

## KSZTAŁTOWANIE WIOSENNYCH ZASOBÓW WODY W GLEBIE PRZEZ CZYNNIKI HYDROMETEOROLOGICZNE

*Stanisław Bac, Andrzej Żyromski*

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział Wrocław  
ul. Parkowa 30, 51-616 Wrocław  
Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Zakład Agro- i Hydrometeorologii, Akademia Rolnicza  
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław  
e-mail: Zyromski@ozi.ar.wroc.pl

**Streszczenie.** W pracy przeprowadzono ocenę możliwości szacowania zasobów wodnych gleby dla dwóch miesięcy wiosennych jakimi były kwiecień i maj, w oparciu o łatwo dostępne dane obserwacyjne dotyczące opadów atmosferycznych i stanów wód gruntowych. Pierwszy etap obejmował ocenę relacji opadów atmosferycznych, stanów wód gruntowych oraz dodatkowo klimatycznych bilansów wodnych z okresu 1951-2000. Oddzielnie analizowano okres letni i zimowy. W drugim etapie analizie poddano materiały z nieco krótszego okresu. Ograniczenie wynikało z faktu, że zasoby wodne gleby dostępne były jedynie z lat 1963-1969 oraz 1976-1998. W badaniach uwzględniono warstwę gleby o miąższości 0-100 cm pod powierzchnią nieporośniętą oraz pod trawnikiem. Jako materiał wyjściowy do oceny zasobów wodnych gleby w kwietniu i maju wykorzystano zasoby wodne gleby z tych miesięcy oraz opady atmosferyczne i stany wód gruntowych z okresu zimowego, poczynając od listopada roku poprzedniego do kwietnia roku następnego. Zależności wyznaczone zostały oddzielnie dla każdego elementu oraz dla obu łącznie. Do przeprowadzenia tego zadania zastosowano analizę regresji wielokrotnej, a wskaźnikiem oceniającym przydatność poszczególnych formuł były wartości współczynników determinacji. Wyprowadzone zależności pozwoliły ocenić przydatność wspomnianych wyżej danych agrometeorologicznych do oceny możliwości szacowania zasobów wodnych gleby metodą pośrednią.

**Słowa kluczowe:** zwierciadło wody gruntowej, zasoby wodne gleby, opady, prognozy

### WSTĘP

Wody podziemne występują w porach i szczelinach skał skorupy ziemskiej. Część wód podziemnych krąży pod wpływem siły ciężkości jako tzw. woda wolna. Napotykając na warstwy nieprzepuszczalne gromadzi się ona tworząc wodę gruntową występującą poniżej przepuszczalnych utworów strefy aeracji [5,7,12].

Górny poziom wód gruntowych podnosi się lub opada w zależności od wielkości opadów, parowania terenowego i podziemnego odpływu.

Miasta powstawały przeważnie w dolinach rzek ze względu na obronność, transport i zaopatrzenie w wodę oraz żyzność gleb namułowych. Obecny rozwój aglomeracji miejskich jest realizowany na terenach szczególnie atrakcyjnych z ekonomicznego punktu widzenia. Dotyczy to możliwości fundamentowania budowli mieszkalnych, przemysłowych i handlowych. Warunki glebowe są też bardzo istotne dla projektowanych parków i terenów rekreacyjnych, ogrodów działkowych, składowisk odpadów itp. Występowanie stałych lub okresowych wysokich stanów wód gruntowych wyklucza możliwości realizacji wspomnianych planów inwestycyjnych.

Informacje o ich dynamice w dolinach rzek są szczególnie ważne dla melioracji wodnych z zakresu łąkarstwa, możliwości uprawy roli i roślin, ogrodnictwa itp. Podczas niżówek hydrologicznych stany wód podziemnych decydują o podziemnym zasilaniu wód powierzchniowych, zaś podczas ich wezbrań informują o wielkości możliwej retencji na terenach zalewowych.

Informacje o średnich, najwyższych i najniższych stanach wód gruntowych i częstościach ich występowania powinny stanowić podstawę planów zagospodarowania przestrzennego i projektów inwestycyjnych na terenach dolin rzecznych. Istnieje również potrzeba takich informacji dla doskonalenia prognoz hydrologicznych i agrometeorologicznych.

#### OPIS OBIEKTU BADAŃ

Badania były prowadzone w fragmencie dorzecza niewielkiej nizinnej rzeki Widawy. Według map hydrogeologicznych i monografii wody gruntowe występują tam na głębokości od 0 do 3 m [1,2,8,9]. Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Akademii Rolniczej Wrocław-Swojec znajduje się przy wschodniej granicy części aglomeracji miejskiej. Odległość od zwartej zabudowy wynosi w linii prostej ponad 4 km [1,10,14]. Położenie odpowiada szerokości geograficznej  $51^{\circ}01'$ , długości  $17^{\circ}08'$ , wysokość terenu nad poziomem morza 120,4 m. Obiekt otaczają uprawne pola i łąki Rolniczego Zakładu Doświadczalnego AR. Jest to typowy krajobraz rolniczy szerokiej doliny rzecznej. Od strony Odry wyraźnie zaznacza się podziemny dział wodny w postaci dochodzących do 1,5 m poniżej powierzchni terenu utworów nie-przepuszczalnych. Wokół Obserwatorium na głębokości około 3 m występują gliny i iły, na nich utwory piaszczyste – głębokie piaski słabogliniaste [1,10,13,14]. Polowa pojemność metrowej warstwy gleby wynosi 220 mm, pełna pojemność 320 mm, porowatość około 34%.

Pomiary stanu wody gruntowej prowadzono w studni o średnicy 20 cm i głębokości 420 cm, z której nigdy nie pompowano wody. Od początku badań tj. od

1948 roku na terenie mikrozelewni Obserwatorium nie wystąpiły żadne zmiany antropogeniczne w postaci zabudowy mieszkalnej lub przemysłowej bądź regulacji rzeki. Działania te mogłyby zmienić naturalne stosunki wodne podłoża.

#### METODY BADAŃ

W Obserwatorium wykonywano codziennie pomiary podczas porannej obserwacji. Wyniki z ponad pięćdziesięcioletniego okresu prezentowano w wielu publikacjach według dobowych, dekadowych i okresowych kroków czasowych [2-4,6,10].

Do oceny reprezentatywności wyników wykorzystano publikowane dane z posterunków IMGW, na których wykonuje się pomiary stanów wód podziemnych. Posterunki te położone były w podobnych warunkach hydrogeologicznych. Wspomniane powyżej pomiary wykonywane były z reguły w poniedziałki w studniach gospodarskich. Uzyskane tą drogą dane posłużyły do wyliczenia średnich miesięcznych wartości stanów wód gruntowych. Na ich podstawie udowodniono znaczne podobieństwo z wynikami pomiarów prowadzonych na terenie Obserwatorium AR – Wrocław-Swojec [2].

Przyjęcie jako podstawy do opracowania wartości średnich miesięcznych wynikało z faktu, że stany wód gruntowych ulegały znacznej fluktuacji w krótkich okresach czasu, natomiast publikowane dane przez IMGW pochodziły jak już wspomniano powyżej z pomiarów wykonywanych raz w tygodniu.

Na szczególną uwagę zasługują związki zasobów wód podziemnych z sumami opadów atmosferycznych, ponieważ w przypadku braku informacji o dynamice wód gruntowych na określonym obszarze dolin rzecznych powstałyby możliwości ich oszacowania według wyników pomiarów sieci posterunków opadowych IMGW.

Średni miesięczny stan wody gruntowej stanowi sumę wszystkich dobowych wyników pomiarów podzieloną przez liczbę dni. Do oceny wielkości zmian w czasie przyjęto jako stan początkowy średnią miesięczną.

Związki pomiędzy miesięczną sumą opadów i średnim miesięcznym stanem wody gruntowej mogą być błędne w przypadku nierównomiernego ich rozkładu w czasie. Biniak i Żyromski [4,14] udowodnili, że sumy dekadowych opadów niższych od 20 mm (w lipcu 30 mm) podczas półrocza letniego nie mają znaczenia dla podwyższania stanów wód gruntowych. Istotnie oddziałują wysokie dobowe sumy opadów. Skrajnie niekorzystną sytuację ilustruje epizod z 1971 roku. Suma dobowych opadów z dnia 29 i 30 czerwca wynosiła 59 mm, z dnia 1 i 2 lipca 33 mm. Stan wody gruntowej podczas tych 4 dni podniósł się z 118 do 34 cm. Suma opadów lipca 1971 wynosiła 41 mm, co odpowiadało 46% średniej wieloletniej, ale średni stan wody gruntowej był wyższy o 21 cm od średniej wieloletniej. Sytuacje takie zdarzają się bardzo rzadko. Jednak w celu ograniczenia w maksymalnym stopniu ich wpływu postanowiono rozważyć relacje pomiędzy

sumami opadów i stanami wód podziemnych dla okresów kilkumiesięcznych poprzedzających okres bilansowania. Słuszność takiego postępowania potwierdzają niemal wszystkie różnice wyznaczone na podstawie krótszych przedziałów czasowych – średnich dekadowych – pierwszej i ostatniej danego okresu.

### WYNIKI BADAŃ

W tabeli 1 przedstawiono stany wody gruntowej na podstawie pomiarów wykonanych od 1951 do 2000 roku.

**Tabela 1.** Średnie miesięczne i okresowe stany wody gruntowej (cm) poniżej powierzchni terenu Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii AR Wrocław-Swojec wyznaczone z wyników codziennych pomiarów podczas okresu lat 1951-2000

**Table 1.** Monthly and periodical averages of ground water level (cm) below the ground surface of the Wrocław-Swojec Agro- and Hydrometeorological Observatory of the University of Agriculture on the basis of daily measurements over the years 1951-2000

Miesiące Months	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
W	54	66	54	40	36	52	65	79	53	76	70	85
90 %	90	76	75	60	58	64	82	97	80	85	97	96
Norm	124	112	105	98	90	93	104	118	121	129	134	134
10 %	176	165	150	137	117	120	123	137	148	160	170	176
N	193	186	176	158	159	139	139	148	154	176	187	194

Okresy – Periods	XI-X	XI-IV	V-X	XI-II	III-V	VI-VIII	IX-XI
W	84	66	83	61	63	72	78
90 %	91	76	97	71	72	92	100
Norm	113	102	123	105	98	123	131
10 %	138	139	150	150	120	148	172
N	144	164	158	171	137	154	191

Objaśnienia: W – absolutnie najwyższa średnia miesięczna, N – absolutnie najniższa średnia miesięczna, 90 i 10% według prawdopodobieństw przewyższenia, norma – średnie wieloletnie

Explanations: W – absolute maximum monthly average, N – absolute minimum monthly average, 90 i 10% according to the probability of exceeding, norm – multi-year average

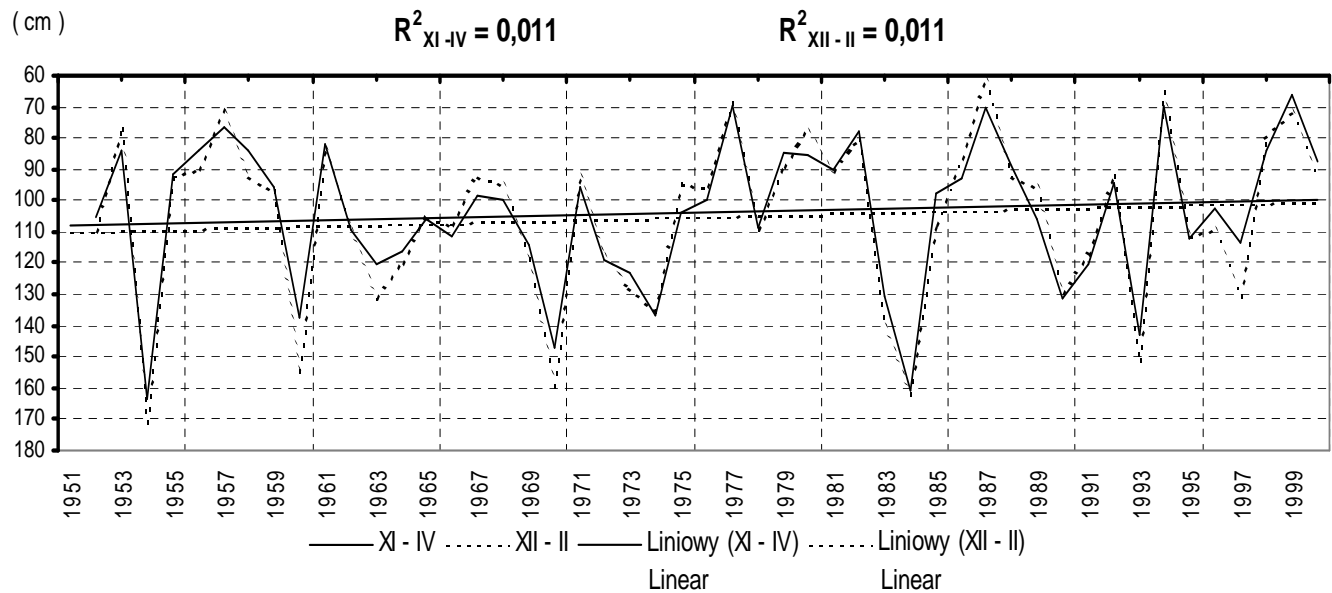
Według absolutnie najwyższych i najniższych stanów dobowych amplituda wynosi 189 cm, według średnich miesięcznych 154 cm. Stosownie do prawdopodobieństwa przewyższenia 90 i 10% np. w marcu wody gruntowe występowałyby na głębokościach od 58 do 117 cm, w październiku od 96 do 176 cm. Stan

uwilgotnienia gleby podczas kwietnia i maja zależy na obszarach nizinnych dolin rzecznych głównie od głębokości występowania wód podziemnych. Ich stan wynika z akumulacji podczas okresu od listopada do marca (tab. 1). W opisywanej mikro-zlewni spadki powierzchni terenu są niewielkie. Z tego powodu nie występuje spływ powierzchniowy z wyjątkiem sytuacji zamarznięcia przypowierzchniowej warstwy gleby. Wówczas wody podziemne nie są zasilane przez opady, które mogą kumulować się w pokrywie śnieżnej. Zdarzają się wówczas odpływy wgłębne z dolnych fragmentów profilu. Podczas odwilży następuje przesycenie wodą płytkich warstw. Zdarzają się wtedy zastoiska wody na powierzchni. Infiltracja rozpoczyna się dopiero wtedy gdy temperatura w glebie będzie wyższa od 0°. Dzięki przenikaniu wody retencjonowanej w śniegu i warstwach przypowierzchniowych występuje bardzo szybkie podwyższanie wód gruntowych.

Rysunek 1 przedstawia przebiegi stanów wód gruntowych podczas zimowego półrocza hydrologicznego oraz kwartału zimowego XII-II w kolejnych latach od 1951 do 2000 roku. Sześciokrotnie wystąpiła kilkuletnia seria stanów wysokich. Natomiast niskie zdarzały się sporadycznie. Podczas pięćdziesięciu lat w całym półroczu zimowym stany powyżej 70 cm obejmują 4 sytuacje, poniżej 130 – 8, zaś w kwartale analogicznie 3 i 9 razy. W marcu średnie miesięczne powyżej 70 cm wystąpiły 11 razy, poniżej 130 cm tylko 3. Rysunek 1 zapewnia możliwość określenia częstości posuch glebowych albo podtopień według przyjmowanych wartości granicznych z punktu widzenia melioracji wodnych, leśnych i innych.

Podstawowym czynnikiem kształtującym zasoby wód podziemnych są opady atmosferyczne. Podczas gdy sumy opadów były znacznie wyższe lub niższe od przeciętnych „powinny” występować odpowiadające im stany wód podziemnych. W rzeczywistości przy opadach wynoszących podczas półrocza zimowego 137% średniej wieloletniej w latach 1960 i 1974 stan średni wód gruntowych znajdował się na poziomach 53 i 101 cm, przy 78% w latach 1976 i 1993 – 100 i 149 cm. Warunki retencjonowania wód podziemnych można w znacznym uproszczeniu porównać z zmianami poziomu wody wewnątrz zbiornika. Po długotrwałym okresie posuchy atmosferycznej zbiornik powinien być pusty. Taką sytuację możemy przyjąć jako początek okresu bilansowania.

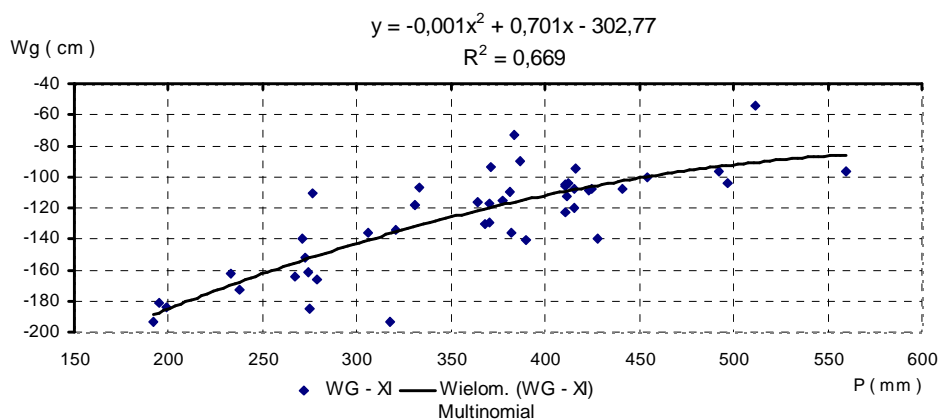
Ocena wpływu opadów na wody podziemne jest słuszna tylko w przypadku zmian napełnienia zbiornika. Natomiast określenie stanu wody gruntowej na koniec okresu bilansowania jest dość trudne, a czasem niemożliwe bez ustalenia stanu początkowego.



**Rys. 1.** Średnie stany wód gruntowych w cm poniżej powierzchni terenu według pomiarów w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznym Akademii Rolniczej Wrocław-Swojec podczas okresu od 1951 do 2000 roku  
 Oznaczenia: półrocze zimowe (XI-IV) i kwartał zimowy (XII-II)  
**Fig. 1.** Average ground water level on the basis of measurements at Wrocław-Swojec Agro- and Hydrometeorological Observatory of the University of Agriculture over the years 1951-2000  
 Explanations: winter term (Nov.-April) and winter quarter (Dec.-Feb.)

Według średnich wieloletnich (tab.1) różnica stanów pomiędzy wartościami dla listopada i marca wynosi 34 cm jako wynik akumulacji opadów. W przypadku przyjęcia jako stan początkowy o prawdopodobieństwie 90% – 90 cm należałoby wyznaczyć dla marca głębokość 56 cm, przy 10% – 176 cm – w marcu stan ten wynosiłby 142 cm.

Mając to na uwadze podjęto próbę ocen zależności jakie istnieją pomiędzy sumami opadów atmosferycznych z okresu letniego a stanami wód gruntowych w następującym po nim okresie zimowym. W tym celu przeprowadzono analizy wiele kombinacji uwzględniających wartości sum miesięcznych opadów atmosferycznych z okresu letniego dla kolejnych miesięcy poczynając od maja oraz wartości zliczanych jako sumy łączne z okresów jakie powstawały po dołączeniu kolejnych miesięcy. Działania te miały za zadanie ocenę pośrednią stanów wód gruntowych w okresie zimowym, które z kolei w wielu rozpatrywanych przypadkach wykazywały bardzo wysokie istotne korelacje z zasobami wodnymi gleby na wiosnę w kwietniu i maju dla powierzchni nieporośniętej i trawnika. Przykładem związku, dla którego uzyskano wysoką wartość współczynnika determinacji jest zależność pomiędzy sumami opadów atmosferycznych pochodzących z okresu V-X i średnimi wartościami stanów wód gruntowych w listopadzie (rys. 2). Uzyskany dobry wynik jest alternatywą gdy nie posiadamy informacji pochodzących bezpośrednio z pomiarów terenowych np. z listopada jak w tym przypadku, przydatnych jako dane wejściowe do szacowania zasobów wodnych gleby na wiosnę. O tym, że jest możliwość szacowania zasobów wodnych gleby w kwietniu w oparciu tylko o ten jeden element świadczy zależność przedstawiona na rysunku 3.

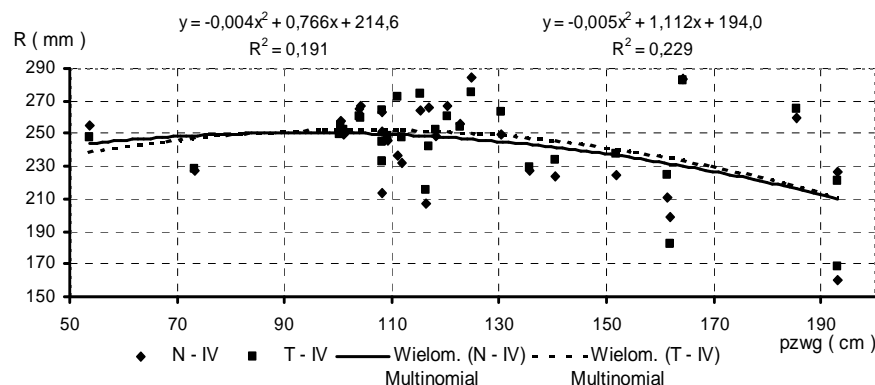


**Rys. 2.** Zależność pomiędzy sumą opadów atmosferycznych ( P – mm) w okresie od maja do października (V-X) i poziomem zwierciadła wód gruntowych (Wg – cm) w listopadzie

**Fig. 2.** Dependence between precipitation sum ( P – mm) from May to October and ground water level (Wg – cm) in November

W oparciu o informacje dotyczące średnich stanów wód gruntowych z listopada uzyskano wprawdzie niskie, ale istotne wartości współczynników determinacji dla obydwu analizowanych powierzchni.

Podobnie jak z sumami opadów atmosferycznych okresu letniego postąpiono ze stanami wód gruntowych okresu zimowego wyliczając średnie wartości dla poszczególnych miesięcy oddzielnie oraz narastająco dla upływającego okresu zimowego, a następnie wyznaczano zależności z zasobami wodnymi gleby w kwietniu i maju. Do badań wykorzystywano zasoby wodne gleby wyliczone w oparciu o pomiary terenowe wilgotności gleby w warstwie 0-100 cm. Dla wszystkich przypadków dotyczących związków zasobów wodnych gleby w kwietniu uzyskano wysokie istotne wartości współczynników determinacji. Zwrócono również uwagę na fakt, że na podobnym poziomie uzyskano związki pomiędzy zasobami wodnymi gleby pod obydwoma powierzchniami z kwietnia i średnimi stanami wód gruntowych z okresów listopad – luty oraz grudzień – luty. Pozwala to na konstruowanie ocen wiosennych zasobów wodnych gleby z wykorzystaniem wartości stanów wód gruntowych ze znacznym wyprzedzeniem. Zależności, w których uwzględniono jako pojedynczy czynnik opady dały o wiele gorsze rezultaty, ponieważ niewielka grupa związków uzyskała istotne wartości współczynników determinacji.



**Rys. 3.** Zależność pomiędzy średnim poziomem zwierciadła wód gruntowych ( $W_g$  – cm) w listopadzie poprzedniego roku i zasobami wodnymi gleby pod powierzchniami; nieporośniętą – N i trawnikiem T w kwietniu roku następnego

**Fig. 3.** Dependence between average ground water level ( $W_g$  – cm) in November of the previous year and soil water reserves under bare soil – N and lawn – T in April of the following year

Skoro każdy z dotychczas analizowanych elementów agrometeorologicznych oddzielnie wnosił jakąś część informacji o zasobach wodnych gleby w kwietniu lub w maju z tego też względu podjęto kolejną próbę pozwalającą ocenić zasoby wodne gleby pod powierzchniami nieporośniętą i trawnikiem wykorzystując wszystkie dane łącznie. Wykorzystano w tym celu sumy miesięczne opadów atmosferycznych oraz



średnie miesięczne wartości stanów wód gruntowych z okresu zimowego do wyliczenia nowych sum opadów atmosferycznych oraz średnich stanów wód gruntowych narastająco poczynając od listopada i kończąc na kwietniu roku następnego. Każdy z tak wyliczonych ciągów potraktowany został jako zmienna niezależna uwzględniana na jednakowych warunkach do opisu zasobów wodnych gleby w kwietniu lub maju. Do wyboru najlepszych zbiorów zmiennych niezależnych, pozwalających opisywać średnie zasoby wodne w kwietniu i maju pod obydwoma powierzchniami posłużyła analiza regresji wielokrotnej krokowej z programu komputerowego STATISTICA [11].

**Tabela 2.** Przykładowe elementy równania regresji wyliczone dla zależności średnich zasobów wodnych gleby w kwietniu pod powierzchnią nieporośniętą (N) w warstwie 0-100 cm od sum opadów atmosferycznych ( $P_n$ ) i stanów wód gruntowych ( $WG_n$ ) z zastosowaniem regresji wielokrotnej krokowej (zrzut ekranu)

**Table 2.** Example elements of step-wise regression equation calculated for dependences between average soil water reserves in April under bare soil (N) in 0-100 cm layer for precipitation sums ( $P_n$ ) and ground water level ( $WG_n$ ) using multiple step regression (screen shot)

Podsumowanie regresji zmiennej zależnej – Summary of dependent variable regression:

Kwiecień N

$R = ,8093$   $R^2 = ,6549$  Popraw. – Correct  $R^2 = ,5830$

$F(5,24) = 9,109 < ,0001$  Błąd std. estymacji – Standard error of estimation: 17,45

	Błąd st. St. error		Błąd st. St. error		t(23)	poziom p Level p
	BETA	BETA	B	B		
W. wolny – Free			378,9	28,24	13,42	0,000
WG5	-5,448	1,146	-6,914	1,454	-4,756	0,000
WG4	4,799	1,152	5,705	1,369	4,168	0,000
P1	-0,841	0,263	-0,963	0,301	-3,201	0,004
P2	0,843	0,380	0,719	0,325	2,217	0,036
P6	-0,303	0,237	-0,263	0,205	-1,282	0,212

Podsumowanie regresji krokowej – Summary of step regression; DV: Kwiecień N

	Krok Step	Wielokr. Mutiple R	Wielokr. Multiple R – kwadr. R – square	R – kwadr.	F – do	poziom p Level p
				zmiana change	wprow/us Data – input	
WG5	1	0,562	0,316	0,316	12,91	0,002
WG4	2	0,705	0,497	0,182	9,748	0,005
P1	3	0,761	0,579	0,082	5,042	0,034
P2	4	0,795	0,631	0,053	3,557	0,072
P6	5	0,809	0,655	0,024	1,645	0,212

Przy jej pomocy wyznaczono zależności w postaci równań regresji, pomiędzy zasobami wodnymi w 100 cm warstwie gleby pod prezentowanymi powyżej powierzchniami i sumami opadów oraz średnimi wartościami stanów wód gruntowych jako zmiennymi zależnymi z okresu zimowego. W tabelach 2 i 3 przedstawiono przykładowe podsumowania regresji.

Ze względu na fakt, że dla związków dotyczących maja na obu powierzchniach nie uzyskano równań, które zawierałyby istotne zmienne opisujące zasoby wodne gleby, nie zaprezentowano ich w pracy. W tabelach 2 i 3 zamieszczono tylko wyniki zależności wyprowadzonych z zasobami wodnymi gleby dla kwietnia. W tabeli 2 zamieszczono obliczenia przeprowadzone dla powierzchni nieporośniętej „N”, natomiast w tabeli 3 uzyskane wyniki dotyczą powierzchni trawnika „T”.

**Tabela 3.** Przykładowe elementy równania regresji wyliczone dla zależności średnich zasobów wodnych gleby w kwietniu pod powierzchnią trawnika (T) w warstwie 0-100 cm od sum opadów atmosferycznych ( $P_n$ ) i stanów wód gruntowych ( $WG_n$ ) z zastosowaniem regresji wielokrotnej krokowej (zrzut ekranu)

**Table 3.** Example elements of step-wise regression equation calculated for dependences between average soil water reserves in April under lawn (T) in 0-100 cm layer, precipitation sums ( $P_n$ ) and ground water level ( $WG_n$ ) using multiple step regression (screen shot)

Podsumowanie regresji zmiennej zależnej – Summary of dependent variable regression:

Kwiecień T

$$R = ,7681 \quad R^2 = ,5900 \quad \text{Popraw.} - \text{Correct } R^2 = ,5244$$

$F(4,25) = 8,995 \quad p < ,00012$  Błąd std. estymacji – Standard error of estimation: 17,53

	Błąd st. St. error		Błąd st. St. error		t(23)	poziom p Level p
	BETA	BETA	B	B		
W. wolny – Free			308,9	27,75	11,13	0,000
WG5	-2,679	0,670	-3,198	0,800	-3,997	0,001
WG3	3,720	1,309	3,868	1,361	2,842	0,009
WG2	-1,593	0,864	-1,540	0,835	-1,844	0,077
P6	0,265	0,190	0,215	0,155	1,389	0,177

Podsumowanie regresji krokowej – Summary of step regression; DV: Kwiecień T

	Krok Step +do/-z	Wielokr. Mutiple R	Wielokr. Multiple R – kwadr. R – square	R – kwadr.	F – do	poziom p Level p
				R – square	F – to	
				zmiana	wprow/us	
				change	data – input	
WG5	1	0,642	0,412	0,412	19,61	0,000
WG3	2	0,730	0,533	0,121	7,026	0,014
WG2	3	0,747	0,558	0,025	1,476	0,236
P6	4	0,768	0,590	0,032	1,929	0,177

Przedstawione w pierwszej kolumnie zmienne oznaczone literą „P” dotyczą sum opadów atmosferycznych natomiast literami „WG” oznaczono średnie stany wód gruntowych. Cyfry przy znacznikach literowych dotyczących opadów atmosferycznych jak i stanów wód gruntowych oznaczają okresy jakie zostały uwzględnione w równaniach. W celu ich identyfikacji podano odpowiednio ich znaczenie: 1 – XI-XII, 2 – XI-I, 3 – XI-II, 4 – XI-III, 5 – XI-IV i 6 – XII-II. Ostatni z okresów uwzględniono ze względu na wspomniane wcześniej podobieństwo istotności współczynników determinacji z okresem listopad – luty. W pierwszej części obydwu tabel zaprezentowano znormalizowane równania regresji oraz parametry je opisujące. W kolumnie „BETA”, przedstawiono znormalizowane parametry równań regresji. Można za ich pomocą porównywać ze sobą wyliczone parametry równania oraz oceniać ich istotność (w tabelach 2 i 3 zaznaczono na kolor szary tło pod zmiennymi niezależnymi, które weszły w skład zmiennych opisujących, jednak nie były parametrami istotnymi statystycznie w równaniach). Zaletą tej interpretacji jest jej niezależność od jednostek miary zmiennych zależnych. Symbol „B” z kolei grupuje wartości odpowiadające współczynnikom kierunkowym równania. W następnej kolumnie zamieszczono informacje dotyczące wielkości błędów, jakimi są one obarczone. Wyliczono również dla każdego równania wielkości cząstkowych i całkowitych współczynników determinacji  $R^2$ , które znajdują się w drugiej części tabel 2 i 3. Wyliczone wartości współczynników determinacji określają, 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. Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na ich weryfikację merytoryczną.

Przeprowadzone badania oraz uzyskane wstępne wyniki są zadowalające. Autorzy zamierzają kontynuować prace w tym zakresie wzbogacając je o weryfikację niezależną umożliwiającą ocenę zakresu stosowalności uzyskanych formuł. W aktualnym stanie rzeczy uzyskane rezultaty badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

#### WNIOSKI

1. Na podstawie wykonanych analiz można jednoznacznie stwierdzić, że istnieje możliwość pośredniej oceny stanów wód gruntowych w okresie zimowym w oparciu o sumy miesięczne oraz kumulowane wartości oparte na tym module z poprzedzającego okresu półrocza letniego, które mogą być wykorzystane jako zmienne opisujące zasoby wodne gleby wiosną.

2. Przeprowadzone badania wskazują na możliwość wykorzystania sum miesięcznych opadów atmosferycznych i średnich miesięcznych wartości stanów wód gruntowych z kolejnych miesięcy okresu zimowego oraz sum opadów atmosferycznych i średnich stanów wód gruntowych wyliczanych narastająco poczynając od listopada i kończąc na kwietniu roku następnego do pośredniego wyznaczania zasobów wodnych gleby w kwietniu i maju.

3. Analiza porównawcza wskazuje na większą przydatność wartości stanów wód gruntowych niż sum opadów atmosferycznych z okresu zimowego do szacowania zasobów wodnych gleby wiosną.

4. Sumy miesięczne opadów atmosferycznych oraz średnie miesięczne wartości stanów wód gruntowych z okresu zimowego uwzględniane łącznie stanowią wystarczającą bazę do generowania zmiennych opisujących średnie zasoby wodne gleby pod powierzchnią nieporośniętą i trawnikiem w kwietniu.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Atlas geologiczny Wrocławia.: red. S. Buksiński, Instytut Geologiczny, Oddział Dolnośląski, Warszawa 1974.
2. **Bac S.:** Zmienność stanów wód gruntowych w wschodnich fragmentach obszaru Wrocławia podczas wieloletniego okresu (1921-2000). Zesz. Nauk. AR Wrocław, seria monografie, 2004. (w druku)
3. **Bac S., Żyromski A.:** Ocena roli podsiąku w procesie parowania gleby bez pokrywy roślinnej. Zesz. Nauk. AR Wrocław, 195, 115-123, 1990.
4. **Biniak M., Żyromski A.:** Ocena relacji pomiędzy opadami atmosferycznymi i stanami wód podziemnych w okresie półroczna letniego na przykładzie danych z Wrocławia-Swojca. Zesz. Nauk. AR Wrocław, seria monografie, 2004. (w druku)
5. **Chełmicki W.:** Reżim płytkich wód podziemnych w Polsce. Rozprawa habilitacyjna, 218, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, 1991.
6. **Dubicki A.:** Zasoby wodne gleby w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy, IMGW, Seria: Atlasy i monografie, 88, 2002.
7. **Gutry-Korycka M.:** Odpływ podziemny w „Hydrologia dynamiczna”. (red. U. Soczyńska), PWN, Warszawa, 1997.
8. **Kowalski J.:** Dynamika stanów pierwszego poziomu wód podziemnych miasta Wrocławia. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rozprawy 8, 1977.
9. Mapa hydrogeologiczna Polski. C. Kolago, Instytut Geologiczny, Arkusz D-2, 1958.
10. **Pasierski Z.:** Związek poziomu płytkich wód gruntowych w okresach recesji ze stanem wód powierzchniowych. Zesz. Nauk. AR Wrocław, seria monografie, 2004. (w druku)
11. StatSoft, Inc.: STATISTICA for Windows Computer program manual, wersja 5.1. G edycja '97, nr SP8068316302G51, 1997.
12. **Tomaszewski J.:** Charakter wahań zwierciadła górnego poziomu wód podziemnych. Stud., Geogr. XLIX (A.U. Wr Nr 1155), 1990.
13. **Żyromski A.:** Czynniki agrometeorologiczne a kształtowanie się zasobów wody w glebie lekkiej z podsiąkiem wód gruntowych w okresie wiosennym. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rozprawy, 404, 2001.

14. **Żyromski A.:** Ocena zależności między stanami wód gruntowych i zasobami wodnymi gleby. Przegląd Naukowy Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa, zeszyt 21, 133-140, 2001.

### SPRING SOIL WATER RESERVES AS AFFECTED BY HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS

*Stanisław Bac, Andrzej Żyromski*

Institute of Meteorology and Water Management, Wrocław Department  
ul. Parkowa 30, 51-616 Wrocław

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.** The paper presents the possibilities of estimating soil water reserves in April and May on the basis of precipitation and ground water level data. The 1<sup>st</sup> stage included the estimation of the relation between precipitation, ground water level and additionally climatic water balance from the years 1951-2000. Winter and summer periods were analysed separately. In the 2<sup>nd</sup> stage the data from a shorter period was analysed as a result of having available soil water reserves data only from the years 1963-1969 and 1976-1998. In the research 100 cm soil layers under bare soil and lawn were analysed. As the base data for the estimation of soil water reserves in April and May, monthly and calculated sums for precipitation and ground water level from winter period, counted from the beginning of November till the end of April of the following year, were taken. The dependences were found for each element separately and together, using multiple regression. The value of determination coefficient was the index used to describe the usefulness of all the forms. Estimated dependences permitted the evaluation of the usefulness of mentioned agro-meteorological elements for the estimation of soil water reserves with an indirect method.

**Key words:** ground water table, soil water reserves, precipitation, forecasting