

OCENA ZMIENNOŚCI STANÓW WODY GRUNTOWEJ W ZLEWNI ŚRÓDPOLNEGO OCZKA WODNEGO W ROKU ŚREDNIM I MOKRYM

Katarzyna Pawłowska

Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych
Akademia Rolnicza w Poznaniu, Wydział Rolniczy
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań
e-mail: kasiapaw@au.poznan.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nad zmiennością stanów wody gruntowej w zlewni śródpolnego oczka wodnego, zlokalizowanego na Pojezierzu Gnieźnieńskim w roku średnim i mokrym. Analizę wyników dokonano na podstawie przebiegu warunków meteorologicznych w latach hydrologicznych 1994/95 i 2000/01. Badania wykazały, że stany wody gruntowej w roku mokrym wykazują znaczną zmienność spowodowaną głównie warunkami meteorologicznymi oraz ukształtowaniem terenu. Stwierdzono również znaczny wzrost amplitud stanów wody gruntowej w roku mokrym.

Słowa kluczowe: woda gruntowa, śródpolne oczko wodne, warunki meteorologiczne, analiza przestrzenna, regresja nieliniowa

Klasyfikacja AMS 2000: 62N99, 62F99, 62J99, 86A05

1. Wstęp

Planowanie jest to odpowiednio uporządkowany zbiór czynności i procesów myślowych, mających doprowadzić do osiągnięcia świadomie wybranych przyszytych stanów obiektów objętych planowaniem (Stańko, 1999).

Publikacja ta jest wstępem do metodyki planowania doświadczeń jak i wnioskowania z doświadczeń rolniczych z wykorzystaniem informacji dodatkowej o strukturze przestrzennej środowiska, głównie gleby.

Wiele doświadczeń planowanych i realizowanych jest w naturalnych warunkach przyrodniczych, tzn. w naturalnym środowisku. Oznacza to, że potencjalne obserwacje doświadczalne będą częściowo uwikłane z efektami cech charakteryzujących środowisko doświadczenia. W aktywności rolniczej podstawową rolę pełni gleba i ona też będzie głównym punktem zainteresowania.

Ogólnie wyróżnić możemy dwa podejścia do zagadnień planowania doświadczeń. Jedno podejście, tzw. randomizacyjne przyjmuje, że poprzez prawidłowe zaprojektowanie doświadczenia oraz poprawnie przeprowadzoną randomizację jednostek eliminujemy potencjalny bądź rzeczywisty wpływ niejednorodności środowiska (zob. Mejza i Mejza, 1989). Właściwości statystyczne uzyskanego modelu liniowego wynikają głównie z zastosowanego schematu randomizacyjnego. Wnioskowanie statystyczne na podstawie takiego modelu często jest inne niż oczekiwania eksperymentatora. Randomizacja „wyrównuje” niejednorodność materiału doświadczalnego jedynie w wypadku dokładnego rozpoznania struktury tego materiału, co obecnie nie należy do łatwych zagadnień ze względu na ciągłą, ostatnio coraz szybszą, zmienność warunków klimatycznych oraz niekontrolowaną zmienność żyzności gleby. Oczywiście ma to zasadniczy wpływ na zmienności cech biometrycznych roślin (uprawnych). Zmienność ta będzie spowodowana nie tylko właściwościami konkretnej odmiany, ale splotem korzystnych (lub nie) warunków środowiskowych.

Zagadnieniem wykorzystania wiedzy o strukturze środowiska już od wielu lat interesują się biometrycy (zob. np. Papadakis, 1937; Bartlett, 1978; Kempton, 1985; Williams, 1986). Proponowane w literaturze metody analizy przestrzennej mają jedną podstawową wadę. Zakładają strukturę (liniową, nielinową, okresową itp.) przestrzenną zmienności środowiska. Dla założonej struktury proponują konkretne układy doświadczalne optymalnie tę strukturę wykorzystującą. W niniejszej pracy zamierzamy tę strukturę rozpoznać, zamodelować (estymować) tak, aby we właściwy sposób ją wykorzystać w dalszych technikach statystycznych analizy przestrzennej. Trudność polega na identyfikacji podstawowych, łatwo mierzalnych cech, mających zasadniczy wpływ na późniejszą vegetację roślin. W pracy tej zajmujemy się podstawowym składnikiem modelującym zmienności cech biometrycznych roślin jakim jest poziom wody gruntowej (zawartość wody w glebie). Aby podjąć zagadnienie modelowania struktury wodnej gleby należy dokładnie poznać podstawowe składniki środowiska klimatyczno-glebowego, decydujące o poziomie zalegania wody gruntowej.

W drugim podejściu, uwzględniamy strukturę przestrzenną zarówno na etapie planowania, jak i w analizie wyników doświadczenia. Jakość wnioskowania w tym podejściu zależy głównie od rozpoznanej struktury przestrzennej materiału doświadczalnego (struktury klimatyczno-glebowego środowiska). W pracy zajmujemy się jedynie dwoma składnikami opisującymi środowisko, takimi jak temperaturą oraz poziomem zwierciadła wody gruntowej. Zmienność temperatury nie poddano głębszej analizie statystycznej. Zamieszczenie jej w pracy służy głównie do wstępnego opisu jej zmienności w okresie wegetacyjnym. Bardziej szczegółowe badania dotyczyły natomiast poziomu zwierciadła wody gruntowej. Poziom ten ma zasadniczy wpływ na rozwój rośliny. Potencjalne rozpoznanie poziomu zwierciadła wody gruntowej umożliwi poprawny wybór poletek doświadczalnych na obserwowanym polu doświadczalnym. Strukturę tę oceniać można na wiele sposobów (zob. np. Cressie, 1993; Journel i Huijbregts, 1978; Matern, 1986). W pracy, ze względu na cykliczność okresu wegetacyjnego roślin, wykorzystano funkcję trygonometryczną (sinusoidalną). Okazało się (tab.4.), że wybór był trafny. Problematyka struktury wodnej gleby obejmuje również takie zagadnienia jak: uwilgotnienie wierzchnich warstw gleby, rzeźbę terenu oraz stany wody gruntowej.

Uwilgotnienie wierzchnich warstw gleby, które jest jednym z podstawowych czynników decydujących o wielkości uzyskiwanych plonów uzależnione jest głównie od przebiegu warunków meteorologicznych oraz położenia profilu glebowego w rzeźbie terenu. W młodoglacjalnych terenach bogato urzeźbionych istotnym ogniwem obiegu wody są spływy powierzchniowe i podpowierzchniowe, które w znaczący sposób wpływają na dynamikę uwilgotnienia gleb tych terenów (Szafranski, 1993).

Charakterystyczną cechą krajobrazu terenów bogato rzeźbionych jest występowanie licznych śródpolnych oczek wodnych. Śródpolne oczka wodne, jako cenny element krajobrazu rolniczego w zasięgu ostatniego zlodowacenia, były i są przedmiotem zainteresowania hydrologów. W ostatnich kilkunastu latach, ze względu na nie tylko potęgujące się z roku na rok zagrożenie, ale postępującą degradację środowiska, zwraca się coraz większą uwagę na problem wpływu intensyfikacji rolnictwa i w tym melioracji wodnych na gospodarkę wodną w małych zlewniach (Kosturkiewicz, 1989).

Kształtowanie się stanów wody gruntowej na analizowanym obszarze jest jednym z podstawowych składników charakteryzujących gospodarkę wodną gleb. Dotychczasowe wyniki badań wskazują na znaczną zmienność stanów wody gruntowej na terenach bogato urzeźbionych, na których występują oczka

wodne (Fiedler i Szafrąński, 1999; Szafrąński, 1993). Dowiodły one, że głębokość lustra wody gruntowej wykazuje znaczne zróżnicowanie na początku okresu wegetacyjnego jak również w letnim półroczu hydrologicznym, natomiast najmniejsze różnice występują pod koniec okresu wegetacyjnego. Rozpoznanie warunków hydrologicznych panujących w zlewniach oczek ma duże znaczenie w modelowaniu gospodarki wodnej tych terenów (Kosturkiewicz i in., 1997).

Na gospodarkę wodną gleb terenów bogato rzeźbionych, których charakterystyczną cechą krajobrazu jest występowanie śródpolnych oczek wodnych, ma wpływ wiele czynników, do których zalicza się: klimat, ukształtowanie terenu, szatę roślinną oraz sieć drenarską. Uwilgotnienie gleb na tym obszarze jest uzależnione nie tylko od przebiegu warunków meteorologicznych, lecz również od położenia profilu glebowego w rzeźbie terenu. To właśnie rzeźba terenu decyduje o głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej (Szafrąński, 1988).

2. Cel pracy

Celem pracy było zbadanie wpływu warunków meteorologicznych i ukształtowania terenu na zmienność zwierciadła wody gruntowej. Podstawą pracy były obserwacje stanów wody gruntowej w wybranej mikrozwlewni rolniczej, prowadzone przez Katedrę Melioracji i Kształtowania Środowiska AR w Poznaniu w roku średnim i mokrym.

W pracy były też wykorzystane obserwacje warunków meteorologicznych prowadzone na terenie Doświadczalnej Stacji Badawczej Mokronosy oraz w stacji meteorologicznej Poznań – Sołacz. Badania i obserwacje prowadzono w zlewni śródpolnego oczka wodnego numer 6, w latach hydrologicznych 1994/95 i 2000/01.

Dokładne rozpoznanie zachowywania się stanów wody gruntowej umożliwia zarówno zaplanowanie doświadczenia rolniczego, jak i właściwe uwzględnienie tego zachowania w końcowym wnioskowaniu statystycznym.

3. Metodyka badań

Na badanym obszarze wykonywano pomiary stanów wody gruntowej w czterech studzienkach oznaczonych numerami: 6.4, 43, 44, 45. W analizowa-

nym przekroju zlewni oczka wodnego numer 6 najniżej w rzeźbie terenu położona jest studzienka 6.4, która zlokalizowana jest w pobliżu skarpy oczka wodnego. Studzienki 43 i 44 znajdują się na zboczu wklęsłym, natomiast studzienka 45 położona jest na wierzchołku stoku. Najbliżej skarpy oczka wodnego zlokalizowana jest studzienka 6.4. Pozostałe studzienki, wyżej położone w terenie są oddalone od skarpy oczka wodnego w następujących odległościach: studzienka 43 oddalona jest o 25m, studzienka 44 o 59m, a studzienka 45 o 110m.

Obserwacje prowadzone były w odstępach pięciodniowych, a w okresie roztopów wiosennych codziennie. Studzienki wykonano z rur PCV o średnicy 5cm z nacięciami umożliwiającymi swobodny dopływ wody gruntowej.

4. Charakterystyka badanego obiektu

Położenie. Zlewnia badanego śródpolnego oczka wodnego znajduje się na terenie Doświadczalnej Stacji Badawczej Katedry Melioracji Kształtowania Środowiska i Geodezji w Mokronosach, na terenie gminy Damasławek, w powiecie wągrowieckim, w województwie wielkopolskim (szerokość 52°53'N, długość 17°28'E). Według fizyczno-geograficznej regionalizacji Polski Kondrackiego (1978) teren ten leży w regionie 315.54 Pojezierza Gnieźnieńskiego. Pod względem hydrograficznym obiekt leży w zlewni Kanału Łekińskiego, mającego ujście do Nielby, a z nią do Wełny. Obiekt położony jest na granicy między dwoma regionami klimatycznymi: pomorsko-warmińskim i wielkopolsko-mazowieckim, według regionalizacji Wiszniewskiego i Chełchowskiego (Atlas hydrologiczny Polski, 1987).

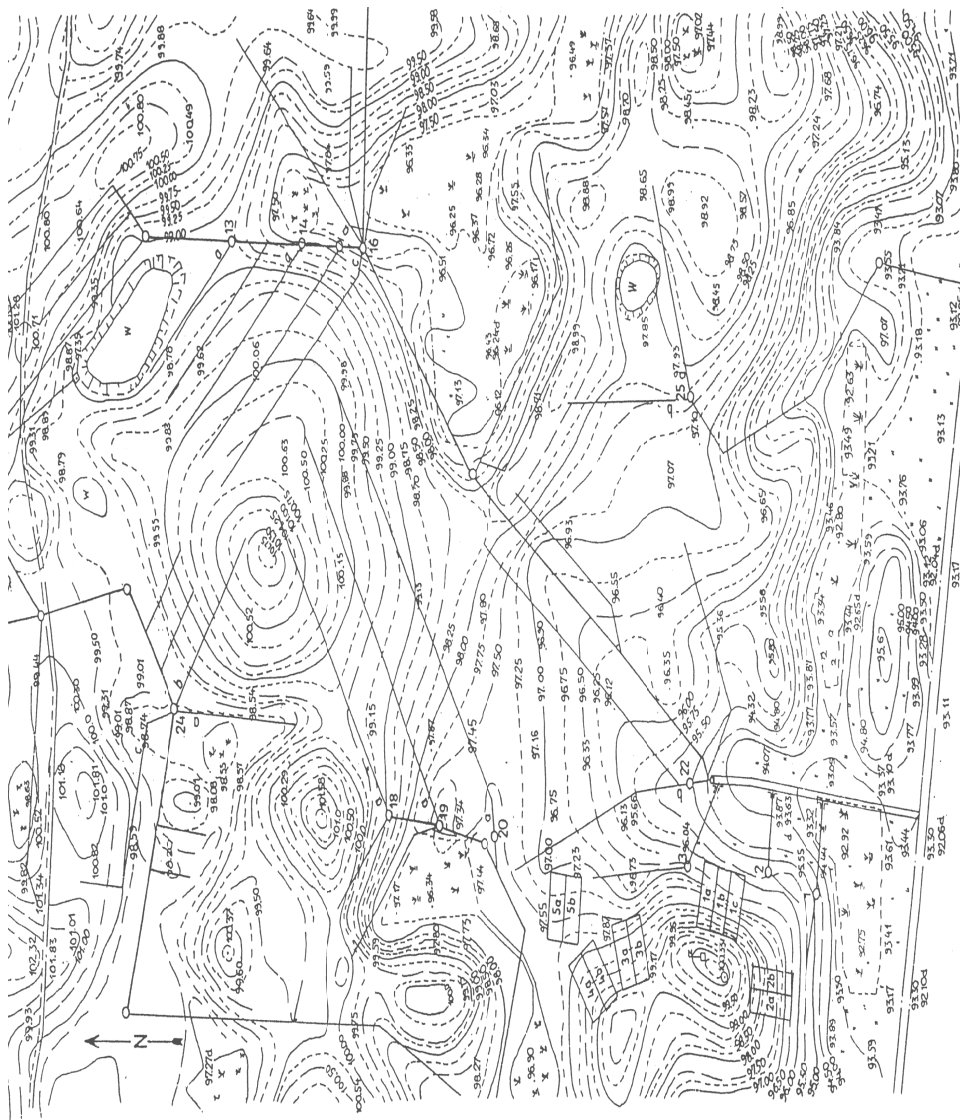
Ukształtowanie terenu. Obszar, na którym znajduje się badana zlewnia ukształtowany został podczas zlodowacenia bałtyckiego i stanowi fragment falistej moreny dennej. Teren ten charakteryzuje się bardzo urozmaiconą rzeźbą, typową dla rzeźby młodoglacjalnej. Dla takiej rzeźby specyficzne jest występowanie licznych bezodpływowych zagłębień, oczek wodnych oraz znacznych wzniesień o przewadze długich zboczy południowych i północnych. Rzędne terenu zawierają się pomiędzy 95 a 107 m n.p.m, a względne wysokości wzniesień dochodzą do 7m (Rys.1). Część wierzchołkowa zboczy często bywa spłaszczona, a maksymalne spadki na zboczach dochodzą do 12%. Najmniejsze spadki występują w dolnej części i u podnóży stoków. Na terenie Stacji znajduje się łącznie 36 oczek o całkowitej powierzchni 3,5ha.

Pokrywa glebowa. Pokrywa glebowa badanego obszaru wykazuje dość duże zróżnicowanie związane z urozmaiconą rzeźbą terenu. Geomorfologicznie obszar ten stanowi fragment falistej moreny dennej zlodowacenia bałtyckiego, stadiału poznańskiego (Galon, 1972). Morena ta zbudowana jest z glin zwałowych, spiaszczonych w wierzchnich partiach. Klasyfikacja gleb została wykonana w oparciu o Systematykę gleb Polski (1989). W pokrywie glebowej badanego obiektu wyodrębniono dwa zespoły glebowe: gleby płowe typowe, powierzchniowo erodowane oraz czarne ziemie zbrunatniałe (Fiedler, 1997). Gleby płowe typowe są glebami dominującymi i stanowią aż 83% powierzchni, natomiast czarne ziemie zbrunatniałe zaledwie 17%. Profil 6.4 znajduje się w obrębie czarnych ziem zbrunatniałych. Pozostałe trzy profile, 43,44,45 zlokalizowane są w zasięgu gleb płowych.

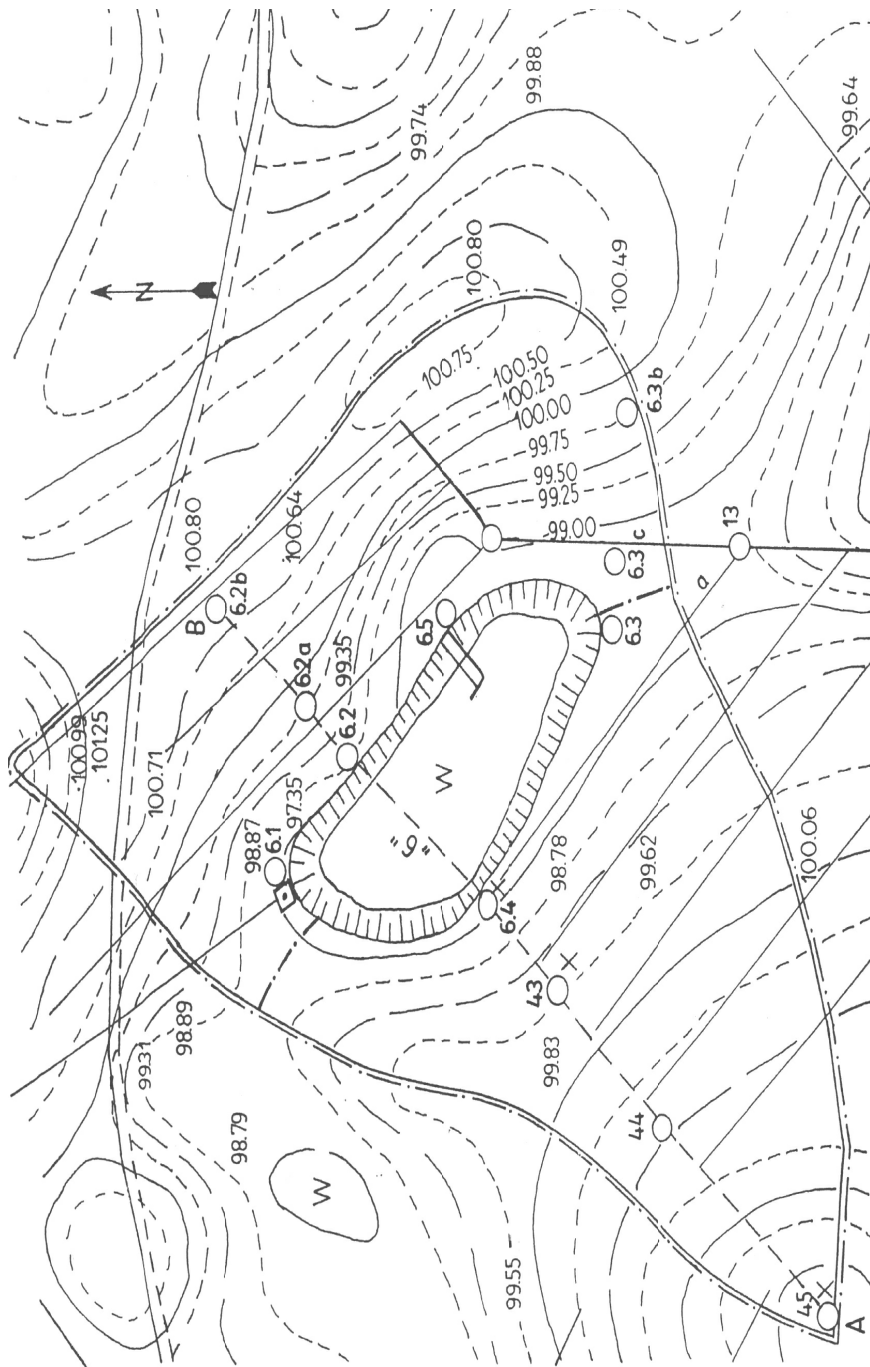
Zlewnia. Zlewnia badanego śródpolnego oczka wodnego znajduje się na terenie Doświadczalnej Stacji Badawczej w Mokronosach. Całkowita powierzchnia zlewni oczka 6 wynosi 2,06ha, w tym 12% powierzchni przypada na oczko wodne. Maksymalny spadek zlewni oczka wynosi 84,2‰, natomiast średnie spadki wynoszą 28,2‰ (Fiedler, 2001). W zlewni oczka dominują gleby płowe typowe, powierzchniowo erodowane, oraz czarne ziemie zbrunatniałe, które zajmują około 16% badanej powierzchni zlewni. Całość zlewni oczka stanowią grunty orne i znajdują się one w obrębie jednego pola płodozmianowego (Rys. 2).

5. Wpływ warunków meteorologicznych na przebieg stanów wody gruntowej

W okresie ostatnich lat na obiekcie doświadczalnym Mokronosy wystąpiły lata, które można zaliczyć, z uwagi na wysokość opadów i temperatury powietrza, do mokrych, średnich i suchych. Analizę przebiegu warunków meteorologicznych w latach hydrologicznych 1994/1995 i 2000/2001 wykonano na podstawie średnich miesięcznych, półrocznych i rocznych sum opadów oraz temperatur powietrza na tle średnich z wielolecia, według Stacji Badawczej Poznań-Sołacz (tabela 1, 2).



Rys. 1. Mapa sytuacyjno-wysokościowa obiektu doświadczalnego Mokronosy (Fiedler, 1997)



Rys. 2. Mapa sytuacyjno-wysokościowa zlewni oczka 6 (Fiedler, 1997)

Tabela 1. Sumy miesięcznych, półrocznych i rocznych opadów w mm oraz średnie miesięczne, półroczne i roczne temperatury w °C w roku hydrologicznym 1994/1995 na tle średnich temperatur z wielolecia

Miesiąc	Średni miesięczny opad w roku 1994/1995 [mm]	Średnia temperatura w roku 1994/1995 [°C]	Średni opad z wielolecia 1960/61-2004/05 [mm]	Średnia temperatura z wielolecia 1960/61-2004/05 [°C]	Odchylenie od średniej z wielolecia [mm]	Odchylenie od średniej z wielolecia [°C]
XI	30	4,1	39	3,4	-9	0,7
XII	49	1,5	32	-0,6	17	2,1
I	12	-1,1	26	-2,1	-14	1,0
II	26	3,1	22	-1,8	4	4,9
III	42	2,6	26	2,3	16	0,3
IV	24	7,8	29	9,0	-5	-1,2
V	39	12,2	46	12,8	-7	-0,6
VI	89	15,8	55	16,9	34	-1,1
VII	25	20,7	64	18,0	-39	2,7
VIII	56	19,3	50	17,3	6	2,0
IX	97	13,1	39	13,9	58	-0,8
X	3	10,9	35	8,7	-32	2,2
XI - IV	183	3,0	174	1,7	9	1,3
V - X	309	15,3	289	14,6	20	0,7
XI - X	492	9,2	463	8,1	29	1,1

Tabela 2. Sumy miesięcznych, półrocznych i rocznych opadów w mm oraz średnie miesięczne, półroczne i roczne temperatury w °C w roku hydrologicznym 2000/2001 na tle średnich temperatur z wielolecia

Miesiąc	Średni miesięczny opad w roku 2000/2001 [mm]	Średnia temperatura w roku 2000/2001 [°C]	Średni opad z wielolecia 1960/61-2004/05 [mm]	Średnia temperatura z wielolecia 1960/61-2004/05 [°C]	Odchylenie od średniej z wielolecia [mm]	Odchylenie od średniej z wielolecia [°C]
XI	58	6,7	39	3,4	19	3,3
XII	54	2,5	32	-0,6	22	3,1
I	19	0,3	26	-2,1	-7	2,4
II	17	0,7	22	-1,8	-5	2,5
III	57	2,8	26	2,3	31	0,5
IV	33	8,4	29	9,0	4	-0,6
V	8	15,0	46	12,8	-38	2,2
VI	53	15,5	55	16,9	-2	-1,4
VII	96	20,2	64	18,0	32	2,2
VIII	36	20,0	50	17,3	-14	2,7
IX	115	12,2	39	13,9	76	-1,7
X	23	12,0	35	8,7	-12	3,3
XI - IV	238	3,5	174	1,7	64	1,8
V - X	331	15,8	289	14,6	42	1,2
XI - X	569	9,6	463	8,1	106	1,5

Przebieg stanów wody gruntowej. Stany wody gruntowej są bardzo ważnym wskaźnikiem retencji wody w zlewni. Jednym z ważniejszych czynników wpływających na ich wielkość są warunki meteorologiczne, przede wszystkim opad i temperatura oraz położenie w rzeźbie terenu.

Najgłębsze zaleganie lustra wody gruntowej w obydwu latach hydrologicznych występowało w studzienice 45 zlokalizowanej na wierzchołku wzniesienia (tab.3). Głównym czynnikiem wpływającym na wahania lustra wody w tej studzienice jest przebieg warunków meteorologicznych. Z kolei studzienka 6.4, położona najniżej w rzeźbie terenu, poza wodami pochodzącymi z opadów atmosferycznych, zasilana jest dodatkowo wodami gruntowymi oraz wodami pochodzącymi ze spływów powierzchniowych i podpowierzchniowych oraz, w okresach o wysokim stanie wody w oczku, wodami przesiąkającymi przez skarpy oczka. Dlatego w studzienice 6.4 zwierciadło wody utrzymuje się zawsze na mniejszej głębokości i nie ulega tak dużym, jak w studzienkach położonych wyżej w terenie, wahaniom.

Tabela 3. Średnie miesięczne stany wody gruntowej w cm w poszczególnych studzienkach w roku hydrologicznym 1994/1995 i 200/2001

Miesiąc	Średnie stany wody gruntowej w studzienkach w roku średnim i mokrym [cm]							
	6.4		43		44		45	
	1994/1995	2000/2001	1994/1995	2000/2001	1994/1995	2000/2001	1994/1995	2000/2001
XI	200	200	231	217	254	268	370	329
XII	198	200	234	217	262	268	380	329
I	184	200	225	204	260	255	385	289
II	159	138	203	166	274	211	380	219
III	148	110	185	137	266	170	356	184
IV	134	93	168	111	248	123	323	148
V	158	126	189	127	234	132	300	187
VI	179	156	206	160	236	170	321	208
VII	190	178	220	187	244	204	343	221
VIII	205	189	230	195	254	224	354	247
IX	198	208	230	210	262	219	371	273
X	188	170	224	198	269	220	363	267

W obydwu analizowanych latach stany wody gruntowej przebiegały w układzie podobnym. Półrocza zimowe charakteryzowały się wzrostem stanów wody gruntowej, natomiast półrocza letnie ciągłym opadaniem lustra wody gruntowej. W ostatnim miesiącu, zarówno w roku hydrologicznym 1994/1995

jak i 2000/2001 nastąpił niewielki wzrost stanów wody gruntowej, na co wpłynęły bardzo wysokie opady atmosferyczne w sierpniu i wrześniu. Wzrost średniej temperatury powietrza oraz wystąpienie opadów o znacznej wydajności w pierwszej połowie marca i kwietnia spowodował szybki przyrost stanów wody gruntowej w obydwu latach.

Wykonano kilka analiz regresji w poszukiwaniu najlepszego równania funkcji reakcji średnich miesięcznych stanów wody gruntowej względem miesięcy. Rozpatrywano głównie funkcje wielomianowe i trygonometryczne. Najlepsze przybliżenie uzyskano przy zastosowaniu tak zwanej funkcji sinusoidalnej ze względu na okresowość występowania wód gruntowych (Rys.3 i 4). Dla równania regresji wielomianowej współczynnik determinacji był znacznie mniejszy. Główna rozbieżność zachodziła na końcach rozstępu zmiennej niezależnej. Zmiana regresji wielomianowej na wykładniczą także nie poprawiła jakości dopasowania funkcji reakcji. W naukach technicznych, biologii, rolnictwie i ekonomii, w zagadnieniach cyklicznych, często korzysta się z funkcji należących do tzw. rodziny funkcji wzrostu (Growth Family) lub rodziny funkcji sigmoidalnych (Sigmoidal Family) (zob. np. Chandra, 2003; Cleveland, 1993; Mc Neil, 1977; Nelson, 1982). Do tych rodzin należą następujące funkcje:

- rodzina funkcji wzrostu:

wykładnicza (2): $E(y) = \alpha (1 - \exp(-\beta x))$,

wykładnicza (3): $E(y) = \alpha (\beta - \exp(-\gamma x))$,

wysycenia: $E(y) = \alpha x / (\beta + x)$,

- rodzina funkcji sigmoidalnych:

Gompertza: $E(y) = \alpha \exp(-\exp(\beta - \gamma))$,

logistyczna: $E(y) = \alpha / (1 + \exp(\beta - \gamma x))$,

Richardsa: $E(y) = \alpha / (1 + \exp(\beta - \gamma x))^{(1/\delta)}$,

Weibulla: $E(y) = \alpha - \beta \exp(-\gamma x^\delta)$.

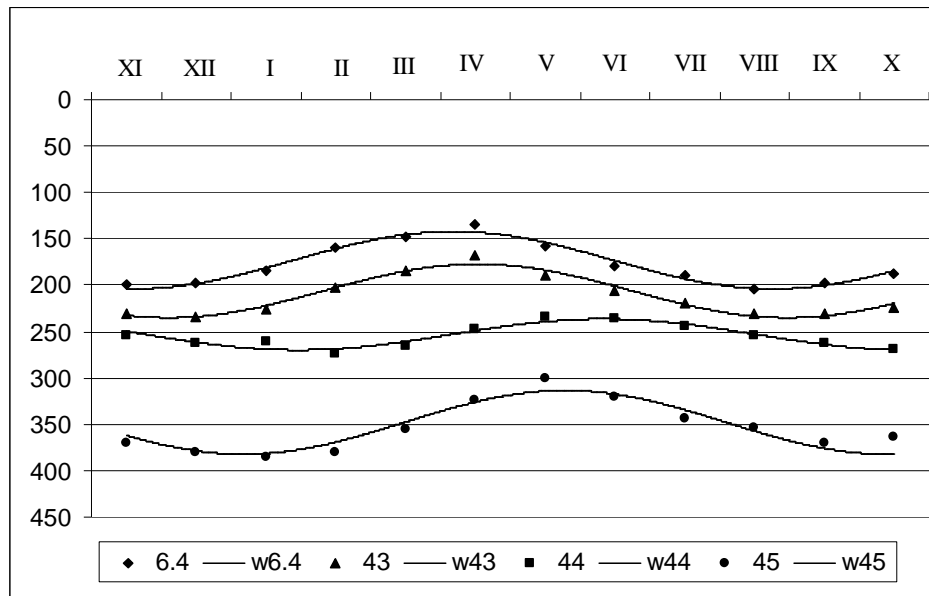
Najlepsze dopasowanie uzyskano dla funkcji sinusoidalnej postaci $E(y) = \alpha + \beta \cos(\gamma x + \delta)$.

W powyższych wzorach greckie litery oznaczają parametry a łacińskie ich estymatory (oceny). Wszystkie te funkcje należą do rodziny funkcji regresji nieliniowej. Metody estymacji są trudne ponieważ sprowadzają się do rozwiązania równań nieliniowych. Pomocne w uzyskaniu estymatorów mogą być pakiety statystyczne. Oceny równań rozważanych funkcji i współczynniki determinacji zamieszczono w tabeli 4. Przy obliczeniach wykorzystano program CurveExpert 1.3 (www.curveexpert.webhop.biz).

Tabela 4. Oceny równań i współczynniki determinacji dla poszczególnych studzienek w roku 1994/95 i 2000/01

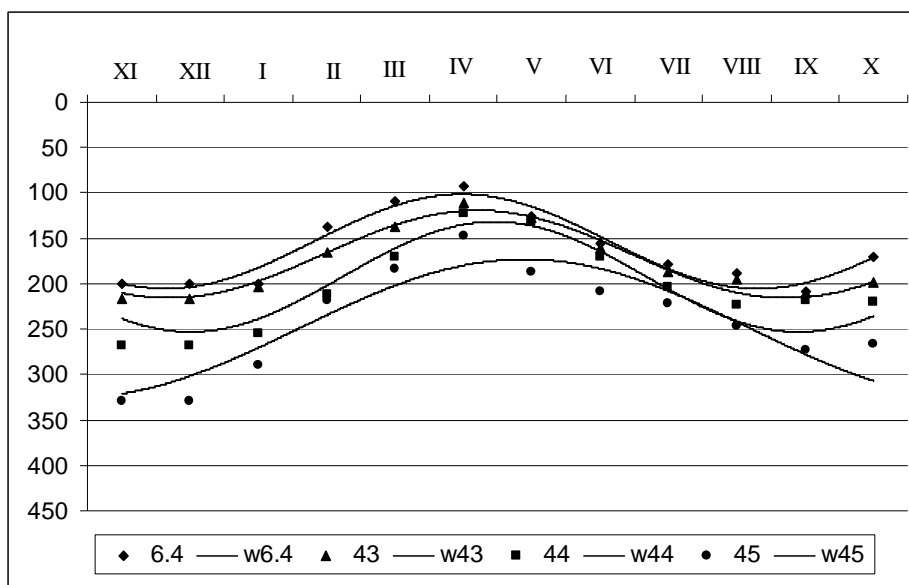
Model Równania regresji $y = a + b \cos(cx + d)$	Oceny odpowiednich współczynników równań dla poszczególnych studzienek w roku średnim i mokrym											
	6.4			43			44			45		
	1994/95	2000/01	1994/95	2000/01	1994/95	2000/01	1994/95	2000/01	1994/95	2000/01	1994/95	2000/01
a	173,0362	153,40579	206,19912	167,4869	253,16172	192,34366	347,85576	249,20076				
b	30,947569	51,945682	28,880351	48,272569	16,762551	60,655531	34,329628	76,184936				
c	0,6863055	0,7252705	0,7091194	0,6961021	0,7176486	0,7061996	0,6817866	0,4760244				
d	-0,759583	-1,190642	-1,138191	-1,178235	-2,485506	-1,414243	-1,826819	-0,139179				
R²	0,968754	0,940038	0,963222	0,9670814	0,890393	0,8676961	0,879819	0,8530314				

Z powyższej tabeli wynika, że model regresji sinusoidalnej bardzo dobrze opisuje reakcję średnich miesięcznych stanów wody gruntowej w poszczególnych studzienkach (w zależności od odległości od źródła wody). Zauważmy, że dla dwóch studzienek, najbliższych oczka wodnego, współczynnik determinacji wynosi około 96%. Na rys. 3 i 4 podajemy wykresy ocen funkcji reakcji jak i dane.



Rys. 3. Średnie miesięczne stany wody gruntowej w cm w poszczególnych studzienkach na tle oceny funkcji regresji w roku hydrologicznym 1994/1995

Charakterystyczne stany wody gruntowej. Duże znaczenie w analizie zmienności stanów wód gruntowych mają terminy występowania charakterystycznych stanów wody w zależności od umiejscowienia studzienki w rzeźbie terenu. W półroczach letnich maksymalne stany wody, niezależnie od położenia studzienki, występują zawsze na początku półrocza, najczęściej jest to początek maja. Następnie stany wody opadają przez całe półrocze osiągając minimalne stany w jego końcu. Jedynie opady o znacznej wydajności mogą spowodować przyrosty stanów, jak to miało miejsce we wrześniu 1995 i 2001 roku. W półroczach zimowych termin wystąpienia stanów maksymalnych związany jest z okresami roztopów wiosennych i z wiosennymi opadami o znacznej intensywności.



Rys. 4. Średnie miesięczne stany wody gruntowej w cm w poszczególnych studzienkach na tle oceny funkcji regresji w roku hydrologicznym 2000/2001

Tabela 5. Charakterystyczne stany wody gruntowej w roku hydrologicznym 1994/1995 i 2000/2001

Numer studzienki	Rok hydrologiczny 1994/1995	Stan maksymalny [cm]		Stan minimalny [cm]		Amplituda wahań [cm]	
		1994/1995	2000/2001	1994/1995	2000/2001	1994/1995	2000/2001
6.4	XI-X	130	90	209	208	79	118
43	XI-X	165	108	239	222	74	114
44	XI-X	231	117	275	275	44	158
45	XI-X	296	145	388	334	92	189

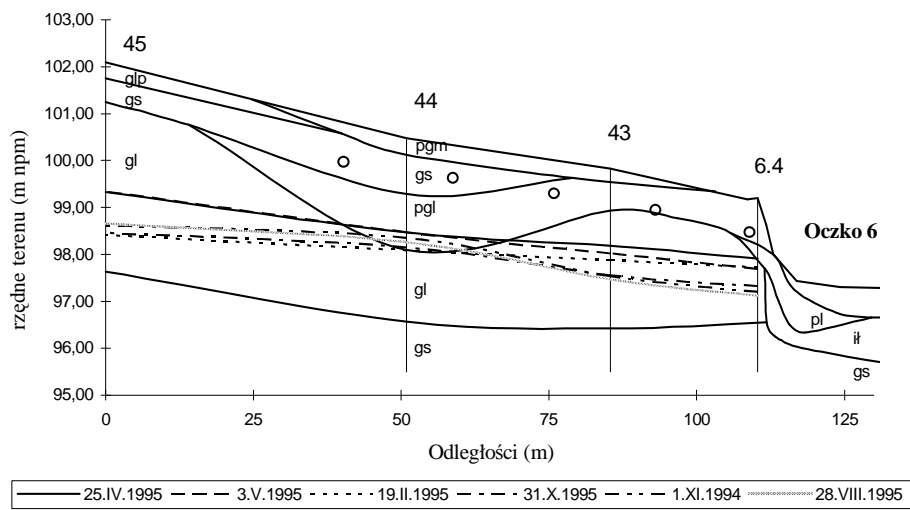
Również amplitudy stanów wody gruntowej wykazują znaczną zmienność w badanych latach hydrologicznych. Wraz ze wzrostem sumy opadów znacznie zwiększyła się amplituda stanów wody we wszystkich studzienkach. Najmniejszą amplitudą wahań charakteryzowały się stany wody w studzience 6.4, która położona jest najniżej w terenie, a największą – w najwyższej położonej studzience 45. W średnim roku hydrologicznym 1994/1995 amplitudy stanów wody

gruntowej wahały się od 79cm w studzienice 6.4 do 92 cm w studzienice 45. Również w mokrym roku hydrologicznym 2000/2001 roczna amplituda wahań stanów wody w studzienice 45 była prawie dwukrotnie wyższa niż w studzienice 6.4 i wahała się od 118 cm w studzienice 6.4 do 189 cm w studzienice 45.

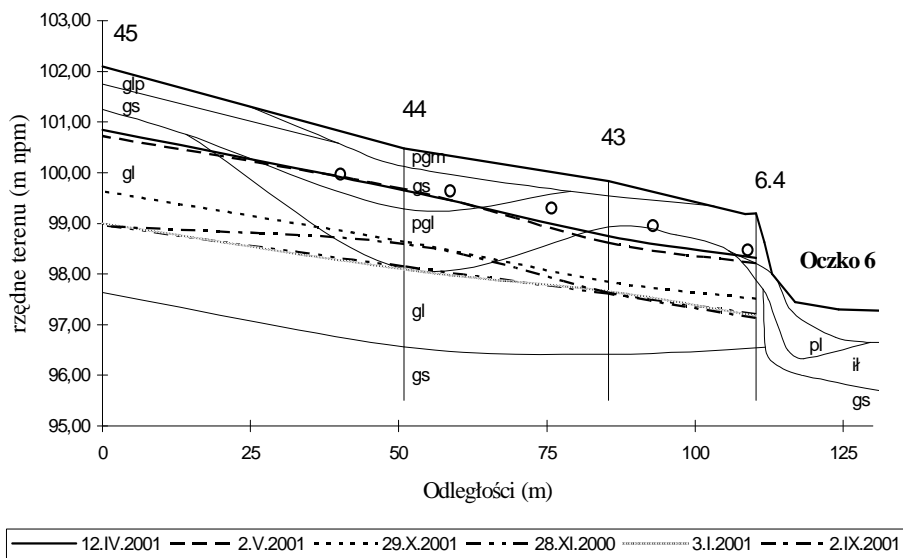
Porównując amplitudy stanów wody gruntowej w roku średnim i mokrym, stwierdzamy, iż w roku hydrologicznym 2000/2001 amplitudy te były wyższe niż w roku hydrologicznym 1994/1995. W roku mokrym amplituda wahań w studzienice 6.4 wynosiła 118 cm i była wyższa o 39 cm niż amplituda wahań w tej samej studzienice w roku średnim (tab. 5). W studzienice 43 amplituda wahań była o 40 cm większa w roku mokrym niż amplituda wahań w tej studzienice w roku średnim. Równocześnie w studzienice 44 i 45 w roku mokrym amplitudy stanów wody gruntowej były wyższe niż w roku średnim odpowiednio o 114 cm i 97 cm.

Tabela 6. Zestawienie stanów wody gruntowej na początku półrocza zimowego, półrocza letniego oraz stanów maksymalnych i minimalnych w półroczach hydrologicznych 1994/1995 oraz 2000/2001

Data	Zwierciadło wody gruntowej w poszczególnych studzienkach zlewni oczka 6							
	6.4		43		44		45	
2000/2001	m npm	cm	m npm	cm	m npm	cm	m npm	cm
1.XI.1994	97,20	201	97,53	230	98,35	249	98,63	367
28.XI.2000	97,21	200	97,61	222	98,15	269	98,96	334
19.II.1995 stan min.	97,72	149	97,88	195	98,09	275	98,42	388
3.I.2001 stan min.	97,18	203	97,66	217	98,09	275	98,99	331
25.IV.1995 stan max.	97,91	130	98,18	165	98,47	237	99,33	297
12.IV.2001 stan max.	98,31	90	98,75	108	99,65	119	100,85	145
3.V.1995	97,69	152	98,02	181	98,47	237	99,34	296
2.V.2001	98,21	100	98,61	122	99,67	117	100,72	158
28.VIII.1995 stan min.	97,12	209	97,47	236	98,26	258	98,66	364
2.IX.2001 stan min.	97,13	208	97,73	210	98,59	225	98,95	335
3.V.1995 stan max.	97,69	152	98,02	181	98,47	237	99,34	296
2.V.2001 stan max.	98,21	100	98,61	122	99,67	117	100,72	158
31.X.1995	97,32	189	97,56	227	98,15	269	98,46	384
29.X.2001	97,51	170	97,85	198	98,64	220	99,63	267



Rys. 5. Stany wody gruntowej w przekroju zlewni oczka 6 w roku hydrologicznym 1994/1995 (pl – piasek luźny, pgl – piasek gliniasty lekki, pgm – piasek gliniasty mocny, gl – glina lekka, glp – glina lekka pylasta, gs – glina średnia, o – sączki drenarskie)



Rys. 6. Stany wody gruntowej w przekroju zlewni oczka 6 w roku hydrologicznym 2000/2001 (pl – piasek luźny, pgl – piasek gliniasty lekki, pgm – piasek gliniasty mocny, gl – glina lekka, glp – glina lekka pylasta, gs – glina średnia, o – sączki drenarskie)

6. Stwierdzenia i wnioski

1. Analizowany rok hydrologiczny 1994/1995 był rokiem średnim, natomiast rok hydrologiczny 2000/2001 rokiem mokrym, na tle średnich z wielolecia.

2. Stany wody gruntowej zarówno w roku średnim 1994/1995 jak i roku mokrym 2000/2001 osiągały maksimum w okresach wiosennych. Natomiast półrocza letnie charakteryzowały się ciągłym opadaniem lustra wody.

3. Najpłytsze zaleganie lustra wody gruntowej w obydwu latach zaobserwowano w kwietniu. Największą głębokość zwierciadła wody gruntowej odnotowano w roku hydrologicznym 2000/2001 na początku września. Natomiast w roku hydrologicznym 1994/1995 największą głębokość zwierciadła wody gruntowej zanotowano nieco wcześniej, bo już pod koniec sierpnia. Na taki przebieg zmian stanów wody wpływ miał głównie przebieg warunków meteorologicznych w badanych latach.

4. W studziencie 45 położonej na wierzchołku wzniesienia poziom wody gruntowej był najgłębszy, natomiast w studziencie 6.4 znajdującej się bezpośrednio przy oczku, najpłytszy.

5. Poziom wody gruntowej w studziencie 45 położonej na wierzchołku wzniesienia wykazywał znacznie większe wahania niż w studziencie 6.4 zlokalizowanej u podnóża zbocza. W obydwu latach roczna amplituda wahań stanów wody gruntowej w studziencie 45 była prawie dwukrotnie większa niż w studziencie 6.4. Potwierdza to wpływ śródpolnego oczka wodnego, które zmniejsza wahania stanów wód gruntowych w terenie bezpośrednio przyległym.

6. Amplitudy zmian stanów wody gruntowej w roku mokrym 2000/2001 były wyższe niż amplitudy stanów wody gruntowej w roku średnim 1994/1995.

7. Przeprowadzone badania wykazały, że głównymi czynnikami wpływającymi na wahania stanów wody gruntowej są przebieg warunków meteorologicznych oraz położenie studzienek w rzeźbie terenu.

8. Uzyskano bardzo dobre przybliżenia funkcjami geometrycznymi. Z rysunków 3 i 4 zauważamy, że przebieg zmian stanów wody gruntowej jest prawie równoległy, zwłaszcza w roku mokrym. Oznacza to, że kolejnym zagadnieniem, które wymaga opracowania jest zbadanie hipotezy o równoległości krzywych regresji. Być może uda się ustalić pewną prawidłowość, która wskazywałaby, iż krzywe różnią się tylko o pewną stałą (np. stan wody gruntowej w studziencie położonej najbliżej oczka wodnego), która stanowi punkt wyjścia kolejnych równań.

Literatura cytowana

- Atlas hydrologiczny Polski* .(1987). Red. J. Stachy, Tom I WG, W-wa.
- Bartlett M.S. (1978). Nearest neighbour models in the analysis of field experiments (with discussion). *J.R.Statist. Soc. B* 40, 147-174.
- Chandra P. (2003). Sigmoidal Function Classes for Feedforward Artificial Neural Networks. *Neural Processing Letters*, 205-215.
- Cleveland W. (1993). *Visualizing Data*. Hobart Press.
- Cressie N.A.C. (1993). *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York.
- Fiedler M. (1997). *Bilanse wodne zlewni śródpolnych oczek wodnych na terenie zdrenowanym*. Rozprawa doktorska. Kat. Melior. i Kszt. Środ. AR Poznań.
- Fiedler M., Szafrąński Cz. (1999). Variation of ground – water levels in the catchment of the midfield pond located at Gniezno lakeland. *Rocz. AR Poznań, Mel. Inż. Środ.* 20, cz.I, 403-412.
- Fiedler M. (2001). Zmienność amplitud stanów wody gruntowej w zlewni śródpolnego oczka wodnego. *Zesz. Nauk. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach*, t. 1 z. 2 (2), 179-191.
- Galon R. (1972). *Ogólne cechy rzeźby Nizin Polski. Geomorfologia Polski*. T 2, PWN, W-wa.
- Journel A.G., Huijbregts Ch. J. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press, London.
- Kempton R.A. (1985). *Statistical models for interplot competition*. *Asp. Appl. Biol.* 10, 111-119.
- Kondracki J. (1978). *Geografia fizyczna Polski*. PWN, W-wa.
- Kosturkiewicz A. (1989). Ochrona zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 375, 73-87.
- Kosturkiewicz A., Szafrąński Cz., Miler A., Fiedler M. (1997). Modelowanie stanów wody gruntowej na terenach bogato urzeźbionych jako podstawa oceny celowości melioracji. *Rocz. AR Pozn. 292, Melior. Inż. Środ.* 18, 53-63.
- Matern B. (1986). *Spatial Variation*. 2nd edition, Springer, Berlin.
- Mejza I., Mejza S. (1989). A note on model building in block designs. *Biuletyn Oceny Odmian*, 187-201.
- McNeil D. (1977). *Interactive Data Analysis*. John Wiley and Sons.
- Nelson W. (1982). *Applied Life Data Analysis*. Addison-Wesley.
- Papadakis J.S. (1937). Methode statistique pour les experiences en champ. *Bull. Inst. Amel. Plantes a Salonique* 23.
- Stańko S. (1999). *Prognozowanie w rolnictwie*. Wydawnictwo SGGW W-wa, 10-11.
- Szafrąński Cz. (1988). Stany wody gruntowej na tle ukształtowania meliorowanego terenu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 359,27-42.
- Szafrąński Cz. (1993). Gospodarka wodna gleb terenów bogato rzeźbionych i potrzeby ich melioracji. *Rocznik AR*, zeszyt 244.
- Trzciński W. (1989). *Systematyka Gleb Polski*. Wydanie czwarte, Roczniki Gleboznawcze PTG, tom XL, nr 3/4, PWN, W-wa.
- Williams E.R. (1986). A neighbour model for field experiments. *Biometrika* 73, 279-287.

ESTIMATION OF THE GROUND – WATER LEVELS VARIATION IN THE CATCHMENT OF MIDFIELD POND IN AVERAGE AND WET HYDROLOGICAL YEAR

Summary

The paper presents the results of investigations into groundwater level variation, carried out in the catchment area of a midfield pond located in Gniezno Lakeland, in average and wet hydrological years. The investigations are based on the weather conditions represented by the hydrological years 1994/95 and 2000/01. The groundwater levels in the wet hydrological year show significant variation, affected mainly by meteorological conditions and the topography of the area. There was also a significant increase in the amplitudes of groundwater level variation in the wet hydrological year.

Key words and phrases: ground-water, midfield pond, meteorological conditions, spatial analysis, nonlinear regression

Classification AMS 2000: 62N99, 62F99, 62J99, 86A05