

PROGNOZOWANIE UWILGOTNIENIA GLEBY NA PODSTAWIE ZBIORU DANYCH HYDROLOGICZNYCH

*Antoni Grzywina*¹, *Agnieszka Kamińska*²

¹ Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin

² Katedra Zastosowań Matematyki i Informatyki, Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin

Wstęp

Zasoby wodne obszaru kształtowane są przez warunki terenowe i klimatyczne, a głównie przez opady i zróżnicowanie hipsometryczne. Z terenu całej Polski średni odpływ jednostkowy wynosi $5,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, co daje odpływ roczny w wielkości $58,6 \text{ km}^3$. Odnawialne zasoby wody w przeliczeniu na jednego mieszkańca kraju wynoszą $1580 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ przy średniej europejskiej wynoszącej $4560 \text{ m}^3/\text{rok}$ [ZIELIŃSKI, SŁOTA 1996]. Na niskie zasoby wodne nakłada się także ich zmienność występowania w czasie i przestrzeni. Zmiany wielkości odpływu związane są ze zmiennością opadów oraz antropopresją [MICHALCZYK, WILGAT 1998]. Jednym ze sposobów ograniczenia występowania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych jest ograniczenie odpływu i zwiększenie retencji. Do wyznaczania retencji można posłużyć się wskaźnikami pomocniczymi takimi jak: stany wody gruntowej, uwilgotnienie gleby i przepływ pochodzenia gruntowego [SOMOROWSKI 1967].

Stopień uwilgotnienia siedlisk hydrogenicznycych jest silnie zróżnicowany, co decyduje o charakterze gleb, rodzaju zbiorowisk roślinnych oraz wielkości płoń. W ostatnim czasie podkreślana jest ważna rola torfowisk w tworzeniu naturalnej retencji, którą należy zwiększać przez sterowanie odpływem [KIRYLUK 1997].

Celem pracy było opracowanie równań regresji wielokrotnej pozwalających na rozpoznanie związków statystycznych pomiędzy głębokością odwodnienia i uwilgotnieniem gleby. Równania te będą mieć zastosowanie do prognozowania trendu zmian uwilgotnienia na podstawie dostępnych danych historycznych. Prognozowanie to może znaleźć zastosowanie przy sterowaniu eksploatacją systemu melioracyjnego, a w szczególności do określania terminu nawadniania.

Warunki i metody badań

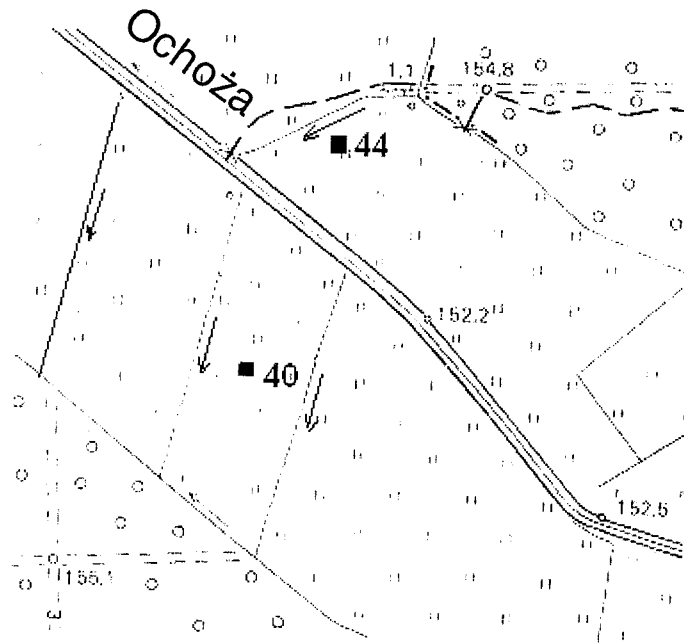
W pracy przedstawiono zastosowanie technik diagnostyki regresji wielu zmiennych w procesie modelowania. Celem analiz było określenie wpływu czynników hydrologicznych i meteorologicznych na wielkość zapasu wody w warstwie korzeniowej gleby (0-30 cm). Szczegółowej analizie statystycznej poddano wyniki badań hydrologicznych prowadzonych w 2 punktach w półroczu letnim w latach

1999–2002 na zagospodarowanej kwaterze obiektu Ochoża – południowo-zachodnia część Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego.

Analizy przeprowadzono następującymi metodami:

- poziomy wody gruntowej (m n.p.p.) mierzono w piezometrach przy użyciu świstawki,
- zapas wody warstwy korzeniowej (mm) obliczano na podstawie uwilgotnienia gleby (%) określanego metodą suszarkowo-wagową,
- właściwości wodne – krzywe sorpcji wodnej metodą komór wysokociśnieniowych,
- gęstość gleby – piknometrycznie,
- równania regresji i wykresy rozrzutu – program komputerowy Statistica.

KAMIŃSKA i in. [2006] w swojej pracy przeprowadzili analizę statystyczną wyników badań warunków wodnych prowadzonych na obiekcie Ochoża w 7 punktach w okresie wegetacji w odstępach comiesięcznych w latach 1999–2002. Dla wszystkich punktów pomiarowych opracowali równania regresji dla zależności zapasu wody w glebie od bieżącego stanu wody gruntowej oraz w modelu rozszerzonym także od zapasu wody z poprzedniego miesiąca.



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiaru poziomów wody na kwaterze nr 4
Fig. 1. Location of the measurement points of water level in section No. 4

W niniejszej pracy analizie zostały poddane wyniki badań na kwaterze nr 4 w piezometrze 40 i 44 (rys. 1) wykonane w 32 terminach. Punkty te są zlokalizowane w jednym transekcie i charakteryzują się różnymi warunkami glebowymi wpływającymi na stosunki wodne. W punkcie 40 występuje gleba torfowo-murszowa MtIbb, zaś w punkcie 44 – gleba murszowata Me22 [OKRUSZKO, PIĄSIK 1996].

Właściwości fizyko-wodne tych gleb przedstawiono w tabeli 1. Analizowana kwatera położona jest w środkowej części obiektu melioracyjnego na uregulowanym odcinku cieku Ochoża. W okresie badań teren nie był użytkowany rolniczo (nie-użytki łąkowe). Przepływ wody występował przez cały okres badań w rzece, natomiast rowy były bezodpływowe (niedrożne przepusty). Zwierciadło wody w rzece i rowach było kształtowane jedynie przez warunki naturalne i ulegało niewielkim wahaniom (najwyższe poziomy wody obserwowano wczesną wiosną w okresie spływów roztopowych, zaś najniższe latem w okresie największej ewapotranspiracji).

Tabela 1; Table 1

Właściwości fizyko-wodne gleb w warstwie korzeniowej (0–30 cm)
Physical and water properties of soil in the root layer (0–30 cm)

Punkt Point	Porowatość Porosity (%)	Makropory Macropore (%)	Mezopory Mesospore (%)	Gęstość Density (g·cm ⁻³)	Kurczliwość Contractility (%)
40	87,1	20,5	46,5	0,27	37
44	41,8	8,8	16,1	1,47	2

Analiza statystyczna

Wyniki pomiarów hydrologicznych dla punktów 40 i 44 w latach 1999–2002 zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2; Table 2

Poziomy wody gruntowej w m (H) i wielkości zapasu wody w mm (Z)
w pkt. 40 (A) i 44 (B)

The groundwater levels in m (H) and the amount of water reserve in mm (Z)
at point 40 (A) and 44 (B)

Rok; Year		1999		2000		2001		2002	
Data; Date	punkt point	H	Z	H	Z	H	Z	H	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29.03.	A	1,13	222,1	1,03	211,0	1,01	209,8	0,99	215,4
	B	1,10	122,4	1,02	123,4	1,02	127,5	1,00	122,4
28.04.	A	1,18	226,5	0,96	207,6	0,93	203,3	0,85	203,4
	B	1,17	127,5	1,00	122,1	0,98	123,1	0,91	113,1
30.05.	A	0,85	203,4	0,91	197,0	0,92	201,2	0,88	204,8
	B	0,96	118,1	0,96	119,7	0,92	115,2	0,99	119,7
29.06.	A	0,98	214,8	0,81	190,3	0,93	197,0	0,79	192,7
	B	1,02	119,7	0,89	112,6	1,03	119,7	0,90	112,6
30.07.	A	0,96	206,3	0,85	200,3	1,04	204,7	0,85	203,9
	B	0,93	114,8	0,93	113,8	1,05	123,5	0,95	115,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30.08.	A	0,83	198,2	1,06	208,9	1,02	207,1	0,91	195,5
	B	0,88	111,8	1,02	121,6	0,98	121,6	0,95	116,6
29.09.	A	0,85	198,7	1,00	207,2	1,19	219,4	0,94	204,2
	B	0,95	116,8	1,01	121,8	1,16	126,8	0,99	121,8
29.10.	A	0,86	199,7	1,04	210,6	0,96	208,2	0,96	201,7
	B	1,00	119,7	1,00	124,8	0,93	117,8	1,03	124,8

Dla punktów pomiarowych rozważano następującą postać analityczną modelu

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \varepsilon$$

gdzie:

Y – zapas wody w warstwie korzeniowej gleby,

X_1 – poziom wody gruntowej,

X_2 – zapas wody otrzymany w tym samym punkcie poprzedniego miesiąca,

X_3 – X_8 zestaw zmiennych zero-jedynkowych określających terminy dokonywanych pomiarów w ciągu roku.

$$X_3 = \begin{cases} 1 & \text{pomiar dokonywany w pierwszym terminie} \\ 0 & \text{pomiar dokonany w pozostałych terminach} \end{cases}$$

...

$$X_8 = \begin{cases} 1 & \text{pomiar dokonywany w pierwszym terminie} \\ 0 & \text{pomiar dokonany w pozostałych terminach} \end{cases}$$

Parametry równania regresji szacowano metodą najmniejszych kwadratów. Dobroć aproksymacji mierzono współczynnikiem determinacji R^2 oraz skorygowanym współczynnikiem determinacji R_p^2 [NETER i in. 1996].

Otrzymało następujące równania regresji:

w piezometrze 40

$$(1) \hat{Y} = 115,24 + 58,83X_1 + 0,16X_2 + 2,51X_3 + 0,08X_4 - 0,85X_5 + 1,92X_6 - 2,04X_7 + 0,77X_8$$

$$R^2 = 0,79 \quad R_p^2 = 0,71 \quad S_e = 4,15$$

w piezometrze 44

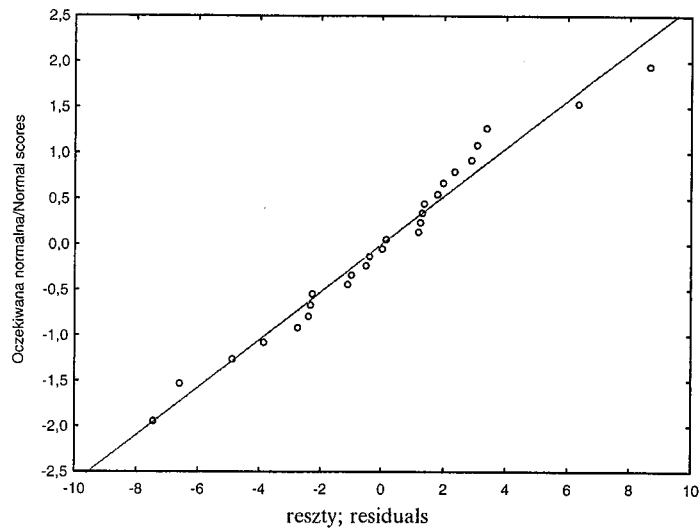
$$(2) \hat{Y} = 48,23 + 54,19X_1 + 0,16X_2 + 1,89X_3 + 1,65X_4 - 3,27X_5 + 2,39X_6 - 1,19X_7 - 1,23X_8$$

$$R^2 = 0,89 \quad R_p^2 = 0,84 \quad S_e = 1,76$$

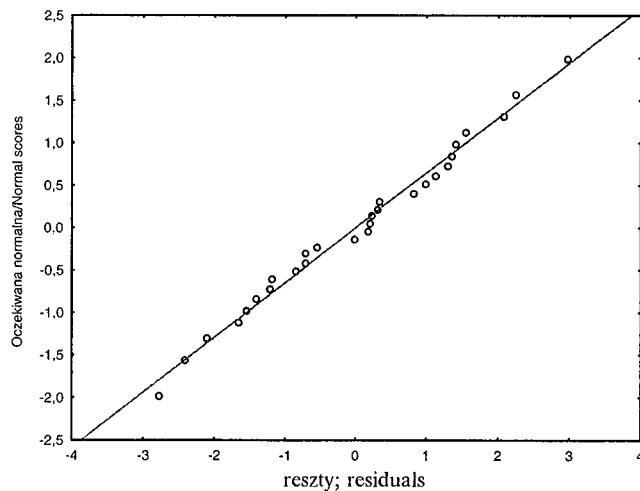
W celu sprawdzenia poprawności proponowanych modeli przeprowadzono analizę reszt modelu wykorzystując zarówno testy statystyczne, jak i metody graficzne.

Poniżej zaprezentowano przykładowe wykresy reszt służące weryfikacji założenia o normalności rozkładu błędów losowych (rys. 1–4) oraz homoscedastyczności składnika losowego (rys. 5–6).

Uzyskane dla otrzymanych modeli reszty układają się na wykresie probablistycznym wzdłuż linii prostej (rys. 1–2), histogramy reszt są symetryczne (rys. 2–3). Przeprowadzenie testu istotności Shapiro-Wilka potwierdziło, brak podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu reszt.

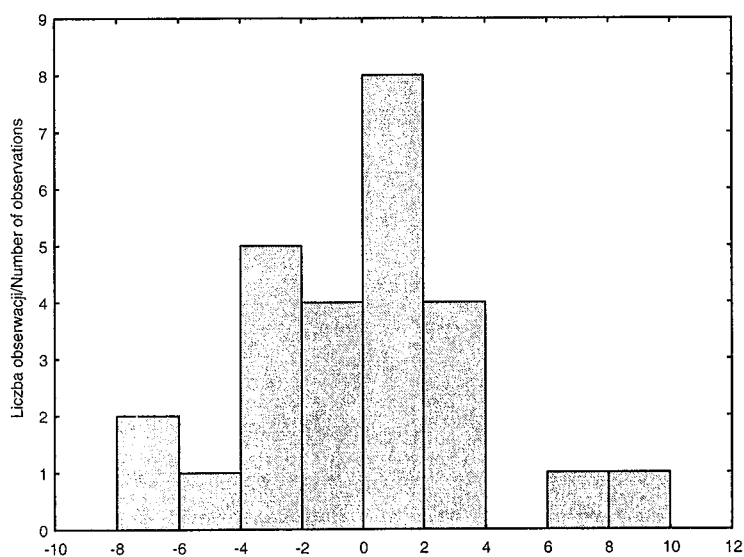


Rys. 2. Wykres normalny prawdopodobieństwa reszt dla modelu (1) w piezometrze 40
Fig. 2. Normal probability plot of residuals for the model (1) in piezometer 40

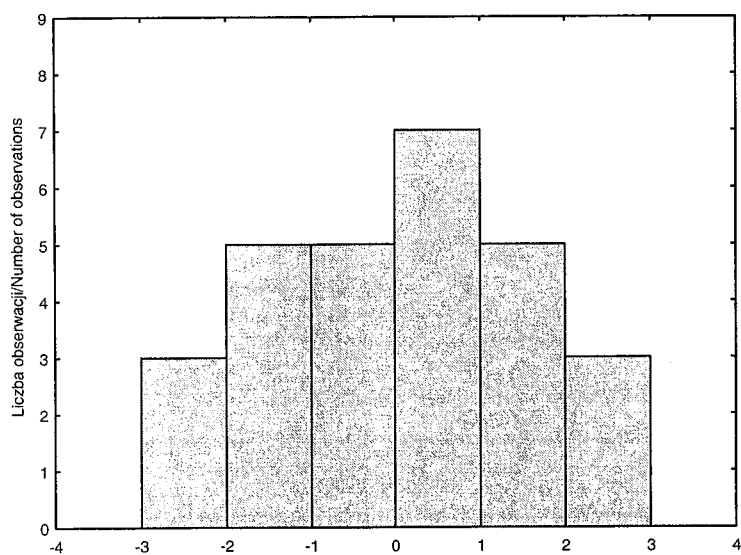


Rys. 3. Wykres normalny prawdopodobieństwa reszt dla modelu (2) w piezometrze 44
Fig. 3. Normal probability plot of residuals for the model (2) in piezometer 44

Na wykresach rozrzutu reszt względem wartości przewidywanych zmiennej zależnej dla obu modeli regresji (rys. 5–6) widoczna jest chmura punktów bez wyraźnej tendencji wzrostu (lub spadku) wariancji reszt przy wzroście wartości przewidywanej zmiennej objaśniającej. Test U-Manna-Whitneya nie odrzucił hipotezy o równości wariancji odchyłeń losowych.

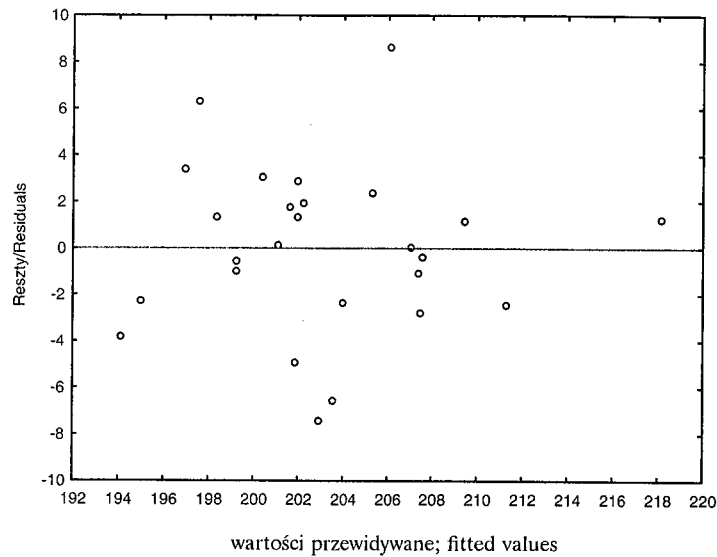


Rys. 4. Histogram reszt dla modelu (1) w piezometrze 40
Fig. 4. Histogram of residuals for the model (1) in piezometer 40

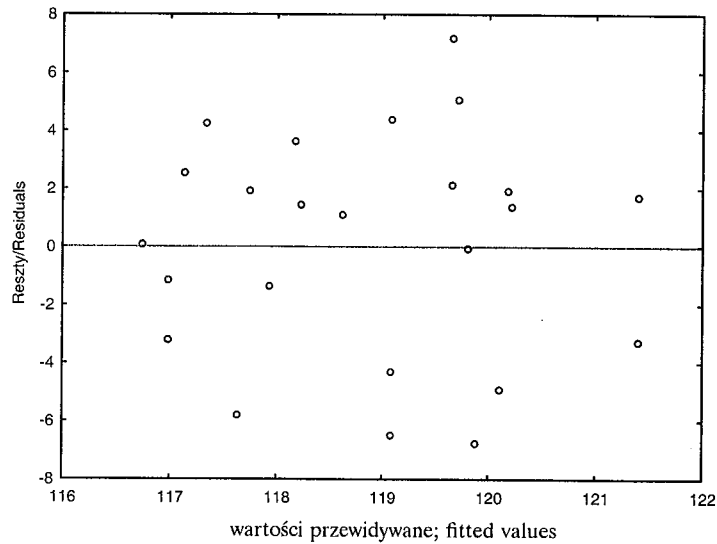


Rys. 5. Histogram reszt dla modelu (2) w piezometrze 44
Fig. 5. Histogram of residuals for the model (2) in piezometer 44

Otrzymane równania regresji mogą posłużyć do prognozowania przewidywanych wartości zmiennej objaśnianej Y wyznaczonej dla wartości zmiennych objaśniających X_i .



Rys. 6. Wykres rozrzutu reszt względem wartości przewidywanych dla modelu (1)
 Fig. 6. Scatter plot of residuals versus fitted values for the model (1)



Rys. 7. Wykres rozrzutu reszt względem wartości przewidywanych dla modelu (2)
 Fig. 7. Scatter plot of residuals versus fitted values for the model (2)

Prognozę zmiennej objaśnianej w okresie prognozowanym buduje się opierając się na oszacowanym modelu ekonometrycznym tej zmiennej przy założeniu, że zmienne objaśniające modelu przyjmą z góry określone wartości.

Aby prognoza była wiarygodna należało ocenić dokładność predykcji. Wykorzystując posiadane dane dokonano oceny dotychczasowej trafności procedury prognozowania dla ostatniego roku prowadzonych badań wykorzystując prognozy

wygasłe [GRUSZCZYŃSKI 2008]. Względne błędy prognozy nie przekroczyły 3% potwierdzając użyteczność otrzymanych modeli regresji.

Podsumowanie

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że równania regresji liniowej przedstawione dla punktów 40 i 44 bardzo dobrze oddają charakter zależności zapasu wody w glebie od poziomu położenia zwierciadła wody w danym i poprzednim miesiącu od trendu zmian. Przedstawione w pracy równania opracowano na podstawie systematycznych badań prowadzonych w okresie wegetacji (kwiecień–październik) w latach 1999–2002. Dysponując przedstawionymi równaniami można z dużą dokładnością (powyżej 97%) prognozować o układzie warunków wilgotnościowych w następnych latach lub też wykorzystać te równania do uzupełniania zbioru w przypadku braku danych empirycznych. Prognozowanie to może znaleźć zastosowanie przy sterowaniu eksploatacją systemu melioracyjnego, a w szczególności do określania terminu nawadniania [SOMOROWSKI 1967].

Przedstawione w pracy równania regresji mogą być stosowane jedynie w określonych warunkach meteorologicznych i hydrologicznych (swobodny odpływ) tylko dla analizowanych punktów badań. Równania te ze względu na brak wystarczającego zbioru danych nie mogą być stosowane w okresie występowania powodzi, suszy i regulowania odpływu. Z przeprowadzonych wcześniej analiz [KAMIŃSKA i in. 2008] wynika, że niekiedy powstają warunki hydrauliczne, w których pojawiają się obserwacje wpływowe zakłócające proste zależności matematyczne. Wówczas nie można stosować równań regresji wielokrotnej a potrzebne są modele hydrodynamiczne [OKTABA 1971].

Literatura

- GRUSZCZYŃSKI M. 2008. *Ekonometria*. SGH Warszawa: 220 ss.
- KAMIŃSKA A., GRZYWNA A., WESOŁOWSKA-JANCZAREK M. 2006. *Analiza zależności zapasu wody w warstwie korzeniowej gleby od położenia zwierciadła wody gruntowej*. Acta Agrophysica 8: 139–146.
- KAMIŃSKA A., WESOŁOWSKA-JANCZAREK M., GRZYWNA A. 2008. *Metody badania obserwacji wpływowych w rozpoznaniu warunków wodnych w glebie*. Colloquium Biometricum 38: 33–49.
- KIRYLUK A. 1997. *Skutki zmian warunków wodnych na torfowisku w dolinie Supraśli, w: Woda jako czynnik warunkujący wielofunkcyjny i zrównoważony rozwój wsi i rolnictwa*. IMUZ Faleny: 215–220.
- MICHALCZYK Z., WILGAT T. 1998. *Stosunki wodne Lubelszczyzny*. UMCS Lublin: 167 ss.
- NETER J., KUTNER M.H., NACHTSHEIM C.J., WASSERMAN W. 1996. *Applied linear statistical models*. Chicago: Richard D. Irwin, Inc. and Times Mirror Higher Education Group, Inc: 12–17.
- OKRUSZKO H., PIĄSIK H. 1996. *Charakterystyka gleb hydrogenicznych*. Wyd. ART Olsztyn: 152 ss.

OKTABA W. 1971. *Elementy statystyki matematycznej w doświadczałnictwie*. PWN Warszawa: 244 ss.

SOMOROWSKI Cz. 1967. *Wskaźniki retencji w bilansie wodnym zlewni rzecznych*. Wiad. IMUZ 7(1): 53–73.

ZIELIŃSKI J., SŁOTA H. 1996. *Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski*. IMGW, Gospodarka Wodna i Ochrona Wód 20: 52 ss.

Słowa kluczowe: poziom wody gruntowej, uwilgotnienie gleby, regresja liniowa

Streszczenie

W pracy przedstawiono zastosowanie metody regresji liniowej wielu zmiennych do określenia zależności statystycznych między elementami hydrologicznymi na użytkach zielonych w dolinie rzecznej. Wyznaczono równania regresji opisujące zmienność wartości zapasu wody w warstwie korzeniowej roślin. Do zbioru zmiennych objaśniających zaliczono zmienne opisujące bieżący poziom wody gruntowej, poprzedni poziom wody oraz sezonowość zmian. Uzyskane w pracy równania można wykorzystać do prognozowania trendu zmian oraz sterowania eksploatacją systemu melioracyjnego, a w szczególności do określania terminu nawadniania.

PREDICTING OF THE SOIL MOISTURE ON THE BASIS OF A HYDROLOGICAL DATA SET

Antoni Grzywna¹, Agnieszka Kamińska²

¹ Department of Melioration and Agricultural Building,
University of Live Science, Lublin

² Department of Applications Mathematics and Computer Science,
University of Live Science, Lublin

Key words: groundwater level, soil moisture, linear regression

Summary

The aim of the paper is to present the method of linear regression of many variables to determine statistical relations between hydrological elements on a grassland situated in a river valley. Regression equations describing variations of water storage in the root layer (0–30 cm) were determined. The set of explanatory variables includes current groundwater levels, were previous water reserve and season-changes. The equations could be used to predict and control the exploitation of land improvement system, particularly to set the date of irrigation.

Dr inż. Antoni **Grzywna**
Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Leszczyńskiego 7
20-069 LUBLIN
e-mail: agrzywna@wp.pl