

ANALIZA ZALEŻNOŚCI ZAPASU WODY
W WARSTWIE KORZENIOWEJ GLEBY
OD POŁOŻENIA ZWIERCIADŁA WODY GRUNTOWEJ

Agnieszka Kamińska¹, Antoni Grzywna², Mirosława Wesółowska-Janczarek¹

¹Katedra Zastosowań Matematyki, Akademia Rolnicza, ul. Akademicka 13, 20-033 Lublin
e-mail: agnieszka.kaminska@ar.lublin.pl

²Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego, Akademia Rolnicza
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin

Streszczenie. Celem niniejszej pracy jest określenie zależności statystycznych pomiędzy badanymi elementami hydrologicznymi na użytkach zielonych w dolinie rzecznej. Do analizy statystycznej wykorzystane zostały pomiary stanów wody gruntowej oraz wartości zapasu wody w warstwie gleby 0-30 cm. Charakteryzują one stosunki wodne oraz są wskaźnikami pomocniczymi do wyznaczania zmian retencji. W prezentowanej pracy wykorzystano wyniki badań prowadzonych w 7 punktach położonych na środku odwadnianej kwatery, które prowadzono na obiekcie melioracyjnym Ochoża w latach 1999-2002. Do określenia zależności pomiędzy badanymi zmiennymi zastosowano metody regresji liniowej. Wyznaczono równania regresji prostej pomiędzy badanymi zmiennymi dla każdego z analizowanych punktów pomiarowych. Następnie oszacowano regresję uwzględniającą dodatkową zmienną objaśniającą – zapas wody otrzymany w tym samym miejscu poprzedniego miesiąca. Dokonując weryfikacji otrzymanych równań regresji porównano odpowiednie równania oceniając korzyści płynące z uwzględnienia w modelu dodatkowej zmiennej niezależnej.

Słowa kluczowe: użytki zielone, zapas wody, stan wody gruntowej, stosunki wodne, regresja liniowa

WSTĘP

Spośród zespołu czynników warunkujących rozwój roślin na szczególną uwagę zasługuje woda. Jest ona zarówno głównym budulcem organizmu jak i środkiem transportu substancji odżywczych. W dnach nizinnych dolin rzecznych mamy do czynienia ze specyficznymi warunkami zasilania hydrologicznego. W warunkach naturalnych obszary te charakteryzują się znacznym potencjałem produkcyjnym, dużymi zasobami wody i materii organicznej [5]. Właśnie z tego powodu przeprowadzono na takich terenach melioracje odwadniające, których

celem było odprowadzenie nadmiaru wody i przystosowanie tych terenów do produkcji rolniczej. Jednostronna regulacja stosunków wodnych, brak właściwej konserwacji i pielęgnacji oraz powstawanie licznych ugorów przyczyniło się do dewastacji urządzeń melioracyjnych, degradacji pokrywy glebowej oraz niekorzystnej sukcesji roślin [6].

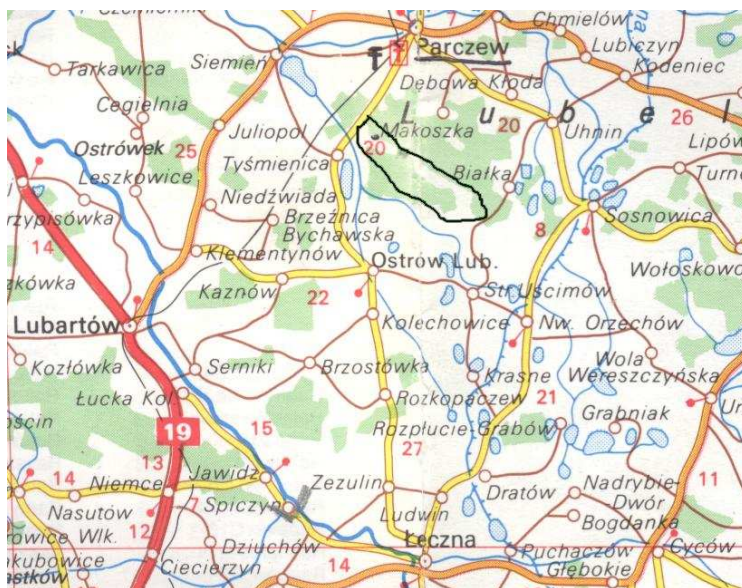
Celem niniejszej pracy jest określenie zależności statystycznych pomiędzy badanymi elementami hydrologicznymi na użytkach zielonych. Do analizy statystycznej wykorzystane zostały pomiary stanów wody gruntowej oraz wartości zapasu wody w 0-30 cm warstwie gleby. Zarówno poziom położenia zwierciadła wody jak i zapas wody w glebie charakteryzują stosunki wodne. Są one też wskaźnikami pomocniczymi do wyznaczania zmian retencji. Ponieważ gleba jest ośrodkiem porowatym to następuje w niej ruch wody. Zgodnie z równaniem ciągłości strugi następuje w glebie przenikanie ze sobą różnych form wody i istnieje pomiędzy nimi zależność hydrauliczna [1].

MATERIAŁ I METODY

Do badań wybrano obiekt melioracyjny Ochoża położony na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim w dolinie rzeki Tyśmienica (rys. 1). Badania stosunków wodnych prowadzono w latach 1999-2002 w 5 przekrojach hydrometrycznych łącznie w 59 punktach. Badania obejmowały analizę właściwości fizyko-chemicznych gleb, waloryzację użytkowania terenu, inwentaryzację stanu urządzeń melioracyjnych i pomiary hydrologiczne [4].

W prezentowanej pracy wykorzystano wyniki badań prowadzonych w 7 punktach położonych na środku odwadnianej kwatery na użytkach zielonych. W celu prowadzenia w nich pomiarów stanów wody gruntowej w m założono tutaj studzienki piezometryczne. W tych samych punktach z warstwy 0-30 cm pobierano próbki gleby dla których oznaczano wilgotność metodą suszarkowo-wagową. Następnie uwilgotnienie gleby przeliczano na wielkość zapasu wody w mm H₂O w badanej warstwie gleby. W celu odniesienia otrzymanych zależności do danych warunków siedliskowych wykonano odkrywki glebowe, z których pobrano próbki do badań. Bezpośrednio w terenie określono budowę morfologiczną profilu glebowego, na podstawie której ustalono rodzaj gleby. Właściwości fizyczne oznaczono następującymi metodami:

- - gęstość i kurczliwość: pobranie próbek o objętości 100 cm³ o nienaruszonej strukturze, a następnie ich suszenie w temperaturze 105°C;
- - gęstość właściwa: piknometrycznie, usuwając pompą podciśnieniową powietrze z rozartej gleby, a doprowadzając w to miejsce wodę;
- rozkład porów wg ich średnicy równoważnej obliczono na podstawie krzywej retencji wody (pF) oznaczonej metodą komór ciśnieniowych [10].



Rys. 1. Lokalizacja obiektu Ochoża
Fig. 1. Location of the object Ochoża

Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono za pomocą regresji liniowej [2]. W pierwszym etapie wyznaczono równania regresji prostej pomiędzy badanymi zmiennymi dla każdego z analizowanych punktów pomiarowych. Następnie oszacowano regresję uwzględniającą dodatkową zmienną objaśniającą – zapas wody otrzymany w tym samym miejscu poprzedniego miesiąca. Dokonując weryfikacji otrzymanych równań regresji porównano odpowiednie równania oceniając korzyści płynące z uwzględnienia w modelu dodatkowej zmiennej niezależnej.

W tabeli 1 przedstawiono właściwości fizyczne i wodne gleby w warstwie 0-30 cm w analizowanych punktach. Właściwości te w istotny sposób wywierają wpływ na charakter związku funkcyjnego pomiędzy poziomem zalegania lustra wody gruntowej a uwilgotnieniem gleby. Z właściwości fizycznych na szczególną uwagę zasługuje gęstość, będąca miernikiem stanu zagęszczenia masy glebowej. Najwyższe jej wartości występują w glebach mineralnych, gdzie wynoszą one odpowiednio dla gleby murszowo-mineralnej Me21 – $1,31 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a dla czarnych ziem D22 – $1,47 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Gęstość gleb torfowo-murszowych Mt, jest uzależniona od stopnia ich przeobrażenia i waha się od $0,27$ do $0,51 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Podobnie sytuacja przedstawia się w przypadku gęstości fazy stałej, która w przypadku gleb mineralnych jest znacznie wyższa niż w przypadku gleb organicznych. Czynnikiem decydującym o stosunkach powietrzno-wodnych w glebie jest jej porowatość, bowiem większa ilość porów umożliwia gromadzenie większej ilości wody. Porowatość gleb mineralnych waha się od $41,8$ do 44% , zaś dla gleb organicznych

w zakresie od 71,9 do 87,1%. Jednak w profilu glebowym pełna pojemność wodna występuje bardzo rzadko i jest cechą mało charakterystyczną, jeśli chodzi o warunki retencjonowania wody w glebie.

Tabela 1. Właściwości fizyczne i wodne gleby w warstwie korzeniowej (0-30 cm)

Table 1. Physical and water properties of the soils in the root zone (0-30 cm)

Punkty Points	Gęstość Bulk density (g·cm ⁻³)	Gęstość fazy stałej Particle density (g·cm ⁻³)	Porowatość – Porosity			Kurczli- wość Shrinkage (%)	
			Ogólna Total (%)	Makro- Macro- > 30 μm (%)	Mezo- Meso- 0,2-30 μm (%)		Mikro- Micro- < 0,2 μm (%)
3 MtIIcb	0,51	1,81	71,9	19,6	27,1	25,2	24
8 MtIIcb	0,48	1,81	75,8	21,0	34,7	20,1	27
17 MtIIcc	0,42	1,98	78,8	20,4	35,3	23,1	25
27 Me21	1,31	2,37	44,0	8,5	16,7	18,8	0
32 MtIIbb	0,39	2,01	80,4	22,1	36,8	21,5	35
40 MtIbb	0,27	2,03	87,1	20,5	46,5	20,1	37
44 D22	1,47	2,54	41,8	8,8	16,1	16,9	2

MtII – gleba murszowo-torfowa, muck-peat soil; b lub c – stopień przeobrażenia torfu, stage of peat transformation; 1 lub 2 – rodzaj poziomu mineralnego, type of mineral complex; Me – gleba murszowo-mineralna, mineral-muck soil; D – czarna ziemia, black-earth. Do opisu gleb zastosowano nomenklaturę powszechnie wykorzystywaną w gleboznawstwie [8].

Duże znaczenie ma udział porów o określonej średnicy równoważnej: makropory, mezopory i mikropory. Zawartość mezoporów odpowiada potencjalnej retencji użytecznej to jest zdolności utworu glebowego do wiązania wody w przedziale wartości pF od 2,0 do 4,2. Z kolei mianem efektywnej retencji użytecznej określa się ilość wody łatwo dostępnej dla roślin zawartej w przedziale ciśnień od 2,0 do 2,7. Dla tego przedziału wartości zależność pomiędzy dostępnością wody dla roślin a jej zawartością w glebie jest zbliżona do liniowej. Dodatkowo oznaczano także kurczliwość gleby, która określa podatność na zmiany objętości wody w glebie (tab. 1).

W badanych punktach zmiany zapasu wody mieściły się w zakresie zmian ilości wody łatwo dostępnej dla roślin. Wówczas zależność pomiędzy zawartością wody w glebie a jej dostępnością dla roślin jest zbliżona do liniowej. Jak wspomniano we wstępie zarówno stan wody gruntowej jak i zapas wody w glebie są wskaźnikami retencji. Z tego powodu w pracy określono zależność pomiędzy badanymi cechami, celem wyeliminowania konieczności badania ich jednocześnie. Z przeprowadzonej analizy wynika, że uzyskane równania regresji można stosować do określania zapasu wody w warstwie korzeniowej (0-30 cm) gleby na podstawie pomiarów stanów wody gruntowej w zakresach przedstawionych w tabeli 2. Ten fakt pozwala na ograniczenie pomiarów tylko do jednego elementu.

W niniejszej pracy pominięto analizę stosunków wodno-glebowych, która została przedstawiona w pracy [4]. Warto jednak zaznaczyć, iż zjawisko kurczliwości nie miało wpływu na badaną zależność ponieważ zmiany zapasu wody mieściły się w zakresie wody łatwo dostępnej dla roślin.

Tabela 2. Zestawienie zakresów wartości poziomu wody gruntowej oraz zapasu wody w badanych punktach pomiarowych

Table 2. Values of groundwater level and water supply in analysed points

Punkty pomiarowe Points	Poziom wody gruntowej Groundwater level (m)	Zapas wody Water reserve (mm)
3	0,51-0,89	148,8-184,6
8	0,41-0,73	125,5-171,7
17	0,72-1,11	141,4-176,3
27	0,95-1,57	75,7-122,7
32	0,56-0,80	154,6-174,6
40	0,79-1,19	190,3-226,5
44	0,88-1,17	111,8-127,5

ANALIZA STATYSTYCZNA I WYNIKI

Zależność zapasu wody w warstwie korzeniowej gleby od stanu wody gruntowej opisano równaniami regresji. Dla wszystkich punktów pomiarowych rozważano następującą postać analityczną modelu opisującego zależność zapasu wody w warstwie korzeniowej gleby (Y) od wartości stanu wody gruntowej (X_1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad (1)$$

oraz model rozszerzony uwzględniający jako dodatkową zmienną – zapas wody otrzymany w tym samym punkcie poprzedniego miesiąca (X_2):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon. \quad (2)$$

Parametry równania regresji szacowano metodą najmniejszych kwadratów. Dobroć aproksymacji mierzono współczynnikiem determinacji R^2 , który informuje jaką część całkowitej zmienności Y wyjaśnia równanie regresji. Dołączenie dodatkowej zmiennej do modelu zawsze powoduje zwiększenie się wartości R^2 , w związku z tym statystyki tej używa się do porównywania modeli z jednakową liczbą zmiennych niezależnych. Do porównania między modelami z różną liczbą zmiennych objaśniających zastosowano skorygowany współczynnik determinacji R_p^2 [7].

Wyniki przeprowadzonej analizy regresji prezentuje tabela 3.

Tabela 3. Wyniki przeprowadzonej analizy regresji

Table 3. Results of regression analysis

Punkty pomiarowe Points	Model (1) Model (1)	R^2	R_p^2	Model (2) Model (2)	R^2	R_p^2
3	$\hat{Y} = 126,1 + 58,62X_1$	0,72	0,71	$\hat{Y} = 106,2 + 53,93X_1 + 0,141X_2$	0,74	0,72
8	$\hat{Y} = 96,23 + 99,63X_1$	0,73	0,72	$\hat{Y} = 75,18 + 82,01X_1 + 0,276X_2$	0,77	0,74
17	$\hat{Y} = 100,9 + 62,15X_1$	0,60	0,58	$\hat{Y} = 61,71 + 41,25X_1 + 0,37X_2$	0,70	0,67
27	$\hat{Y} = 34,98 + 44,58X_1$	0,44	0,42	$\hat{Y} = 22,94 + 35,46X_1 + 0,25X_2$	0,46	0,41
32	$\hat{Y} = 127,0 + 54,24X_1$	0,32	0,29	$\hat{Y} = 77,81 + 55,13X_1 + 0,332X_2$	0,47	0,43
40	$\hat{Y} = 139,6 + 69,01X_1$	0,76	0,75	$\hat{Y} = 107,5 + 58,76X_1 + 0,2X_2$	0,80	0,77
44	$\hat{Y} = 62,77 + 57,43X_1$	0,80	0,79	$\hat{Y} = 40,49 + 55,96X_1 + 0,201X_2$	0,84	0,83

W celu sprawdzenia poprawności proponowanych modeli wykorzystano metody diagnostyki regresji, które pozwoliły dokonać kompleksowej analizy wpływu poszczególnych obserwacji i ich struktury na wyniki estymacji modelu, wskazać obserwacje naruszające jednorodność danych oraz określić przyczynę ich wystąpienia. Rezultaty tych badań zawarte zostaną w kolejnej pracy.

W przedstawionej tabeli \hat{Y} reprezentuje prognozę przewidywanych wartości zmiennej objaśnianej Y wyznaczoną dla wartości zmiennych objaśniających X_i . Każdy oszacowany współczynnik regresji przy zmiennej X_i (X_1 oraz X_2) pokazuje, jaki jest przyrost przewidywanej wartości zmiennej Y (\hat{Y}) przy wzroście zmiennej X_i o jednostkę, jeżeli wartość drugiej zmiennej nie zmienia się. Przykładowo otrzymane rozwiązanie dla punktu 44 oznacza, że wzrost wartości stanu wody

gruntowej o 1 m zwiększa poziom zapasu wody o 55,96 mm (przy ustalonej wartości X_2).

Analiza wyników zamieszczonych w tabeli 3 pozwoliła na ukazanie następujących prawidłowości:

1. Zaobserwowano dla wszystkich punktów pomiarowych wzrost wartości zarówno współczynnika determinacji jak i poprawionego współczynnika determinacji dla modelu rozszerzonego w stosunku do modelu z jedną zmienną objaśniającą.
2. Dla punktów pomiarowych nr 27 oraz 32 otrzymano niskie wartości wskaźników opisujących dopasowanie modelu do danych.
3. Dla wszystkich punktów pomiarowych poza nr 27 oraz 32 otrzymano istotne wartości współczynników determinacji.

WNIOSKI

1. Zależność zapasu wody w warstwie korzeniowej gleby od wartości stanu wody gruntowej można opisać za pomocą liniowych równań regresji.

2. Uwzględnienie dodatkowej zmiennej objaśniającej (wartość zapasu wody otrzymanego w tym samym punkcie poprzedniego miesiąca) w modelu regresji opisującym zależność zapasu wody w warstwie korzeniowej gleby od stanu wody gruntowej poprawiło dopasowanie modelu do danych. Oznacza to, iż model rozszerzony lepiej opisuje zależność między tymi zmiennymi.

3. Otrzymane równania regresji można stosować do szacowania wartości zapasu wody w glebie na podstawie pomiarów stanów wody. Mogą one być stosowane w przypadku funkcjonowania odwadniającego systemu melioracyjnego dla obiektu Ochoża.

4. Słabe dopasowanie obu modeli do danych dla przekrojów 27 oraz 32 spowodowane było zmiennymi warunkami zasilania gruntowego, wynikającymi z prowadzenia okresowych nawodnień.

PIŚMIENNICTWO

1. **Brandyk T.:** Stan retencji wodnej siedlisk hydrogenicznych i jego uwarunkowania. Wiad. Mel. i Łąk., 1, 18-21, 2002.
2. **Draper N.R., Smith H.:** Analiza regresji stosowana, PWN Warszawa, 1973.
3. **Grynia M.:** Zmiany w szacie roślinnej terenów zmeliorowanych w zależności od uwilgotnienia i właściwości glebowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 478, 35-40, 1967.
4. **Grzywna A.:** Analiza stosunków wodno-glebowych wybranego fragmentu doliny rzeki Tyśmienicy. Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Lublinie, 2003.
5. **Horawski M.:** Torfoznawstwo dla meliorantów. Akademia Rolnicza w Krakowie, s. 284, 1987.

6. **Kiryłuk A.:** Dynamika wód gruntowych na zmeliorowanym torfowisku, jej skutki gospodarcze i przyrodnicze. Przegląd Naukowy, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW, 16, 23-35, 1998.
7. **Neter J., Kutner M. H., Nachtsheim C. J., Wasserman W.:** Applied linear statistical models. Chicago: Richard D. Irwin, Inc. and Times Mirror Higher Education Group, Inc, 1996.
8. **Okruszko H., Piaścik H.:** Charakterystyka gleb hydrogenicznych. Wyd. ART Olsztyn, 1990
9. **Somorowski Cz.:** Wskaźniki retencji w bilansie wodnym zlewni rzecznych. Wiad. IMUZ, t.VII, z. 1, 53-73, 1967.
10. **Zawadzki S.:** Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnej utworów glebowych. Wiad. IMUZ, t. XI, z. 2, 11-31, 1973.

ANALYSIS OF DEPENDENCE OF WATER RESERVES IN SOIL ROOTING LAYER ON THE GROUNDWATER LEVEL

Agnieszka Kamińska¹, Antoni Grzywna², Mirosława Wesółowska-Janczarek¹

¹Department of Applied Mathematics, Agricultural University
ul. Akademicka 13, 20-033 Lublin
e-mail: agnieszka.kaminska@ar.lublin.pl

²Department of Melioration and Agriculture Building, Agricultural University
ul. Leszczyńskiego 7, 2 0-069 Lublin

Abstract. The aim of the paper is to examine statistical relations between hydrological elements on a grassland situated in a river valey. Measurements of groundwater level and water reserves in 0-30 cm soil layer were used for statistical analyses. They describe the water relations and are useful in determining retention changes. The research was conducted at the irrigation object of Ochoża in 1999-2002. The results received from 7 points situated in the middle of draining plot are used in the paper. Methods of linear regression are used to determine the relation between the variables. Regression dependence of water reserves on the groundwater level is considered for each of the measuring points. Next, additional explanatory variable – water reserves received in previous month - was considered. Regression equations in accordance with the presence or absence of the additional explanatory variable are compared.

Keywords: grassland, water reserves, groundwater level, water relations, linear regression