji są błędy estymacji. Ich zmienność dla poszczególnych terminów kwietniowych oraz warstw bilansowych gleby podano na (rys. 2) W odróżnieniu od współczynników determinacji wartości błędów oszacowania równań wykazują niewielką zmienność dla warstw gleby: 5, 20 i 40 cm. Widoczne jest dopiero ich zróżnicowanie w miarę zwiększania się warstwy gleby, której dotyczą. Zróżnicowanie to zależne jest wówczas od miąższości analizowanej warstwy gleby oraz wariantu okresu, z jakiego dokonywano wyboru zmiennych niezależnych do równań regresji (rys. 2). Nieco mniejsze zróżnicowanie dla okresów skracanych w odniesieniu do terminu podstawowego stwierdzono w obydwu analizowanych terminach majowych. Podobnie jak dla kwietnia minimalne wahania daje się zauważyć dla warstw gleby 5 i 20 cm.

Przeprowadzona wstępna weryfikacja uzyskanych wyników dała pozytywne rezultaty, jednak zakres ich stosowalności może być określony dopiero po weryfikacji uzyskanych równań na materiale niezależnym.



**Rys. 2.** Błędy estymacji (SE) dla wyprowadzonych równań regresji przy zróżnicowaniu warstw gleby, dla podstawowych terminów i oddalonych od niego o jedną oraz dwie dekady wstecz. Terminy kwietniowe

**Fig. 2.** Estimation errors (SE) for deduced regression equation according to different soil layers for basic terms and distant from it one or two decades ago. Terms April

## WNIOSKI

1. W równaniach opartych na danych wejściowych wybieranych z całego okresu poprzedzającego termin prognozy najwyższe wartości cząstkowych współczynników determinacji uzyskano dla stanów wód gruntowych oraz liczby dni z opadem, 20 z 1 dekady lutego i przedziału 6,1-7,0 mm.

2. Skracanie okresu, z którego wybierane były dane jako zmienne niezależne o jedną lub dwie dekady przed terminem prognozy wskazało liczbę dni z opadem jako element dominujący w uzyskanych równaniach regresji.

3. Prowadzone badania wykazały zasadność wygenerowania większej ilości przedziałów liczby dni z opadem niż standardowo używane ( $\geq 0,1$  mm,  $\geq 0,5$  mm,  $\geq 1,0$  mm,  $\geq 5$  mm i  $\geq 10,0$  mm). Zasadność takiego działania potwierdził fakt, że tylko w kilku z wyprowadzonych równań regresji wystąpił przedział 0-1 mm jako zmienna opisująca, mimo że stanowił on aż 56,8% udziału w strukturze sum dobowych opadów atmosferycznych z okresu z okresu 1 XI do 11 V, w ciągu 30 analizowanych zim.

4. Mimo wysokich i stabilnych wartości współczynników determinacji oraz niskich wartości błędów ich oszacowania, uzyskane równania wymagają jeszcze weryfikacji na materiale niezależnym.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Bohne K.:** Untersuchung über den Jahrgang des Feuchtegehalts in einigen grundwasserfernen Böden auf der Grundlage von Beziehungen zwischen Witterung und Bodenfeuchte. Albrecht thaeer – Archiv, Berlin, 14, 5, 433-443, 1970.
2. **Duda L., Friedrich M.:** Próba przewidywania przyrostu retencji do początku okresu wegetacyjnego na podstawie opadów okresu poprzedzającego w zlewni rzeki Regi. Wiad. Melior., Nr 4, 101-106, 1976.
3. **Jabłoński S., Krężel R., Gosławski F.:** Wpływ intensyfikacji produkcji roślinnej na elementy bilansu wodnego i cieplnego, wyniki badań za lata 1963-1969. Maszynopis, 1963-1969.
4. **Koźmiński Cz.:** Określanie i prognozowanie poziomowych zapasów wody w glebie lekkiej na podstawie elementów meteorologicznych. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCLVII, 33-49, 1994.
5. **Mazj S., Kowalski J., Woźny F., Szpikowski A., Krężel J.:** Ekspertyza hydrogeologiczna i gleboznawcza pól ustalonych na Swojcu k. Wrocławia – "Warunki hydrogeologiczne i glebowo-wodne pól ustalonych Instytutu Gospodarki Wodnej – położonych na terenie RZD w Swojcu k. Wrocławia. Maszynopis, Katedra AiH AR, Wrocław, 1965.
6. **Molga M.:** Studium agrometeorologiczne nad geograficznym rozkładem wody w glebie na początku okresu wegetacyjnego w Polsce. Przegląd Geofizyczny, rok XIV (XXII), z.2, 151-179, 1969.
7. **Rozbicki T.:** Związek między wskaźnikami opadów uprzednich z wilgotnością gleby na wybranych typach gleb lekkich i ciężkich. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCXCI, 105-115, 1997.
8. StatSoft, Inc.: STATISTICA for Windows Computer program manual, wersja 5.1. G edycja '97, nr SP8068316302G51, 1997.
9. **Tamulewicz J.:** Dni z opadem w Polsce (1951-1980). Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCLXXI, 103-111, 1995.
10. **Weise K., Wendling U.:** Bodenkumliche und meteorologische Parameter zur Einschätzung der berechnungsbedürftigkeit grundwasserfermer Böden. Arch. Acker u Pflanzenbau u. Bodenkd., Bd. 40, Bd. 19, h. 1, 27-38, 1975.
11. **Winograd I. J., Riggs A. C., Coplen T. B.:** The relative contributions of summer and cool-season precipitation to groundwater recharge, Spring Mountains, Nevada, USA Springer-Verlag, Hydrogeology Journal 6, 77-93, 1998.
12. **Zaninović K., Gajić-Čapka M.:** Changes in Components of the Water Balance in the Croatian Lowlands. Ther. Appl. Climatol., 65, 111-117, 2000.
13. **Żyromski A.:** Ocena wiosennych zasobów wodnych gleby w oparciu o częstości dobowych sum opadów atmosferycznych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XLII, z. 283, 225- 233, 1996.

## FORECASTING OF SOIL WATER RESERVES WITH DIFFERENT TIME STEP

*Andrzej Żyromski*

Department of Agro- and Hydrometeorology, Institute of Environmental Development and Protection  
University of Agriculture, Plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław  
e-mail: Zyromski@ozi.ar.wroc.pl

Abstract. On the base of average decade ground water levels, decade precipitation sums and the number of days with precipitation from different ranges one derived regression equations for these elements and soil water content for five different terms. One used data from the 1<sup>th</sup> of November in previous year to the 1<sup>th</sup> decade of May in the next year for bare soil.

Key words: soil water reserves, spring forecasting