

POLSKA  
AKADEMIA  
NAUK

---

INSTYTUT GEOGRAFII  
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

RYSZARD GLAZIK

WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO  
NA WIŚLE WE WŁOCŁAWKU  
NA ZMIANY  
STOSUNKÓW WODNYCH  
W DOLINIE



ROK 1978

ZESZYT 2-3

---

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK  
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH  
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

**WYKAZ ZESZYTÓW**  
**PRZEGLĄDU ZAGRANICZNEJ LITERATURY GEOGRAFICZNEJ**  
za ostatnie lata

1973

- 1 Geografia rolnictwa. Problematyka i kierunki badań, s. 200 + nlb., zł 30,—
- 2 Problemy urbanizacji w krajach Trzeciego Świata, s. 174, zł 27,—
- 3—4 Kartograficzna metoda badań w geografii, s. 166 + nlb., zł 30,—

1974

- 1—2 Przestrzeń krajów Trzeciego Świata. Problemy metodologiczne, s. 212, zł 48,—
- 3—4 Zasoby, człowiek i środowisko, s. 93 + nlb., zł 24,—

1975

- 1—2 Przestrzenna dyfuzja innowacji, s. 202, zł 48,—
- 3—4 Matematyczne modelowanie środowiska, s. 131, zł 48,—

1976

- 1 Modele w geografii fizycznej, s. 151, zł 24,—
- 2 Modele dyfuzji i łańcuchy Markowa w analizie przestrzennej, s. 124, zł 24,—
- 3—4 Metody matematyczne w badaniach struktury przestrzennej rolnictwa, s. 151, zł 48,—

1977

- 1 Zdjęcia i obrazy satelitarne w badaniach środowiska geograficznego, s. 147, zł 24,—
- 2 Przestrzenne modele symulacyjne, s. 153, zł 24,—
- 3 Integracja systemu planowania oraz rozwój miast w Europie Zachodniej, s. 128, zł 24,—
- 4 Badanie i zbieranie map. Przegląd historyczny, s. 78, zł 24,—

1978

- 1 Ekologia krajobrazu, s. 132, zł 24,—
- 2 Geografia zastosowań ekonomicznych (w druku)
- 3—4 Teoria biegunów wzrostu (w druku)

WPLYW ZBIORNIKA WODNEGO  
NA WIŚLE WE WŁOCŁAWKU  
NA ZMIANY  
STOSUNKÓW WODNYCH  
W DOLINIE

POLISH ACADEMY OF SCIENCES  
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

---

RYSZARD GLAZIK

THE EFFECT OF A RESERVOIR  
ON THE VISTULA NEAR WŁOCŁAWEK  
OF THE HANGES OF AQUATIC  
CONDITIONS IN THE VALLEY



YEAR 1978

FASC 2-3

---

WROCLAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK  
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH  
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK  
<http://rcin.org.pl>

POLSKA  
AKADEMIA  
NAUK

---

INSTYTUT GEOGRAFII  
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

RYSZARD GLAZIK

WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO  
NA WIŚLE WE WŁOCŁAWKU  
NA ZMIANY  
STOSUNKÓW WODNYCH  
W DOLINIE



ROK 1978

ZESZYT 2-3

---

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK  
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH  
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

<http://rcin.org.pl>

## KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: Halina Szulc

Sekretarz Redakcji: Zuzanna Siemek

Członkowie Redakcji: Kazimierz Klimek, Wanda Spryszyńska  
Władysława Stola, Andrzej Żeromski

Adres Redakcji:

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

Redaktor Wydawnictwa: Hanna Jurek

Redaktor techniczny: Ryszard Ulanecki

*Printed in Poland*

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1978.  
Nakład: 460 egz. Objętość: ark. wyd. 12, ark. druk. 7,50 + 5 wkl.  
ark. A<sub>1</sub> 11. Papier druk. sat. kl. III, 70 g 70 × 100. Oddano do  
składania 10 III 1978. Podpisano do druku 18 IX 1978. Druk ukoń-  
czono w październiku 1978. Wrocławska Drukarnia Naukowa.  
Zam. 254/78 — F-15. Cena zł 48.—

## SPIS TREŚCI

Wstęp . . . . .	7
1. Wprowadzenie . . . . .	7
2. Cel i zakres opracowania . . . . .	8
3. Materiały źródłowe i metody opracowania . . . . .	10
4. Przegląd literatury . . . . .	13
I. Charakterystyka wybranych elementów środowiska geograficznego . . . . .	19
1. Rzeźba . . . . .	19
2. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne . . . . .	22
3. Litologia i przepuszczalność gruntów . . . . .	27
4. Opady i temperatura powietrza . . . . .	30
II. Wody powierzchniowe . . . . .	34
1. Rozmieszczenie sieci wodnej . . . . .	34
2. Zmiany hydrograficzne wywołane pracami melioracyjnymi . . . . .	35
3. Obszary bezodpływowe . . . . .	39
4. Działy wodne . . . . .	40
III. Ukształtowanie zwierciadła wód gruntowych w okresie przed spiętrzeniem Wisły . . . . .	43
1. Warunki hydrologiczne w okresach kartowania . . . . .	43
2. Wody gruntowe w sąsiedztwie koryta Wisły . . . . .	46
3. Zmiany poziomu wód gruntowych po wybudowaniu Kanału Głównego . . . . .	47
4. Stosunek podziemnych działów wodnych do powierzchniowych . . . . .	49
IV. Niektóre cechy hydrologiczne zbiornika i jego wpływ na reżim wód Wisły . . . . .	53
1. Hydrologia rzeki przed spiętrzeniem . . . . .	53
2. Przebieg spiętrzenia i parametry zbiornika . . . . .	56
3. Hydrologia zbiornika i rzeki poniżej zapory . . . . .	60
4. Termika zbiornika w okresie zimowym . . . . .	66
V. Oddziaływanie spiętrzenia Wisły na dynamikę wód gruntowych . . . . .	69
1. Sieć obserwacyjna . . . . .	69
2. Codzienne stany wody w końcowej fazie spiętrzenia . . . . .	72
3. Cotygodniowe stany wody przed i po spiętrzeniu . . . . .	74
4. Wielkość i zasięg zmian w poziomie występowania wód gruntowych . . . . .	78
5. Zmiany w termice wód gruntowych . . . . .	91
VI. Wpływ spiętrzenia Wisły na obieg wody w strefie przyległej . . . . .	94
1. Naturalne warunki obiegu wody w zlewniach cząstkowych . . . . .	94
2. Odpływy jednostkowe ze zlewni nie objętych oddziaływaniem spiętrzenia . . . . .	96
3. Wpływ infiltracji wód ze zbiornika na wielkość przepływu w ciekach . . . . .	102

Wnioski . . . . .	106
Literatura . . . . .	109
The effect of a reservoir on the Vistula near Włocławek of the changes of aquatic conditions in the Valley . . . . .	115
Влияние водохранилища на Висле во Влоцлавке на изменение гидрологических условий в долине . . . . .	118



## WSTĘP

### 1. WPROWADZENIE

Rozwój budownictwa wodnego prowadzi do poważnych zmian w środowisku geograficznym dolin rzecznych i przyległych obszarów. W wyniku długotrwałych procesów przekształceniu ulega wiele elementów środowiska geograficznego, a zwłaszcza stosunki wodne, mikroklimatyczne, glebowe i roślinne. Określenie tych zmian i poznanie towarzyszących im procesów wymaga kompleksowych, wieloletnich badań. Powinny być one prowadzone już w okresie przed spiętrzeniem rzeki, co pozwala na dokonanie przestrzennego porównania zmian jakościowych i ilościowych. Ograniczone czasowo badania prognostyczne, poprzedzające każdą inwestycję wodną, nie są w stanie objąć szerokiego wachlarza zagadnień i z natury oparte są na uproszczonych założeniach, które niekiedy dają obraz zmian znacznie odbiegający od rzeczywistych. W polskiej literaturze naukowej brak dotychczas prac ujmujących całościowo wpływ konkretnych zbiorników wodnych na środowisko geograficzne. Badania te, obok aspektu naukowego, mają duże znaczenie praktyczne i powinny być wykorzystane w projektowaniu nowych stopni piętrzących.

Wybudowany w latach 1963—1969 stopień wodny na Wiśle pod Włocławkiem jest pierwszym z dziewięciu w planowanej kaskadzie dolnej Wisły. Powstanie zbiornika, jednego z największych w Polsce pod względem powierzchni i pojemności, stworzyło okazję do badań nad oddziaływaniem spiętrzenia na środowisko geograficzne obszarów przyległych. Z inicjatywy Prof. dr. hab. Jana Szupryczyńskiego Zakład Fizjografii Ziemi Polskich Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Toruniu podjął badania naukowe nad problemem „Przeobrażenia środowiska geograficznego w dolinie Wisły spowodowane wybudowaniem zapory we Włocławku”. W latach 1970—1975 w sąsiedztwie stopnia realizowano szereg tematów o charakterze hydrograficznym i geomorfologicznym.

Praca dotyczy wstępnego etapu przekształcania środowiska geograficznego, tj. zmian w stosunkach wodnych, które niewątpliwie decydują o stopniu przeobrażenia przyrody. Zdaniem T. Wilgata (1971) badanie zależności między stosunkami wodnymi i gospodarczą działalnością czło-

wieka powinno być jednym z naczelných zadań hydrogeografii, określającym jej miejsce w zespole nauk o wodzie. Dotychczasowy udział geografów w prognozowaniu i badaniu wpływu działalności ludzkiej na środowisko geograficzne jest niedostateczny. Zagadnieniami tymi zajmują się instytuty naukowe o odmiennym profilu badawczym, biura studiów i projektów, a nawet przedsiębiorstwa wykonawcze. Tematyka badań dotyczy zwykle wąskich zagadnień, wynikających z konkretnych potrzeb, a ich wyniki nie zawsze są właściwie interpretowane. Wynika to z niedostatecznej znajomości procesów zachodzących w środowisku geograficznym.

W tym miejscu pragnę podziękować Panu Prof. dr. hab. Janowi Szupryczyńskiemu za zachętę do pracy i niezwykle cenne uwagi. Jednocześnie składam podziękowanie Kolegom z Zakładu za życzliwe dyskusje i bezinteresowną pomoc w badaniach terenowych.

## 2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Dolina Wisły od Płocka do Włocławka jest asymetryczna. Rzeka podcina wyniosłe zbocze Wysoczyzny Dobrzyńskiej i Płockiej, pozostawiając szerokie dno doliny po stronie południowej.

Badania skoncentrowano na lewym brzegu Wisły na odcinku od Włocławka (1 km poniżej zapory) do wsi Karolewo, położonej w połowie długości zbiornika (ryc. 1). Południową granicę opracowania poprowadzono 2—3 km na południe od rzeki Rakutówki, w celu zbadania kierunku przepływu podziemnego i ustalenia przebiegu hydrologicznego działu wodnego między doliną Rakutówki a przyrzeczem Wisły. Tak wyznaczony rejon badań zajmuje powierzchnię ponad 200 km<sup>2</sup> i przylega do dolnej części zbiornika. Jest to obszar najniżej położony, częściowo depresyjny, a więc najbardziej podatny na oddziaływanie spiętrzenia.

Celem opracowania jest ustalenie wpływu spiętrzenia Wisły na stosunki wodne badanego obszaru, w zależności od naturalnych cech środowiska geograficznego i przeprowadzonych prac melioracyjnych (odwadniających). Problem ten rozwiązywano etapami, celem zaś poszczególnych zadań cząstkowych było:

1) Szczegółowe poznanie tych elementów środowiska geograficznego, które decydują o obiegu wody.

2) Odtworzenie i analiza stosunków hydrograficznych w okresie przed spiętrzeniem Wisły (1959—1968), co stanowiło podstawę analizy zmian stosunków wodnych w trakcie i po spiętrzeniu (1969—1973).

3) Określenie wpływu spiętrzenia Wisły i pracy elektrowni na zmianę reżimu hydrologicznego rzeki.

4) Ustalenie wielkości i zasięgu oddziaływania spiętrzenia oraz wpływ melioracji wodnych na zmianę ukształtowania zwierciadła i reżim wód gruntowych.



Ryc. 1. Obszar badań

1 — stacje meteorologiczne; 2 — stacje opadowe; 3 — wodowskaz; 4 — miejscowości; 5 — linie przekrojów geologicznych; 6 — krawędzie wysoczyzn; 7 — ciek i jeziora

Area of research work

1 — meteorological stations; 2 — pluviometric stations; 3 — water gauges; 4 — localities; 5 — lines of geological cross-sections; 6 — plateau scarps; 7 — streams and lakes

<http://rcin.org.pl>

5) Próba uchwycenia zmian niektórych parametrów hydrologicznych w ciekach objętych oddziaływaniem spiętrzenia oraz obliczenia wielkości infiltracji wód ze zbiornika w tereny depresyjne.

### 3. MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY OPRACOWANIA

Realizacja postawionych zadań wymagała zebrania znacznej ilości materiałów archiwalnych, zastosowania różnorodnych metod badań terenowych i sposobów opracowania danych wyjściowych.

Do analizy budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych wykorzystano w pracy około 550 płytkich sond (do 4,5 m) oraz głębszych wierceń. Większość została wykonana dla stopnia wodnego we Włocławku, głównie przez Przedsiębiorstwo Geologiczno-Inżynierskie Budownictwa Wodnego „Hydrogeo” w Warszawie. Profile geologiczne sond i wierceń uzyskano z archiwum byłego Zarządu Inwestycji Budowy Kaskady Dolnej Wisły we Włocławku.

Litologię gruntów opracowano na podstawie: *Mapy glebowo-rolniczej 1:25 000, pow. Włocławek* (1966), *Mapy geologicznej terenów przyzbiornikowych 1:25 000* i *Mapy geologiczno-inżynierskiej dla celów melioracji 1:25 000* (J. Adamiak i in. 1966). Ta ostatnia, wykonana na podstawie bogatego materiału dokumentacyjnego (ok. 800 sond i wierceń), szczegółowo przedstawia wykształcenie utworów na głębokościach: 0,5, 1,0, 1,5, i 3,0 m. Metodą planimetrowania obliczono procentowy udział poszczególnych gruntów na różnych głębokościach. Pozwoliło to określić stopień przepuszczalności utworów w pionowym przekroju strefy aeracji.

Stosunki opadowe opracowano na podstawie danych z pięciu stacji opadowych (ryc. 1), położonych na badanym terenie (Wistka Królewska) i w promieniu do 5 km poza jego granicami (Włocławek, Dobrzyń, Baruchowo, Duninów Nowy). Dane te uzyskałem w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. W pracy wykorzystałem 15-letni materiał obserwacyjny (1959—1973) obejmujący 10 lat przed spiętrzeniem (1959—1968) i 5 lat w trakcie i po spiętrzeniu (1969—1973). Umożliwiło to uchwycenie przestrzennego zróżnicowania sum opadów w latach po spiętrzeniu na tle wartości wieloletnich. W Wistce Królewskiej Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej założył w 1966 r. dwie stacje meteorologiczne przeznaczone do badań mikroklimatu w sąsiedztwie zbiornika. Ze stacji położonej bardziej na południe wykorzystano dane dotyczące opadów, miąższości pokrywy śnieżnej i temperatury powietrza w latach 1967—1973.

Stosunki hydrograficzne w okresie przed spiętrzeniem odtworzono na podstawie archiwalnych materiałów z kartowania hydrograficznego, przeprowadzonego latem 1962 r. (G. Kaczorowska, A. Lipnicka 1962a; A. Zwoliński 1963a, 1967). Wykorzystano również jednorazowe pomiary

studni, wykonane przez Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego „Hydroprojekt” we Włocławku. Poszczególne serie pomiarów przeprowadzono w krótkim czasie (1—2 dni), co pozwoliło wiernie odtworzyć ukształtowanie zwierciadła wód gruntowych. Na podstawie zebranych materiałów opracowano dwie mapy hydroizohips dla różnych okresów przed spiętrzeniem, na których uwzględniono wody powierzchniowe i miąższości warstwy suchej. Na obszarach pozbawionych studni przybliżone rzędne zwierciadła wód gruntowych określono na podstawie głębokości do wody w sondach geologicznych. Zmierzone stany wody w studniach porównano ze średnimi wieloletnimi stanami wód gruntowych i opadami. Umożliwiło to uchwycenie zmian w poziomie wód gruntowych, spowodowane pracami odwadniającymi. Mapy ułatwiły również wyznaczenie podziemnych działów wodnych i ustalenie powierzchni zlewni cząstkowych, niezbędne do obliczenia niektórych parametrów hydrologicznych.

Aby określić wpływ wybudowania i eksploatacji stopnia na zmianę reżimu hydrologicznego Wisły, przeanalizowano wahania stanów wody w latach przed spiętrzeniem (1959—1968) oraz porównano je z okresem w trakcie i po spiętrzeniu (1969—1974). Wykorzystano dane z wodowskazu w Płocku i we Włocławku oraz z wodowskazów przy zaporze — od strony wody górnej i dolnej. Dane te opracowano powszechnie stosowanymi metodami hydrologicznymi.

Badania terenowe rozpoczęto w sierpniu 1969 r., mniej więcej w połowie spiętrzenia Wisły, a zakończono w lipcu 1973 r. W pierwszym etapie założono sieć obserwacyjną wód gruntowych. Do systematycznych pomiarów wytypowano 23 studnie gospodarskie, rozmieszczone w pięciu przekrojach prostopadłych do Wisły<sup>1</sup>. Stany wody mierzono w okresie 14 VIII 69—7 VII 73 r. — codziennie lub dwa razy w tygodniu (wtorek, piątek). Do określenia rzędnych terenu wykorzystano niwelację studni przeprowadzoną przez „Hydroprojekt” we Włocławku. W dziesięciu studniach, w okresie 4 VIII 70—6. VII 73 r., wykonywano pomiary temperatury wody — dwa razy w tygodniu (wtorek, piątek) o godz. 8.00. Porównanie przebiegu stanów wody w studniach z dobowymi sumami opadów i codziennymi stanami wody w zbiorniku, a w półroczu zimowym dodatkowo z temperaturą powietrza i miąższością pokrywy śnieżnej, pozwoliło prześledzić wpływ poszczególnych czynników na stany wód gruntowych. Ponieważ sieć obserwacyjna rozpoczęła działalność w połowie spiętrzenia Wisły przeprowadzona analiza stanów wody okazała się niewystarczająca do określenia zmian w poziomie występowania i reżimie wód gruntowych. Zmiany te, spowodowane pracami odwadniającymi i spiętrzeniem rzeki, ustalono na podstawie danych z 36 zaniwelowanych piezometrów i studni obserwacyjnych IMGW, rozmieszczonych w siedmiu

<sup>1</sup> Lokalizacja punktów obserwacyjnych w rozdz. VI

przekrojach prostopadłych do Wisły. Przebieg stanów wody, mierzonych raz w tygodniu (poniedziałek), porównano z opadami i stanami zbiornika (Wisły). W przyjętym do analizy okresie przed spiętrzeniem (1959—1968) mieszczą się 4 lata (1959—1962) poprzedzające rozpoczęcie prac odwadniających, związanych z budową zapory. Lata te przyjęto za bazę porównawczą w odniesieniu do zmian w poziomie występowania i dynamice wód gruntowych, spowodowanych późniejszymi pracami melioracyjnymi i spiętrzeniem rzeki (1963—1973).

Brak pomiarów przed spiętrzeniem uniemożliwił bezpośrednio określenie zmian w temperaturze wód gruntowych, spowodowanych podniesieniem lub obniżeniem (melioracje) ich zwierciadła. Zmiany te ustalono wykorzystując znajomość różnic w poziomie wód gruntowych przed i po spiętrzeniu oraz zależność między przebiegiem i roczną amplitudą temperatury wody a miąższością strefy aeracji.

W latach 1970—1973 kilkakrotnie przeprowadzono kartowanie hydrograficzne całości lub wybranych fragmentów badanego obszaru. Korzystanie ze środka lokomocji (motocykla) znacznie skróciło czas kartowania (7—10 dni), co jest szczególnie ważne dla prawidłowego uchwycenia ukształtowania zwierciadła wód gruntowych (spadków).

Sieć wód powierzchniowych badanego terenu nie była dotychczas objęta obserwacjami hydrologicznymi. Podczas badań wykonano ponad 100 pomiarów przepływu w 12 przekrojach hydrometrycznych, założonych w miejscach położonych w zasięgu i poza granicami oddziaływania spiętrzenia<sup>2</sup>. Poszczególne serie pomiarów przeprowadzano w możliwie krótkim czasie (1—2 dni) i w odmiennych warunkach pogodowych. Pozwoliło to wykryć sporo nieprawidłowości w natężeniu przepływu, wynikających ze zmiany stosunków wodnych w strefie przyzbiornikowej. W celu obliczenia wielkości infiltracji wód ze zbiornika w tereny depresyjne — chronione zaporą boczną — założono dwa wodowskazy. Jednym zamknięto zlewnię Kanału Głównego, który biegnie równolegle do zbiornika i uchodzi do Wisły poniżej zapory czołowej. Przepływ w kanale jest sumą dopływu wody ze zlewni i przesiaków przez zaporę boczną. Drugim wodowskazem zamknięto zlewnię Zuzanki (dopływ kanału) w miejscu wykluczającym oddziaływanie zbiornika. Codzienne pomiary stanów wody prowadzono przez 15 miesięcy (1 IV 72—30 VI 73 r.). Odpływy jednostkowe ze zlewni Zuzanki uznano za reprezentatywne dla obszarów nie objętych wpływem spiętrzenia. Ich wartości mnoży się przez powierzchnię zlewni Kanału Głównego, uzyskując natężenie przepływu w kanale wynikające z zasilenia opadami. Różnica między przepływami zmierzonymi a obliczonymi z odpływów jednostkowych stanowi wielkość przesiaków.

<sup>2</sup> Lokalizacja przekrojów w rozdz. VII

## 4. PRZEGLĄD LITERATURY

W Polsce znajduje się 79 sztucznych zbiorników wodnych, z tego 36 w dorzeczu Wisły, 33 w dorzeczu Odry i 10 na rzekach Przymorza. Przed pierwszą wojną światową wybudowano 22 zbiorniki, w okresie międzywojennym — 33, a po ostatniej wojnie — 24 (M. Szostak 1967). Budowa stopni piętrzących rozwinęła się głównie w obszarach górskich i podgórskich. Są to obiekty o różnej wielkości i przeznaczeniu. Większość wykorzystywana jest do celów energetycznych i przeciwpowodziowych, niektóre wybudowano w celu poprawienia warunków żeglugi oraz zaopatrzenia w wodę ludności, rolnictwa i przemysłu.

Zainteresowanie zmianami w stosunkach wodnych terenów przyległych do stopni piętrzących pojawiło się w Polsce dopiero po drugiej wojnie światowej, a ściślej w latach pięćdziesiątych. Zagadnieniem tym zajmowało się szereg instytucji, a zwłaszcza: Politechnika Krakowska, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Geologiczny, Instytut Budownictwa Wodnego PAN, akademie rolnicze, biura studiów i projektów, przedsiębiorstwa geologiczne i inne. Badania były prowadzone głównie na terenach depresyjnych i często dotyczyły wąskich zagadnień wynikających z zainteresowań poszczególnych instytucji. Wspólną cechą badań była konieczność uwzględnienia zmian w stosunkach wodnych, niezbędna w ocenie skuteczności działania systemów odwadniających lub poszczególnych ich elementów, ustalenia charakteru, wielkości i zasięgu oddziaływania spiętrzenia na wody gruntowe i powierzchniowe, określenia wielkości infiltracji wód ze zbiornika, a także poznania wpływu spiętrzenia na własności fizyczno-chemiczne gleb, przemiany ekologiczne i gospodarcze. Badaniami stosunków wodnych objęto tereny przyległe do ośmiu stopni piętrzących: Przewóz, Łączany, Goczałkowice i Dąbie — na górnej Wiśle; Brzeg Dolny — na Odrze; Dębe — na Narwi; Koronowo — na Brdzie i ostatnio Włocławek — na Wiśle. W sąsiedztwie badanych stopni charakter i wielkość zmian w stosunkach wodnych są różne. Wynika to ze specyficznych warunków hydrogeologicznych, morfologicznych i glebowych, przyjętych wartości spiętrzenia rzek i zastosowania systemów odwodnienia o odmiennych parametrach technicznych. Czynniki te oraz zróżnicowany zakres i krótki okres prowadzenia tego rodzaju badań utrudniają uogólnienie uzyskanych wyników.

Na terenach przyległych do stopni piętrzących w Przewozie, Łączanach i Goczałkowicach, wybudowanych w latach 1954—1958, zakres przeprowadzonych badań był fragmentaryczny, a wnioski często niedostatecznie udokumentowane. Wskutek braku systematycznych pomiarów zwierciadła wód gruntowych obserwacje miały na ogół charakter wi-

zualny i dotyczyły głównie oceny skuteczności działania urządzeń odwadniających. O ich niesprawności wnioskowano na podstawie zasięgu podtopienia terenu, zalania piwnic lub nadmiernego uwilgotnienia gleb — sygnalizowanego przez rolników.

W sąsiedztwie zbiornika wodnego w Przewozie brakuje terenów depresyjnych, a jedynym niekorzystnym skutkiem spiętrzenia — według J. Kocyana (1969) — było lokalne, nadmierne uwilgotnienie gruntów.

Zabezpieczenie terenów depresyjnych przyległych do stopnia w Łączanach polegało na wykonaniu rowów przywałowych, opaskowych, pierścieniowych drenaży przy budynkach i wybudowaniu przepompowni (M. Stefan 1959). J. Kocyan (1969) stwierdza, że mimo podjętych prac odwadniających i niewielkiego podniesienia wód w zbiorniku ponad otaczający teren (o 1 m), nastąpiło lokalne podtopienie gruntów i zalanie piwnic. Autor podkreśla, że trudności wystąpiły nie tyle w odprowadzeniu wód infiltrujących ze zbiornika, ile napływających ze zlewni. Uważa on, że przyczyną ujemnych skutków spiętrzenia było niedostateczne rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, niewłaściwe zaprojektowanie, wykonanie i brak konserwacji rowów odwadniających, które założono w mało przepuszczalnej warstwie mad, zalegającej na utworach żwirowo-piaszczystych. W efekcie rolnictwo poniosło znaczne straty. A. Podnieśński (1962) podaje, że w okresie 3 lat po spiętrzeniu sam koszt akcji odszkodowawczo-wywłaszczeniowej wyniósł około 9 mln. zł. Nastąpiło również pogorszenie jakości wód gruntowych, które w zasadzie nie nadają się do użytku (J. Kocyan 1969; Cz. Krzyszan, J. Sokołowski 1969). Poprawę stosunków wodnych w dolinie osiągnięto po obniżeniu lustra wód gruntowych za pomocą tzw. barier studni odwadniających (J. Kocyan 1969; E. Koban, A. Żbikowski 1969).

Również system odwodnienia obszaru depresyjnego w sąsiedztwie zbiornika w Goczałkowicach okazał się niewystarczający. Poziom wód gruntowych wystąpił lokalnie na powierzchnię terenu (Z. Mazur i in. 1958). Cz. Krzyszan i J. Sokołowski (1969) podają, że w wyniku spiętrzenia nastąpiło zalanie piwnic, wystąpienie samowypływu wód ze studni gospodarczych i znaczne pogorszenie jakości wody. Nadmierne uwilgotnienie mało przewiewnych utworów pyłowo-ilastych wpłynęło niekorzystnie na własności fizyczno-chemiczne gleb (oglejenie, gleby kwaśne i bardzo kwaśne), co spowodowało zmiany w strukturze użytkowania gruntów. Autorzy sądzą, że nieskuteczność odwodnienia wynikła z błędnych założeń projektowych, zakładających przede wszystkim odprowadzenie wód powierzchniowych, podczas gdy główną uwagę należało zwrócić na drenaż wód gruntowych. W. Wolski (1963, 1969) przypuszcza, że jedną z przyczyn niedostatecznej efektywności odwodnienia było powstanie hydraulicznych przebić subarteryjskich wód drugiego poziomu, występujących w żwirach karpackich, przykrytych warstwą ilów. W wyniku spiętrzenia nastąpił wzrost ciśnienia wód drugiego poziomu, a na



terenach depresyjnych i w korycie Wisły poniżej zapory pojawiły się źródła, których ilość systematycznie rosła. Zdaniem autora świadczy to o nieciągłości warstwy iłów. W dokumentacji geologicznej zbiornika (K. Giercuskiewicz 1955, 1956) możliwości takiej nie przewidywano.

Przykładem zabezpieczenia miasta przed ujemnymi skutkami spiętrzenia jest stopień wodny w Dąbiu pod Krakowem. Wszechstronne badania hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie umożliwiły przeprowadzenie stosunkowo trafnej prognozy wpływu spiętrzenia na wody podziemne, co pozwoliło skutecznie zabezpieczyć chronione obszary przed podtopieniem. Zakres, metody i wyniki badań przeprowadzonych dla poszczególnych etapów prognozowania, realizowanych zgodnie z koncepcją J. Flisowskiego i A. Wiczystego (1965, 1968), omawiają między innymi: K. Rzegocki (1964); J. Flisowski i A. Wiczysty (1966); A. Wiczysty (1966); A. Kleczkowski i in. (1969) oraz J. Setmajer i A. Wiczysty (1969). W celu sprawdzenia poprawności zastosowanych metod obliczeniowych, opartych na obserwacjach stanów wód gruntowych i innych badaniach specjalnych, dokonano w 1962 r. próbnego spiętrzenia Wisły do poziomu niegroźnego dla zabudowy miejskiej. Wykazało ono, że odchylenia w stosunku do przewidywanego poziomu stabilizacji wód gruntowych były niewielkie. Wpływ próbnego spiętrzenia na wody gruntowe szczegółowo omawiają J. Flisowski i in. (1966). Po całkowitym napełnieniu zbiornika poziom wód gruntowych w Krakowie, dzięki zastosowaniu barier studni odwadniających, utrzymywany jest na głębokości 3—4 m. Tylko kilka piwnic zostało zalanych, szkodliwemu przesuszeniu zaś uległ teren Ogrodu Botanicznego. O sprawnej pracy urządzeń odwadniających świadczy wyrównany przebieg stanów wód gruntowych, w małym stopniu zależny od opadów i zmian poziomu wody w zbiorniku. J. Setmajer i A. Wiczysty (1969) podają, że z wyjątkiem stref przy studniach dobowe amplitudy zwierciadła wody wynoszą 2—3 cm, a amplitudy miesięczne nie przekraczają 20 cm. W odległości 200—300 m od linii brzegowej infiltracja z rzeki wyraźnie maleje, a decydującą rolę odgrywa podziemny dopływ ze zlewni. Wielkość przesiąków jest wyrównana, w małym stopniu zależna od kolmatacji koryta rzeki.

Melioracje w dolinie Odry, związane z budową stopnia wodnego w Brzegu Dolnym, omawia J. Trzebiński (1959). Badania W. Lenczewskiego (1961, 1969), przeprowadzone na depresyjnych terenach przyzbiornikowych, wykazały 4—6-krotne zwiększenie przepływów w ciekach. Ich wielkość zależy od różnicy poziomu wody w zbiorniku i rowach. Rowy przywałowe przechwytyują około 70% przesiąków ze zbiornika, przy średniej różnicy poziomów wody około 2,5 m. W wyniku niewłaściwie zaprojektowanego odwodnienia znaczna część użytków rolnych uległa podtopieniu i zabagnieniu. Sieć rowów wykonano w mało przepuszczalnej warstwie mad, które cechuje wysoka zdolność kapilarnego podsiąkania wody. W efekcie, nawet w pobliżu rowów woda stagnowała na powierzch-

ni. Pogłębienie i poszerzenie cieków nie dało spodziewanych rezultatów z powodu małych spadków i silnego zarastania koryt. W sąsiedztwie zbiornika nastąpiło odwrócenie kierunku przepływu podziemnego. Poziom wód gruntowych podniósł się w strefie o szerokości 2,5—3,0 km, maksymalnie o 2,5 m. W. Lenczewski zaznacza, że ujemne skutki spiętrzenia wystąpiły również w miejscach nieoczekiwanych, w wyniku podpiętrzenia wód gruntowych i trudności w odprowadzeniu wód powierzchniowych. J. Szymański (1976) stwierdza znaczne pogorszenie jakości wód gruntowych, które lokalnie nie nadają się do użytku. Dla poprawienia stosunków wodnych obniżono rzędną piętrzenia o 2 m oraz zrealizowano nową, kosztowną wersję odwodnienia terenów depresyjnych.

Tereny depresyjne przyległe do stopnia w Dębem na Narwi zabezpieczono wałami oraz systemem rowów i przepompowni (M. Barcikowski, J. Serafiński 1964). Badania zmian w reżimie i poziomie występowania wód gruntowych (P. Kardasz i in. 1968; P. Kardasz 1969; P. Kardasz, J. Simoni 1976b) oparto na systematycznych pomiarach stanów wody przed (2 lata) i po spiętrzeniu (6 lat). Stwierdzono, że przy sprawnej pracy urządzeń odwadniających roczne amplitudy zwierciadła wody nie przekraczają 0,5 m, a przed spiętrzeniem dochodziły do 2 m. W strefie o szerokości 300 m od obwałowań poziom wód gruntowych podniósł się 1,5—3,0 m. Zagłębienia terenu uległy lokalnie podtopieniu i zalaniu, a w niektórych miejscach system odwodnienia spowodował obniżenie poziomu wód gruntowych. B. Mickiewicz (1969) zaobserwował, że w pierwszej fazie spiętrzenia największe przyrosty stanów wód gruntowych wystąpiły w pobliżu zbiornika, a w drugiej fazie były większe w studniach dalej położonych. Sumy przyrostów malały w miarę oddalania się od zbiornika. Autor zwraca uwagę na zależność stanów wód gruntowych od zmian poziomu wody w zbiorniku. Próbuje również ustalić wpływ dobowych i rocznych sum opadów na stany wód gruntowych. Zagadnienie to jest zwykle niedoceniane, a w większości prac pomijane. Może to niekiedy prowadzić do błędnych ocen oddziaływania spiętrzenia na stosunki wodne obszarów przyległych, zwłaszcza gdy w latach po napełnieniu zbiornika sumy opadów znacznie odbiegają od wartości normalnych. Wpływ spiętrzenia Narwi na warunki wodno-siedliskowe i przemiany biocenotyczne w dolinie omawiają B. Mickiewicz (1965, 1967); S. Grzyb oraz Z. Śniadowski (1967). Badając profile glebowe P. Kardasz i J. Simoni (1976a) stwierdzają wyraźny wzrost uwilgotnienia i zmniejszenia amplitud wilgotności. Badania prowadzono w wybranych miesiącach przed i po spiętrzeniu. Pewnym niedociągnięciem jest brak analizy sytuacji meteorologicznej w okresach poprzedzających pomiary. Opierając się na pomiarach przepływów w rowach i analizie zużycia energii elektrycznej przez przepompownie stwierdzono znaczne różnice między przewidywanymi i pomierzonymi wielkościami dopływu wody do poszczególnych części systemu odwadniającego. Zagadnienia te, na pod-

stawie niepublikowanych materiałów, szczegółowo omawiają E. Koban i A. Żbikowski (1969).

Odmienny charakter miały badania Cz. Pietrucienia (1967, 1971) w sandrowych obszarach przyległych do Zalewu Koronowskiego na Brdzie. Dotyczyły one głównie zmian hydrograficznych, na podstawie których wnioskowano o zmianach poziomu wód gruntowych. Bezpośrednio po spiętrzeniu, w strefie 1—2 km od zbiornika, obserwowano powstawanie drobnych jezierek. Najwcześniej tworzyły się one w depresyjnych, bezodpływowych zagłębieniach terenu. Z czasem ilość i wielkość jezierek systematycznie rosły. W 9 lat po spiętrzeniu, w odległości ponad 4 km od linii zalewu, stwierdzono powstanie nowych jezierek. Zdaniem autora świadczy to o ciągłych zmianach poziomu wód gruntowych. Spowodowały one lokalne przemieszczenie podziemnych działów wodnych, wzrost przepływów w ciekach oraz pojawienie się źródeł i wysieków w pobliżu koryt rzecznych i jezior. Poniżej zapory wystąpiły „kratery wodne”, których genezę autor wiąże z infiltracją wód ze zbiornika przez przepuszczalne utwory zalegające w podłożu zapory. Wydaje się, że ekspedycyjny charakter badań, brak analizy opadów na tle wartości wieloletnich i systematycznych pomiarów zwierciadła wód gruntowych utrudnia stwierdzenie, czy zaobserwowane zmiany hydrograficzne zostały spowodowane wyłącznie oddziaływaniem spiętrzenia.

Charakterystykę stopnia wodnego na Wiśle pod Włocławkiem na tle stosunków wodnych w dolinie przedstawiają: A. Zwoliński (1967, 1968); R. Glazik (1970); H. Zieliński (1970) i inni. O wpływie spiętrzenia na wody gruntowe terenów przyległych wstępnie informują: M. Perek (1972); W. Stefaniak (1972) i R. Glazik (1973). Szerszą analizę oddziaływania spiętrzenia i wykonanych urządzeń odwadniających na stosunki wodne obszarów przyzbiornikowych przedstawia R. Glazik (1976b). Wykonano również wiele badań specjalnych, dotyczących między innymi: hydrologii zbiornika i zmian w hydrologii rzeki poniżej zapory (W. Machalewski i in. 1974; R. Glazik 1976a), termiki zbiornika (M. Banach, R. Glazik 1971), uwilgotnienia gleb (J. Cierniewski i in. 1972), chemizmu wód gruntowych (J. Pich 1973), a także zmian w mikroklimacie (badania IMGW). Publikacje naukowe i wykonane dla stopnia wodnego opracowania studialne omawiam w dalszej części pracy.

Z prac o charakterze ogólnym na uwagę zasługuje studium S. Ihnatowicza (1975), dotyczące oddziaływania budownictwa wodnego na środowisko przyrodnicze. Autor wiele miejsca poświęca analizie niekorzystnych i korzystnych zmian wywołanych spiętrzeniem rzeki. Podkreśla potrzebę rozszerzenia zakresu dotychczasowych badań naukowych, w tym również z dziedziny geografii fizycznej, niezbędnych dla właściwego poznania i prognozowania wpływu budowli piętrzących na środowisko przyrodnicze, a także oddziaływania w kierunku zwiększenia korzystnych skutków spiętrzenia rzek.

Badania zmian w warunkach przyrodniczych terenów przyległych do zbiorników nizinnych są szeroko prowadzone w Związku Radzieckim. Przy założonym poziomie piętrzenia zasięg zmian i okres kształtowania się nowych warunków wodnych zależą od charakteru środowiska geograficznego. Dynamikę wód gruntowych w dolinie Dniepru, w sąsiedztwie Zbiornika Kochowskiego, J. A. Skabałanowicz i N. F. Lubjanow (1959) uzależniają od: wielkości spiętrzenia, odległości od zbiornika, litologii gruntów, a także rzędnej podziemnych działów wodnych. W miejscach gdzie jest ona niższa od rzędnej piętrzenia, poziom wód gruntowych podniósł się w strefie o szerokości do 20—30 km. I. N. Griszina (1972) stwierdza, że w otoczeniu Zbiornika Gorkowskiego podpiętrzenie wód gruntowych objęło strefę o szerokości do 10—12 km, co spowodowane zostało minimalnymi spadkami zwierciadła wody. Stabilizacja poziomu wód gruntowych nastąpiła dopiero po 11 latach od chwili napełnienia zbiornika. L. A. Szewczenko (1975) badając proces podtapiania gleb na terenach przyległych do Zbiornika Rybińskiego podkreśla, że w wyniku zmian warunków wodnych stosunki glebowe i roślinne nie uległy stabilizacji w 20 lat po spiętrzeniu. Kształtowanie się nowych warunków środowiskowych zachodziło szybciej w tych rejonach, które już przed spiętrzeniem były silnie uwilgotnione. Dochodzi do wniosku, że okres stabilizacji stosunków wodnych w glebach i zmian w roślinności jest bardzo zróżnicowany i może trwać kilkadziesiąt, a nawet kilkaset lat.

Przykładem kompleksowej oceny wpływu spiętrzenia rzeki na środowisko geograficzne jest praca S. G. Biejroma i in. (1973), oparta na wieloletnich badaniach w rejonie Zbiornika Nowosybirskiego. Zakres i wyniki pracy omawia R. Glazik w recenzji (1975), podkreślając przydatność tych badań do właściwego projektowania i eksploatacji stopni piętrzących.

Należy podkreślić, że geografowie polscy i zagraniczni dotychczas w małym stopniu zajmowali się zmianami stosunków wodnych w sąsiedztwie sztucznych zbiorników. Ponadto w dostępnych publikacjach naukowych niektóre zagadnienia, a zwłaszcza problem wód podziemnych, ujmowane są bardzo lakonicznie. Dlatego uogólnienie wyników badań i ich wykorzystanie do celów praktycznych jest utrudnione. Istnieje natomiast bogata literatura naukowa dotycząca ekonomicznych i technicznych problemów projektowania, budowy i eksploatacji stopni wodnych.

# I. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH ELEMENTÓW ŚRODOWISKA GEOGRAFICZNEGO

## 1. RZEŻBA

Współczesna forma dolinna powstała w wyniku złożonych procesów erozji i akumulacji, które zachodziły podczas zlodowaceń plejstocenijskich i w przedzielających je okresach interglacjalnych.

W podłożu podczwartorzędowym doliny zaznacza się depresja, której dno schodzi do 5 m n.p.m. Powstanie jej związane jest z predyspozycją tektoniczną, pogłębioną przez działalność erozyjną pra-Wisły (J. Lewiński 1924; S. Lencewicz 1927; J. Łyczewska 1959). Okres erozyjny wielu badaczy wiąże z interglacjałem wielkim (M. D. Domośławska-Baraniecka, J. E. Mojski 1960; E. Rühle 1968; S. Skompski 1969). W tym czasie nastąpiło zniszczenie osadów czwartorzędowych i nacięcie utworów neogenu, u schyłku zaś interglacjału odpływ został zahamowany, a dolina uległa zasypaniu.

Utwory zlodowacenia środkowopolskiego zostały w interglacjale eemskim erozyjnie obniżone i rozcięte (S. Skompski 1969). W tym czasie dolina była już „normalnie odwadniana”, a w jej rzeźbie zaznaczały się „pewne rysy orografii podłoża” (S. Lencewicz 1927). Pogląd ten potwierdziły późniejsze badania (J. Łyczewska 1960; U. Urbaniak 1965; S. Skompski 1969; E. Wiśniewski 1973).

Łądołód bałtycki (fazy poznańskiej) wykorzystując powstałe obniżenie utworzył tzw. „łob płocki” (L. Roszko 1968). Z czoła łądołodu wody roztopowe odpływały do pradoliny warszawsko-berlińskiej (J. Lewiński 1924; R. Galon 1968; S. Skompski 1969). Lodowiec nie utworzył większych form pozytywnych, pozostawiając tylko cienką warstwę moreny ablacyjnej i osadów wodnolodowcowych (S. Lencewicz 1927; J. E. Mojski 1960; L. Roszko 1968).

**T e r a s y.** Pierwsze opracowanie genezy i budowy teras Kotliny Płockiej przedstawił S. Lencewicz (1927). Autor wyróżnił cztery poziomy terasowe: terasa dyluwialna IV, terasa dyluwialna III, terasa dolna II i terasa zalewowa I. Poglądy S. Lencewicza na ilość teras przetrwały ponad 40 lat i były cytowane w szeregu pracach (J. E. Mojski 1960; M. D. Domośławska-Baraniecka, J. E. Mojski 1960; S. Skompski 1961; U. Urbaniak

1967). Jedynie terasę zalewową podzielono w tym czasie na dwa poziomy — wyższy i niższy (J. E. Mojski 1960; S. Skompski 1961).

Nowe dane dotyczące genezy, budowy i ilości teras w Kotlinie Płockiej wniosła praca S. Skompskiego (1969). Autor wydzielił 11 poziomów terasowych. Opierając się na badaniach S. Skompskiego wyróżniono terasy we wschodniej części badanego obszaru, a w części zachodniej wyznaczono je na podstawie opracowań J. Lewińskiego (1924) i S. Lencewicza (1927) oraz obserwacji własnych. Numerację teras rozpoczęto od najniższej — zalewowej. W opisie podano w nawiasach oznaczenia teras według S. Skompskiego oraz wysokości względne w stosunku do średniego poziomu wód Wisły z lat przed spiętrzeniem.

Terasa zalewowa I (XI) — do 4 m — występuje nieciągłe. Zwartą powierzchnię tworzy na odcinku Wistka Szlachecka — Duże Skoki.

Terasa nadzalewowa niższa II (X) — 4—6 m — biegnie wąską listwą, dochodząc w niektórych miejscach do koryta Wisły.

Terasa nadzalewowa wyższa III (IX) — 8—12 m — na zachód od Zuzanki występuje zwartą powierzchnią, a w części wschodniej tworzy szeroką listwę. Znaczną część terasy zajmują podmokłe obniżenia.

Terasa IV (VII) — 12—17 m — w części zachodniej jest nadbudowana wydymami i urozmaicona jeziorami. Krawędzie są stosunkowo wyraźne.

Terasa V (VI) — 18—23 m — jest silnie zwydmiona i urozmaicona jeziorami. W rejonie Karolewa dochodzi do koryta rzeki.

Terasa VI (V) — 25—28 m — posiada bardzo urozmaiconą powierzchnię. W części północnej występują pola wydymowe, w południowej natomiast jeziora i mokradła. Krawędzie terasy są zatarte wydymami.

Terasa VII (IV) — 30—31 m — tworzy płaską powierzchnię „podziurawioną” drobnymi zagłębieniami po martwym lodzie. Na krawędziach terasy ulokowały się wydmy.

Rynny glacialne są charakterystycznym elementem rzeźby środkowej i południowej części doliny. Tworzą one dwa ciągi: północny i południowy, o kierunku zgodnym z ruchem lodowca (NW—SE). Ciąg północny wyznaczają jeziora: Grzywno—Rybica—Radyszyńskie—Telążna—Gociaż. Ciąg południowy, położony znacznie wyżej, tworzą jeziora: Czarne—Wikaryjskie—Wójtowskie, a następnie Dzielno—Lubiechowskie—Skrzyneckie i kilka małych jezior w rejonie wsi Lubaty.

Jeziora badanego obszaru H. Keller (vide S. Lencewicz 1927) uważał za starorzecza Wisły. J. Lewiński (1924) stwierdził, że misy jezior tkwią w materiale morenowym. Jednak dopiero badania S. Lencewicza (1927, 1929) wykazały rynnowe pochodzenie jezior. O silnej działalności wód subglacialnych świadczą liczne progi i głębozki eworsyjne w dnach jezior. Część rynien — zdaniem S. Lencewicza — powstała w otwartych ku górze szczelinach lodowych. R. Galon (1953) stwierdził, że jeziora Kotliny Płockiej mogą mieć charakter wytopiskowy. Od tego czasu panuje pogląd o subglacialnej genezie większych jezior, a wytopiskowym

charakterze mniejszych (J. E. Mojski 1960; U. Urbaniak 1967; S. Skompski 1969). Łatwo zauważyć, że wszystkie większe zagłębienia, określane jako wytopiskowe, grupują się na liniach ciągów rynnowych. Niektóre jeziora, mimo owalnego kształtu i małej powierzchni, posiadają charakter głęboczków eworsyjnych<sup>3</sup>. Świadczy to o ich subglacialnej genezie. Charakter wytopiskowy mogą mieć zagłębienia położone z dala od głównych ciągów rynnowych. Brak jezior w północnej części doliny J. E. Mojski (1960) tłumaczy mniejszą grubością brył martwego lodu, dzięki czemu powierzchnie niższych teras leżą obecnie poniżej dolnej granicy lodu.

Inną genezę ma dolina Rakutówki i położone w niej Jez. Wielkie Rakutowskie (pow. 351 ha, głęb. 2,5 m). S. Lencewicz (1927, 1929) powstanie doliny Rakutówki wiązał z działalnością wód roztopowych. Pochodziły one z płatów martwego lodu, zalegających we wschodniej części Kotliny Płockiej. Odpływ wód odbywał się na zachód dwoma szlakami. Pierwszy, zasobniejszy w wodę, biegł poniżej krawędzi Wysoczyzny Dobrzyńskiej, a na jego linii odpreparowała później swoje koryto Wisła. Drugim, na linii dzisiejszej doliny Rakutówki, odpływ wód był utrudniony i powstało „wielkie jezioro” („zastoisko”), którego fragmentem jest obecne jez. Rakutowskie. J. E. Mojski (1960) przedstawił nowy pogląd na powstanie i rozwój doliny Rakutówki. Już w interglacjale eemskim istniało tu obniżenie, którego nie zdołały zasypać osady ostatniego zlodowacenia. Po utworzeniu pradoliny Noteci—Warty nastąpił odpływ wód roztopowych z obniżenia rakutowskiego i wystąpiła znaczna erozja dna przez wody pra-Wisły. Z chwilą wycofania się lądolodu na linię moren pomorskich rozpoczął się proces zasypywania doliny Rakutówki, lecz na powierzchni pozostały płytkie zbiorniki wodne. Dopiero po wytopieniu rynien dolnej Zgłowiączki i Lubieńki nastąpiło osuszenie obniżenia rakutowskiego, a Jez. Rakutowskie jest śladem jednego z dawnych zbiorników.

Wydmowy wywierają decydujący wpływ na hipsometrię badanego obszaru. O rozmieszczeniu wydm zadecydowały stosunki hydrograficzne w okresie późnego plejstocenu. Centralna część doliny, najwcześniej osuszona, najdłużej podlegała procesom eolicznym (S. Lencewicz 1927). Cechą charakterystyczną jest niewielki udział typowych form parabolicznych. Przeważają wydmy podłużne i formy pośrednie. Rzeźbę wydmową cechuje zmienna orientacja form i różna ekspozycja stoków stromych. Świadczy to o złożonym procesie wydmotwórczym, który zachodził przy udziale wiatrów z różnych kierunków (U. Urbaniak 1962). Względna wysokość wydm dochodzi do 30 m, przeciętnie wynosi 15—20 m. J. E. Mojski (1960) przypuszcza, że niektóre wydmy paraboliczne mogą być „...eolicznie przemodelowanymi, wypukłymi formami rzeźby o nieznannej (być może glacialnej) genezie” (s. 1031). Wydmy paraboliczne, związane

<sup>3</sup> Przykładem jest małe (2,9 ha) i głębokie (7,2 m) jez. Dzielno, którego kształt przypomina lejek (S. Lencewicz 1929)

z wyższymi terasami, uważa za formy nieco starsze od wydmy podłużnych, występujących na terasach niższych. U. Urbaniak (1967) sądzi, że na wyższych terasach wydmy miały pierwotnie kształt równoleżnikowych wałów. Zostały one usypane przez wiatry północne, na granicy stref o różnej wilgotności gleby. Według autorki — „Wydmy paraboliczne powstały wtórnie w wyniku przemodelowania wałów równoleżnikowych przez wiatry z sektora zachodniego...” (s. 58). W literaturze naukowej panuje zgodny pogląd, że wydmy Kotliny Płockiej tworzyły się w jednym okresie wydymotwórczym, chociaż w kilku fazach (J. E. Mojski 1960; U. Urbaniak 1967, 1969; S. Skompski 1969).

## 2. BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Trzeciorzęd na badanym obszarze reprezentowany jest przez utwory miocénskie i pliocénskie. Sposób ich wykształcenia omawiają między innymi: J. Lewiński (1924); J. Łyczewska (1951, 1959); M. Buczyński (1957); B. Fąferek (1960); J. Adamiak i in. (1969).

Miocén wykształcony jest w postaci węgla brunatnego, który występuje nawet w siedmiu pokładach (B. Fąferek 1960). Stropową część formacji stanowi zwykle tzw. „pokład podstawowy” (J. Lewiński 1924), kontaktujący się z iłami pliocénskimi. Miąższość warstw węgla brunatnego wynosi 0,5—2,0 m, średnio 1 m. Większe grubości pokładów (do 7 m), notowane w wierceniach, spowodowane są wzrostem upadu warstw w wyniku zaburzeń (J. Lewiński 1924; J. Łyczewska 1959; B. Fąferek 1960). Pokładom węgla towarzyszą warstwy piasków drobnoziarnistych i pylastych. Dużo jest mułków, rzadziej występują piaski gruboziarniste, piaskowce, żwiry i iły. Całkowita miąższość utworów miocénskich w rejonie Włocławka wynosi 10—20 m i wzrasta w kierunku wschodnim do ponad 30 m (J. Lewiński 1924; J. Łyczewska 1959).

Pliocén reprezentowany jest przez iły pstre z przewarstwieniami mułków, pyłów i piasków drobnoziarnistych. Często są kongrecje piritowe. W dolinie Wisły utwory pliocénskie zostały w wyniku erozji znacznie zredukowane. Miąższość ich wynosi od kilku do 20 m i tylko w miejscach zaburzeń osiąga kilkadziesiąt metrów.

Czwartorzęd cechuje duża zmienność litologiczna. Miąższość utworów czwartorzędowych w centralnej części doliny osiąga 40—50 m i maleje ku peryferiom. Wzdłuż Wisły lokalnie odsłania się zaburzony neogen. Charakterystykę utworów czwartorzędowych przedstawiono opierając się na następujących pracach: J. Lewiński (1924); J. Łyczewska (1951, 1960); J. E. Mojski (1960); B. Fąferek (1960); U. Urbaniak (1967); S. Skompski (1969) oraz J. Adamiak i in. (1969).

Plejstocén wykształcony jest w postaci utworów lodowcowych, rzeczno-lodowcowych, zastoiskowych, rzecznych i eolicznych.

Do osadów lodowcowych należą fragmentarycznie zachowane gliny



zwałowe, przeważnie piaszczyste, o miąższości do 5 m. Występują one głównie w obniżeniach stropu neogenu (J. Lewiński 1924; J. Łyczewska 1960). Większy udział mają niesortowane piaski ze żwirem i głazami, pochodzące z rozmycia glin zwałowych. Utwory te często zalegają płytami na powierzchni terasy III i IV. W szerokich obniżeniach międzywymowych przykryte są zwykle cienką warstwą piasku drobnoziarnistego. Miąższość osadów lodowcowych nie przekracza na ogół 20 m (J. E. Mojski 1960).

Utwory rzeczno-lodowcowe wykształcone są w postaci piasków z domieszką żwiru. Dominują w profilu osadów plejstocęńskich, a ich miąższość niekiedy przekracza 40 m (B. Faferek 1960).

Osady zastoiskowe reprezentowane są przez mułki piaszczyste i ilaste oraz ily warwowe. Występują lokalnie na różnych głębokościach. Iły warwowe znane są z okolic Włocławka (Glinki, Papieżka), gdzie stanowią surowiec dla przemysłu ceramicznego. Miąższość utworów zastoiskowych rzadko osiąga 30 m, średnio wynosi 10—20 m.

Pochodzenia rzeczno-jeziornego są warstwowane piaski terasowe. W dolinie Rakutowki ich miąższość dochodzi do 7 m, w środkowej i północnej części doliny Wisły nie przekracza 3 m (J. E. Mojski 1960), a na terasie II wynosi 1—20 m (S. Skompski 1969). Ku stropowi osady rzeczne przechodzą w rzeczno-jeziorne i jeziorne, wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych i pylastych. W rejonie Jez. Rakutowskiego piaski jeziorne mają miąższość 3—5 m (J. E. Mojski 1960). Na terasie II występują w dnach obniżeń terenowych, tworząc warstwę grubości około 1,5 m.

Pochodzenia eolicznego są drobnoziarniste piaski wydmowe, ku dołowi zawierające warstewki frakcji grubszych (J. E. Mojski 1960; U. Urbanik 1967).

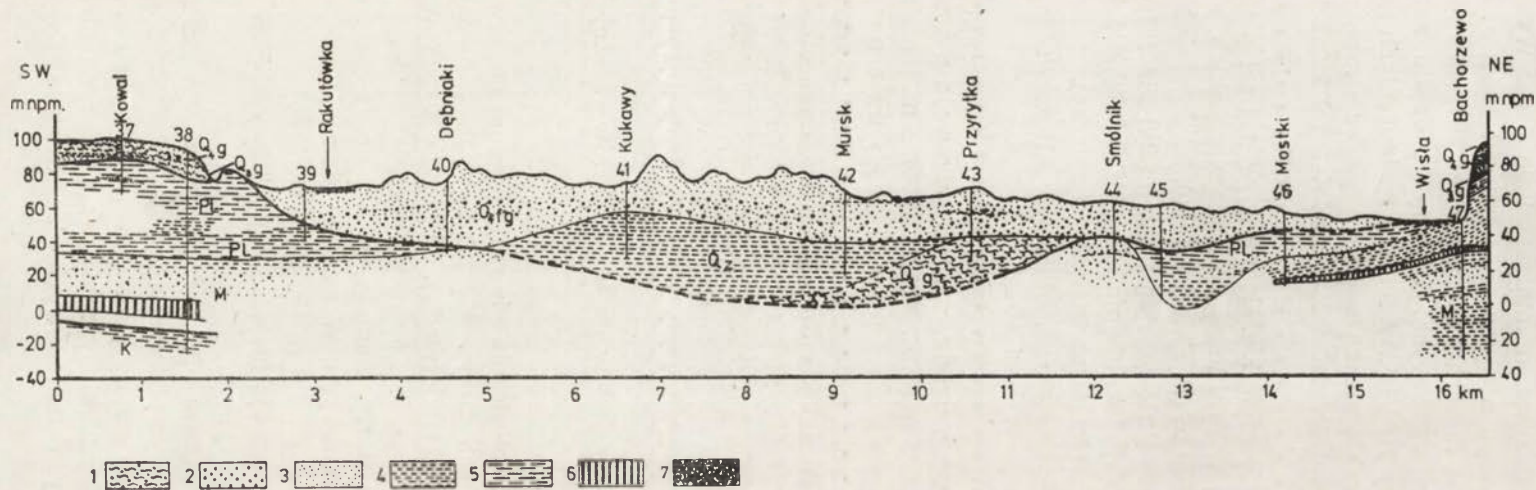
**H o l o c e n** wykształcony jest w postaci utworów rzecznych, organogenicznych i deluwialnych.

Utwory rzeczne wieku holocęńskiego budują terasę zalewową Wisły i kępy w korycie rzeki. Litologicznie nie różnią się od osadów rzecznych plejstocęńskich. W partiach przypowierzchniowych posiadają jedynie większy procent frakcji pylastej (mady). Miąższość utworów rzecznych sięga kilku metrów, mad — około 1,5 m (S. Skompski 1969).

Osady organogeniczne (torfy, namuły, gytia, kreda jeziorna) występują w dnach obniżeń terenowych. W sąsiedztwie torfowisk spotyka się rudę darniową o miąższości do 1,3 m (B. Faferek 1960).

Utwory deluwialne występują głównie u podstawy zboczy wysoczyzn morenowych oraz w dnach rynien.

Przekrój geologiczny Kowal—Bachorzewo (ryc. 2). ilustruje budowę środkowej części badanego obszaru. Utwory czwartorzędowe osiągają tu miąższość 40—50 m i nie zostały przewiercone. W spągu czwartorzędu zalegają osady pliocęńskie, niekiedy miocęńskie, których strop podnosi się w kierunku wysoczyzn morenowych. Te ostatnie zbudowane są

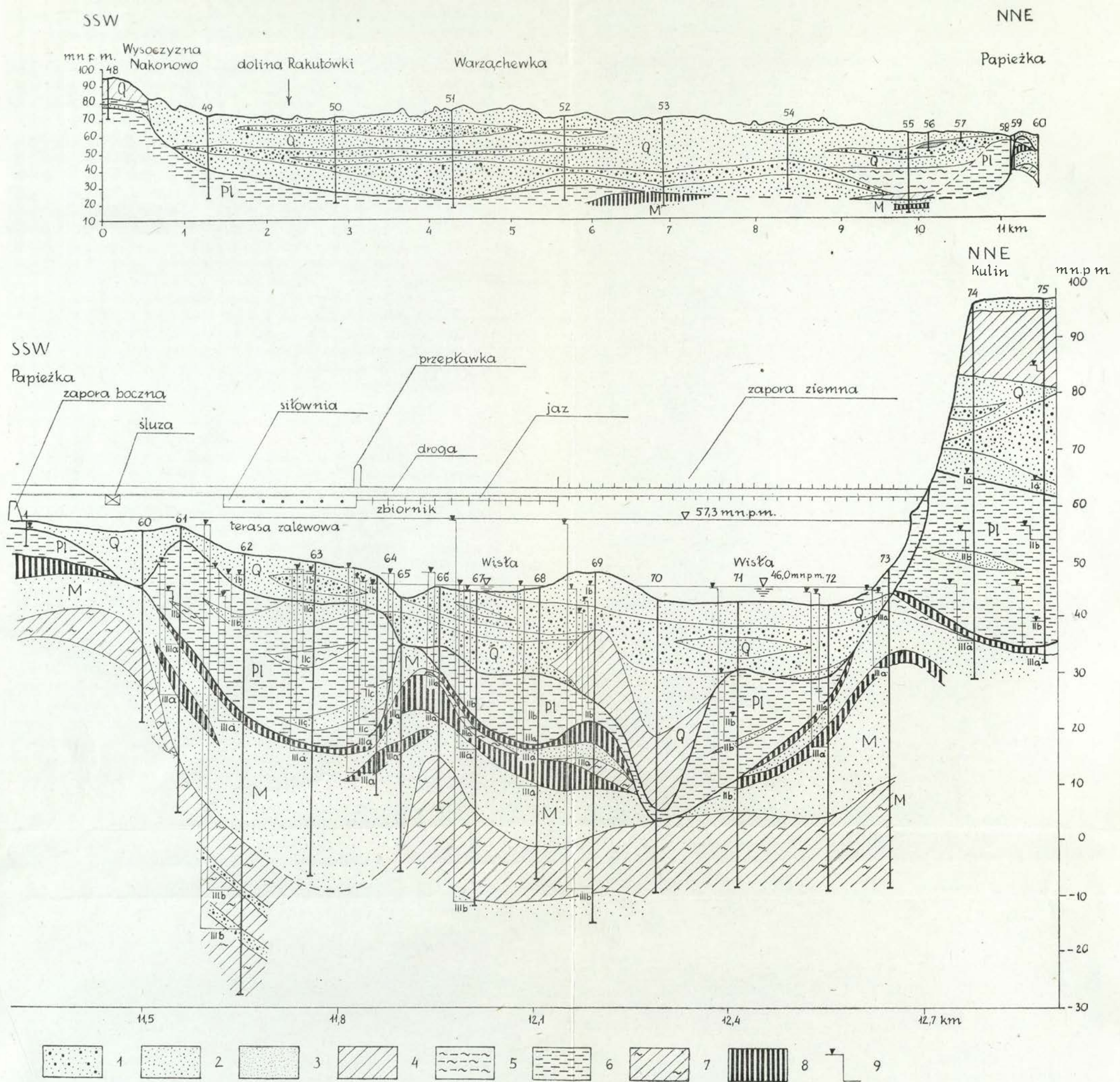


Ryc. 2. Przekrój geologiczny Kowal-Bachorzewo — wg J. Łyczewskiej (1960), uproszczony

1 — glina zwałowa; 2 — żwir; 3 — piasek; 4 — mułek; 5 — il; 6 — węgiel brunatny; 7 — torf;  $Q_{3g}$  — glina zlodowacenia środkowopolskiego;  $Q_{4g}$  — glina zlodowacenia bałtyckiego;  $Q_2$  — osady zastoiskowe;  $Pl_1$  — pliocen;  $M$  — miocen;  $K$  — kreda

Geological cross-section Kowal — Bachorzewo, after J. Łyczewska (1960), simplified

1 — boulder clay; 2 — gravel; 3 — sand; 4 — silt; 5 — clay; 6 — brown coal; 7 — peat;  $Q_{3g}$  — glacial till of Middle Polish Glaciation;  $Q_{4g}$  — glacial till of Baltic Glaciation;  $Q_2$  — ice-dammed deposits;  $Pl_1$  — Pliocene;  $M$  — Miocene;  $K$  — Cretaceous



Ryc. 3. Przekrój geologiczny Nakonowo-Kulin — wg B. Faferka (1960), uzupełniony elementami stopnia wodnego

1 — żwiry i piaski; 2 — piaski; 3 — pyły; 4 — gliny zwałowe; 5 — ropy warwowe; 6 — ropy pstre; 7 — mułki ilaste; 8 — węgiel brunatny; 9 — poziom nawiercenia i ustalenia zwierciadła; Q — czwartorzęd; Pl — pliocen; M — miocen; I — wody w utworach czwartorzędowych: Ia — wysoczyznowe, Ib — dolinne; II — wody w utworach pliocenicznych: IIa — w partiach stropowych, IIb — w izolowanych soczewkach, IIc — w partiach spągowych; III — wody w utworach miocenicznych: IIIa — w partiach górnych, IIIb — w partiach dolnych

Geological cross-section Nakonowo — Kulin, after B. Faferka (1960), supplemented by elements of the river cascade

1 — gravels and sands; 2 — sands; 3 — silts; 4 — boulder clays; 5 — varved clays; 6 — variegated clays; 7 — clayey silts; 8 — brown coal; 9 — horizon of penetrating and stabilizing water level; Q — Quaternary; Pl — Pliocene; M — Miocene; I — water horizons\* in Quaternary deposits: Ia — plateau waters, Ib — valley waters; II — water horizons in Pliocene deposits: IIa — upper-bed waters, IIb — waters in isolated lenticles, IIc — lower-bed waters; III — water horizons in Miocene sediments; IIIa — in upper strata, IIIb — in lower strata

z dwóch serii glin zwałowych, przedzielonych utworami międzylodowcowymi. Gлина górna (bałtycka) jest dwudzielna, przy czym poziom wyższy J. E. Mojski (1968) wiąże z fazą poznańską, a niższy z fazą leszczyńską. Gлина dolna, miejscami zniszczona, odpowiada zlodowaceniowi środkowopolskiemu (J. Lewiński 1924; S. Lencewicz 1927; J. Łyczewska 1960; M. D. Domosławska-Baraniecka, J. E. Mojski 1960; U. Urbaniak 1965).

W dolinie J. Łyczewska (1960) wyróżnia dwa poziomy glacialne, które mają odpowiedniki w zboczach wysoczyzn morenowych. Glinę zwałową występującą lokalnie na stropie neogenu określa jako środkowo-polską. W południowej części doliny, prawdopodobnie w interglacjale eemskim, uległa ona całkowitemu rozmyciu. Świadczą o tym piaski ze żwirami i głazami, leżące w spągu utworów plejstoceniowych. Utworzona w interglacjale eemskim dolina została wypełniona osadami zastoiskowymi. Zdaniem J. Łyczewskiej nawiązują one do zlodowacenia bałtyckiego, a utworzyły się w wyniku zatamowania wód przez nasuwający się lądolód. Utwory leżące wyżej zalicza autorka do zlodowacenia bałtyckiego. Najmłodsza gлина zwałowa zachowała się w różnych częściach doliny w postaci niewielkich płatów lub soczewek. Szczegółowo została opisana przez J. Lewińskiego (1924) w rejonie Włocławka, jako tzw. „morena dolinowa”. Należy zaznaczyć, że stratygrafia osadów plejstoceniowych w dolinie nie jest jeszcze dokładnie poznana. Niekiedy osady bałtyckie są podobnie wykształcone jak utwory interglacialne, co często uniemożliwia ich rozgraniczenie (J. E. Mojski 1968).

Przekrój geologiczny Nakonowo—Kulin (ryc. 3) przedstawia budowę zachodniej części badanego obszaru i warunki hydrogeologiczne na linii zapory czołowej. W licznych miejscach spąg czwartorzędu stanowią utwory mioceniowe. Pod korytem Wisły występuje głęboka forma kopalna wyerodowana w ilach plioceniowych. W budowie czwartorzędu biorą udział między innymi iły warwowe. Występują one w dolinie i wśród utworów międzymorenowych na Wysoczyźnie Kujawskiej. Iły warwowe tworzyły się w okresie między recesją przedostatniego i transgresją ostatniego lądolodu (J. Lewiński 1924; S. Lencewicz 1927; J. E. Mojski 1960; U. Urbaniak 1965). Zdaniem J. Lewińskiego różna głębokość zalegania i miąższość ilów jest jednym z dowodów na ruchy tektoniczne, które miały miejsce przed ostatnim zlodowaceniem. Natomiast S. Lencewicz przyjmuje epejrogeniczne pogłębianie się obszaru doliny Wisły podczas ostatniego zlodowacenia, czym tłumaczy wyższe zaleganie ilów na wysoczyźnie. M. D. Domosławska-Baraniecka i J. E. Mojski (1960) sądzą, że niektóre poziomy ilów warwowych mogą być różnowiekowe.

J. Adamiak i in. (1969) podają, że lokalizacja stopni wodnych na dolnej Wiśle, w tym zapory pod Włocławkiem, „... wynikała w zasadzie z przyjętych koncepcji technicznych i ekonomicznych, częściowo tylko uwzględniających warunki topograficzne. Przeprowadzone badania geologiczne nie odegrały większej roli w wyborze miejsca przegrody doliny,

lecz tylko miały za zadanie możliwie szczegółowe rozpoznanie utworów geologicznych w wyznaczonych miejscach” (s. 117). Zaporę ziemną zlokalizowano między prawym brzegiem i kępą w korycie Wisły. Jej podłoże stanowią piaszczysto-żwirowe utwory czwartorzędu. Jazem betonowym przegrodzono lewą odnogę Wisły. Fundamenty posadowiono częściowo na sfałdowanych utworach miocenijskich. Siłownię wodną (6 turbin) zbudowano w obrębie terasy zalewowej. Fundamenty założono w iłach pliocenijskich, których miąższość przekracza 20 m. Śluzę z awanportami górnym i dolnym zlokalizowano na terasie nadzalewowej niższej. Dolną część śluzy posadowiono w zaburzonych utworach pliocenijskich i miocenijskich.

Stosunki hydrogeologiczne na linii zapory są złożone. Wody w utworach czwartorzędowych B. Fąferek (1960) dzieli na wysoczyznowe i dolinne. Pierwsze mają zwierciadło lokalnie napięte, drugie — swobodne, hydraulicznie związane z Wisłą.

W formacji pliocenijskiej wody występują w przewarstwieniach lub soczewkach piaszczysto-pylastych. W stropowych partiach pliocenu łączą się często z wodami utworów czwartorzędowych. Niżej występują w izolowanych soczewkach, o różnym stopniu napięcia zwierciadła. Wody z dolnych partii pliocenu mają charakter subartezyjski.

W utworach miocenijskich można wyróżnić wody w górnych i dolnych partiach miocenu, przedzielone warstwą mułków ilastych.

Wody z górnych partii miocenu mają charakter subartezyjski. Z dala od Wisły ich poziom stabilizuje się na rzędnej zwierciadła wód czwartorzędowych. W miejscach zderzenia iłów pliocenijskich wody te łączą się ze sobą tworząc jeden kompleks wodonośny, drenowany przez rzekę. W miarę zbliżania się do Wisły poziomy piezometryczny wód miocenijskich i czwartorzędowych stopniowo obniżają się. Na linii koryta rzeki wodonośne utwory górnych partii miocenu wypełniają jakby dno głębokiej synkliny i są przykryte iłami oraz glinami. Dlatego w wierceniach wykonanych w dnie koryta wody z utworów miocenijskich mają niekiedy charakter artezyjski.

Wody z dolnych warstw miocenu, w obrębie terasy zalewowej, mają charakter artezyjski. Poziom statyczny układa się na wysokości zbliżonej do rzędnej piętrzenia. Wody te prawdopodobnie nie kontaktują się z wyżej leżącymi warstwami wodonośnymi. Duże ciśnienie świadczy o znacznym obszarze zasilania.

Przekrój hydrogeologiczny Papieżka—Wistka Szlachecka biegnie w odległości 0,2—1,3 km od Wisły, a linia przekroju pokrywa się z zaporą boczną. W podłożu występują silnie zaburzone utwory neogenu, tworząc wyniosłe antykliny i głębokie synkliny. Amplituda deformacji przekracza 20 m. W licznych miejscach pliocenu, a także stropowe partie miocenu uległy zniszczeniu. O zderzeniu tych ostatnich świadczy — zdaniem J. Lewińskiego (1924) — brak „podstawowego pokładu” węgla bru-

natnego, który zwykle występuje w stropie osadów miocénskich. Na prawym brzegu Wisły kierunek biegu antyklin zbliżony jest do NW—SE (J. Lewiński 1924; E. Rühle 1968; S. Skompski 1969; M. Banach 1973). J. Lewiński widzi jego przedłużenie na lewym brzegu rzeki, wiążąc antykliny w Łęgu i Modzerowie z wyniesieniami stropu neogenu w Szpetalu i Kulinie. Wydaje się, że przy braku gęstej siatki wierceń trudno stwierdzić, które antykliny i synkliny, występujące po obu stronach Wisły, stanowią jedną całość. Geneza zaburzeń neogenu dyskutowana jest od wielu lat. J. Lewiński (1924) i S. Lencewicz (1927) wiążą je ze zjawiskami natury tektonicznej (epejrogenicznej). Podobny pogląd reprezentuje J. Łyczewska (1959), chociaż nie neguje wpływu glacjaotektoniki. Zwolennikami tej ostatniej są: E. Rühle (1968) i S. Skompski (1969).

Omawiany przekrój potwierdza wniosek o łączeniu się wód z utworów czwartorzędowych i górnych partii miocenu (zdarcie łożysk plioceńskich, jednakowy poziom stabilizacji zwierciadła). O istnieniu takiego kontaktu świadczy również fakt, że wody te nie wykazują różnic w składzie chemicznym (C. Kolago i in. 1966). Zwierciadło wód układa się na głębokości 2—4 m. W miejscach przykrycia utworami mniej przepuszczalnymi występuje ona pod niewielkim napięciem.

Z przekroju wynika, że w podłożu zapory bocznej istnieją korzystne warunki dla infiltracji wód ze zbiornika. Duże spadki zwierciadła wód gruntowych w kierunku Wisły powodują, że trwały związek hydrauliczny z wodami gruntowymi posiada jedynie Zuzanka. Dna pozostałych cieków (rowów), przynajmniej okresowo, są zawieszane w stosunku do wód gruntowych. Cieki te niewątpliwie tracą wodę w miarę zbliżania się do Wisły.

### 3. LITOLOGIA I PRZEPUSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW

Przepuszczalność utworów jest czynnikiem decydującym o charakterze hydrograficznym i specyfice hydrologicznej zlewni. Znajomość litologii ogranicza się na ogół do rozpoznania utworów powierzchniowych, co często jest niewystarczające dla charakterystyki warunków zasilania wód gruntowych. Pod cienką warstwą przepuszczalnych utworów mogą występować przewarstwienia osadów o małej przepuszczalności. Utrudniają one wsiąkanie lub zatrzymują część infiltrujących wód tworząc lokalne, okresowo wysychające horyzonty wodonośne. Przepuszczalność utworów w pionowym profilu strefy aeracji ma więc zasadnicze znaczenie dla procesu zasilania właściwego poziomu wód gruntowych. Szczegółowe jej rozpoznanie uniemożliwia zwykle brak dostatecznie gęstej siatki wierceń. Mapy litologiczne dają zatem przybliżony obraz przepuszczalności wierzchniej warstwy gruntów.

Charakterystykę litologii powierzchniowej (tab. 1) przeprowadzono

Wykształcenie i przepuszczalność utworów powierzchniowych

Rodzaj utworów	„k” (m/dobę)	Powierzchnia (%)	Przepuszczal- ność	Powierzchnia (%)
Żwiry	390,0—7,0	0,5		
Piaski grubo- i średnioziarniste	42,0—4,5	5,3	duża	5,8
Piaski drobnoziarniste	22,0—1,7	81,4	średnia	81,4
Piaski pylaste	0,84—0,15	0,3		
Piaski gliniste, pyły, pyły piaszczyste	0,11—0,02	0,1		
Mioceńskie piaski z pyłem węglowym	—	—	mała	0,8
Namuły	—	0,4		
Gliny i ropy czwartorzędowe	—	0,1		
Iły plioceńskie	—	—	praktycznie	
Wody (jeziora)	—	1,5	żadna	1,6
Torfy	—	10,4	zróżnicowana	10,4
	razem	100,0	razem	100,0

Uwaga: Współczynniki filtracji „k” określone laboratoryjnie dla próbek gruntów z badanego obszaru J. Adamiaka i in. (1966).

na podstawie map geologicznych 1 : 25 000 (J. Adamiak i in. 1966). Obejmują one obszar między korytem Wisły a linią wyznaczoną przez jeziora: Wikaryjskie—Telążna—Łąkie—Mrokowo. Do opracowania litologii południowej części doliny wykorzystano mapy litologiczne 1 : 50 000, ark. Dobrzyń (G. Kaczorowska, A. Lipnicka 1962b) i ark. Włocławek (A. Zwoliński 1963b) oraz mapę glebowo-rolniczą 1 : 25 000 (1966). Podział litologiczny gruntów przyjęto według J. Adamiaka i in. (1966).

Utwory o dużej przepuszczalności występują niewielkimi płatami, głównie na terasie III i IV. Duża rozpiętość współczynników filtracji wynika ze zróżnicowanego udziału frakcji drobniejszych.

Dominują utwory średnioprzepuszczalne, wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych. Występują one na całym obszarze doliny, tworząc zwartą powierzchnię w rejonach zwydmionych. Cechuje je znaczna rozpiętość współczynników filtracji, których maksymalne wartości mieszczą się w klasie gruntów o dużej przepuszczalności. Średnia wartość współczynnika filtracji jest jednak około dwukrotnie mniejsza w porównaniu z piaskami o frakcji grubszej.

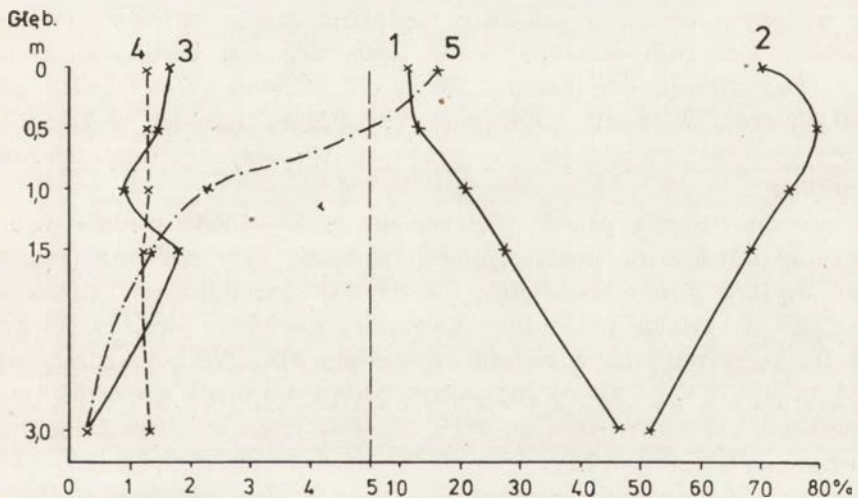
Utwory o małej przepuszczalności („k” poniżej 1 m/ dobę) występują niewielkimi płatami, głównie w pobliżu koryta Wisły (mady).

Do utworów praktycznie nieprzepuszczalnych, oprócz glin i ilów, zaliczyłem powierzchnie jezior. Wprawdzie nie są one gruntem, lecz powierzchnia wodna ma cechy zbliżone do warstwy nieprzepuszczalnej. W obydwu przypadkach brak wsiąkania, a wody odpływają zgodnie ze spadkiem lub parują.

Znaczny procent utworów powierzchniowych stanowią torfy, charakteryzujące się zmienną przepuszczalnością. Występują głównie w pobliżu jezior oraz w podmokłych obniżeniach terenowych.

Charakterystykę zmian przepuszczalności gruntów w pionowym profilu strefy aeracji przeprowadzono w oparciu o *Mapę geologiczno-inżynierską dla celów melioracji 1 : 25 000* (J. Adamiak i in. 1966), wykonaną w cięciach: 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m i 3,0 m. Obejmuje ona północną część badanego obszaru (98,6 km<sup>2</sup>). Zwierciadło wód gruntowych układa się tutaj na głębokości 1,5—3,0 m. Powierzchnie poszczególnych gruntów splanimetrowano na różnych głębokościach, a następnie — zgodnie z tabelą 1 — określono stopień ich przepuszczalności. Dla utworów powierzchniowych, nie objętych wspomnianą mapą, wykonano oddzielne obliczenia.

Warunki infiltracji są różne w warstwach przypowierzchniowych i głębszych (ryc. 4). Grunty o dużej i średniej przepuszczalności domi-



Ryc. 4. Procentowy udział poszczególnych klas przepuszczalności gruntów w pionowym profilu osadów

Przepuszczalność: 1 — duża; 2 — średnia; 3 — mała; 4 — praktycznie żadna; 5 — zróżnicowana

Percent share of particular grades of ground permeability in the vertical profile of the deposits

Permeability: 1 — strong; 2 — medium; 3 — small; 4 — practically nil; 5 — diversified

nują nie tylko na powierzchni terenu, ale również w pionowym profilu osadów. Na głębokości 3 m stanowią łącznie 98% wszystkich utworów. Torfy (przepuszczalność zróżnicowana) mają niewielką miąższość. Ich udział spada z 16% na powierzchni terenu, do 0,3% na głębokości 3 m. Utwory o przepuszczalności małej i praktycznie żadnej są słabo rozprze-strzenione w strefie aeracji.

Ogólnie można stwierdzić, że przepuszczalność gruntów rośnie ze wzrostem głębokości. W warstwach leżących niżej warunki infiltracji wód opadowych i filtracji wód gruntowych są korzystniejsze.



## 4. OPADY I TEMPERATURA POWIETRZA

W podrozdziale omawiam jedynie roczne sumy opadów oraz średnie miesięczne i roczne temperatury powietrza. Wpływ sezonowej zmienności opadów, jak również ich formy, na warunki hydrologiczne badanego obszaru uwzględniam w dalszych rozdziałach pracy.

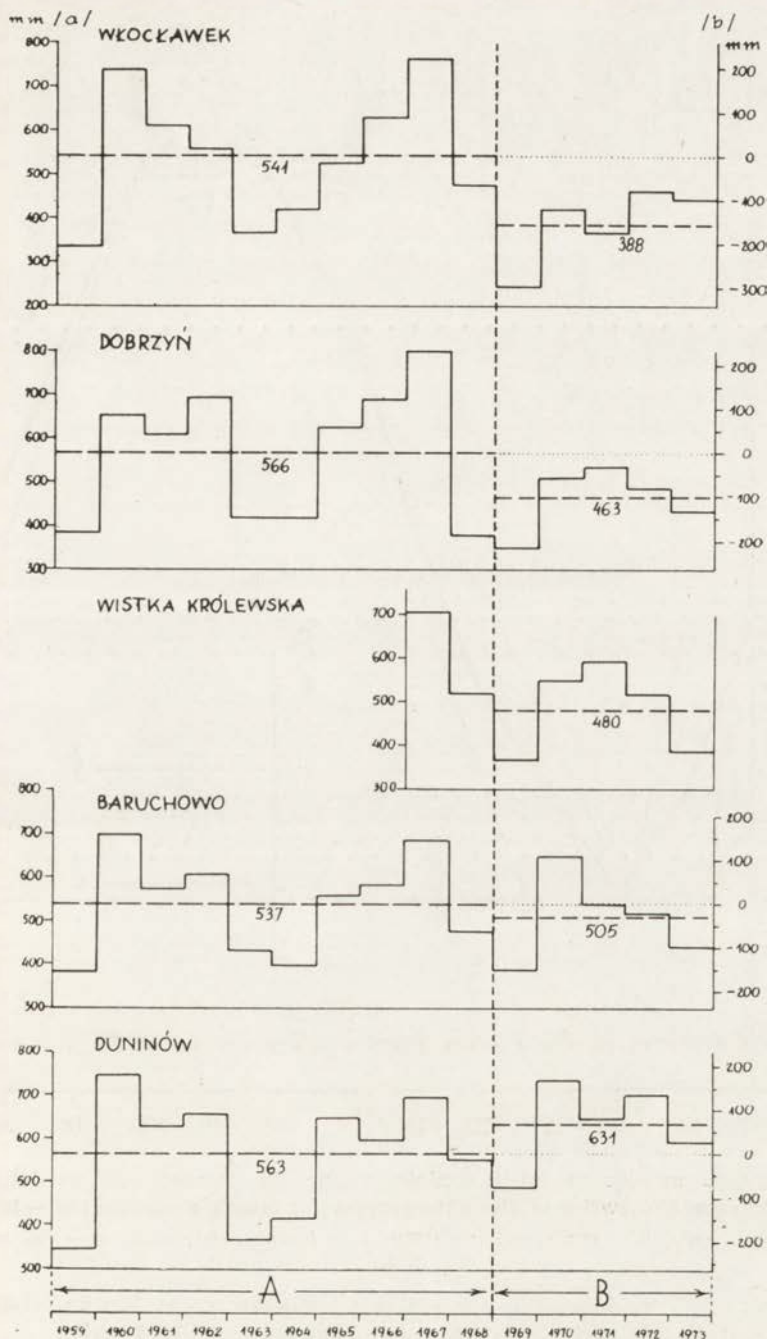
Opady. Istotnym warunkiem prawidłowej oceny zmian hydrologicznych na terenach przyzbiornikowych jest analiza opadów atmosferycznych w latach przed i po spiętrzeniu. Powinna być ona oparta na danych ze wszystkich istniejących w pobliżu stacji opadowych, ponieważ nawet na niewielkich obszarach sumy opadów są często zróżnicowane. Dlatego lokalne podniesienie poziomu wód gruntowych może być mylnie wiązane z oddziaływaniem spiętrzenia.

Na badanym obszarze znajduje się jedna stacja opadowa (Wistka Królewska), lecz rozmieszczenie stacji sąsiednich jest bardzo korzystne (ryc. 1). Ograniczają one badany teren od zachodu (Włocławek), północy (Dobrzyń), wschodu (Duninów) i południa (Baruchowo). Stacja w Dobrzyniu usytuowana jest na krawędzi wysoczyzny, inne położone są w dolinie.

W okresie 10-lecia przed spiętrzeniem (1959—1968) średnie wieloletnie sumy opadów na poszczególnych stacjach były zbliżone (ryc. 5). W suchym 1959 r. notowano opady o 29—39%, średnio 34% niższe od normalnych. W latach 1963—1964 wystąpiły niedobory opadów w granicach 18—35% wartości wieloletnich, średnio 27%. W najbardziej wilgotnych latach 1960 i 1967 roczne sumy opadów wynosiły ponad 650 mm, a nadwyżki — 15—41%, średnio 31%. W 1967 r. na stacji w Dobrzyniu zanotowano aż 800 mm opadu.

Średnie sumy opadów z okresu w trakcie i po spiętrzeniu (1969—1973) wykazywały znaczne zróżnicowanie. W stosunku do średnich sum z lat przed spiętrzeniem niedobory opadów wystąpiły na stacjach: Włocławek — średnio 28%, Dobrzyń — 18% i Baruchowo — 6%. W Duninowie notowano w tym czasie nadwyżki opadów — średnio 12%, a lata 1970 i 1972 należały do bardzo wilgotnych (31 i 24% powyżej normy). Okres napełniania zbiornika przypadł na suchy rok 1969, w którym opady były średnio 34% niższe od wartości przeciętnych. Szczególnie niski opad (245 mm) zanotowano we Włocławku (55% poniżej normy). Stosunkowo suchy, z wyjątkiem stacji w Duninowie, był 1973 r. (ok. 20% poniżej normy).

Z przedstawionych danych wynika, że w zachodniej części obszaru badań (Włocławek) przy normalnych opadach, a zwłaszcza w latach mokrych, należy liczyć się z podniesieniem poziomu wód gruntowych i zwiększeniem przepływu w ciekach. Dotyczy to w mniejszym stopniu części centralnej (Dobrzyń, Wistka Królewska, Baruchowo), gdzie opady po spiętrzeniu były bardziej zbliżone do przeciętnych. W części wschodniej (Duninów) warunki wodne w okresie po spiętrzeniu, wyni-

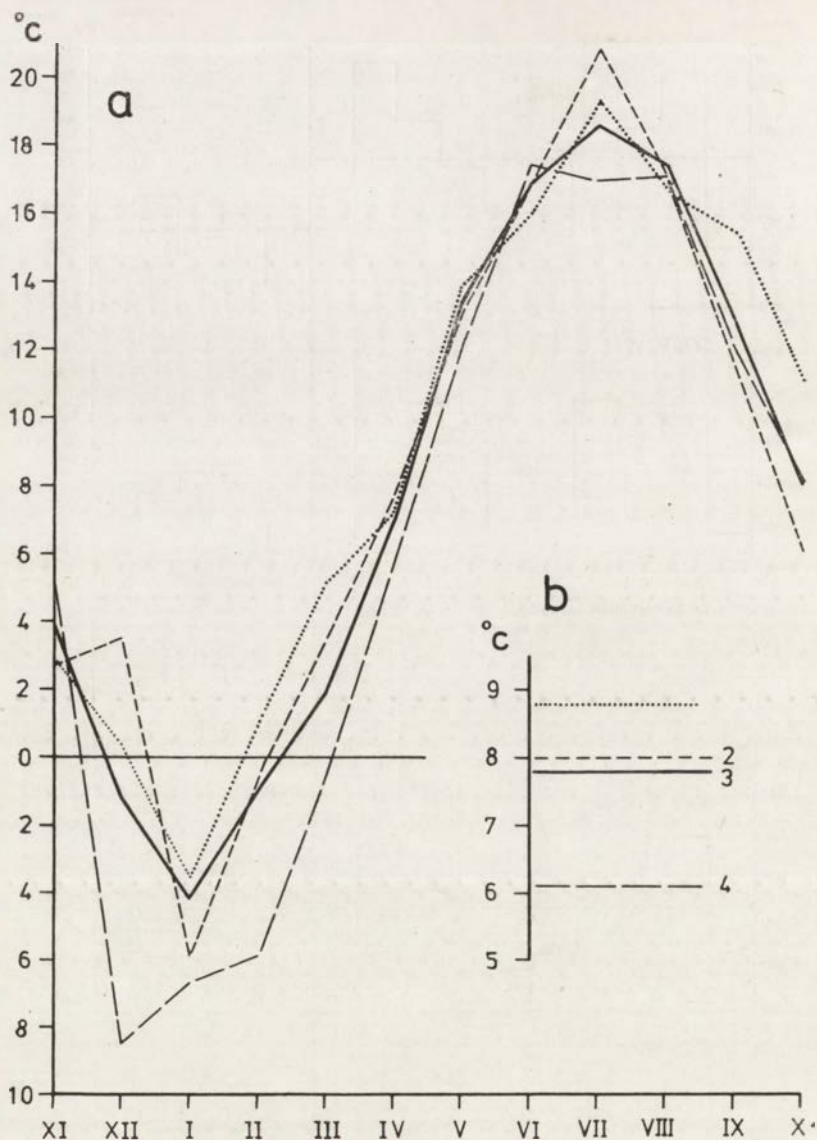


Ryc. 5. Roczne sumy opadów atmosferycznych (a) za okres 15-letni (1959—1973) i odchylenia (b) od średnich wartości 10-letnich (1959—1968)

A — okres przed spiętrzeniem; B — okres w trakcie i po spiętrzeniu (lata hydrologiczne)

Annual sums of atmospheric precipitation (a) for the 15-year period from 1959 to 1973, and deviations (b) from mean 10-year values in the 1959—1968 period

A — period prior to ponding; B — period during and after ponding (hydrological years).



Ryc. 6. Średnie miesięczne (a) i średnie roczne (b) temperatury powietrza na stacji Wistka Królewska w charakterystycznych latach z okresu 1967—1973

1 — rok ciepły (1967); 2 — rok przeciętny (1972); 3 — średnia wieloletnia; 4 — rok chłodny (1970)

Mean monthly (a) and mean annual (b) air temperatures at Wistka Królewska station during characteristic years from the 1967—1973 period

1 — warm year (1967); 2 — average year (1972); 3 — mean long-term temperature; 4 — cool year (1970)

kające z sytuacji opadowej, należy uznać za charakterystyczne dla lat mokrych. Przy opadach w granicach normy stany wód gruntowych i powierzchniowych mogą ulec obniżeniu.

Temperatura powietrza wywiera duży wpływ na przebieg procesów hydrologicznych. W okresach zimowych decyduje o charakterze opadów i stopniu przepuszczalności gruntu (przemarznięcie), regulując proporcje między wielkością retencji powierzchniowej (śnieg, lód) a intensywnością zasilania wód gruntowych i powierzchniowych. Wpływ zmian temperatury na procesy hydrologiczne jest najbardziej widoczny w okresach wiosennych. Wysokość i przebieg wezbrań oraz czas ich trwania zależą nie tylko od ilości śniegu, ale w znacznym stopniu od intensywności jego topnienia.

Średnie miesięczne i roczne temperatury powietrza w latach 1967—1973 na stacji meteorologicznej w Wistce Królewskiej ilustruje rycina 6. W przekroju wieloletnim najzimniejszym miesiącem był styczeń ( $-4,2^{\circ}\text{C}$ ), najcieplejszym — lipiec ( $18,6^{\circ}\text{C}$ ). Średnie temperatury stycznia wahały się od  $-1,8^{\circ}\text{C}$  (1973 r.) do  $-6,7^{\circ}\text{C}$  (1970 r.), a lipca — od  $17,0^{\circ}\text{C}$  (1970 r.) do  $20,8^{\circ}\text{C}$  (1972 r.). W niektórych latach minimalne wartości średnich miesięcznych notowano w grudniu (1969 r.), maksymalne — w czerwcu (1968 r. i 1970 r.) lub w sierpniu (1971 r.). Ujemne średnie miesięczne pojawiały się w okresie od grudnia do marca, ale tylko w styczniu występowały corocznie. Nachłodniejszy był rok hydrologiczny 1970 ( $6,1^{\circ}\text{C}$ ), najcieplejszy — 1967 ( $8,8^{\circ}\text{C}$ ). Średnia temperatura z wielolecia wynosiła  $7,8^{\circ}\text{C}$ .

## II. WODY POWIERZCHNIOWE

### 1. ROZMIESZCZENIE SIECI WODNEJ

Rozpatrywany odcinek doliny Wisły ma długość około 25 km, a szerokość 12—16 km. Wyraźnie zaznaczają się trzy równoleżnikowe strefy, o odmiennym charakterze hydrograficznym: północna, środkowa i południowa.

Pas północny, przyziornikowy cechuje dobrze rozwinięta sieć wodna. Ze względu na dużą przepuszczalność utworów występowanie i charakter cieków są uwarunkowane głębokością do zwierciadła wód gruntowych i jej zmianami w czasie. Tam, gdzie strefa aeracji nie jest zdolna zretencjonować wód opadowych i roztopowych następuje okresowe podtopienie lub zalanie gruntów. Dotyczy to głównie obniżen terenowych, w których zwierciadło wód gruntowych układa się przez cały rok na niewielkiej głębokości. W wyniku melioracji większość zagłębień włączono do sieci odwodnienia powierzchniowego. Rowy posiadają charakter okresowy. Występowanie nielicznych cieków stałych jest uwarunkowane wcięciem koryt poniżej minimalnych stanów wód gruntowych lub zasilaniem wodami z jezior. Jeziora zajmują dna rynien glacialnych i są odwadniane przez niewielkie cieki: Rybnicę, Zuzankę i Rudę. W wyniku regulacji ich pierwotne koryta wyprostowano na wielu odcinkach.

Pas środkowy obejmuje zwydmioną część doliny. Wskutek głębszego występowania wód gruntowych charakteryzuje się on brakiem cieków, nawet okresowych. W zagłębieniach terenu lokalnie występują mokradła i jeziora. Pod względem hydrograficznym jest to zespół zlewni powierzchniowo bezodpływowych.

Pas południowy stanowi dolina Rakutówki. Jej dno zajmują zmeliorowane łąki. Rzeka, a właściwie kanał melioracyjny, ma charakter cieku sporadycznie wysychającego. Wody napływające z wysoczyzny, Rakutówka odprowadza do Wisły drogą okrężną — za pośrednictwem Lubieńki i Zgłowiączki. Na wschód od Jez. Rakutowskiego biegnie rynna glacialna, wypełniona jeziorami. Zachodni odcinek rynny jest odwadniany powierzchniowo do Rakutówki, środkowy zajmują jeziora bezodpływowe, a wschodni należy do dorzecza Skrwy.

Rozmieszczenie sieci wodnej wskazuje, że główne kierunki odwodnienia powierzchniowego są zawarte w sektorze północno-zachodnim, zgodnym z przebiegiem rynien i ogólnym spadkiem dna doliny.

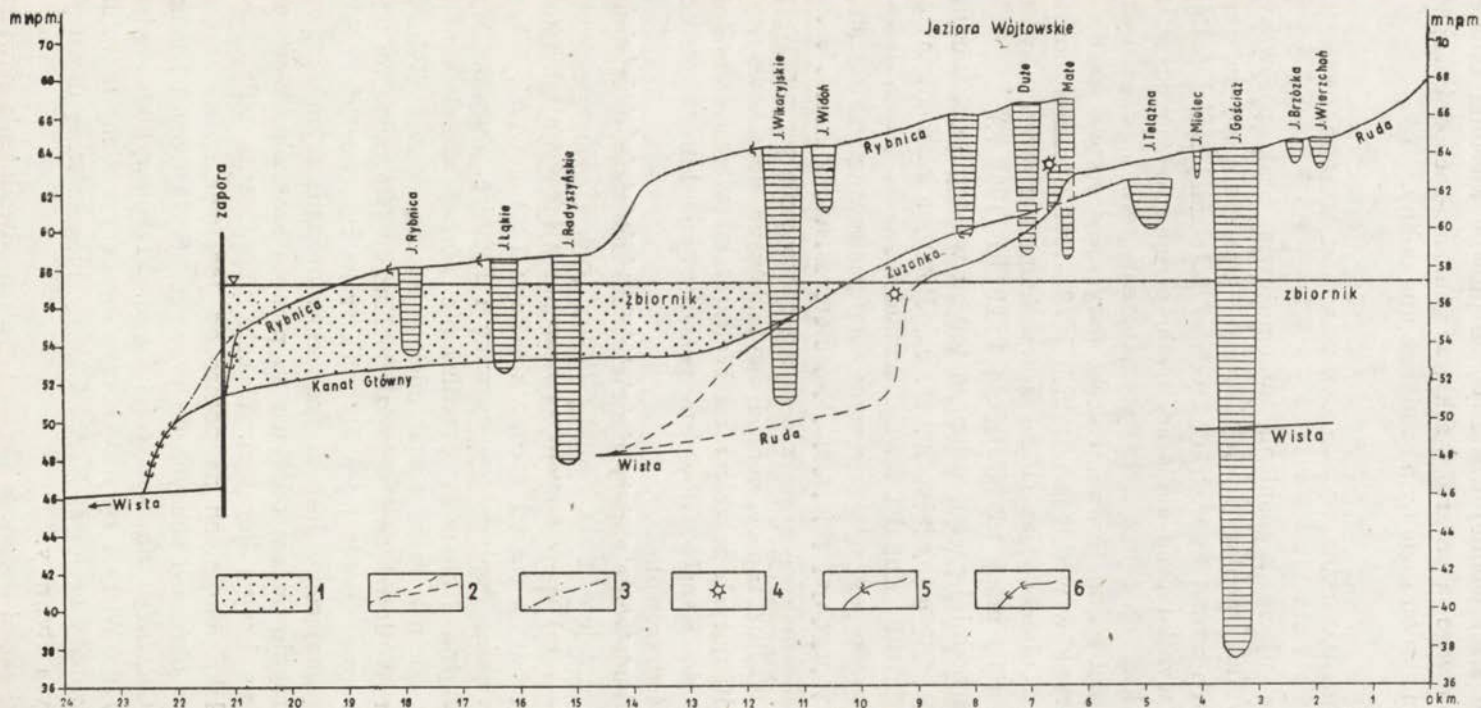
## 2. ZMIANY HYDROGRAFICZNE WYWOŁANE PRACAMI MELIORACYJNYMI

Chronologiczne ujęcie zagadnienia uniemożliwia brak porównawczych materiałów dokumentacyjnych. Dlatego ograniczam się do omówienia najnowszych zmian hydrograficznych w północnej części doliny. Nastąpiły one w wyniku prac melioracyjnych, przeprowadzonych w latach 1963—1969, których celem było zabezpieczenie terenu przed ujemnymi skutkami spiętrzenia. Pewne wnioski dotyczące wpływu melioracji na zmianę warunków wodnych w latach 1929—1963 nasunęło porównanie obserwacji S. Lencewicza (1929) z wynikami kartowania hydrograficznego (1962 r.) i mapą topograficzną 1 : 25 000 (1963 r.).

W północno-zachodniej części badanego terenu występuje obszar depresyjny (14 km<sup>2</sup>), chroniony zaporą boczną. Głównym elementem hydrograficznym jest tutaj Kanał Główny, wybudowany w latach 1963—1967. Zadaniem kanału jest przechwycenie wód napływających od strony doliny i infiltrujących ze zbiornika. Parametry kanału dobrano w taki sposób, aby maksymalnie ograniczyć zasięg podtopienia terenu. W latach 1968—1969 wzdłuż zapory bocznej wybudowano dodatkową linię drenażu wód infiltrujących ze zbiornika. Wody z rowów przywałowych są odprowadzane do Kanału Głównego grawitacyjnie lub za pomocą przepompowni (Modzerowo).

W wyniku wybudowania zapory bocznej, cieki uchodzące pierwotnie do Wisły zostały przejęte przez Kanał Główny (ryc. 7). Znaczne wcięcie kanału (do 3—4 m) spowodowało zawieszenie ujściowych odcinków cieków. Zabezpieczono je przed erozją korekcjami progowymi. Kanał przyjmuje dwa większe dopływy — Zuzankę i Rybnicę. Zuzanka wypływa z jez. Telążna i stanowi przedłużenie górnej części kanału. Dawny, ujściowy odcinek rzeki został odcięty zaporą boczną. Rybnica wypływa z Jezior Wójtowskich i uchodzi do Kanału Głównego na wysokości zapory czołowej. Poniżej jez. Rybnica rzeka ma charakter cieku sporadycznie wysychającego. Jest to spowodowane sztucznym rozdwojeniem koryta i regulowaniem odpływu za pomocą zastawki. Właściwy odpływ odbywa się lewym korytem. W celu poprawienia wilgotności zmeliorowanych łąk, położonych na północ od Józefowa, wody Rybnicy kierowane są w okresach suchych do prawego koryta (rowu) i uchodzą do Kanału Głównego na wysokości Łęgu. Przed wybudowaniem kanału odpływały do Wisły i były wykorzystywane przez młyn wodny w Łęgu. Poniżej zapory czołowej Kanał Główny biegnie trasą dawnego, pogłębionego koryta Rybnicy.

We wschodniej części badanego obszaru system odwodnienia powierz-



Ryc. 7. Profile podłużne cieków i ich stosunek do poziomu wód Wisły przed i po spiętrzeniu

1 — tereny depresyjne; 2 — zalane odcinki cieków; 3 — dolny odcinek Rybnicy przed wybudowaniem Kanału Głównego; 4 — nieczynne młyny wodne; 5 — zastawki; 6 — korekcje progowe

Long profiles of creeks and their relation to the Vistula water level prior to and after ponding

1 — depressed areas; 2 — flooded creek reaches; 3 — lower reach of Rybnica prior to construction of Mean Drainage Channel; 4 — inactive water mills; 5 — sluice gates; 6 — step corrections

chniowego nie uległ większym zmianom. Głównym ciekim jest Ruda, wypływająca z mokradeł położonych na wschód od jez. Gościąż. W środkowym biegu Rudy nieczynny obecnie młyn spiętrza wodę o około 2 m, tworząc wydłużone rozlewisko. Do 1968 r. stary młyn istniał również w Dobiegniewie.

Wybudowanie Kanału Głównego doprowadziło do znacznego skrócenia biegu cieków, przy czym ich spadki uległy na ogół niewielkiemu złagodzeniu (tab. 2). Najmniejszy spadek ma Kanał Główny — średnio

Tabela 2

Charakterystyka głównych cieków

Nazwa ciek (odcinek)	Długość (km)	Źródło (m npm.)	Ujście (m npm.)	Spad (m)	Spadek (‰)
Kanał Główny:	11,7	55,4	46,4	9,0	0,77
do ujścia Rybnicy	10,0	55,4	51,4	4,0	0,40
poniżej Rybnicy	1,7	51,4	46,4	5,0	2,94
Zuzanka:					
bieg dawny	9,9	62,7	48,3	14,4	1,45
bieg obecny	6,7	62,7	55,4	7,3	1,09
koryto nieczynne	3,2	55,4	48,3	7,1	2,22
Rybnica:					
bieg dawny	16,9	66,9	46,4	20,5	1,21
bieg obecny	15,2	66,9	51,4	15,5	1,02
Ruda:					
bieg dawny	14,5	68,0	48,3	19,7	1,36
bieg obecny	9,0	68,0	57,3	10,7	1,19
odcinek zalany	5,5	57,3	48,3	9,0	1,63

0,8‰, a do ujścia Rybnicy zaledwie 0,4‰. Spadki pozostałych cieków wahają się od 1,0‰ (Rybnica) do 1,2‰ (Ruda).

Jeziora odwadniane przez Zuzankę, Rybnicę i Rudę są na ogół płytkie (tab. 3). Wyjątek stanowi jez. Gościąż, którego głęboczek schodzi około 12 m poniżej zwierciadła wód Wisły. Jest to najgłębsze jezioro w zachodniej części Kotliny Płockiej (25,8 m).

Z tabeli 3 wynika, że w okresie około 35 lat powierzchnia jezior w zlewni Rudy zmniejszyła się o 13,3%, Rybnicy — 17,1%, Zuzanki — 24,3%. W zlewniach intensywniej zmeliorowanych proces zanikania jezior postępował najszybciej. Wynika to z włączenia do sieci rzecznej niektórych jezior pozbawionych odpływu powierzchniowego. Przykładem są następujące jeziora: Czarne, Dziemionek i Wójtowskie Małe — w zlewni Rybnicy, oraz Chrapka — w zlewni Zuzanki, znaczone przez S. Lencewicza (1929) jako bezodpływowe. To ostatnie w wyniku połączenia rowem z Zuzanką zmniejszyło swoją powierzchnię o 66,1%.



Zestawienie jezior (powyżej 1 ha)

Nazwa jeziora	Powierzchnia (ha)		Stopień zanikania (%)	Głębokość maks. (m)	Pojemność (tys. m <sup>3</sup> )	Uwagi
	w latach 1921—1928	około 1963 r.				
<b>Zlewnia Rybnicy:</b>						
Wikaryjskie	65,9	58,8	10,8	13,6	2750	Powierzchnie w latach 1921—1928 oraz głębokości i pojemności jezior — wg S. Lencewicza (1929). Dodatkowo obliczono powierzchnie z mapy topogr. 1 : 25 000, wyd. 1963 r.
Radyszyńskie	31,1	24,6	20,9	10,9	1456	
Wójtowskie Duże	20,6	18,1	12,1	8,0	633	
Widoń	13,8	8,1	41,3	3,6	184	
Wójtowskie	10,6	7,5	29,2	6,5	334	
Wójtowskie Małe	9,2	7,8	15,2	8,5	356	
Rybnica	7,6	5,3	30,3	4,6	173	
Łąkie (na NW od Radyszyńskiego)	5,8	5,3	8,6	6,0	160	
Jedwabno	3,9	3,8	2,6	2,2	45	
Czarne (na SW od Radyszyńskiego)	3,0	2,6	13,3	4,0	81	
Dziemionek (na W od jez. Rybnica)	2,4	2,3	4,2	—	55	
<b>razem</b>	<b>173,9</b>	<b>144,2</b>	<b>17,1</b>	<b>—</b>	<b>6227</b>	
<b>Zlewnia Zuzanki:</b>						
Telążna	25,6	22,8	10,9	2,7	342	bezodpływ.
Łąkie	14,8	9,9	33,1	2,8	340	
Chrapka	5,6	1,9	66,1	1,0	65	bezodpływ.
Święte	4,1	4,0	2,4	4,6	83	
Dzielno	2,9	1,5	48,3	7,2	83	
<b>razem</b>	<b>53,0</b>	<b>40,1</b>	<b>24,3</b>	<b>—</b>	<b>913</b>	
<b>Zlewnia Rudy:</b>						
Gościąż	46,9	44,4	5,3	25,8	2702	bezodpływ.
Skrzyneckie	29,2	23,7	18,8	10,3	1771	
Wierzchoń	15,3	14,0	8,5	1,7	131	
Mielec	6,9	3,5	49,3	1,5	39	
Brzózka (na SW od jez. Wierzchoń)	3,1	2,4	22,6	1,3	18	
<b>razem</b>	<b>101,4</b>	<b>88,0</b>	<b>13,2</b>	<b>—</b>	<b>4661</b>	
<b>Łącznie</b>	<b>328,3</b>	<b>272,3</b>	<b>17,1</b>	<b>—</b>	<b>11801</b>	

W dolinie Rakutowki melioracje polegały na wyprostowaniu i pogłębieniu koryta rzeki oraz odwodnieniu rozległych obniżen terenowych. Badania S. Lencewicza (1929) wykazały, że Jez. Rakutowskie oraz położone w sąsiedztwie jeziora: Łubiechowskie, Krzewenckie i Goreńskie miały w latach dwudziestych identyczne rzędne, a zwierciadło wód gruntowych w ich otoczeniu układało się na jednakowym poziomie. W wyniku melioracji i likwidacji młyna wodnego w Przyborowie poziom Jez. Rakutowskiego uległ obniżeniu, a jego powierzchnia znacznemu zmniej-

szeniu, o czym świadczy szeroki pas trzęsawisk i bagien. Skanalizowanie Rakutówki ułatwiło odpływ wód z doliny, co spowodowało obniżenie poziomu wód gruntowych i zmianę charakteru rzeki. Poniżej Jez. Rakutowskiego A. Zwoliński (1963a, 1967) znaczy ją jako ciek sporadycznie wysychający.

Z mapy topograficznej wynika, że część wód z Jez. Rakutowskiego (72,3 m. n.p.m.) powinna odpływać rowem do Jez. Łubiechowskiego (72,1 m n.p.m.) i dalej do Jez. Krzewenckiego (71,6 m n.p.m.). To ostatnie byłoby więc jeziorem bezodpływowym. Przy znacznej powierzchni zlewni jego poziom wydawał się proporcjonalnie niski w porównaniu z jeziorami sąsiednimi. Podczas badań terenowych stwierdzono, że istnieje wyraźny odpływ wód z Jez. Krzewenckiego do Jez. Łubiechowskiego. Wody tych jezior, przynajmniej okresowo, zasilają dorzecze Rakutówki. Od chwili wydania mapy topograficznej (1963 r.) upłynęło ponad 10 lat. Prowadzone w tym czasie prace melioracyjne spowodowały niewątpliwie dalsze obniżenie poziomu Jez. Rakutowskiego. W konsekwencji Jez. Łubiechowskie i Jez. Krzewenckie zostały włączone do dorzecza Rakutówki.

Dzięki przedstawionym faktom stwierdzono, że melioracje i regulacje cieków spowodowały nadmierne odwodnienie niektórych obszarów doliny Wisły. W efekcie obniżył się poziom wód gruntowych i jezior, grunty uległy lokalnie przesuszeniu, a niektóre cieki stałe przekształciły się w sporadycznie wysychające i okresowe. Liczne zastawki na ciekach nie spełniają swojego zadania. Urządzenia te są zdewastowane, bądź niewłaściwie wykorzystywane.

### 3. OBSZARY BEZODPŁYWOWE

W wyniku dobrej przepuszczalności gruntów znaczny procent powierzchni doliny pozbawiony jest cieków. Obszarem bezodpływowym — według „Instrukcji opracowania mapy hydrograficznej Polski” (1964) — nazywamy „...zespół zlewni zamkniętych zagłębień, nie posiadających powierzchniowego odpływu wód opadowych. W zagłębieniach tych zachodzi wyłącznie proces wsiąkania i parowania” (s. 20).

Wyznaczanie zlewni zagłębień bezodpływowych jest oparte na rysunku poziomicowym mapy topograficznej i niektórych elementach hydrografii terenu (drobne jeziorka, podmokłości), świadczących o istnieniu wklęsłych form rzeźby. Wielkość i ilość wydzielonych zlewni bezodpływowych zależy więc od cięcia mapy. Wiadomo, że nawet na płaskich powierzchniach terasowych istnieją zagłębienia, których zlewnie — zgodnie z podaną definicją — należałoby zaliczyć do bezodpływowych. Niekiedy występują one nawet w sąsiedztwie cieków, tzn. nie tylko w strefach wododziałowych. Przy cięciu poziomicowym 2,5 m wydzielenie ich

jest niemożliwe. Można więc stwierdzić, że każda powierzchnia mniej lub bardziej płaska, pozbawiona cieków stanowi obszar bezodpływowy.

Obszary bezodpływowe mogą występować na terenach nieprzepuszczalnych. W pierwszym wypadku mamy do czynienia z bezodpływowością pełną, w której cały opad zostaje rozchodowany na parowanie z powierzchni terenu, transpirację i intercepcję. W drugim — wody opadowe wsiąkając w podłoże zasilają podziemnie sieć rzeczną. Jest to tzw. bezodpływowość niepełna (powierzchniowa), szeroko rozpowszechniona na badanym odcinku doliny.

Powstaje pytanie, czy na obszarach przepuszczalnych jest uzasadnione wydzielenie zlewni bezodpływowych, traktowanych jako powierzchnie wklęsłe. A. Kowalska (1968) na podstawie analizy współczynników filtracji piasków wydmych i porównania ich wartości z natężeniem deszczów nawalnych dochodzi do wniosku, że „...w warunkach klimatycznych Nizy ten mały stopień przepuszczalności wystarcza na to, aby cała woda z każdego nawalnego opadu wsiąkała w wydmy nie pozostawiając żadnych nadwyżek na spływ po powierzchni” (s. 84). Autorka podkreśla, że piaski wydmy w ocenach hydrogeologicznych są określane jako przepuszczalne w małym stopniu, chociaż w rzeczywistości ich przepuszczalność jest większa. Wynika to z korzystniejszej struktury gleb pod lasami, zwykle rosnącymi na wydmach. Na badanym obszarze przepuszczalność piasków wydmych i terasowych jest podobna. Wobec tego, przy odpowiedniej głębokości występowania wód gruntowych, również na terasach pradolinnych brak jest nadwyżek na spływ po powierzchni. Można więc stwierdzić, że na obszarach przepuszczalnych, w warunkach klimatycznych Nizy Środkowopolskiego, wydzielenie zlewni zamkniętych obniżen terenowych nie ma większego znaczenia hydrologicznego. Z samego pojęcia „obszar przepuszczalny” wynika jego bezodpływowość powierzchniowa, niezależnie od tego czy jest to forma wklęsła, płaska lub wypukła (wydmy). Istotny dla obiegu wody jest tylko charakter hydrograficzny tych powierzchni, a zwłaszcza miąższość strefy aeracji, udział jezior i mokradeł oraz sposób użytkowania gruntów. Czynniki te regulują proporcje między parowaniem i wsiąkaniem, decydując o wielkości zasilania wód gruntowych.

#### 4. DZIAŁY WODNE

Powierzchniowe działy wodne są wyznaczane na podstawie analizy rzeźby i sieci wód powierzchniowych. Na terenach przepuszczalnych, przy płytkim występowaniu zwierciadła wód gruntowych i gęstej sieci cieków, ustalenie wielkości zlewni nie sprawia trudności, a rzutem pionowym działów powierzchniowych są na ogół działy podziemne (hydrologiczne). Na przepuszczalnych powierzchniach bezodpływowych, uwarunkowa-

nych głębokim zaleganiem wód gruntowych, wyznaczenie hydrologicznych działów wodnych jest zadaniem skomplikowanym. Dotyczy to głównie wielkich pól wydmywanych położonych w pradolinach. Wykreślenie map hydroizohips jest tu zwykle niemożliwe ze względu na brak dostatecznej ilości studni. Tym większego znaczenia nabierają kryteria pośrednie oparte na założeniu, że zwierciadło wód gruntowych naśladuje rzeźbę terenu. Według „Instrukcji opracowania mapy hydrograficznej Polski” (1964) są one następujące: „a) Gdy dział ograniczający powierzchnię bezodpływową jest wyraźnie nachylony — dział hydrologiczny przechodzi po wyższym jego odgałęzieniu... b) Gdy obszar bezodpływowy.. stanowi jako całość wypukłą formę terenową, dział hydrologiczny prowadzimy po kulminacjach... c) Gdy występuje pojedyncza zlewnia bezodpływowa o równo wzniesionym dziale — wówczas działem hydrologicznym dzielimy ją mechanicznie na dwie części” (s. 22—23).

Na przykładzie badanego kompleksu wydmyowego można wykazać, że wydzielenie działów hydrologicznych podanymi metodami nie zawsze jest słuszne. Już H. Więckowska (1952) zauważyła, że kryterium ostatnie jest mało dokładne. Moim zdaniem nie znajduje ono uzasadnienia, chociaż podziemne działy wodne często biegną pod zamkniętymi obniżeniami terenu.

Obszar wydmy jako całość stanowi wypukłą formę terenową. Mogłoby się więc wydawać, że dział hydrologiczny należy prowadzić kulminacjami wydmy. Byłoby to usprawiedliwione tym bardziej, że dział bezodpływowy nie wykazuje wyraźnego nachylenia. Wewnątrz obszaru wydmyowego występują jednak fragmenty poziomów terasowych, które konsekwentnie obniżają się w kierunku północno-zachodnim. Podobne rzędne działu bezodpływowego wynikają z różnych wysokości względnej wałów wydmywanych. Wały na północnym odcinku działu są wyższe, na południowym — niższe. Wyraźny spadek terenu pozwala sądzić, że dział hydrologiczny biegnie południowym skrajem pola wydmyowego. Przemawiają za tym znaczne różnice poziomu jezior na przeciwległych krańcach obszaru wydmyowego. Pomiędzy Jez. Rakutowskim a jez. Telązna (odległość 4,5 km) dochodzą one do 10 m, co świadczy o znacznym spadku zwierciadła wód gruntowych.

Przybliżonym wskaźnikiem poziomu występowania wód gruntowych są rzędne mokradeł. Ich powierzchnie systematycznie obniżają się w kierunku północno-zachodnim, zgodnie ze spadkiem teras. Podmokłe są jedynie te zagłębienia, których dna leżą około 5—6 m poniżej właściwego poziomu terasy. Wody gruntowe występują więc w utworach terasowych, co przy stosunkowo dużych spadkach hydraulicznych zwierciadła pozwala przypuszczać, że wydmy nie mają większego wpływu na przebieg podziemnych działów wodnych. U podstawy północnych stoków wałów wydmywanych niekiedy występują mokradła stałe, mimo wyraźnego spadku

terenu i odwodnienia siecią rowów (Telążna Stara). Świadczy to o obfitym zasilaniu wodami gruntowymi, a więc znacznym obszarze zlewni. Ponieważ wody wypływają spod wąskich wałów wydmowych, te ostatnie nie mogą rzutować na przebieg działu podziemnego.

Należy podkreślić, że oddziaływanie **zwydmionych** odcinków pradolin na ukształtowanie zwierciadła wód **gruntowych** nie zostało jeszcze dokładnie zbadane. Zagadnienie to szerzej omówiono w następnym rozdziale, wykorzystując mapę hydroizohips.

### III. UKSZTAŁTOWANIE ZWIERCIADŁA WÓD GRUNTOWYCH W OKRESIE PRZED SPIĘTRZENIEM WISŁY

Wyznaczenie obszarów objętych oddziaływaniem spiętrzenia i określenie zmian w obiegu wody jest możliwe jedynie opierając się na znajomości stosunków wodnych w okresie przed spiętrzeniem. M. Zajbert (1969) podkreśla, że jest ona często niewystarczająca, co prowadzi do „...podnoszenia rozszczeń trudnych do oceny i rozstrzygnięcia...” (s. 6). Chodzi tu głównie o ustalenie, czy niekorzystne zmiany w stosunkach wodnych zostały spowodowane oddziaływaniem spiętrzenia, czy też wynikają z okresowo zmiennych warunków hydrologicznych. Do czynników decydujących o charakterze i zasięgu zmian w stosunkach wodnych należy ukształtowanie zwierciadła wód gruntowych. Przedstawiłem je na mapach hydroizohips, które opracowano dla dwóch przekrojów czasowych — przed (16 VII 62 r.) i po (1 XII 67 r.) wybudowaniu Kanału Głównego.

#### 1. WARUNKI HYDROLOGICZNE W OKRESACH KARTOWANIA

Mapy hydroizohips dają chwilowy, ale za to wierny obraz ukształtowania zwierciadła wód gruntowych. Ponieważ nie uwzględniają one dynamiki wód konieczne jest prześledzenie warunków hydrologicznych w trakcie kartowania i porównanie ich z wartościami wieloletnimi. Stwarza to możliwość porównywania map z różnych okresów.

Sumy opadów w lipcu 1962 r. i w listopadzie 1967 r. były niższe od

Tabela 4

Miesięczne (VII, XI) i roczne sumy opadów atmosferycznych (mm) w latach 1962 i 1967 na tle wartości wieloletnich (1959—1968).

Stacja opadowa	Sumy miesięczne				Sumy roczne		
	lipiec		listopad		1962	1967	norma
	1962	norma	1967	norma			
Włocławek	36	83	34	45	558	764	541
Dobrzyń	50	94	30	46	692	800	566
Wistka	—	—	32	—	—	703	—
Baruchowo	34	72	34	46	602	681	537
Duninów	51	93	40	46	653	696	563

normalnych (tab. 4). W lipcu stanowiły około 50% wartości wieloletnich, a w listopadzie około 75%. Z kolei sumy roczne znacznie przewyższały wartości przeciętne. Szczególnie był mokry 1967 r., w którym notowano opady od 24% (Duninów) do 41% (Dobrzyń) wyższe od normalnych. W 1962 r. nadwyżki opadów wynosiły od 3% (Włocławek) do 22% (Dobrzyń).

A. Kowalska (1962), prowadząc badania w niżowej części dorzecza Warty, stwierdziła wyraźny związek między opadem a zmianą stanu wody gruntowej, widoczny w pojedynczych tygodniach lub miesiącach. Nie znalazła natomiast zależności między ilością opadu a stanem bezwzględny. Wynika to z różnorodnych i zmiennych w czasie czynników decydujących o wielkości zasilania wód gruntowych. Znajomość sum opadów przed i podczas kartowania nie daje więc podstawy do wnioskowania o położeniu zwierciadła wody.

Stany wód gruntowych w dniach kartowania porównano ze średnimi stanami rocznymi i wieloletnimi (tab. 5). Uwzględniono 16 studni i piezometrów obserwacyjnych IMGW, które uszeregowano według rzędnych zwierciadła wody. Miąższości strefy aeracji w poszczególnych punktach nie przekraczały 2 m.

W dniu 1 XII 67 r. stany wód gruntowych na obszarze depresyjnym układały się poniżej stanów z dnia 16 VII 62 r. Poza terenem depresyjnym stany wód w okresach kartowania były zbliżone.

Nieproporcjonalnie niskie rzędne zwierciadła wód gruntowych na obszarze depresyjnym, zanotowane 1 XII 67 r., wynikają z wybudowania Kanału Głównego. Jego wpływ na obniżenie poziomu wód gruntowych można prześledzić porównując średnie stany wody z lat 1962 i 1967. W 1967 r., w studniach położonych poza obszarem depresyjnym, były one wyższe w stosunku do 1962 r. i układały się powyżej wartości normalnych. Odwrotna sytuacja wystąpiła na terenach depresyjnych. W 1967 r. średnie stany wody we wszystkich punktach obserwacyjnych kształtowały się znacznie poniżej wartości z 1962 r. Największe obniżenie poziomu wód gruntowych nastąpiło w pobliżu Kanału Głównego (piezometry 8 i 29). W miarę oddalania się od kanału różnice w stanach wody systematycznie malały, o czym świadczą punkty obserwacyjne 29, 30j i 31.

W rubrykach 10 i 11 przedstawiłem różnice między stanami wód gruntowych w dniach kartowania a wartościami wieloletnimi. Rozpatrywany okres wieloletni (1959—1968) obejmuje lata przed i po wybudowaniu kanału. O wartościach średnich stanów wody w studniach objętych oddziaływaniem kanału zadecydowała wielkość obniżenia poziomu wód gruntowych. Dlatego średnie wieloletnie stany wody nie odzwierciedlają przeciętnych warunków hydrometeorologicznych. Reprezentatywne są jedynie studnie położone poza zasięgiem oddziaływania kanału, w których poziom wody w dniach kartowania był na ogół nieco wyższy od

Tabela 5

Stany wód gruntowych (m n.p.m.) w dniach 16 VII 62 r. i 1 XII 67 r. na tle średnich wartości rocznych i wieloletnich (1959—1968)

Punkt pomiarowy	Miejscowość	Stany w dniach		Różnica (cm)	Średnie roczne		Różnica (cm)	Średnie wieloletnie	Różnice (cm)		Uwagi
		16 VII 62 r.	1 XII 67 r.		1962	1967			16 VII 62 r.	1 XII 67 r.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	Modzerowo	51,85	51,37	-48	51,55	50,89	-57	51,11	+74	+26	Tereny depresyjne. Poziom wód gruntowych obniżony przez Kanał Główny
17e	Modzerowo	51,83	51,50	-33	51,57	51,00	-57	51,14	+69	+36	
8	Łęg	53,51	52,71	-80	53,59	52,61	-98	53,12	+39	-41	
29	Mostki	54,99	54,67	-32	55,08	54,46	-62	54,85	+14	-18	
30j	Mostki	55,52	55,48	-4	55,62	55,38	-24	55,48	+4	0	
31	Mostki	55,84	55,84	0	55,96	55,79	-17	55,84	0	0	
3	Papieżka	56,27	56,09	-18	56,38	56,03	-35	-	-	-	
11	Rybnica	56,78	56,72	-6	56,82	56,95	+13	56,70	+8	+2	Studnie na granicy i poza zasięgiem oddziaływania kanału
12c	Rybnica	57,26	57,48	+22	57,28	57,46	+18	57,37	-11	+11	
20	Modzerowo-Odpadki	57,23	57,04	-19	57,22	57,17	-5	57,08	+15	-4	
21f	Modzerowo-Odpadki	57,32	57,22	-10	57,31	57,34	+3	57,17	+15	+5	
22g	Modzerowo-Odpadki	58,14	58,36	+22	58,23	58,32	+9	-	-	-	
33k	Ładne	58,56	58,67	+11	58,64	58,72	+8	-	-	-	
50r	Dąb Podlaski	59,57	59,51	-6	59,61	59,69	+8	-	-	-	
39ł	Łączki	60,69	60,93	+24	60,70	60,89	+19	-	-	-	
55u	Karolewo	62,28	62,22	-6	62,33	62,42	+9	-	-	-	



średnich wartości wieloletnich. Mapy hydroizohips wykonałem więc dla okresów o warunkach hydrometeorologicznych, zbliżonych do przeciętnych.

## 2. WODY GRUNTOWE W SĄSIEDZTWIE KORYTA WISŁY

Przebieg hydroizohips w dniu 16 VII 62 r., przed wybudowaniem Kanału Głównego, wyznaczyłem na podstawie danych z zaniwelowanych studni i piezometrów obserwacyjnych IMGW. Hydroizohipsy dowiązałem do poziomu wód Wisły na podstawie interpolacji rzędnych stanów wody między wodowskazem w Płocku i we Włocławku. Analiza danych za lata 1959—1968 wykazała, że 16 VII 62 r. stan wody w Płocku odpowiadał średniej wartości wieloletniej, a we Włocławku był o 5 cm niższy od wartości średniej. Obszary zalewane wyznaczyłem opierając się na interpolacji maksymalnych stanów wody i porównania rzędnych zwierciadła — na każdym kilometrze biegu rzeki — z rzędnymi terenu. Metoda ta daje lepsze wyniki od bezpośredniego kartowania, ponieważ jego okres z reguły nie pokrywa się z maksymalnym wylewem rzeki, a ustalenie zasięgu terenów zalewanych na podstawie wywiadu nie zawsze jest ściśle.

Hydroizohipsy bieżą w zasadzie równolegle do koryta Wisły. Mniejsze ciekły jedynie lokalnie wpływają na zmianę głównego kierunku przepływu podziemnego. Największe spadki zwierciadła wody występują w strefach krawędziowych, zwłaszcza w sąsiedztwie koryta Wisły. Na granicy terasy zalewowej i wyższych poziomów terasowych wypływają liczne źródła i wysięki, przeważnie o charakterze liniowym. Ich występowanie jest uwarunkowane płytkim zaleganiem warstw nieprzepuszczalnych (iły plioceńskie, gliny). W okolicach Łęgu i Modzerowa A. Zwoliński (1967) znalazł 60 źródeł, z których 5 miały wydajność 1,5 l/s, a pozostałe po około 0,5 l/s.

W czasie powodzi na Wiśle zalaniu uległa terasa zalewowa i fragmenty nadzalewowej niższej. Na terasie nadzalewowej wyższej średni poziom wód gruntowych jest co najmniej o 2 m wyższy od rzędnej maksymalnego stanu wody w rzece. Ogranicza to wydatnie zasięg oddziaływania Wisły na wody gruntowe w strefie brzegowej.

W stosunku do planowanego poziomu zbiornika (57,3 m npm.) najniższe rzędne zwierciadła wód gruntowych występują w sąsiedztwie zapory bocznej. W strefie o szerokości do 0,4 km są one co najmniej o 4 m niższe od przyjętej rzędnej piętrzenia, a w pasie o szerokości do 1,0 km — co najmniej o 2 m niższe. Hydroizohipsa odpowiadająca rzędnej piętrzenia biegnie w odległości do 2,0 km od zapory bocznej. Wyznacza ona rejon potencjalnie najbardziej podatny na oddziaływanie spiętrzenia.

Wschodnią część badanego obszaru cechuje wyższy poziom występowania wód gruntowych. Granicę zalewu wyznacza poziomica 57,3 m npm., której przebieg w przybliżeniu pokrywa się z hydroizohipsą 55 m npm.

Hydroizohipsa o wartości równej rzędnej piętrzenia biegnie w odległości do 0,3 km od zbiornika. Jedynie w rejonie Dobiegniewa wkracza głębiej w dolinę Rudy.

### 3. ZMIANY POZIOMU WÓD GRUNTOWYCH PO WYBUDOWANIU KANAŁU GŁÓWNEGO

Hydroizohipsy po wybudowaniu kanału wykreślono co 1 m, dzięki znacznej liczbie punktów (ok. 1000) o pomierzonych głębokościach do wody. Podstawę stanowiły jednorazowe pomiary zaniwelowanych studni, przeprowadzone 1 XI 67 r. przez „Hydroprojekt” we Włocławku. Do określenia miąższości strefy aeracji wykorzystano również sondy geologiczne, wykonane w latach 1965—1966. Zarejestrowane w sondach głębokości do wody sprowadzono do dnia 1 XII 67 r. W tym celu dla najbliższych punktów obserwacyjnych obliczono różnice w stanach wody między dniem wykonania danej sondy, a 1 XII 67 r. Przyjęto, że różnice te są identyczne dla sond o tej samej głębokości do wody i litologii. Podobną metodą ustalono stany wód gruntowych w dniu 1 XII 67 r. w studniach nie objętych niwelacją, które pomierzono w latach 1970 i 1973. Analiza zebranych materiałów wykazała, że między datami poszczególnych pomiarów a dniem 1 XII 67 r., maksymalne różnice stanów wody w studniach obserwacyjnych nie przekraczały  $\pm 30$  cm. Rzędne sond i studni nie mających niwelacji odczytano z mapy topograficznej 1 : 25 000 w cięciu 2,5 m. Z tego względu są one przybliżone, a błąd odczytania rzędnych terenu jest niewątpliwie większy od stwierdzonych różnic w stanach wody. W zwydmionej części doliny za pomocnicze kryterium poziomu występowania wód gruntowych przyjęto rzędne mokradeł. Hydroizohips nie poprowadzono w miejscach, gdzie nawet przybliżone określenie rzędnych zwierciadła było niemożliwe.

W dniu 1 XII 67 r. poziom wód Wisły układał się 75 cm (Płock) i 69 cm (Włocławek) poniżej średnich wartości wieloletnich.

Na podstawie danych z tabeli 5 oraz porównania map hydroizohips ustalono zasięg i wielkość obniżenia poziomu wód gruntowych w sąsiedztwie Kanału Głównego. W dniach 16 VII 62 r. i 1 XII 67 r. przebieg hydroizohipsy 57 m npm. i wyższych był podobny, wystąpiły natomiast duże różnice w przebiegu hydroizohips o wartościach poniżej 57 m npm. Po wybudowaniu kanału uległy one przesunięciu w kierunku południowym. Dwukrotnie zwiększył się obszar o zwierciadle wód gruntowych poniżej 53 m npm., a jego maksymalna szerokość — liczona od zapory bocznej — wzrosła z 0,4 km do 0,9 km (Łęg). Mniejsze różnice wystąpiły w przebiegu hydroizohipsy 55 m npm., której maksymalny zasięg w kierunku południowym zwiększył się o 0,2 km. Wyraźne obniżenie poziomu wód gruntowych nastąpiło na obszarze między zaporą boczną a hydroizohipsą 56,5 m npm. Tylko na wysokości Wistki Królewskiej zasięg od-

działywania kanału jest mniejszy (do hydroizohipsy 55,5 m npm.), ponieważ wytyczono go niespełna 250 m od zapory bocznej, w celu zabezpieczenia wsi przed podtopieniem. W sąsiedztwie górnego odcinka kanału obniżenie poziomu wód gruntowych nastąpiło w pasie o szerokości do 1 km. W dolnym biegu objęło strefę do 1,5 km, co spowodowane było znacznym wcięciem i większą odległością kanału od zapory bocznej.

Pewien wpływ na zasięg oddziaływania kanału na wody gruntowe wywarła niewątpliwie litologia gruntów. Znaczna różnorodność utworów na niewielkich powierzchniach i w profilu pionowym utrudnia ocenę roli tego czynnika. W sąsiedztwie kanału trudno wydzielić rejony o odmiennych warunkach filtracji. Jedynie na przedmieściach Włocławka (Łasica, Papieżka) pod cienką warstwą piasków różnoziarnistych występują ility plicieńskie. Ograniczają one zasięg drenażu wód gruntowych, powodując silne zagęszczenie hydroizohips wzdłuż lewego brzegu kanału — poniżej ujścia Rybnicy.

Budowę kanału rozpoczęto od ujścia i prowadzono przez 4 lata (1963—1967). W okresie, gdy górna część kanału jeszcze nie istniała, na terenach przyległych do dolnego odcinka, zwierciadło wód gruntowych stopniowo przystosowywało się do nowych warunków hydraulicznych. Można przypuszczać, że w sąsiedztwie środkowego i górnego biegu kanału stosunki wodne w dniu 1 XII 67 r. nie były jeszcze ustabilizowane. Świadczą o tym znaczne różnice spadków zwierciadła wód gruntowych wzdłuż lewego brzegu. Powyżej ujścia Rybnicy, mimo znacznego wcięcia kanału, spadki są łagodne i wyrównane. W górę kanału systematycznie rosną, podczas gdy wcięcie koryta maleje. Brak jest podstaw, aby obserwowany wzrost spadków wiązać z systematycznym pogarszaniem się warunków filtracji wód gruntowych.

Największe obniżenie poziomu wód gruntowych nastąpiło na linii kanału. Ponieważ większość studni obserwacyjnych położona jest w odległości ponad 200 m od koryta, maksymalne wartości obniżenia zwierciadła wód gruntowych ustaliłem na podstawie mapy hydroizohips. Wzdłuż górnego odcinka kanału obniżenie poziomu wód gruntowych nie przekracza 1 m (Mostki), w rejonie Wistki Królewskiej sięga 1,5 m, w okolicach Modzerowa i Łęgu — 2,0—2,5 m, a poniżej Łęgu dochodzi nawet do 3 m. W efekcie nastąpiło nadmierne przesuszenie gruntów. W strefie do 300 m od kanału zanikły wszelkie podmokłości terenu. W licznych sondach, zlokalizowanych na dawnych mokradłach, występują suche pokłady torfu o miąższości do 1,5 m (przy ujściu Rybnicy). Zwierciadło wód gruntowych układa się 1,0—1,5 m poniżej spągu torfu. Ze względu na dominujący udział piasków, który cechuje małą zdolność kapilarnego podsiąkania, obniżenie poziomu wód gruntowych wpłynęło niekorzystnie na stosunki wodne gleb.

W sąsiedztwie zapory bocznej, w wyniku znacznego wcięcia kanału, nastąpiło lokalne odwrócenie kierunku przepływu podziemnego. Zam-

knięte hydroizohipsy świadczą, że przynajmniej część wód gruntowych zmieniła kierunek odpływu z północnego na południowy (do kanału). W dniu 1 XII 67 r. poziom wód Wisły układał się około 4—5 m poniżej dna kanału oddalonego o niespełna 1 km. Należy sądzić, że dzięki znacznemu spadkowi hydraulicznemu zdecydowana większość odpływu podziemnego była skierowana w stronę koryta Wisły. Przechwycenie przez kanał części wód gruntowych powinno spowodować zmniejszenie wydajności źródeł, występujących wzdłuż koryta Wisły. Nie miałem jednak okazji przeprowadzenia pomiarów wydajności, ponieważ w chwili rozpoczęcia badań linie źródeł były już zatopione.

Na zapleczu zapory bocznej tereny o rzędnej zwierciadła wód gruntowych niższej od planowanego poziomu zbiornika zajmują 16,2 km<sup>2</sup> (w tym 14 km<sup>2</sup> obszaru depresyjnego), przy średniej szerokości 1,6 km, maksymalnej — 2,2 km (Łęg). We wschodniej części badanego obszaru powierzchnia zawarta między linią brzegową zbiornika, a hydroizohipsą 57,3 m n.p.m. wynosi zaledwie 2,3 km<sup>2</sup>, przy średniej szerokości 0,2 km, maksymalnej — 0,5 km (ujście Rudy, Duże Skoki). W południowej części doliny poziom wód gruntowych wynosi około 13 m powyżej rzędnej piętrzenia. Według klasyfikacji J. Bażyńskiego (1969), Zbiornik Włocławski należy do typu „zanurzonych” (rzędna wód podziemnych na dziale jest wyższa od rzędnej piętrzenia) i jednocześnie „nadpiętrzonych” (występują tereny depresyjne).

#### 4. STOSUNEK PODZIEMNYCH DZIAŁÓW WODNYCH DO POWIERZCHNIOWYCH

Główny dział hydrologiczny można podzielić na trzy odcinki: zachodni — z przyrzeczem Wisły, południowy — z dorzeczem Rakutówki oraz wschodni — z dorzeczem Skrwy i przyrzeczem Wisły. Odcinek zachodni biegnie zgodnie z przebiegiem działu topograficznego. Niewspółmiernie wysokie rzędne wód gruntowych na dziale w rejonie Łasicy są spowodowane występowaniem iłów pliczeńskich, których strop leży na głębokości 1—2 m. Południowy odcinek działu biegnie skrajem pola wydmowego, mniej więcej zgodnie z przebiegiem powierzchniowego działu bezodpływowego. Następnie przechodzi między jeziorami: Goreńskim i Skrzyneckim. Z przebiegu hydroizohips wynika, że zaliczenie Jez. Skrzyneckiego do zlewni Rudy może być dyskusyjne, ze względu na małe spadki zwierciadła wód gruntowych. Wschodni odcinek działu podziemnego biegnie początkowo wzdłuż linii działu bezodpływowego. W rejonie Lubat działły zgodnie przechodzą przez próg w dnio rynny. Zachodnia część rynny, powierzchniowo bezodpływowa, należy hydrologicznie do zlewni Rudy. Część wschodnia jest odwadniana powierzchniowo i podziemnie do Skrwy. Na północ od Gorenia Małego dział pod-

ziemny przecina pole wydymowe, a następnie biegnie w kierunku Wisły. Uwagę zwraca duża zgodność przebiegu działu powierzchniowego z działem podziemnym, stwierdzona na podstawie zaniwelowanych studni oraz ich prostopadłego kierunku do koryta rzeki. Dział topograficzny wyznaczają kulminacje wydym, których wysokość względna osiąga 20 m. Trudno stwierdzić, czy dział podziemny jest wynikiem współkształtności zwierciadła wód gruntowych z rzeźbą terenu, charakterystycznej dla tzw. „równowagi wsiąkowej” (H. Więckowska 1960), czy też jest uwarunkowany geologicznie. Wzdłuż koryta Wisły, na odcinku Nowa Wieś—Karolewo, odślaniają się zaburzone ily plioceńskie. Oś antykliny, prostopadła do Wisły, może wpływać na przebieg działu podziemnego.

Odrębnym zagadnieniem jest możliwość częściowego odpływu podziemnego z dorzecza Rakutówki w kierunku północnym, zwłaszcza na odcinku od Przyborowa do Jez. Rakutowskiego. Dział topograficzny biegnie tu kulminacjami wału wydymowego o wysokości około 15 m. Po obu stronach wału wody gruntowe występują bardzo płytko. Od strony południowej są drenowane przez Rakutówkę, ale ich poziom układa się nieco wyżej w porównaniu z rejonem Kukaw. Zachodzi pytanie, czy pod wałem wydymowym zwierciadło wód gruntowych uwypukla się tak, aby utworzyć dział podziemny. Trudno na nie odpowiedzieć nie dysponując niwelacją studni. O możliwości istnienia działu podziemnego świadczy przykład z północnej części doliny. W rejonie wsi Mursk, w podobnych warunkach hydrograficznych, biegnie wąski wał wydymowy o wysokości poniżej 10 m. Mimo spadku zwierciadła wód gruntowych w kierunku prostopadłym do wału, pomiary zaniwelowanych studni wykazały występowanie lokalnego działu podziemnego. Jest on zapewne wynikiem „równowagi wsiąkowej” lub „równowagi parowania”, charakterystycznych dla płytkiego zalegania wód gruntowych (H. Więckowska 1957, 1960). Należy zaznaczyć, że wyróżnione przez H. Więckowską typy równowagi hydrodynamicznej zwierciadła, a tym samym charakter działów podziemnych, zależą od stanu wód gruntowych. Nie można więc wykluczyć pewnych oscylacji działu podziemnego, wynikających z okresowo zmiennych warunków zasilania. Z przedstawionych rozważań wynika, że odpływ podziemny z dorzecza Rakutówki na północ, o ile istnieje, jest bardzo ograniczony i nie powinien wpływać w istotny sposób na obieg wody w strefie przyziornikowej. Niewątpliwym wpływem na utrwalenie położenia działu podziemnego miały prace melioracyjne, w wyniku których zwierciadło wód gruntowych uległo obniżeniu i uzyskało wyraźny spadek w kierunku zachodnim.

Zlewnie cząstkowe zamknięto podziemnymi działami wodnymi w miejscach powtarzalnych pomiarów przepływu. W północnej części doliny wyznaczenie działów ułatwia gęsta sieć zaniwelowanych studni. Na obszarze tym miąższość strefy aeracji jest niewielka, przeciętnie wynosi 1—2 m. W tej sytuacji dominują działy współkształtne z rzeźbą

terenu. W pobliżu koryta Wisły współkształtność ta może być uwarunkowana geologicznie (Karolewo, Papieżka). „Równowaga drenowania (depresyjna)”, w której zwierciadło wód gruntowych układa się niezależnie od topografii terenu, występuje w strefach krawędziowych teras, a także w sąsiedztwie głębiej wciętych cieków i rynien. Głębokości do wody są tu nieco większe (powyżej 2 m).

W granicach pola wydmowego wystąpiły pewne trudności w dowiązaniu podziemnych działów cząstkowych do działu podziemnego z dorzeczem Rakutówki. S. Lencewicz (1929) stwierdził, że na omiawianym obszarze wydmy wpływają tylko lokalnie na warunki odpływu, ale nie rządzą rozkładem działów wodnych. Ich przebieg wiąże z budową geologiczną podłoża, tj. występowaniem antyklin trzeciorzędowych. Powodują one — zdaniem S. Lencewicza — zmianę biegu Zuzanki (w rejonie Murska) i Rudy (poniżej jez. Gościąg). O oddziaływaniu antykliny ma również świadczyć fakt, że jeziora: Chrapka, Łąkie i Świąte, mimo położenia w sąsiedztwie Rudy, należą do zlewni Zuzanki.

W obrębie obszaru wydmowego miąższość utworów czwartorzędowych wynosi co najmniej 30 m, a ich podłoże nie wykazuje większych deniwelacji (por. ryc. 2 i 3). Brak jest więc podstaw do przyjęcia geologicznego charakteru podziemnych działów wodnych. W tych warunkach podstawowym problemem jest określenie przeważającego typu równowagi hydrodynamicznej zwierciadła, pozwalającej prognozować charakter działów podziemnych. Wobec tego powstaje pytanie, czy badane pole wydmowe wpływa na kształt zwierciadła wód gruntowych. W odniesieniu do wydm Puszczy Kampinowskiej poglądy takie wyrażają J. i R. Kobendza (1958), a odmiennego zdania jest U. Urbaniak-Biernacka (1972). Autorka na podstawie pomiarów niwelacyjnych stwierdza, że „Ewentualne podnoszenie się zwierciadła wody pod wydmami jest tak nieznaczne, że nie może ono warunkować kierunku ruchu wód gruntowych” (s. 740). Fakt ten wiąże z występowaniem zwierciadła wody w piaskach terasowych, stanowiących podłoże wydm. Sądzę, że charakter działów podziemnych w utworach przepuszczalnych zależy od głębokości zalegania zwierciadła wody, spadku hydraulicznego i współczynnika filtracji. Wzrost tych wartości sprzyja uniezależnieniu się kształtu zwierciadła od topografii terenu. Dlatego oddziaływanie wydm na przebieg działów podziemnych zachodzi tylko w sprzyjających warunkach hydrogeologicznych.

Na badanym obszarze wydmowym wiele faktów wskazuje na to, że zwierciadło wód gruntowych znajduje się w „równowadze depresyjnej”. W obrębie nie zwymionych fragmentów teras miąższość strefy aeracji wynosi 4—8 m. Zwierciadło wód gruntowych występuje więc znacznie poniżej spągu wydm. Jednocześnie ma wyraźny spadek w kierunku północnym. Między południowym skrajem pola wydmowego a północnym ciągiem rynien (4—6 km) obniża się o około 7—9 m. Źródła i wysięki występują tylko wzdłuż południowych zboczy rynien. W tych warun-

kach słuszny wydaje się pogląd H. Więckowskiej (1957): „Równowaga depresyjna... występuje zapewne w mięszszych warstwach łatwo przepuszczalnych gruntów, przy znacznych deniwelacjach odbiorników...” (s. 713), a dział podziemny leży bliżej rzeki wyżej płynącej. Wynikają z tego dwa wnioski:

1. Poszczególne części pola wydmowego należą hydrologicznie do zlewni cieków północnej części doliny Wisły.
2. Podziemne działy wodne między zlewniami, w granicach pola wydmowego, będą na ogół niezależnie od topografii terenu.

#### IV. NIEKTÓRE CECHY HYDROLOGICZNE ZBIORNIKA I JEGO WPŁYW NA REŻIM WÓD WISŁY

Odcinek Wisły od Warszawy do morza (431 km) koncentruje około 30% wodnych zasobów energetycznych kraju i 65% zasobów wodnych Wisły (H. Zieliński 1970). Już w latach 30-tych bieżącego stulecia powstał pomysł skanalizowania rzeki, jednak dopiero w 1958 r. skryształizowały się koncepcje techniczne i ekonomiczne planowanej kaskady (J. Adamiak i in. 1969). W jej skład wejdzie 9 stopni wodnych: Warszawa—Północ, Wyszogród, Płock, Włocławek, Ciechocinek, Solec, Chełmno, Kwidzyń i Tczew. Obok produkcji energii elektrycznej (ok. 4 mld. KWh rocznie) kaskada umożliwi przekształcenie Wisły w ważną arterię wodną, dostępną dla barek 1500-tonowych (głębokości rzeki — powyżej 2 m). Stworzy dobre warunki do intensyfikacji rolnictwa przez możliwość grawitacyjnego nawodnienia gruntów, likwidację strat powodziowych i korzystne zmiany mikroklimatu. Zapewni wodę zakładom przemysłowym, a drogi przez zapory usprawnią komunikację. Brzegi zbiorników zostaną zagospodarowane do celów rekreacji i wypoczynku (A. Zwoliński 1968).

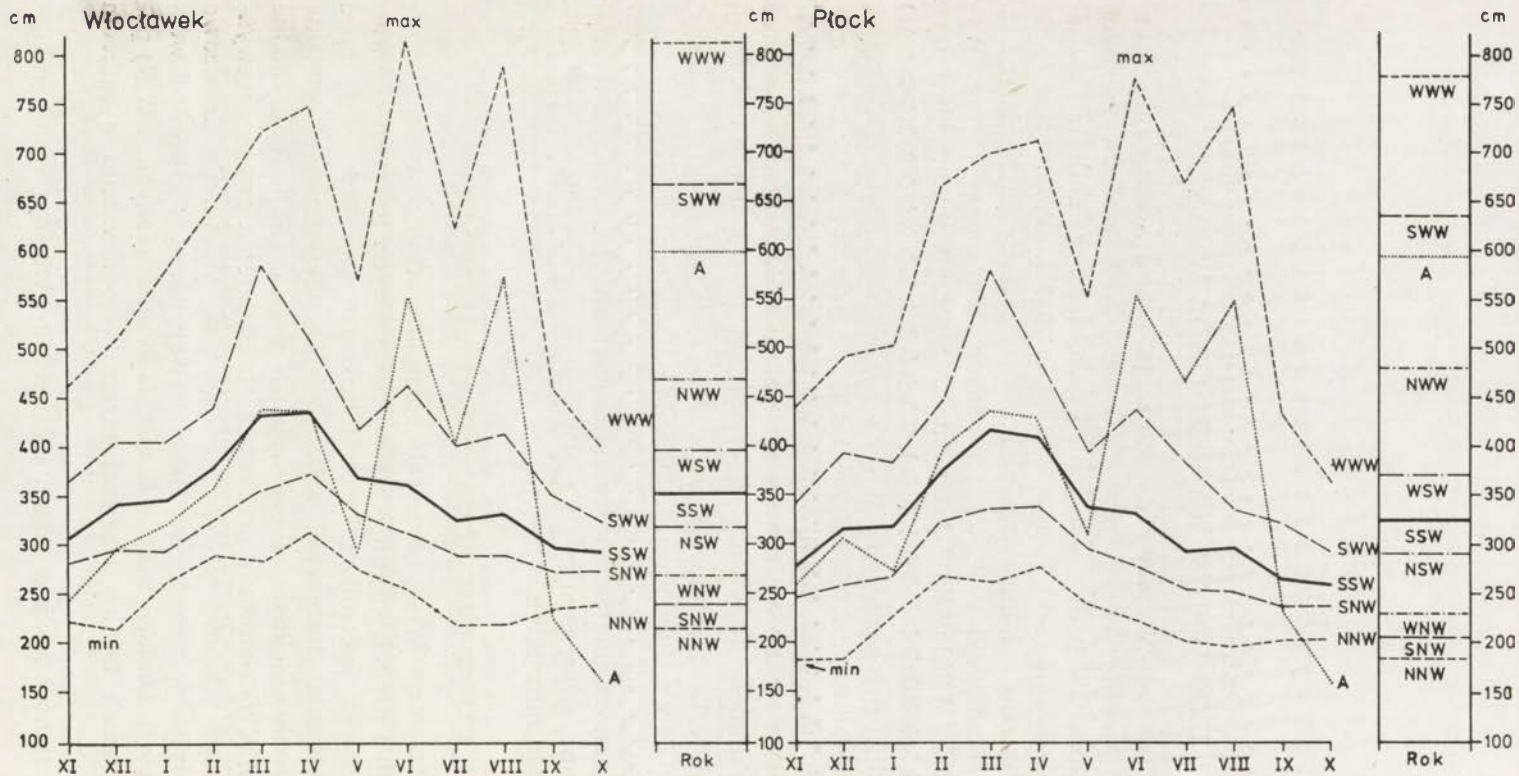
Wybudowany w latach 1963—1969 stopień wodny we Włocławku jest pierwszym i jednocześnie największym elementem planowanej kaskady: moc instalowana elektrowni — 162 MW, roczna produkcja energii elektrycznej — 640 mln. KWh.

##### 1. HYDROLOGIA RZEKI PRZED SPIĘTRZENIEM

Przed spiętrzeniem Wisłę cechowało regularne występowanie stosunkowo wysokich i długotrwałych wezbrań roztopowych (marzec — kwiecień) oraz niżówek jesiennych — w miesiącach wrzesień — listopad (ryc. 8). Wezbrania deszczowe pojawiały się nieregularnie, głównie w lipcu i sierpniu, niekiedy w czerwcu (R. Glazik 1970). Maksymalne stany wody (WWW) notowane podczas wezbrań letnich często przewyższały analogiczne wartości z marca i kwietnia. Wezbrania deszczowe występowały tylko w niektórych latach i trwały na ogół krócej od wezbrań roztopowych. Dlatego średnie z maksimów miesięcznych (SWW) posiadały w okresach letnich wartości niższe w porównaniu z marcem i kwietniem.

Amplitudy stanów wody w latach 1959—1968 wynosiły: Włocławek —





Ryc. 8. Charakterystyczne miesięczne stany wód Wisły w latach przed spiętrzeniem (1959—1968)

WWW — najwyższe; SWW — średnie z najwyższych; NWW — najniższe z najwyższych; WSW — najwyższe ze średnich; SSW — średnie; NSW — najniższe ze średnich; WNW — najwyższe z najniższych; SNW — średnie z najniższych; NNW — najniższe; A — amplitudy (WWW—NNW)

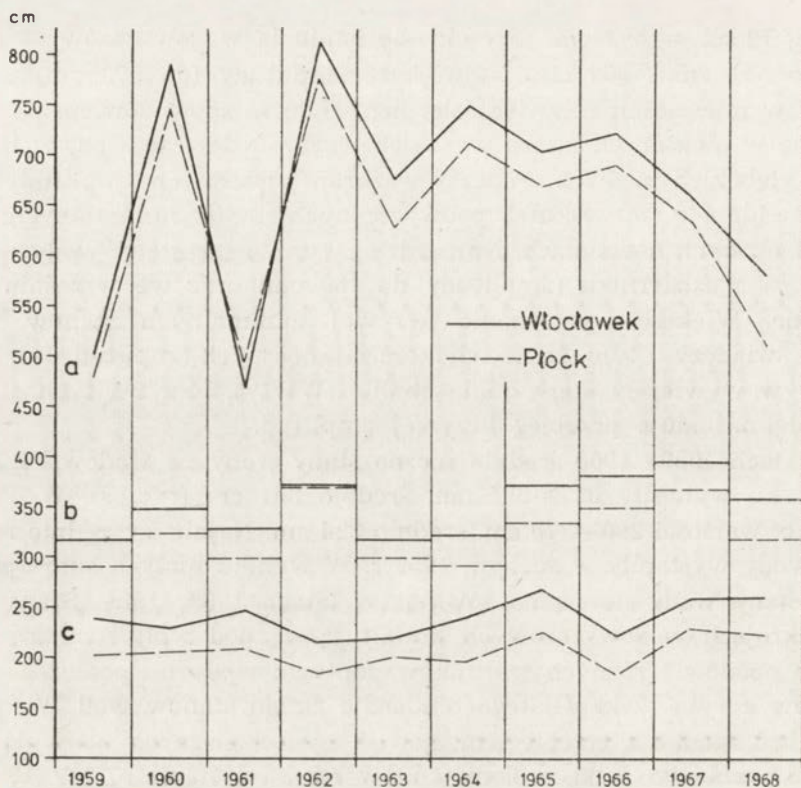
Characteristic monthly levels of the Vistula waters during the years preceding ponding (1959—1966)

WWW — highest; SWW — means among the highest; NWW — lowest among the highest; WSW — highest among means; SSW — mean levels; NSW — lowest among means; WNW — highest among lowest levels; SNW — means among lowest; NNW — lowest; A — amplitudes (WWW—NNW)

598 cm, Płock — 593 cm, a w okresie istnienia wodowskazów — odpowiednio 651 cm i 699 cm. Największe amplitudy (do 570 cm) występowały w miesiącach czerwiec—sierpień. Było to spowodowane pojawianiem się w niektórych latach wysokich wezbrań deszczowych, w innych zaś — głębokich niżówek. Podczas wezbrań wiosennych amplitudy były mniejsze (do 440 cm) wskutek podwyższonych stanów minimalnych, przy na ogół niższych maksimach. Najbardziej wyrównane stany wody występowały w październiku (amplitudy do 160 cm) oraz we wrześniu i listopadzie. Większe wyrównanie krzywej minimalnych stanów wody (NNW) świadczy o tym, że na wielkość miesięcznych amplitud decydujący wpływ wywierały stany maksymalne (WWW). Krzywa tych stanów wyraźnie naśladuje przebieg krzywej amplitud.

W latach 1959—1968 średnie roczne stany wody na wodowskazie we Włocławku wynosiły 317—395 cm, średnio 351 cm (ryc. 9). W Płocku posiadały wartości 290—370 cm, średnio 324 cm. Najniższe średnie roczne stany wody wystąpiły w suchym 1959 r. W wyniku małych sum opadów niskie stany wody notowano również w latach 1963—1964. Stany wód w przekrojach wodowskazowych kształtują się pod wpływem zróżnicowanych opadów i różnych warunków dopływu wody do poszczególnych odcinków koryta rzeki. Dlatego tendencje zmian stanów wód Wisły nie muszą być zgodne z przebiegiem zjawisk hydrologicznych na jej dopływach. Stosunkowo niski poziom wód w rzece wystąpił np. w 1961 r., mimo że na badanym obszarze opady były wyższe od średniej wieloletniej. Najwyższe średnie roczne stany wody zanotowano w latach 1962 i 1967. W rejonie badań opady w 1962 r. były mniejsze niż w 1960 r. Nie znalazło to odzwierciedlenia w stanach wód rzeki, ponieważ mokry 1960 r. nastąpił po roku suchym. Wysokie stany wód Wisły w 1967 r. zostały spowodowane dużymi opadami w całym dorzeczu. W poszczególnych latach wartości minimalnych stanów wody były zbliżone (amplitudy do 50 cm), co świadczy o wyrównanym zasilaniu podziemnym rzeki w okresach suchych (jesienią). Różnice w maksymalnych stanach wody dochodziły do 3,5 m. Najwyższe fale powodziowe wystąpiły w latach 1960 i 1962.

W okresie 35-lecia (1919—1954) średnie roczne przepływy w przekroju wodowskazowym we Włocławku wahały się od 544,6 m<sup>3</sup>/s (1943 r.) do 1443,5 m<sup>3</sup>/s (1941 r.), średnio wynosiły 933 m<sup>3</sup>/s. Lata o przeciętnych opadach mieściły się w strefie średnich przepływów 820—1020 m<sup>3</sup>/s, lata suche 544—820 m<sup>3</sup>/s, lata mokre 1020—1444 m<sup>3</sup>/s (A. Zwoliński, 1967). Maksymalny przepływ wynosił 8305 m<sup>3</sup>/s (30 III 1924 r.), minimalny — 141 m<sup>3</sup>/s (13 I 1933 r.), a stosunek przepływów ekstermalnych — 1 : 59. W 10-leciu przed spiętrzeniem (1959—1968) średnie roczne przepływy Wisły wynosiły od 677 m<sup>3</sup>/s (1959 r.) do 1191 m<sup>3</sup>/s (1967 r.), średnio 892 m<sup>3</sup>/s.



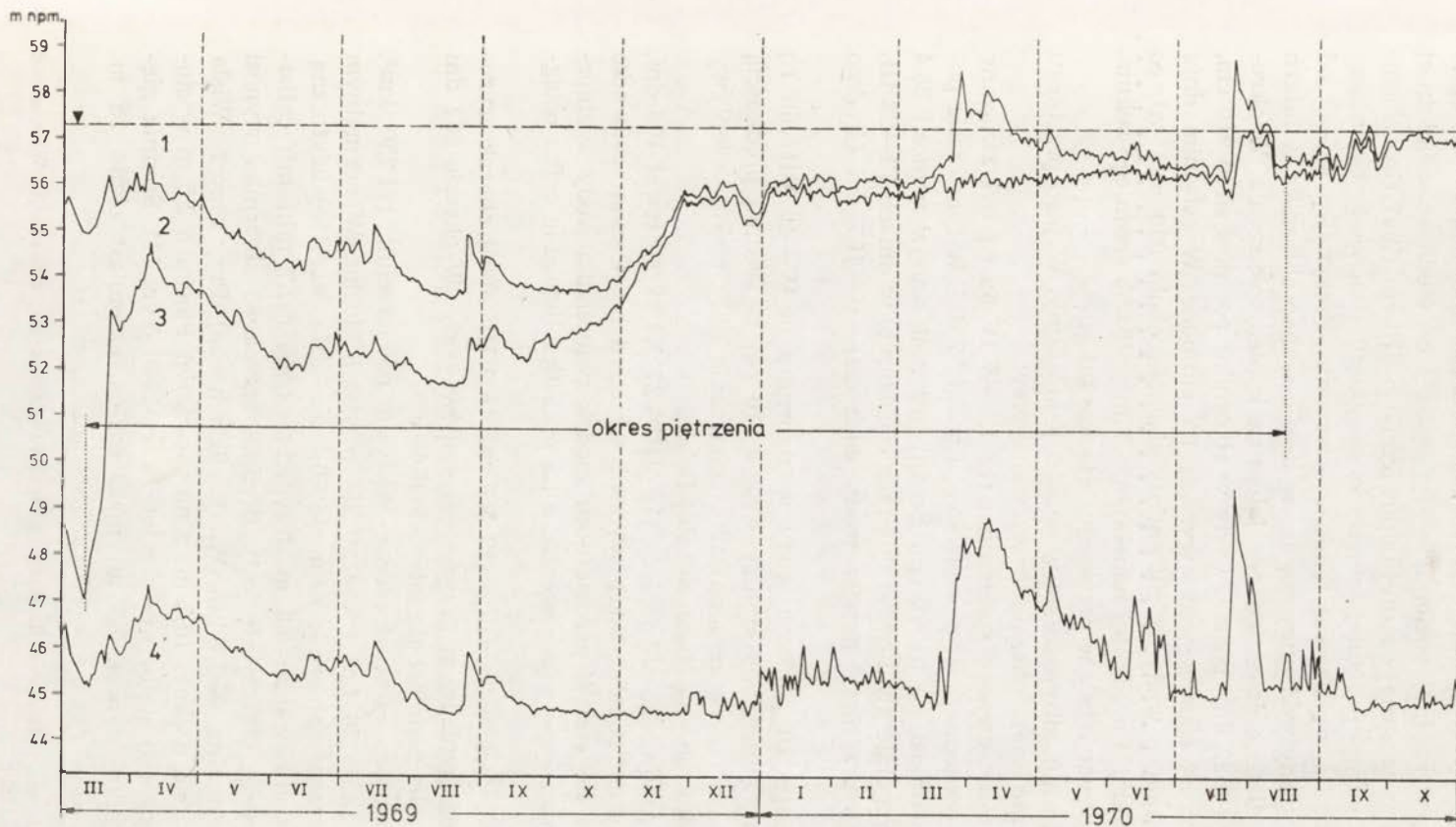
Ryc. 9. Maksymalne (a), średnie roczne (b) i minimalne (c) stany wód Wisły w latach 1959—1968

Maximum (a), annual mean (b) and minimum (c) levels of the Vistula waters in period from 1959 to 1968

## 2. PRZEBIEG SPIĘTRZANIA I PARAMETRY ZBIORNIKA

Intensywność spiętrzania zależy głównie od: 1) wielkości przepływu w rzece, 2) regulacji odpływu poprzez urządzenia elektrowni. Najdogodniejsze warunki do napełnienia zbiornika istnieją podczas wiosennych roztopów i letnich wezbrań deszczowych. W okresach suchych konieczność zapewnienia na rzece poniżej zapory przepływu nie naruszalnego ( $Q_{biol.}$ ) i zachowania bezpiecznych głębokości dla żeglugi prowadzi do zahamowania spiętrzania i obniżenia poziomu wody w zbiorniku. Warunkiem spiętrzania jest taka przewaga dopływu nad odpływem, która przewyższa straty infiltracji brzegowej. W przepuszczalnych terenach są one niekiedy większe od pojemności samych zbiorników. W sandrowych obszarach przyległych do Zalewu Koronowskiego wielkość strat — według Cz. Pietrucienia (1967) — dwukrotnie przekroczyła pojemność zbiornika.

Spiętrzanie zbiornika rozpoczęto 12 III 69 r. od rzędnej zwierciadła wody o 40 cm niższej od średniej wieloletniej marca i o 42 cm wyższej



Ryc. 10. Codzienne stany wody w okresie spiętrzenia Wisły

1 — rzędna piętrzenia; 2 — Płock; 3 — zapora (woda górna); 4 — Włocławek

Day-by-day water levels during Vistula ponding

1 — level of ponding; 2 — Płock; 3 — weir (upper water); 4 — Włocławek

od przeciętnej rocznej (ryc. 10)<sup>4</sup>. Zakończenie spiętrzania nastąpiło 16 VIII 70 r. w rzędnej poziomu wody wyższej od średniej wieloletniej dla sierpnia i przeciętnej rocznej odpowiednio o 978 cm i 957 cm. W stosunku do planowanej rzędnej piętrzenia osiągnięty stan wody był niższy o 106 cm i nadal wykazywał tendencję wzrostu. Poczynając jednak od 16 VIII 70 r. stany wód mieszczą się w strefie wahań zbiornika w latach 1971—1974 i dlatego dzień ten przyjąłem na koniec spiętrzania. W okresie spiętrzania (522 dni) poziom wody w zbiorniku podniósł się o 915 cm, a średni przyrost stanów wody wynosił 1,7 cm/dobę. W ostatnim dniu spiętrzania objętość wody w zbiorniku osiągnęła około 330 mln m<sup>3</sup>, co odpowiada średniej prędkości napełniania 7 m<sup>3</sup>/s (0,8% średniego sekundowego przepływu Wisły w przekroju Włocławka).

Spiętrzanie nie odbywało się w sposób jednostajny. W jego przebiegu można wyróżnić cztery charakterystyczne okresy:

1. Okres intensywnego spiętrzania (12 III—8 IV 69 r.) był związany z przejściem wiosennej fali powodziowej i trwał 27 dni. W tym czasie poziom wody podniósł się o 768 cm. Średni przyrost stanów wynosił 28,4 cm/dobę. Szczególnie gwałtowne spiętrzanie nastąpiło w dniach 12—22 III, kiedy dobowe przyrosty stanów wody dochodziły do 167 cm (średnio 62 cm).

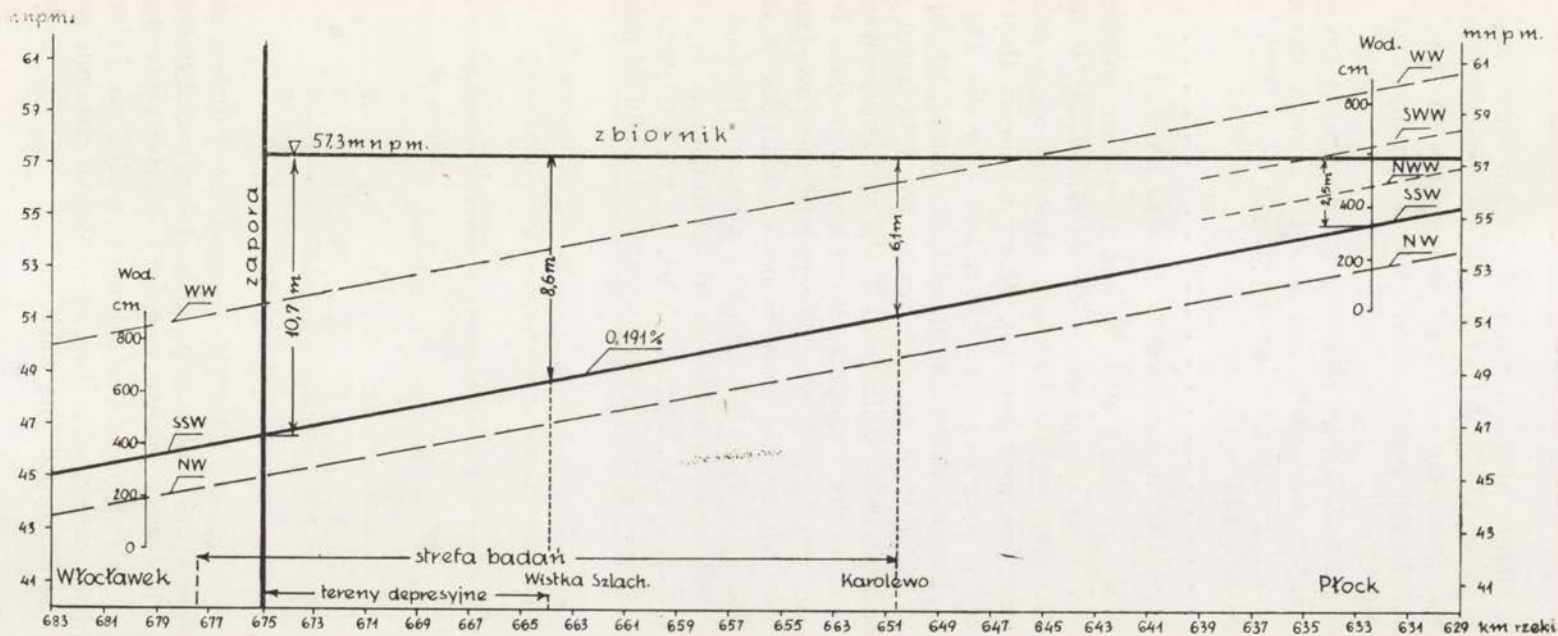
2. Okres spadku poziomu wody w zbiorniku (8 IV—19 VIII 69 r.) trwał 133 dni. Zwierciadło obniżyło się o 310 cm ze średnią prędkością 2,3 cm/dobę. Przyczyną zahamowania spiętrzania były niskie przepływy w rzekach, notowane na obszarze całej Polski.

3. Okres ponownego spiętrzania (19 VIII—27 XI 69 r.) trwał 100 dni, a średni przyrost stanów wody wynosił 4,1 cm/dobę. Poziom zbiornika podniósł się o 409 cm. W październiku spadek zwierciadła wody w zbiorniku uległ znacznemu zmniejszeniu, a na początku listopada cofka osiągnęła Płock.

4. Ostatnia faza spiętrzania (27 XI 69—16 VIII 70 r.) charakteryzowała się bardzo powolnym przyrostem stanów wody. W okresie 262 dni poziom zbiornika podniósł się zaledwie o 48 cm.

Zapora zamyka część dorzecza Wisły o powierzchni 171 250 km<sup>2</sup>. Cofka sięga około 58 km i kończy się powyżej Płocka. W normalnym poziomie piętrzenia zbiornik zajmuje 70,4 km<sup>2</sup>. Na warstwę użyteczną, zawartą w strefie wahań 0,8 m przypada 13,6% (52,7 mln m<sup>3</sup>) całkowitej pojemności (387,2 mln m<sup>3</sup>). Średnia szerokość zbiornika wynosi 1,2 km, maksymalna — 2,4 km (Wistka Szlachecka). Przy zaporze Wisła została spiętrzona o około 10,7 m, a na wysokości Płocka o 2,5 m w stosunku do średniego stanu wody z lat 1959—1968 (ryc. 11). Średnia głębokość zbiornika wynosi 5,5 m, maksymalna natomiast około 15 m.

<sup>4</sup> Na podstawie interpolacji danych wodowskazowych ze stacji Włocławek i Płock (1959—1968)



Ryc. 11. Stosunek spiętrzonych wód Wisły do charakterystycznych stanów wody przed spiętrzeniem (1959—1968)

Stan wody: WW — najwyższy; SWW — średni z najwyższych rocznych; NWW — najniższy z najwyższych rocznych; SSW — średni; NW — najniższy

Interrelation between ponded Vistula waters and characteristic water levels prior to ponding (1959—1968)

Water level: WW — highest; SWW — mean among annual highest levels; NWW — lowest among annual highest levels; SSW — Mean, NW — lowermost level

W wyniku spiętrzenia zalaniu uległ obszar około 22 km<sup>2</sup> (nie licząc kęp w korycie), z czego na grunty orne (V i VI klasy) przypada 59%, łąki — 15%, nieużytki — 13%, pastwiska — 12% i lasy — 1% (A. Zwoliński 1967). Wywłaszczone około 190 gospodarstw, głównie z zatopionych wsi Wistka Szlachecka i Dąb Wielki.

Przylegająca do terenu badań część zbiornika ma długość 24 km (41% całkowitej), powierzchnię 39 km<sup>2</sup> (55% całkowitej) i średnią szerokość 1,6 km. Po spiętrzeniu powierzchnia wodna zwiększyła się o 120%, a jej średnia szerokość wzrosła o 860 m.

### 3. HYDROLOGIA ZBIORNIKA I RZEKI PONIŻEJ ZAPORY

Wpływ wezbrań Wisły na stany wód. W końcowej fazie spiętrzenia (1970 r.) wystąpiły dwa wezbrania o wielkości nie notowanej w latach po napełnieniu zbiornika (1971—1974). Pierwsze rozpoczęło się w połowie marca i trwało do końca czerwca (ryc. 10). W górnej części zbiornika (Płock) amplituda między podstawą a szczytem fali wynosiła 220 cm. W sąsiedztwie zapory poziom zbiornika układał się mniej więcej na jednakowej rzędnej, dzięki dużym zrzutom wody. We Włocławku spowodowały one podniesienie zwierciadła rzeki o 410 cm. Drugie wezbranie wystąpiło na przełomie lipca i sierpnia. Mimo krótszego czasu trwania miało gwałtowniejszy przebieg. W Płocku wysokość fali powodziowej wynosiła 270 cm. Część fali została zatrzymana w zbiorniku, o czym świadczy przyrost poziomu wody o 150 cm (przy zaporze). Pomimo tego we Włocławku zwierciadło rzeki podniosło się aż o 440 cm.

Podczas wezbrania w marcu maksymalny dobowy przyrost stanu wody w górnej części zbiornika był dwukrotnie wyższy niż w dolnej (tab. 6).

Tabela 6

Przykłady dobowych amplitud stanów wody zbiornika i rzeki poniżej zapory  
(w cm)

Data	Płock	Zapora		Włocławek
		woda górna	woda dolna	
24/25 III 70	+90	+44	—	+22
22/23 VII 70	+22	—15	+208	+134
23/24 VII 70	+169	—11	+127	+169
10/11 VIII 70	—75	—76	—3	—5

W chwili zbliżania się kulminacji letniej fali powodziowej (lipiec) intensywny zrzut wody spowodował obniżenie poziomu dolnej części zbiornika, w Płocku zaś i we Włocławku dobowe przyrosty stanów wody dochodziły do 169 cm, a przy zaporze (woda dolna) nawet do 208 cm. Po przejściu wezbrania (sierpień) maksymalne dobowe obniżenie poziomu górnej i dolnej części zbiornika miało podobne wartości.

Podane przykłady i rycina 10 świadczą o małym wpływie zbiornika na łagodzenie wysokich wezbrań Wisły. Pozwalają również wyciągnąć wstępne wnioski dotyczące hydrologii zbiornika i rzeki poniżej zapory. W dolnej części zbiornika przebieg stanów wody jest stosunkowo wyrównany, dzięki dużym zrzutom wody podczas wezbrań. W miarę oddalania się od zapory maleje wpływ pracy elektrowni na stany wody, co przejawia się wzrostem amplitud. Ich wielkość jest głównie uwarunkowana wysokością fal powodziowych. W górnej części zbiornika (Płock) rytm zmian poziomu wody w okresach wezbrań wyraźnie naśladuje, chociaż w złagodzonej formie, przebieg stanów wody na rzece poniżej zapory (Włocławek). W okresach o małym dopływie wód rzecznych przebieg i amplitudy stanów wody w poszczególnych częściach zbiornika są podobne i zależą głównie od pracy elektrowni. Wykresy stanów wody dla zbiornika i rzeki poniżej zapory wykazują dużą częstotliwość zmian zwierciadła (są bardzo „zębate”), co wynika z nierównomiernego zrzutu wody przez urządzenia elektrowni.

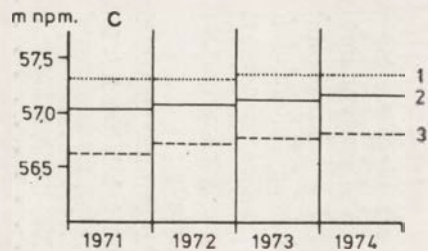
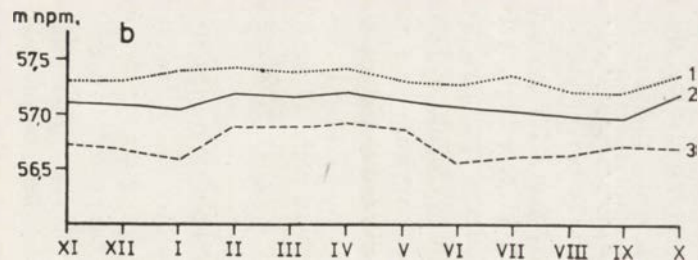
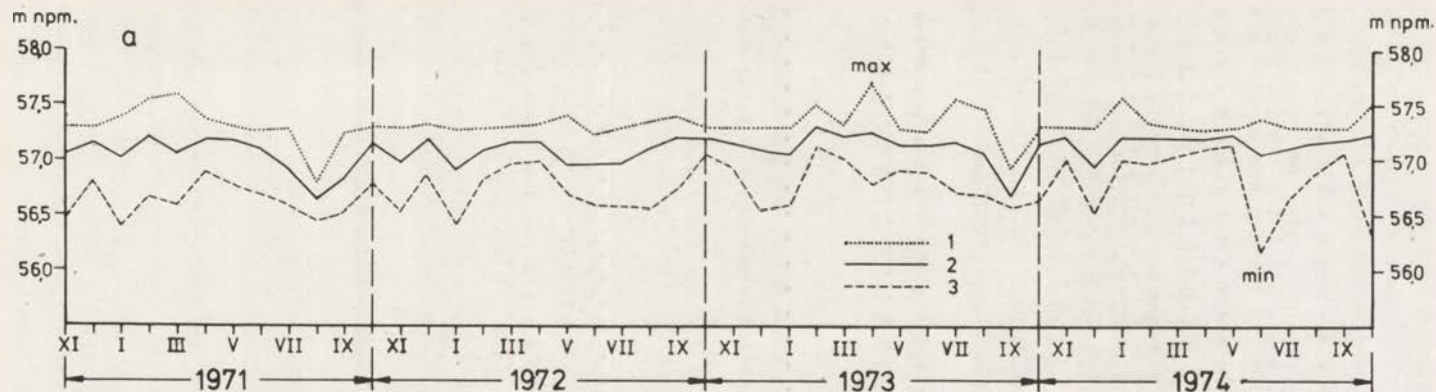
Hydrologia zbiornika. Charakterystykę stanów wody przeprowadziłem na podstawie danych z wodowskazu przy zaporze (1971—1974), dotyczy zatem ona dolnej części zbiornika.

W latach 1959—1968 maksymalna dobowa amplituda zwierciadła rzeki na wodowskazu w Płocku wynosiła 162 cm, we Włocławku — 216 cm. Największe amplitudy występowały w okresach wezbrań, niekiedy spotęgowanych zatorami lodowymi. Po spiętrzeniu (1971—1974) dobowe amplitudy stanów wody zbiornika nie przekraczały 61 cm, a ich największe wartości występowały podczas intensywnych zrzutów wody.

Absolutna amplituda wahań zwierciadła wynosiła 153 cm i była 4-krotnie mniejsza w porównaniu z okresem przed spiętrzeniem (ryc. 12a). W przekroju rocznym odzwierciedliły się pewne cechy charakterystyczne dla hydrologii rzeki przed spiętrzeniem (ryc. 12b). Najwyższe stany wody występowały podczas roztopów — z maksimum w kwietniu. Zaznaczyło się to szczególnie wyraźnie w podniesieniu stanów minimalnych. Średnie roczne stany wody wykazywały stałą tendencję wzrostu — 3—5 cm rocznie (ryc. 12c). Ich rzędne układały się poniżej zakładanego poziomu zbiornika (57,3 m npm.). Podobny, systematyczny wzrost cechował średnie z minimów miesięcznych. W wyniku większego zrzutu wody w okresach wezbrań średnie z najwyższych stanów miesięcznych układały się na jednakowym poziomie.

Maksymalny stan wody (57,70 m npm.) był wyższy o 40 cm od zakładanej rzędnej piętrzenia i trwał zaledwie 2 dni (tab. 7). Stany wyższe od planowanego poziomu zbiornika występowały przez około 30 dni w roku. Największą częstotliwość i jej systematyczny wzrost wykazywały stany wody do 20 cm niższe od rzędnej piętrzenia. W 1974 r. wyraźnie zmalała częstotliwość stanów niskich. Tylko dwukrotnie poziom wody w zbiorniku obniżył się o ponad 1 m w stosunku do rzędnej piętrzenia.





Ryc. 12. Stany wody zbiornika (1971—1974)

a — miesięczne: 1 — najwyższe 2 — średnie, 3 — najniższe; b — przeciętne miesięczne: 1 — średnie z najwyższych, 2 — średnie, 3 — średnie z najniższych; c — w poszczególnych latach: 1 — średnie z najwyższych miesięcznych, 2 — średnie roczne, 3 — średnie z najniższych miesięcznych

Water levels in reservoir (1971—1974)

a — monthly: 1 — highest, 2 — mean, 3 — lowest; b — mean monthly: 1 — mean among highest, 2 — mean, 3 — mean among lowest levels; c — for particular years: 1 — mean among monthly highest, 2 — annual mean levels, 3 — mean among lowest monthly levels

Tabela 7

Czasy trwania i częstotliwości stanów wody zbiornika w latach 1971–1974 (wodowskaz na zaporze)

Stany wody (m npm.)	Czas trwania (dni)				Częstotliwość (dni)			
	1971	1972	1973	1974	1971	1972	1973	1974
57,70–57,89	—	—	2	—	—	—	2	—
57,50–57,69	2	—	8	2	2	—	6	2
57,30–57,49	29	27	28	42	27	27	20	40
57,10–57,29	199	202	256	301	170	175	228	259
56,90–57,09	267	296	304	336	68	94	48	35
56,70–56,89	308	339	333	345	41	43	29	9
56,50–56,69	359	363	365	362	51	24	32	17
56,30–56,49	365	366	—	363	6	3	—	1
56,10–56,29	—	—	—	365	—	—	—	2
				razem	365	366	365	365

Wymiana wody w zbiorniku. Całkowita pojemność zbiornika (0,3872 km<sup>2</sup>) stanowi zaledwie 1,3<sup>0</sup>/o średniego rocznego odpływu z dorzecza Wisły w przekroju Włocławek (29,4 km<sup>3</sup>). Z tego względu wymiana wody następuje bardzo szybko, średnio co 5 dni (tab. 8). W wysokich przepływach powodziowych — powyżej 4 000 m<sup>3</sup>/s — okres wymiany spada poniżej jednej doby.

Pojemność użytkowa zbiornika (0,0527 km<sup>3</sup>), w wahaniami 0,8 m, stanowi jedynie 13,6<sup>0</sup>/o pojemności całkowitej i niecałe 0,2<sup>0</sup>/o średniego rocznego odpływu z dorzecza. Świadczy to o bardzo ograniczonych możliwościach retencjonowania wód powodziowych, a tym samym łagodzenia wezbrań na rzece poniżej zapory. Dla przykładu podam, że przy przewadze dopływu do zbiornika nad odpływem — rzędu 2000 m<sup>3</sup>/s — warstwa użytkowa zostaje wypełniona w około 7 godzin.

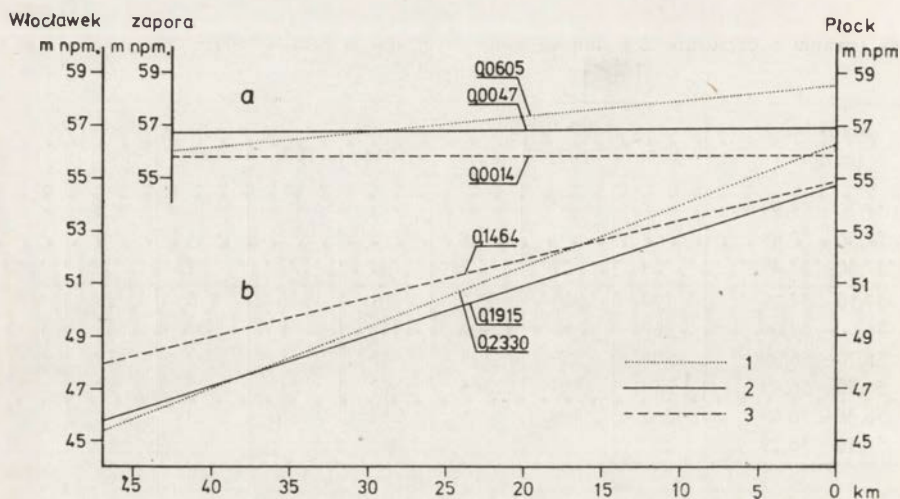
Spadki zwierciadła wody zbiornika. Przed spiętrzeniem (1959–1968) średni spadek zwierciadła rzeki na odcinku Płock-Włocławek (47 km) wyniósł 19,1 cm/km, o różnicy poziomów wody 900 cm (ryc. 13).

W zbiorniku (42,5 km) największe spadki zwierciadła występowały

Tabela 8

Szybkość wymiany wody w zbiorniku w zależności od wielkości przepływów we Włocławku (1919–1954)

Przepływ	(m <sup>3</sup> /s)	Odpływ roczny (km <sup>3</sup> )	Pojemność	Szybkość wymiany	
			odpływ (%)	w dobach	wielokrotność roczna
Najwyższy średni roczny	1443	45,5	0,85	3,1	117,5
Średni	933	29,4	1,32	4,8	76,0
Najniższy średni roczny	544	17,2	2,25	8,2	44,3
Maksymalny	8305	—	—	0,5	—



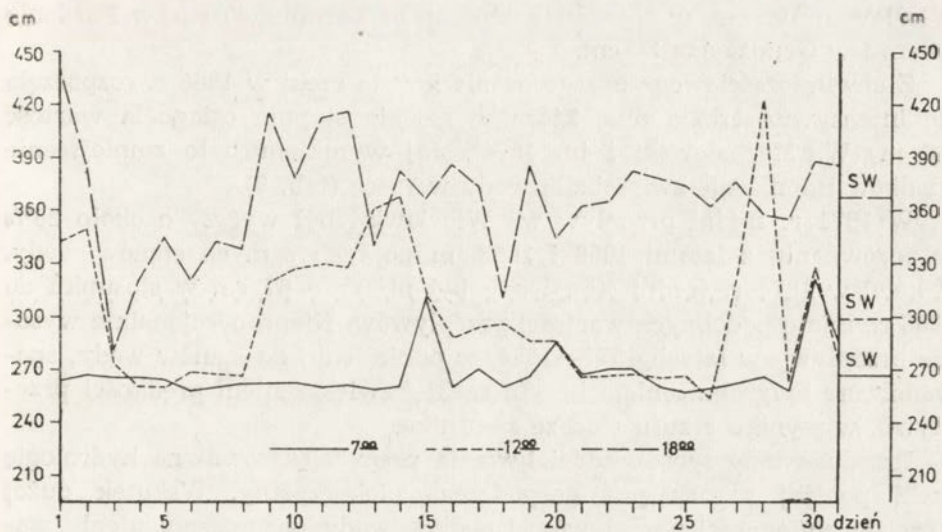
Ryc. 13. Spadki zwierciadła wody w zbiorniku (a) i w rzece przed spiętrzeniem (b)  
1 — najwyższe; 2 — średnie; 3 — najniższe

Drop of water level in storage basin (a) and in the river (b) prior to ponding  
1 — highest; 2 — mean; 3 — lowest

podczas przechodzenia fal powodziowych. Powodowały one znaczne podniesienie poziomu górnej części zbiornika, a przy zaporze położenie zwierciadła nie ulegało większym zmianom wskutek intensywnego zrzutu wody. Maksymalny spadek (6 cm/km) wystąpił podczas wezbrania wiosennego (28 III 70 r.), gdzie różnica poziomów wody wynosiła 257 cm. Najmniejsze wartości notowano przy małym dopływie wód rzecznych i wysokim poziomie piętrzenia. Minimalny spadek (0,14 cm/km) wystąpił 18 XII 69 r. — różnica poziomów wody 6 cm. Z wyjątkiem okresów wezbrań spadki na ogół nie przekraczały 1 cm/km — różnica poziomów wody około 40 cm.

Z przedstawionych danych wynika, że spadki zwierciadła zależą głównie od wysokości fal powodziowych. Drugorzędny wpływ mają zmiany poziomu wody spowodowane pracą elektrowni. Wynika to z mniejszej miąższości warstwy użytkowej, w stosunku do wysokości fal wezbraniowych. Opisany sposób kształtowania się spadków zwierciadła wody jest charakterystyczny dla zbiorników o małych możliwościach regulowania przepływu rzecznoego (S. G. Biejrom i in. 1973).

Wpływ pracy elektrowni na stany wody w rzece. Niejednostajne zrzuty wody w ciągu doby powodują częste zmiany stanów i znaczne amplitudy wahań zwierciadła rzeki. W październiku 1970 r., przy małym dopływie wody do zbiornika, stany rzeki we Włocławku (4,6 km poniżej zapory) były uzależnione głównie od pracy elektrowni (ryc. 14). W godzinach rannych miały najniższe wartości i na ogół wyrównany przebieg.



Ryc. 14. Wpływ pracy elektrowni na stany wód Wisły we Włocławku (październik 1970).

Effect of operation of electric works upon Vistula level at Włocławek (October 1970)

Najwyższe stany wody i jednocześnie najbardziej zmienne występowały wieczorem. Amplitudy pomiędzy stanami wody z godziny 7.00 i 18.00 dochodziły do 176 cm (1 X). W. Machalewski i in. (1974) podają, że „W przypadku pracy elektrowni 2 szczytami w ciągu doby na  $Q_{\max} = 2100 \text{ m}^3/\text{s}$  wpływ zrztu daje się wyraźnie odczuć na odcinku prawie 200-kilometrowym w dół od stopnia...” (s. 114). Równocześnie maksy-

Tabela 9

Spadki zwierciadła rzeki (w  $\cdot/\cdot$ ) na odcinku Płock—Włocławek (1959—1968) i zapora—Włocławek (1972—1974)

Rok	Średni miesięczny		Średni roczny	Stan wody (cm)	Przepływ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
	najniższy	najwyższy			
1959	0,190	0,193	0,191	317	677
1962	0,189	0,227	0,197	371	1017
1963	0,192	0,195	0,193	318	682
1967	0,189	0,193	0,191	395	1191
1968	0,179	0,190	0,188	359	935
1959—1968	0,179	0,227	0,191	351	892
1971	—	—	—	318	839
1972	0,067	0,130	0,104	264	800
1973	0,063	0,157	0,109	269	819
1974	0,076	0,172	0,115	292	839
1972—1974	0,063	0,172	0,109	275	853

malne przyrosty poziomu wody w rzece wynoszą: na zaporze 220 cm, we Włocławku 195 cm, w Nieszawie 150 cm, w Toruniu 90 cm, w Fordonie 55 cm i w Grudziądzu 30 cm.

Z chwilą częściowego przegrodzenia koryta rzeki w 1968 r. rozpoczęła się intensywna erozja dna, która w rejonie stopnia osiągnęła wartość 0,6 m (W. Machalewski i in. 1974). Jej wynikiem było zmniejszenie spadków i obniżenie zwierciadła wody w rzece (tab. 9).

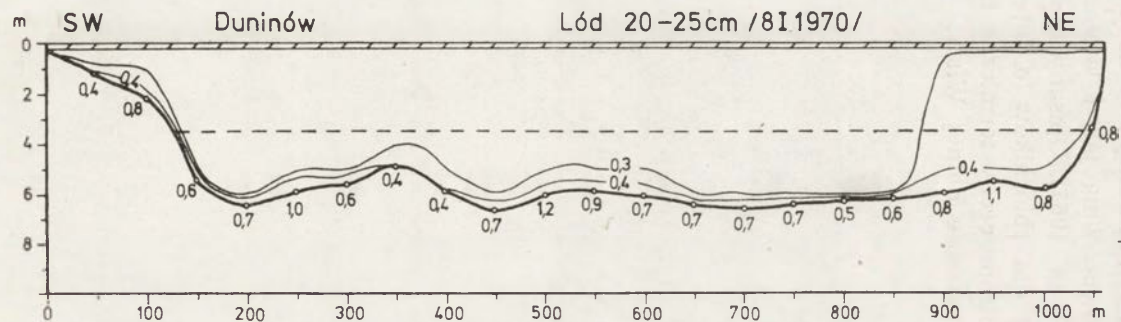
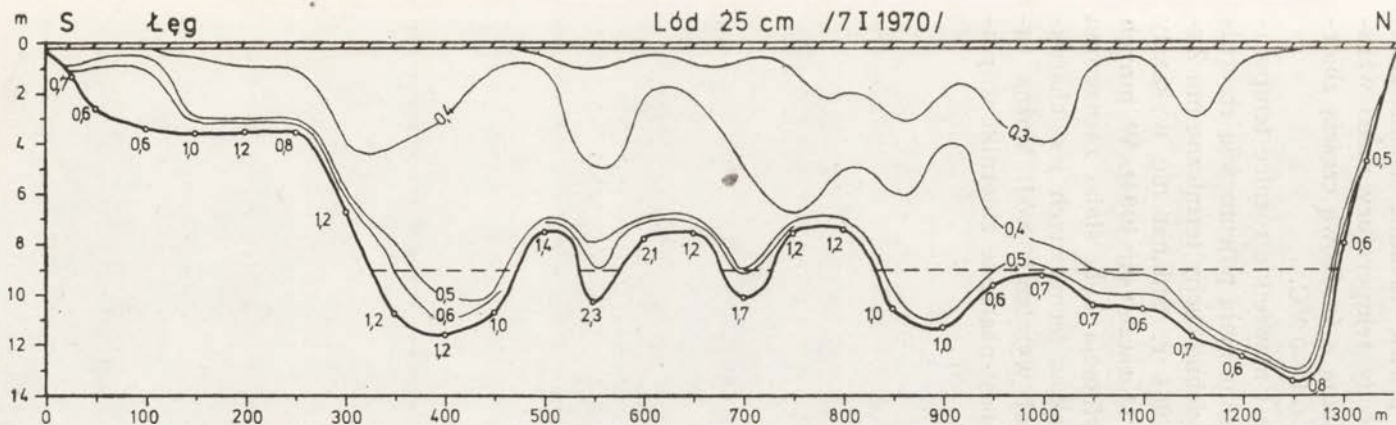
W 1971 r. średni przepływ we Włocławku był wyższy o około 23% w porównaniu z latami 1959 i 1963, mimo tych samych stanów wody. Z kolei w 1974 r. średni stan wody był niższy o 67 cm w stosunku do 1968 r., mimo podobnych wartości przepływów. Nieproporcjonalnie wysokie przepływy w latach 1971—1974, w odniesieniu do stanów wody, spowodowane były obniżeniem koryta rzeki i zwiększeniem prędkości przepływu, w wyniku zrzutu wód ze zbiornika.

Przedstawiony sposób oddziaływania pracy elektrowni na hydrologię rzeki poniżej zapory jest gospodarczo niekorzystny. Wskutek dużej i częstej zmienności przepływów i stanów wody pogorszeniu uległy warunki żeglugi. Wybudowanie stopnia nie zabezpieczyło doliny przed powodzią. Przy maksymalnym wykorzystaniu pojemności retencyjnej zbiornika ścięcie kulminacji fal powodziowych na rzece poniżej zapory wynosi kilkadziesiąt centymetrów (R. Glazik 1976a). Na podstawie tych faktów niezbędne jest przyśpieszenie budowy wyrównawczego stopnia wodnego w Ciechocinku.

#### 4. TERMIKA ZBIORNIKA W OKRESIE ZIMOWYM

W styczniu 1970 roku przeprowadzono z lodu jednorazowe pomiary temperatury wody w dwóch przekrojach poprzecznych (M. Banach R. Glazik 1971). Jeden wytyczono w dolnej (Łęg), drugi w środkowej (Duninów Nowy) części zbiornika. W pionach rozmieszczonych co 50 m, temperaturę wody mierzono bezpośrednio pod lodem, a następnie co 1 m, kończąc na powierzchni dna (ryc. 15).

W dolnej, najgłębszej części zbiornika pomiary wykazały słabo zaznaczoną stratyfikację termiczną. W północnej części przekroju temperatura wody była niższa i prawie idealnie wyrównana. Świadczy to o intensywniejszym dopływie chłodniejszych, dobrze wymieszanych wód Wisły. Dopływ ten odbywa się głównie na linii dawnego koryta rzeki, a więc położenie nurtu nie uległo zmianie. W miarę oddalania się od linii nurtu temperatury rosły, a termoizobaty wyraźnie naśladowały konfigurację dna. Ocieplający wpływ dna na wody zbiornika sięgał maksymalnie 5—6 m. Najniższe temperatury dna wystąpiły na linii nurtu, gdzie szybszy przepływ zimnych wód powoduje intensywniejszą wymianę ciepła między dnem a wodą. Najwyższe temperatury dna zanotowano w obrębie zatopionych kęp.



Ryc. 15. Warunki termiczne w dolnej (Łęg) i środkowej (Duninów Nowy) części zbiornika w okresie zimowym  
 1 — średnie stany wody przed spleźnieniem

Thermal conditions in lower part (Łęg) and middle part (Duninów Nowy) of storage basin during winter.

1 — mean water levels prior to ponding

W środkowej części zbiornika spiętrzenie Wisły nie wpłynęło na zmianę stosunków termicznych. Woda była prawie idealnie wymieszana. Tylko w przydennej, cienkiej warstwie wody temperatury nieco wzrastały. Różnica temperatur wody między dolną a środkową częścią zbiornika wynosiła podczas pomiarów zaledwie 0,1—0,2°C.

Słabo zaznaczona stratyfikacja pionowa i niewielkie różnice temperatur w przekroju podłużnym są uwarunkowane małą pojemnością zbiornika w stosunku do wielkości przepływu. Podobne cechy termiczne ma Zalew Zegrzyński. Przeprowadzone zimą 1964 r. badania nie wykazały uwarstwienia termicznego (J. Dojlido, J. Moraczewski 1964). W innych latach, zarówno zimą jak i latem, stratyfikacja była słabo zaznaczona (J. Dojlido i in. 1967). Opisany typ stosunków termicznych jest charakterystyczny dla zbiorników o intensywnej wymianie wód. Można sądzić, że zbliżone cechy termiczne będą miały następne zbiorniki w planowanej kaskadzie dolnej Wisły.

## V. ODDZIAŁYWANIE SPIĘTRZENIA WISŁY NA DYNAMIKĘ WÓD GRUNTOWYCH

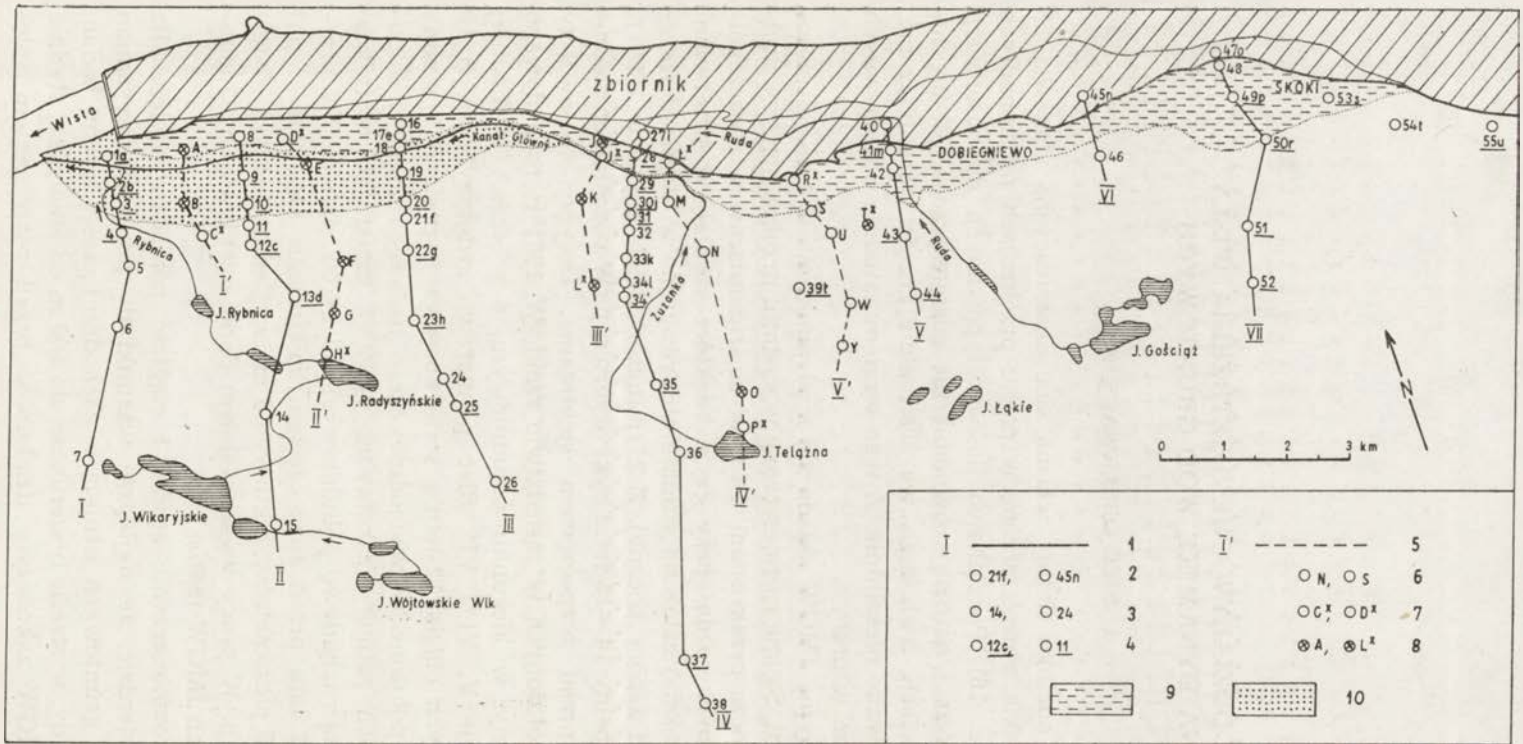
### 1. SIĘĆ OBSERWACYJNA

Na badanym odcinku doliny własną sieć obserwacyjną stanowią 23 studnie gospodarskie, rozmieszczone w pięciu przekrojach prostopadłych do zbiornika (ryc. 16). Początkowo ilość wytypowanych do obserwacji studni była większa i bardziej równomiernie rozmieszczona. W niektórych miejscowościach, zwłaszcza we wschodniej części terenu badań, pomiary wykonywano niesolidnie. Z tego względu, studnie o niepewnych danych pominąłem w pracy.

Sieć obserwacyjna IMGW składa się z 56 punktów, w tym 35 piezometrów i 21 studni. Są one rozmieszczone w siedmiu przekrojach, a 4 studnie znajdują się poza przekrojami. Długość serii pomiarów w poszczególnych punktach była różna, przy czym niektóre działały z przerwami (ryc. 17). Najwcześniej założono studnie obserwacyjne w strefie o szerokości do 2 km od zapory bocznej. Z 21 punktów działających w 1959 r. tylko 12 posiada pełny 14—15 letni cykl obserwacji. W pozostałych zakończono pomiary przed rozpoczęciem spiętrzania. Dotyczy to niestety głównie studni położonych w sąsiedztwie rzeki. W 1961 r. rozbudowano istniejące przekroje w kierunku południowym, a w części wschodniej założono przekroje V, VI i VII. Sieć pomiarowa zwiększyła się o 19 punktów, z których ciąglą 12-letnią serię obserwacji posiada 9 studni, z tego tylko 2 są położone we wschodniej części badanego obszaru. W pozostałych punktach pomiary zakończono również przed lub w trakcie spiętrzania. Dalszą rozbudowę południowych odcinków przekrojów przeprowadzono na 2 lata przed rozpoczęciem spiętrzania. Od 1967 r. pomiarami objęto 15 piezometrów, z których 6 ma względnie pełny 6—7-letni cykl obserwacji. W pracy wykorzystałem dane z wybranych 37 punktów pomiarowych IMGW (66%).

Porównując rozmieszczenie studni i ciągłość pomiarów zwierciadła wody można stwierdzić, że najlepsze warunki do prześledzenia zmian w dynamice wód gruntowych istnieją w zachodniej części terenu badań. Na wschód od Rudy, w strefie o szerokości do 600 m od zbiornika, studnie obserwacyjne IMGW zakończyły działalność przed rozpoczęciem spię-



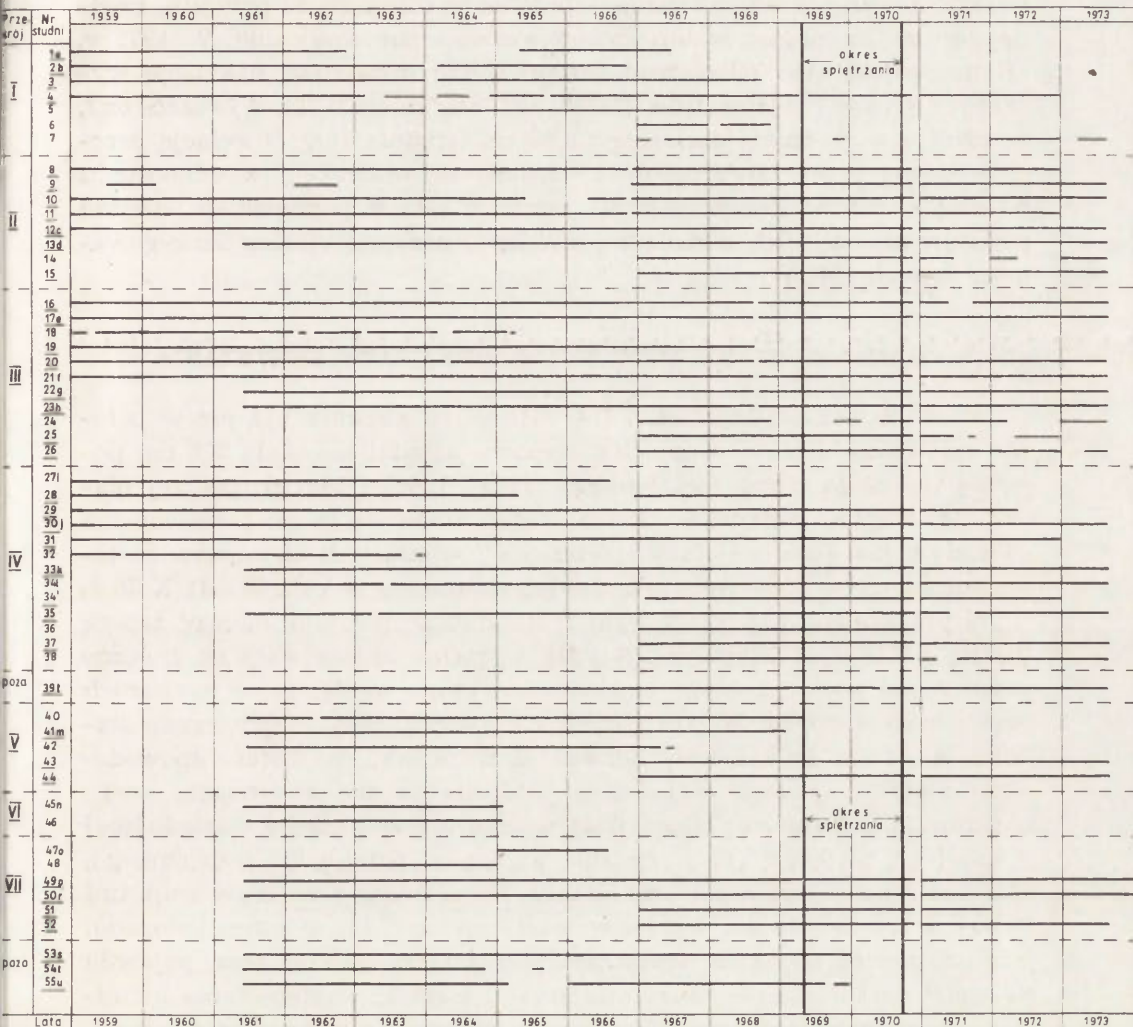


Ryc. 16. Sieć obserwacyjna wód gruntowych

1 — przekroje IMGW; 2 — studnie, 3 — piezometry, 4 — punkty, z których dane wykorzystano w pracy; 5 — przekroje własne; 6 — studnie z codziennymi pomiarami stanów wody, 7 — studnie z pomiarami stanów wody 2 razy w tygodniu, 8 — studnie z pomiarami temperatury wody; 9 — obszary o podniesionym poziomie wód gruntowych; 10 — tereny o obniżonym poziomie wód gruntowych

Network of observation points of groundwater tables

1 — IMGW cross-section; 2 — wells; 3 — piezometres; 4 — points from which data were used in this study; 5 — the author's own cross-sections; 6 — wells with daily level readings; 7 — wells with level readings made twice weekly; 8 — wells with measurements of water temperature; 9 — areas in which groundwater levels rose; 10 — areas in which groundwater levels subsided



Ryc. 17. Ciągłość danych z punktów obserwacyjnych IMGW

21f, 341 — studnie; 5, 14 — piezometry; 1a, 3 — punkty, z których dane wykorzystalem w pracy

Sequence of data from observation points IMGW

21f, 341 — wells; 5, 14 — piezometres; 1a, 3 — points from which data were used in this study

trzenia. Wydaje się, że kosztem rozbudowy przekrojów w kierunku południowym należało zagęścić punkty pomiarowe w sąsiedztwie zbiornika. Są to obszary najbardziej narażone na oddziaływanie spiętrzania, a jednocześnie najlepiej zagospodarowane.

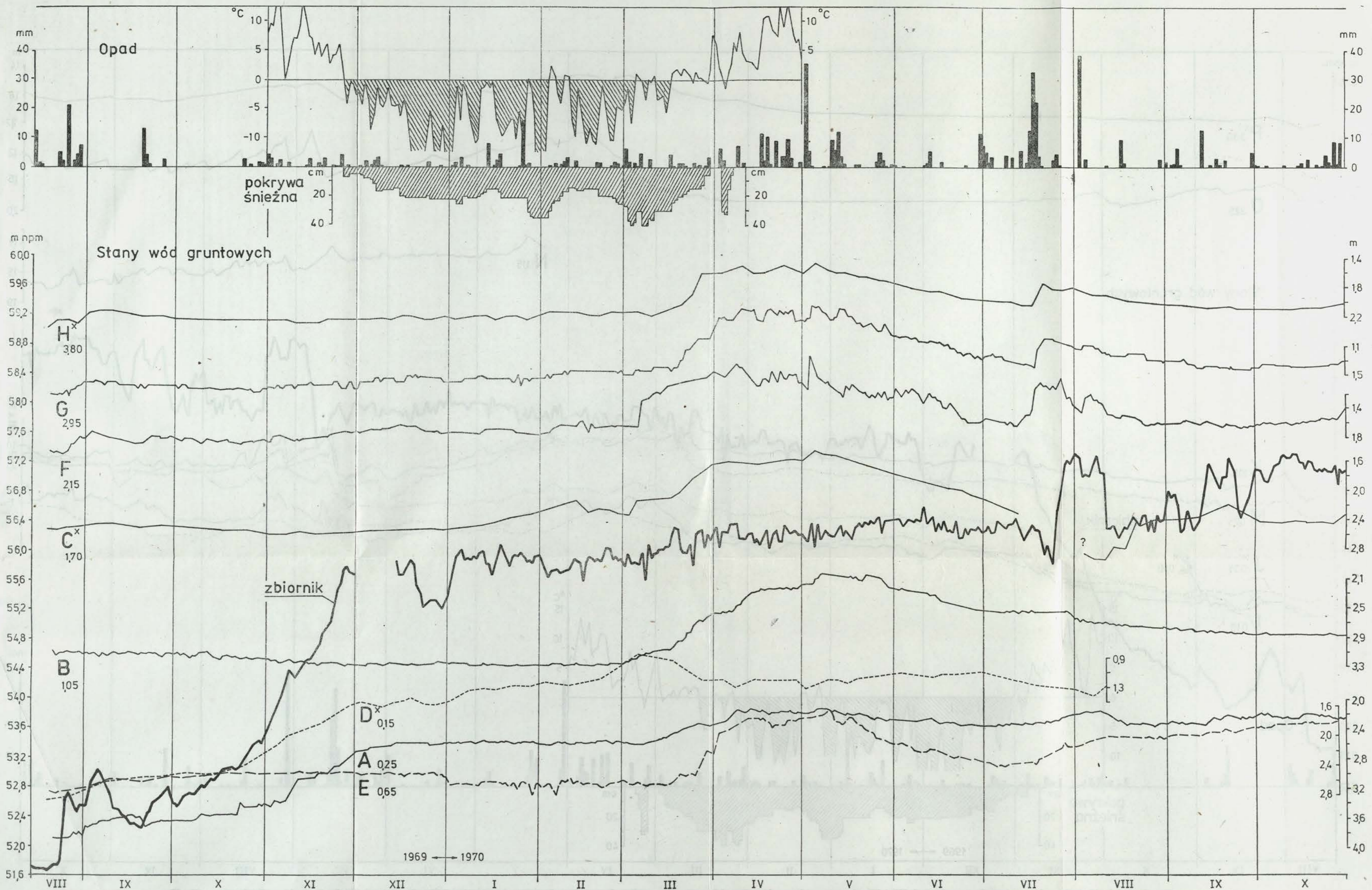
Podczas opracowywania danych stwierdzono rozbieżności w rzędnych znaku mierniczego (kryzy) i powierzchni terenu dla tych samych punktów obserwacyjnych IMGW. Różnice dochodziły do 1 m, a nawet więcej, co powodowało zawyżenie lub zaniżenie bezwzględnych stanów wody. Dane

te skorygowano przez obliczenie poprawek w stosunku do przyjętej rzędnej terenu, uzyskując w ten sposób wartości porównywalne. W 1972 r. „Hydroprojekt” we Włocławku przeprowadził dodatkową niwelację wybranych studni i piezometrów IMGW (W. Stefaniak 1972). Wykazała ona, że różnice w rzędnych dochodzą do 80 cm (studnia 50r). Niwelację przeprowadzoną przez „Hydroprojekt” uznano za właściwą i w odniesieniu do niej obliczono rzędne stanów wody w latach poprzednich. Rzędne punktów nie objętych dodatkową niwelacją przyjęto według skorygowanych danych IMGW.

## 2. CODZIENNE STANY WODY W KOŃCOWEJ FAZIE SPIĘTRZANIA

W chwili rozpoczęcia badań (14 VIII 69 r.) zbiornik był już w połowie spiętrzony. Poziom wody przy zaporze układał się około 505 cm powyżej średniego stanu wieloletniego (1959—1968) i 558 cm poniżej planowanej rzędnej piętrzenia. Dlatego ograniczono się tu do przesledzenia oddziaływania końcowej fazy spiętrzenia i wybranych elementów meteorologicznych na stany wód gruntowych w okresie 14 VIII 69—31 X 70 r.

W przekrojach I' i II' (ryc. 18) tylko studnie położone między zaporą boczną a Kanałem Głównym (A i D), wyraźnie zareagowały na znaczne podniesienie poziomu wody w zbiorniku, które wystąpiło w miesiącach październik—listopad. W pozostałych stany wody były w tym czasie stabilne, a nawet wykazywały tendencję zniżkową, co zostało spowodowane małymi opadami. Od końca listopada rzędne zwierciadła wody w studni A (na zaporze bocznej) są wyższe niż w studni E, sąsiadującej z kanałem. Świadczy to o zmianie kierunku przepływu podziemnego, który odbywa się od zapory do kanału. Na przebieg i wielkość amplitud stanów wody decydujący wpływ wywarły roztopy. Już w końcu listopada, jednocześnie ze spadkiem temperatury powietrza poniżej zera, pojawiła się pokrywa śnieżna. Jej duża miąższość i ciągłość występowania utrudniła przemarznięcie gruntu, co w okresie roztopów wpłynęło na gwałtowne zasilanie wód gruntowych. Ich zwierciadło zaczęło się podnosić równocześnie z przejściem temperatury powyżej zera, mimo znacznej jeszcze grubości pokrywy śnieżnej. W studni F krótkotrwałe ocieplenie (2 dni) w początkach marca spowodowało przyrost poziomu wody o 20 cm, z 2-dniowym opóźnieniem. W tym samym dniu w studni D wystąpił najwyższy stan wody. W stosunku do opadu z 2 V (36 mm), który nałożył się na wysokie stany roztopowe, przesunięcie kulminacji wynosiło 2—3 dni (w studni B — 5 dni). Z tym samym opóźnieniem zareagowało zwierciadło wody w studniach F, G, H na maksimum dobowego opadu z lipca (33 mm). Słabe odzwierciedlenie w stanach wody znalazł najwyższy dobowy opad z sierpnia (38 mm), z wyjątkiem studni F. Wiąże się to prawdopodobnie z większym przesuszeniem gruntu, spowodowanym brakiem opadów przez 6 dni.

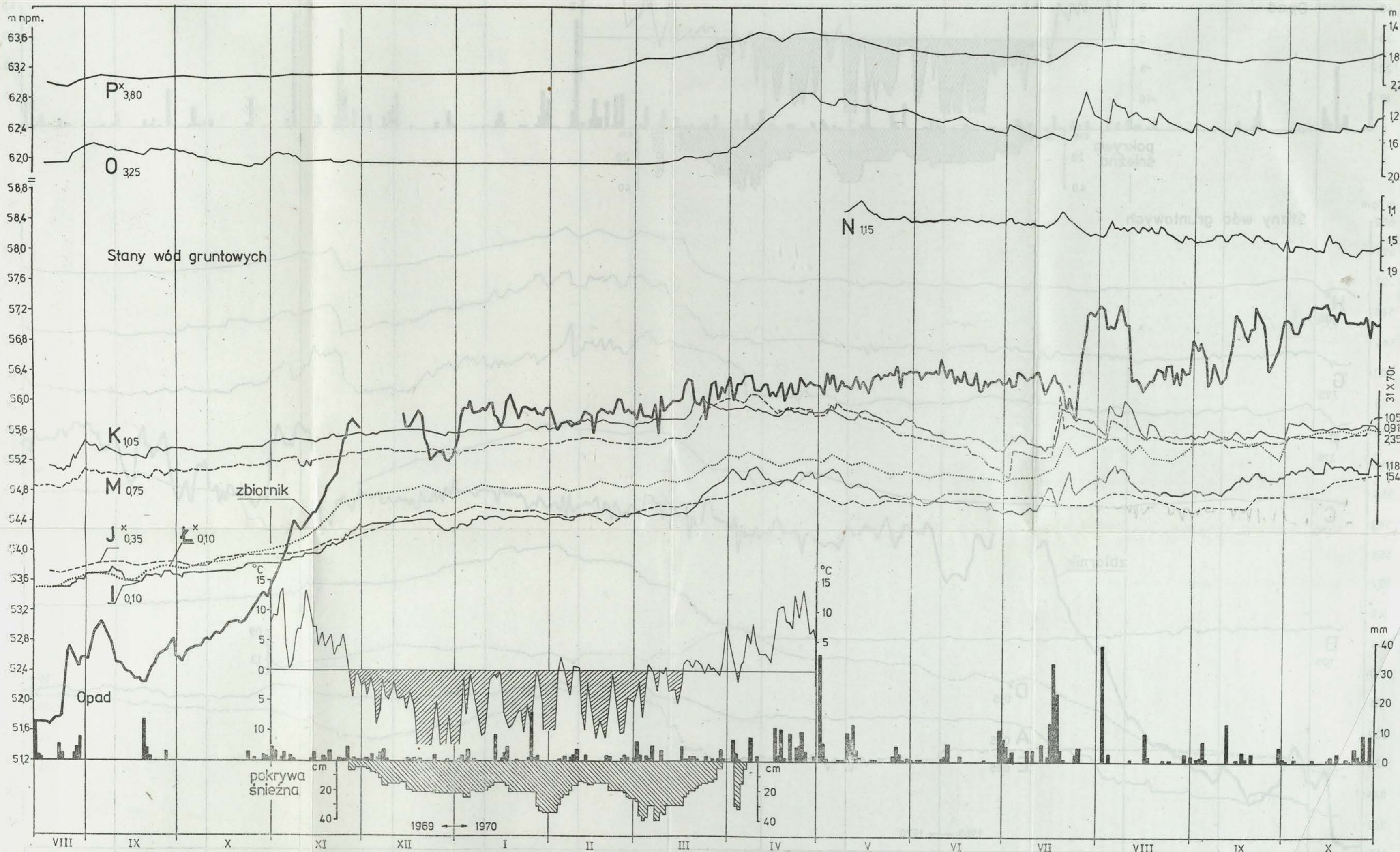


Ryc. 18. Zależność stanów wód gruntowych w przekrojach I' i II' od zmian poziomu zbiornika, dobowych sum opadów, temperatury powietrza i miąższości pokrywy śnieżnej (Wistka Królewska)

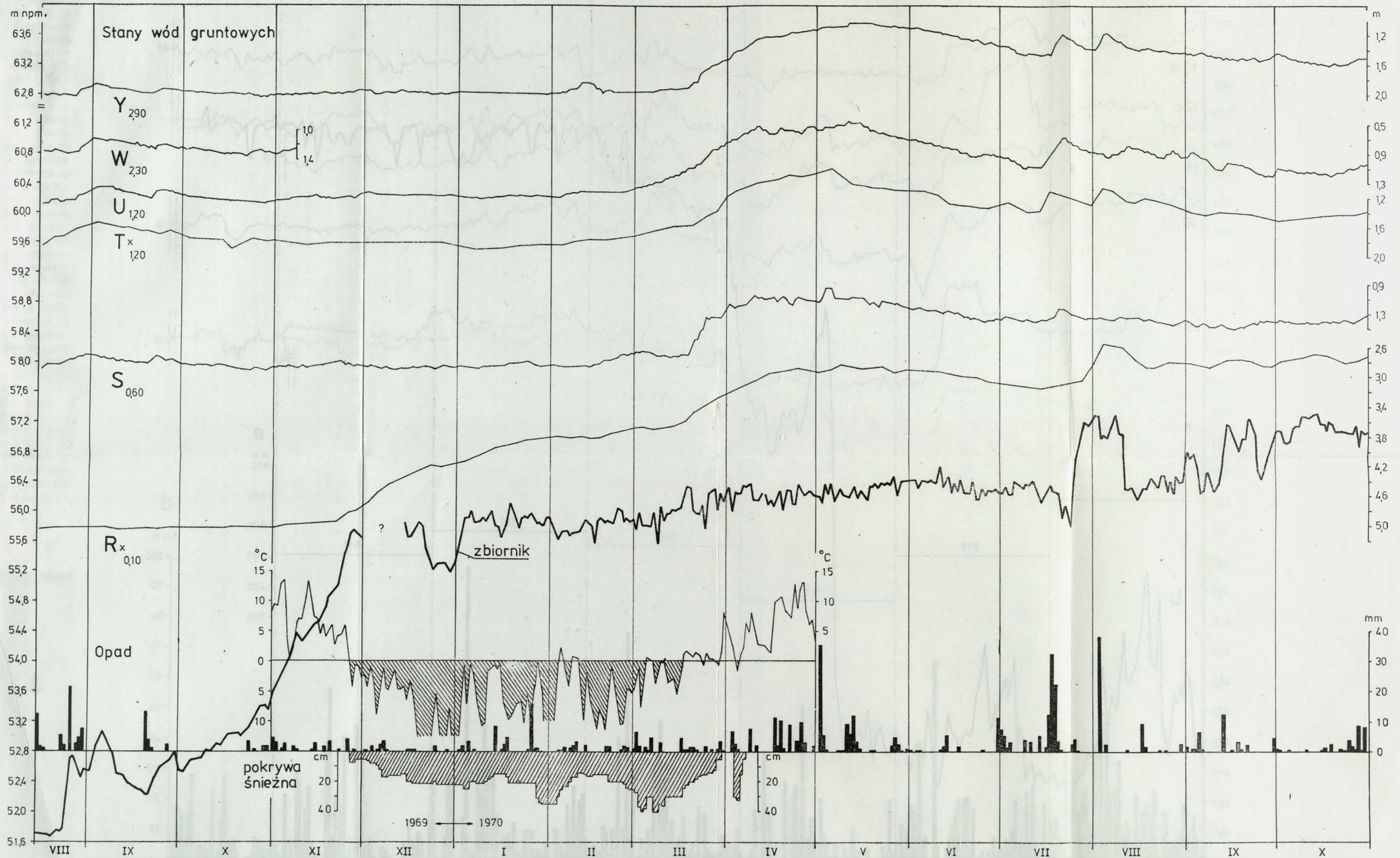
$B_{1,05}$  — studnia z codziennymi pomiarami stanów wody i odległość od brzegu zbiornika (km); x — studnia z pomiarami stanów wody 2 razy w tygodniu

Interdependence between groundwater levels in cross-sections I' and II' and changes in reservoir water level, diurnal sums of precipitation, air temperature, and thickness of snow cover (Wistka Królewska)

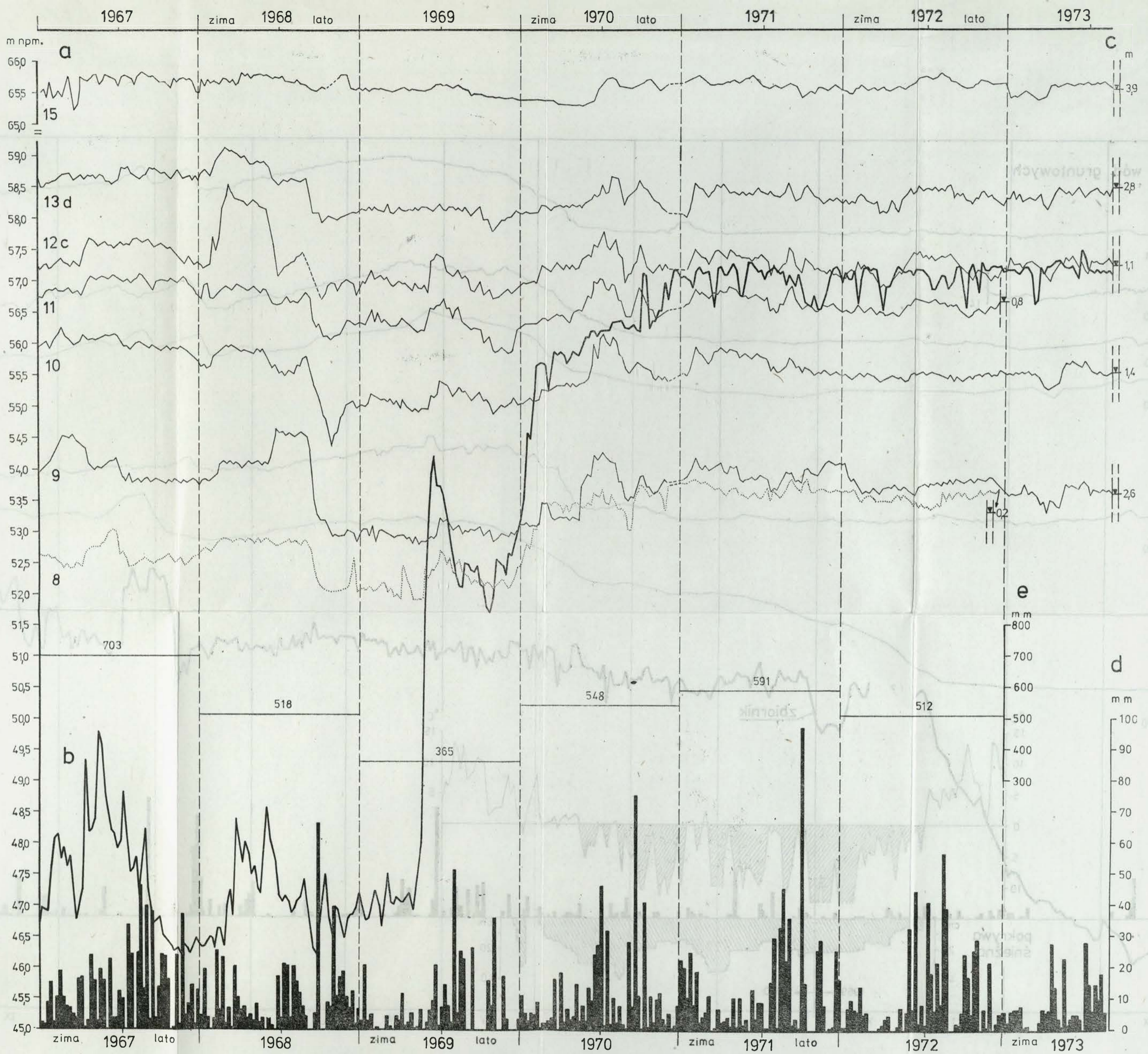
$B_{1,05}$  — well with daily level readings and distance from basin bank (in km), x — well with level readings made twice weekly



Ryc. 19. Zależność stanów wód gruntowych w przekrojach III' i IV' od zmian poziomu zbiornika, dobowych sum opadów, temperatury powietrza i miąższości pokrywy śnieżnej (Wistka Królewska). Objaśnienia — ryc. 18  
 Interdependence between groundwater levels in cross-sections III and IV and changes in reservoir water level, diurnal sums of precipitation, air temperature, and of snow cover (Wistka Królewska). For explanation of Fig. 18



Ryc. 20. Zależność stanów wód gruntowych w przekroju V' od zmian poziomu zbiornika, dobowych sum opadów, temperatury powietrza i miąższości pokrywy śnieżnej (Wistka Królewska). Objaśnienia — ryc. 18  
 Interdependence between groundwater levels in cross-section V' and changes in reservoir water level, diurnal sums of precipitation, air temperature, and thickness of snow cover (Wistka Królewska). For explanations of Fig. 18



Ryc. 21. Cotygodniowe stany wód gruntowych w przekroju II w powiązaniu ze stanami wód Wisły i opadami (Wistka Królewska)  
 a — stany wód gruntowych; b — średnie tygodniowe stany Wisły (zbiornika); c — głębokości do wody w dniu 25 VI 73 r.; d — tygodniowe sumy opadów; e — roczne sumy opadów

Weekly records of groundwater levels in cross-section II in relation to levels of the Vistula waters and to precipitation (Wistka Królewska)  
 a — groundwater tables; b — mean weekly Vistula water levels in the reservoir; c — depth down to water tables on June 25, 1973; d — weekly sums of precipitation; e — annual sums of precipitation

Warto podkreślić, że w studniach objętych oddziaływaniem spiętrzenia maksima roztopowe uległy znacznemu złagodzeniu, a przebieg stanów wody wyrównaniu, mimo niewielkich miąższości strefy aeracji.

Ponadto słabo zaznaczył się wpływ opadów i drobnych zmian poziomu zbiornika na stany wód gruntowych. Wynika to z wyrównawczego oddziaływania sieci melioracyjnej, która szybko odprowadza nadmiary wód opadowych i wód infiltrujących ze zbiornika. Z kolei w okresach bezdeszczowych poziom wód gruntowych, w sąsiedztwie zapory bocznej, nie ulega większemu obniżeniu, ponieważ niedobory wody uzupełnia wzmożona infiltracja ze zbiornika. W badanym okresie powodowała ona systematyczny wzrost przepływów w Kanale Głównym. Świadczy o tym studnia E (nad kanałem), w której poziom wody w końcu października 1970 r. był zbliżony do maksymalnych stanów roztopowych.

W przekrojach III' i IV' (ryc. 19) wyraźny wpływ spiętrzenia na wody gruntowe zaznaczył się również w strefie między zaporą boczną a Kanałem Głównym (I, J, Ł), zwłaszcza w studni Ł, położonej najbliżej zbiornika. Pomiędzy wykresami rzędnych stanów wody w punktach K i M nastąpiło niewielkie zmniejszenie odległości pionowej, a więc złagodzenie spadków zwierciadła. Pozwala to sądzić, że studnia M została objęta wpływem spiętrzenia, a jego oddziaływanie sięga na południe od płytko wciętego Kanału Głównego. Podobnie jak w przekrojach I' i II' odwróceniu uległ kierunek przepływu wód gruntowych (od zbiornika do kanału). Przebieg stanów wody w sąsiedztwie zapory był jednak bardziej niespokojny. Z jednej strony świadczy to o większym oddziaływaniu opadów, spowodowanym płytszym występowaniem wód gruntowych, z drugiej — o mniejszej skuteczności działania urządzeń odwadniających. Czas reakcji na opady wynosił 1—4 dni. Zależność stanów wód gruntowych od dobowych wahań poziomu zbiornika była niewyraźna. Jedynie przy dużych amplitudach zwierciadła wody w zbiorniku można zauważyć pewną zgodność w przebiegu stanów wody. Na przełomie lipca i sierpnia wystąpiły wysokie kulminacje poziomu wody w zbiorniku i w studniach. Podniesienie zwierciadła wód gruntowych było jednak spowodowane głównie opadami.

W przekroju V' (ryc. 20) wpływ spiętrzenia w badanym okresie objął tylko studnię R, położoną w pobliżu brzegu zbiornika. Wskutek wyższych rzędnych zwierciadła wód gruntowych, w stosunku do przekrojów poprzednich, stany wody zaczęły się podnosić od końca listopada, a więc z opóźnieniem 2—3 tygodni. W pozostałych studniach były uzależnione wyłącznie od roztopów i opadów. Jednocześnie wykazywały bardzo podobny i regularny przebieg, a kulminacje występowały 1—3 dni po opadach.

Przedstawione dane wykazują, że na danym obszarze zasilanie opadami wód gruntowych zachodzi bardzo szybko, a warunki wsiąkania są zbliżone. Z tego względu nie zamieszczono profilów geologicznych studni.



Maksima dobowych sum opadów zaznaczały się w stanach wody z opóźnieniem 1—5 dni, najczęściej 1—3 dni. Te niewielkie różnice czasowe są nie tylko uzależnione od miąższości strefy aeracji, ale również natężenia opadów, temperatury powietrza, uwilgotnienia gruntu, stopnia rozwoju szaty roślinnej a nawet ciśnienia atmosferycznego. Wpływ tego ostatniego czynnika na stany ustabilizowanego zwierciadła napiętych wód dolnokredowych badali J. Dowgiałło i W. Krzywina (1973). Autorzy stwierdzili, że wartość tzw. efektu barometrycznego wynosiła 62‰.

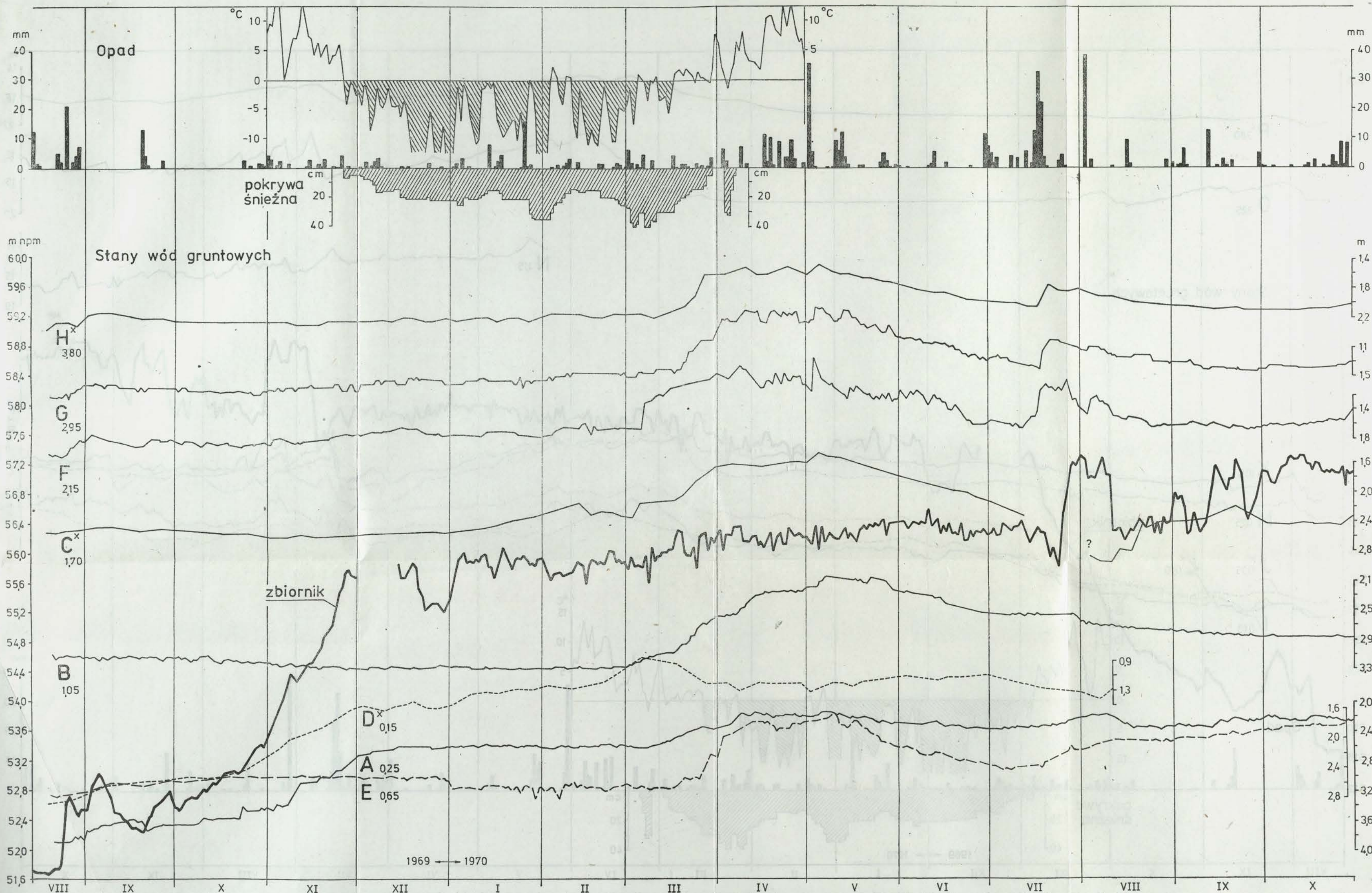
### 3. COTYGODNIOWE STANY WODY PRZED I PO SPIĘTRZENIU

Rzędne cotygodniowych stanów wody (poniedziałki) w punktach obserwacyjnych IMGW powiązано z tygodniowymi sumami opadów na stacjach położonych najbliżej danego przekroju oraz ze średnimi tygodniowymi stanami wód Wisły (zbiornika). Dla rozpatrywanego okresu przed spiętrzeniem (XI 66—II 69 r.) przeprowadzono interpolację rzędnych stanów Wisły do wysokości każdego przekroju. Dla okresu w trakcie i po spiętrzeniu (III 69—X 73 r.) przyjęto dane z wodowskazu na zaprze (woda górna).

W przekroju II (ryc. 21) spiętrzenie Wisły spowodowało podniesienie poziomu wody tylko w sąsiedztwie zapory bocznej (piezometr 8). Kanał Główny całkowicie przechwycił wody infiltrujące ze zbiornika. Świadczą o tym punkty obserwacyjne położone na południe od kanału, w których stany wody były zależne wyłącznie od roztopów i opadów. Dotyczy to również piezometrów o rzędnej poziomu wody niższej od rzędnej piętrzenia. Wezbrania rzeki przed rozpoczęciem spiętrzenia nie oddziaływały na stany wody w badanych studniach.

Również na wysokości Modzerowa wpływ spiętrzenia objął wyłącznie tereny między zaporą a kanałem (ryc. 22). W punktach 16 i 17e poziom wody podniósł się do rzędnej około 52,5 m npm. Od tego momentu rozpoczęła pracę przepompownia, a o jej sprawnym działaniu świadczą bardzo wyrównane stany wody. W latach 1970—1972 roczne amplitudy wynosiły 30—60 cm. Od 1971 r. zaznaczył się niewielki spadek poziomu wody, zgodny z opadami. Brak jest podstaw, aby wiązać go z kolmatacją koryta rzeki. Przed spiętrzeniem stany wody w omawianych studniach były zależne od wahań zwierciadła rzeki.

Określenie wpływu opadów na stany wód gruntowych w sąsiedztwie rzeki jest zazwyczaj bardzo trudne. A. Wieczysty (1969) stwierdza, że: „Łączność hydrauliczna wód podziemnych z rzeką i przesunięcia korespondujących ze sobą stanów w czasie, przy równoczesnym występowaniu wysokich stanów w rzece i opadów są czynnikami ogromnie utrudniającymi tego rodzaju analizę ... Wszystkie przeprowadzone w tym zakresie próby nie dały zadowalającego efektu” (s. 11). Na badanym obszarze, w wyniku podobnych warunków wsiąkania, wpływ opadów na stany



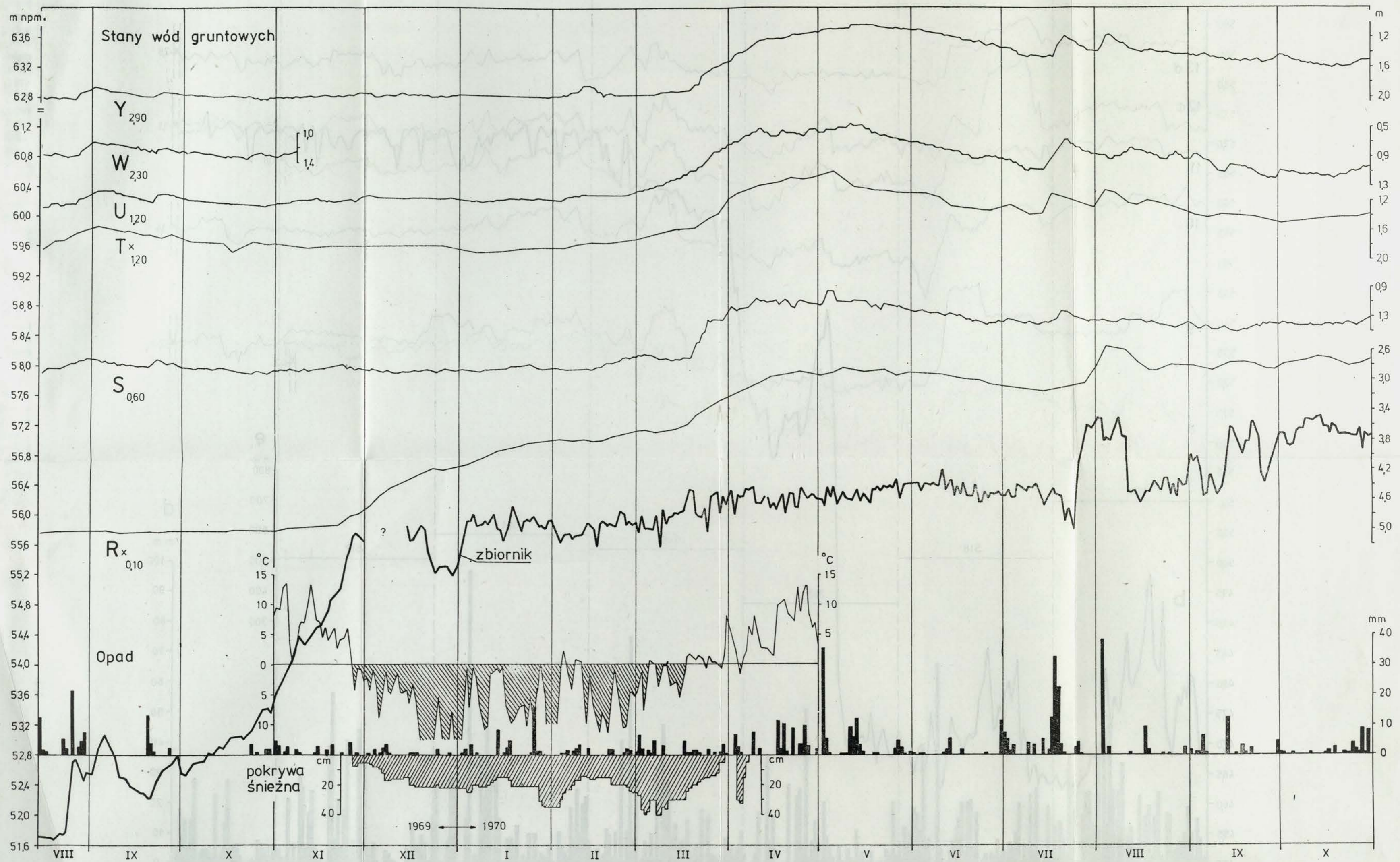
Ryc. 18. Zależność stanów wód gruntowych w przekrojach I' i II' od zmian poziomu zbiornika, dobowych sum opadów, temperatury powietrza i miąższości pokrywy śnieżnej (Wistka Królewska)

B<sub>1,05</sub> — studnia z codziennymi pomiarami stanów wody i odległość od brzegu zbiornika (km); x — studnia z pomiarami stanów wody 2 razy w tygodniu

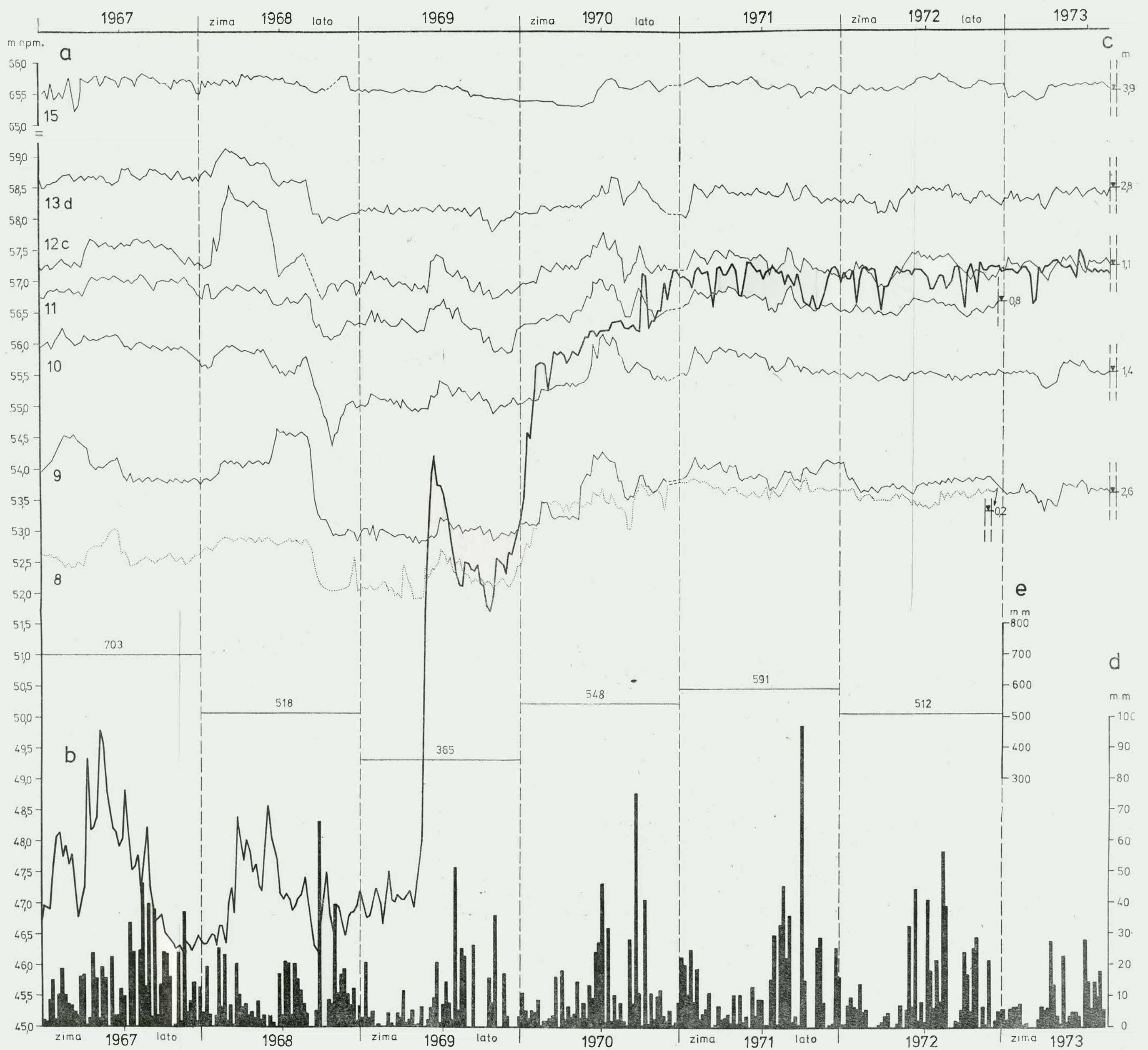
Interdependence between groundwater levels in cross-sections I' and II' and changes in reservoir water level, diurnal sums of precipitation, air temperature, and thickness of snow cover (Wistka Królewska)

<sup>1,05</sup>B — well with daily level readings and distance from basin bank (in km); x — well with level readings made twice weekly





Ryc. 20. Zależność stanów wód gruntowych w przekroju V' od zmian poziomu zbiornika, dobowych sum opadów, temperatury powietrza i miąższości pokrywy śnieżnej (Wistka Królewska). Objaśnienia — ryc. 18  
 Interdependence between groundwater levels in cross-section V' and changes in reservoir water level, diurnal sums of precipitation, air temperature, and thickness of snow cover (Wistka Królewska). For explanations of Fig. 18



Ryc. 21. Cotygodniowe stany wód gruntowych w przekroju II w powiązaniu ze stanami wód Wisły i opadami (Wistka Królewska)

a — stany wód gruntowych; b — średnie tygodniowe stany Wisły (zbiornika); c — głębokości do wody w dniu 25 VI 73 r.; d — tygodniowe sumy opadów; e — roczne sumy opadów

Weekly records of groundwater levels in cross-section II in relation to levels of the Vistula waters and to precipitation (Wistka Królewska)

a — groundwater tables; b — mean weekly Vistula water levels in the reservoir; c — depth down to water tables on June 25, 1973; d — weekly sums of precipitation; e — annual sums of precipitation

wody jest zadziwiająco zbieżny, a nawet identyczny. Sytuacja ta i określone wcześniej przesunięcia czasowe kulminacji znacznie ułatwiają stwierdzenie, czy przyrost stanów wody spowodowany był wyłącznie opadami lub podniesieniem zwierciadła rzeki, czy też równoczesnym ich oddziaływaniem. W ostatnim wypadku studnie położone bliżej rzeki wykazują zmianę tendencji przebiegu stanów wody. Ich przyrosty i przesunięcia czasowe z reguły znacznie odbiegają od zmian zwierciadła wody w studniach porównawczych, położonych poza zasięgiem oddziaływania rzeki (spiętrzenia). Można to dokładnie prześledzić na analizowanych wykresach.

Przykładem niemal identycznego przebiegu stanów wody są studnie w przekroju IV (ryc. 23), przylegającym do górnej części Kanału Głównego. W wyniku małych miąższości strefy aeracji zwierciadło wód gruntowych cechuje duża częstotliwość zmian, przy niewielkich amplitudach. W okresach nadmiernie wilgotnych woda lokalnie utrzymuje się na powierzchni, a jej odpływ do sieci rowów utrudniają małe spadki terenu. Linie wykresów biegą równolegle do siebie. Po spiętrzeniu Wisły jedynie między punktami 29 i 30j nastąpiło złagodzenie spadków zwierciadła wody, o czym świadczy zmniejszenie pionowych odległości pomiędzy wykresami o około 30 cm. Potwierdza to wniosek, że wpływ spiętrzenia sięga tu na południe od kanału, jednak podniesienie poziomu wód gruntowych jest niewielkie.

Na wschód od terenów depresyjnych punkty obserwacyjne są usytuowane w odległości ponad 600 m od linii brzegowej zalewu, gdzie rzędne zwierciadła wody układają się co najmniej 1 m powyżej poziomu zbiornika (ryc. 24). W badanym okresie nie zostały one objęte oddziaływaniem spiętrzenia, a o przebiegu stanów wody decydowały warunki meteorologiczne.

Z przedstawionego dotychczas materiału wynikają następujące wnioski:

1. przed spiętrzeniem tylko w dwóch badanych studniach (Modzerowo) stany wody były uzależnione od zmian poziomu Wisły,

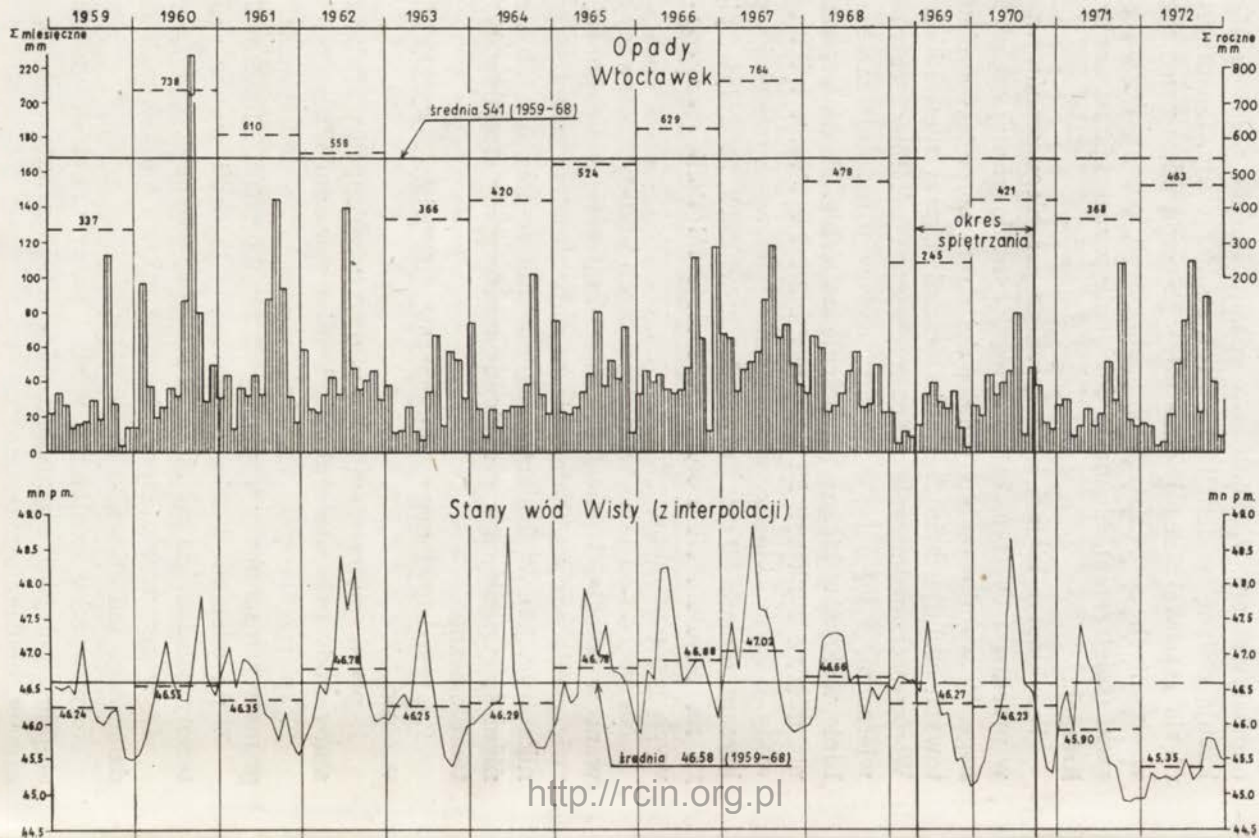
2. spiętrzenie rzeki wyraźnie wpłynęło na podniesienie poziomu wód gruntowych na obszarze między zaporą boczną a Kanałem Głównym,

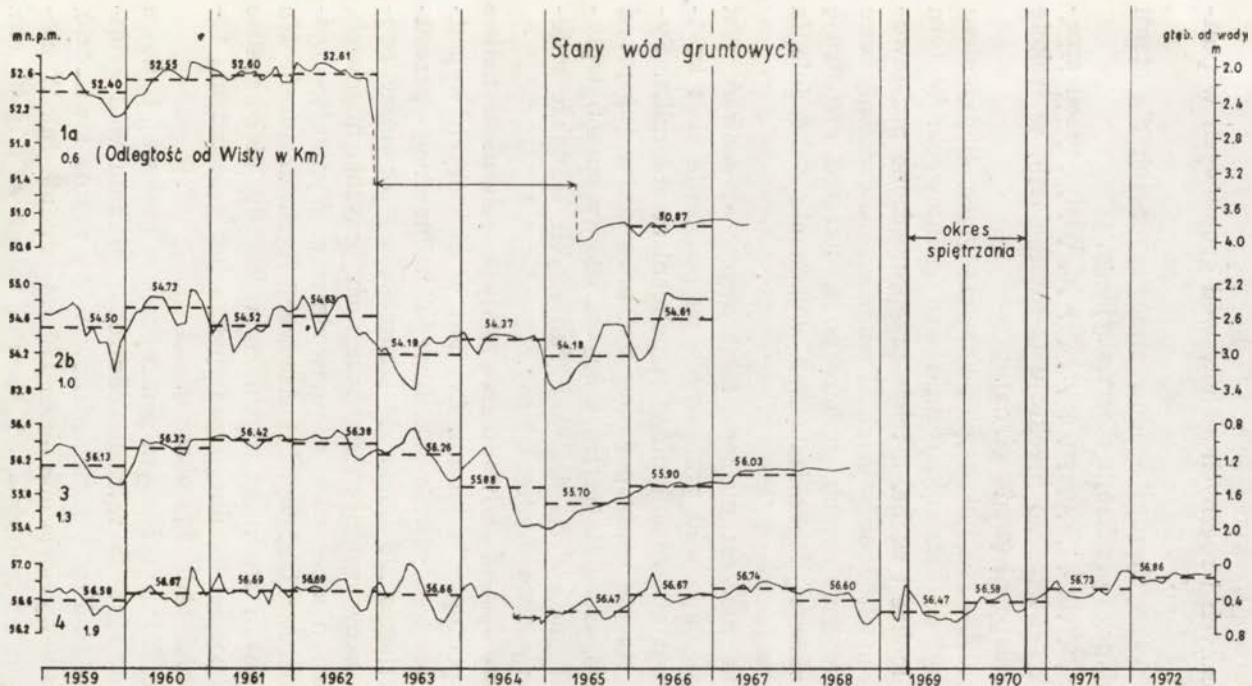
3. na odcinku Wistka Królewska — Mostki wpływ spiętrzenia objął tereny położone na południe od Kanału Głównego,

4. w sąsiedztwie zapory bocznej zmienił się kierunek przepływu podziemnego (od zbiornika do kanału),

5. w wyniku spiętrzenia Wisły i pracy urządzeń odwadniających nastąpiło zmniejszenie amplitud stanów wód gruntowych (podniesienie minimum, obniżenie maksimum),

6. słabo zaznaczył się wpływ zmian poziomu zbiornika na stany wód gruntowych, głównie z powodu małych amplitud zbiornika i wyrównawczego oddziaływania urządzeń odwadniających.





Ryc. 25. Zależność średnich miesięcznych i rocznych stanów wód gruntowych w przekroju I od miesięcznych i rocznych sum opadów oraz średnich miesięcznych i rocznych stanów wód Wisły

Interdependence between mean monthly and annual groundwater tables in cross-section I and monthly and annual sums of precipitation and of mean monthly and annual levels of the Vistula waters



#### 4. WIELKOŚĆ I ZASIĘG ZMIAN W POZIOMIE WYSTĘPOWANIA WÓD GRUNTOWYCH

Zagadnienie to rozwiązałem w oparciu o obliczenie i analizę następujących wartości hydrologicznych (1959—1973):

1. średnich miesięcznych i rocznych stanów wód gruntowych w punktach obserwacyjnych IMGW,
2. miesięcznych i rocznych sum opadów atmosferycznych dla stacji położonych najbliżej danego przekroju obserwacyjnego,
3. średnich miesięcznych i rocznych stanów wód Wisły: przed spiętrzeniem — na wysokości każdego przekroju (z interpolacji), w trakcie i po spiętrzeniu — na zaporze (woda górna).

Przyjęty 10-letni (1959—1968) okres porównawczy przed spiętrzeniem jest wystarczająco długi do ustalenia reżimu wód gruntowych. W tym czasie wystąpiły lata mokre i suche, a także przeprowadzono podstawowe melioracje na terenach depresyjnych. Ponieważ spowodowały one obniżenie poziomu wód gruntowych, zmiany po spiętrzeniu rozpatruję w odniesieniu do okresu poprzedzającego wykonanie odwodnienia (1959—1962).

Często spotykanym niedociągnięciem istniejących opracowań jest określanie zmian w poziomie wód gruntowych na podstawie zbyt krótkiego (1—2 lata) okresu obserwacji przed napełnieniem zbiornika. Systematyczne pomiary stanów wody powinny być prowadzone już przed wykonaniem melioracji odwadniających, które w istotny sposób wpływają nie tylko na obniżenie zwierciadła wód gruntowych, ale także zmieniają ich dotychczasowy reżim hydrologiczny.

Zbudowane w Polsce systemy odwodnienia miały na celu maksymalne ograniczenie zasięgu podtopienia terenu. Cel ten w niektórych wypadkach osiągnięto, ale kosztem równie szkodliwego, nadmiernego przesuszenia gruntów. Dotychczas nie udało się kompleksowo rozwiązać problemu regulacji stosunków wodnych na obszarach przyzbiornikowych, przy czym szczególnie zaniedbano kwestię nawodniania. Wynika to częściowo z wysokich kosztów budowy i konserwacji tych urządzeń. Na wszystkich zrealizowanych stopniach wodnych wystąpiły niekorzystne skutki spiętrzenia, w postaci lokalnego podtopienia lub przesuszenia terenu. Dotyczy to również badanego obszaru.

W przekroju I (ryc. 25), wytyczonym poniżej zapory czołowej, budowa Kanału Głównego spowodowała wyraźne obniżenie poziomu wód gruntowych. Na podstawie analizy średnich stanów wody można stwierdzić, że w sąsiedztwie kanału wyniosło ono około 170 cm (studnia 1a). W piezometrze 3, położonym na południe od kanału, osiągnęło 30—40 cm. W studni 2b` oddziaływanie kanału nie zaznaczyło się ze względu na płytkie występowanie łąków pliocenских, lokalnie utrzymujących wysoki poziom wody gruntowej. W piezometrze 4 stany wody były uzależnione

od warunków meteorologicznych. Przechwycenie przez kanał wód napływających od strony doliny spowodowało wyschnięcie studni gospodarskich, położonych między Wisłą a kanałem.

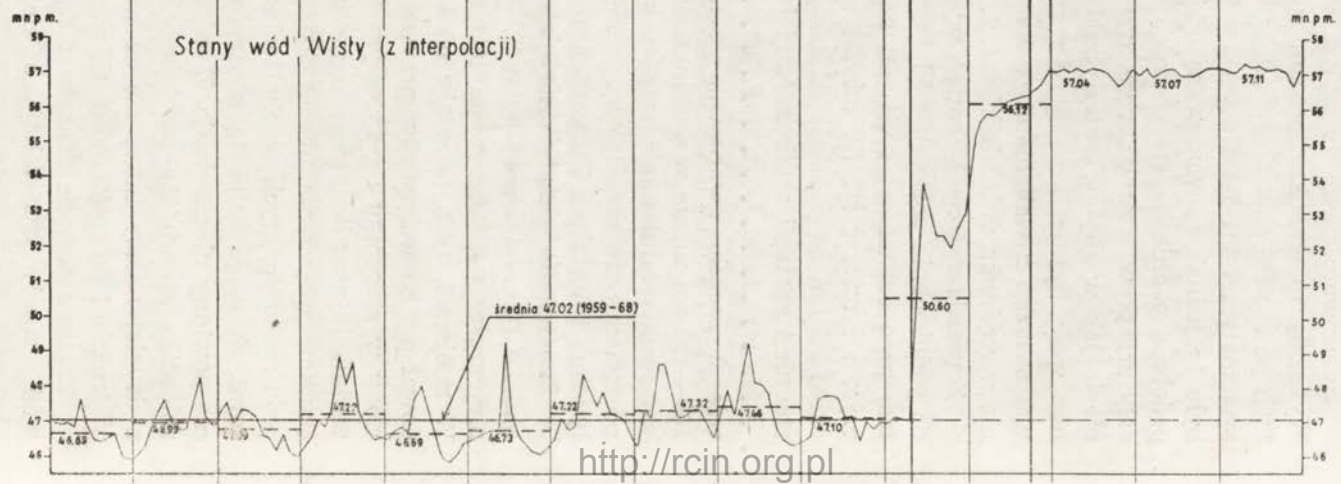
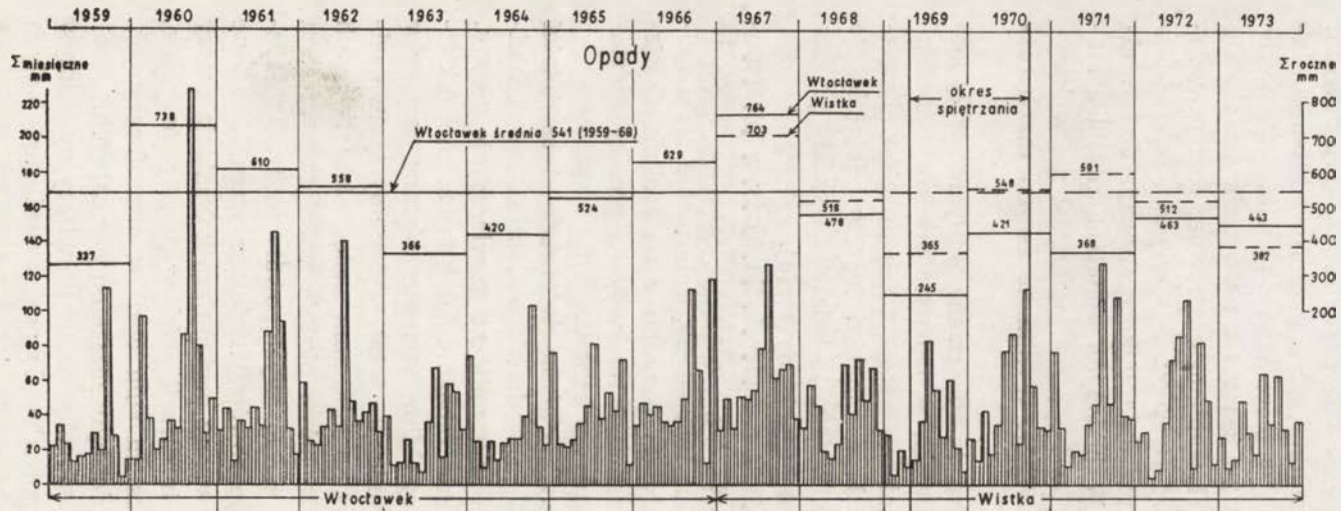
Spiętrzenie rzeki nie wpłynęło na zmianę poziomu wód gruntowych. Wykazały to wielokrotne pomiary studni, które przeprowadziłem w latach po napełnieniu zbiornika. Tylko w piezometrze 4 zwierciadło wody systematycznie podnosiło się, a w 1972 r. osiągnęło najwyższą rzędną. Nie było to jednak spowodowane oddziaływaniem spiętrzenia, lecz prawdopodobnie podniesieniem poziomu wód Rybnicy. Jej korytem skierowano cały przepływ, którego część była uprzednio wykorzystywana do nawodnienia łąk w rejonie wsi Rybnica. W badanych punktach przebieg stanów wody był uzależniony od roztopów i opadów, natomiast nie wykazywał związku z wahaniami poziomu Wisły. Wynika to ze znacznych różnic w rzędnych zwierciadeł wody.

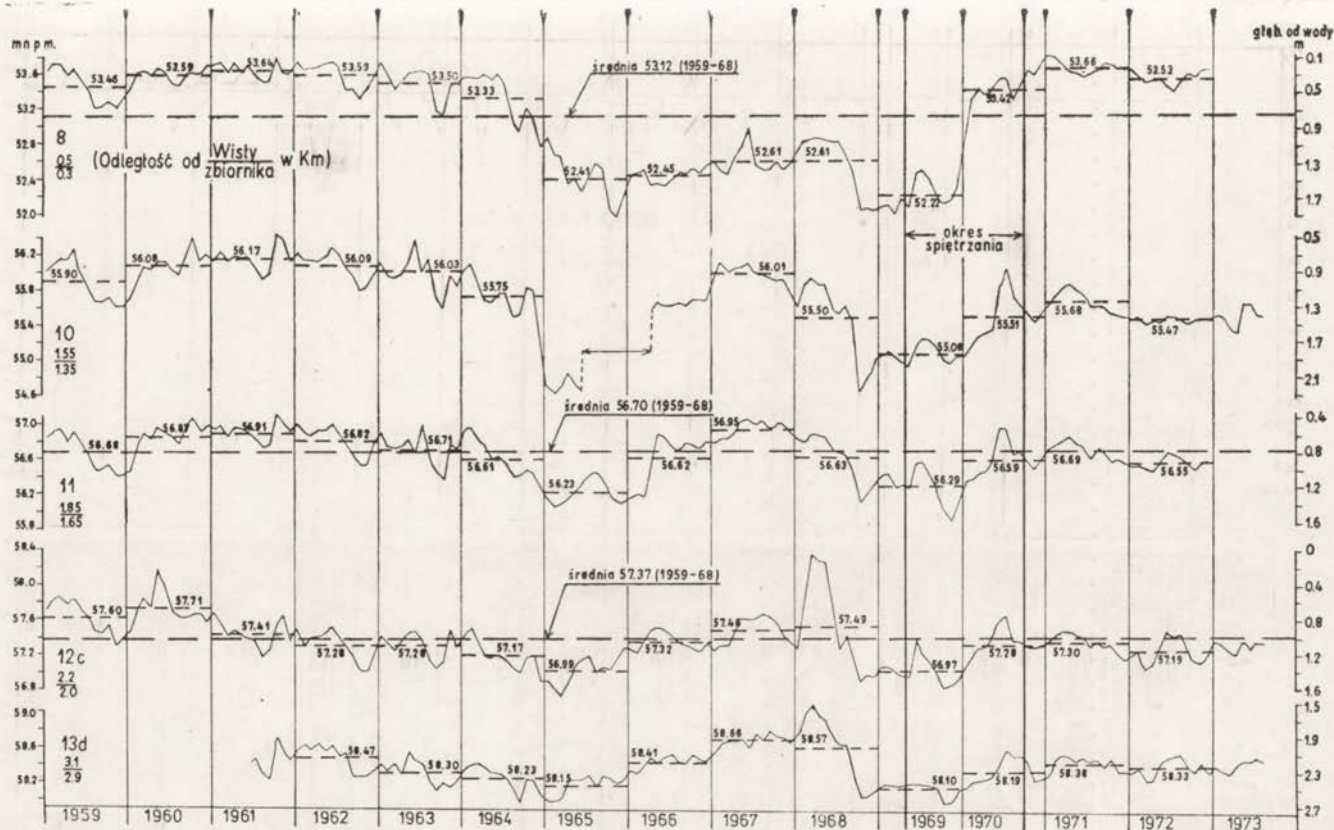
Z przedstawionych danych wynika, że spiętrzenie Wisły nie wpłynęło na podniesienie poziomu wód gruntowych w badanym przekroju, a efektem prac odwadniających jest nadmierne przesuszenie gruntów. Zaznaczyło się ono w strefie między Wisłą a kanałem oraz w odległości do około 0,8 km na południe od kanału. W jego sąsiedztwie wyschły płytsze studnie i nastąpił zanik mokradeł (suche pokłady torfu).

Na wysokości Łęgu (ryc. 26) od 1964 r. zwierciadło wody w piezometrze 8 zaczęło gwałtownie obniżać się, osiągając rzedne o około 100—120 cm niższe w stosunku do lat 1960—1963. Spiętrzenie rzeki spowodowało podniesienie stanów wody do poziomu z okresu przed rozpoczęciem prac odwadniających. Piezometr 8 leży więc na granicy oddziaływania spiętrzenia i drenującego wpływu kanału.

Zwierciadło wód gruntowych podniosło się w strefie o szerokości około 0,3 km od zapory bocznej. W jej sąsiedztwie, zwłaszcza we wschodniej części wsi Łęg, woda lokalnie wystąpiła na powierzchnię terenu. W miejscach tych powstały niewielkie zabagnienia, których nie zlikwidował płytko wcięty rów przywałowy. Mimo znacznej różnicy poziomów wody w zbiorniku i przyległym terenie (3—4 m), wykonany system odwodnienia grawitacyjnego ograniczył do minimum zasięg niekorzystnych skutków spiętrzenia. Warto dodać, że już w okresie przed rozpoczęciem prac melioracyjnych w obniżeniach terenu występowały mokradła okresowe. Stosując należyłą konserwację rowów, istniejące warunki wodne nie powinny ulec zmianie. Z jednej strony postępująca kolmatacja czaszy zbiornika spowoduje zmniejszenie infiltracji wód w tereny przyległe, z drugiej należy liczyć się ze wzrostem sum opadów atmosferycznych. W trakcie i po spiętrzeniu ich wartości były niższe od normalnych.

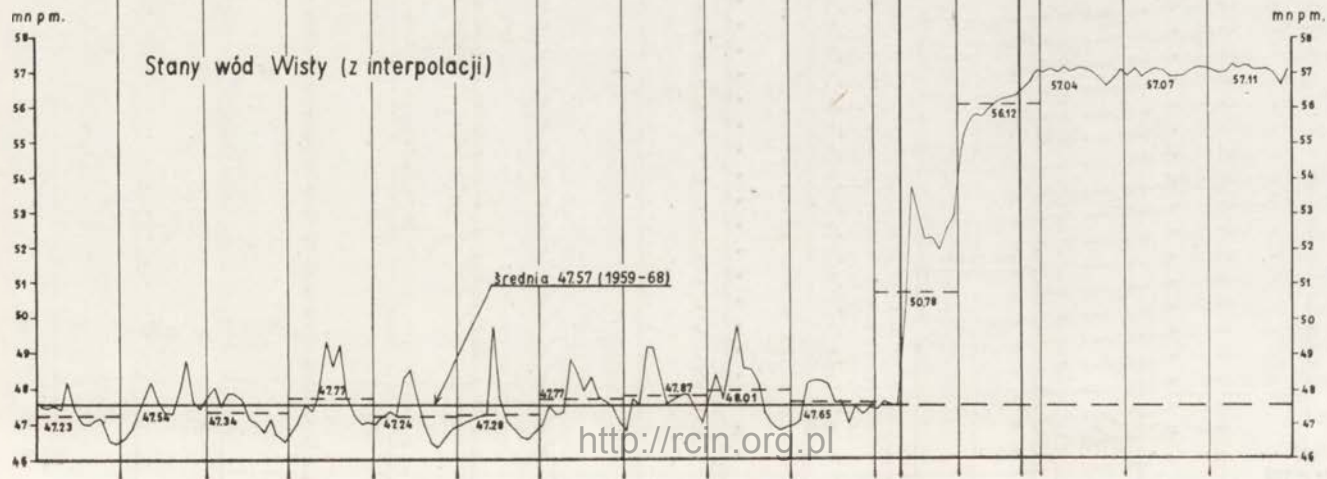
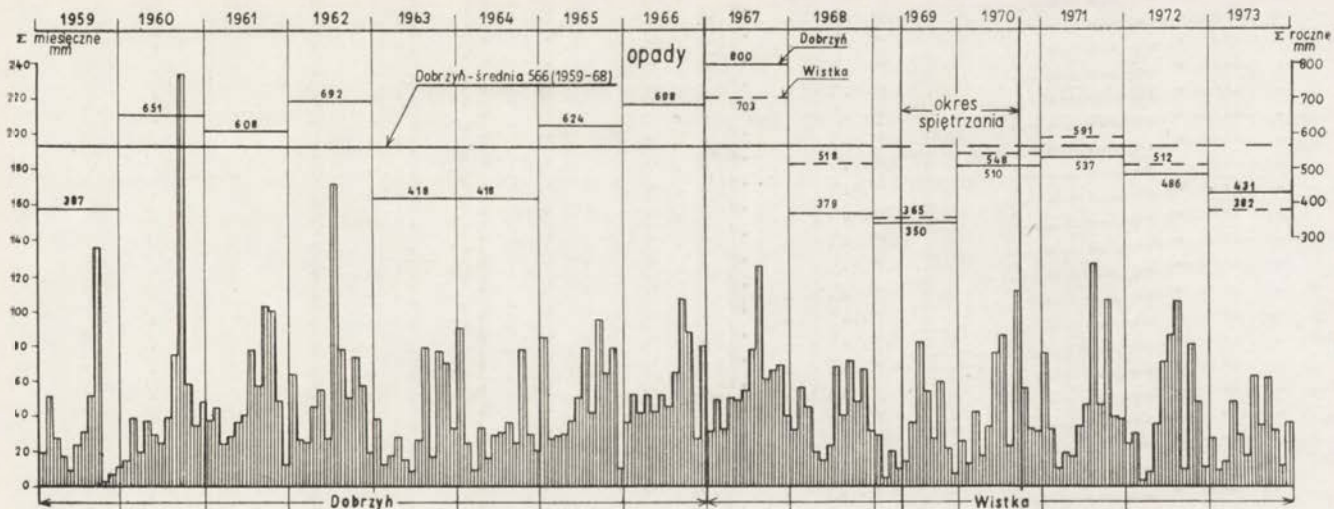
Znaczne wcięcie Kanału Głównego zapewniło grawitacyjny odpływ wód z rowów przywałowych, ale spowodowało przesuszenie przyległych obszarów. Na prawym brzegu kanału objęła ono strefę o szerokości do około 0,2 km, na lewym do około 1,0 km (łącznie z piezometrem 20).





Ryc. 26. Zależność średnich miesięcznych i rocznych stanów wód gruntowych w przekroju II od miesięcznych i rocznych sum opadów oraz średnich miesięcznych i rocznych stanów wód Wisły (zbiornika)

Interdependence between mean monthly and annual groundwater tables in cross-section II and monthly and annual sums of precipitation and of mean monthly and annual levels of the Vistula waters (the reservoir)





Według W. Stefaniaka (1972) obniżenie średniego stanu wód gruntowych na linii kanału wyniosło 160 cm.

W przekroju III (ryc. 27) na uwagę zasługuje studnia 17e, usytuowana w pobliżu przepompowni w Modzerowie. Przed spiętrzeniem roczne amplitudy zwierciadła wody dochodziły do 166 cm (1960 r.) i były uzależnione od zmian poziomu Wisły. Najwyższe stany wody w studni pojawiały się podczas równoczesnego wystąpienia wysokich stanów rzeki i opadów. Wpływ kanału na obniżenie zwierciadła wody zaznaczył się słabo. Wynika to nie tylko z oddziaływania rzeki na stany wody, ale głównie z faktu, że rzędna poziomu wody w studni jest niższa od rzędnej dna kanału. W wyniku częściowego przechwycenia przez kanał wód napływających z południa, w wilgotnych latach 1966 i 1967 średnie stany wody w studni były niższe w stosunku do 1962 r. (odpowiednio o 92 cm i 57 cm). Osuszający wpływ kanału wyraźnie zaznaczył się na lewym brzegu, począwszy od 1965 r. W piezometrze 19 obniżenie lustra wody wyniosło 80—90 cm.

Spiętrzenie Wisły spowodowało przyrost stanów wody w pasie o szerokości do 0,4 km od zbiornika. W studni 17e poziom wody podniósł się około 90—110 cm. W wyniku pracy przepompowni amplitudy stanów wody uległy zmniejszeniu. W zachodniej części wsi Modzerowo została podtopiona strefa o szerokości do 0,1 km od zapory bocznej, w której woda lokalnie stagnuje na powierzchni terenu. W sąsiedztwie kanału nastąpiło obniżenie poziomu wód gruntowych: na prawym brzegu — w pasie o szerokości 0,1—0,2 km, na lewym — około 0,8—0,9 km (do piezometru 20). Na linii kanału średnie stany wód gruntowych uległy obniżeniu co najmniej o 100 cm. W efekcie zanikły drobne podmokłości terenu (przesuszenie gruntów).

Przekrój IV (ryc. 28) przecina tereny przyległe do górnego odcinka kanału. W połowie 1966 r. nastąpiło obniżenie poziomu wód gruntowych przez kanał. Objęło ono strefę szerokości 0,7—0,8 km od zapory bocznej. W wybitnie mokrym 1967 r. rzędne średnich stanów wody układały się tutaj poniżej wartości z wilgotnego 1962 r. Obniżenie zwierciadła wody wynosiło: w piezometrze 28 — około 50 cm, 29 — 60—70 cm, 31—20 cm.

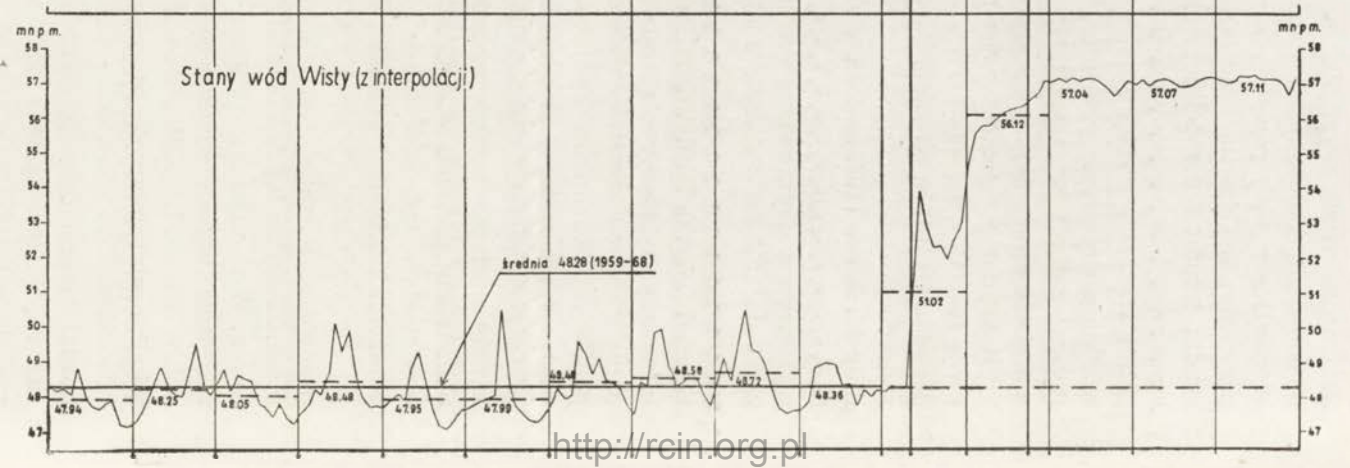
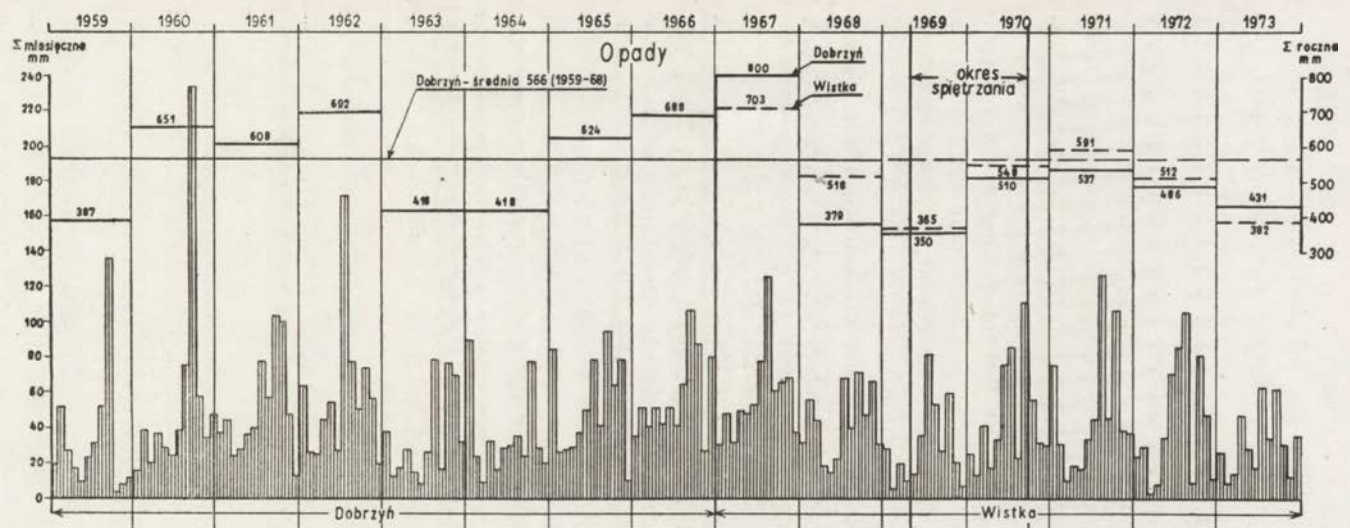
Po spiętrzeniu Wisły pomiary stanów wody były wykonywane jedynie w punktach położonych na południe od kanału. W piezometrach 29 i 31 zwierciadło wody podniosło się do poziomu z okresu przed wybudowaniem kanału, a w latach 1971—1972 przebieg stanów wody zależał głównie od opadów (roztopów). Wynika z tego, że na lewym brzegu kanału (Mostki) nie nastąpiła wyraźna zmiana warunków wodnych. Podobnego zdania jest W. Stefaniak (1972), odmiennego zaś M. Perek (1972), który stwierdza, że oddziaływanie spiętrzenia sięga poza Kanał Główny. Niewątpliwy wpływ spiętrzenia na wody gruntowe występuje jedynie na obszarze między zaporą boczną a kanałem. W pasie 0,2—0,3 km od zbiornika poziom wód gruntowych podniósł się maksymalnie o około

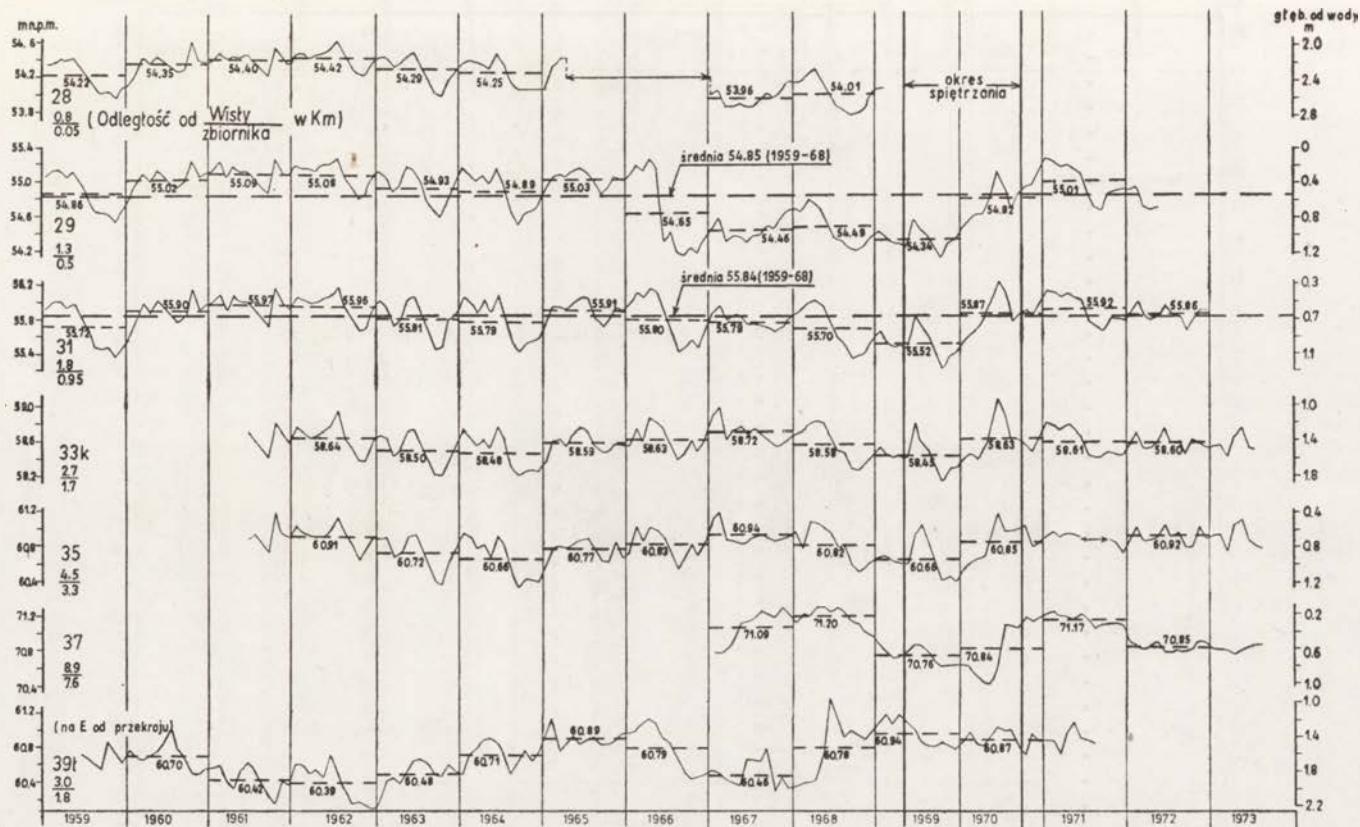
100 cm. Wynika to z porównania głębokości do wody w studniach gospodarskich przed i po spiętrzeniu. Na odcinku Wistka Królewska—Wistka Szlachecka woda wystąpiła na powierzchnię w niektórych obniżeniach terenowych, położonych w odległości do 0,1 km od zapory bocznej. W miejscach tych powstały zabagnienia, których nie zlikwidowały rowy przywałowe. Grawitacyjne odwodnienie tych obszarów utrudniają małe spadki terenu i niewielkie wcięcie kanału. Sieć rowów wymaga ciągłej konserwacji ze względu na intensywny proces zarastania. Jest to szczególnie ważne ze względu na możliwość dalszego zabagnienia terenu. Niewielkie podniesienie poziomu wód gruntowych może spowodować niekorzystne zmiany w stosunkach wodnych na lewym brzegu kanału, gdzie miąższość strefy aeracji lokalnie nie przekracza 1 m.

Reasumując można stwierdzić, że na terenach depresyjnych (przekroje II—IV) o zasięgu i wielkości zmian w poziomie wód gruntowych zdecydowały prace odwadniające. W strefie do 0,4 km od zapory bocznej zwierciadło wód gruntowych podniosło się maksymalnie o 1,5 m, a według M. Perka (1972) o 2 m. Tylko dna niektórych zagłębień terenu, położonych w odległości do 0,1 km od zbiornika, uległy zabagnieniu i zostały wyłączone z użytkowania rolniczego. M. Perka (1972) słusznie zauważył, że skuteczniejsze zabezpieczenie terenu przed oddziaływaniem spiętrzenia nastąpiło w miejscach, gdzie Kanał Główny biegnie blisko zapory bocznej (Wistka Królewska). Autor sugeruje, że w budowie dalszych stopni wodnych główny ciąg odwadniający należy prowadzić w odległości około 50 m od zbiornika. Wniosek ten jest słuszny jedynie w wypadku podobnych warunków hydrogeologicznych i zbliżonej różnicy poziomów wody w zbiorniku i przyległym terenie. Kanał całkowicie zabezpieczył przed podtopieniem obszary lewobrzeżne. W środkowym i dolnym biegu kanału nastąpiło jednak nadmierne przesuszenie gruntów, spowodowane obniżeniem poziomu wód gruntowych. Na prawym brzegu kanału objęło ono strefę o szerokości do 0,2 km, na lewym do około 1,0 km. Wartość obniżenia dochodzi miejscami do 2 m.

We wschodniej części obszaru badań zbiornik nadal spełnia rolę drenującą. Ujemne skutki spiętrzenia wyraźnie zaznaczyły się w pasie o szerokości do 0,5 km od zbiornika i objęły wieś Dobiegniewo oraz Duże Skoki. W wyniku wyrównania zwierciadła wody w studniach do poziomu zbiornika i podpiętrzenia wód gruntowych napływających od strony doliny nastąpiło podtopienie najniżej położonych obniżen terenu. Woda lokalnie utrzymuje się na powierzchni. W rejonie wsi Duże Skoki przeprowadzono po spiętrzeniu melioracje szczegółowe, które z uwagi na małe spadki terenu dały połowiczne rezultaty. W niskich stanach zbiornika sieć rowów przyspiesza odprowadzenie nadmiaru wody, przy wysokich zaś ułatwia infiltrację wód ze zbiornika w tereny przyległe. Wydaje się, że celowa byłaby tu budowa studni drenażowych, utrzymujących poziom wód gruntowych na odpowiedniej głębokości.

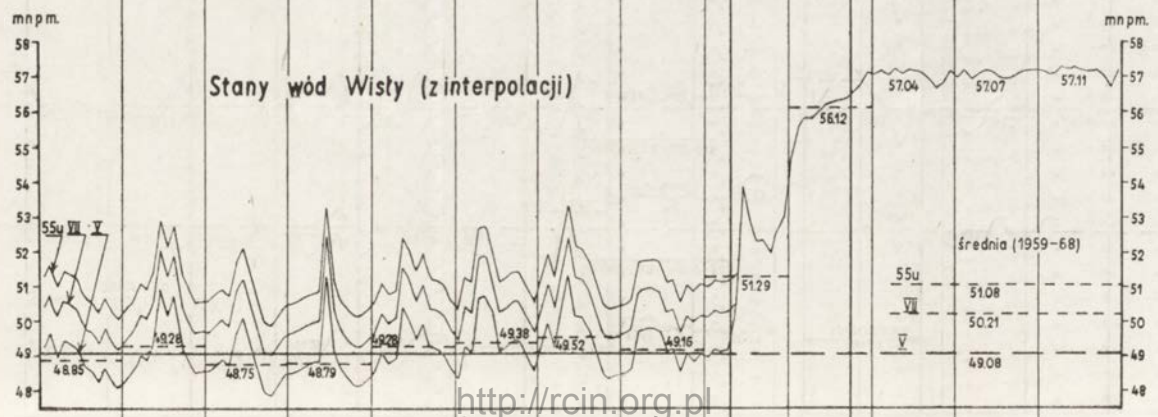
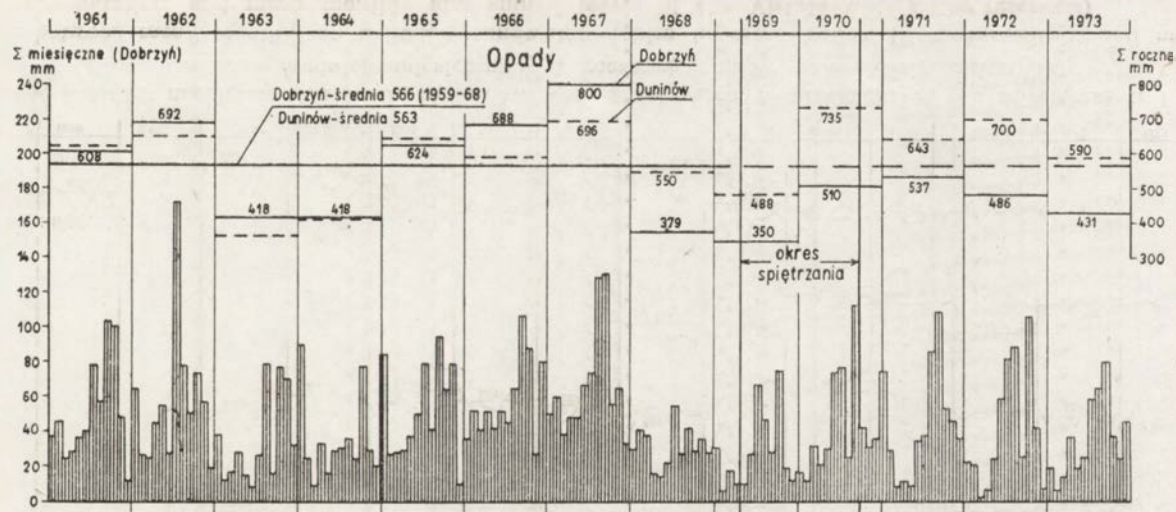


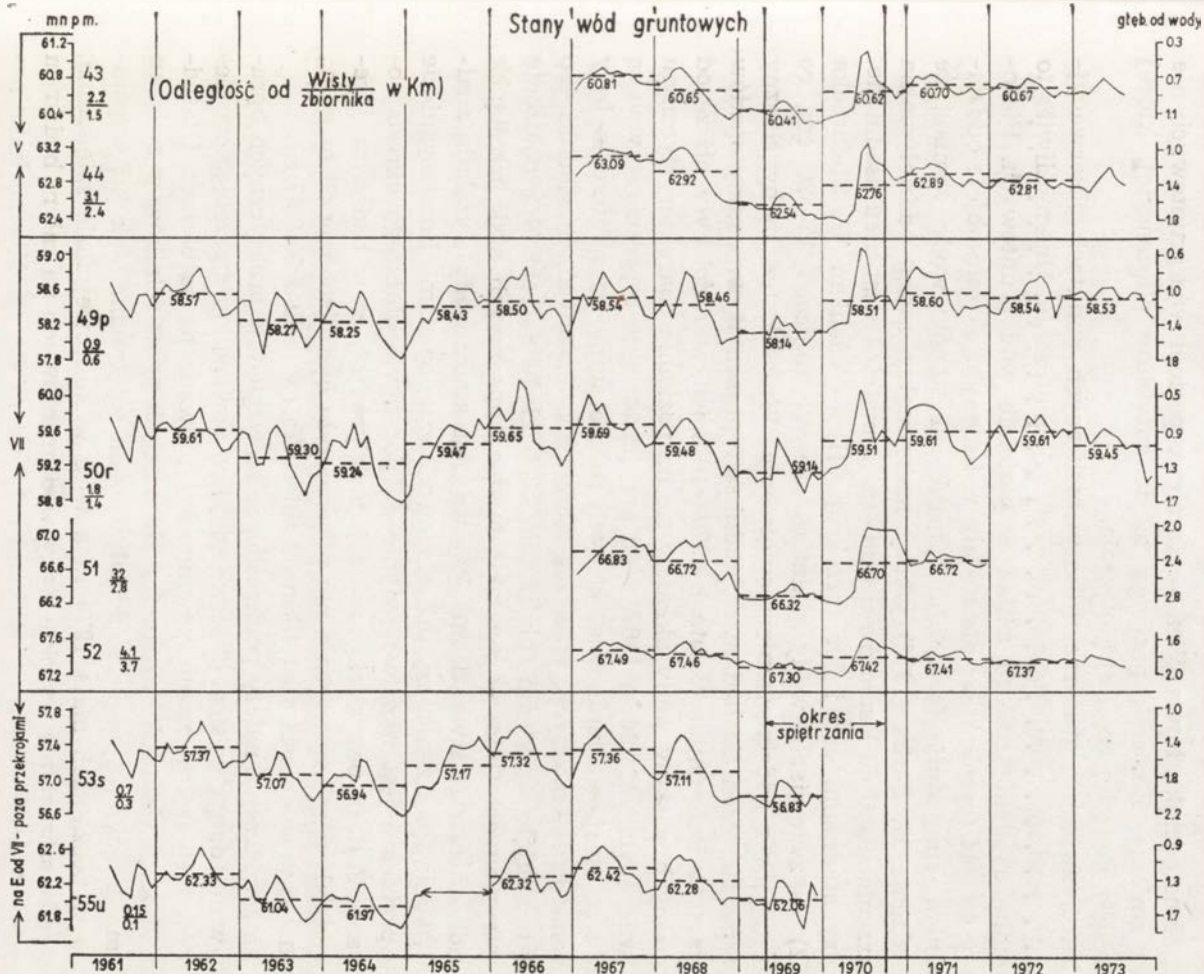




Ryc. 28. Zależność średnich miesięcznych i rocznych stanów wód gruntowych w przekroju IV od miesięcznych i rocznych sum opadów oraz średnich miesięcznych i rocznych stanów wód Wisły (zbiornika)

Interdependence between mean monthly and annual groundwater levels in cross-section IV and monthly and annual sums of precipitation, and mean monthly and annual levels of the Vistula waters (the reservoir)





Ryc. 29. Zależność średnich miesięcznych i rocznych stanów wód gruntowych w przekrojach V i VII od miesięcznych i rocznych sum opadów oraz średnich miesięcznych i rocznych stanów wód Wisły (zbiornika)

Interdependence between mean monthly and annual groundwater tables in cross-section V and VII and monthly and annual sums of precipitation, and mean monthly and annual levels of the Vistula waters (the reservoir)

W sąsiedztwie linii brzegowej zbiornika zwierciadło wody podniosło się maksymalnie o 2—3 m. Wartość tę ustalono przez porównanie wyników kilkakrotnych pomiarów studni z okresu przed spiętrzeniem (dane z „Hydroprojektu” we Włocławku) i własnych pomiarów po spiętrzeniu, które opracowano w formie map hydroizobat<sup>5</sup>. Dzięki nim można stwierdzić, że na odcinku Nowa Wieś — Karolewo poziom wód gruntowych nie uległ zmianie. Zbiornik przylega tu do antykliny plioceńskiej, której strop leży powyżej rzędnej piętrzenia.

Na omawianym obszarze tylko w nielicznych punktach obserwacyjnych prowadzono pomiary stanów wody po spiętrzeniu. Uniemożliwiło to dokładne ustalenie zasięgu zmian w poziomie wód gruntowych. Piezometry 43 i 44 (przekrój V) nie zostały w badanym okresie objęte oddziaływaniem spiętrzenia (ryc. 29). Z przebiegu stanów wody wynika, że twierdzenie M. Perka (1972) jakoby maksymalny zasięg oddziaływania spiętrzenia sięgał do leśniczówki Ruda (piezometr 44) jest nieuzasadnione. Między studniami 49p i 50r (przekrój VII) — zdaniem W. Stefaniaka (1972) — zwierciadło wody podniosło się w granicach 15—20 cm, co autor wiąże z oddziaływaniem spiętrzenia. Wniosek ten byłby słuszny w wypadku, jeżeli dla badanych studni są reprezentatywne sumy opadów ze stacji w Dobrzyniu. W latach 1970—1973 ich wartości były niższe od normalnych, a stany wody układały się na poziomie charakterystycznym dla wilgotnych lat 1962 i 1967. Jeśli przyjmiemy, że reprezentatywne są opady ze stacji w Duninowie, których roczne sumy po spiętrzeniu były zbliżone do lat mokrych, wówczas możemy wnioskować, że studnie 49p i 50r nie objęto wpływem spiętrzenia. Ze względu na centralne położenie rozpatrywanych studni w stosunku do stacji opadowych brak przesłanek do jednoznacznego stwierdzenia, czy wysokie stany wody wynikają z oddziaływania spiętrzenia, czy też są spowodowane opadami. Rozstrzygnięcie tego problemu jest możliwe jedynie na podstawie dłuższego okresu obserwacji. Z dużą pewnością można jednak przyjąć, że w badanym okresie oddziaływanie spiętrzenia nie przekroczyło hydroizohipsy 59 m n.p.m., biegnącej w odległości do 1,4 km od zbiornika (w dniu 1 XII 67 r.).

Na zakończenie należy podkreślić, że ze względów praktycznych opracowywanie danych z sieci obserwacyjnej, w powiązaniu z przebiegiem elementów meteorologicznych, powinno być prowadzone na bieżąco. Ułatwiłoby to ocenę słuszności rozszczeń podnoszonych przez rolników w związku z domniemanym, ujemnym oddziaływaniem spiętrzenia. Jak już wspomniano w początkach maja 1970 r., a więc w końcowej fazie spiętrzenia, wystąpiły szczególnie wysokie stany wód gruntowych na całym badanym obszarze. Zostały one spowodowane nałożeniem się opadów na kulminację stanów roztopowych. W efekcie znaczne obszary uległy okresowemu zalaniu wodą. Dotyczy to głównie łąk i położonych na południe od Ka-

<sup>5</sup> Map hydroizobat nie zamieszczono w pracy

nału Głównego, doliny Zuzanki i rejonu wsi Duże Skoki. W tym czasie w wielu miejscowościach wytworzyła się nieuzasadniona opinia o katastrofalnych skutkach spiętrzenia Wisły. Do władz zaczęły masowo napływać wnioski o wykupienie ziemi, które trudno było rozstrzygać ze względu na brak odpowiedniej dokumentacji hydrologicznej.

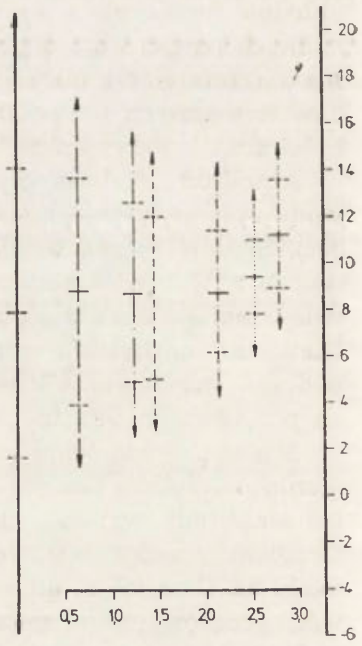
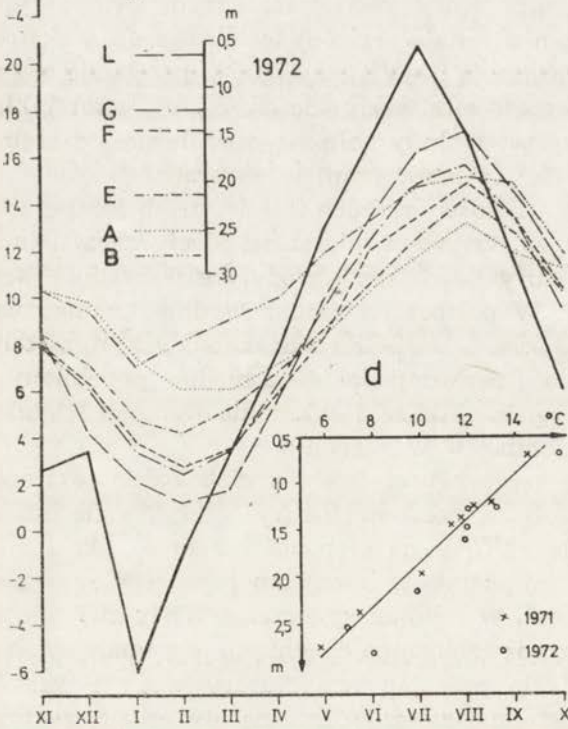
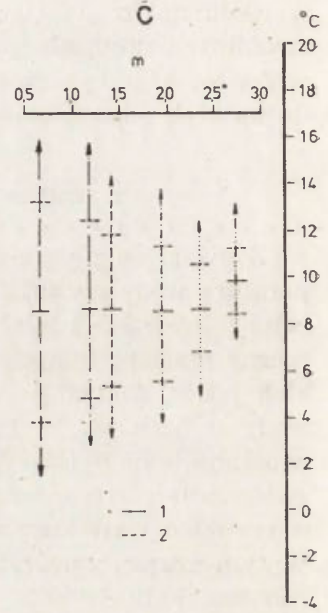
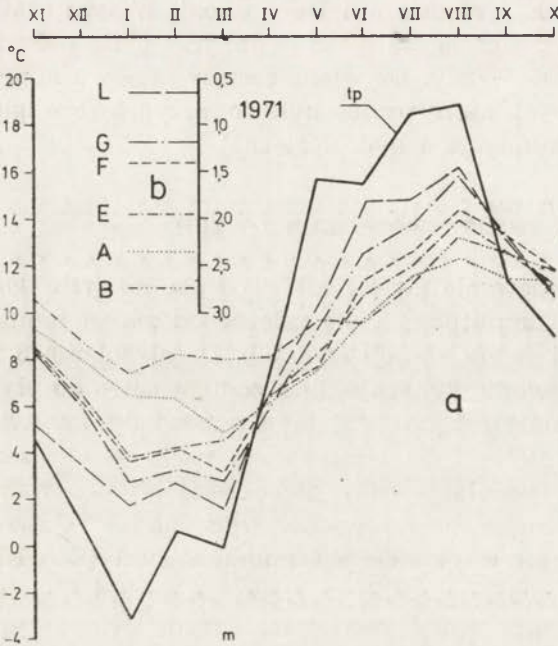
## 5. ZMIANY W TERMICE WÓD GRUNTOWYCH

Z uwagi na płytkie występowanie zwierciadła wód gruntowych temperaturę wody cechują duże amplitudy, ściśle zależne od zmian temperatury powietrza i miąższości strefy aeracji (ryc. 30). Do głębokości 3 m roczny przebieg temperatury wody wykazuje duże podobieństwo do płytkich jezior, zakładając, że miąższość strefy aeracji odpowiada warstwie wody w jeziorze. W latach 1971—1972 temperatura wody w okresach wiosenno-letnich (IV—VIII) spadała wraz z głębokością występowania zwierciadła i była niższa od temperatury powietrza (ryc. 30a i b). Odwrócony układ termiczny wystąpił w okresie jesienno-zimowym (IX—III). W tym czasie temperatury wody wzrastały z głębokością studni, a ich wartości były wyższe od temperatury powietrza. Przedstawione typy układów termicznych występowały najwyraźniej w miesiącach o ekstremalnych temperaturach powietrza (VII—VIII, I—II). Na przełomie sierpnia i września oraz marca i kwietnia, a więc podczas zmiany typów układów termicznych temperatury wody były zbliżone, niezależnie od głębokości studni. Przypomina to okresy homotermii w jeziorach.

Amplitudy ekstremalnych wartości średnich miesięcznych temperatur wody systematycznie malały ze wzrostem miąższości strefy aeracji (ryc. 30c). Średnie roczne temperatury powietrza i wody we wszystkich studniach były bardzo podobne. W półroczach letnich średnie temperatury wody malały wraz z głębokością, a w półroczach zimowych wzrastały. Niewielkie odchylenia wynikają prawdopodobnie z błędów popełnionych podczas odczytywania temperatur, a także z obliczenia wartości średnich na podstawie dwukrotnych pomiarów w tygodniu.

Między roczną amplitudą temperatury wody a głębokością występowania zwierciadła istnieje zależność prostolinijna (ryc. 30d). Na głębokości 0,5 m amplitudy wynoszą około  $16^{\circ}\text{C}$ , a na głębokości 3 m — około  $5^{\circ}\text{C}$ . Gradient spadku wartości amplitud w omawianej warstwie wynosi około  $2,2^{\circ}\text{C}$  na 0,5 m głębokości. W wyniku spiętrzenia Wisły zwierciadło wód gruntowych w sąsiedztwie zbiornika podniosło się maksymalnie o 2—3 m, a zatem zmienił się przebieg temperatury wody i wzrosły amplitudy. Wykorzystując ustaloną zależność można stwierdzić, że przy ustabilizowaniu się zwierciadła na głębokości 0,5 m roczne amplitudy temperatury wody wzrosły maksymalnie w granicach  $9\text{—}13^{\circ}\text{C}$ . Jednocześnie roczny przebieg temperatury wody jest zbliżony do studni L.

J. Pich (1973) stwierdza, że jakość wód gruntowych w dolinie Wisły —



na odcinku Płock—Włocławek — często znacznie odbiega od norm dla wód pitno-gospodarczych. Charakteryzuje je duża zmienność składu chemicznego i własności fizycznych, a zwłaszcza bardzo zły stan bakteriologiczny. Aż w 22% badanych studni woda nie nadawała się do picia. Zmniejszenie miąższości strefy aeracji w wyniku podniesienia poziomu wód gruntowych i związana z tym zmiana stosunków termicznych spowodowały niewątpliwie dalsze pogorszenie jakości wody. Jest ono powszechnie obserwowane na terenach przyległych do zbiorników nizinnych (J. Kocyan 1969; Cz. Kryszan, J. Sokołowski 1969; J. Szymański 1976) Na badanym obszarze tylko w sąsiedztwie Kanału Głównego jakość wód gruntowych nie powinna ulec pogorszeniu, ponieważ ich poziom został lokalnie obniżony o 2 m.

Ryc. 30. Zależność temperatury wód gruntowych od temperatury powietrza (Wistka Królewska) i miąższości strefy aeracji (1971—1972)

a — średnie miesięczne temperatury wody i powietrza; b — średnie roczne głębokości do wody w studniach; c — ekstremalne wartości średnich miesięcznych temperatur wody na różnych głębokościach: 1 — średnie temperatury roczne, 2 — średnie półroczy letnich i zimowych; d — związek między roczną amplitudą temperatury wody a miąższością strefy aeracji

Interdependence between the groundwater temperature and air temperature (Wistka Królewska) and the thickness of the aeration zone (1971—1972)

a — mean monthly water and air temperatures; b — mean annual depth to water level in wells; c — extreme value of mean monthly water temperatures at different depths: 1 — mean annual temperatures, 2 — mean summer and winter half-years; d — relation between annual amplitude of water temperature to thickness of the aeration zone



## VI. WPŁYW SPIĘTRZENIA WISŁY NA OBIEG WODY W STREFIE PRZYLEGŁEJ

### 1. NATURALNE WARUNKI OBIEGU WODY W ZLEWNIACH CZĄSTKOWYCH

Łatwo przepuszczalne utwory wyścielające dna pradolin oddziałują na przebieg procesów hydrologicznych. Z. Paślawski i K. Olejnik (1967) stwierdzili zmniejszenie kulminacji fal powodziowych i wydłużenie okresu ich spływu na szerokich odcinkach pradolin. Na obieg wody, obok rzeźby terenu i zdolności retencyjnej gruntów, duży wpływ wywiera charakter hydrograficzny powierzchni zlewni. W tabeli 10 zestawilem niektóre cechy hydrograficzne zlewni cząstkowych.

Tabela 10

Charakterystyka zlewni cząstkowych

Zlewnia	Powierzchnia (km <sup>2</sup> )	Obszary bez- odpływowe		Lasy		Jeziora		Mokradła		Jeziora i mokradła	
		(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Kanału Głównego	117,7	35,4	30,1	66,1	56,2	1,8	1,6	17,2	14,6	19,0	16,2
w tym:											
Rybnicy	38,5	11,5	29,8	28,9	75,0	1,4	3,7	3,7	9,6	5,1	13,3
Zuzanki	48,6	23,9	49,3	31,3	64,5	0,4	0,8	6,9	14,2	7,3	15,0
Przyrzecza	30,6	—	—	5,9	19,3	—	—	6,6	21,6	6,6	21,6
Rudy	55,7	38,7	69,6	43,9	78,8	0,9	1,6	1,3	2,3	2,2	3,9
Przyrzecza zbiornika	28,0	—	—	13,9	49,5	—	—	2,0	7,1	2,0	7,1
Łącznie	201,4	74,1	36,8	123,9	61,5	2,7	1,4	20,5	10,2	23,2	11,6

Zdaniem A. Kowalskiej (1969) poważną rolę w procesie zatrzymywania i opóźniania odpływu wód opadowych i roztopowych spełniają wielkie pola wydmowe, rozwinięte na terasach pradolin. Według autorki pochłaniają one cały opad, nie pozostawiając nadwyżek na spływ po powierzchni. Wynika z tego, że na obszarach wydmowych zachodzi wyłącznie parowanie i odpływ podziemny, który prowadzi do wydłużenia obiegu wody. Na badanym terenie obszary bezodpływowe stanowią 30—70% powierzchni poszczególnych zlewni. Z uwagi na znaczne miąższości strefy aeracji cechuje je duża zdolność retencjonowania wód. Faktyczny udział

obszarów bezodpływowych jest niewątpliwie jeszcze większy, ponieważ w obliczeniach nie uwzględniłem słabo zwydmionych teras, których fragmenty są również pozbawione odpływu powierzchniowego. Stopień przepuszczalności gruntów jest tutaj podobny, a miąższości strefy aeracji wystarczające, aby zrównoważyć zasilanie. Lokalnie tworzą się jedynie niewielkie podmokłości, dotychczas nie włączone do sieci rzecznej, których bilans wodny wyrównuje zwiększone parowanie.

Lasy wpływają również na łagodzenie wezbrań i wyrównywanie odpływu. Wynika to z opóźnienia i wydłużenia okresu roztopów w lasach, a także większej wsiąkliwości i retencyjności gleb leśnych. Wpływu lasu na kształtowanie poszczególnych elementów obiegu wody, mimo obszernej literatury naukowej, nie wyjaśniono jeszcze dostatecznie. Dotyczy to zwłaszcza wpływu lasu na opad, wielkość odpływu i zużycie wody. Stan wiedzy w tym zakresie jest dotąd fragmentaryczny, a wnioski poszczególnych badaczy są często sprzeczne. J. Paszyński (1955) i S. Bac (1963) stwierdzają niewielki wzrost sum opadów nad obszarami leśnymi. Ponieważ deszczomierze wywołują zakłócenia turbulencyjne w otaczającej atmosferze, zależne od prędkości wiatru, a zatem — według M. Czarnowskiego (1967) — ze wzrostem lesistości maleje prędkość wiatru i podnoszą się wskazania deszczomierzy. Na terenach otwartych, w myśl tego rozumowania, notowane wartości opadów są zaniżone.

Niejasna jest kwestia wpływu lasu na parowanie, a tym samym wielkość odpływu ze zlewni. K. Dębski (1959) podaje, że w półroczu letnim parowanie stanowi średnio 83% sumy rocznej. Słuszniejsze jeszcze wydaje się stwierdzenie M. Czarnowskiego (1964), że powierzchnię parującą zlewni tworzy głównie szata roślinna. Jej rozwój, a także stopień zużycia wody (transpiracja), jest funkcją produktywności siedliska (warunków wodno-glebowych). Nie uwzględnianie tego elementu w pracach hydrologicznych prowadzi — zdaniem M. Czarnowskiego (1967) — do rozbieżnych ocen wpływu szaty roślinnej, zwłaszcza lasów, na obieg wody.

Jeziora wyrównują przepływ rzek i powiększają straty na parowanie. W badanych zlewniach ich udział jest dosyć zróżnicowany.

W wyniku płytkiego występowania wód gruntowych znaczny procent powierzchni zajmują mokradła, zwłaszcza w obrębie przyrzecza Kanału Głównego. Tereny podmokłe zwiększają wartość parowania, przede wszystkim w okresie wegetacyjnym. Parowanie to obejmuje prawdopodobnie nie tylko strefę aeracji, lecz również strefę saturacji. H. Bieniaszewska (1973) stwierdza, że wielkość parowania ze strefy saturacji, w zależności od głębokości występowania zwierciadła wód gruntowych, nie jest jeszcze znana. D. H. R. Hellwig (1973) na podstawie badań eksperymentalnych dochodzi do wniosku, że przy średniej wielkości cząstek piasku — 0,53 mm i występowaniu zwierciadła wody na głębokości 60 cm parowanie ze strefy saturacji jest praktycznie niemożliwe. Jednocześnie stwierdza, że parowanie z otwartej powierzchni wody jest o 8% wyższe

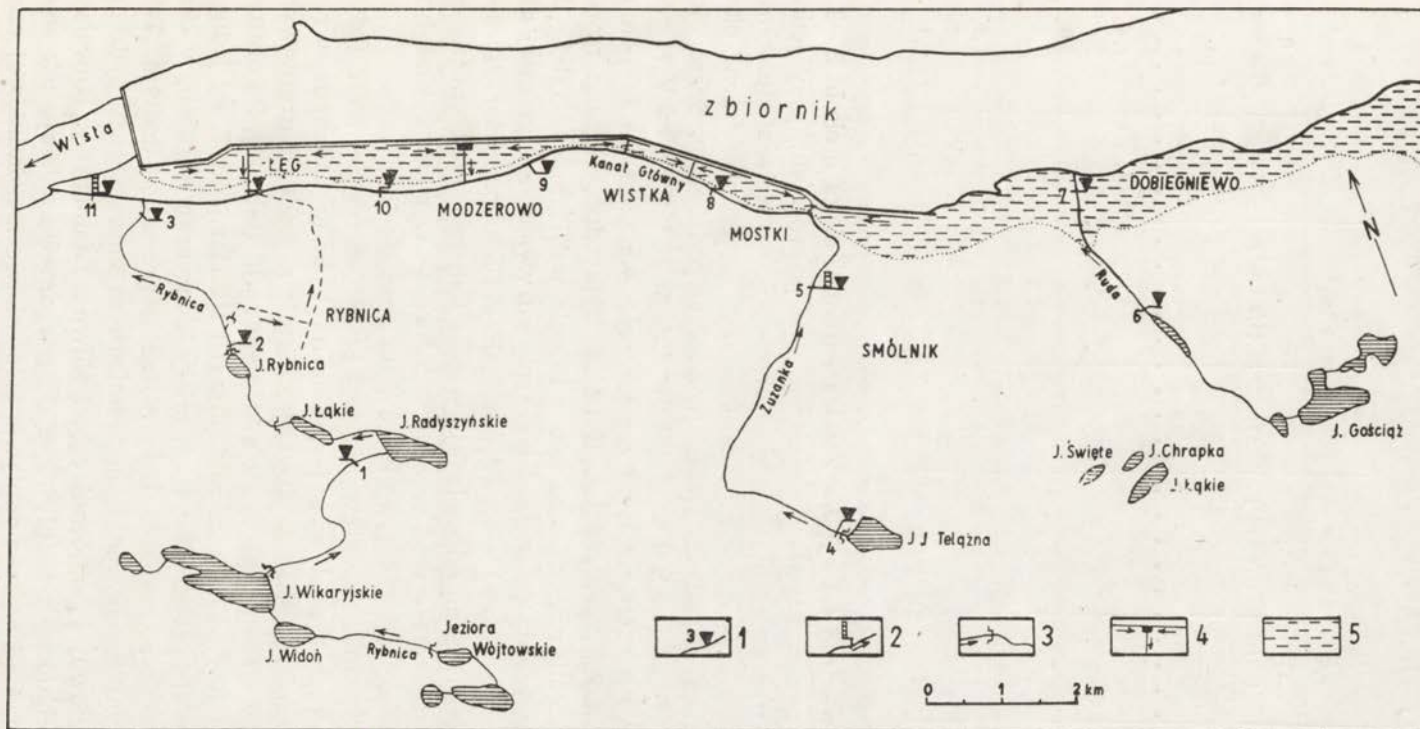
niż z nasyconego wodą piasku. Na mokradłach możliwości wsiąkania wód są ograniczone, a odpływ powierzchniowy i podziemny utrudniają małe spadki terenu i zwierciadła wód gruntowych. W tych warunkach, zwłaszcza podczas roztopów, woda często utrzymuje się na powierzchni. Mokradła powierzchniowo bezodpływowe spełniają inną rolę w obiegu wody niż mokradła zmeliorowane. Pierwsze dłużej zatrzymują wodę w zlewni, a tym samym powiększają wartości parowania i częściowo odpływu podziemnego. W wyniku melioracji mokradeł następuje zwiększenie powierzchniowego odpływu wód i skrócenie czasu ich spływu. Prowadzi to niekiedy do przesuszenia gruntów, głównie w okresach o mniejszym zasilaniu.

Resumując można stwierdzić, że wyróżnione zlewnie cechuje duża zdolność retencjonowania wód, wynikająca z dominacji łatwo przepuszczalnych gruntów, znacznego udziału obszarów bezodpływowych i lasów. Dotyczy to zwłaszcza zlewni Rudy. W zlewni Kanału Głównego i w jego zlewniach cząstkowych uwagę zwraca duży udział mokradeł. Zlewnie te charakteryzuje również wysoki stopień lesistości i znaczny procent obszarów bezodpływowych. W obrębie przyrzecza Kanału Głównego możliwości retencjonowania wód są najmniejsze. Jest to spowodowane stosunkowo małym zalesieniem, płytkim występowaniem zwierciadła wód gruntowych i znacznym udziałem zmeliorowanych mokradeł.

## 2. ODPIŁYWKI JEDNOSTKOWE ZE ZLEWNI NIE OBJĘTYCH ODDZIAŁYWANIEM SPIĘTRZENIA

W latach 1969—1973 wykonałem ponad 100 powtarzalnych pomiarów przepływu w ciekach. Część przekrojów hydrometrycznych zlokalizowałem w zlewniach położonych poza zasięgiem oddziaływania spiętrzenia (ryc. 31). Są to zlewnie: Rybnicy, Zuzanki i częściowo Rudy. W każdej z nich wytypowałem 2—3 przekroje hydrometryczne, usytuowane na charakterystycznych odcinkach biegu rzeki. Umożliwiło to wykrycie szeregu nieprawidłowości w wartościach przepływu.

W zlewni Rybnicy małe odpływy jednostkowe, obliczone dla przekroju 1 (tab. 11), są prawdopodobnie spowodowane brakiem trwałego związku hydraulicznego między wodami cieku a wodami gruntowymi, na co zwrócił już uwagę S. Lencewicz (1929). Rybnica spływa tu z terasy V na terasę IV. Z powodu małego wcięcia koryta część wód może infiltrować w przepuszczalne podłoże i odpływać podziemnie. W przekroju 2 przepływy i odpływy jednostkowe osiągają najwyższe wartości. Głęboko wcięta rynna jezior: Radyczyńskie—Łąkie—Rybnica, biegnąca równolegle do kierunku spływu wód gruntowych, przechwytuje z pewnością cały odpływ podziemny. Przy ujściu Rybnicy do Kanału Głównego (przekrój 3) następuje ponowne zmniejszenie przepływu. W dniach 19 III i 12 VIII 71 r. spadek wielkości przepływu w porównaniu z przekrojem



Ryc. 31. Sieć obserwacyjna na ciekach

1 — przekroje hydrometryczne, 2 — wodowskazy, 3 — zastawki, 4 — przepompownia, 5 — obszary objęte oddziaływaniem spiętrzenia Wisły

System of observation points on minor streams

1 — hydrometric cross-sections; 2 — water gauges; 3 — sluice gates; 4 — pumping station; 5 — areas included in the effect of the Vistula ponding

Przepływy i odpływy jednostkowe ze zlewni Rybnicy

Data	Przekrój 1 A = 20,8 km <sup>2</sup>		Przekrój 2 A = 32,9 km <sup>2</sup>		Przekrój 3 A = 38,5 km <sup>2</sup>	
	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )
9 IV 70	—	—	—	—	389,5	10,1
20 VI 70	—	—	—	—	178,8	4,6
8 VIII 70	—	—	—	—	215,9	5,6
15 X 70	—	—	—	—	54,9	1,4
25 XI 70	—	—	—	—	92,9	2,4
19 III 71	—	—	199,5	6,1	190,9	5,0
12 VII 71	41,5	2,0	92,8	2,8	86,3	2,2
23 XI 71	24,5	1,2	77,2	2,3	—	—
24 V 72	12,8	0,6	95,6	2,9	56,6	1,5
8 VIII 72	—	—	—	—	46,5	1,2
5 V 73	19,5	0,9	130,6	4,0	88,3	2,3

2 wynosił odpowiednio 4,3 i 7,0<sup>0</sup>%. Zawieszenie dna cieku o około 2—3 m w stosunku do poziomu wody w kanale (korekcja progowa), przy jednoczesnym obniżeniu zwierciadła wód gruntowych w sąsiedztwie kanału powoduje, że wody dolnego odcinka Rybnicy — na przestrzeni około 1 km — infiltrują w podłoże i zasilają odpływ podziemny. Szczególnie wysokie niedobory przepływu wystąpiły w dniach 24 V 72 r. i 5 V 73 r. — odpowiednio 40,8 i 32,4<sup>0</sup>%. W tym czasie część wód z rzeki, za pomocą zastawki usytuowanej poniżej jez. Rybnica, była odprowadzana rowem poza zlewnię, w celu nawodnienia łąk w rejonie wsi Rybnica. Należy dodać, że sztuczna regulacja wielkości przepływu występuje na całej długości cieku, począwszy od Jezior Wójtowskich. Z tych względów obliczone odpływy jednostkowe nie odpowiadają wartościom rzeczywistym. Są one zaniżone, ponieważ część wód rzecznych infiltruje w podłoże i odpływa podziemnie, a część jest okresowo kierowana poza zlewnię.

W korycie Zuzanki przepływ nie jest sztucznie regulowany. Jedyna zastawka zamykająca dopływ z jez. Telązna była w badanym okresie zniszczona. Zuzanka wykazuje trwały związek z wodami gruntowymi, o czym świadczy wzrost przepływu z biegiem rzeki (tab. 12). Po obfitych opadach (5 VIII 70 r.) i podczas roztopów (20 III 71 r.), odpływy jednostkowe, obliczone dla przekrojów 4 i 5, miały identyczne wartości, w okresach zaś o mniejszym zasilaniu były niższe w przekroju dolnym. Takie stosunki odpływu są spowodowane odmiennym charakterem hydrograficznym południowej i północnej części zlewni. Zdaniem A. Kowalskiej (1968) powierzchniowo bezodpływowe pola wydymowe działają jak zbiorniki retencyjne, stąd wyższe odpływy jednostkowe z południowej części zlewni (przekrój 4), zwłaszcza w okresach suchych.

Tabela 12

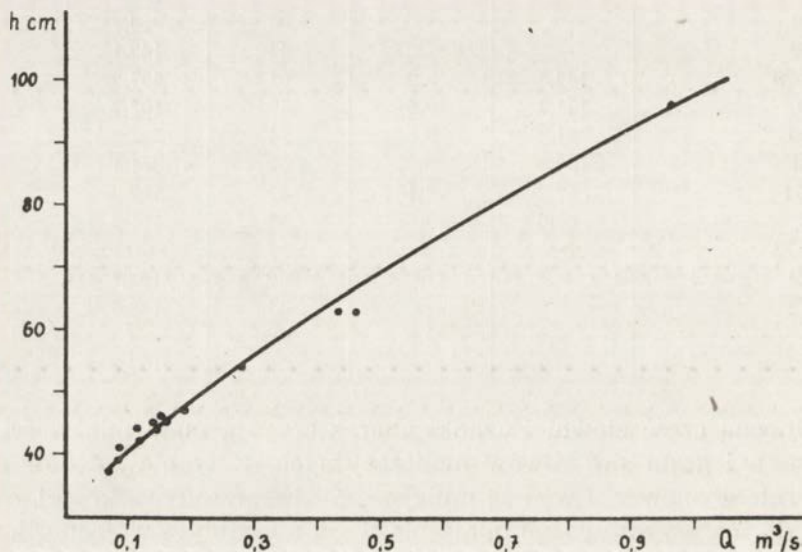
Przepływy i odpływy jednostkowe ze zlewni Zuzanki

Data	Przekrój 4 A = 16,3 km <sup>2</sup>		Przekrój 5 A = 48,6 km <sup>2</sup>		
	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )	h (cm)	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )
19 XI 69	—	—	39	85,5	1,8
14 I 70	—	—	41	89,2	1,8
25 II 70	—	—	44	118,3	2,4
9 IV 70	—	—	96	964,7	19,8
20 VI 70	—	—	44	145,1	3,0
5 VIII 70	147,4	9,0	63	437,9	9,0
13 X 70	123,7	7,6	47	192,7	4,0
26 XI 70	91,2	5,6	54	282,9	5,8
20 III 71	155,0	9,5	63	461,1	9,5
9 VII 71	67,2	4,1	42	117,3	2,4
25 V 72	62,0	3,8	45	161,8	3,3
8 VIII 72	—	—	37	70,1	1,4
5 X 72	—	—	46	157,7	3,2
4 XI 72	—	—	45	148,5	3,1
5 V 73	58,0	3,6	—	—	—
7 V 73	—	—	46	153,8	3,2

Północną część zlewni Zuzanki charakteryzują małe miąższości strefy aeracji i gęsta sieć rowów melioracyjnych. Z tych względów możliwości retencjonowania wód są mniejsze, a ich spływ trwa krócej, co prowadzi do intensywniejszego obniżenia wartości odpływów jednostkowych w okresach małego zasilania. Niedobory odpływu, zwłaszcza w półroczu letnim, pogłębia zwiększone parowanie z mokradeł (łąki), które dominują w tej części zlewni.

Małe ciekі w dolinie Wisły nie były dotychczas objęte pomiarami przepływów. Bilans wodny i wielkość odpływów jednostkowych z tego obszaru szacowano metodami empirycznymi, na podstawie znajomości sum opadów atmosferycznych. Do rozdziału opadów na odpływ i parowanie (straty) oraz określenie ich zmienności w ciągu roku stosowano metodę analogii z sąsiednimi zlewniami kontrolowanymi — Jeziorką, Bzurą, Utratą i Zgłowiączką. Ich bilans wodny został przedstawiony w pracy: *Stosunki hydrograficzne poszczególnych regionów Polski* (1958). Z wymienionych zlewni, w opadzie normalnym, odpływa w ciągu roku średnio 16—20% (2,8—3,4 l/s km<sup>2</sup>), a w półroczu letnim — 10—11% (2,2—2,3 l/s km<sup>2</sup>). Dla pasa doliny Wisły od Zakrocymia po Włocławek przeciętną wartość współczynnika odpływu oszacowano na 14,0% (2,1 l/s km<sup>2</sup>), natomiast w półroczu letnim — 14,4% (2,7 l/s km<sup>2</sup>). Średni odpływ jednostkowy z dorzecza Skrwy lewobrzeżnej K. Dębski (1960) szacuje na około 2,4 l/s km<sup>2</sup>, przy czym w półroczu zimowym — 2,8 l/s km<sup>2</sup>, w półroczu letnim — 2,0 l/s km<sup>2</sup>.

Jednorazowe pomiary przepływu nie pozwalają określić stosunku odpływu ze zlewni do opadu oraz średniej wartości odpływu jednostkowego. Celem chociaż przybliżonego ustalenia tych ważnych parametrów hydrologicznych założyłem wodowskaz przy ujściu Zuzanki do Kanału Głównego (przekrój 5). Codzienne obserwacje stanów wody prowadzono przez 15 miesięcy (1 IV 72—30 VI 73 r.). W tym czasie absolutna amplituda stanów wody wynosiła 41 cm, a średnich miesięcznych — 18 cm. W oparciu o krzywą konsumpcyjną (ryc. 32) obliczyłem wielkość odpływu ze



Ryc. 32. Krzywa konsumpcyjna wodowskazu na Zuzance

Curve showing water consumption on water gauge on Zuzanka creek

zlewni Zuzanki (tab. 13). Do ustalenia wielkości zasilania przyjąłem, że reprezentatywne dla badanego obszaru są opady ze stacji meteorologicznej w Wistce Królewskiej. Sumy opadów porównałem z wartościami wieloletnimi, które obliczyłem dla stacji sąsiednich (Włocławek, Dobrzyń), dysponujących dłuższą serią danych.

W półroczu letnim 1972 r., w opadach zbliżonych do normalnych, współczynnik odpływu ze zlewni Zuzanki wynosił 14,9%, a średni odpływ jednostkowy — 3,2 l/s km<sup>2</sup>. W półroczu zimowym 1973 r. opady były o 22% niższe od przeciętnych, a odpływ stanowił 36,8% (3,4 l/s km<sup>2</sup>). Średni współczynnik odpływu dla całego badanego okresu wynosił 19,1%, natomiast odpływ jednostkowy — 3,2 l/s km<sup>2</sup>. Wartości te były wyższe w porównaniu z przeciętnymi stosunkami odpływu z kontrolowanych zlewni: Bzury, Utraty i Zgłowiączki. Odpływy jednostkowe ze zlewni Zuzanki uznałem za charakterystyczne dla obszarów nie objętych oddziaływaniem spiętrzenia, położonych na południe od Kanału Głównego.

Tabela 13

Niekóre cechy hydrologiczne zlewni Zuzanki w okresie 1 IV 72--30 VI 73 r. na tle normalnych sum opadów atmosferycznych (1959--1973)

Element hydrologiczny		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Zima XI--IV	Lato V--X	Okres badany
Opad normalny	Włocł. Dobrz.	38	35	24	27	28	33	56	57	69	61	33	30	185	306	637
		42	30	23	28	26	37	64	63	86	63	41	28	186	345	695
P	1972	—	—	—	—	—	71	86	106	9	81	48	11	—	341	653
mm	1973	27	9	14	48	29	17	63	34	—	—	—	—	144	—	
H	1972	—	—	—	—	—	10	9	10	6	8	9	9	—	51	125
mm	1973	9	9	6	10	11	8	7	4	—	—	—	—	53	—	
H	1972	—	—	—	—	—	467	431	485	308	380	448	418	—	2470	6055
tys. m <sup>3</sup>	1973	443	412	292	486	530	402	335	218	—	—	—	—	2565	—	
Q	1972	—	—	—	—	—	180	161	187	115	142	173	156	—	156	161
l/s	1973	171	154	109	201	198	155	125	84	—	—	—	—	165	—	
q	1972	—	—	—	—	—	3,7	3,3	3,8	2,4	2,9	3,6	3,2	—	3,2	3,2
l/s km <sup>2</sup>	1973	3,5	3,2	2,2	4,1	4,1	3,2	2,6	1,7	—	—	—	—	3,4	—	

Objaśnienia: P — opad (Wistka Królewska); H — odpływ; Q — przepływ; q — odpływ jednostkowy



Twierdzenie to usprawiedliwiają podobne warunki hydrogeologiczne i hydrograficzne.

W korycie Rudy przepływy mierzyłem w dwóch przekrojach hydrometrycznych (ryc. 31). Rzeczywiste wartości odpływu ze zlewni można jedynie ocenić w oparciu o przekrój 6, położony poza zasięgiem oddziaływania spiętrzenia (tab. 14). Dolny odcinek Rudy ma minimalny spadek,

Tabela 14

Przepływy i odpływy jednostkowe ze zlewni Rudy

Data	Przekrój 6 A = 53,2 km <sup>2</sup>			Przekrój 7 A = 55,7 km <sup>2</sup>			
	h (cm)	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )	h (cm)	h zbiornika (m n.p.m.)	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )
5 VIII 70	—	—	—	—	56,98	263,8	4,7
12 X 70	—	—	—	60	57,25	194,8	3,5
26 XI 70	—	—	—	50	57,23	239,5	4,3
25 III 71	—	—	—	79	57,37	226,2	4,1
12 VII 71	21	153,1	2,9	—	56,97	182,1	3,3
26 V 72	26	193,4	3,6	18	56,82	120,1	2,2
8 VIII 72	—	—	—	59	57,28	136,3	2,4
7 V 73	19	139,4	2,6	—	57,18	190,0	3,4

a stany wody i przepływy są w dużym stopniu zależne od zmian poziomu zbiornika (przekrój 7). W wysokich stanach zbiornika następuje podpiętrzenie wód rzecznych, które infiltrują w przyległe tereny. W tym czasie, mimo przyrostu stanów wody w rzece, przepływ ulega zmniejszeniu, a niekiedy nawet krótkotrwałemu zahamowaniu. Po obniżeniu poziomu zbiornika odpływ spiętrzonych wód powoduje zawyżenie wartości odpływów jednostkowych. W dłużej trwających niskich stanach zbiornika obserwuje się spadek przepływu z biegiem rzeki (np. 26 V 72 r.), spowodowany infiltracją wód w podłoże.

### 3. WPLYW INFILTRACJI WÓD ZE ZBIORNIKA NA WIELKOŚĆ PRZEPIYU W CIEKACH

W przekroju 11 (ryc. 31), zamykającym zlewnię Kanału Głównego, na wielkość przepływu wpływają dwa czynniki:

1. ilość wody dopływającej ze zlewni,
2. infiltracja wód ze zbiornika.

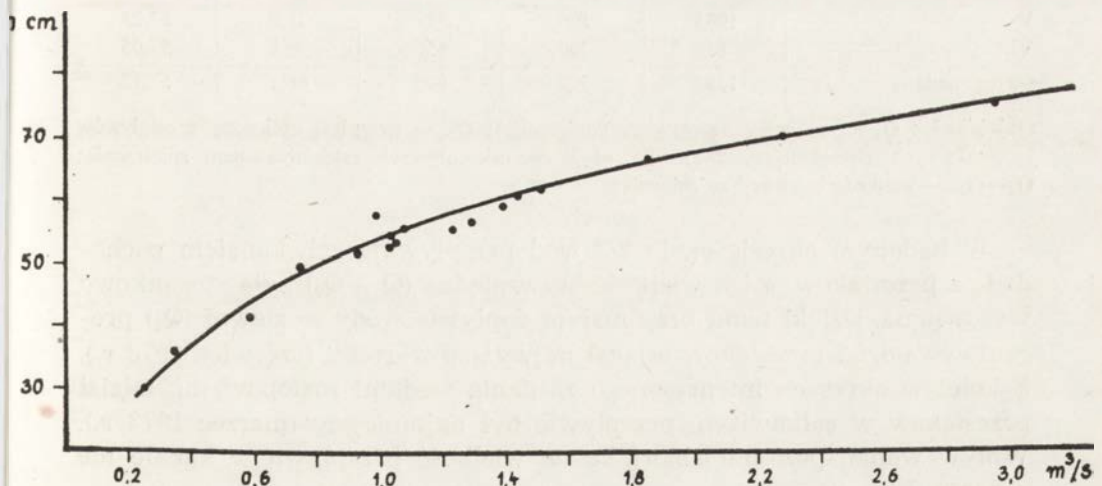
Wody przesiąkające przez zapórę boczną są rowami odprowadzanymi do kanału — częściowo grawitacyjnie (Łęg, Wistka, Mostki), częściowo za pomocą przepompowni (Modzerowo). Pewna ilość wód odpływa podziemnie, wskutek odwrócenia spadku zwierciadła wód gruntowych.

Tabela 15

Stany wody, przepływy i odpływy jednostkowe ze zlewni Kanału Głównego (przekrój 11,  $A = 117,7 \text{ km}^2$ ).

Data	h (cm)	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )	Data	h (cm)	Q (l/s)	q (l/s km <sup>2</sup> )
22 VIII 69	30	250	2,1	10 IX 70	53	1045	8,9
28 VIII 69	36	345	2,9	15 X 70	55	1075	9,1
26 XI 69	41	588	5,0	25 XI 70	59	1397	11,9
13 I 70	51	932	7,9	15 XII 70	61	1511	12,8
25 II 70	49	758	6,4	19 III 71	66	1844	15,7
9 IV 70	75	2952	25,1	10 VII 71	57	983	8,4
5 V 70	70	2280	19,4	24 V 72	55	1223	10,4
20 VI 70	54	1037	8,8	8 VIII 72	52	1026	8,7
7 VIII 70	60	1435	12,2	5 V 73	56	1297	11,0

Infiltracja ze zbiornika decyduje o wielkości przepływu w kanale, o czym świadczą wysokie odpływy jednostkowe (tab. 15). W celu obliczenia wielkości przesiaków ze zbiornika, zlewnię kanału zamknąłem wodowskazem. Codzienne pomiary stanów wody prowadzono w okresie 1 IV 72—30 VI 73 r., a więc w tym samym czasie co na Zuzance. Absolutna amplituda stanów wody wynosiła 16 cm, średnich miesięcznych natomiast 8 cm. Z krzywej konsumpcyjnej (ryc. 33) odczytałem wartości przepływów dobowych, a następnie obliczyłem średnie miesięczne. Charakteryzują one sumaryczny dopływ wody do kanału ( $Q_1$ ), pochodzący z opadów i infiltracji ze zbiornika. Z kolei średnie miesięczne odpływy jednostkowe ze



Ryc. 33. Krzywa konsumpcyjna wodowskazu na Kanał Głównym

Curve showing water consumption on water gauge in Main Drainage Channel („Kanał Główny” in Polish)

zlewni Zuzanki, uznane za reprezentatywne dla obszarów nie objętych oddziaływaniem spiętrzenia, pomnożyłem przez powierzchnię zlewni Kanału Głównego. Uzyskałem w ten sposób wielkość przepływu w kanale, wynikającą z zasilania opadami ( $Q_2$ ). Różnica między przepływami zmierzonymi ( $Q_1$ ) a obliczonymi z odpływów jednostkowych ( $Q_2$ ), stanowi wielkość przesiąków ze zbiornika (tab. 16).

Tabela 16

Średni udział infiltracji ze zbiornika w przepływie wód Kanałem Głównym (1 IV 72 — 30 VI 73 r.)

Miesiąc	$Q_1$ (l/s)	$Q_2$ (l/s)	$Q_1 - Q_2$ (l/s)	$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ (%)	h zbiornika (m npm.)
IV 72	1301	435	866	66,6	57,16
V	1233	388	845	68,5	56,95
VI	1324	447	877	66,2	56,96
VII	1031	282	749	72,6	56,96
VIII	1085	341	744	68,6	57,10
IX	1365	423	942	69,0	57,20
X	1268	377	891	70,3	57,20
Lato V—X	1218	377	841	69,0	57,06
XI	1212	412	800	66,0	57,21
XII	1234	377	857	69,4	56,94
I 73	1018	259	759	74,6	57,21
II	1278	483	795	62,2	57,20
III	1246	483	763	61,2	57,20
IV	1213	377	836	68,9	57,20
Zima XI—IV	1200	400	800	66,7	57,16
V	1085	306	779	71,8	57,23
VI	856	200	656	76,6	57,05
Okres badany	1183	377	806	68,1	57,12

Objaśnienia:  $Q_1$  — przepływ rzeczywisty (zmierzony);  $Q_2$  — przepływ obliczony z odpływów jednostkowych charakterystycznych dla obszarów nie objętych oddziaływaniem spiętrzenia;  $Q_1 - Q_2$  — wielkość infiltracji ze zbiornika.

W badanym okresie około 2/3 wód przepływających kanałem pochodziło z przesiąków, a ich wielkość bezwzględna ( $Q_1 - Q_2$ ) była stosunkowo wyrównana. Dzięki temu przy małym dopływie wody ze zlewni ( $Q_2$ ) procentowy udział przesiąków osiągał najwyższe wartości (czerwiec 1973 r.). Z kolei w okresach intensywnego zasilania wodami roztopowymi, udział przesiąków w całkowitym przepływie był najmniejszy (marzec 1973 r.). Wpływ wahań poziomu zbiornika na wielkość przepływu w kanale nie zaznaczył się.

O istnieniu zależności między ilością przesiąków a rzędną zwierciadła wody w zbiorniku świadczą pomiary przepływu wykonane w rowach przywałowych (tab. 17). Największe przepływy występowały podczas wy-

Tabela 17

Sumaryczne przepływy w rowach przywałowych w rejonie Łęgu (przekrój 12)

Data	Q (l/s)	h zbiornika (m npm.)	Data	Q (l/s)	h zbiornika (m npm.)
22 XI 69	17,2	55,03	16 X 70	118,3	57,17
25 II 70	49,2	55,84	25 XI 70	101,7	57,19
9 IV 70	93,6	56,14	19 III 71	77,5	56,62
20 VI 70	70,8	56,22	10 VII 71	59,1	56,91
8 VIII 70	120,5	57,26	17 V 73	63,3	57,07

sokich stanów zbiornika, lecz warunki meteorologiczne, a zwłaszcza roztopy i opady, utrudniają ustalenie ściślejszej zależności ilościowej.

Wielkość przesiąków przez zapórę boczną jest na poszczególnych odcinkach zróżnicowana i zależy od przepuszczalności gruntów oraz różnicy poziomów wody w zbiorniku i przyległym terenie. W dniu 17 V 73 r. do przepompowni w Modzerowie, której zlewnia zajmuje około 1,4 km<sup>2</sup> i jest najniżej położona, dopływało rowami 166,3 l/s (118,8 l/s km<sup>2</sup>). W tym czasie z rejonu Łęgu grawitacyjnie odpływało do kanału 63,3 l/s (39,6 l/s km<sup>2</sup>), a z okolic Wistki i Mostków — 123,2 l/s (88,0 l/s km<sup>2</sup>). Sumaryczny przepływ wynosił 352,8 l/s (80,2 l/s km<sup>2</sup>), co świadczy o decydującym udziale wód przesiąkowych. Także dopływ wód do Kanału Głównego jest zróżnicowany. Największe przyrosty przepływu występują między przekrojami 9—10, a więc również w sąsiedztwie przepompowni (tab. 18). Brak systematycznych pomiarów przepływu uniemożliwił ustalenie jaki procent przesiąków przechwytyują rowy przywałowe.

Tabela 18

Średnie przyrosty przepływu w Kanale Głównym na odcinkach między przekrojami hydrometrycznymi (w l/s na 1 km)

Data	Odcinek między przekrojami			
	5—8	8—9	9—10	10—11
19—26 XI 69	2,3	46,9	92,0	85,1
13—14 I 70	83,3	—5,5	116,0	106,4
25 II 70	44,0	58,2	140,0	36,0
9 IV 70	105,1	158,9	234,7	207,9
5—7 VIII 70	166,3	81,5	—49,3	98,5
13—15 X 70	167,6	2,5	128,0	61,8
19—22 III 71	151,2	80,0	151,3	125,9

## WNIOSKI

Na terenach depresyjnych o zasięgu i wielkości zmian w poziomie wód gruntowych zdecydowały prace odwadniające. Podstawowe melioracje, związane z budową stopnia, przeprowadzono przed rozpoczęciem spiętrzania Wisły. Ich efektem było obniżenie poziomu wód gruntowych, które w sąsiedztwie Kanału Głównego wyniosło maksymalnie: w części górnej (Mostki) — do 1 m, w środkowej (Modzerowo, Łęg) — 2,0—2,5 m, a w dolnej — miejscami do 3 m. Jednocześnie objęło strefę o szerokości 1,0—1,5 km od zapory bocznej. Nadmierne przesuszenie gruntów wpłynęło niekorzystnie na stosunki wodne gleb. W strefie do 300 m od kanału zanikły podmokłości terenu i wyschły płytsze studnie. Lokalnie stwierdzono suche pokłady torfu o miąższości do 1,5 m, leżące ponad zwierciadłem wód gruntowych.

Zmiany po spiętrzeniu rozpatrzono w odniesieniu do okresu przed wykonaniem odwodnienia. W strefie do 400 m od zapory bocznej poziom wód gruntowych podniósł się maksymalnie o około 1,5 m. W pasie o szerokości 100 m od zbiornika niektóre zagłębienia terenu uległy zabagnieniu. Skuteczniejsze zabezpieczenie terenu przed skutkami spiętrzenia nastąpiło w miejscach, gdzie kanał biegnie 100—250 m od zapory bocznej (Wistka Królewska). Kanał zabezpieczył przed podtopieniem obszary lewobrzeżne, ale w jego środkowym i dolnym biegu nadmierne przesuszenie gruntów nie zostało zlikwidowane. Na prawym brzegu kanału zaznacza się ono w strefie o szerokości 100—200 m, na lewym — 800—1000 m. Poziom wód gruntowych układa się lokalnie o 2 m niżej od stanów z okresu przed wybudowaniem kanału.

We wschodniej części obszaru badań zbiornik spełnia rolę drenującą, a o zasięgu jego oddziaływania zdecydowało ukształtowanie zwierciadła wód gruntowych przed spiętrzeniem. Ujemne skutki spiętrzenia wyraźnie zaznaczyły się w pasie o szerokości do 500 m od zbiornika (Dobiegiewo, Duże Skoki). W wyniku wyrównania zwierciadła wody w studniach do poziomu zbiornika nastąpiło lokalne podtopienie lub zalanie obniżen terenu. W sąsiedztwie linii brzegowej zalewu poziom wód gruntowych podniósł się maksymalnie o 2—3 m. Pośrednie oddziaływanie zbiornika — w postaci podpiętrzenia wód gruntowych — nie osiągnęło hydroizohipsy

o wartości 2 m wyższej od rzędnej piętrzenia. W wyniku małych spadków zwierciadła wód gruntowych objęło ono strefę o szerokości do 1400 m (Dąb Polski), powodując lokalne podtopienie gruntów. W rejonie Nowej Wsi i Karolewa wpływ spiętrzenia nie zaznaczył się, ponieważ strop antykliny (zbudowanej z iłów plioceńskich) wychodzi ponad powierzchnię zbiornika.

Na obszarach depresyjnych nastąpiło odwrócenie kierunku przepływu podziemnego (od zbiornika — do kanału). Zmienił się reżim hydrologiczny wód gruntowych. Przebieg stanów wody uległ wyrównaniu (podniesienie minimów, obniżenie maksimów). W okresach suchych poziom wód gruntowych nie ulega większemu obniżeniu, ponieważ niedobory wody uzupełniają przesiąki ze zbiornika. Natomiast w czasie roztopów i po opadach nadmiary wód są szybko odprowadzane siecią rowów. Najbardziej wyrównane stany wody występują w zasięgu oddziaływania przepompowni w Modzerowie (roczne amplitudy — 30—60 cm), co świadczy o jej sprawnym działaniu. Słabo zaznacza się związek między dobowymi zmianami poziomu wody w zbiorniku i w studniach, co wynika z małych amplitud stanów wody zbiornika. W trakcie spiętrzenia Wisły przyrosty stanów wody w studniach położonych w jednakowej odległości od rzeki zaznaczały się z opóźnieniem do 2—3 tygodni, głównie w zależności od rzędnej poziomu wody w studni i przepuszczalności gruntów.

W wyniku podniesienia poziomu wód gruntowych zmienił się przebieg i wzrosły roczne amplitudy temperatury wody — maksymalnie o około 11°C. Zmniejszenie miąższości strefy aeracji spowodowało pogorszenie jakości wody w studniach. Jest ono powszechnie obserwowane w sąsiedztwie sztucznych zbiorników nizinnych.

Średnio 68% wód odpływających Kanałem Głównym pochodzi z infiltracji ze zbiornika, a 32% ze zlewni hydrologicznej. W miesiącach o małym dopływie wody ze zlewni udział przesiąków dochodzi do 77%, a w okresie roztopów spada do 61%. Natężenie przesiąków wynosi przeciętnie 806 l/s, przy wahaniami średnich wartości miesięcznych  $\pm 18\%$ . W rowach przywałowych stwierdzono wyraźny związek między wielkością przepływu a stanami wody w zbiorniku — w wyższych stanach infiltracja rośnie. Warunki meteorologiczne, a zwłaszcza roztopy i opady, utrudniają ustalenie ścisłej zależności ilościowej. Dopływ wód przesiąkowych do poszczególnych odcinków sieci odwadniającej jest nierównomierny i zależy od różnicy poziomów wody w zbiorniku i przyległym terenie oraz przepuszczalności gruntów. Największe dopływy wody do rowów przywałowych i Kanału Głównego stwierdzono na wysokości Modzerowa — w rejonie oddziaływania przepompowni. W badanym okresie nie zaznaczyło się wyraźne zmniejszenie wartości przepływów, co świadczyłoby o postępującej kolmatacji czaszy zbiornika.

Cieki uchodzące do dolnego odcinka Kanału Głównego zostały pozba-

wione związku hydraulicznego z wodami gruntowymi. Świadczy o tym spadek przepływu z biegiem koryt. We wschodniej części obszaru badań dolne odcinki cieków znalazły się w zasięgu cofki zbiornika.

Badania zakończono po czterech latach od momentu rozpoczęcia spiętrzania rzeki. Jest to okres zbyt krótki do pełnego poznania zmian w stosunkach wodnych obszarów przyległych. Należy się więc liczyć z możliwością dalszych zmian, chociaż o mniejszym natężeniu, zwłaszcza na terenach nie objętych pracami melioracyjnymi i położonych w większej odległości od zbiornika.

## LITERATURA

- Adamiak J., Faferek B., Głodek J., 1969, *Warunki geologiczno-inżynierskie w rejonie stopnia wodnego we Włocławku*, [w:] Przewodnik XLI Zjazdu PTGeol. w Koninie, Warszawa.
- Adamiak J., Grzebalska T., Markowska Z., Pordzik M., 1966, *Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu wstępnego zbiornika „Włocławek”*, Przeds. Geol.-Inż. Budownictwa Wodnego „Hydrogeo”, Warszawa, (maszynopis).
- Bac S., 1963, *Wpływ lesistości gleb na opad i odpływ w regionach hydrograficznych Polski*, Pr. i St. Kom. Inż. i Gosp. Wodnej, t. 7, cz. 2.
- Banach M., 1973, *Budowa geologiczna a powierzchniowe ruchy masowe na prawym zboczu doliny Wisły między Płockiem a Włocławkiem*, Przegl. Geogr., t. 45, z. 2.
- Banach M., Glazik R., 1971, *Uwagi o zimowej termice zbiornika wodnego na Wiśle pod Włocławkiem i wybranych jezior w dolinie Wisły*, *ibid.*, t. 43, z. 1—2.
- Barcikowski M., Serafiński J., 1964, *Zagadnienie obwałowania i odwodnienia terenów przyzbiornikowych stopnia wodnego Dębe*, *Gosp. Wodna*, nr 9.
- Bażyński J., 1969, *Problematyka badań hydrogeologicznych dla potrzeb prognozowania wpływu piętrzenia rzek na wody podziemne*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, *Zesz. Nauk. Polit. Krak.*, *Budownictwo Wodne*, z. 16, cz. I.
- Biejrom S. G., Wostrjakowa N. W., Szirokow W. M., 1973, *Imienienie przyrodnych ustojów w Średniej Obi posle sozdanija Nowosibirskoj GES*, Nowosibirsk.
- Bieniaszewska H., 1973, *Metody obliczeń odpływu gruntowego na przykładzie małej zlewni*, *Inst. Geol.*, *Biul.* 227, *Z badań hydrogeologicznych w Polsce*, t. 3.
- Buczyński M., 1957, *Warunki geologiczno-inżynierskie obszaru stopnia wodnego powyżej Włocławka*, *Gosp. Wodna*, nr 1.
- Cierniewski J., Kędziora A., Sychalski M., 1972, *Badanie wpływu piętrzenia na tereny przyzbiornikowe stopnia wodnego we Włocławku na podstawie interpretacji i stereoskopowej analizy zdjęć lotniczych*, *Inst. Melior. Roln. i Leśn. Akad. Roln.*, Poznań, (maszynopis).
- Czarnowski M., 1964, *Związek między parowaniem terenowym a rozmieszczeniem przestrzennym typów szaty roślinnej*, *Przegl. Gogr.*, t. 36, s. 3.
- 1967, *Rzut oka na rolę lasu w gospodarce wodnej Polski*, *ibid.*, t. 39, z. 3.
- Dębski K., 1959, *Hydrologia kontynentalna*, cz. 2, Warszawa.
- 1960, *Bilans wodny rzeki Skrwy w powiecie gostyńskim*, *Gosp.-Wodna*, nr 12.
- Dojlido J., Jakubowski L., Moraczewski J., Praszkiwicz A., 1967, *Charakterystyka limnologiczna wód Narwi i Bugu przed i po utworzeniu Jeziora Zegrzyńskiego*, *Pr. Inst. Gosp. Wodnej*, t. 4, z. 3.
- Dojlido J., Moraczewski J., 1964, *Uwagi o stosunkach środowiskowych Jeziora Zegrzyńskiego w zimie 1964 r.*, *Gosp. Wodna*, nr 4 i 10.



- Domosławska-Baraniecka M. D., Mojski J. E., 1960, *Z problematyki geologii czwartorzędu Mazowsza i Kujaw*, Przegł. Geol., nr 4.
- Dowgiałło J., Krzywina W., 1973, *Zastosowanie metody Clarka do analizy wahań zwierciadła wody w głębokich poziomach wodonośnych na przykładzie Swinoujścia*, Inst. Geol., Biul. 227, *Z badań hydrogeologicznych w Polsce*, t. 3.
- Faferek B., 1960, *Inżynierskie badania geologiczne dla stopnia wodnego we Włocławku*, Przegł. Geol., nr 2.
- Flisowski J., Konkol T., Wieczysty A., 1966, *Analiza wpływu próbnego piętrzenia Wisły w Dąbju na poziom wody podziemnej w Krakowie*, [w:] *Problemy regulacji stosunków wodnych na obszarze m. Krakowa w związku z piętrzeniem Wisły jazem w Dąbju*, Materiały Sympozjum Nauk. Polit. Krak., Kraków.
- Flisowski J., Wieczysty A., 1965, *Próba ustalenia metodyki badań wpływu piętrzenia rzeki na wody podziemne*, Gosp. Wodna, nr 4.
- 1966, *Doświadczenia w stosowaniu metody różnic skończonych dla prognozy stanów wód podziemnych na tle badań wykonanych dla stopnia Dąbie k. Krakowa*, [w:] *Problemy geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne doliny dolnej Wisły*, Materiały LVI Sesji Nauk. Centr. Urzędu Geol., Warszawa—Gdańsk.
- 1968, *Etapy badań prognostycznych nad reżimem wód podziemnych w związku z projektowaniem stopni piętrzących*, Gosp. Wodna, nr 9.
- Galon R., 1953, *Z zagadnień geomorfologii czwartorzędu Niżu Polskiego*, Przegł. Geogr., t. 25, z. 2.
- 1968, *Ewolucja sieci rzecznej na przedpolu zanikającego lądolodu*, Pr. Geogr. IG PAN, nr 74.
- Giercuskiewicz K., 1955, *Zbiornik na rzece Wiśle pod Goczałkowicami*, Gosp. Wodna, nr 12.
- 1956, *Ścianka szczelna zapory Goczałkowickiej*, *ibid.*, nr 7.
- Glazik R., 1970, *Stosunki wodne pow. włocławskiego*, Przegł. Geogr., t. 42, z. 4.
- 1973, *Zbiornik wodny na Wiśle pod Włocławkiem*, [w:] *Przewodnik wycieczek XI Ogólnopolskiego Zjazdu Geograficznego*, Toruń.
- 1975, S. G. Biejrom, N. W. Wostrjakowa, W. M. Szirokow, 1973, *Izmienienie prirodnych usłowij w Sredniej Obi posle sozdanija Nowosibirskoj GES*, Nowosybirsk, Gosp. Wodna, nr 12, R. Glazik recenzja.
- 1976 a, *Niektóre cechy hydrologiczne Zbiornika Włocławskiego i jego wpływ na reżim wód Wisły*, *ibid.*, nr 6.
- 1976 b, *Wpływ melioracji na stosunki wodne obszarów przyległych do stopnia wodnego na Wiśle pod Włocławkiem*, [w:] *Wpływ melioracji wodnych na środowisko geograficzne*, Materiały Konferencji Nauk. Komitetu Nauk Geogr. PAN, Komitetu Melior. PAN, IGiPZ PAN, cz. I.
- Griszina I. N., 1972, *Rasprostranienie podpora i reżim gruntowych wod na territorii prilegajuszczej k Gor'kowskomu Wodochraniliszczu*, Izw. Wses. Geogr. Obszcz., t. 104, nr 5, Leningrad.
- Grzyb S., Śniadowski Z., 1967, *Wpływ stopnia wodnego w Dębem na warunki wodno-siedliskowe w dolinie*, Gosp. Wodna, nr 3 i 4.
- Hellwig D. H. R., 1973, *Evaporation of water from sand. 4: the influence of the depth of the water — table and the particle size distribution of the sand*, J. Hydrol., t. 18, nr 3/4.
- Ihnatowicz S., 1975, *Oddziaływanie obiektów podstawowego budownictwa wodnego na przyrodnicze środowisko człowieka*, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Inżynieria Wodna, nr 3, Warszawa.
- Instrukcja opracowania mapy hydrograficznej Polski 1 : 50 000*, 1964, Dokum. Geogr., z. 3.

- Kaczorowska G., Lipnicka A., 1962a, *Mapa hydrograficzna 1:50 000*, ark. Dobrzyń n. Wisłą, Zakład Fizjogr. Ziemi Polskich IGiPZ PAN Toruń, (rękopis).
- 1962 b, *Mapa litologiczna 1:50 000*, ark. Dobrzyń n. Wisłą, ibid., Toruń, (rękopis).
- Kardasz P., 1969, *Zmiany reżimu wód podziemnych na zawałach zbiornika wodnego w Dębem w latach 1961—1968*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Budownictwo Wodne, z. 16, cz. III.
- Kardasz P., Simoni J., 1976a, *Kształtowanie się stosunków glebowo-wodnych na terenach przyległych do zbiornika wodnego w Dębem*, [w:] *Wpływ melioracji wodnych na środowisko geograficzne*, Materiały Konferencji Nauk. Komitetu Nauk Geogr. PAN, Komitetu Melior. PAN, IGiPZ PAN, cz. I, Warszawa.
- Kardasz P., Simoni J., 1976 b, *Zbiorniki wodne i systemy melioracyjne a ochrona środowiska rolniczego*, [w:] *Wpływ melioracji wodnych na środowisko geograficzne*, ibid., Warszawa.
- Kardasz P., Simoni J., Smólska K., 1968, *Dynamika wód gruntowych w rejonie zbiornika Dębe w latach 1961—1965 przed i po jego napełnieniu*, Wiad. Inst. Melior. i Użytków Zielonych, t. 7, z. 3. Warszawa.
- Kleczkowski A., Śmietański Z., Szczepański A., Kulma R., 1969, *Zastosowanie metody analogii hydraulicznych dla oceny wpływu piętrzenia rzeki Wisły na stan wód gruntowych miasta Krakowa*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Budownictwo Wodne, z. 16, cz. II.
- Koban E., Żbikowski A., 1969, *Badania nad stosunkami wodnymi i gospodarczymi na terenach przyległych do stopni piętrzących na rzekach nizinnych*, Gosp. Wodna, nr 8/9.
- Kobendza J. i R., 1958, *Rozwiewane wydmy Puszczy Kampinoskiej*, [w:] *Wydmy śródlądowe Polski*, cz. I, Warszawa.
- Kocyan J., 1969, *Podtopienia i odwodnienia w rejonie stopni piętrzących w Łączanach i Przewozie*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Budownictwo Wodne, z. 16, cz. III.
- Kolago C., Pich J., Płochniewski Z., 1966, *Warunki hydrochemiczne w dolinie dolnej Wisły*, [w:] *Problemy geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne doliny dolnej Wisły*, Materiały LVI Sesji Nauk. Centr. Urzędu Geol., Warszawa—Gdańsk.
- Kowalska A., 1962, *Wahania zwierciadła górnego horyzontu wody podziemnej*, Przegl. Geogr., t. 34, z. 2.
- 1968, *Obszary bezodpływowe środkowej części Niziny Polskiej*, rozprawa habilitacyjna, Wyd. Biol. i Nauk o Ziemi UMCS, Lublin.
- Kryszan Cz., Sokołowski J., 1969, *Oddziaływanie spiętrzeń na stosunki wodne i przyrodnicze terenów rolniczych zawałi*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Budownictwo Wodne, z. 16, cz. III.
- Lenczewicz S., 1927, *Dyluwium i morfologia środkowego Powiśla*, Pr. PiG, t. 2, nr 2.
- 1929, *Jezióra Gostyńskie*, Przegl. Geogr., t. 9.
- Lenczewski W., 1961, *Filtracja wód na terenach przyległych do zbiornika wodnego na Odrze*, Gosp. Wodna, nr 2.
- 1969, *Warunki i efekty odwodnienia zawałi stopnia wodnego w Brzegu Łolnym*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Budownictwo Wodne, z. 16, cz. III.
- Lewiński J., 1924, *Zaburzenia czwartorzędowe i „morena dolinowa” w pradolinie Wisły pod Włocławkiem*, Spraw. PiG, t. 2, z. 3—4.

- Łyczewska J., 1951, *Materiały Archiwum Wierceń*, t. 2, Arkusz Płock 1 : 300 000, FIG.
- 1959, *Utwory trzeciorzędowe Kujaw Środkowych i Wschodnich*, Inst. Geol., Biul. nr 130.
- 1960, *Uwagi na temat czwartorzędu Kujaw Wschodnich*, Inst. Geol., Biul. nr 150.
- Machalewski W., Miłkowski M., Rozadowski J., 1974, *Wpływ stopnia wodnego we Włocławku na warunki żeglugowe Wisły dolnej*, Gosp. Wodna, nr 3.
- Mapa glebowo-rolnicza 1 : 25 000, pow. Włocławek*, 1966, Woj. Biuro Geod. i Urząd. Roln., Bydgoszcz.
- Mazur Z., Sychowa M., Zarzycki K., 1958, *Kształtowanie się nowych zespołów roślinnych na terenie zbiornika wodnego w Goczałkowicach*, Gosp. Wodna, nr 11.
- Mickiewicz B., 1965, *Badania wpływu budowy piętrzących na warunki hydrologiczne i przemiany biocenotyczne przyległych terenów*, *ibid.*, nr 1.
- 1967, *Uroczysko Kępiste jako obiekt badań wpływu piętrzenia Jez. Zegrzyńskiego na zbiorowiska wodne*, *Mat. Bad. IGW*, t. 3, z. 3.
- 1969, *Oddziaływanie piętrzenia jeziora Zegrzyńskiego na układ wód gruntowych Uroczyska Kępiste*, *ibid.*, t. 4, z. 3.
- Mojski J. E. 1960, *Schylek plejstocenu w zachodniej części Kotliny Płockiej*, *Kwart. Geol.*, t. 4, nr 4.
- 1968, *Zarys stratygrafii zlodowacenia północno-polskiego (bałtyckiego) w północnej i środkowej części Polski*, *Pr. Geogr. IG PAN*, nr 74.
- Pasławski Z., Olejnik K., 1967, *Wpływ pradolin na transformację fal wezbraniowych rzeki Warty*, *Przegl. Geofiz.*, z. 2.
- Paszyński J., 1955, *Opady atmosferyczne dorzecza Odry i ich związek z hipsometrią i zalesieniem*, *Pr. Geogr. IG PAN*, nr 4.
- Perek M., 1972, *Wpływ piętrzenia wody w zbiorniku „Włocławek” na kształtowanie się zwierciadła wód gruntowych w obszarze przyległym (lewy brzeg Wisły)*, Zakład Geol. Inż. Inst. Geol., Warszawa, (maszynopis).
- Pich J., 1973, *Zmienność jakości wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego w utworach doliny Wisły na odcinku Płock—Włocławek*, Inst. Geol., Biul. nr 227, *Z badań hydrogeologicznych w Polsce*, t. 3.
- Pietrucień Cz., 1967, *Stosunki hydrograficzne w rejonie Zalewu Koronowskiego*, *Zesz. Nauk. UMK, Nauki Matem.-Przyrod.*, z. 14a, Geografia V.
- 1971, *Formy i zasięg oddziaływania Zalewu Koronowskiego na obszarach przyległych*, [w:] *Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Hydrograficznej w Krakowie 22—26 września 1971*, *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, z. 29.
- Podniesiński A., 1962, *Przewidywanie ujemnych wpływów zbiorników wodnych na przyległe tereny i potrzeba ich koncentracji*, *Gosp. Wodna*, nr 1.
- Roszko L., 1968, *Recesja ostatniego lądolodu z terenu Polski*, *Pr. Geogr. IG PAN*, nr 74.
- Rühle E., 1968, *Podłoże czwartorzędu i jego wpływ na rozmieszczenie i charakter osadów zlodowacenia północnopolskiego (bałtyckiego)*, *ibid. PAN*, nr 74.
- Rzegocki K., 1964, *Próba opracowania metody określenia wpływu spiętrzenia Wisły na zwierciadło wody gruntowej w Krakowie*, *Gosp. Wodna*, nr 11.
- Setmajer J., Wieczysty A., 1969, *Regulacja stosunków wodnych w Krakowie w związku z piętrzeniem Wisły jazem w Dąbiu*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, *Zesz. Nauk. Polit. Krak.*, *Budownictwo Wodne*, z. 16, cz. III.
- Skabałlanowicz I. A., Lubjanaj N. F., 1959, *Dynamika gruntowych wód bieregów Kachowskiego Wodochraniliszcza w pierwszyje gody eksploatacji i wo-*

prosy jejo prognoza, *Trudy sowieszcz. po dinamike bieregow morej i wodochraniliszcz*, t. I, Odessa.

- Skomski S., 1961, *Sytuacja geologiczna niektórych torfowisk na lewym brzegu Wisły między Gąbinem, Gostyninem i Włocławkiem*, Inst. Geol., Biul. nr 169.
- 1969, *Stratygrafia osadów czwartorzędowych wschodniej części Kotliny Płockiej*, *ibid.*, nr 220.
- Stefan M., 1959, *Melioracje doliny rz. Wisły w obrębie stopnia Łączany*, *Gosp. Wodna*, nr 6.
- Stefaniak W., 1972, *Likwidacja ujemnych skutków piętrzenia stopnia wodnego we Włocławku. Analiza wpływu piętrzenia na układ wód gruntowych na terenach przyzbiornikowych*, Arch. Centr. Biura St. i Proj. Bud. Wodnego „Hydroprojekt”, Włocławek, maszynopis.
- Stosunki hydrograficzne poszczególnych regionów Polski*, 1958, Pr. i St. Kom. Inż. i Gosp. Wodnej, t. 2, cz. 2.
- Szewczenko L. A., 1975, *Indikacja processow podtopienia w zonie diejstiwija Rybinskiego Wodochraniliszcza*, *Wiest. Mosk. Uniw., Geografia*, nr 3, Moskwa.
- Szostak M., 1967, *Naturalne i sztuczne zbiorniki wody w Polsce*, *Przegl. Geogr.*, t. 39, z. 2.
- Szymański J., 1976, *Stosunki wodne i hydrologiczne na terenie przyległym do stopnia wodnego na Odrze w Brzegu Dolnym*, [w:] *Wpływ melioracji wodnych na środowisko geograficzne*, Materiały Konferencji Nauk. Komitetu Nauk Geogr. PAN, Komitetu Melior. PAN, IGiPZ PAN, cz. I, Warszawa.
- Trzebiński J., 1959, *Melioracje Doliny Średzkiej w związku ze stopniem w Brzegu Dolnym na Odrze*, *Gosp. Wodna*, nr 2.
- Urbaniak U., 1962, *Struktura wydmy w Gorenium Dużym*, *Przegl. Geogr.*, t. 34, z. 4.
- 1965, *Przyczynek do paleogeografii Kotliny Płockiej*, *ibid.*, t. 37, z. 4.
- 1967, *Wydmy Kotliny Płockiej*, Pr. Geogr. IG PAN, nr 61.
- 1969, *Zaburzenia w warstwowej strukturze wydmy Kotliny Płockiej*, *ibid.*, nr 75.
- Urbaniak-Biernacka U., 1972, *Obserwacje hydrogeologiczne w wydmach Puszczy Kampinoskiej*, *Przegl. Geogr.*, t. 44, z. 4.
- Wieczysty A., 1966, *Niektóre prace badawcze dla odwodnienia obszaru miasta Krakowa*, *Gosp. Wodna*, nr 11, Warszawa.
- 1969, *Problemy prognozowania wpływu piętrzenia rzek na stany wód podziemnych*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, Zesz. Nauk. Polít. Krak., Budownictwo Wodne, z. 16, cz. II.
- Więckowska H., 1952, *Uwagi o prowadzeniu działów wodnych na obszarach bezodpływowych*, *Gosp. Wodna*, nr 12.
- 1957, *Związek działów wód podziemnych z rzeźbą, budową geologiczną i klimatem oraz ich strefowość*, *Przegl. Geogr.*, t. 29, z. 4.
- 1960, *Strefowość geograficzna pierwszego horyzontu wód podziemnych*, *ibid.*, t. 32, z. 1—2.
- Wilgat T., 1971, *Wpływ wprowadzenia metody szczegółowego kartowania na tematykę i charakter prac hydrogeograficznych*, [w:] *Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Hydrograficznej w Krakowie 22—26 września 1971*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., z. 29.
- Wiśniewski E., 1973, *Zagadnienie przelomu Wisły pomiędzy Kotliną Płocką i Kotliną Toruńską*, *Kwart. Geol.*, t. 17, nr 4.
- Wolski W., 1963, *O trudnościach posadowienia budowli wodnych na gruntach starych w warunkach występowania wód pod ciśnieniem*, *Gosp. Wodna*, nr 2.
- 1969, *Warunki odwodnienia terenów przyległych do zbiornika Goczałkowice*,

- [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, Zesz. Nauk. Polit. Krak., Budownictwo Wodne, z. 16, cz. III.
- Zajbert M., 1969, *Regulowanie stosunków wodnych na depresyjnych terenach przystopniowych*, [w:] *Wpływ piętrzenia rzek na wody podziemne w sąsiedztwie stopni piętrzących*, ibid., cz. I.
- Zieliński H., 1970, *Kaskada Dolnej Wisły*, Czas. Geogr., t. 41, z. 4.
- Zwoliński A., 1963 a, *Mapa hydrograficzna 1 : 50 000*, ark. Włocławek, IG PAN, Warszawa.
- 1963 b, *Mapa litologiczna 1 : 50 000*, ark. Włocławek, Zakład Fizjografii Ziemi Polskich IGiPZ PAN, Toruń, (rękopis).
- 1967, *Opis do mapy hydrograficznej 1 : 50 000*, ibid., Toruń, (maszynopis).
- 1968, *Badania wpływu stopnia wodnego na zmiany geograficzne i ekonomiczne w regionie na przykładzie stopnia wodnego Włocławek*, Szkoła Gł. Plan. i Stat., Warszawa (maszynopis).

## THE EFFECT OF A RESERVOIR ON THE VISTULA NEAR WŁOCŁAWEK OF THE HANGES OF AQUATIC CONDITIONS IN THE VALLEY

### Summary

Within the depressed areas adjoining the Vistula channel, of definite consequence upon the range and the scope of changes in the groundwater table were the dewatering land drainage works undertaken. The principal draining ventures, connected with the planned construction of the Vistula dam, were carried out before ponding of the river waters was started. The result of this drainage was an abatement of the groundwater table, so that next to the Main Drainage Channel (Kanał Główny in close Polish) the new water tables were lower than before by: on 1 m in the upper part (Mostki), by 2.0 to 2.5 m in the middle part (Modzerowo, Łęg), and by as much as 3 m locally in the lower part. The total zone covered by this groundwater subsidence extends over 1.0 to 1.5 km westward from the Lateral Dyke (Zapora Boczna in Polish). Where the ground has been dried excessively, this drainage had its marked effect upon the aqueous conditions of the soil: waterlogged ground vanished in a belt 300 m distant from the Main Drainage Channel, and shallower wells turned dry; here and there patches of dry peat deposits of up to 1.5 m thickness were observed, spread above the groundwater table.

The changes that set in after the Vistula was ponded, were studied in comparison with the period preceding draining operations. In a zone extending up to 400 m westward from the Lateral Dyke the groundwater table rose some 1.5 m at the most; and in a belt 100 m wide from the bank of the storage basin some ground depressions were changed into swamps. A more effective protection against the consequences of the river ponding was obtained along sites where the Main Drainage Channel runs at a distance of from 100 to 250 m from the Lateral Dyke, as is the case next to Wistka Królewska. To some extent the drainage channel prevented submergion of wide left-bank areas, but along the middle and lower reaches of the Main Drainage Channel some excessive soil desiccation proved unavoidable. On the right-hand bank of the Main Drainage Channel (next to the river basin) this sort of excessive drying occurs in a belt 100 to 200 m wide, while on the left-hand bank this zone is 800 to 1000 m wide. Locally the groundwater table is now 2 m lower than it used to be before the time the Main Drainage Channel was put into operation.

Studying the eastern part of the area under investigation one notices that the storage basin takes care of dewatering the land; and that the extent to which its effect is felt depends upon the level of the groundwater tables prior to ponding. Clearly noticeable is here a harmful effect of ponding in a bank zone up to 500 m wide (Dobiegiewo, Duże Skoki); when in this zone the water level came to equal the water level in the storage basin, in many depressed regions the ground turned swampy or was inundated. In the vicinity of the basin bank the groundwater table rose 2, locally to 3 m at the most. The indirect effect of the new storage basin —

damming-up of the groundwater — never attained a hydroisohypsis higher than 2 m above the level of ponding; but due to the faint subsidence of the groundwater tables, some amount of flooding was caused by this damming-up in a zone some 1400 m wide (Dąb Polski). However, in the region of Nowa Wieś and Karolewo no damming-up of the groundwater appeared to have taken place, because here the top of the anticline built of Pliocene clays rises above the water surface in the basin.

In the depressed areas the flow direction of the groundwater has been inverted, running now from the storage basin towards the Main Drainage Channel; also undergone changes has the hydrological regime of the groundwater, in so far as now the sharp differences in the water table have been smoothed, with higher minima and lower maxima. Dry seasons brought no marked drop in the groundwater tables, because water deficiencies were made up by water permeation from the storage basin. On the other hand, during floods and after heavy rainfall most of the surplus waters are promptly carried off by the network of drainage ditches. To the highest degree equalized has been the ground water level within the range of the Modzerowo pumping station (with an annual amplitude of no more than about 30 to 60 cm) — proof of how effective is the work done by this station. Insignificant appears to be the interrelation between diurnal changes of the water level in the storage basin and that in wells — evidently the results of the small amplitudes prevailing in the water level of the basin. During the period when the Vistula waters were ponded, rises in the water levels of the wells, situated at identical distances from the river, took place with a time lag of 2 to 3 weeks — mainly depending on the original water level in the well and on the permeability of the ground.

The uplift of the groundwater table led to changes in the course of the annual amplitudes of the groundwater temperature and to the growth of this temperature which did increase as much as to some 11°C. The reduced height of aeration caused a deterioration of the quality of the well water; by the way, this same fact has been observed in near vicinity of some of our artificial lowland water reservoirs.

On the average 68% of the water carried off by the Main Drainage Channel has its source in infiltration from the storage basin, and only 32% is derived from the hydrological watershed area. During periods when the latter area supplies little water, infiltration of river water may be as high as 77%, — yet during flood times it usually drops to about 61%. The intensity of infiltration averages 806 l/s, and the monthly deviations from this value are no more than  $\pm 18\%$ . Where drainage ditches lie near the Lateral Dyke, noticeable is a relation between the flow volume in these ditches and the water level in the basin: with a rising water level in the basin, infiltration into the ditches is increased; however, meteorological conditions, and especially snowmelt and heavy rainfall, made it difficult to obtain here more accurate data on these interrelations. On the whole it appeared, that infiltration into the various parts of the drainage network is subject to fluctuations, and that for the most part it depends upon differences in water levels between storage basin and the adjoining land, as well as on the degree of ground permeability. Water inflow into the near-dyke ditches and everywhere next to the Main Drainage Channel was greatest near Modzerowo where the pumping station is in operation. During the period of our observations no definite decrease in flow conditions has been observed — ostensible proof of progress in an effective silting-up of the bottom of the storage basin.

On the left Vistula bank the creeks joining the lower reach of the Main Drainage Channel have been deprived of their hydraulic connection with the groundwater, as seen from their gradual flow diminution. On the right-hand

bank, the lower reaches of such creeks have penetrated the range of the basin's backflow.

Our research work came to an end four years after ponding of the Vistula was started. This period is altogether too short for fully recognizing all changes that have occurred in the water regime of the investigated region and in the adjoining areas. Hence further changes may be expected to set in — probably of lesser intensity, especially in the areas where no drainage works were undertaken and which lie at greater distance from the Vistula basin.

*Translated by* Karol Jurasz



## ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩА НА ВИСЛЕ ВО ВЛОЦЛАВКЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ДОЛИНЕ

### Резюме

На территории депрессии границы и размеры изменения уровня грунтовых вод оказались в зависимости от осушительных работ. Главные мелиоративные работы, связанные с сооружением перепада, были проведены до подпора вод Вислы. В результате работ понижился уровень грунтовых вод. По соседству Главного канала максимальное понижение составило в верхней части (Мостки) до 1 м, в средней (Модзерово, Лэнг) 2,0—2,5 м, а в нижней местами до 3 м. Одновременно понижение охватило зону шириной в 1,0—1,5 км от боковой плотины. Чрезмерное осушение грунтов неблагоприятно повлияло на водный режим почв. В полосе до 300 м от канала исчезли заболоченности и высохли неглубокие колодцы. В некоторых местах обнаружены сухие пласты торфа мощностью до 1,5 м, лежащие выше зеркала грунтовых вод.

Изменения после подпора вод рассмотрены по отношению к периоду перед осушением. В зоне до 400 м от боковой плотины уровень грунтовых вод повысился максимально на около 1,5 м. В полосе шириной в 100 м от водохранилища некоторые понижения оказались заболоченными. Предохранение территории перед последствиями подпора воды оказались более эффективными в местах, где канал проходит в 100—250 м от боковой плотины (Вистка Крулевска). Канал предохранил перед затоплением левобережные территории, но в его средней и нижней части чрезмерное осушение грунтов не ликвидировано. На правом берегу канала оно выступает в полосе шириной в 100—200 м, на левом в 800—1000 м. Уровень грунтовых вод местами оказался на 2 м ниже уровня перед проведением канала.

В восточной части территории исследования водохранилище выполняет дренажную роль, а границы его влияния определило зеркало грунтовых вод перед подпором воды. Отрицательные результаты подпора проявились в поясе шириной до 500 м от водохранилища (Добегнево, Дуже Скоки). В результате выравнивания зеркала воды в колодцах до уровня водохранилища появились локальные подтопления понижений или их зотопление. По соседству с береговой линией залива уровень грунтовых вод повысился максимально на 2—3 м. Посредственное влияние водохранилища, выразившееся подъемом грунтовых вод, не достигло гидроизогипсы, которая оказалась на 2 м выше отметки подпора. В результате незначительного уклона зеркала грунтовых вод влияние это распространилось в зоне шириной до 1400 м (Домб Польски) и вызвало локальное подтопление грунтов. В районе Новой Веси и Каролева не проявилось влияние подпора, потому что антиклиналь, сложенная плиоценовыми глинами, выше поверхности водохранилища.

На территории депрессии направление подземного стока изменилось в обратном направлении (от водохранилища к каналу) изменился гидрологический режим грунтовых вод, колебания уровня воды выравнивались (подъем минимальных уровней и понижение максимальных). В сухие периоды уровень грунтовых вод не подвергается значительным понижениям, потому что недобор воды пополняется просачиванием воды из водохранилища. Во время оттепелей и после выпадения осадков избыток воды быстро отводится системой каналов. Наиболее выровненный уровень воды оказался в орбите влияния станции перекачки

в Модзерове (годовая амплитуда 30—60 см), что свидетельствует о её правильной работе. Слабо проявляется связь между суточными изменениями уровня воды в водохранилище и в колодцах, что является следствием небольших амплитуд уровня воды в водохранилище. Во время подпора Вислы уровень воды в колодцах, находящихся на одинаковом расстоянии от реки, поднялся с опозданием на 2—3 недели и зависел главным образом от уровня воды в колодцах и проницаемости грунтов.

В результате повышения уровня грунтовых вод изменилась температура воды и увеличилась ее годовая амплитуда — максимально на 11°C. Уменьшение мощности зоны аэрации вызвало ухудшение качества воды в колодцах. Это наблюдается повсеместно по соседству с искусственными водохранилищами, расположенными на низменностях.

В среднем 68% вод, стекающих по Главному каналу, поступает в канал путем инфильтрации из водохранилища, а 32% из гидрологического бассейна. В месяцы, в которых приток воды из бассейна невелик, процент воды, поступающей путем просачивания, достигает 77%, а в период оттепелей уменьшается до 61%. Расход просачивания составляет в среднем 806л/сек при средних месячных колебаниях  $\pm 18\%$ . В каналах, проведенных вдоль валов, установлена безусловная связь между величиной расхода воды и уровнем воды в водохранилище: чем выше уровень, тем сильнее инфильтрация. Метеорологические условия, в особенности оттепели и осадки, затрудняют установление точной количественной зависимости. Приток просачивающихся вод на отдельные участки осушительной сети неравномерен и зависит от разницы уровня воды в водохранилище и на прилегающей территории и водопроницаемости грунтов. Самый большой приток воды в каналы вдоль валов и в Главный канал установлен у Модзерова в районе влияния станции перекачки. В период исследования уменьшение расходов воды заметно не проявилось, что свидетельствует об увеличивающейся кольматаже чаши водохранилища.

Водотоки, впадающие в нижний участок Главного канала, лишены гидрологической связи с грунтовыми водами, об этом свидетельствует уменьшение расхода воды вдоль русел. В восточной части территории исследования нижние участки водотоков оказались в орбите влияния подпора.

Исследования начались с момента начала подпора реки и продолжались 4 года. Это слишком короткий срок для полного изучения изменений водного режима прилегающих территорий и потому надо считаться с возможностью дальнейших изменений, хоть и менее интенсивных, особенно на территориях, расположенных на большем расстоянии от водохранилища и не подвергнутых мелиорации.

*Перевела Katarzyna Straszewska*



**WYDAWNICTWO IG i PZ PAN  
VARIA**

B. OLSZEWICZ — **Dorobek polskiej historii geografii i kartografii w latach 1945—1969**, 1973, s. 172, zł 48,—

J. MISZAŁSKI — **Współczesne procesy eoliczne na Pobrzeżu Słowińskim. Studium fotointerpretacyjne**, 1973, s. 150 + nlb., zł 30,—

Z. CIĘTAK, K. PIETKIEWICZ — **Słownik geograficzny angielsko-polski**, 1974, s. 422, zł 120,—

**CENTRALNY KATALOG ZBIORÓW KARTOGRAFICZNYCH W POLSCE**

Zeszyt 1. **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800**, 1961, s. 247, zł 72,—

Zeszyt 2 (uzupełniający). **Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800**, 1963, s. 112, zł 28,—

Zeszyt 3. **Katalog atlasów 1801—1919**, 1965, s. 342, zł 76,—

Zeszyt 4. **Katalog atlasów i dzieł geograficznych Polski 1528—1945**, 1968, s. 160, zł 48,—

Zeszyt 5. **Wieloarkuszowe mapy topograficzne Polski 1576—1870** (w przygotowaniu)

**Katalog dawnych map Rzeczypospolitej Polskiej w kolekcji Emeryka Hutten-Czap-  
skiego i w innych zbiorach**, Oprac. W. Kret (w druku)

WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ  
za ostatnie lata

1975

- 1—2 M. DRZAŁ — **Parki w Polsce**, s. 306 + nlb., zł 48,—  
3—4 PRACA ZBIOROWA — **Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej**, cz. I, s. 113,  
zł 48,—  
5—6 PRACA ZBIOROWA — **Wpływ działalności gospodarczej na stosunki wodne  
Kotliny Sandomierskiej**, s. 61, zł 24,—

1976

- 1 PRACA ZBIOROWA — **Streszczenie prac habilitacyjnych i doktorskich —  
1974**, s. 126, zł 24,—  
2 E. GIL — **Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku**,  
s. 65 + nlb., zł 24,—  
3 PRACA ZBIOROWA — **Charakterystyka użytkowania ziemi w Polsce w 1970  
roku**, s. 107, zł 24,—  
4—5 J. SZYRMER — **Przemiany w strukturze przestrzennej produktywności i spe-  
cjalizacji w rolnictwie indywidualnym w Polsce w latach 1960—1970**, s. 74,  
zł 24,—  
6 L. KOUTANIEMI, A. RACHOCKI — **Dolina rzeki Oulanki (północno-wschodnia  
Finlandia)**, s. 62 + nlb., zł 24,—

1977

- 1 PRACA ZBIOROWA — **Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich — 1975**,  
s. 85, zł 24,—  
2—3 M. PULINA — **Zjawiska krasowe w Sudetach polskich**, s. 48 + nlb., zł 48,—  
4 PRACA ZBIOROWA — **Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej. Cz. II**, s. 85,  
zł 24,—  
5 L. MAZURKIEWICZ — **Zastosowanie metody symulacji w badaniu zmian  
przestrzennej struktury miasta (na przykładzie Wałbrzycha)**, s. 68, zł 24,—  
6 R. SOJA, K. WIT-JÓŻWIK, A. WELC — **Opady atmosferyczne i deflacja  
w okolicach Szymbarku**, s. 83, zł 24,—

1978

- 1 W. TYSZKIEWICZ — **Struktura agrarna Polski 1945—1975. Analiza przestrzen-  
no-czasowa**, s. 87, zł 24,—  
2—3 R. GLAZIK — **Wpływ zbiornika wodnego w dolinie Wisły we Włocławku**,  
4 S. KOZARSKI, J. SZUPRYCZYŃSKI — **Formy i osady glacialne na przed-  
polu lodowca Sidu (Islandia) (w druku)**  
5 A. MAKSIMIUK-PAZYRA — **Aglomeracje miejskie w Polsce jako bieguny  
rozwoju społeczno-gospodarczego (w druku)**  
6 PRACA ZBIOROWA — **Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich — 1976  
(w druku)**