

ROCZNIKI  
AKADEMII ROLNICZEJ  
W POZNANIU  
CCXCI



MELIORACJE  
I INŻYNIERIA  
ŚRODOWISKA

POZNAŃ 1997

17

ANTONI MILER, CZESŁAW PRZYBYŁA

## **DYNAMIKA ZMIAN STANÓW WÓD GRUNTOWYCH PIERWSZEGO POZIOMU WODONOŚNEGO**

*Z Katedry Melioracji i Kształtowania Środowiska  
Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu*

**ABSTRACT.** This paper discusses research into the variability of ground water levels with geomorphological parameters from fields. The presented calculations were carried out for two investigated in 1977-1982 years small river catchments located in the Wielkopolska region. It was found that maximum variability of ground water levels occurred in that wells where dynamics of water movement is controlled by one process: evapotranspiration (shallow wells) and ground water outflow (very deep wells). The study results show that space relations of ground water levels in most events (excluding wells located in line of water run-off) are near the limit of statistical significance or are insignificant.

**Key words :** hydrology, river catchments, ground water, geomorphological parameters

### **Wstęp**

Stanem retencji zlewni określa się pewien chwilowy zapas wody w zlewni, zmagazynowany przejściowo lub trwale na powierzchni (retencja powierzchniowa) i w gruncie (reten-

cja gruntowa). Pomiar retencji powierzchniowej będącej miarą ilości wód zmagazynowanych w zbiornikach naturalnych i sztucznych, w ciekach oraz w pokrywie śnieżnej jest stosunkowo łatwy do wykonania. Określenie retencji podziemnej wymaga oszacowania miąższości strefy aeracji i jej uwilgotnienia oraz miąższości czynnej warstwy strefy saturacji. Pomimo iż teoretycznie określenie retencji gruntowej zostało prosto sformułowane, to praktyczne wykonanie tego zadania jest niesłychanie trudne nawet dla małych zlewni. Wynika to m.in. z dużej obszarowej zmienności fizyko-wodnych właściwości gleb (np. **Marcinek i in.** 1990).

Stany wód gruntowych pierwszego poziomu wodonośnego odpowiadają głównie za ilość wody gromadzonej w strefie saturacji. Stąd ich związek z retencją całkowitą jest dość dobry w przypadkach płytkiego zalegania zwierciadła wód gruntowych (**Kosturkiewicz** 1967, **Somorowski** 1967). Z uwagi na trudności w oznaczaniu retencji strefy aeracji całą retencję gruntową szacuje się zazwyczaj na podstawie stanów wód gruntowych.

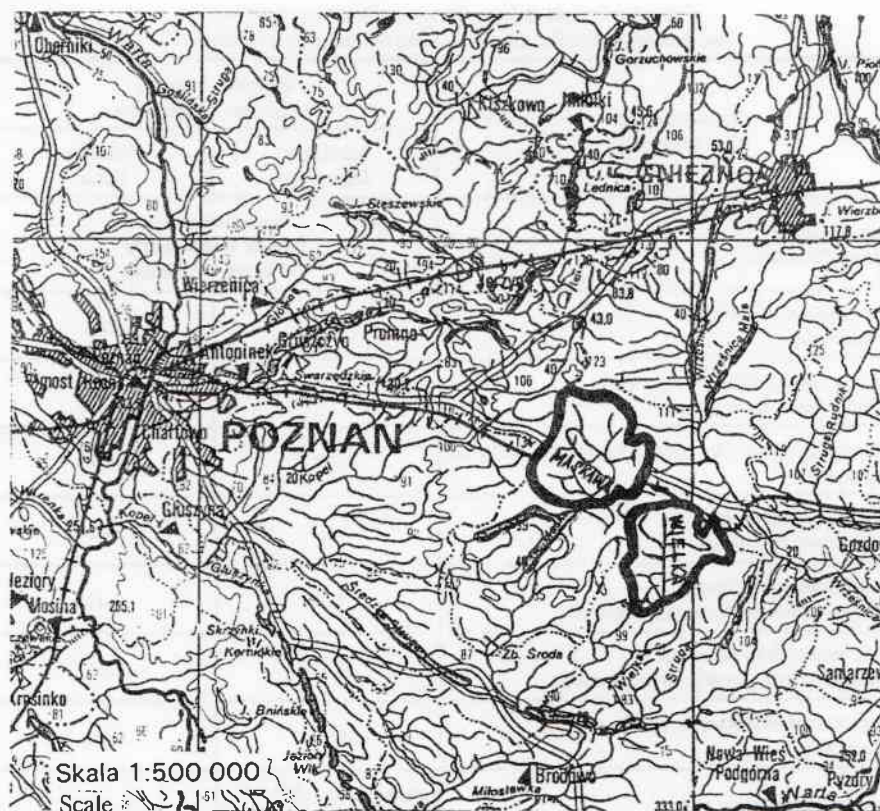
Zmienność stanów płytkich wód gruntowych wykazuje wyraźną cykliczność roczną modyfikowaną dla poszczególnych lat przez odchylenia od normy warunków pogodowych (opadów i temperatur powietrza). Dynamika zmian stanów wód gruntowych zależy również od nieklimatycznych parametrów fizyczno-geograficznych. W Wielkopolsce najważniejszymi z nich są: gleby (skład granulometryczny) i roślinność (zalesienie, zabagnienie) (**Miler** 1994).

Prawidłowe wyznaczanie stanów retencyjnych zlewni i ich zmian nabiera szczególnego znaczenia w Wielkopolsce, gdzie niedobory wodne nie tylko zaznaczają się najwyraźniej, lecz także ulegają stałemu pogłębianiu (**Woś** 1989). Ponieważ ocenę stanu retencji i dynamikę jej zmian szacuje się, jak wyżej wspomniano, na podstawie stanów wód gruntowych, zasadne wydaje się podjęcie tematu niniejszej pracy.

## Materiały i metody

Szczegółowe badania hydrologiczne prowadzono w dwóch małych zlewniach: Maskawy i Wielkiej (ryc.1) w latach 1977-1982, do 1980 roku w ramach problemu węzłowego (**Kosturkiewicz, Miler, Piechocki, Przybyła** 1977-1980). Badania terenowe obejmowały m.in. cotygodniowe pomiary stanów wód gruntowych w 51 studzienkach oraz codzienne pomiary opadów atmosferycznych na dwóch własnych posterunkach opadowych. Charakterystyki fizjograficzne badanych zlewni zostały syntetycznie ujęte w tabeli 1, natomiast na rycinach 2 i 3 przedstawiono mapy glebowo-rolnicze zlewni. Generalnie, jak wynika z powyższych zestawień, można obie zlewnie traktować jako dość typowe dla Wielkopolski.

W okresie badań przeważały lata mokre (1977, 1980, 1981), dwa lata były średnie (1978, 1979) oraz występował jeden rok suchy (1982) (ryc. 4 i 5).



Ryc. 1. Położenie badanych zlewni w Wielkopolsce  
 Fig. 1. Investigated catchments' location in the Wielkopolska Region

Do obliczeń przyjęto tygodniowe przyrosty stanów wód gruntowych w studzienkach pomiarowych oraz odpowiadające im sumy tygodniowe opadów atmosferycznych. Dla zwiększenia liczności ciągów pomiarowych wyniki z obu zlewni potraktowano w analizach łącznie. Nie dokonano także osobnych analiz dla poszczególnych lat, z tego samego powodu.

W pierwszym etapie obliczeń podzielono zbiór 51 studzienek pomiarowych na 4 grupy: w zlewni Maskawy I grupa 23 studzienki, II grupa 10 studzienek, a w zlewni Wielkiej grupy III i IV po 9 studzienek (ryc. 6 i 7). Podział ten wynika z naturalnych skupisk obszarowych studzienek. Następnie obliczono w ramach każdej z grup współczynniki korelacji pomiędzy ciągami przyrostów stanów wód gruntowych w studzienkach pomiarowych dla

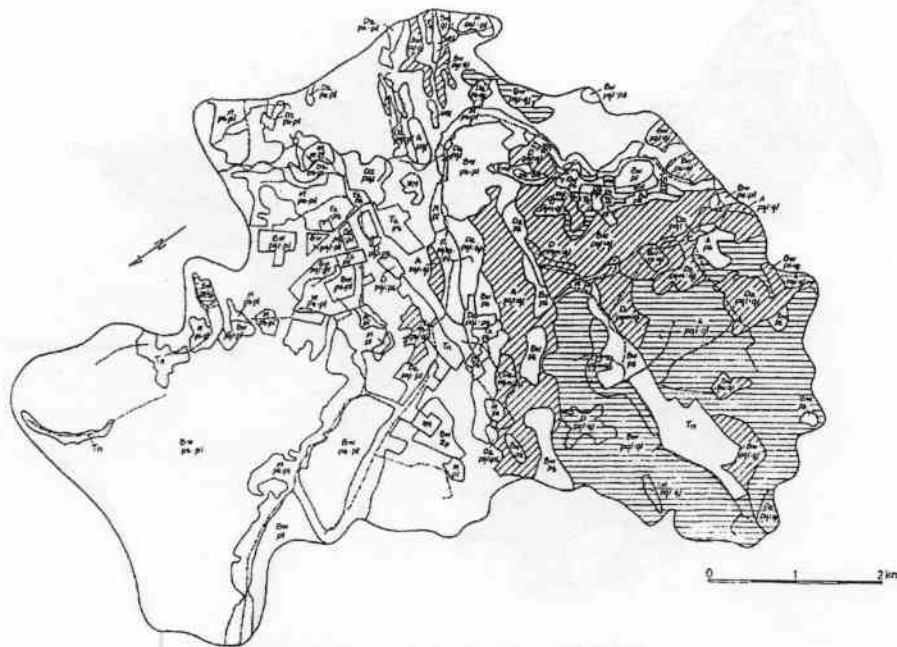
Tabela 1

**Charakterystyki fizjograficzne analizowanych zlewni**  
**The geomorphological characteristics of analysed catchments**

Charakterystyki Characteristics	Zlewnia / Przekrój Catchment / Gauge station	
	Maskawa Dzierżnica	Wielka Bardo
Położenie zlewni Catchment's location	woj. poznańskie Region Wielkopolski Równina Wrzesińska	
Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> ) Catchment area	37,2	27,8
Średnia wysokość zlewni n.p.m. (m) Average altitude of catchment	113,4	105,3
Średni spadek zlewni (wg metody Kajetanowicza) (%) Average slope	3,7	5,7
Średnia miąższość zlewni (m) Average capacity of catchment	15,3	9,6
Wskaźnik zwartości zlewni (-) Coefficient of compactness of catchment	1,29	1,11
Gęstość sieci cieków (km / km <sup>2</sup> ) Coefficient of hydrographic network density	1,31	1,51
Powierzchnia wód stojących (km <sup>2</sup> ) Reservoir area	0,16	0,03
Dominujące uziarnienie gleb Dominated grain-size distribution of soils	piaski luźne i słabo gli- niaste 52%, piaski gli- niaste 36%	piaski gliniaste 73%
Procent lesistości (%) Afforestation	28,4	4,0
Grunty orne (%) Arable land	60,0	88,7
Łąki i bagna (%) Meadows and swamps	9,9	5,3

wszystkich możliwych par studzienek (w sumie 370 współczynników korelacji). Na podstawie map topograficznych w skali 1:25000 wyznaczono także odległości pomiędzy powyższymi parami studzienek.

W drugim etapie obliczeń dokonano trzech podziałów studzienek pomiarowych w zależności od: średniego zalegania lustra wody gruntowej, użytkowania gruntu i usytuowania studzienki w linii spływu wody do ciek.



## Oznaczenia na mapach glebowych - Notations in soil maps

Typ lub podtyp gleby - Soil type or subtype: **A** - gleby bielcowe i pseudobielcowe, podzolic soil and pseudo-podzolic soil, **B** - gleby brunatne właściwe, brown soil, **Bw** - gleby brunatne wyługowane i brunatne kwaśne, leached brown soil and acid brown soil, **D** - czarne ziemie właściwe, black earth, **Dz** - czarne ziemie zdegradowane, degraded black earth, **Emt** - gleby mułowo-torfowe, mud-peat soil, **Tn** - gleby torfowe i murszowo-torfowe (wytworzone z torfu niskiego), peat soil and peat mucky soil (developed from low-bog peat), **M** - gleby murszowo-mineralne i murszowate, mucky-mineral soil and mucky soil, **F** - mady, alluvial soil.

Skład granulometryczny - Mechanical composition of soil: **pl** - piasek luźny, loose sand, **ps** - piasek słabo gliniasty, weakly loamy sand, **pgl** - piasek gliniasty lekki, light loamy sand, **plz** - utwór pyłowy zwykły, clay silt, **pgm** - piasek gliniasty mocny, heavy loamy sand, **gl** - glina lekka, light loam, **gś** - glina średnia, medium loam.

Głębokość zalegania pierwszej warstwy - Depth of first layer position

· - płytko (do 50 cm), shallow (to 50 cm)

: - średnio głęboko (od 50 do 100 cm), middle deep (from 50 to 100 cm)

∴ - głęboko (poniżej 100 cm), deep (below 100 cm)

Głębokość zalegania gliny - Category of agricultural suitability of soils

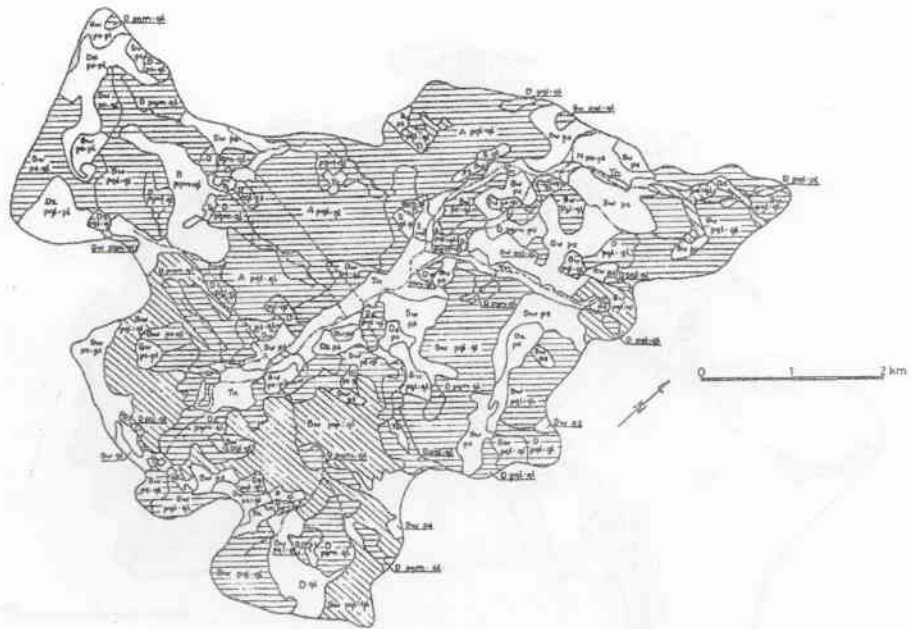


- płytko (do 50 cm) - shallow (to 50 cm)



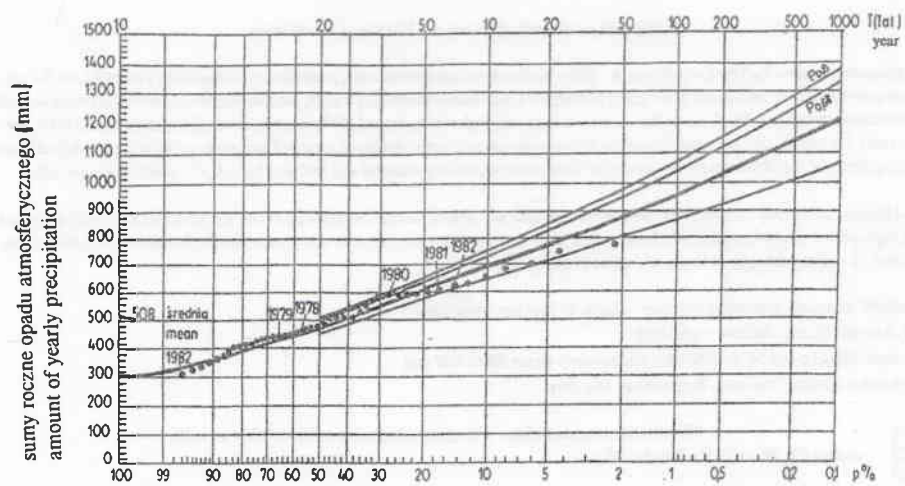
- średnio głęboko (od 50 do 100 cm) - middle deep (from 50 to 100 cm)

Ryc. 2. Mapa glebowo-rolnicza zlewni Maskawy  
Fig. 2. Map of soil suitability for agricultural use of the Maskawa river catchment



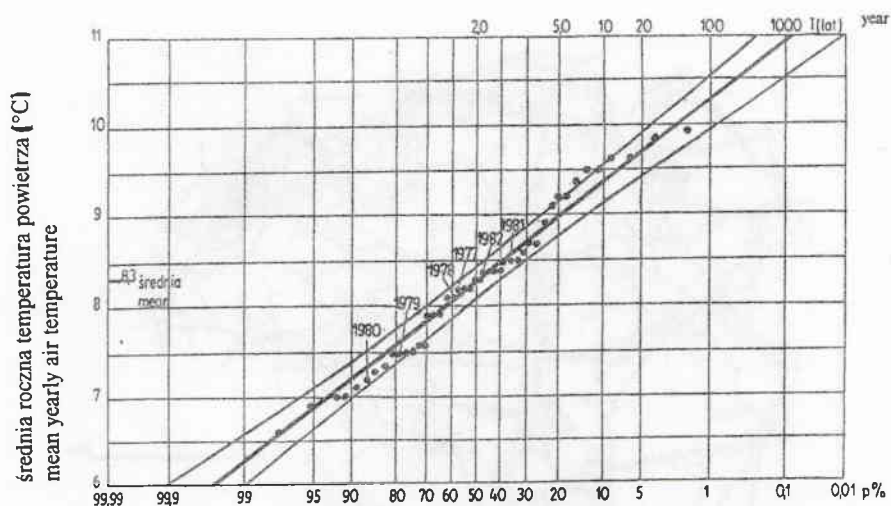
Ryc. 3. Mapa glebowo-rolnicza zlewni Wielkiej

Fig. 3. Map of soil suitability for agricultural use of the Wielka river catchment



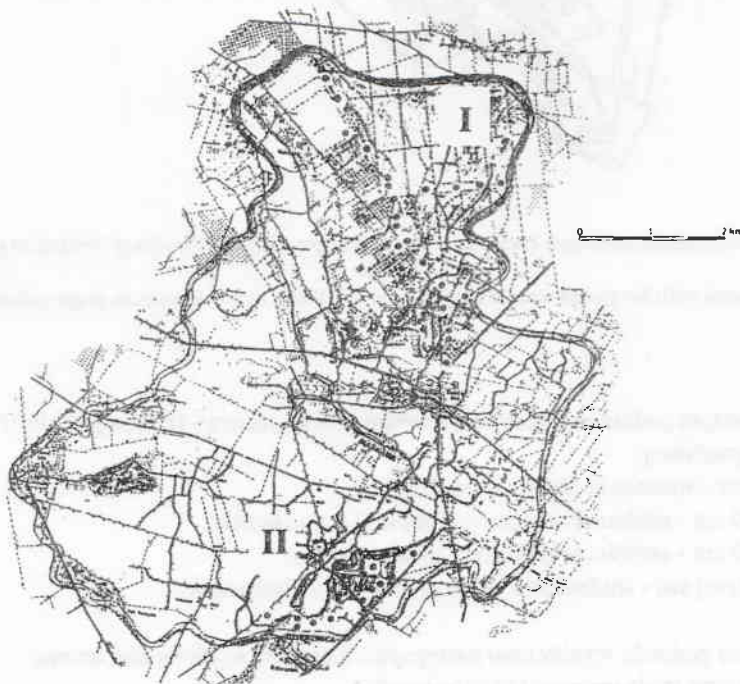
Ryc. 4 Rozkład prawdopodobieństwa sum rocznych opadów atmosferycznych dla stacji Poznań-Lawica w latach 1951-1995

Fig. 4. Distribution of amount of yearly precipitation in gauge station Poznań-Lawica in years 1951-1995



Ryc. 5. Rozkład prawdopodobieństwa średnich rocznych temperatur powietrza dla stacji Poznań-Ławica w latach 1951-1995

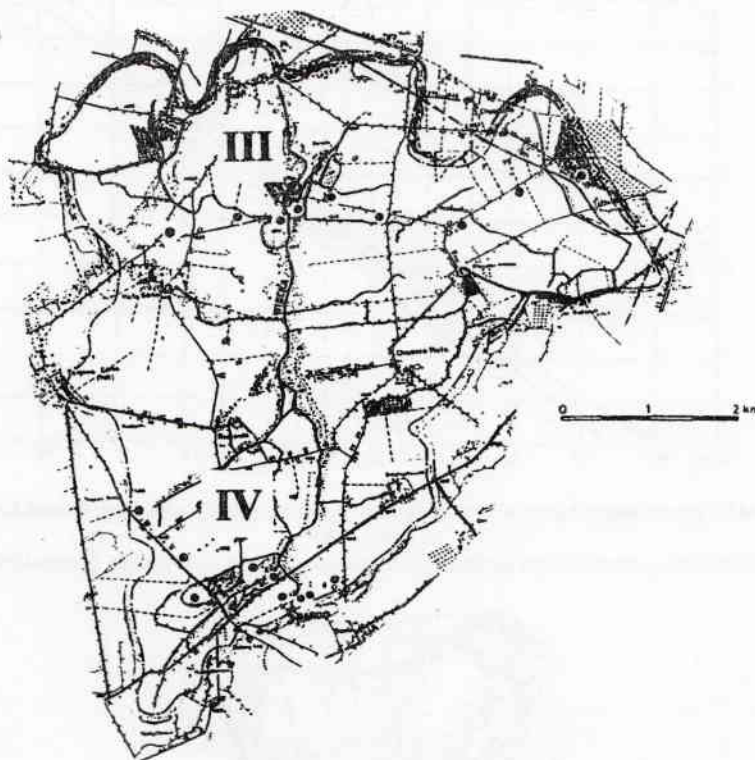
Fig. 5. Distribution of mean yearly air temperature in gauge station Poznań-Ławica in years 1951-1995



Ryc. 6. Rozmieszczenie studzienek kontrolnych stanów wód gruntowych (\*) w zlewni Maskawy do przekroju Dzierżnica

Fig. 6. Control wells for ground water's location (\*) in the Maskawa river catchment to gauge station Dzierżnica





Ryc. 7. Rozmieszczenie studzienek kontrolnych stanów wód gruntowych (\*) w zlewni Wielkiej do przekroju Bardo

Fig. 7. Control wells for ground water's location (\*) in the Wielka river catchment to gauge station Bardo

W pierwszym podziale zastosowano następujące kryterium - średnia głębokość zalegania wody gruntowej:

- 0÷100 cm - studzienki płytkie (4 studzienki),
- 101÷100 cm - studzienki średnio głębokie (18 studzienek),
- 201÷100 cm - studzienki głębokie (18 studzienek),
- 301÷ więcej cm - studzienki bardzo głębokie (11 studzienek).

W drugim podziale wyróżniono następujące kategorie użytkowania terenu:

- grunty orne (pola uprawne) (22 studzienki),
- użytki zielone (łąki, pastwiska) (5 studzienek),
- tereny zalesione (lasy, zadrzewienia, parki, sady) (24 studzienki).

Trzeci podział studzienek pomiarowych wiązał się z usytuowaniem studzienek w linii spływu wody do ciekłu (transekcje spływowym). Możliwe było wybranie 6 transektów spływowym: 2 w zlewni Maskawy i 4 w zlewni Wielkiej. Liczba studzienek w transektach wahała się od 3 do 5.

W ostatnim, trzecim etapie obliczeń policzone zostały współczynniki korelacji pomiędzy ciągami tygodniowych przyrostów stanów wód gruntowych w studzienkach pomiarowych a ciągami sum tygodniowych opadów atmosferycznych, przy 0-, 1-, 2- i 3-tygodniowych opóźnieniach tych pierwszych ciągów (w sumie 204 współczynniki korelacji).

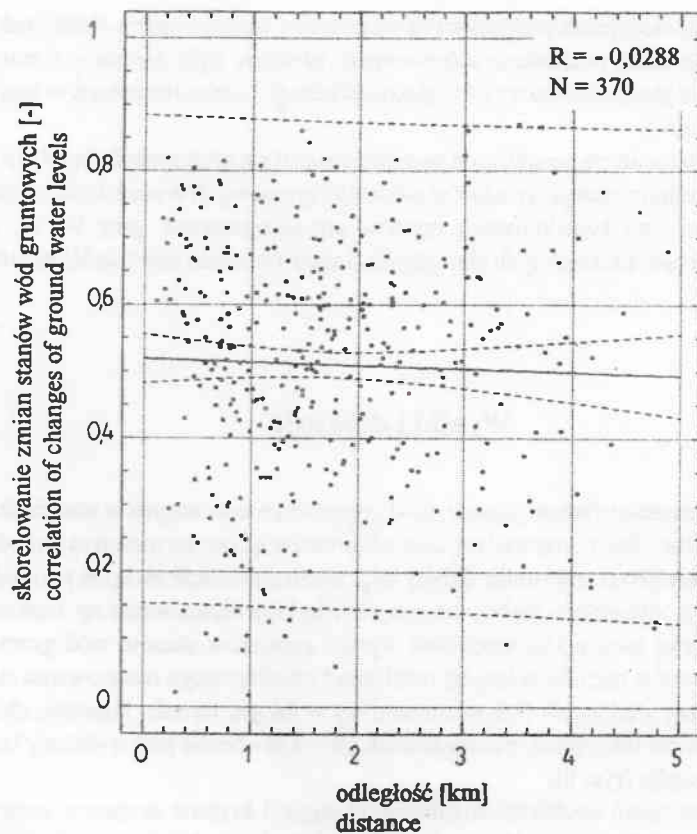
## Wyniki i dyskusja

Skorelowania stanów (zmian stanów) wód gruntowych mierzonych w studzienkach pomiarowych powinny być z oczywistych powodów tym większe, im mniejsza jest odległość pomiędzy studzienkami i odwrotnie. Gdyby więc udało się znaleźć związek pomiędzy ww. skorelowaniem a odległością studzienek, możliwe byłoby oszacowanie np. maksymalnej odległości, na jaką można ekstrapolować wyniki pomiarów stanów wód gruntowych. Dalszą konsekwencją tego faktu byłaby możliwość obiektywnego oszacowania minimalnego zagęszczenia studzienek (lub piezometrów) w danym terenie. Niestety, obliczenia przeprowadzone dla wszystkich par studzienek ( $N = 370$  - liczba par) wykazały brak spodziewanego związku (ryc. 8).

Postanowiono zatem studzienki rozdzielić, stosując 3 kryteria opisane w poprzednim rozdziale. Po podziale studzienek w zależności od średniej głębokości zalegania wody gruntowej na grupy: płytkie, średnio głębokie, głębokie i bardzo głębokie, a następnie obliczeniu średnich odchyłań standardowych ( $\sigma$ ) i średnich amplitud ( $\Delta$ ) zmian stanów wód gruntowych dla każdej z wydzielonych grup, uzyskano interesującą zależność (ryc. 9). Największe wartości  $\sigma$  i  $\Delta$  otrzymano dla studzienek płytkich i bardzo głębokich, a więc w przypadkach, gdy o dynamice zmian stanów wody gruntowej decyduje wyraźnie jeden proces - odpowiednio ewapotranspiracja i odpływ gruntowy.

W drugim podziale kryterium stanowiło użytkowanie terenu. Wydzielono studzienki na gruntach ornym, użytkach zielonych i terenach zalesionych. Obliczone średnie odchylenia standardowe ( $\sigma$ ) oraz średnie amplitudy ( $\Delta$ ) zmian stanów wód gruntowych, średnio dla obu badanych zlewni, wynoszą :

- grunty orne             $\sigma = 10,2$  cm     $\Delta = 88,0$  cm,
- użytki zielone         $\sigma = 12,8$  cm     $\Delta = 96,8$  cm,
- tereny zalesione       $\sigma = 6,6$  cm      $\Delta = 55,8$  cm.

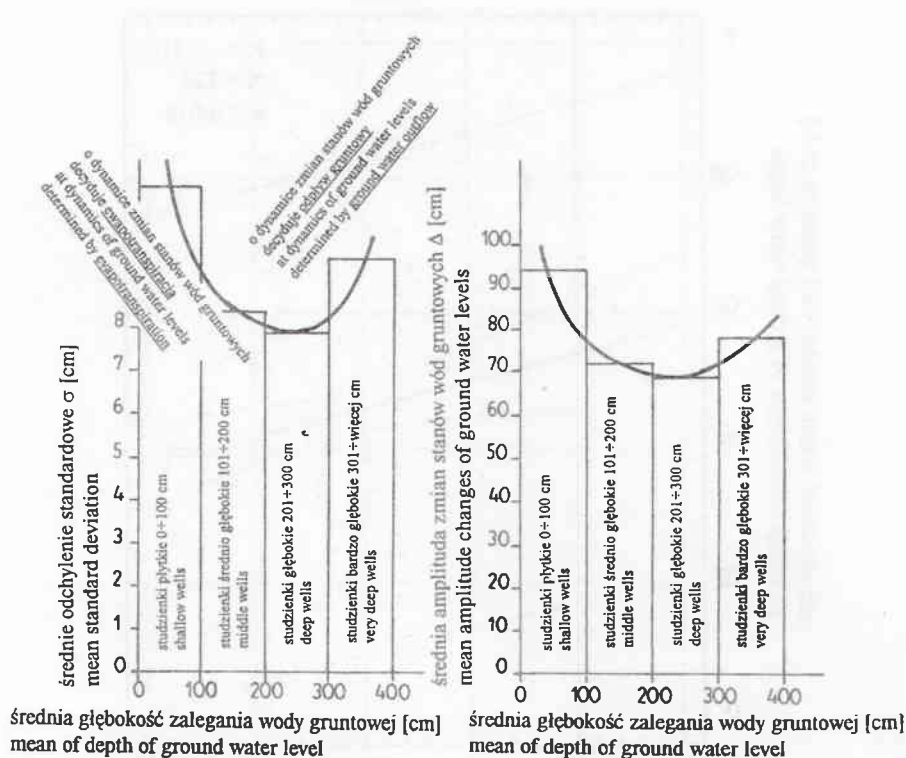


Ryc. 8. Skorelowania zmian stanów wód gruntowych mierzonych w studzienkach pomiarowych w funkcji odległości pomiędzy studzienkami

Fig. 8. Correlation of measured in control wells changes of ground water levels as a function of distances between wells

Powyższe zestawienie potwierdza znany powszechnie charakter oddziaływania lasu jako swoistego zbiornika retencyjnego wyrównującego odpływ ze zlewni (np. **Kosturkiewicz** 1967).

Obliczenia przeprowadzone dla par studzienek położonych na terenach zalesionych ( $N = 128$ ) wykazały, iż istnieje istotne statystycznie ( $\alpha = 0,016$  - poziom istotności) skorelowanie ( $R = -0,2125$  - współczynnik korelacji) pomiędzy zmianami stanów wód gruntowych mierzonych w studzienkach pomiarowych a odległością tychże studzienek (ryc. 10).

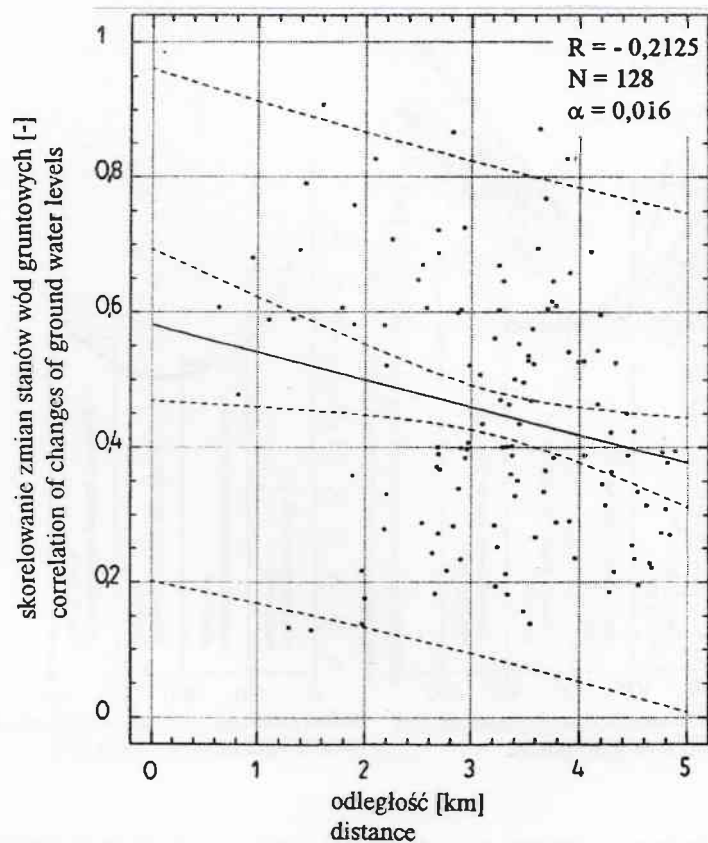


Ryc. 9. Zależność średniego odchylenia standardowego ( $\sigma$ ) i średniej amplitudy ( $\Delta$ ) zmian stanów wód gruntowych od średniej głębokości zalegania tychże wód

Fig. 9. Relation of mean standard deviation ( $\sigma$ ) and mean amplitude ( $\Delta$ ) changes of ground water levels to mean of ground water levels

W zasadzie jeszcze silniejszy ( $R = -0,4206$ ,  $N = 31$ ,  $\alpha = 0,018$ ) powyższy związek uzyskano dla studzienek położonych w wybranych 6 transektach spływowych (ryc. 11). Takiego wyniku należało się oczywiście spodziewać, gdyż ruch poziomy wody w zlewni, głównie poprzez strefę saturacji, w naturalny sposób łączy dynamikę zmian stanów wód gruntowych na długości całego transektu spływowego.

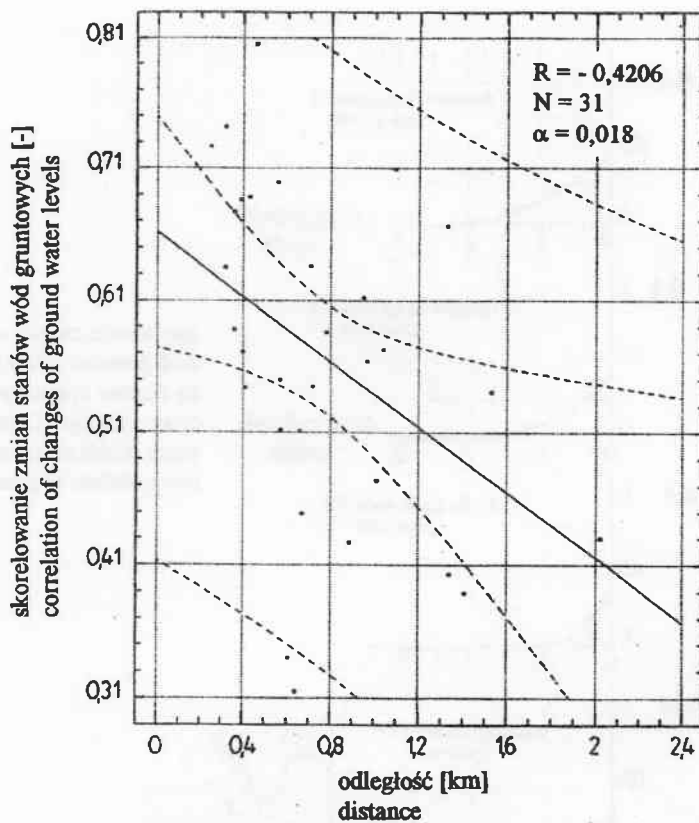
Gdyby dostatecznie często wykonywać pomiary stanów wód gruntowych w transekcje spływowej, to należałoby przypuszczać, iż średnią prędkość ruchu poziomego wód gruntowych będzie można oszacować np. na podstawie poszukiwania maksymalnego skorelowania pomiędzy odpowiednio przesuniętymi w czasie ciągami stanów wód gruntowych w dwóch miejscach transektu. Owe przesunięcia czasowe, dające maksimum skorelowania, i odległość punktów pomiarowych implikują średnią prędkość ruchu poziomego wód



Ryc. 10. Skorelowania zmian stanów wód gruntowych mierzonych w studzienkach pomiarowych na terenach zalesionych w funkcji odległości pomiędzy studzienkami

Fig. 10. Correlation of measured in control wells located in afforestation areas changes of ground water levels as a function of distances between wells

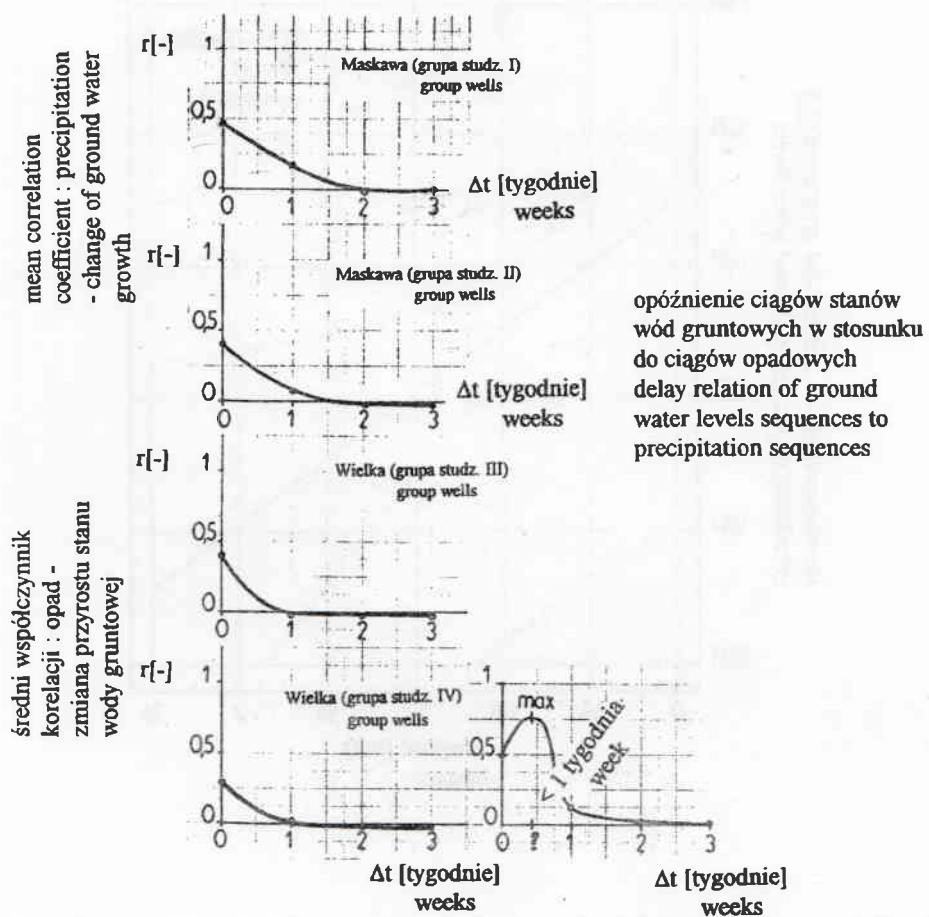
gruntowych. Obliczenia wykonane dla 6 wybranych transektów spływowych, przy 0-, 1-, 2- i 3-tygodniowych stosownych przesunięciach czasowych dają maksymalne skorelowanie przy przesunięciach 0-tygodniowych. Zatem przypuszczalnie cotygodniowa częstotliwość wykonywania pomiarów stanów wód gruntowych jest zbyt mała, by można spróbować dokonać oszacowania średniej prędkości ruchu poziomego wód gruntowych proponowaną metodą.



Ryc. 11. Skorelowanie zmian stanów wód gruntowych mierzonych w studzienkach pomiarowych położonych na transektach sphywowych w funkcji odległości pomiędzy studzienkami

Fig. 11. Correlation of measured in control well located in line of water run-off changes of ground water levels as a function of distances between wells

Przeprowadzono także obliczenia średniego czasu „dobiegu” opadów do wód gruntowych. W tym celu zostały policzone współczynniki korelacji pomiędzy ciągami tygodniowych przyrostów stanów wód gruntowych w studzienkach pomiarowych a ciągami sum tygodniowych opadów atmosferycznych, przy 0-, 1-, 2- i 3-tygodniowych opóźnieniach ciągów tychże wód gruntowych w stosunku do ciągów opadowych. Wyniki obliczeń dla wydzielonych 4 grup studzienek (zlewnia Maskawy I, II, zlewnia Wielkiej III, IV - ryc. 12) wskazują, iż czas „dobiegu” opadów atmosferycznych do wód gruntowych jest zdecydo-



Ryc. 12. Średnie wartości współczynników korelacji pomiędzy sumą tygodniową opadu atmosferycznego a zmianą tygodniową stanu wody gruntowej w funkcji opóźnień ciągów stanów wód gruntowych w stosunku do ciągów opadowych

Fig. 12. Mean values of correlation coefficients between amount of weekly precipitation and weekly change of ground water level as a function of delays relation of ground water levels sequences to precipitation sequences

wanie krótszy niż 1 tydzień. Podobnie zatem j.w. cotygodniowa częstotliwość wykonywania pomiarów stanów wód gruntowych jest zbyt mała, by można ocenić średni czas „dobiegu” opadów atmosferycznych do wód gruntowych.

## Wnioski

Dynamika zmian stanów wód gruntowych pierwszego poziomu wodonośnego w sposób oczywisty jest determinowana przez warunki klimatyczne (opady, temperatury powietrza). Pozostałe warunki fizyczno-geograficzne (gleby, roślinność, sieć rzeczna, jeziora, topografia terenu) oddziałują na nią jedynie w sposób modyfikujący. Na tyle jednak istotny, iż ich pominięcie - jak wykazano w pracy - przy obliczaniu skorelowania stanów wód gruntowych w funkcji odległości, prowadzi do błędnych wniosków.

Sposób użytkowania terenu ma wyraźny wpływ na dynamikę wód gruntowych. Stwarza to pewne możliwości wpływania na poprawę niekorzystnego bilansu wodnego. Posiadany przez autorów materiał obserwacyjny nie dał niestety podstaw do obiektywnego stwierdzenia, jakie powinno być minimalne zagęszczenie studzienek do pomiaru stanów wód gruntowych dla poprawnej oceny dynamiki zmian tychże stanów.

Największa zmienność stanów wód gruntowych występuje w studzienkach, w których dynamikę ruchu wody reguluje wyraźnie jeden proces: ewapotranspiracja (studzienki płytke) i odpływ gruntowy (studzienki głębokie).

Grunty orne wykazują się zdecydowanie większą zmiennością stanów wód gruntowych niż tereny zalesione.

Obszarowe związki stanów wód gruntowych w większości przypadków (poza studzienkami położonymi w transektach spływowych) znajdują się na granicy istotności statystycznej lub poza nią.

Standardowo stosowane cotygodniowe pomiary stanów płytkich wód gruntowych są wystarczające do oszacowania miesięcznych lub do dłuższych okresów bilansów wodnych zlewni, są jednak niewystarczające do pełnej analizy dynamiki wód gruntowych.

## Literatura

- Kosturkiewicz A.** (1967): Studia hydrologiczne w zlewni leśnej do potrzeb gospodarki wodnej. Mater. Bad. Inst. Gosp. Wod. 3, 2.
- Kosturkiewicz A., Miler A., Piechocki T., Przybyła Cz.** (1977-1980): Badania nad określeniem roli lasu, stopnia lesistości i rozmieszczenia lasu w zlewni na użyteczny obieg wody w przyrodzie na przykładzie zlewni Polski Zachodniej. Maszyn. (Badania realizowano w ramach probl. węzł. 09.10, temat nr 09.10.04.04.01, koord. IBL Warszawa (5 oprac.).
- Marcinek J., Spychalski M., Komisarek J.** (1990): Obieg wody w mikrozwlewni rolniczej. W: Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajobrazie rolniczym. Wyd. UAM, Poznań.
- Miler A.** (1994): Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych. Roczn. AR Poznań. Rozpr. Nauk. 258.
- Somorowski Cz.** (1967): Zasoby wody profilu glebowego w bilansie wodnym zlewni. Wiad. IMUZ, 7, 1.
- Woś D.** (1989): Ocena potencjalnych zasobów wodnych dorzecza Warty. Wyd. UAM, Poznań, Ser. Geografia 46.



## THE DYNAMICS OF CHANGES IN GROUND WATER LEVELS OF THE FIRST WATER LEVEL

### Summary

This paper discusses research into the variability of ground water levels with geomorphological parameters from fields. The presented calculations were carried out for two investigated in 1977-1982, small river catchments located in the Wielkopolska region. It was found that maximum variability of ground water levels occurred in those wells where dynamics of water movement is controlled by one process: evapotranspiration (shallow wells) and ground water outflow (very deep wells). Moreover, it was found that arable lands are indicated by greater variability of ground water levels than afforestation areas.

The study results show that space relations of ground water levels in most events (excluding wells located in line of water run-off) are near the limit of statistical significance or are insignificant. It was shown that standard weekly measurements of ground water levels (of first water level) are possibly sufficient, for instance for calculation of water balances in periods longer than month, but are not enough for full analysis of dynamics of ground water.