

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

**MONOGRAFIA HYDROLOGICZNA ZBIORNIKA
STOPNIA WODNEGO WŁOCŁAWEK**

Zygmunt Babiński, Marek Grześ

Nr 30

1995



ZESZYTY

INSTYTUTU GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

PAN

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

**MONOGRAFIA HYDROLOGICZNA ZBIORNIKA
STOPNIA WODNEGO WŁOCŁAWEK**

Zygmunt Babiński, Marek Grześ

Nr 30

1995

HYDROLOGICAL MONOGRAPH OF WŁOCŁAWEK RESERVOIR



Z E S Z Y T Y

INSTYTUTU GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

P A N

<http://rcin.org.pl>

Redaguje zespół w składzie:

Teresa Kozłowska-Szczęsna (redaktor),

Jerzy Grzeszczak (zastępca redaktora),

Marek Degórski

Bronisław Czyż (sekretarz)

Opiniował do druku:

prof. dr hab. Jan Szupryczyński

Adres redakcji:

00-927 Warszawa, Krakowskie Przedmieście 30,

tel. 26 19 31, 26 83 29; telefax 48 22 267 267

Opracowanie redakcyjne i techniczne:

Barbara Jaworska

Abstract. Hydrological monograph of Włocławek reservoir contains selected problems of inland waters. There are presented elements of hydrological regime which in result of changes in the river flow conditions caused by ponding - render the specific exploitation difficulties. There are considered mainly processes of erosion and accumulation as well as related phenomenon of hanging ice dams. The monograph characterizes transformations of geographical environment on the background of economic structure of the Lower Vistula river and casts some prognoses of the future change.

Key words. Vistula river, Włocławek reservoir, hydrology, fluvial transport, ponding, ice phenomena, frazil ice ridge.

SPIS TREŚCI

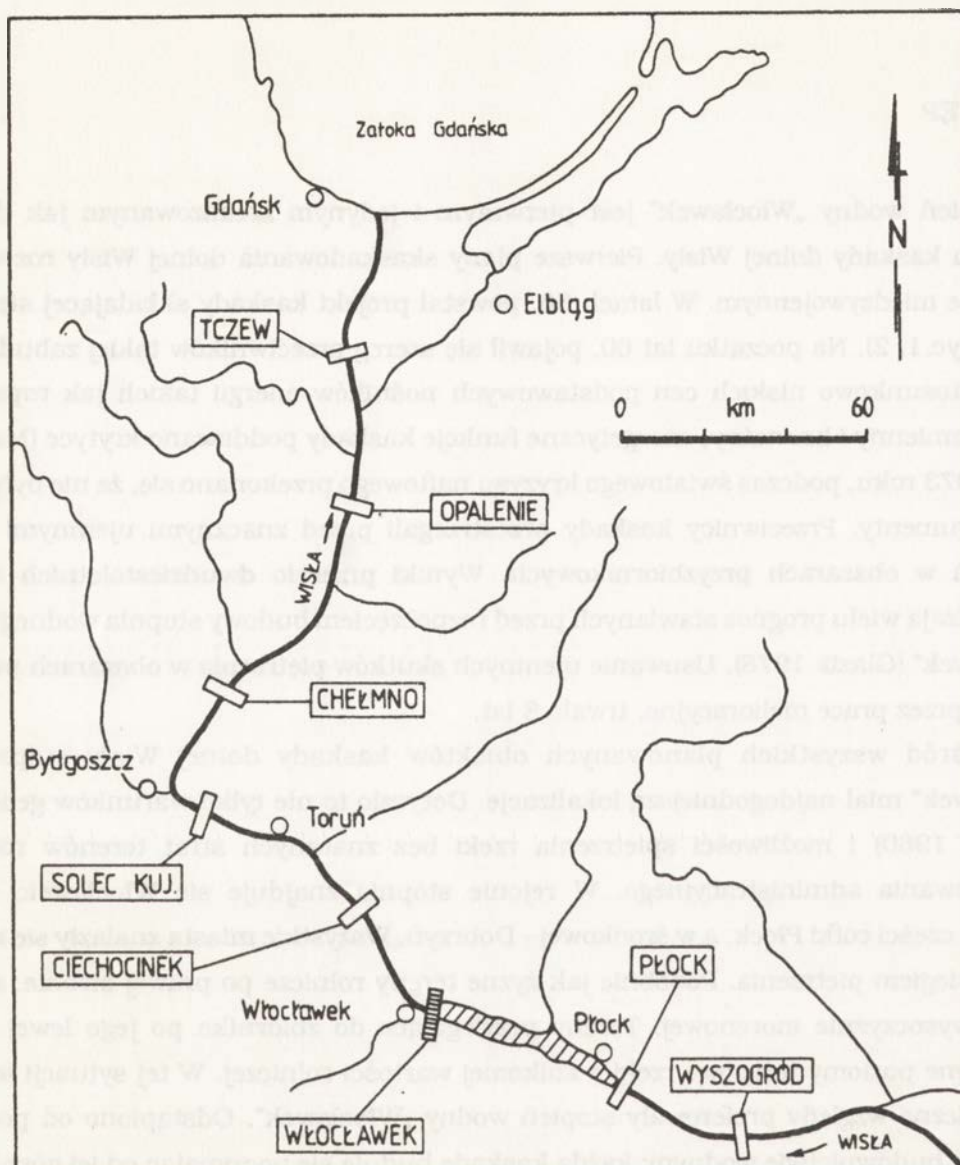
Wstęp	5
1. Stopień wodny "Włocławek"	8
2. Charakterystyka pracy elektrowni wodnej	11
3. Zbiornik stopnia wodnego "Włocławek"	12
4. Główne problemy eksploatacyjne stopnia i zbiornika "Włocławek"	15
5. Zmiany natężenia przepływów przez stopień wodny i dopływów do zbiornika	17
5.1. Ogólna charakterystyka reżimu hydrologicznego dolnej Wisły	25
5.2. Charakterystyka hydrologiczna dolnej Wisły w latach 1971 - 1990	28
5.3. Dobowe wahania stanów (przepływów) Wisły jako efekt pracy stopnia	31
6. Ilościowa i jakościowa ocena sedymentacji w zbiorniku	36
7. Wpływ erozji wgłębnej na zjawiska hydrologiczne poniżej zbiornika	42
8. Uwagi o termice zbiornika włocławskiego	48
9. Rola zjawisk lodowych w ustroju hydrologicznym zbiornika włocławskiego	55
9.1. Wpływ spiętrzania na zmianę struktury zlodzenia	55
9.2. Warunki formowania pokrywy lodowej na zbiorniku	56
9.3. Analiza wybranych sytuacji lodowych na zbiorniku	61
9.4. Przebieg zjawisk lodowych poniżej stopnia wodnego	65
9.5. Analiza wybranych sytuacji lodowych poniżej stopnia wodnego	67
9.6. Uwagi o możliwościach sterowania problemem zlodzenia	70
Zakończenie	73
Literatura	76
<i>Hydrological monograph of Włocławek reservoir (summary)</i>	78

WSTĘP

Stopień wodny „Włocławek” jest pierwszym i jedynym zrealizowanym jak dotychczas obiektem kaskady dolnej Wisły. Pierwsze plany skaskadowania dolnej Wisły rozważano już w okresie międzywojennym. W latach 50. powstał projekt kaskady składającej się z 7 lub 9 stopni (ryc. 1, 2). Na początku lat 60. pojawił się szereg przeciwników takiej zabudowy rzeki. Wobec stosunkowo niskich cen podstawowych nośników energii takich jak ropa naftowa, węgiel kamienny i brunatny, energetyczne funkcje kaskady poddawano krytyce (Meler 1987). Już w 1973 roku, podczas światowego kryzysu naftowego przekonano się, że nie były to mocne kontrargumenty. Przeciwnicy kaskady przestrzegali przed znacznymi ujemnymi skutkami spiętrzeń w obszarach przyzbiornikowych. Wyniki przeszło dwudziestoletnich badań nie potwierdzają wielu prognoz stawianych przed rozpoczęciem budowy stopnia wodnego „Włocławek” (Głazik 1978). Usuwanie ujemnych skutków piętrzenia w obszarach przyległych, głównie przez prace melioracyjne, trwało 8 lat.

Spośród wszystkich planowanych obiektów kaskady dolnej Wisły stopień wodny „Włocławek” miał najdogodniejszą lokalizację. Dotyczyło to nie tylko warunków geologicznych (Faferek 1960) i możliwości spiętrzenia rzeki bez znacznych strat terenów rolnych, ale i usytuowania administracyjnego. W rejonie stopnia znajduje się Włocławek, natomiast w górnej części cofki Płock, a w środkowej - Dobrzyń. Wszystkie miasta znalazły się zasadniczo poza zasięgiem piętrzenia. Podobnie jak żyzne tereny rolnicze po prawej stronie, znajdujące się na wysoczyźnie morenowej. Tereny przylegające do zbiornika po jego lewej stronie to zwydmione poziomy terasowe rzeki o znikomej wartości rolniczej. W tej sytuacji techniczno-ekonomiczne względy preferowały stopień wodny „Włocławek”. Odstąpiono od podstawowej zasady w budownictwie wodnym; każdą kaskadę buduje się poczynając od jej górnego końca. Podkreślić trzeba, że wyborowi Włocławka jako pierwszej lokalizacji towarzyszyło założenie ciągłej realizacji kolejnych stopni w Ciechocinku i w Wyszogrodzie. Niestety w 1968 roku, krótko przed oddaniem do eksploatacji stopnia wodnego „Włocławek”, podjęta została decyzja o wstrzymaniu realizacji kolejnych stopni.

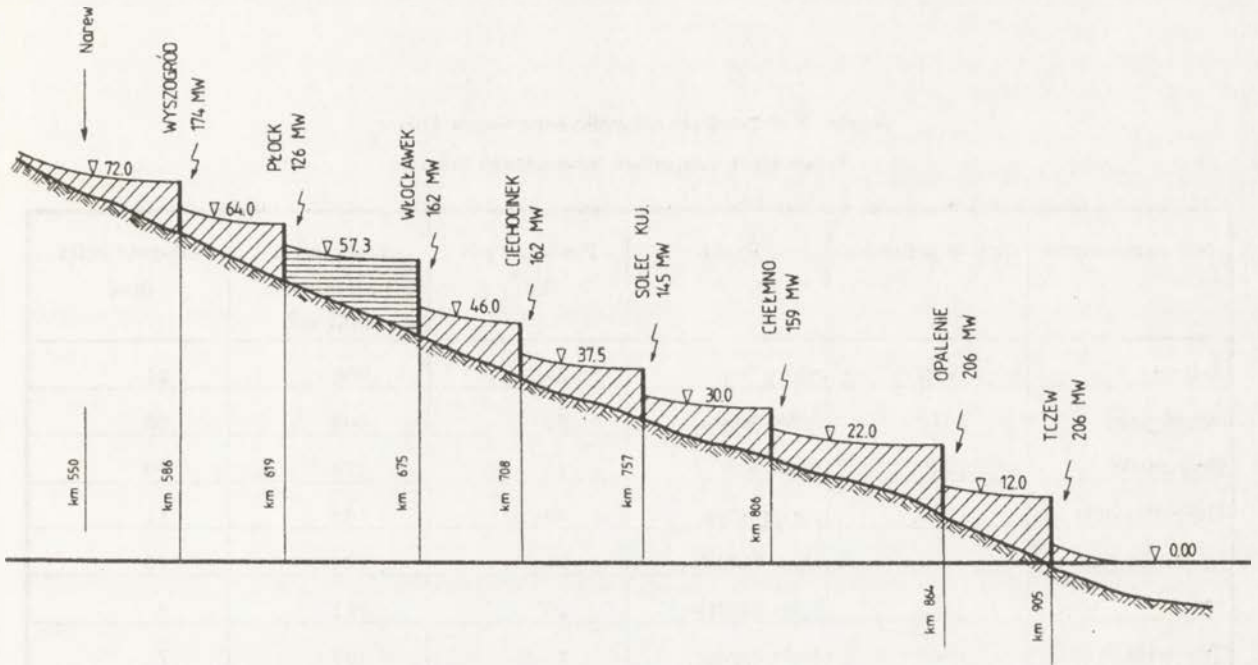
Fakt, że od 25 lat stopień wodny „Włocławek” i jego zbiornik pozostają jedynym elementem kaskady zadecydował o wystąpieniu większości problemów eksploatacyjnych i o zintensyfikowaniu niekontrolowanych zmian w środowisku przyrodniczym. Podkreślić trzeba, że stopień wodny „Włocławek” jest największym elementem planowanej kaskady dolnej Wisły. W większym niż dotychczas stopniu powinien być traktowany jako naturalne laboratorium, pracujące na potrzeby czekających na realizację kolejnych obiektów (ryc. 1, 2).



Ryc. 1. Rozmieszczenie stopni wodnych w kaskadzie dolnej Wisły

Distribution of dams in lower Vistula cascade

Hydroelektrownia „Włocławek” z mocą instalowaną 160 MW, pośród elektrowni tego typu, zajmuje pierwsze miejsce w Polsce (tab. 1). Podobnie jak zbiornik włocławski o powierzchni 70 km². Pod względem całkowitej objętości ustępuje on tylko zbiornikowi solińskiemu (tab. 2). Rola zbiorników zaporowych w zmianie reżimu hydrologicznego rzeki jest powszechnie znana (Mayer 1979; Avakian i in. 1979). Jednak każdy nowy zbiornik, a w szczególności tak duży jak zbiornik włocławski, wymaga indywidualnej analizy jego wpływu na środowisko i jego w nim roli.



Ryc. 2. Schematyczny układ stopni wodnych kaskady dolnej Wisły w profilu podłużnym
Scheme of dams location in longitudinal profile of lower Vistula cascade

Tabela 1. Największe elektrownie wodne w Polsce
The greatest electro-power plants in Poland

Elektrownia	Moc (MW)	Produkcja mln kWh/rok
Włocławek	160	675
Solna	120	200
Dychów	79	110
Rożnów	50	146
Koronowo	26	58

Według: J. Głodek 1985 r.

Tabela 2. Największe zbiorniki zaporowe w Polsce
The greatest man-made reservoirs in Poland

Nazwa zbiornika	Rok napełnienia	Rzeka	Powierzchnia (km ²)	Całkowita pojemność (mln m ³)	Długość cofki (km)
Soliński	1972	górnny San	22	506	21
Włocławski	1970	dolna Wisła	70	408	56
Rożnowski	1945	Dunajec	16	174	20
Goczałkowicki	1958	górną Wisła	38	168	11
Otmuchowski	1934	Nysa Kłodzka	20	124	10
Nysa	1973	Nysa Kłodzka	20	111	8
Turawski	1948	Mała Panew	21	107	7
Żywiecki	1968	Soła	10	100	7
Zegrzyński	1963	Narew	33	95	38
Dzierżno	1964	Kłodnica	7	93	5

Według: J. Głodek 1985 r.

1. STOPIEŃ WODNY „WŁOCŁAWEK”

Stoپیء wodny „Włocławek” zaprojektowany został jako obiekt hydrotechniczny II klasy. Zlokalizowano go na 674,85 km biegu Wisły. Przegrodzenie koryta Wisły nastąpiło 13 października 1968 (Kłosiński 1984). Urządzenia piętrzące stopnia oddano do eksploatacji w marcu 1969. Piętrzenie o 11,3 m, ponad średni wieloletni stan wody zakończono ostatecznie w grudniu 1970 (Grześ 1983). Stoپیء wodny „Włocławek” zamyka dorzecze o powierzchni 171,25 tys. km².

O wielu elementach ustroju hydrologicznego rzeki, a w szczególności o jego zmianie decydują szczegóły konstrukcyjne stopnia. Dotyczy to nie tylko zbiornika, ale i dolnego stanowiska. Od rozwiązań konstrukcyjnych zależy też reżim pracy stopnia elektrowni wodnej i jazu.

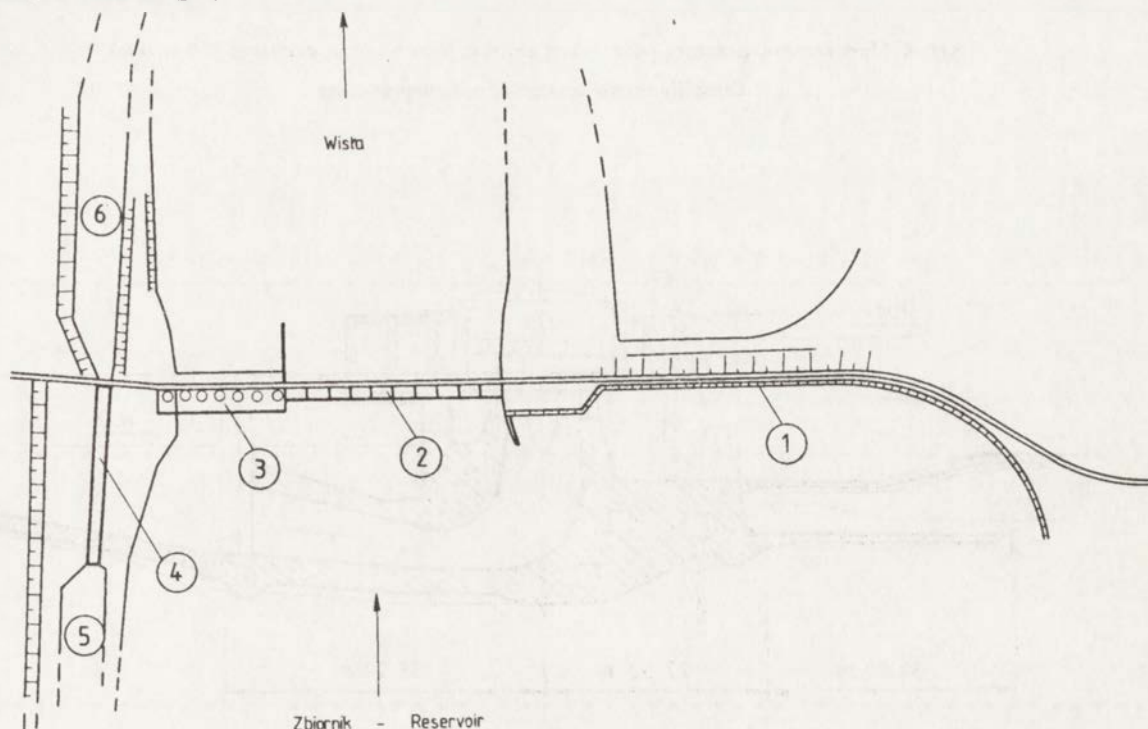
Ogólny widok stopnia wodnego „Włocławek” przedstawia rycina 3 oraz fotografia 1. Całkowita szerokość stopnia wynosi 1200 m. Czołowe obiekty piętrzące obejmują śluze żeglugową, elektrownię wodną, jaz z zaporą czołową, przepławkę dla ryb. Korpus zapory czołowej o długości 650 m wykonany został z piasku (1,2 mln m³) czerpanego z koryta Wisły.

Jaz składa się z 10 przeseł o szerokości 20 m każde. Uproszczony przekrój przeseła jazu przedstawiono na rycinie 4. Z hydrologicznego punktu widzenia najistotniejszy jest system

zamknięcia zasuw. Istnieją możliwości ich podnoszenia na dowolną wysokość ponad próg, aż do całkowitego wyciągnięcia ponad górne zwierciadło wody i pełnego otworzenia przesła. Zasuw jazu można opuścić do 2,5 m ponad próg i w ten sposób wodę i łód przepuszcza się ponad górną krawędzią zasuw. Przy całkowitym otwarciu wszystkich przesł jazu i utrzymaniu normalnego poziomu piętrzenia (NPP - 57,3 m n.p.m.) jego przepustowość wynosi $7500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Zasuw jazu wyposażone są w instalacje odladzające, umożliwiające manewrowanie nimi w okresach z ujemną temperaturą powietrza. Integralną częścią jazu jest jego poszur. Stan techniczny poszuru oraz konstrukcja zamknięć jazu stwarzają wiele ograniczeń pracy jazu (Branicki, Biegała 1985).

Elektrownia wodna „Włocławek” ma 162 MW mocy instalowanej. Składa się z 6 turbozespołów typu Kaplana. Średnica wirnika turbiny wynosi 8 m, a waga turbozespołu 1200 ton, o mocy 27 MW. Uproszczony przekrój przez elektrownię przedstawiono na rycinie 5. W eksploatacji elektrowni obowiązuje podstawowa zasada. Wynika ona z instalowanego przepływu, który wynosi $2190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Dopiero przy wyższym przepływie naturalnym zachodzi konieczność przepuszczania wód przez jaz. Szczegółowy opis pracy elektrowni przedstawiono w dalszej części pracy.

Pozostałe elementy piętrzące takie jak, przepławka dla ryb i śluza żeglugowa (ryc. 3) nie mają istotnego znaczenia hydrologicznego. Maksymalny obliczeniowy przepływ przez stopień wynosi $11150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

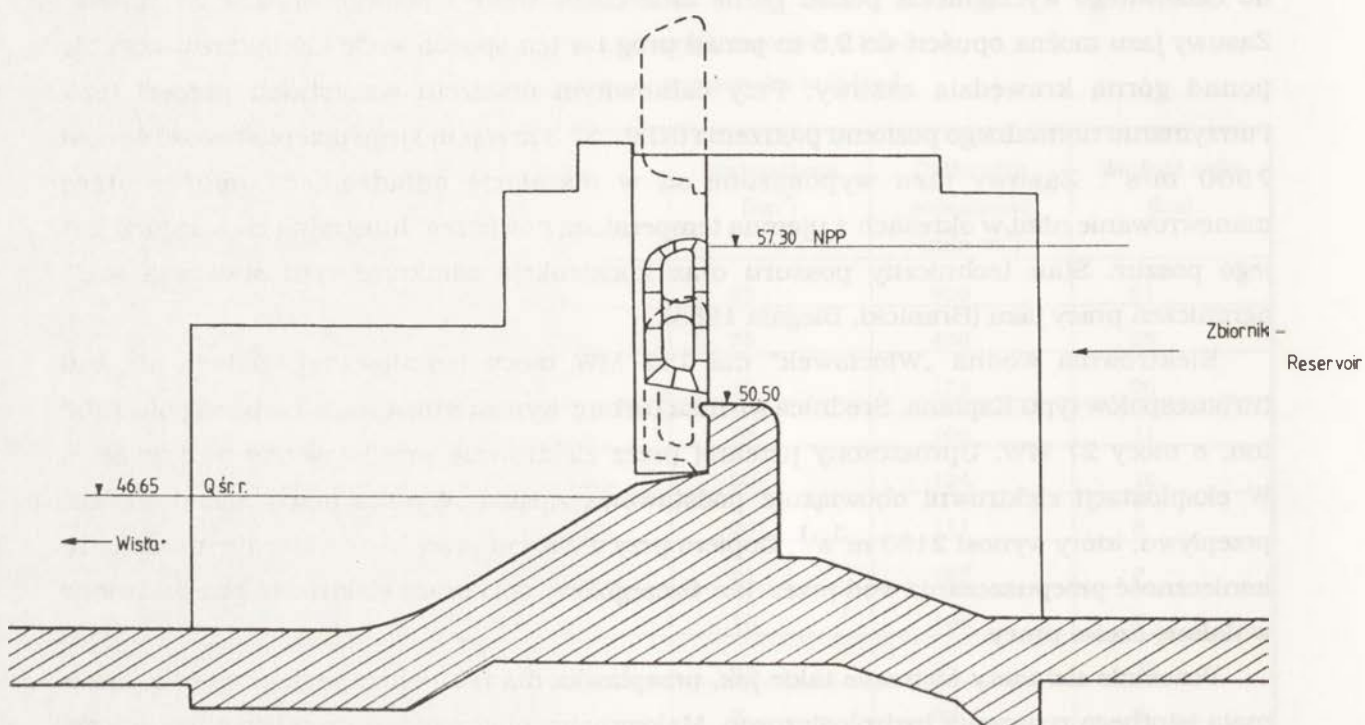


Ryc. 3. Plan sytuacyjny stopnia wodnego "Włocławek":

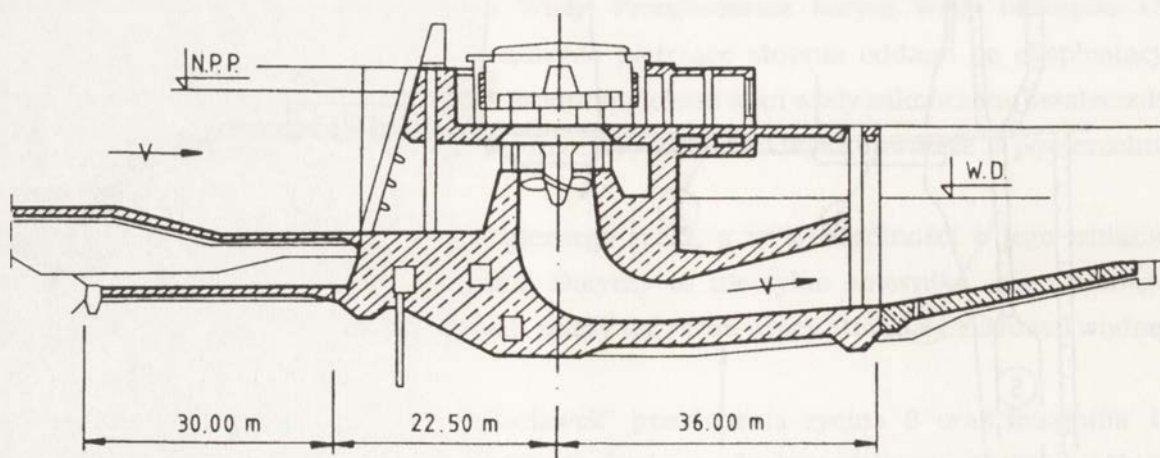
1 - ziemna zapora czołowa, 2 - jaz, 3 - elektrownia, 4 - śluza, 5 - przystań, 6 - awanport

Situation plane of Włocławek barrage:

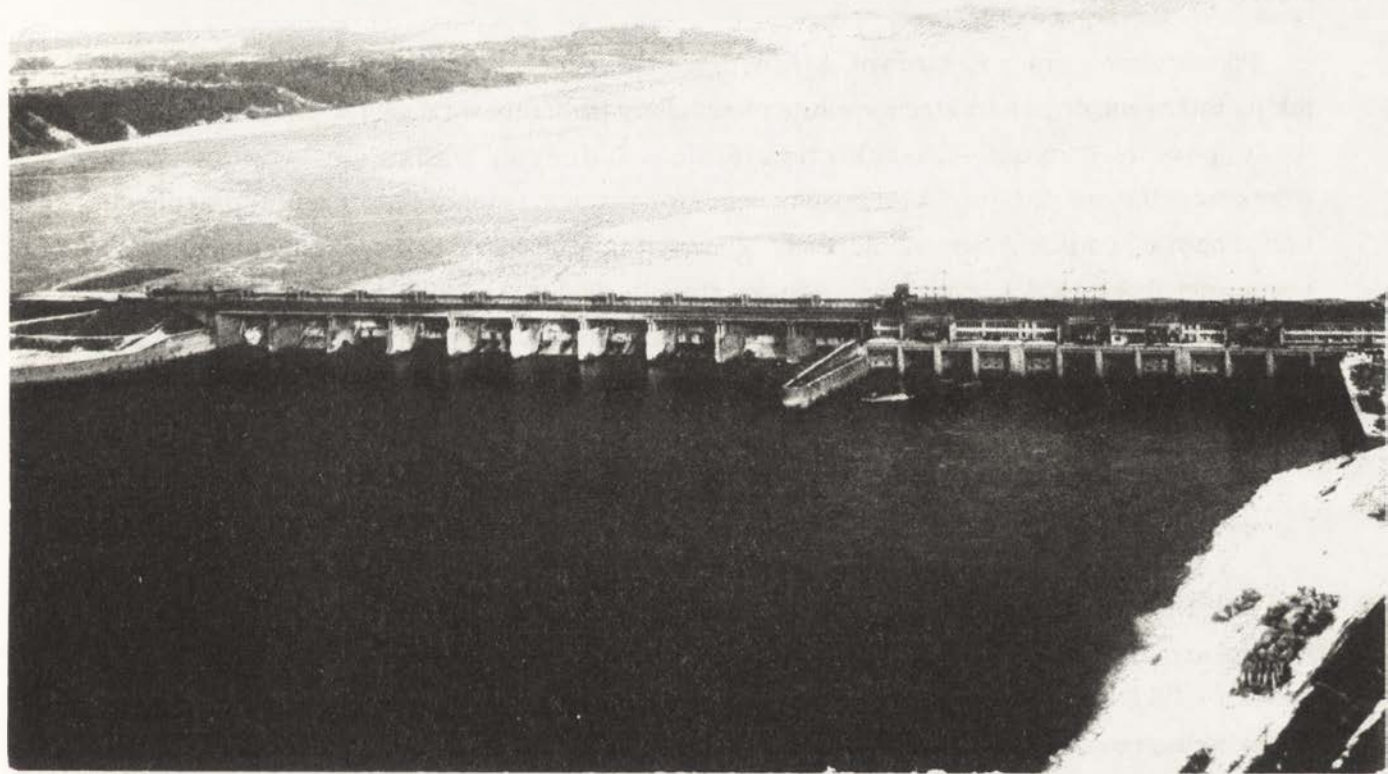
1 - earth dam, 2 - spillway section, 3 - electro-power plant, 4 - navigation lock, 5 - upper outer port, 6 - lower outer port



Ryc. 4. Uproszczony przekrój poprzeczny przesła jazu stopnia wodnego "Włocławek"
Simplify cross-section of spillway section



Ryc. 5. Uproszczony przekrój przez elektrownię "Włocławek"
Simplify cross-section of electro-power plant



Fot. 1. Zapora czołowa stopnia wodnego "Włocławek"
Włocławek dam - general view

2. CHARAKTERYSTYKA PRACY ELEKTROWNI WODNEJ

Aktualnie stopień wodny „Włocławek” ma typowo energetyczny charakter. Przepływ instalowany elektrowni wynosi $2190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (6 turbozespołów $\times 365 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Jeżeli dopływ do zbiornika nie przekracza „przełyku” elektrowni cały przepływ kierowany jest na turbiny. W normalnych warunkach eksploatacyjnych elektrownia pracuje tak, aby utrzymać poziom piętrzenia od 56,5 m n.p.m. (minimalny poziom piętrzenia) do 57,3 m n.p.m. (normalny poziom piętrzenia), to jest około 11,0 m projektowanego spiętrzenia rzeki. Szczegółową analizę zmian poziomu piętrzenia daje M. Banach (1994). Przy przepływach $350\text{-}2190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ elektrownia pracuje podszczytowo ze stałym zasilaniem dolnego stanowiska przepływem $350 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, który ma zapewnić warunki życia biologicznego i właściwą pracę ujęć wody technologicznej w danym stanowisku. W czasie szczytu elektrownia pracuje przepływem sięgającym wartości przepływu

instalowanego. W sytuacjach gdy dopływy do zbiornika są mniejsze od $350 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ elektrownia pracuje przepływowo.

Jałowe zrzuty wody przez jaz mają miejsce nie tylko przy przepływach wyższych od $2190 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ale i w krótkich okresach przepuszczania lodu przez stopień. Problem ten zostanie omówiony szerzej w dalszej części pracy.

Podszytowa praca elektrowni, z jednym lub dwoma szczytami w ciągu doby, podobnie jak jej interwencyjny charakter wywołuje nieustalony (zmienny w czasie i w przestrzeni) ruch wody poniżej stopnia. Charakteryzuje się on dużymi wahaniami stanów wody przekraczającymi 2,5 m (Włocławek), zmiennymi wartościami natężenia przepływu i chwilowymi spadkami zwierciadła wody. Zjawiska te doprowadziły do przyspieszonej erozji i znacznej dewastacji koryta Wisły poniżej stopnia (Babiński 1982, 1992; Rosicki 1987). Aktualny sposób pracy elektrowni wodnej bez współpracy ze zbiornikiem wyrównawczym (Ciechocinek) jest przyczyną większości problemów eksploatacyjnych dolnego stanowiska stopnia.

3. ZBIORNIK STOPNIA WODNEGO „WŁOCLÁWEK”

Zbiornik stopnia wodnego „Włocławek” o powierzchni około 70 km^2 należy do największych akwenów śródlądowych w Polsce (Śniardwy - $109,7 \text{ km}^2$, Mamry - $102,3 \text{ km}^2$, Łebsko - $75,3 \text{ km}^2$). Wśród zbiorników zaporowych zbiornik włocławski zajmuje pierwsze miejsce, drugi co do powierzchni zbiornik goczalkowicki jest prawie dwukrotnie mniejszy (tab. 2).

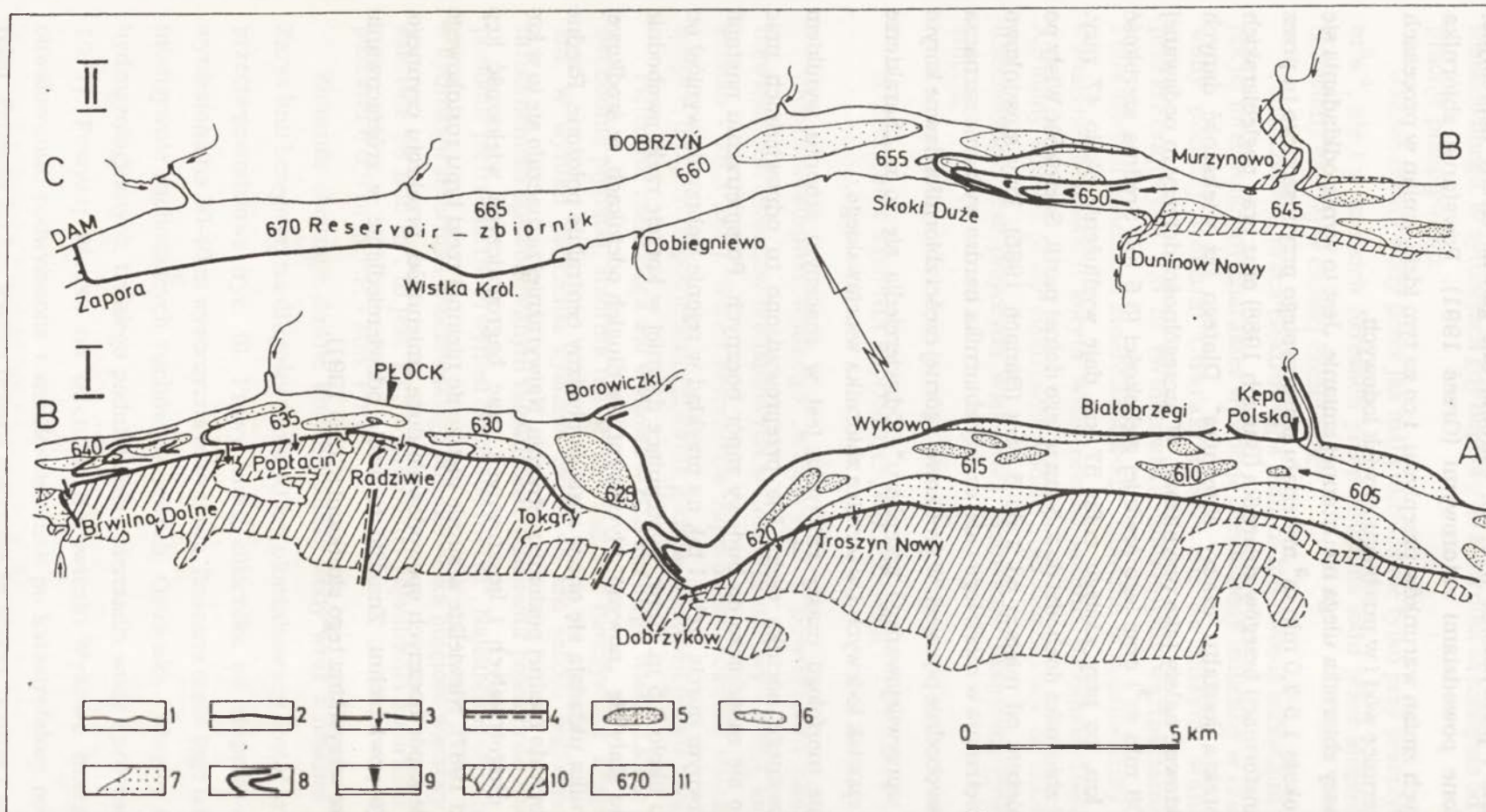
Piętrzenie rzeki sięga wsi Wykowo w 618 km biegu Wisły. Licząc po dawnym nurcie rzeki swobodnie płynącej, zbiornik ma 58 km długości. Rzeczywista długość zbiornika wynosi 54 km. W wyniku piętrzenia zyskano około 45 km szlaku żeglownego I klasy, z jedynym utrudnieniem spowodowanym falowaniem. Całkowita pojemność zbiornika przy normalnym poziomie piętrzenia (NPP) wynosi około 408 mln m^3 . Najistotniejszym czynnikiem decydującym o hydrologii zbiornika włocławskiego jest niewielka objętość warstwy użytecznej. Wynosi ona zaledwie 55 mln m^3 , to jest 13,5% całkowitej pojemności zbiornika. Odpowiada to zmianie poziomu o 0,8 m (N.P.P. - Min. P.P.).

Zbiornik obejmuje dawne koryto wielkiej wody wraz z niskimi poziomami terasowymi. Zarys linii brzegowej na długości około 40 km ukształtowany został przez zapory boczne i wały przeciwpowodziowe (ryc. 6). Prawy brzeg zbiornika od stopnia wodnego do Płocka, to wyniesiona na 30-40 m wysoczyzna morenowa. Znaczna część tego odcinka jest pod wpływem intensywnie zachodzących ruchów masowych. Osuwiska i obrywy są wynikiem warunków hydrogeologicznych, trwałego podniesienia zwierciadła wody i procesów brzegowych (Banach 1977). Powyżej Płocka na odcinku Borowiczki-Wykowo brzegi zbiornika stanowią obwałowania, podwyższone i zmodernizowane po katastrofalnej powodzi w styczniu 1982 roku. Przeszło 20 km lewego brzegu zbiornika to zapory boczne i wały przeciwpowodziowe,

również zmodernizowane i podwyższone (ryc. 6). Chronią one główne tereny depresyjne, permanentnie zagrożone powodzią zatorowymi (Grześ 1991). Powstanie zbiornika doprowadziło do istotnych zmian warunków przepływu, i co za tym idzie, zmian w procesach sedymentacyjnych, w termice wód i w przebiegu zjawisk lodowych.

Ukształtowanie czaszy zbiornika ulega nieustannej zmianie. Jest to wynik odkładania się w nim średnio w roku około 1,5-2,0 mln m³ materiału piaszczystego przynieszonego tu przez Wisłę (Grześ 1983), transformacji brzegów zbiornika (Banach 1988) oraz prac pogłębiarskich określanych jako „korekta kształtu czaszy zbiornika”. Dlatego też większość danych morfometrycznych traktować należy jako przybliżone. W szczególności dotyczy to podawanej objętości zbiornika (408 mln m³) oraz jego średniej głębokości (5,5 m). Średnia szerokość zbiornika wynosi 1,2 km, co przy zasięgu cofki 57 km daje wydłużenie około 47 razy. Maksymalna szerokość zbiornika dochodzi do 2,5 km w jego dolnej partii. Szerokość Wisły po spiętrzeniu wzrosła zależnie od miejsca od 2 do 5 razy (Banach 1985). Przy stosunkowo niewielkiej wysokości piętrzenia w morfologii całej czaszy zbiornika bardzo wyraźnie zaznacza się dawne koryto rzeki swobodnie płynącej. W środkowej i górnej części zbiornika dawne koryto Wisły stanowi „drogę uprzywilejowanego przepływu”. Odzwierciedla się to w charakterze sedymentacji, rozwoju zjawisk lodowych i w termice zbiornika wrocławskiego.

Duże zróżnicowanie morfologii czaszy zbiornika jest w znacznym stopniu wynikiem spiętrzenia nieuregulowanego odcinka rzeki. Nie przeprowadzono tu odpowiednich prac ziemnych. Ograniczono się zasadniczo do budowy zapór bocznych. Po spiętrzeniu nastąpił wzrost głębokości w dawnym nurcie rzeki. I tak na przykład w rejonie Dobrzyńa wyniósł on około 8 m, a w Płocku około 2,5 m. Kępy, występujące dawniej w korycie rzeki swobodnie płynącej, po spiętrzeniu stały się „nowymi” płycznami. Na długich odcinkach, w środkowej i w górnej części zbiornika układają się one w rozległe płyczny centralnie położone. Rzędne wielu płyczn zbliżone były do rzędnej poziomu piętrzenia. Najwyraźniej zaznaczało się to w km 635-650. W wyniku długotrwałych i kosztownych prac bagrowniczych większość kęp zniwelowano (Śliwiński 1987). Niewielkie w sumie piętrzenie nizinnej rzeki typu roztokowego i ograniczenia w formie zapór bocznych spowodowało dużą zmienność przekroju czynnego, tak kształtu jak i jego powierzchni. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w zróżnicowaniu prędkości przepływu, ze wszystkimi tego skutkami (Grześ 1991).



Ryc. 6. Szkic hydromorfologiczny zbiornika Włocławek:

- 1- naturalny brzeg, 2 - zapory boczne, 3- wyrwy powstałe w zaporach w styczniu 1982 r., 4 - przegroda dolinowa, 5- wyspy wynurzone ponad średnie zwierciadło wody,
 6 - zalane kępy, 7 - poziomy terasowe w granicach międzywała, 8 - lokalizacja czoł wybranych zatorów,
 9- wodowskazy, 10- tereny zalane w styczniu 1982 r., 11- kilometry biegu Wisły

Hydromorphological sketch of the Włocławek reservoir:

- 1 - natural bank, 2 - embankments and side dams, 3 - gaps in side dams created in January 1982,
 4 - partion of valley, 5 - emerged parts of islands, 6 - submerged parts of islands, 7 - terrace between embankments, 8 - selected ice jam fronts positions,
 9 - water gauges, 10 - areas flooded in January 1982, 11 - river course in km

4. GŁÓWNE PROBLEMY EKSPLOATACYJNE STOPNIA I ZBIORNIKA „WŁOCŁAWEK”

Od blisko 25 lat stopień wodny Włocławek pozostaje jedynym obiektem planowanej kaskady dolnej Wisły. Do pracy w takim właśnie systemie został on zaprojektowany i wykonany. Stąd też wynika większość problemów eksploatacyjnych z jakimi mamy do czynienia na zbiorniku, stopniu wodnym i w jego dolnym stanowisku. Jedynie zmiany stosunków wodnych na obszarach przyległych do zbiornika nie mają żadnego związku z nie zrealizowaniem kolejnych obiektów kaskady.

Zwrócono uwagę na problemy wynikające ze spiętrzenia wody, zmiany warunków przepływu i rytmu pracy stopnia wodnego. Pominięto czysto techniczne problemy związane z konstrukcją stopnia wodnego.

Wszystkie bez wyjątku problemy eksploatacyjne wynikają z zachwiania naturalnej równowagi w środowisku. Dlatego też projektanci i budowniczowie każdej zapory powinni być świadomi ciążącej na nich odpowiedzialności nie tylko za stronę techniczną obiektów, ale i za zapewnienie możliwości ewolucji ekologicznej zmienionych obszarów lądowych i wodnych. Zachowanie warunków zbliżonych do naturalnych przy optymalnym gospodarowaniu obiektem jako całością (stopień, zbiornik, obszary przyległe) na obecnym etapie wiedzy i doświadczeń eksploatacyjnych jest możliwe.

Największe problemy eksploatacyjne zbiornika i stopnia wodnego występują w okresie zimy i związane są ze zjawiskami lodowymi.

A. W okresie formowania pokrywy lodowej do zbiornika napływają ogromne ilości lodu w formie krążków i pól śryżowych. Tworzą one zatory śryżowe (styczeń 1982). Lokalizacja ich przypada na rejony spadku prędkości przepływu, „stare” i współcześnie tworzące się wypłylenia czaszy zbiornika.

Środki zaradcze. Do złagodzenia skutków nadpiętrzeń zatorowych dąży się przez prace bagrownicze, nazywane korektą czaszy zbiornika oraz przez instalacje przegród lodowych.

B. Tendencja do dłuższego utrzymywania się pokrywy lodowej na zbiorniku w stosunku do rzeki swobodnie płynącej powyżej. Prowadzi to do powstania skomplikowanych sytuacji zatorowych (marzec 1979).

Środki zaradcze. Poprawa morfologii czaszy zbiornika - prace bagrownicze w rejonach zatorowych. Wyłamywanie rynny wzdłuż zbiornika, której zadaniem jest tranzytowe przepływanie lodu.

C. Trudności związane z napływaniem lodu na jaz. Akcja lodołamania musi być połączona ze spływaniem lodu do dolnego stanowiska.

Środki zaradcze. Łamanie lodu na przedpolu jazu. Podporządkowanie pracy elektrowni. Propozycja rozbudowy jazu o dwa dodatkowe przesła.

D. „Zatykanie” krat wlotowych śryżem, w elektrowni i w ujęciach wody.

Środki zaradcze. Mechaniczne czyszczenie krat. Planowana zmiana rozwiązań konstrukcyjnych.

Szereg problemów eksploatacyjnych zbiornika związany jest z sedymentacją rumowiska wlezonego i tak zwaną korektą morfologii czaszy zbiornika.

A. Płytko zatopione kępy inicjują powstawanie zatorów różnego typu oraz utrudniają sprawne przeprowadzenie akcji lodołamania.

Środki zaradcze. Likwidacja kęp przez bagrowanie. Wykonanie „przekopu” i utrzymywanie jego drożności.

B. Stopniowe wypływanie się środkowej i górnej części zbiornika w wyniku odkładania się w nim rumowiska wlezonego. Pogorszenie się warunków przepływu wód i lodu. Podnoszenie się krzywych cofkowych.

Środki zaradcze. Prace bagrownicze. Korekta morfologii czaszy zbiornika.

C. Już na obecnym etapie istnieją problemy z zagospodarowaniem mas osadów z bagrowania.

Środki zaradcze. Odkładanie materiału w strefie brzegowej - stabilizacja brzegów. Wbudowywanie urobku w korpusy zapór bocznych. Wykorzystywanie piasku na cele budowlane. Brak racjonalnych rozwiązań na przyszłościowe zagospodarowanie urobku z bagrowania w obrębie czaszy zbiornika. Jedyne rozwiązanie to budowa kolejnego stopnia powyżej.

Około 12000 ha obszarów przyległych do zbiornika, głównie na lewym brzegu znalazło się w zasięgu spiętrzenia.

Zjawisko. Podtopienie terenów nisko położonych, podniesienie zwierciadła wody gruntowej na terenach zawali.

Środki zaradcze. Do 1979 roku usunięto prawie wszystkie ujemne skutki piętrzenia. Osiągnięto to poprzez budowę pompowni (7 szt.), kanałów (11 km), rowów przywałowych (29 km) i rowów odwadniających (62 km).

Wiele problemów eksploatacyjnych stopnia wodnego „Włocławek” związanych jest z jego dolnym stanowiskiem.

A. Niszczenie umocnień poszuru jazu, zagrażające bezpieczeństwu zapory czołowej.

Środki zaradcze. Do czasu podparcia stopnia Włocławek stopniem Ciechocinek są i powinny być dalej prowadzone prace nad utrzymaniem poszuru.

B. Erozja wgłębna koryta (odcinek erozyjny). Dzielenie koryta. Niszczenie starej zabudowy koryta. Obniżanie się zwierciadła wody. „Zawieszenie” progę śluzy - niebezpieczeństwo wyłączenia jej z eksploatacji przy niskich stanach wody.

Środki zaradcze. Jedyne racjonalne rozwiązanie to budowa stopnia w Ciechocinku. Rozważana jest koncepcja korekcji progowej.

C. Akumulacja poniżej odcinka erozyjnego. Dzielanie rzeki. Trudności nawigacyjne. Pogorszenie warunków spływania lodu - wzrost zagrożenia zatorowego.

Środki zaradcze. Jedyne racjonalne rozwiązanie to budowa stopnia wodnego Ciechocinek. Doraźne prace regulacyjne. Optymalizacja pracy elektrowni wodnej.

5. ZMIANY NATĘŻENIA PRZEPIYWÓW PRZEZ STOPIEŃ WODNY I DOPŁYWÓW DO ZBIORNIKA

Reżim hydrologiczny dolnej Wisły, będący od tysiącleci funkcją klimatu, uległ radykalnym zmianom w chwili wybudowania stopnia wodnego Włocławek. W momencie przegrodzenia koryta Wisły zaporą 13 października 1968 r., w jego górnej części następowało spiętrzenie wód trwające do sierpnia 1970 r. W efekcie tego utworzył się zbiornik włocławski o zmniejszonym ponad 42-krotnie w stosunku do rzeki naturalnej spadku zwierciadła wody. Ponad 4-krotnie zmalała maksymalna amplituda wahań stanów wody. Tymczasem poniżej zbiornika wodnego zaznaczyły się dobowe wahania stanów wody związane ze szczytowo-interwencyjną pracą elektrowni. Generalnie wpływ stopnia wodnego na reżim hydrologiczny Wisły sięga od cofki zbiornika usytuowanej powyżej Płocka (619 km) do Chełmna w dolnym jego stanowisku (ok. 807 km). Na tym prawie dwustu - kilometrowym odcinku rzeki nastąpiły zmiany w stanach wody (przepływach), w czasie ich trwania oraz w zjawiskach mających swe odzwierciedlenie w reżimie wód (zjawiska lodowe, procesy erozyjno-akumulacyjne).

Określenie reżimu hydrologicznego rzeki w strefie oddziaływania stopnia piętrzącego jest możliwe w przypadku jego analizy na tle danych punktu obserwacyjnego, nie będącego w jego zasięgu. Tym wyjściowym posterunkiem wodowskazowym jest usytuowana najbliższej strefy cofki zbiornika włocławskiego Kępa Polska (605,5 km). Kolejne, położone w dół rzeki punkty obserwacyjne: Płock (632,4 km), stopień wodny Włocławek tzw. górna i dolna woda - dane cogodzinne (674,85 km), Włocławek-wodowskaz (679,4 km), Siłno (719,8 km) i Toruń (734,7 km) wskazują swymi danymi o stopniu oddziaływania zbiornika na reżim hydrologiczny Wisły. Zasięg tego wpływu zamyka punkt obserwacyjny Chełmno (806,8 km), gdzie już nie notuje się dobowych wahań stanów wody związanych z pracą elektrowni (Machalewski i in. 1974). Generalnie jednak do analizy reżimu hydrologicznego dolnej Wisły, charakteryzowanego stanami wody i przepływami, wykorzystano dane z punktu pomiarowego w Kępie Polskiej, Włocławku (tzw. dopływ do zbiornika notowany na stopniu wodnym jako dane cogodzinne), Toruniu i Chełmnie (tab. 3-9).

Tabela 3. Średnie miesięczne i roczne stany wody Wisły w profilu wodowskazowym Kępa Polska
w latach 1971-1990 (wg IMGW)

Mean monthly and mean annual Vistula water level in water gauge profile Kępa Polska
in hydrological years 1971-1990 (after IMGW)

Lata hydrologiczne	miesiące												śr.
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1971	297	318	404	380	418	316	265	234	228	166	166	176	281
1972	178	235	247	263	242	233	249	218	224	274	279	259	242
1973	254	260	279	287	300	284	238	242	277	242	171	184	252
1974	203	289	406	326	259	218	229	329	319	283	224	337	285
1975	430	369	396	292	269	320	289	284	274	284	228	227	305
71/75	272	294	346	310	298	274	254	261	264	250	214	237	273
1976	230	237	306	401	389	364	263	272	186	182	180	200	268
1977	210	248	325	359	385	323	271	231	220	293	266	242	281
1978	235	283	295	314	379	324	319	260	262	230	274	293	289
1979	272	418	439	441	546	461	338	239	219	240	215	207	336
1980	239	272	290	313	229	341	292	293	359	399	283	386	308
76/80	237	292	331	366	386	363	297	259	249	269	244	266	296
1981	349	399	428	374	365	310	262	260	253	244	254	241	312
1982	311	381	570	467	365	312	281	214	231	176	163	172	304
1983	176	199	264	266	323	328	269	218	212	182	160	178	231
1984	171	288	201	266	213	224	221	221	242	184	166	212	217
1985	183	195	266	256	317	316	290	264	252	267	244	213	255
81/85	238	292	346	326	317	298	265	235	238	211	197	203	264
1986	214	293	346	416	393	313	228	239	189	197	199	191	268
1987	201	213	289	327	378	365	288	281	194	183	174	194	257
1988	199	274	295	306	309	350	236	236	234	188	217	202	254
1989	198	263	290	248	269	245	311	263	232	178	206	192	241
1990	208	308	232	233	255	241	220	199	193	161	200	220	223
86/90	204	270	290	306	321	303	257	244	208	181	199	200	249
71/90	238	287	328	327	330	309	268	250	240	228	213	226	270

Tabela 4. Średnie miesięczne i roczne stany wody Wisły w profilu wodowskazowym Włocławek (limnigraf)
w latach 1971-1990 (wg IMGW)

Mean monthly and mean annual Vistula water level in water gauge profile Włocławek (limnigraph)
in hydrological years 1971-1990 (after IMGW)

Lata hydrologiczne	miesiące												śr.
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1971	346	386	299	456	397	371	292	277	277	240	234	236	318
1972	237	254	259	269	251	255	267	247	257	303	298	275	264
1973	269	268	229	289	334	301	256	254	304	286	224	225	270
1974	234	230	285	340	268	233	238	358	339	286	244	450	292
1975	531	457	497	332	301	369	325	291	308	303	236	244	350
71/75	323	319	314	337	310	306	276	285	297	284	247	286	299
1976	235	242	326	288	292	415	284	285	208	205	205	213	267
1977	207	240	220	347	454	371	301	266	228	324	297	242	291
1978	233	218	246	202	427	364	348	270	273	229	294	277	282
1979	303	291	281	315	511	535	377	249	226	252	223	210	314
1980	248	288	204	264	229	374	308	310	400	448	304	395	314
76/80	245	256	255	283	383	412	324	276	267	292	265	267	294
1981	384	371	354	364	402	333	270	262	254	241	253	233	310
1982	297	310	404	312	375	329	290	206	225	153	133	146	265
1983	154	189	264	267	341	342	267	199	193	154	118	145	219
1984	128	123	141	142	143	179	177	164	189	130	115	147	148
1985	119	127	138	218	278	310	272	218	193	217	185	135	201
81/85	216	224	260	261	308	299	255	210	211	179	161	161	229
1986	137	251	261	229	268	290	165	171	121	125	119	114	188
1987	122	113	170	242	183	350	242	227	138	121	111	121	178
1988	129	194	225	184	238	335	166	158	152	116	134	117	179
1989	113	150	188	146	168	161	255	179	138	98	122	106	152
1990	112	141	124	123	151	143	123	122	114	94	108	102	121
86/90	123	170	194	185	202	256	190	171	133	111	119	112	164
71/90	227	242	256	266	301	318	261	236	227	216	198	207	246

Tabela 5. Średnie miesięczne i roczne stany wody Wisły w profilu wodowskazowym Toruń (limnigraf)
w latach 1971-1990 (wg IMGW)
Mean monthly and mean annual Vistula water level in water gauge profile Toruń (limnigraph)
in hydrological years 1971-1990 (after IMGW)

Lata hydrologiczne	miesiące												śr.
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1971	403	439	368	509	451	446	350	302	298	208	207	236	351
1972	243	333	322	354	307	333	371	295	302	359	399	382	333
1973	336	323	248	341	407	380	304	301	353	301	201	220	310
1974	256	238	323	408	316	243	268	430	420	368	270	509	337
1975	601	514	561	389	354	428	378	366	348	366	273	273	404
71/75	368	369	364	400	367	366	334	339	344	320	270	324	347
1976	282	274	401	335	385	500	345	355	225	223	230	257	318
1977	254	299	276	424	535	430	362	298	278	388	350	321	351
1978	311	299	328	287	502	431	418	328	332	285	354	383	355
1979	352	336	544	426	587	631	435	272	246	278	247	236	383
1980	289	353	285	326	271	433	370	388	478	546	368	517	385
76/80	298	312	367	360	456	485	386	328	312	344	310	343	358
1981	467	468	436	443	496	420	332	324	329	311	331	322	390
1982	420	409	482	395	473	433	384	284	307	225	204	219	353
1983	228	268	367	365	437	438	359	279	277	232	199	221	306
1984	210	218	263	259	247	326	277	282	306	231	202	267	257
1985	226	242	288	314	373	416	371	339	313	335	301	261	315
81/85	310	321	367	355	405	407	345	302	306	267	247	258	324
1986	261	381	376	333	395	416	285	295	219	223	227	214	302
1987	229	216	370	424	300	481	366	366	243	225	216	240	306
1988	244	341	388	355	403	462	292	291	292	229	268	243	317
1989	232	302	370	307	336	305	388	345	290	210	246	234	297
1990	239	267	277	284	321	300	267	242	233	207	245	266	262
86/90	241	301	356	341	351	393	320	308	255	219	240	239	297
71/90	304	326	364	364	395	413	346	319	304	288	267	291	332

Tabela 6. Średnie miesięczne i roczne stany wody Wisły w profilu wodowskazowym Chełmno
w latach 1971-1990 (wg IMGW)

Mean monthly and mean annual Vistula water level in water gauge profile Chełmno
in hydrological years 1971-1990 (after IMGW)

Lata hydrologiczne	miesiące												śr.
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1971	388	436	334	508	435	437	334	294	293	201	193	221	340
1972	225	286	284	290	289	297	326	275	285	330	372	337	300
1973	327	319	243	324	407	379	303	301	346	310	205	221	307
1974	255	243	327	409	326	253	265	417	410	367	274	488	336
1975	601	508	563	399	354	432	387	362	349	369	278	276	407
71/75	359	358	350	386	362	360	323	330	337	315	264	309	338
1976	287	271	387	329	374	494	343	356	234	226	230	258	316
1977	255	296	267	408	532	430	356	292	270	371	343	317	345
1978	301	288	327	290	489	431	415	332	326	279	343	373	350
1979	349	335	521	401	573	634	436	273	247	270	247	239	377
1980	277	322	295	338	274	422	365	368	476	553	359	497	379
76/80	294	302	359	353	448	482	385	324	311	340	304	337	353
1981	471	465	431	444	492	416	334	317	325	307	320	300	385
1982	404	388	471	394	471	423	376	280	303	227	206	219	347
1983	224	253	334	344	422	441	351	274	272	235	197	221	297
1984	214	214	257	254	247	284	274	283	308	238	206	270	254
1985	228	244	260	351	374	414	370	331	319	335	315	269	318
81/85	308	313	351	357	401	396	341	297	305	268	249	256	320
1986	270	381	377	342	401	423	304	307	235	236	238	228	312
1987	243	230	319	383	304	477	397	373	257	239	228	253	309
1988	257	338	386	352	404	468	301	299	299	238	276	253	323
1989	239	301	365	311	341	308	385	322	285	209	241	230	295
1990	238	275	282	286	318	300	276	245	234	197	239	267	263
86/90	249	305	346	335	354	395	333	309	262	224	244	246	300
71/90	303	320	352	358	391	408	345	315	304	287	266	287	328

Tabela 7. Średnie miesięczne i roczne przepływy Wisły w profilu wodowskazowym Kępa Polska w latach 1971-1990 (wg IMGW)

Mean monthly and mean annual discharges of Vistula river in water gauge profile Kępa Polska in hydrological years 1971-1990 (after IMGW)

Lata hydrologiczne	miesiące												śr.
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1971	1300	1480	1180	2000	1740	1510	1020	789	773	419	418	468	1091
1972	457	806	578	548	698	794	908	692	748	1200	1210	1050	807
1973	1020	914	530	1030	1320	1170	762	795	1120	838	346	414	855
1974	526	579	1040	1470	872	564	642	1630	1460	1080	574	2210	1054
1975	2840	2080	2410	1240	1010	1530	1220	1170	1090	1190	697	705	1432
71/75	1229	1172	1148	1258	1128	1114	910	1015	1038	945	649	969	1048
1976	693	682	1330	1170	1320	2030	970	1070	487	498	492	590	944
1977	648	782	672	1490	2290	1550	1020	692	616	1280	986	776	1067
1978	716	678	829	590	1920	1510	1460	890	896	666	1000	1170	1027
1979	983	934	850	911	3130	3310	1730	743	615	766	590	542	1259
1980	774	1020	517	825	674	1720	1120	1200	2000	2480	1140	2340	1318
76/80	763	819	840	997	1867	2024	1260	919	923	1138	842	1084	1123
1981	1830	1800	1630	1690	2050	1420	928	928	829	757	828	727	1285
1982	1360	1150	1560	841	1650	1460	1160	673	764	440	378	419	988
1983	436	560	980	948	1560	1570	1040	719	684	496	392	478	822
1984	443	484	598	605	566	703	667	653	837	459	383	669	589
1985	540	526	347	566	1167	1776	1242	1008	870	1037	801	580	872
81/85	922	904	1023	930	1399	1386	1007	796	797	638	556	575	911
1986	582	1275	1175	819	1157	1465	758	838	535	522	522	479	844
1987	532	488	533	922	725	2053	1307	1166	563	501	455	562	817
1988	595	1075	1377	1141	1431	1873	810	809	826	513	685	566	975
1989	540	846	1294	812	1020	821	1485	999	758	448	599	516	845
1990	560	777	698	742	906	813	672	556	524	371	565	671	655
86/90	562	892	1015	887	1048	1405	1006	874	641	471	565	558	827
71/90	869	947	1006	1018	1360	1482	1046	901	850	798	653	797	977

Tabela 8. Średnie miesięczne i roczne dopływy do zbiornika wrocławskiego w latach hydrologicznych 1971-1990
 Mean monthly and mean annual Vistula water inflow to Wrocław reservoir in hydrological years 1971-1990

Lata hydrologiczne	miesiące												śr.
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1971	1340 ¹	1540 ¹	977	2054	1673	1528	1032	761	735	389	395	446	1073
1972	456	767	495	636	677	777	895	630	692	1105	1134	947	768
1973	903	797	479	952	1284	1123	724	728	1016	775	363	439	799
1974	540	506	882	1307	835	501	592	1497	1389	1049	589	2113	983
1975	2674	1976	2131	1212	1029	1480	1149	1088	1004	1089	627	645	1342
71/75	1183	1117	993	1232	1100	1082	878	941	967	881	622	918	993
1976	647	646	1249	710	1124	1827	959	1013	443	440	456	532	837
1977	546	707	568	1409	2146	1430	990	678	605	1184	957	784	1000
1978	740	733	830	610	1883	1457	1383	889	894	701	1003	1157	1023
1979	972	901	781	965	3013	3418	1617	678	606	767	639	558	1243
1980	779	996	522	871	686	1605	1154	1145	1830	2450	1108	2188	1278
76/80	737	797	790	913	1770	1947	1221	881	876	1108	833	1044	1076
1981	2213	1757	1472	1600	1945	1354	936	899	856	778	847	746	1284
1982	1338	1146	1598	790	1631	1439	1134	691	766	469	400	453	988
1983	468	601	973	979	1465	1497	1019	673	633	489	387	466	804
1984	431	460	588	573	554	729	685	670	821	480	418	646	588
1985	491	536	346	541	1080	1423	1192	966	865	986	809	603	820
81/85	988	900	995	897	1335	1288	993	778	788	640	572	583	897
1986	603	1271	1083	782	1172	1356	694	761	442	472	475	433	795
1987	475	428	418	875	698	1819	1189	1100	708	467	418	513	759
1988	535	966	1164	1012	1303	1645	711	744	718	481	621	519	868
1989	508	816	1130	810	941	763	1283	907	681	399	536	469	770
1990	494	736	692	698	835	753	624	502	469	371	545	621	612
86/90	523	843	897	835	990	1267	900	803	604	438	519	511	761
71/90	858	914	919	969	1299	1396	998	851	809	767	636	764	932

¹ - dane wg IMGW

Tabela 9. Średnie miesięczne i roczne przepływy Wisły w profilu wodowskazowym Toruń
w latach 1971-1990 (wg IMGW)

Mean monthly and mean annual discharges of Vistula river in water gauge profile Toruń
in hydrological years 1971-1990 (after IMGW)

Lata hydrologiczne	miesiące												śr.
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1971	1430	1680	1080	2210	1850	1710	1060	806	809	436	432	533	1170
1972	521	805	548	566	729	878	1070	734	767	1130	1190	1010	829
1973	1050	974	492	1100	1410	1260	901	887	1150	904	474	546	929
1974	617	533	955	1430	881	557	662	1660	1520	1170	666	2330	1082
1975	2920	2130	2550	1290	1080	1540	1220	1150	1070	1170	674	696	1458
71/75	1308	1224	1125	1319	1190	1189	983	1047	1063	962	687	1023	1094
1976	714	688	1300	799	1180	2050	1030	1100	479	470	502	595	909
1977	584	773	617	1470	2380	1550	1080	725	640	1270	1020	842	1079
1978	785	735	904	674	2070	1560	1480	940	953	730	1080	1250	1097
1979	1070	985	855	1120	3010	3540	1720	772	656	800	660	617	1317
1980	860	1190	631	1000	769	1710	1300	1390	2080	2700	1260	2460	1446
76/80	803	874	861	1013	1882	2082	1322	985	962	1194	904	1153	1170
1981	1940	1950	1740	1780	2230	1620	1070	1030	1060	762	1070	1010	1439
1982	1490	1340	1710	925	1840	1570	1260	733	839	518	451	497	1098
1983	534	676	1080	1110	1620	1620	1140	749	740	539	417	497	894
1984	475	484	666	639	603	804	740	752	873	542	448	683	642
1985	537	631	399	586	1166	1511	1540	1036	945	1088	897	703	920
81/85	995	1016	1119	1008	1492	1425	1150	860	891	690	657	678	999
1986	703	1327	1283	887	1271	1506	806	857	545	558	569	523	903
1987	580	527	510	1009	843	1942	2325	1212	634	564	531	623	942
1988	660	1133	1332	1177	1465	1822	864	857	860	586	752	646	1013
1989	591	900	1315	937	1083	923	1351	962	794	489	608	551	875
1990	569	709	730	759	936	837	690	582	544	443	598	682	673
86/90	621	919	1034	954	1120	1406	1207	894	675	528	612	605	881
71/90	932	1009	1035	1073	1421	1526	1165	947	898	843	715	865	1036

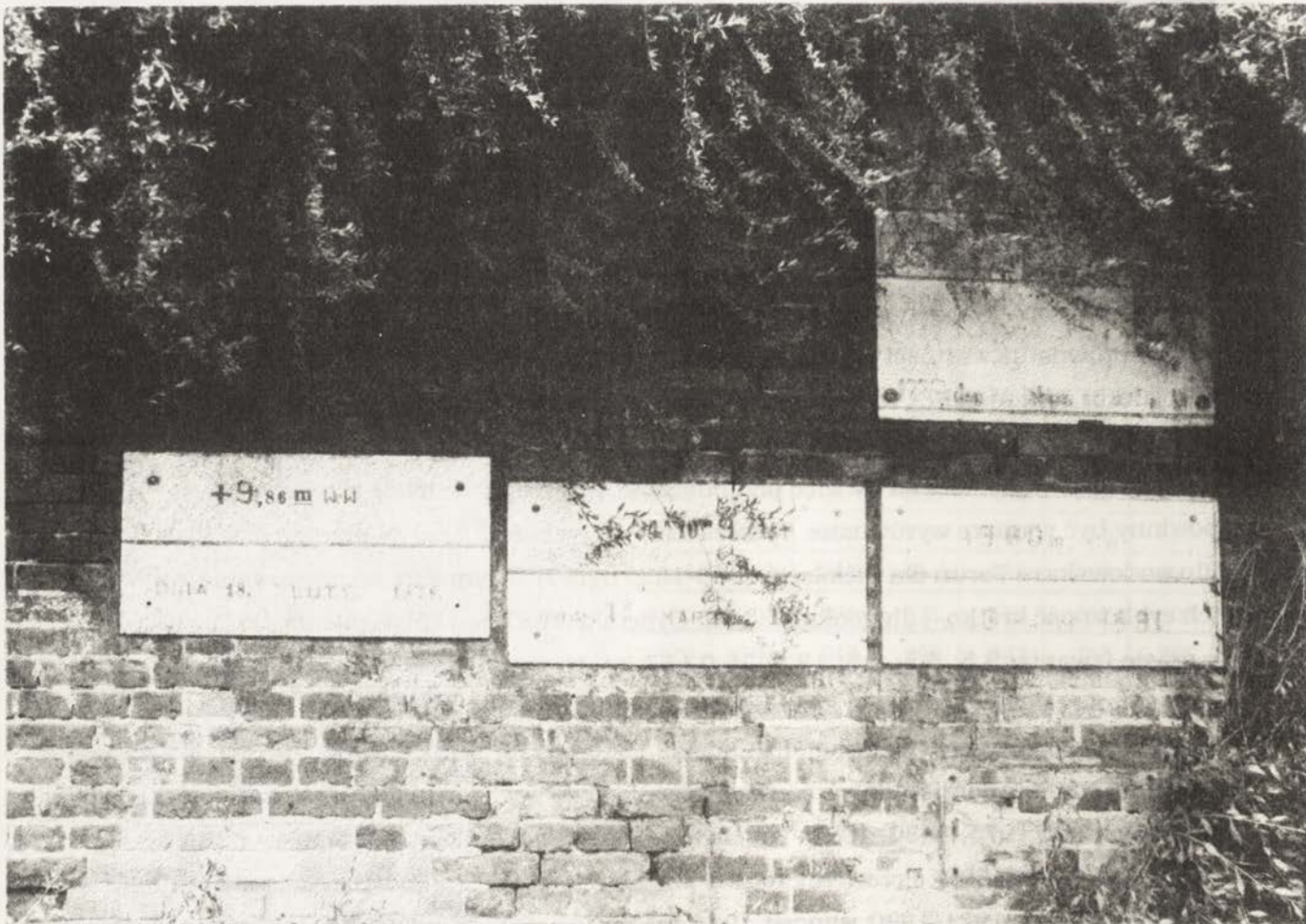
5.1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA REŻIMU HYDROLOGICZNEGO DOLNEJ WISŁY

Stany wody dolnej Wisły są kształtowane w głównej mierze jej przepływami, sporadycznie jednak ich wahania są uzależnione od zatorów śryżowych i śryżowo-lodowych (Grześ 1985). W przypadku wystąpienia zatorów, stany wody nie są funkcją przepływu. Dlatego wiązanie z zimowo-wiosennymi, ekstremalnie wysokimi falami wezbraniowymi, notowanymi w czasach historycznych np. na murach miasta Torunia (fot. 2) czy Włocławka, dużych przepływów Wisły rzędu $11 \text{ mln m}^3 \text{ s}^{-1}$ (tzw. woda 0,1%), jest błędne. Maksymalny stwierdzony w marcu 1924 r. przepływ Wisły w profilu wodowskazowym Włocławek wynosił $8305 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ - odpowiadał mu stan wody 838 cm. W tym samym roku w Toruniu fala wezbraniowa osiągnęła stan 916 cm. Wysokie stany wody występują z reguły w marcu lub kwietniu, rzadziej w lipcu lub sierpniu. Pierwsze z nich są związane z wczesnowiosennym spływem wód roztopowych, potęgowanym często pochodem śryżu i kry lodowej. Drugie zaś, najczęściej krótkotrwałe są wynikiem letnich opadów rozlewnych. W obydwu przypadkach tworzą się fale wezbraniowe o wysokości względnej 3-5 m, maksymalnie do 6 m (Babiński 1982), przemieszczające się z prędkością 3,0-5,5 km na godzinę (Cyberski 1982). Fale wezbraniowe wkraczające na powierzchnię równiny zalewowej w ciągu ostatnich 30 lat trwały przeciętnie od 5 do 7 dni w roku (Babiński 1992). Bywały jednak lata, np. 1962 czy 1979, że okres zalewu wydłużał się do 15 dni i to z podziałem na powódź wiosenną i letnią.

Najniższe stany wody na dolnej Wiśle występują przede wszystkim na przełomie jesieni i zimy, rzadziej latem (Babiński 1986). Podczas trwania niżówek przepływy dolnej Wisły osłagają wartości poniżej $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Minimalny przepływ notowany w okresie 1951-1975, który wystąpił w grudniu, wynosił w Toruniu $234 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Cyberski 1982, tab. 3), natomiast we Włocławku 13 stycznia 1933 roku tylko $141 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Głazik 1978, s. 55). Tym najmniejszym przepływom, np. w Toruniu, odpowiadają stany wody poniżej 200 cm.

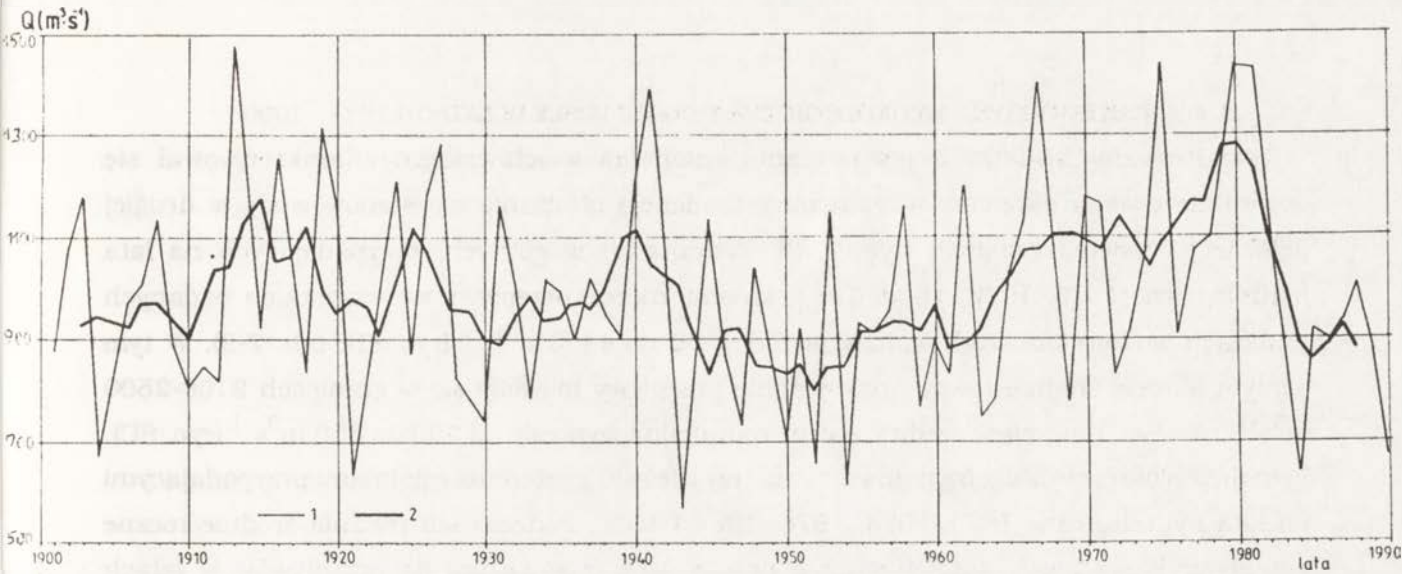
Z porównania wartości ekstremalnych stanów wody, obserwowanych na dolnej Wiśle (np. w Toruniu) od końca XIX wieku wynika, że mogą one dochodzić do 7 m. Wielkości tego rzędu są związane z wystąpieniem w tym samym roku hydrologicznym ekstremalnie niskich stanów (przepływów) wody. Można by więc przypuszczać, że przepływy Wisły w przebiegu wieloletnim powinny być w miarę wyrównane. Tymczasem, jak wykazała analiza przepływów Wisły w profilu wodowskazu Toruń dla wielolecia 1900-1990 (ryc. 7), w tym okresie zarysowała się wyraźna ich cykliczność krótko- i długookresowa. J. Cyberski (1982, s. 115) wymienia dla Torunia cykle o czasie trwania: 3,5; 5,5; 6,5; 13,5; 25,0 i 57 lat. Niewątpliwie w tym okresie można mówić o trzech okresach wilgotnych, znaczonych uśrednionymi kulminacjami w latach 1915, 1940 i 1980, przedzielonych niżówkami w latach 1910, 1930, 1952 i 1985 (ryc. 7). Wilgotnym okresom odpowiadały średnie roczne przepływy Wisły w Toruniu w granicach $1300\text{-}1460 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (np. lata 1975, 1980, 1981 - tabela 9), zaś okresom suchym - przepływy rzędu $600\text{-}700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (np. 1984, 1990). Przeciętny roczny przepływ Wisły w profilu wodowskazu Toruń dla lat hydrologicznych 1971-1990 wynosił $1036 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (tab. 9). Natomiast w wyżej usytuowanych

profilach hydrometrycznych w Kępie Polskiej wynosił on $977 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, we Włocławku (dopływ do zbiornika) $932 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, (wodowskaz) - $929 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (tab. 7, 8). Z danych tych wynika ogólny wniosek dotyczący utraty wód Wisły w strefie zbiornika na skutek parowania przeciętnie około 50 m^3 w ciągu sekundy, co daje w ciągu roku ponad 1,5 mld m^3 wody. Straty te w podwojony sposób zostają już uzupełnione na skutek wód dopływów Wisły i jej przyrzecza na odcinku około 60 km długości do Torunia. Związki korelacyjne przepływów Wisły w profilu wodowskazowym Kępa Polska, Włocławek (zapora i wodowskaz) oraz Toruń obrazuje rycina 8. Z przebiegu prostych regresji jak i współczynników korelacji liniowej wynika, że pomiędzy tymi posterunkami wodowskazowymi występuje niemal funkcyjna zależność. Dotyczy to szczególnie punktów pomiarowych we Włocławku na stopniu i odległym od niego o 4,6 km wodowskazie IMGW ($r = 1$ - ryc. 8). Oznacza to, że przepływy (stany wody) Wisły traktowane jako wartości średnie roczne minimalne, przeciętne i maksymalne wzdłuż całego analizowanego odcinka bez względu na wpływ człowieka, są współzależne - ogólnie odpowiadają tym samym tendencjom. Wyraźne rozbieżności w przepływach wody między tymi punktami pomiarowymi uwiadcniają się dopiero przy ich analizie jednostkowej (nie jako wartości uśrednione - wieloletnie).



Fot. 2. Znaki wielkich wód na murach starego miasta w Toruniu

The marks of high water level fixed on the old wall in Toruń

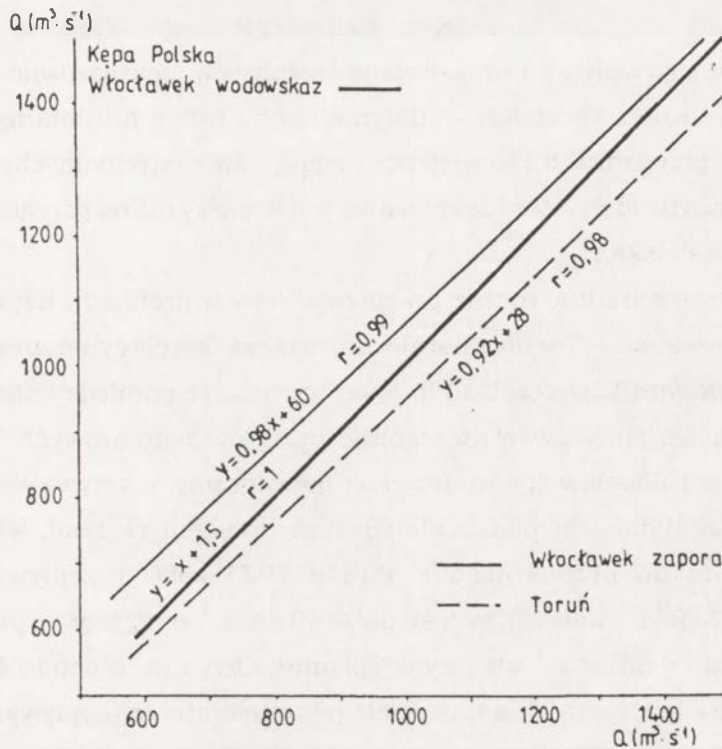


Ryc. 7. Przebieg średnich rocznych i wyrównanych przepływów Wisły w przekroju hydrometrycznym Toruń w okresie 1901-1975 r. (według: J. Cyberski 1982) i 1976-1990 (według: IMGW)

1 - średnie roczne, 2 - średnie ruchome 5-letnie

Mean annual and mean-equalize discharges of Vistula river in hydrometrical profile in Toruń for period 1901-1975 (after J. Cyberski 1982) and for years 1976-1990 (after IMGW)

1 - mean annual, 2 - mean-equalize for 5 years



Ryc. 8. Proste regresji i współczynniki korelacji liniowej (r) średnich rocznych przepływów Wisły w profilu wodowskazowym Kępa Polska i w profilach wodowskazowych Włocławek-zaporą i Włocławek-wodowskaz

dla lat hydrologicznych 1971-1990

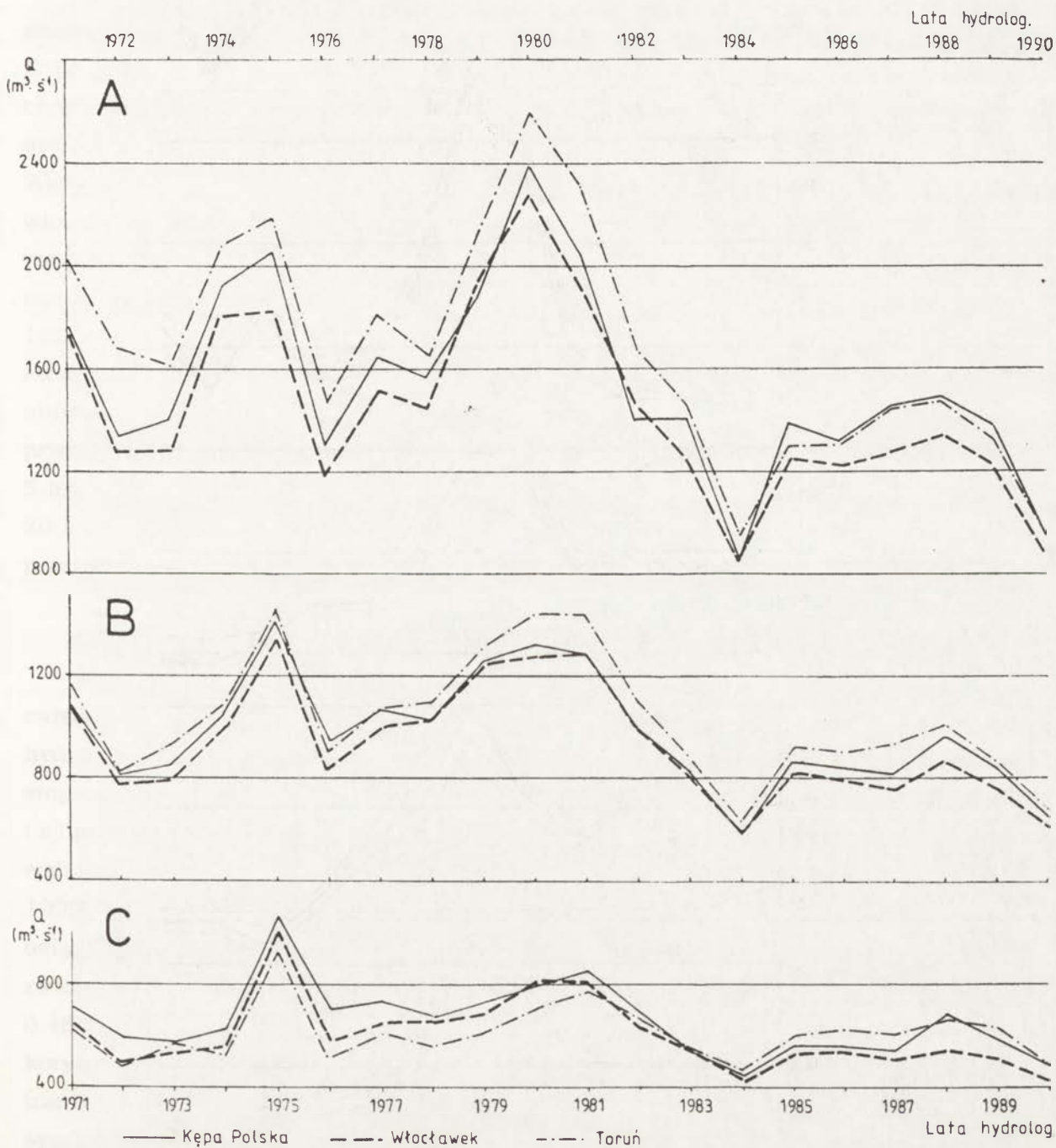
The straight regression and correlation coefficients (r) mean annual discharges of Vistula river gauge station Kępa Polska and the same data for Włocławek (dam) and Włocławek water gauge station for period 1971-1990

5.2. CHARAKTERYSTYKA HYDROLOGICZNA DOLNEJ WISŁY W LATACH 1971 - 1990

Analizowany 20-letni okres istnienia zbiornika wrocławskiego charakteryzował się generalnie dwoma okresami wilgotnymi z tendencją obniżania się stanów wody w drugiej połowie lat osiemdziesiątych (ryc. 7, 9). Podczas lat wilgotnych, przypadających na lata hydrologiczne 1975, 1979, 1980, 1981, średnie roczne przepływy we wszystkich badanych punktach wodowskazowych wahały się od 1250 do 1450 m³s⁻¹ (ryc. 9B, tab. 7-9). W tym samym okresie średnie roczne maksymalne przepływy mieściły się w granicach 2100-2500 m³s⁻¹ (ryc. 9A), natomiast średnie roczne minimalne wynosiły od 700 do 850 m³s⁻¹ (ryc. 9C). Tym dwóm okresom wilgotnym towarzyszą trzy niżówki z czterema minimummi przypadającymi na lata hydrologiczne 1972/1973, 1976, 1984 i 1990. Podczas ich trwania średnie roczne przepływy Wisły uległy zmniejszeniu o prawie 40% w stosunku do przepływów w latach wilgotnych (ryc. 9B). Szczególnie niskimi stanami (przepływami) wody charakteryzuje się Wisła w ostatnich sześciu analizowanych latach. W latach 1984 i 1990 osiąga na całym swym dolnym odcinku minima rzędu 570-640 m³s⁻¹ wody (ryc. 9B). Tę tendencję spadkową przepływów Wisły od maksimum przypadającego na rok 1980 do minimum w 1984 można prześledzić na podstawie przebiegu średnich rocznych wyrównanych przepływów przedstawionych na rycinie 7.

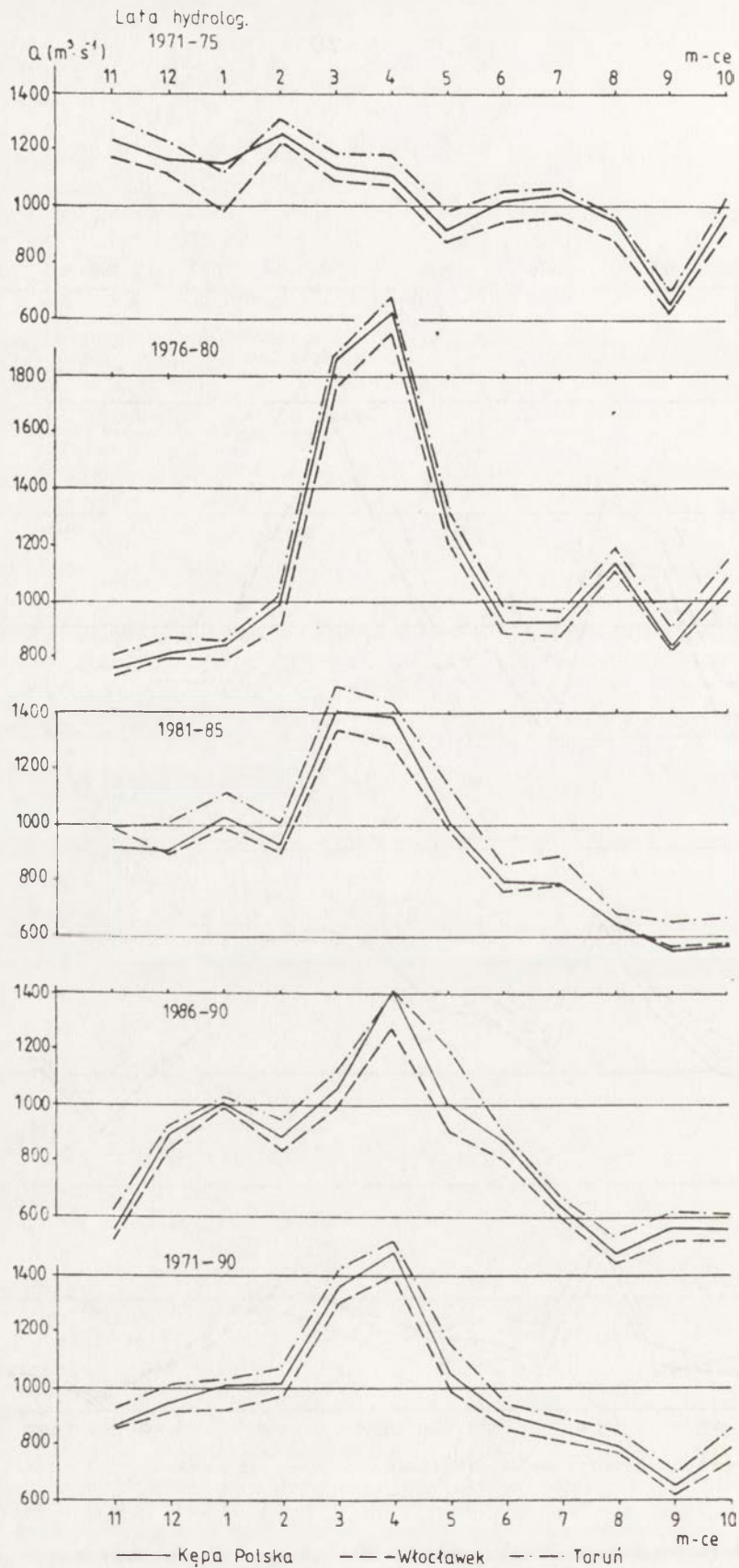
Charakterystyczną cechą reżimu hydrologicznego Wisły w obrębie zbiornika wrocławskiego jest jego wpływ na zmniejszenie przepływów rzeki zarówno w strefie przepływów przeciętnych, średnich rocznych maksymalnych, jak i minimalnych (ryc. 9). Tylko w sporadycznych przypadkach i to w strefie przepływów ekstremalnych, ta prawidłowość nie występuje. Wówczas to odpływ wód ze zbiornika jest większy niż na początku badanego odcinka (Wyszogród, Kępa Polska).

Biorąc pod uwagę średnie roczne przepływy Wisły w profilach: Kępa Polska, Włocławek (stopień i wodowskaz) i Toruń, ustalono związki korelacyjne między nimi (ryc. 8). Z wielkości współczynników korelacji liniowej wynika, że pomiędzy nimi występuje ścisła - funkcyjna zależność. Dotyczy to szczególnie punktów pomiarowych Włocławek - zaporą (dane godzinne) i Włocławek - wodowskaz (limnigramy + krzywa konsumpcyjna), gdzie wynosi ona 1. Ustalając, na podstawie równań prostych regresji, wielkości przepływów Wisły w stosunku do przeciętnego z okresu 1971-1990 przepływu w Kępie Polskiej wynoszącego 977 m³s⁻¹ (tab. 7) to jest on o 40 m³s⁻¹ mniejszy w punkcie pomiarowym Włocławek zaporą i o 55 m³s⁻¹ większy w Toruniu. Oznacza to ponad 4% utratę wód Wisły w strefie zbiornika (parowanie), a następnie jej uzupełnienie (dopływy) na odcinku prawie 60 km długości. Ten trend malejącego przepływu Wisły w strefie zbiornika i jego przyrostu poniżej stopnia wodnego zachowuje się także w odniesieniu do lat wilgotnych oraz suchych (ryc. 8, proste równoległe), przy czym występujące między tymi wartościami rozbieżności są wprost proporcjonalne do przepływów w Toruniu i odwrotnie proporcjonalne we Włocławku.



Ryc. 9. Średnie roczne maksymalne (A), przeciętne (B) i minimalne (C) przepływy Wisły w profilu wodowskazowym Kępa Polska, Włocławek (zapora) i Toruń dla lat hydrologicznych 1971-1990

Mean annual maximal (A), average (B) and minimal (C) discharges of Vistula river in profile of water gauge station Kępa Polska, Włocławek (dam) and Toruń for period 1971-1990



Ryc. 10. Średnie miesięczne (pentadowe) przepływy Wisły w profilu wodowskazowym:
Kępa Polska, Włocławek (dopływ do zbiornika), Toruń
Mean monthly (equalize for 5 month) discharges of Vistula river in profile of water gauge station
Kępa Polska, Włocławek (inflow to reservoir), Toruń

Przepływy Wisły ujęte jako wartości średnie miesięczne dla okresów pięcioletnich i całego analizowanego okresu 1971 - 1990 w trzech zasadniczych przekrojach hydrometrycznych: Kępa Polska, Włocławek-zapora i Toruń, obrazuje rycina 10. Pierwsze pięciolecie 1971-1975 charakteryzowało się w miarę wyrównanymi przepływami w ciągu roku z ogólną tendencją malejącą od zimy do jesieni. Przeciwnością takiego przebiegu przepływów (stanów) wody Wisły jest następny okres pięciolecia 1976-1980, w którym zaznaczyła się wyraźna kulminacja wiosenna (marzec-kwiecień), poprzedzona i zakończona okresami niżówkowymi. Nieznacznej modyfikacji tego ogólnego przebiegu przepływów w skali przeciętnego roku dokonały letnie opady deszczu, powodując utworzenie małej kulminacji w lipcu. W kolejnych pięcioleciach 1981-1985 i 1986-1990 obserwuje się powtórzenie sytuacji hydrologicznej z okresu poprzedniego 1976-1980, przy czym zaznacza się ogólna tendencja zmniejszania przepływów; obniżanie się kulminacji wiosennej i pogłębianie niżówki jesiennej oraz stały wzrost przepływów w styczniu. Wypadkową wyżej przedstawionych danych dla czterech okresów 5-letnich jest wykres obrazujący przebieg przepływów Wisły w ciągu roku dla całego okresu 20-letniego. Uwidoczniła on w sposób jeszcze bardziej wyraźny występowanie jednej kulminacji przepływów w okresie wiosny (kwiecień) oraz jednej niżówki w jesieni (wrzesień).

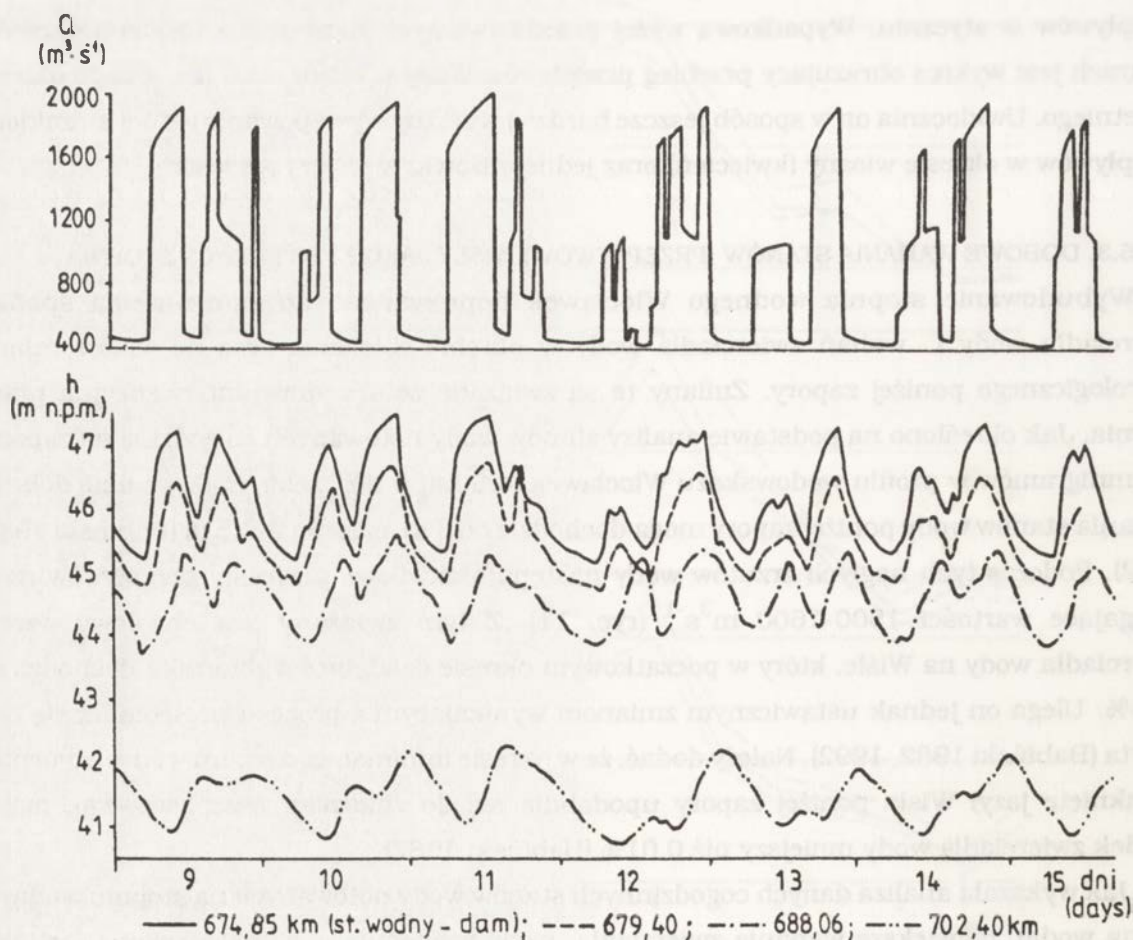
5.3. DOBOWE WAHANIA STANÓW (PRZEPŁYWÓW) WISŁY JAKO EFEKT PRACY STOPNIA

Wybudowanie stopnia wodnego Włocławek doprowadziło do zmniejszenia spadku zwierciadła wody i wahań zwierciadła wody w obrębie zbiornika oraz do zmian reżimu hydrologicznego poniżej zapory. Zmiany te są związane ze szczytowo-interwencyjną pracą stopnia. Jak określono na podstawie analizy stanów wody notowanych co godzinę na zaporze i z limnigramów w profilu wodowskazu Włocławek (4,6 km w dół rzeki), maksymalne dobowe wahania stanów wody poniżej zapory mogą dochodzić do 3 m, częściej 2-2,5 m (Babiński 1982, 1992). Podczas tych nagłych zrzutów wody następują chwilowe przyrosty przepływów rzeki osiągające wartości $1500-1600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (ryc. 11). Z tym związany jest chwilowy wzrost zwierciadła wody na Wiśle, który w początkowym okresie działalności zbiornika dochodził do 0,45%. Ulega on jednak ustawicznym zmianom wynikającym z procesu pogłębiania się dna koryta (Babiński 1982, 1992). Należy dodać, że w okresie minimalnego zrzutu wód ze zbiornika (zamknięte jazy) Wisła poniżej zapory upodabnia się do zbiornika przepływowego, mając spadek zwierciadła wody mniejszy niż 0,01% (Babiński 1982).

Jak wykazała analiza danych godzinnych stanów wody notowanych na stopniu wodnym (dolna woda), największe wahania zwierciadła wody występują w okresie trwania średnich przepływów (ryc. 12, 13). Wówczas to obserwuje się najczęściej dwie kulminacje dobowe przypadające w godzinach nocnych oraz południowych (ryc. 12). Zdarza się jednak, że nie dokonuje się zrzutu wód ze zbiornika w czasie południa, względnie jest on nieznaczny - mniejszy niż nocny. Innym zaś razem notuje się długotrwałą-kilkunastogodzinną kulminację przedzieloną kilkugodzinnym (porannym) ograniczeniem wypływu wód ze zbiornika (ryc. 12).

Te dwie wyżej opisane sytuacje wahań stanów wody różnicujące rytm pracy stopnia wodnego charakterystycznego dla przeciętnych przepływów rzeki, uzależnione są głównie od dopływu wód do zbiornika. W przypadku przepływów Wisły mieszczących się w strefie stanów średnich - średnich niskich, czas trwania kulminacji bądź ich ilość (jedna lub dwie) zmniejsza się (ryc. 12, 15-19.08.1991). Natomiast w strefie stanów wyższych niż średnie następuje wydłużanie czasu trwania niżówek do połączenia się z kulminacją dzienną włącznie (ryc. 12, 15-19.03.1991). Ponadto podnosi się zarówno pik kulminacji jak i minimum niżówki dziennej.

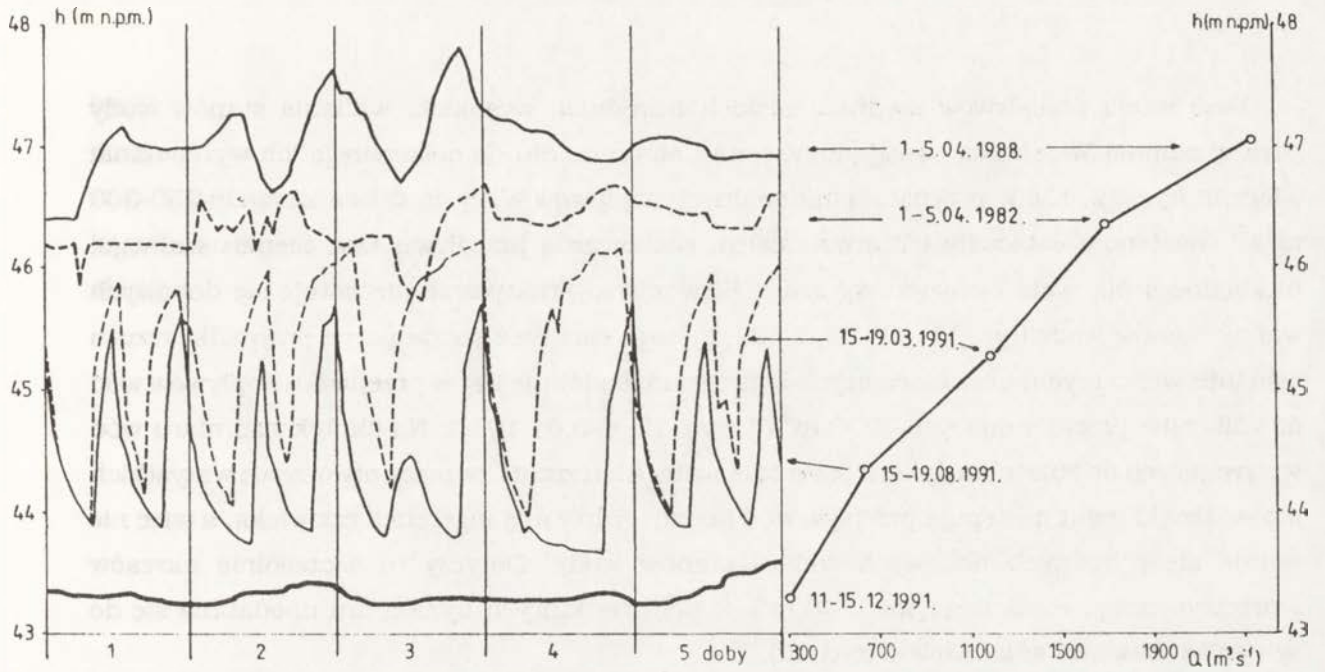
Wyżej omówione dwa charakterystyczne przebiegi dobowych wahań stanów wody poniżej stopnia wodnego, mogą być modyfikowane przez dodatkowe zrzuty wód, tzw. interwencyjnych (m.in. dla polepszenia warunków żeglugowych). Dzięki nim dobowe (krótkookresowe) przepływy Wisły stają się bardziej zróżnicowane, nieregularne (ryc. 11).



Ryc. 11. Przykład zrzutu wód ze zbiornika wrocławskiego (Q) i jego wpływ na wahania stanów wody (h) poniżej stopnia (674,85 km) i w odległości 4,55 km, 13,21 km i 27,55 km w okresie od 9 do 15 grudnia 1974 r.

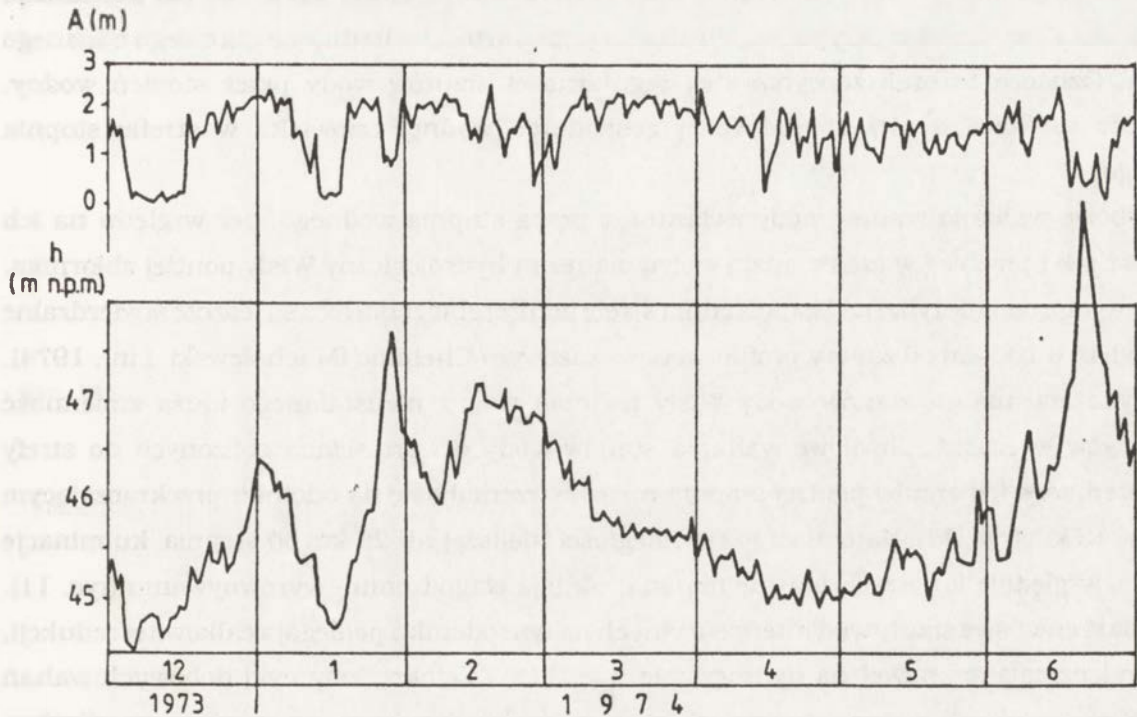
Example of water outflow from Wrocław reservoir (Q) and its influence on fluctuation of water level (h) below the dam (674.85 km) and at a distance 4.55 km, 13.21 km and 27.5 km downstream from the dam

In period from 9 to 15 December 1974



Ryc. 12. Godzinne wahania stanów wody Wisły poniżej stopnia wodnego Włocławek (dolna woda) podczas przepływów: pełnokorytowego ($2198 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) i $1689 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

The one-hour fluctuations of Vistula water level downstream from the Włocławek dam during average discharges $2198 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (full bank stage) and $1689 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$



Ryc. 13. Przykład średnich dobowych stanów wody (h) i ich amplitud (A) poniżej stopnia wodnego Włocławek obliczonych z danych codziennych w okresie od grudnia 1973 r. do czerwca 1974 r. włącznie

Examples of mean 24-hours water level fluctuations (h) and their amplitudes (A) below the Włocławek reservoir computed as one-hours data for period December 1973 - July 1974

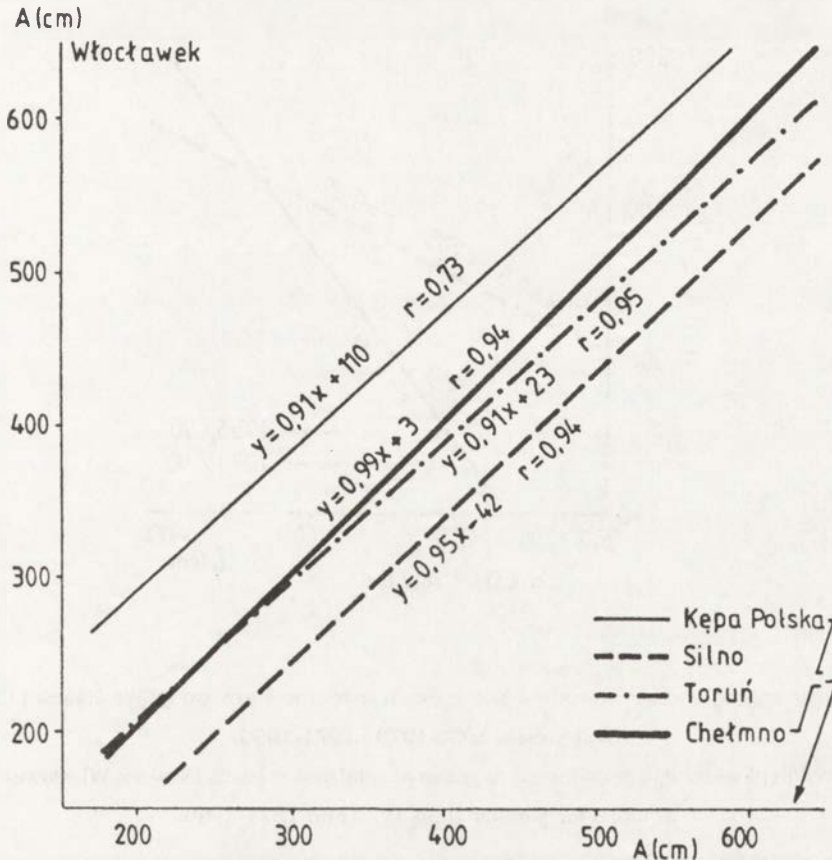
Poza strefą przepływów średnich niskich i średnich wysokich, wahania stanów wody poniżej stopnia Włocławek ulegają znacznemu ograniczeniu do całkowitego ich wyrównania włącznie (ryc. 12, 13). W przypadku minimalnych dopływów Wisły do zbiornika rzędu $250-300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, następuje całkowity ich zrzut celem zachowania przepływu tzw. nienaruszalnego, niezbędnego dla życia biologicznego rzeki. Wówczas to praktycznie nie notuje się dobowych wahań stanów wody (ryc. 12, 11-15.12.1991). Mogą zaistnieć sporadyczne przypadki zrzutu wód interwencyjnych, urozmaicających hydrogram. Podobnie jest w przypadku dopływów wód do zbiornika przekraczających $1750 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (ryc. 12, 1-5.04.1988). Na skutek nadmiaru wód wpływających do zbiornika dokonuje się całkowitego ich zrzutu poprzez otwarcie wszystkich jazów. Dzięki temu następuje przepływ wód bez zdecydowanej ingerencji człowieka, a więc nie notuje się wyraźnych dobowych wahań stanów wody. Dotyczy to szczególnie okresów z przepływami przekraczającymi $2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, podczas których hydrogram upodabnia się do sytuacji z czasu trwania niżówki (ryc. 12).

Generalnie stwierdza się występowanie największych wahań stanów wody przy przepływach w strefie stanów średnich minimalnych i średnich maksymalnych z kulminacjami w czasie godzin południowych i nocnych oraz niżówkami porannymi i wieczornymi. Wahania te ulegają następnie redukcji podczas niżówek oraz w okresie trwania wezbrań. Te prawidłowości dobowych wahań stanów wody poniżej zbiornika nie zaznaczają się jednak tak wyraźnie w przypadku ich analizy jako wartości uśrednione dla całego badanego okresu. Oznacza to brak zdecydowanej regularności zrzutów wody przez stopień wodny. Świadczy to także o niesystematycznej gospodarce wodnej człowieka w strefie stopnia wodnego.

Dobowe wahania stanów wody związane z pracą stopnia wodnego, bez względu na ich wielkość jak i przebieg w czasie, mają wpływ na reżim hydrologiczny Wisły poniżej zbiornika. Oddziałują one nie tylko na bezpośrednią strefę poniżej zbiornika lecz są jeszcze stwierdzalne w odległym o 130 km od zapory profilu wodowskazowym Chełmno (Machalewski i in., 1974). Jak wykazała analiza stanów wody Wisły podczas ruchu nieustalonego (duża zmienność przepływów w czasie), chwilowe wahania stanów wody o wartościach zbliżonych do strefy bezpośredniego ich zrzutu poniżej stopnia rozprzestrzeniły się na odcinku przekraczającym długość 13 km (ryc. 11). Natomiast już w odległości większej niż 25 km od stopnia kulminacje dobowe, względnie im przeciwstawne minima, ulegają złagodzeniu - wyrównywaniu (ryc. 11). Natomiast chwilowe zrzuty wód interwencyjnych na tym odcinku podlegają całkowitej redukcji, nie uwidaczniają się nawet na hydrogramie (ryc. 11). Tak określony cykl dobowych wahań stanów wody, jak już wspomniano wyżej, ulega niemal całkowitemu wygaśnięciu w odległym o 130 km punkcie hydrometrycznym Chełmno.

Związki korelacyjne rocznych amplitud wahań stanów wody w Kępie Polskiej, Silnie, Toruniu i Chełmnie w odniesieniu do stopnia Włocławek - dolna woda, obrazuje rycina 14. Z przebiegu prostych regresji wynika, że tylko w wyżej usytuowanym od zbiornika przekroju

hydrometrycznym w Kępie Polskiej amplitudy roczne wahań stanów wody są mniejsze niż poniżej stopnia wodnego. Fakt ten w wyraźny sposób uwidoczniła wpływ pracy stopnia na wzrost amplitudy wahań stanów wody na dolnej Wiśle. Świadczą o tym również współczynniki korelacji liniowej, które są niemal funkcyjne dla wodowskazów znajdujących się poniżej stopnia, zaś znacznie ($r = 0,73$) odbiega od nich ta wielkość dla Kępy Polskiej (brak wpływu).

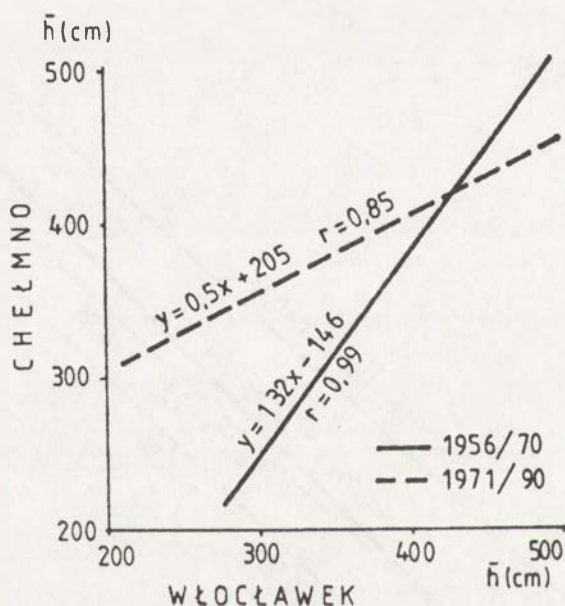


Ryc. 14. Proste regresji i współczynniki korelacji liniowej (r) rocznych amplitud wahań stanów wody we Włocławku (y) i w punktach obserwacyjnych Kępa Polska, Silno, Toruń i Chełmno (x) dla lat hydrologicznych 1971-1990

The straight regression and correlation coefficients (r) annual amplitudes of water level fluctuation in Włocławek (y) and the data for Kępa Polska, Silno, Toruń and Chełmno (x) water gauge stations for period 1971-1990

Interesująco przedstawia się przebieg prostych regresji rocznych amplitud wahań stanów wody we Włocławku w porównaniu z wynikami odnotowanymi w punktach obserwacyjnych w Silnie, Toruniu i Chełmnie (ryc. 14). Ich wzajemny układ świadczy o większych niż na stopniu - dolna woda wartościach ekstremalnych wahań stanów wody w odległym o 45 km Silnie oraz Toruniu (60 km), przybierając współmierne wartości w profilu hydrometrycznym Chełmno. To nietypowe zjawisko, będące przeciwstawieniem procesu łagodzenia kulminacji

stanów wody w dół rzeki - o czym wspomniano wyżej, jest związane ze zmienną morfologią koryta Wisły spowodowaną pracami regulacyjnymi (Babiński 1985, 1992). Zmiany morfologii dna koryta spowodowane procesem erozji wglębnej poniżej zbiornika wynikają także z analizy prostych regresji związków wodowskazów Włocławek i Chełmno (ryc. 15).



Ryc. 15. Proste regresji związków wodowskazów (średnie roczne stany wody) Włocławek i Chełmno dla okresów 1956-1970 i 1971-1990

The straight regression of water gauge connections mean annual water levels between Włocławek and Chełmno stations for periods 1956-1970 and 1971-1990

6. ILOŚCIOWA I JAKOŚCIOWA OCENA SEDYMENTACJI W ZBIORNIKU

Przegrodzenie Wisły we Włocławku i powstanie zbiornika doprowadziło do przerwania procesu ciągłości ruchu rumowiska wleczonego. Rozpoczął się najważniejszy dla istnienia zbiornika i jego eksploatacji proces wypełnienia jego czaszy osadami wnoszonymi tu przez Wisłę. W założeniach projektowych przyjęto, że w zbiorniku włocławskim rok rocznie osadzi się około 0,361 mln m³ rumowiska wleczonego (Aleksiński 1955). Od początku istnienia zbiornika włocławskiego problematyka ta przyciąga uwagę badaczy i służb eksploatacyjnych. W Instytucie Budownictwa Melioracyjnego i Rolniczego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego wykonano szereg ekspertyz i prac naukowych na temat tak zwanego „zamulania” realizowanego zbiornika „Włocławek” (m.in.: Dąbkowski 1971). W prognozie podano, że średnia roczna wartość akumulacji będzie wynosić około 1 mln m³, z czego 53% stanowić będzie rumowisko unoszone. Przyrost mączszości odkładów rumowiska nie powinien przekraczać

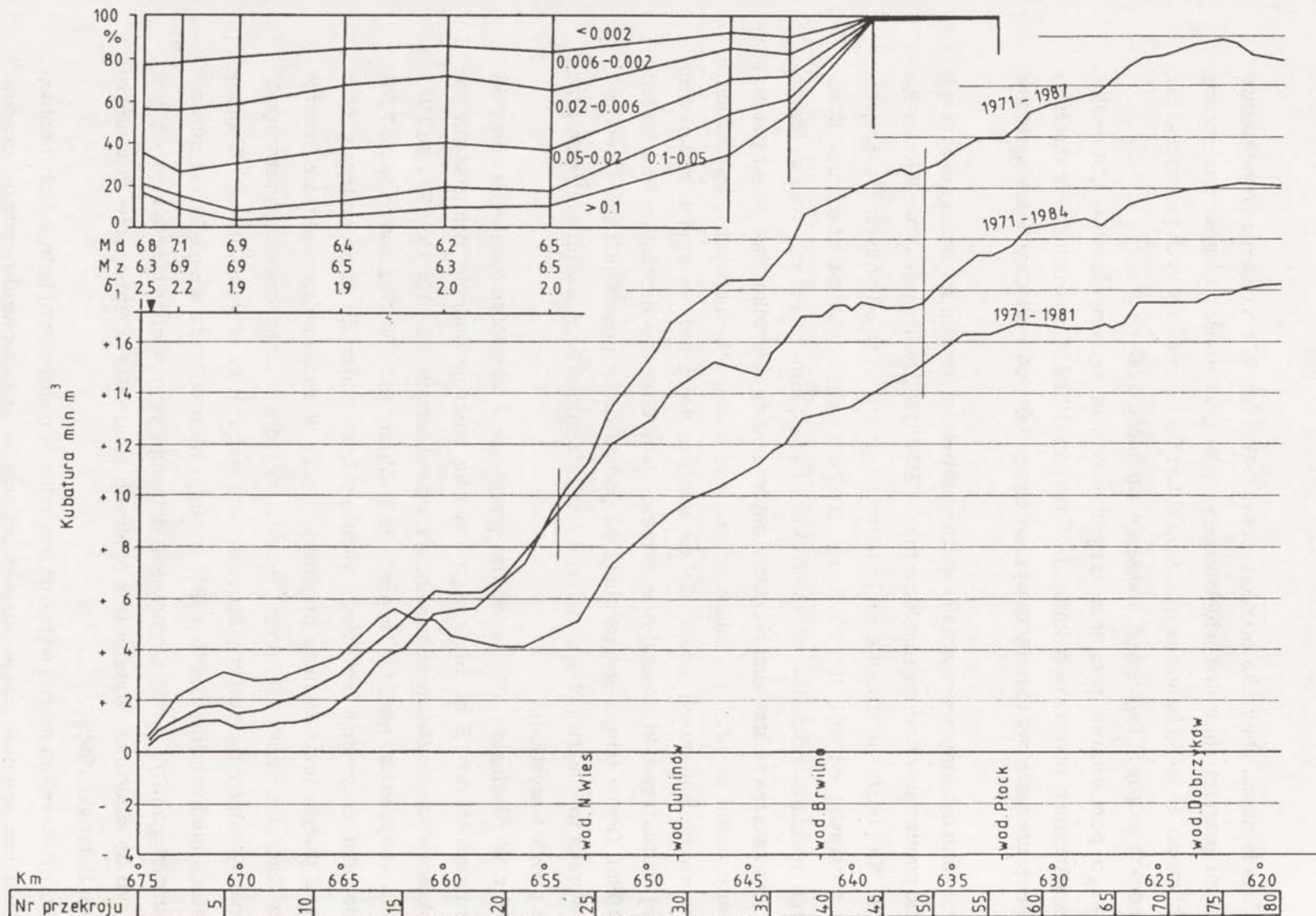
5 cm na rok. Czas istnienia zbiornika oceniono na 600-650 lat. W przypadku powstawania następnych stopni powyżej zbiornika wrocławskiego jego „żywołność” ulegnie znacznemu wydłużeniu. Obliczono, że po 50 latach eksploatacji zbiornika rzędne krzywych piętrzenia, dla przepływów średnich rocznych i wyższych, mogą się podnieść o 30-40 cm.

Szczegółowego porównania prognozowanych wartości sedymentacji w zbiorniku z wynikami bezpośrednich pomiarów dokonał J. Skibiński (1985). Stwierdził on, że materiał jakim dysponujemy nie może być uznany za wystarczający, tak pod względem ilościowym, jak i jakościowym.

Spośród wszystkich badań sedymentacji w zbiorniku wrocławskim na szczególną uwagę zasługują wyniki pomiarów w naturze uzyskane przez CBSiPBW „Hydroprojekt” we Wrocławku (Śliwiński 1979). Na podstawie zmian głębokości rejestrowanych w 83 stałych przekrojach w terenie (o rozstawie od 400 do 1000 m) „Hydroprojekt” dokonał szacunku ilości i przestrzennego rozkładu odkładów w zbiorniku wrocławskim. Oceniono roczne tempo sedymentacji i jego związek ze średnimi rocznymi dopływami do zbiornika. Tak zwany pomiar zerowy wykonany został w 1971 r., dalsze pomiary w odstępach rocznych i trzyletnich. Hydroprojekt w swych badaniach skupił się na analizie ilościowej, pomijając całkowicie problem bliższej charakterystyki akumulowanego materiału. Lukę tę wypełniają wyniki badań M. Banacha (1985). Ocena tempa sedymentacji na podstawie bezpośrednich pomiarów jest dość złożona. Wynika to z faktu poboru materiału na cele budowlane, a z prowadzenia prac bagrowniczych przede wszystkim.

Już w 1978 r. W. Śliwiński (1979) stwierdza powstanie w zbiorniku lokalnych odsypisk rumowiska o miąższości do 4,5 m. Skalę tego zjawiska ilustruje najlepiej zmniejszanie się średnich głębokości w kontrolowanych przekrojach poprzecznych (tab. 10). Od 1971 do 1987 roku w zbiorniku wrocławskim osadziło się około 29,8 mln m³ osadów. Stanowi to około 7,5% pojemności zbiornika, oczywiście bez uwzględnienia poboru materiału piaszczystego i robót bagrowniczych. Z dużym przybliżeniem przyjmuje się, że w analizowanym okresie, rocznie odkładało się w zbiorniku około 1,9 mln m³ osadów. W jednym z opracowań „Hydroprojekt” stwierdza, że maksymalne tempo rocznej sedymentacji w zbiorniku sięga 4,0 mln m³ (Procesy ... 1981). W latach suchych (np. 1983, 1984) w ciągu roku odkłada się około 1,0 mln m³ materiału piaszczystego (Król 1988). Czynnikiem decydującym o wielkości sedymentacji jest wielkość dopływu do zbiornika. Wynika to z ogólnych zależności w transporcie fluwialnym (Skibiński 1985; Babiński 1992).

W zbiorniku wrocławskim można wyróżnić trzy odcinki o zmiennym tempie sedymentacji (ryc. 16). Podział ten znajduje swoje odzwierciedlenie w zróżnicowaniu rodzaju osadów. W dolnym odcinku zbiornika od km 675 (stopień) do km 655 stwierdzona sedymentacja wyniosła około 5-8 mln m³. Daje to roczny przyrost rzędu 0,3-0,5 mln m³. Środkowy odcinek, od km 645,5 do km 638, charakteryzuje się największym przyrostem ilości osadów. W okresie



Ryc. 16. Krzywe bilansu rumowiska w zbiorniku Włocławek (Król 1988) na tle granulometrii osadów dennych w przekroju podłużnym zbiornika w sierpniu 1980 r. (według: M. Banach 1985)

The curves of the bed load balance accumulated in Włocławek reservoir (Król 1988) on the background of grain-size of bed material deposited in longitudinal profile of reservoir in August 1980 (after M. Banach 1985)

1971-1987 osadziło się tu około 15-20 mln m³. Daje to roczny przyrost rzędu 0,9-1,25 mln m³. W górnym odcinku zbiornika (km 635-km 617,4) według szacunku Hydroprojektu osadziło się w tym rejonie około 7-8 mln m³ materiału. Odpowiada to rocznemu przyrostowi osadów rzędu 0,4-0,5 mln m³. Największe tempo sedimentacji stwierdzono w rejonie Płocka (km 632-km 635). W odcinku zbiornika o długości zaledwie 3 km średnio w roku odkłada się 0,25 mln m³ piasku (Śliwiński 1987).

Tabela 10. Wybrane przykłady największych przyrostów (1) i spadków (2) średnich głębokości przekrojów poprzecznych zbiornika Włocławek w okresie 1971- 1987 (według: D. Król 1988)

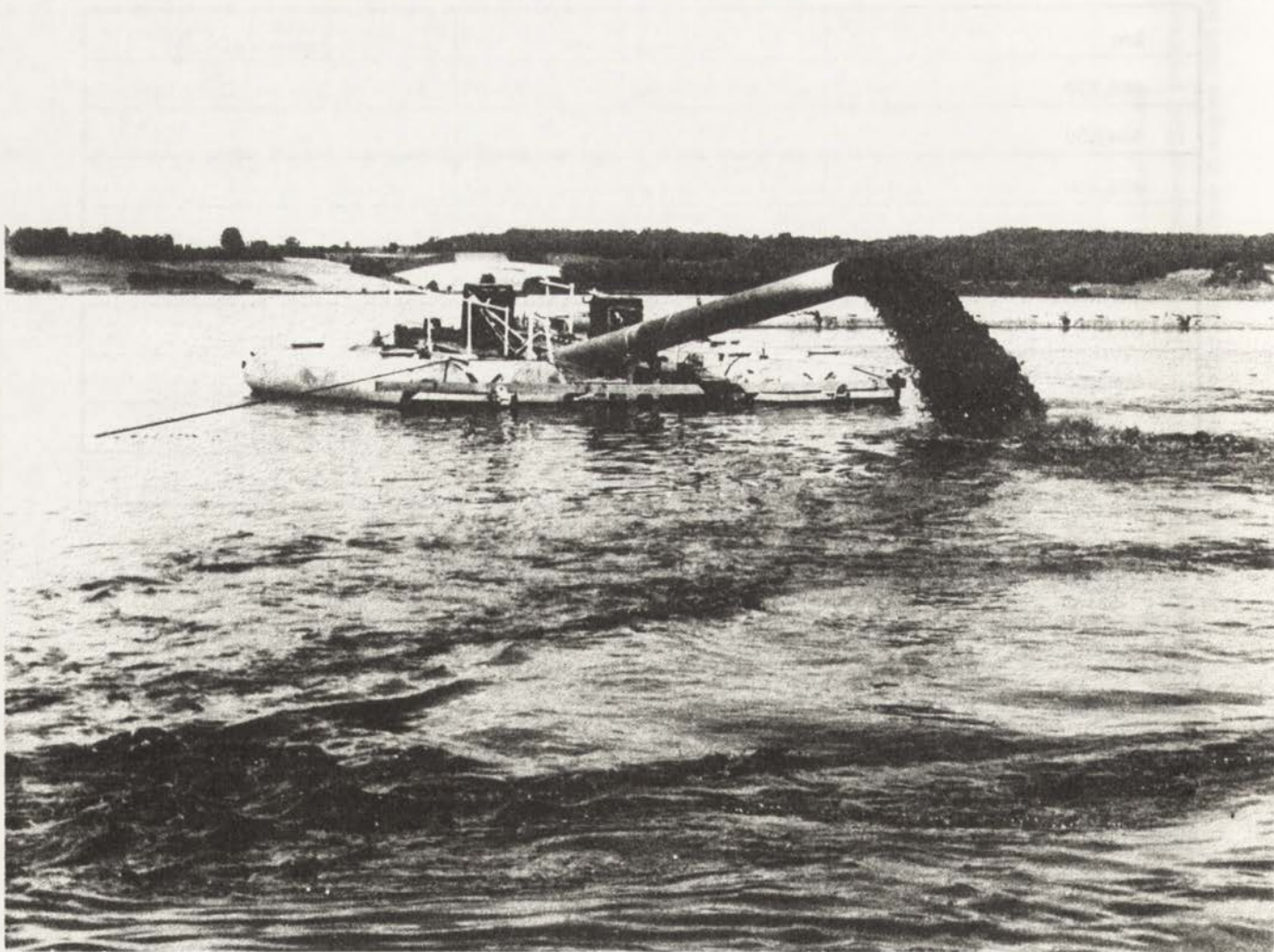
Selected examples of maximal increasements (1) and decreaselements (2) of mean depth of the Włocławek reservoir cross-sections in period 1971-1987 (after D. Król 1988)

km	(1) spływanie (cm)	(2) pogłębianie (cm)
660,370	84	-
654,550	83	-
653,380	83	-
649,10	124	-
634,30	-	107
633,10	-	104
630,000	126	-
618,780	-	116
617,000	-	51

Potrzebę przeprowadzenia szeroko zakrojonych prac bagrowniczych czaszy zbiornika służby eksploatacyjne stwierdziły już w pierwszych latach po spiętrzeniu. Wskazywano na potrzebę korekty pierwotnej rzeźby czaszy zbiornika i likwidację tworzących się odkładów piasku. Zakres prac bagrowniczych był wielokrotnie zmieniany. Ogólna koncepcja obejmuje wykonanie wzdłuż zbiornika tak zwanego przekopu, który ułatwi przepływ wód, lodu i rumowiska. Chodzi głównie o wprowadzenie tych dwóch ostatnich w najgłębsze partie zbiornika. W pierwszej kolejności przystąpiono do likwidacji płytko zatopionych kęp znajdujących się na trasie spływu (napływania) lodu. Sytuacje zatorowe w marcu 1979 i w styczniu 1982 r. doprowadziły do przyspieszenia decyzji o zintensyfikowaniu prac bagrowniczych połączonych między innymi z modernizacją i podwyższaniem zapór bocznych (fot. 3 i 4). W okresie największego nasilenia robót na zbiorniku pracowało równocześnie do 20 pogłębiarek różnego typu. Docelowa objętość prac bagrowniczych miała wynieść 20 mln m³. Planowane i realizowane prace bagrownicze były największymi jakie przeprowadzono dotychczas

na wodach śródlądowych w Polsce (Śliwiński 1987). Ich zakres najlepiej ilustruje poniższe zestawienie:

1973-76 r.	1,0 mln m ³
1979-81 r.	2,332 mln m ³
1982 r.	1,991 mln m ³
1983 r.	1,813 mln m ³
1984 r.	1,720 mln m ³
1985 r.	1,939 mln m ³
1986 r.	2,820 mln m ³
1987 r.	1,293 mln m ³
1973-87 r.	14,908 mln m ³



Fot. 3. Pogłębiarka bagrująca osady denne akumulowane w górnej części zbiornika wrocławskiego
River drudge-vessel dredging of the bed material accumulated in upper part of Wrocław reservoir



Fot. 4. Prace bagrownicze rumowiska wleczonego Wisły akumulowanego w górnej części zbiornika włocławskiego
Dredging works of the bed material accumulated in upper part of Włocławek reservoir

Powyższe wartości traktować należy jako przybliżone. Wynika to z dużych trudności w szacowaniu objętości urobku z bagrowania. Metoda bezpośredniego pomiaru objętości wyrobiska, podobnie jak i metoda obmiaru objętości urobku nie daje dokładnych wyników. Dodatkowym utrudnieniem jest też znaczne tempo sedymentacji, które w niektórych miejscach zbiornika było większe od postępu prac bagrowniczych (Śliwiński 1987). Przedstawione w zestawieniu ogromne ilości materiału „nie zostały wywiezione” poza zbiornik. Są to szacunkowe objętości osadów piaszczystych, które zostały przemieszczone w obrębie niewielkiego obszaru w celu osiągnięcia tak zwanego przekopu - „drogi” uprzywilejowanego przepływu (ryc. 6). Większość materiału piaszczystego wydobytego ze zbiornika, transportowana była rurociągami pod brzegi. Namyte odkłady piasku mają szerokość około 100 m i miąższość do 5 m ponad zwierciadło wody. Część tego materiału przeznaczona była na podwyższenie zapór bocznych i zasypanie bocznych subakwalnych koryt. Z zagospodarowaniem wydobywanych ze zbiornika mas osadów wiąże się wiele problemów technicznych i przyrodniczych. Wykraczają one poza zakres niniejszej pracy.

W związku z powyższymi faktami nie można porównywać objętości materiału objętego bagrowaniem, z objętością materiału odkładającego się w zbiorniku. Dotychczasowe wyniki obserwacji wskazują na konieczność kontynuacji prac bagrowniczych. Jest to niezbędne dla utrzymania i poprawy warunków hydraulicznych napływania i przepływania lodu. W. Śliwiński (1987) od wielu lat wskazuje na potrzebę eksploatacji piasku (400-600 tys. ton rocznie) na cele budowlane w górnej części zbiornika (km 621-630). Obok ewidentnych korzyści w postaci doskonałego materiału budowlanego, ograniczy się dopływ rumowiska i uniknie degradacji środowiska (zwirownie). Wymaga tego poważne zagrożenie powodziami zatorowymi. Przedstawiona wyżej sytuacja ulegnie radykalnej poprawie dopiero po zrealizowaniu kolejnego stopnia wodnego powyżej Płocka.

Dotychczasową analizę uzupełnić trzeba o informacje na temat rodzaju materiału deponowanego w zbiorniku. Przestrzenne zróżnicowanie rodzaju osadów dennych jest doskonałym wskaźnikiem warunków przepływu przez zbiornik. Zadania tego podjął się M. Banach (1985). Na podstawie wyników analiz składu granulometrycznego osadów i zawartości w nich substancji organicznej podzielił zbiornik wrocławski na dwie części, rozdzielone strefą przejściową. Dolna część o długości około 35 km (km 675 - km 640) charakteryzuje się przewagą części drobnych (poniżej 0,1 m średnicy) (ryc. 16). Jedynie w miejscach o głębokości mniejszej od 2,5-3,5 m (głównie strefy brzegowe) występują osady grubsze. Górna część zbiornika powyżej km 646 posiada znacznie grubsze i wysortowane osady facji korytovej, o podobnym składzie mechanicznym jak w rzece swobodnie płynącej. Tak wyraźne zróżnicowanie charakteru osadów jest efektem spadku prędkości przepływu w cofce stopnia wodnego. Położenie strefy rozdziału M. Banach (1985) wiąże z graniczną prędkością przepływu $0,24 \text{ ms}^{-1}$. Dzieli ona zbiornik na część dolną o przewadze cech limnicznych (zbiornikową) i górną o przewadze cech potamicznych (rzeczną). Strefa rozdziału zmienia swoje położenie, co jest naturalną konsekwencją zmian prędkości przepływu w zależności od wielkości dopływu.

Precyzyjne powiązanie zmian warunków przepływu wywołanych spiętrzeniem rzeki z przebiegiem i natężeniem sedymentacji wymaga przeprowadzenia szczegółowych badań. Wybudowanie zbiornika wrocławskiego doprowadziło do powstania tak zwanej luki w ciągłości transportu fluwalnego, której konsekwencje obserwuje się w dolnym stanowisku stopnia. Przejawiają się one we wzmożonej erozji wgłębnej koryta (Babiński 1982, 1992).

7. WPŁYW EROZJI WGŁĘBNEJ NA ZJAWISKA HYDROLOGICZNE PONIŻEJ ZBIORNIKA

Zahamowanie transportu rumowiska wlezonego akumulowanego w całości w zbiorniku oraz dobowe wahania stanów wody dające chwilowe przyrosty energii kinetycznej i potencjalnej rzeki przyczyniają się do procesu erozji wgłębnej koryta poniżej stopnia (Babiński 1982, 1992). Efektem stałego obniżania się dna koryta poniżej stopnia są zmiany w przebiegu stanów wody. Fakt ten jest szczególnie widoczny przy porównaniu stanów wody wodowskazu Wrocławek ze

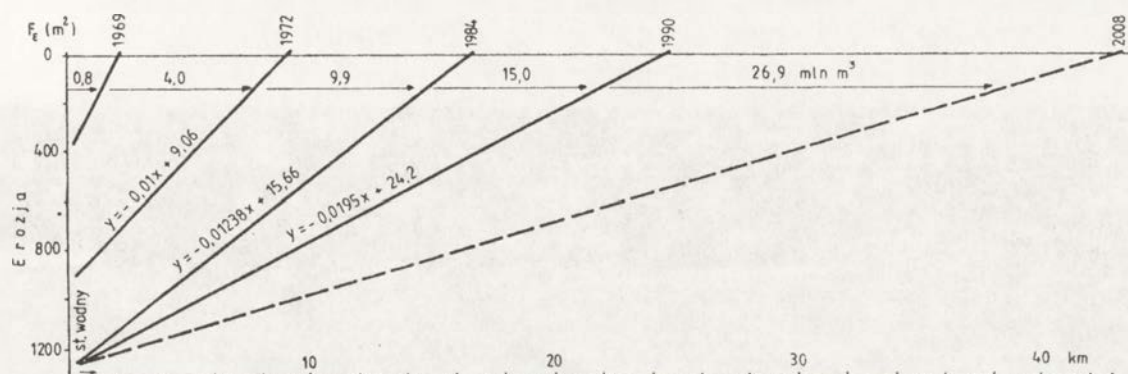
stanami punktu hydrometrycznego Chełmno dla okresu przed i po spiętrzeniu zbiornika wrocławskiego (ryc. 15). Analiza statystyczna średnich rocznych stanów ujęta w formie równań prostych regresji dla okresów 1956 - 1970 i 1971 - 1990 wykazała znaczne rozbieżności w ich przebiegu. Największe różnice między danymi tych wodowskazów wystąpiły w strefie stanów średnich niskich (różnica prawie 150 cm), minimalne zaś w strefie stanów średnich wysokich (połączenie prostych regresji). Ten rozbieżny charakter przebiegu prostych regresji związków wodowskazów dla dwóch różnych okresów wskazywałby na tendencję malejącą zmian koryta Wisły pod Wrocławkiem od erozyjnej strefy dennej do poziomu wysokich stanów wody. Już bowiem na wysokości odpowiadającej powierzchni nowopowstałej równiny zalewowej nie obserwuje się różnic w zachowaniu się stanów wody (Babiński 1992).

Nierównomierny rozwój procesu erozji wgłębnej w czasie i przestrzeni (Babiński 1992), a także praca stopnia wodnego sprawiły, że zmienił się spadek zarówno dna koryta jak i zwierciadła wody. Te dwie charakterystyki hydromorfologiczne koryta, w przypadku wpływu na nie erozji wgłębnej, przejawiają tendencje stałej, nieodwracalnej zmienności. Porównanie danych wodowskazowych ze stopnia wodnego - dolna woda z danymi limnigraficznymi we Wrocławku (4,6 km) wykazało, iż w pierwszych czterech latach działalności stopnia wodnego średni spadek zwierciadła wody zmalał od 0,196% do 0,109% na skutek obniżenia dna koryta na tym odcinku erozyjnym. Później tego typu pomiarów już nie prowadzono. Jedynym materiałem badawczym dającym kontynuację w określeniu zmian spadku dna i zwierciadła wody były proste regresje erozji wgłębnej, oparte na analizie przekrojów poprzecznych koryta (Babiński 1982, 1992) (ryc. 17). Z ich analizy statystycznej wynika, że w 1972 r. spadek dna koryta i zwierciadła wody podczas trwania średnich niskich stanów wody wynosił tylko 0,033%. W okresie występowania tzw. wody brzegowej wzrastał ponad dwukrotnie, osiągając wartość 0,078%. Są to więc wartości zanizone ponad trzykrotnie dla koryta ograniczonego stanem średniej niskiej wody i prawie 1,4-krotnie dla koryta wody brzegowej w stosunku do tych, które otrzymano drogą analizy hydrologicznej. Za przyczynę tych rozbieżności należy niewątpliwie uznać zastosowanie różnych metod badawczych, hydrologicznej i geomorfologicznej. Pierwsza z nich, bazująca na bezpośrednich pomiarach terenowych określa rzeczywisty spadek zwierciadła wody, będący elementem składowym reżimu hydrologicznego rzeki. Z kolei metoda geomorfologiczna, o charakterze pośrednim, obciążona jest większymi błędami pomiarowymi. Ma jednak tę zaletę, że daje możliwość określania warunków hydromorfologicznych koryta na odcinku dłuższym niż wyznaczają go profile hydrometryczne. Pozwala na badania tych zmian wraz z rozwojem całej strefy erozyjnej w czasie. Na tej między innymi podstawie stwierdzono, że po roku 1972 następował wzrost spadku dna koryta, a wraz z nim zwierciadła wody. W 1985 r. dla koryta ograniczonego średnim niskim stanem wody wynosił on już 0,063%, a dla wody brzegowej - 0,099% (przeciętnie 0,080%). Następne pomiary, przypadające w dziewiętnastym roku istnienia zbiornika, potwierdziły te tendencje wzrostowe. Ujawniły zarazem pewną stabilizację dna koryta w bezpośrednim sąsiedztwie zapory czołowej

(ryc. 17). Jest to niewątpliwie związane z zahamowaniem erozji wgłębnej przez trudno rozmywalne utwory denne w tej strefie koryta (fot. 5). Ten kierunek rozwoju dna koryta powodujący wzrost spadku zwierciadła wody będzie trwał do chwili osiągnięcia przez czoło strefy erozyjnej odcinka uregulowanego Wisły poniżej ujścia rzeki Tażyny (ryc. 17). Wówczas nastąpi jego wyrównanie i nawiązanie do spadku dna koryta i zwierciadła wody odcinka uregulowanego (Babiński 1992).



Fot. 5. Odcinek erozyjny koryta Wisły poniżej stopnia wodnego Włocławek (bezpośrednie sąsiedztwo zapory czołowej) o dnie pokrytym głazami (bruk). Fot. lipiec 1988 r.
Erosive segment of Vistula channel downstream from the Włocławek dam (close neighbourhood of the dam), of a bottom covered by stones (a pavement). Photo July 1988



Ryc. 17. Proste regresji tempa obniżania się koryta ($Fe - m^2$) - i ubytku materiału dennego ($mln m^3$) poniżej stopnia wodnego (km) dla poszczególnych lat badawczych z prognozą do 2008 roku
 The straight regression of the rate of river bed incision ($Fe - m^2$) and decrease of the bed material ($mln m^3$) downstream from the dam (km) for the investigated years and prognosis to 2008



Fot. 6. Nowo tworzony poziom zalewowy poniżej mostu drogowego we Włocławku (prawy brzeg), będący efektem procesów erozyjnych poniżej stopnia wodnego we Włocławku. Fot. lipiec 1988 r.

Newly formed flood plain upstream of the road-bridge in Włocławek (right bank), being an effect of erosive processes downstream from the Włocławek dam. Photo July 1988



Fot. 7. Łacha centralna odcinka roztokowego (akumulacyjnego) Wisły poniżej strefy erozyjnej stopnia wodnego "Włocławek" . Fot. lipiec 1988 r.

Central bar of braided Vistula channel (accumulation zone) situated below the erosive zone front downstream from the Włocławek dam. Photo July 1988

Proces erozji wgłębnej poniżej stopnia przyczynił się i będzie w dalszym ciągu powodował tworzenie się dwóch, odmiennych pod względem morfologicznym (także hydraulicznym) stref akumulacyjnych: równiny zalewowej (fot. 6) i odcinka wymuszonej akumulacji, występującego poniżej czoła strefy erozyjnej (fot. 7). W drugim przypadku agradacyjny charakter procesu korytowego nadaje Wiśle na tym odcinku zarys typowej rzeki roztokowej z licznymi łachami centralnymi i bocznymi. Generalnie cały odcinek Wisły poniżej stopnia wodnego ulega przekształceniom typologicznym z koryta roztokowego w - prostoliniowe lub ograniczone ostrogami meandrowania.

Namacalnym efektem procesu erozji wgłębnej poniżej stopnia wodnego Włocławek są wynurzone fragmenty pali po dawnym moście drewnianym, „zawieszenie” urządzeń hydrotechnicznych takich jak np. awanportu stopnia, ujęć wodnych i zrzutów wody czy portu zimowego we Włocławku (fot. 8) podczas trwania średnich niskich stanów wody. Proces erozji wgłębnej ma także wpływ na zmienność transportu rumowiska wleczonego i jego skład mechaniczny (Babiński 1992).



Fot. 8. Port zimowy we Włocławku (dno), który na skutek erozji wgłębnej poniżej zbiornika stracił swoje znaczenie z powodu braku wody nawet przy średnich przepływach Wisły. Fot. sierpień 1991 r.

Winter port in Włocławek (bottom), which lost its regular function in consequence of the shortage of water even during average Vistula discharges. Photo August 1991

8. UWAGI O TERMICE ZBIORNIKA WŁOCŁAWSKIEGO

Zbiornik stopnia wodnego „Włocławek” charakteryzuje się wysokim stopniem polimiksji. Jest on typowym przykładem zbiornika reolimnicznego, w którym całkowita wymiana wody następuje co 4-5 dni przy dopływie równym średniemu rocznemu natężeniu przepływu przez stopień.

Za kryterium oceny rozwarstwienia termicznego przyjęto współczynnik stratyfikacji termicznej (μ):

$$\mu = \frac{t_{\text{sr}}}{t_{40}}$$

gdzie: t_{sr} - średnia arytmetyczna temperatura z poziomu pomiarowego, t_{40} - temperatura wody na głębokości 40 cm.

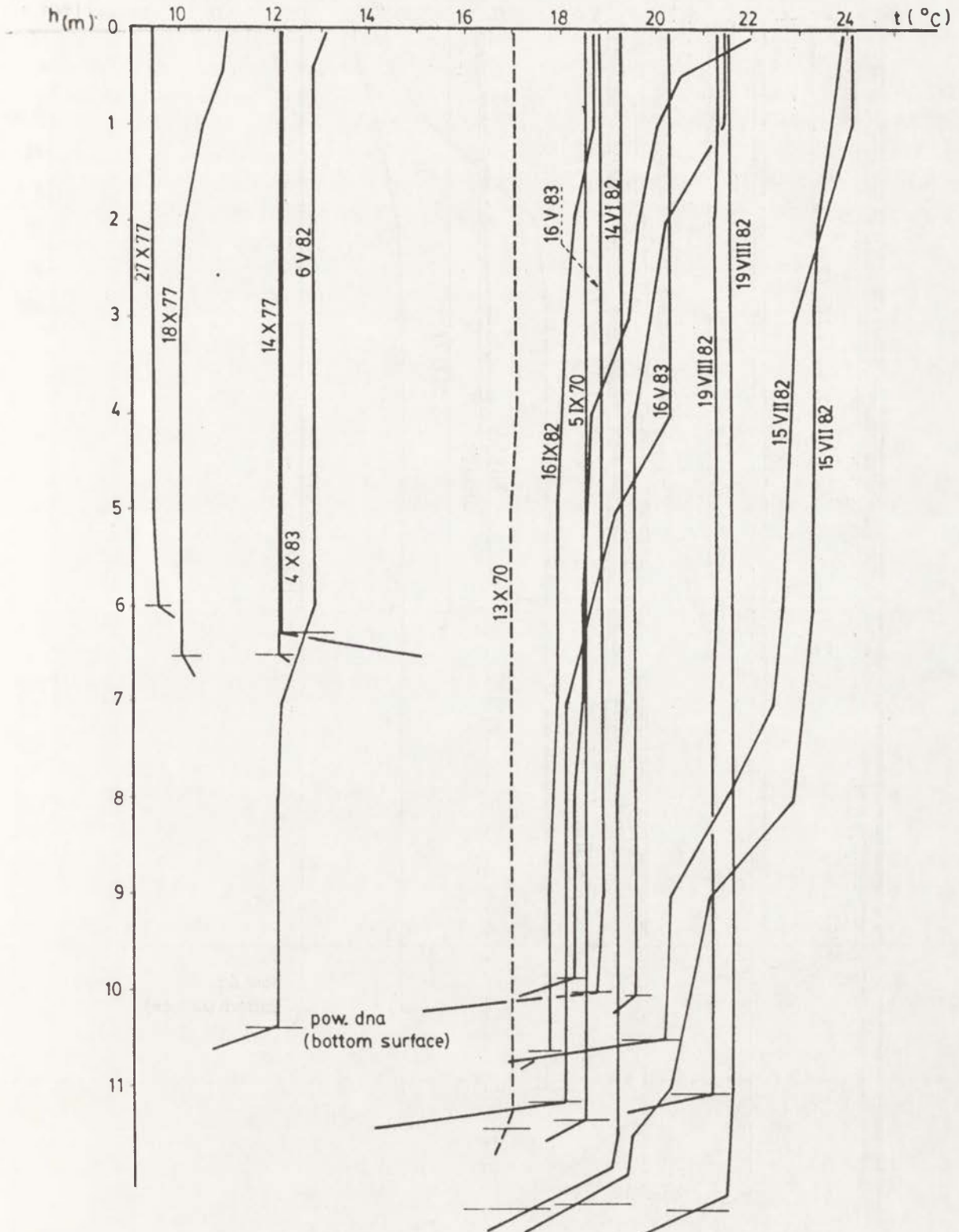
Przy wyniku 0,95 należy przyjąć brak pionowego rozwarstwienia termicznego. Masa wodna zbiornika włocławskiego charakteryzuje się wartościami w granicach 0,96-1,0. Jedyne w strefach pozanurtowych i to w krótkich okresach (kilka godzin) występuje stratyfikacja termiczna $m = 0,85-0,94$. Te stany chwilowe „niszczone” są przy wietrze o prędkości 2,5-3,0 ms^{-1} z sektora W lub E. Typowe profile termiczne przedstawiono na rycinach 18, 19, 20.

Brak więc w zbiorniku włocławskim typowej stratyfikacji termicznej z epi-, meta- i hypolimnionem. Biorąc pod uwagę efektywną długość rozbiegu fali przy określonym kierunku wiatru, ze wzoru K. Patalasa (1960) wynika, że w zbiorniku włocławskim nie ma warunków do wykształcenia stratyfikacji termicznej. Głębokość położenia epilimnionu (E) wyrażoną w metrach oblicza się następująco: $E = 4.4\sqrt{D}$, gdzie D to efektywna długość rozbiegu fali.

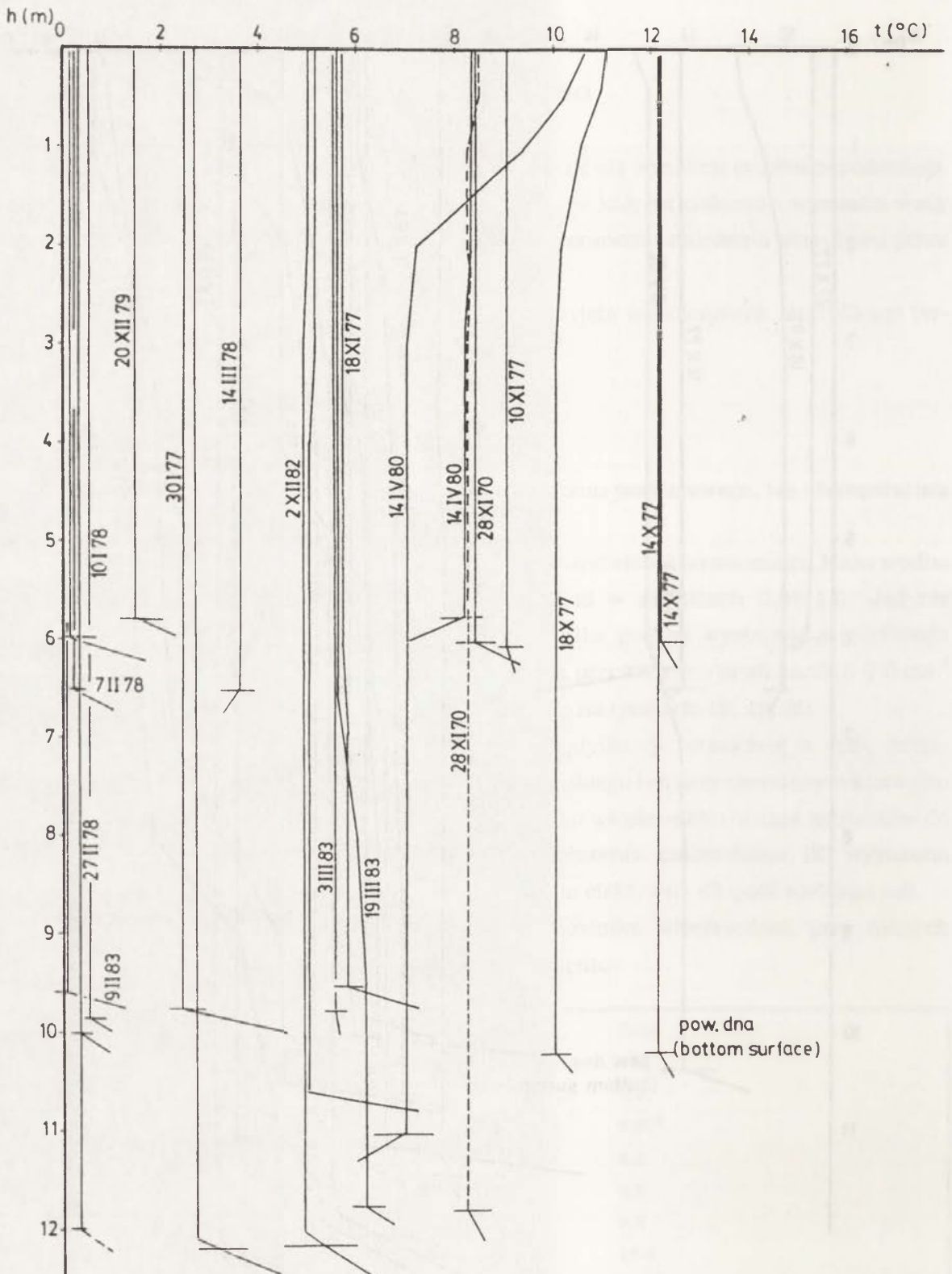
Teoretyczną głębokość położenia epilimnionu w zbiorniku włocławskim, przy różnych efektywnych rozbiegach fal podano w poniższym zestawieniu:

D(km)	E(m)
1,1 ¹	4,6
1,5	5,4
1,65	5,65 ²
2,0	6,2
2,5	6,9
5,0	9,8
8,0	12,4
10,0	13,9 ³
15,0	17,0
20,0	19,7

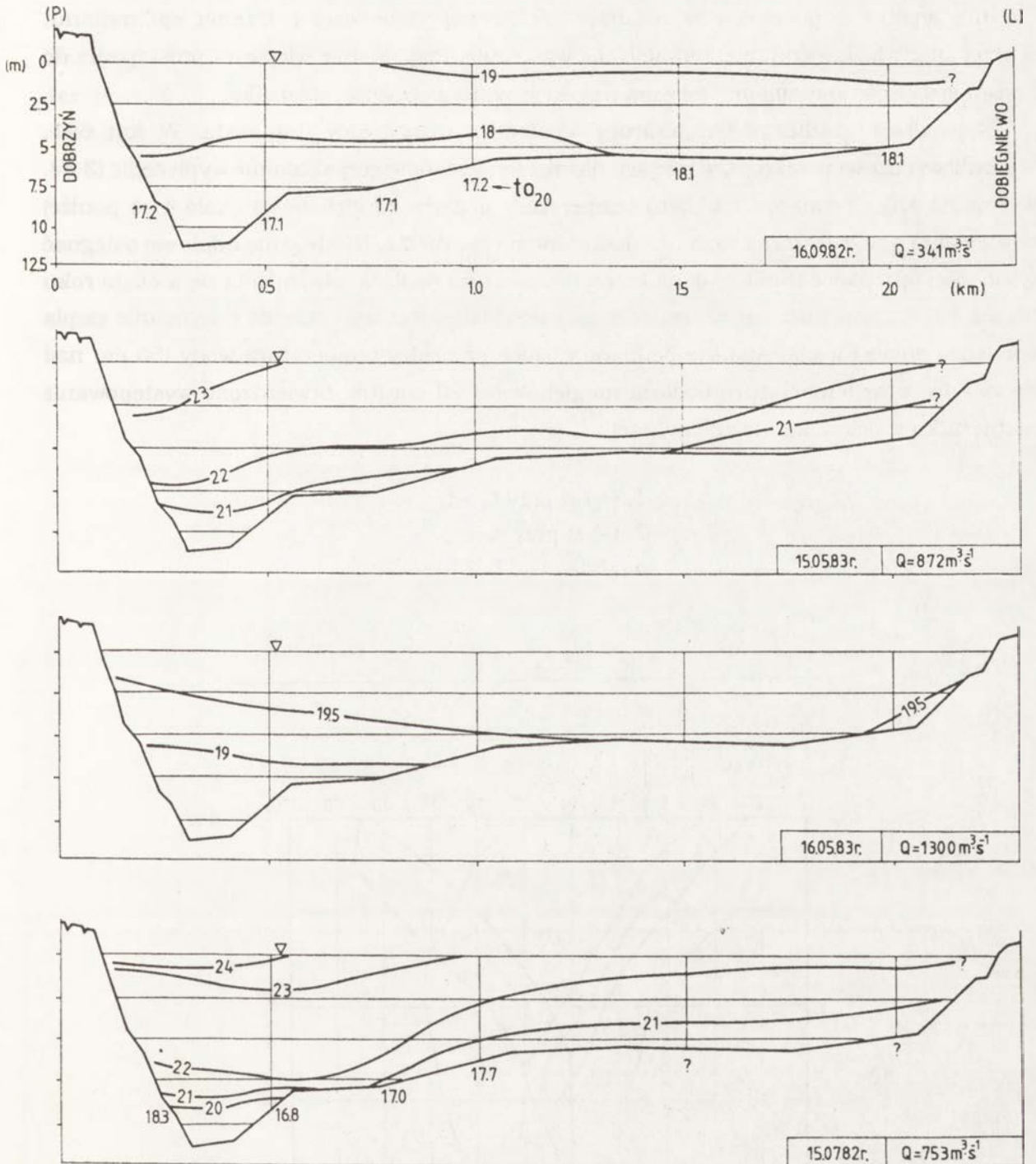
gdzie: 1 - odpowiada średniej szerokości zbiornika, 2 - odpowiada średniej głębokości zbiornika w 1970 r., 3 - odpowiada maksymalnej głębokości zbiornika. Uwagi: przy wietrze z sektora N i S; przy wietrze z sektora W i E.



Ryc. 18. Przykłady profili termicznych zbiornika włocławskiego w sezonie letnim
 Examples of thermal profiles of Włocławek reservoir in summer season



Ryc. 19. Przykłady profili termicznych zbiornika włocławskiego w sezonie zimowym
 Examples of thermal profiles of Włocławek reservoir in winter season

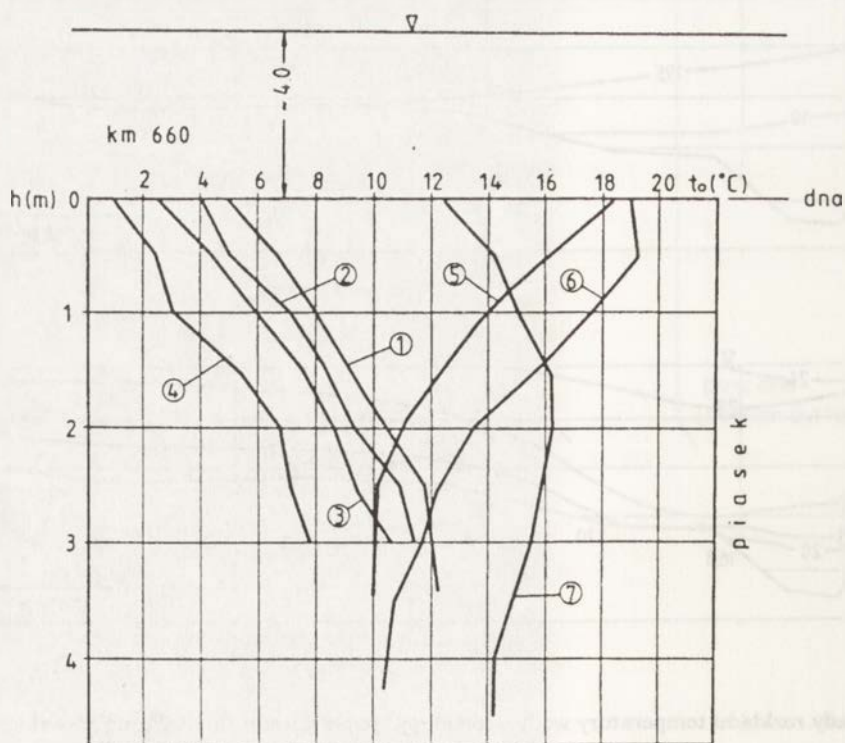


Ryc. 20. Przykłady rozkładu temperatury wody w przekroju poprzecznym zbiornika włocławskiego w km 660 Wisły
 Examples of water temperature distribution in cross-section of Włocławek reservoir (660 km of Vistula river course)

Jak wynika z pomiarów w naturze i obliczonej głębokości położenia epilimnionu, w zbiorniku wrocławskim metalimnion nie występuje. Przy wietrze wiejącym prostopadle do brzegu głębokość epilimnionu zbliżona jest do średniej głębokości zbiornika.

Największe gradienty temperatury występują na granicy dno-woda. W km 661, w środkowej części przekroju, w miejscu dawnej kępy stanowiącej aktualnie wypływanie (3 m), wykonano kilka pomiarów rozkładu temperatury podłoża do głębokości około 4 m poniżej powierzchni dna. Niektóre z nich przedstawiono na rycinie 21. Niestety nie udało się osiągnąć głębokości (głębokość tłumienia), na której temperatura podłoża nie zmienia się w ciągu roku (Grześ 1978). Tym niemniej zaprezentowane przykłady dają wyobrażenie o wymianie ciepła pomiędzy dnem i wodą. Analizie poddano różnice pomiędzy temperaturą wody (50 cm nad dnem - t_w) oraz temperaturą podłoża na głębokości 20 cm (t_o). Stwierdzono występowanie w zbiorniku wrocławskim trzech sytuacji:

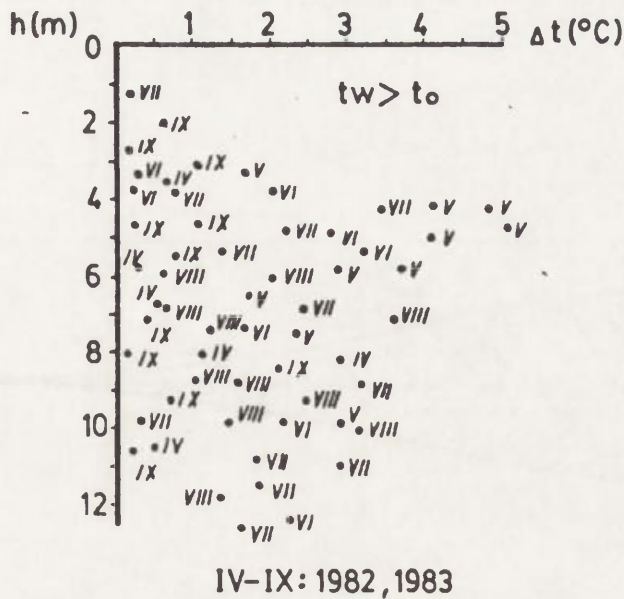
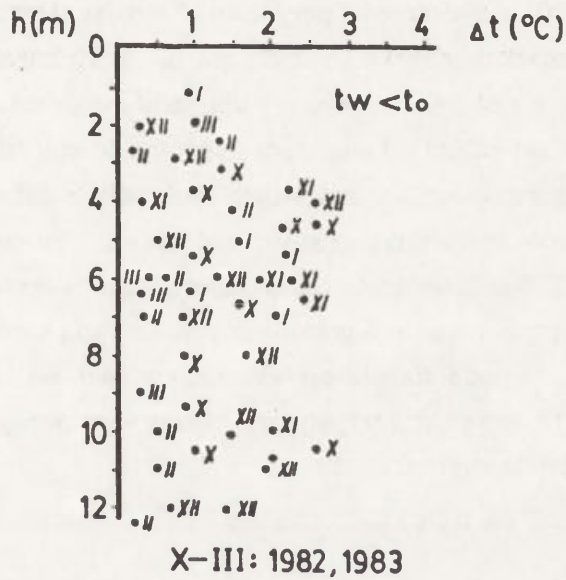
1. (+) Δt przy $t_w > t_o$
2. (-) Δt przy $t_w < t_o$
3. $\Delta t = 0$ $t_w = t_o$



Ryc. 21. Przykłady rozkładu temperatury podłoża zbiornika stopnia wodnego "Wrocławek" 1- 01.12.82, 2 - 14.12.82, 3 - 28.12.82, 4 - 16.02.83, 5 - 17.05.83, 6 - 16.06.83, 7 - 16.10.83

Examples of temperature distribution in Wrocławek reservoir bottom sediments 1- 01.12.82, 2 - 14.12.82, 3 - 28.12.82, 4 - 16.02.83, 5 - 17.05.83, 6 - 16.06.83, 7 - 16.10.83

Znak (+), (-) określa kierunek strumienia ciepła na granicy podłoże - masa wodna. Nie stwierdzono zależności pomiędzy głębokością zbiornika - miąższością warstwy wody a różnicą temperatury (ryc. 22). Jest to jeszcze jeden dowód na polimiktyczny charakter zbiornika wrocławskiego.

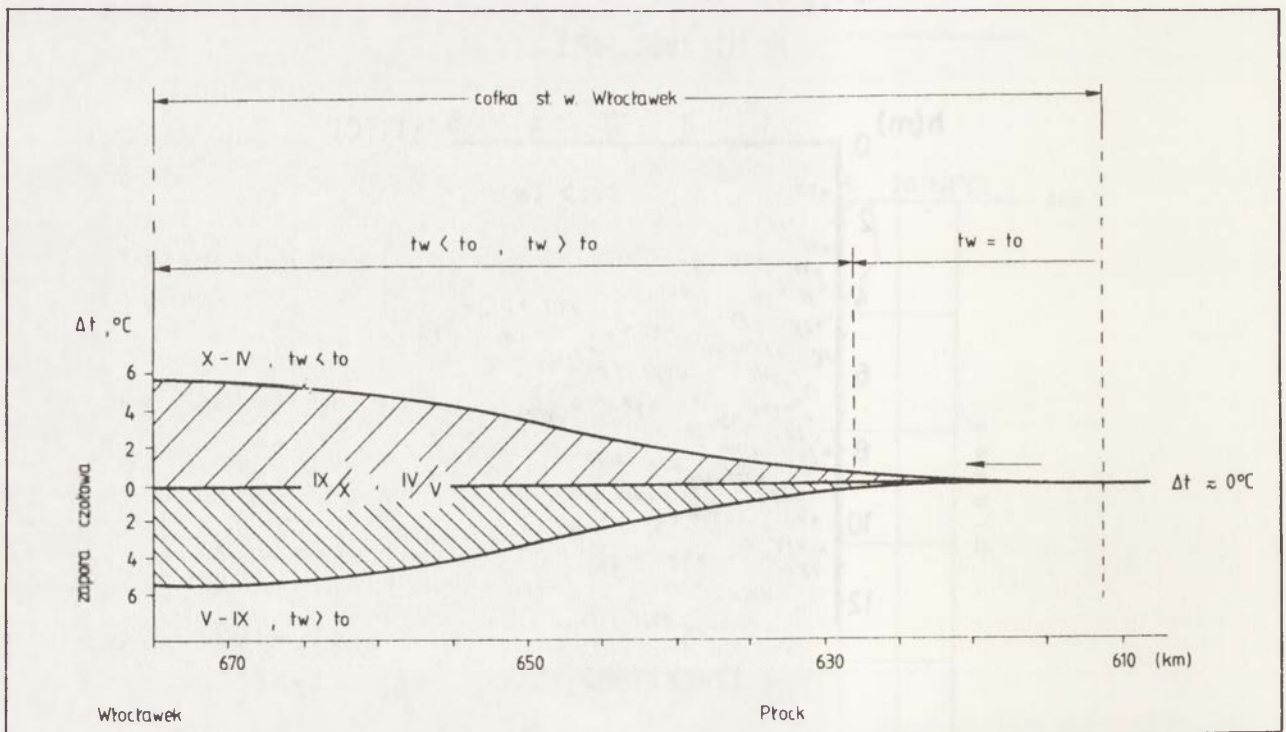


Ryc. 22. Zależność pomiędzy głębokością (h) i różnicą między temperaturą wody (t_w) i osadów na głębokości około 20 cm (t_o), dla sytuacji $t_w < t_o$ i $t_w > t_o$

Relation between the reservoir depth (h) and difference of water temperature (t_w) and temperature of bottom deposits in depth about 0.2 m (t_o) for the situation $t_w < t_o$ and $t_w > t_o$

Odmienne przedstawia się problem zmienności Δt w profilu podłużnym zbiornika. Przy określeniu wielkości Δt w danym kilometrze pod uwagę brano średnią z kilku wartości w przekroju poprzecznym. Od stopnia wodnego w górę zbiornika stwierdza się stopniowy przyrost różnicy temperatury, niezależnie od jej znaku. Maksymalne wartości Δt występują na odcinku stopień wodny - km 660. Dochodzą one do 5°C , w maju i czerwcu. Brak różnicy pomiędzy temperaturą przypowierzchniowej warstwy podłoża, a przydenną warstwą wody ma miejsce powyżej km 635-620, niezależnie od pory roku. Przyrost Δt wraz z biegiem rzeki to nie tylko wynik spadku prędkości przepływu. Składa się na to i charakter osadów dennych. Podkreślić trzeba, że sytuacje z $\Delta t = 0^{\circ}\text{C}$ są typowe dla rzeki swobodnie płynącej.

Położenie strefy neutralnej zależy od wielkości dopływu do zbiornika. W latach suchych ulega ona przesunięciu w górę zbiornika, a w latach mokrych w dół zbiornika. Położenie tej strefy wyznacza tak zwaną termiczną granicę zbiornika. Zjawisko to przedstawiono schematycznie na rycinie 23. Strefa neutralna dzieli zbiornik na dwie części, dolną o przewadze cech limnicznych i górną, o przewadze cech potamicznych. Zmiana kierunku strumienia ciepła na granicy podłoże-woda przypada na marzec-kwiecień z $(-)\Delta t$ na $(+)\Delta t$ oraz na wrzesień-październik z $(+)\Delta t$ na $(-)\Delta t$. Te dwa charakterystyczne okresy wyznaczają rzeczywiste termiczne pory roku w zbiorniku reolimnicznym (ryc. 23).



Ryc. 23. Schemat przebiegu różnicy temperatury (t) wody (t_w - 50 cm nad dnem) i temperatury osadów dennych (t_o - około 20 cm poniżej powierzchni dna) w profilu podłużnym zbiornika włocławskiego
 Scheme of the course the difference of water temperature (t_w - 0.5 m over bottom) and temperature of bed material (t_o - about 0.2 m below the bottom surface) in longitudinal profile of the Włocławek reservoir

9. ROLA ZJAWISK LODOWYCH W USTROJU HYDROLOGICZNYM ZBIORNIKA WŁOCŁAWSKIEGO

Wśród wielu zmian, do których doprowadziło wybudowanie stopnia wodnego „Włocławek”, na szczególną uwagę zasługują zmiany w ustroju lodowym rzeki. W ciągu przeszło 25 lat istnienia zbiornika największe trudności eksploatacyjne przypadają na okres jego zlodzenia. Tworzące się w zbiorniku zatory śryżowo-lodowe doprowadzają do niekontrolowanych nadpiętrzeń zwierciadła wody. W styczniu 1982 roku w wyniku zatoru doszło do zalania 100 km² obwałowanej doliny. W pewnych sytuacjach hydrometeorologicznych dochodzi do powstania zatorów także poniżej stopnia wodnego. Od kilku lat autorzy niniejszej pracy zwracają uwagę na poważne zagrożenie zatorowe w tym rejonie i potrzebę podporządkowania pracy elektrowni wodnej ściśle określonej sytuacji hydrologicznej.

9.1. WPŁYW SPIĘTRZENIA NA ZMIANĘ STRUKTURY ZLODZENIA

Czas trwania zjawisk lodowych w obrębie cofki stopnia wodnego przed spiętrzeniem i po spiętrzeniu nie uległ w zasadzie zmianie i wynosi przeciętnie 80 dni. Istotne zmiany nastąpiły w czasie trwania poszczególnych faz zlodzenia. Nastąpiła wyraźna zmiana struktury zlodzenia. Właśnie w tym fakcie upatrywać należy większość trudności eksploatacyjnych wywołanych zlodzeniem.

Na rzece swobodnie płynącej dominującą formą zlodzenia są krażki śryżowe. Stanowią one około 50-60% czasu trwania zjawisk lodowych. Na skutek wzrostu powierzchni przekrojów poprzecznych nastąpiło znaczne zmniejszenie prędkości przepływu. W związku z tym obserwuje się wcześniejsze tworzenie się pokrywy lodowej w dolnej i środkowej części zbiornika. Pokrywa lodowa powstaje tu przez połączenie się rozrastającego się lodu brzegowego. W górnej części zbiornika pokrywa lodowa powstaje na drodze frontального rozbudowywania się napływających krażków i pól śryżowych (Grześ 1991). Zjawisku temu towarzyszy tworzenie się rozległych podbitek śryżowych. Przebieg frontального rozbudowywania pokrywy lodowej zależy od ilości krażków i pól (warunki meteorologiczne) oraz wielkości dopływów (prędkość przepływu). Dzięki skróceniu czasu trwania pochodzenia krażków (faza formowania pokrywy lodowej) z około 48 dni do 8 dni, wydłużeniu uległ okres zalegania pokrywy lodowej z 25 do 65 dni. Rozpad pokrywy lodowej na zbiorniku, w stosunku do rzeki swobodnie płynącej, jest utrudniony. Praktycznie stały poziom piętrzenia i małe prędkości przepływu oraz obecność podbitek śryżowych sprzyja dłuższemu zaleganiu pokrywy lodowej na zbiorniku, w stosunku do rzeki swobodnie płynącej powyżej. Prowadzi to do poważnego zagrożenia zatorowego w okresie rozpadu pokrywy lodowej. Aby tego uniknąć, przed prognozowanym pochodem lodu, wzdłuż zbiornika wykonywana jest rynna o szerokości około 500 m. Zadaniem rynny jest umożliwienie przepływania przez zbiornik mas lodu napływającego z góry rzeki. Wylamywanie rynny i jej utrzymanie to kosztowne i skomplikowane zadanie. Prowadzona każdej zimy akcja

lodołamania to kontrolowana ingerencja w strukturę zlodzenia (w fazę rozpadu pokrywy lodowej). Podkreślić trzeba, że już sama zaporą jest ściśle usytuowaną przegradą dla spływających rzeką mas lodu, a „zejście” lodu ze zbiornika zależy od warunków napływania kry na przesła jazu.

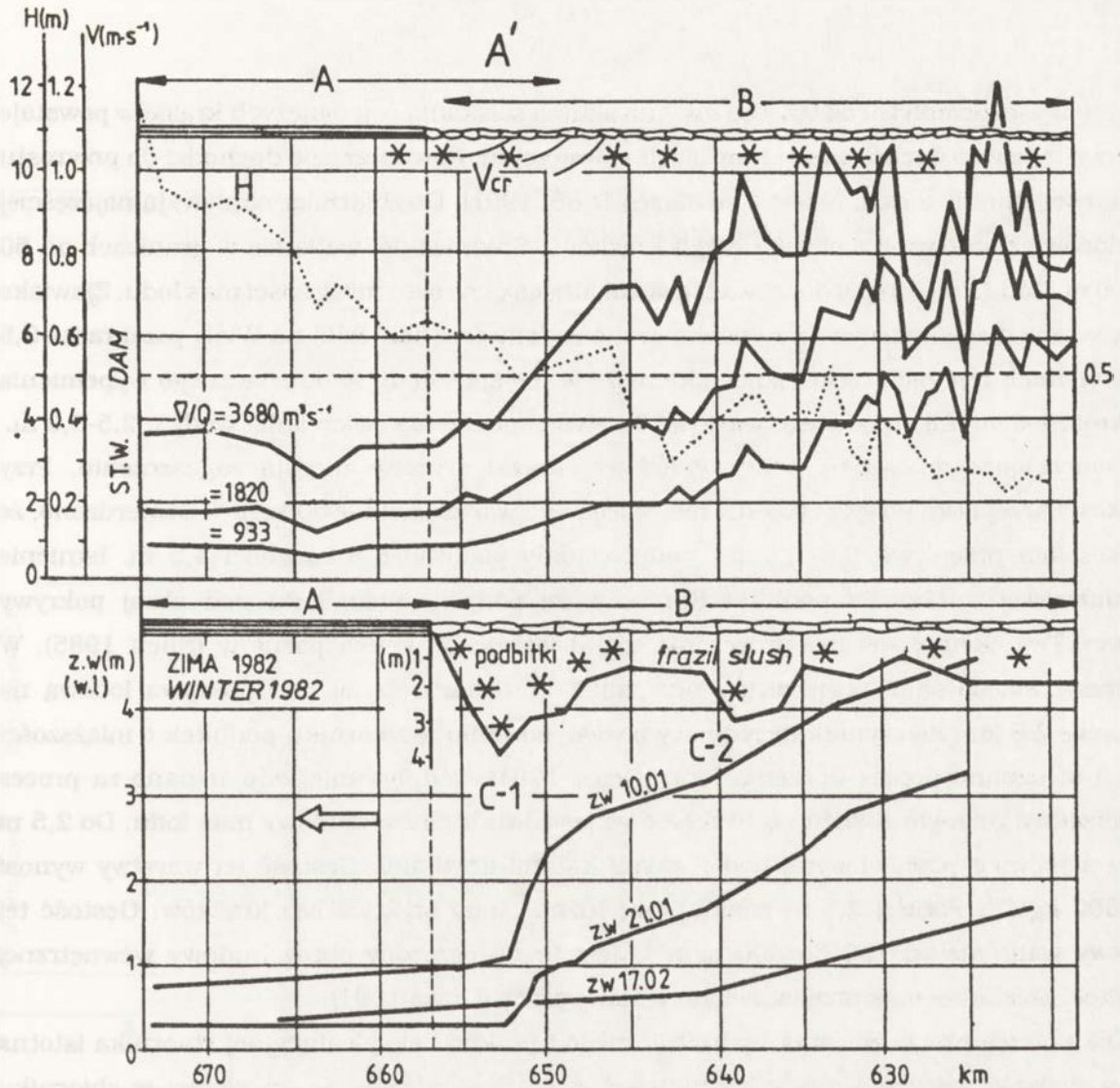
Odmiennie przedstawia się problem zmiany ustroju lodowego Wisły poniżej stopnia wodnego. Na odcinku około 10 km dominującą formą zlodzenia jest tu lód brzegowy i słabo wykształcone krążki śryżowe. Szczytowa praca elektrowni wodnej utrudnia powstawanie stałej pokrywy lodowej. Około 10-15 km poniżej stopnia, gromadzą się masy lodu brzegowego spływającego w okresie szczytowej pracy elektrowni, oraz słabo wykształconych krążków śryżowych. W okresie eksploatacji stopnia dwukrotnie doszło do powstania w tym miejscu zatorów lodowo-śryżowych.

W nawiązaniu do zmian struktury zlodzenia podkreślić trzeba, że cały odcinek Wisły od stopnia do jej ujścia jeszcze przed rozpoczęciem przepuszczania lodu przez jaz powinien być wolny od lodu. W tym celu utrzymywana jest flotylla lodołamaczy. Lodołamanie jest więc obok zabudowy hydrotechnicznej i zanieczyszczenia wody jednym z czynników zmieniających naturalny reżim lodowy rzeki.

9.2. WARUNKI FORMOWANIA POKRYWY LODOWEJ NA ZBIORNIKU

O niektórych zagadnieniach formowania pokrywy lodowej na zbiorniku wspomniano już powyżej. Z uwagi na wagę problemu wymagają one jednak dokładniejszego omówienia. Warunki oraz przebieg formowania pokrywy lodowej na zbiorniku przedstawiono na ryc. 24. W dolnej i środkowej części zbiornika powstaje pokrywa lodowa „typu jeziornego” - „black ice”. Odbywa się to przez połączenie stref lodu brzegowego. Prędkości przepływu w tej strefie przy dopływie do zbiornika zbliżonym do średniego wieloletniego przepływu nie przekraczają $0,4-0,5 \text{ ms}^{-1}$. Jest to zgodne z warunkami określonymi przez Z. Paślawskiego (1970). Zasięg tej strefy oznaczono jako A i zależy on głównie od natężenia przepływu w okresie formowania pokrywy lodowej. Przy prędkości przepływu przekraczającej $0,3-0,4 \text{ ms}^{-1}$ stwierdza się utrudnione warunki stabilizacji pokrywy lodowej. Napływające do zbiornika krążki i pola śryżowe zatrzymują się na skraju wcześniejszej utworzonej pokrywy lodowej (typ A). Następuje rozbudowywanie pokrywy lodowej (typ A/B). Stan równowagi pomiędzy dopływającym lodem, a skrajem pokrywy lodowej, widoczny jest w luźnym zmarznięciu poszczególnych form lodowych. Dla takich sytuacji graniczna wartość liczby Frouda zamyka się w granicach $0,06 < Fr < 0,13$.

W naturze proces frontalnego rozbudowywania pokrywy lodowej jest bardzo skomplikowany i zależy nie tylko od warunków hydrodynamicznych, ale i właściwości mechanicznych lodu oraz warunków meteorologicznych. Podkreślić należy, że w okresie formowania się pokrywy lodowej warunki hydrodynamiczne ulegają ustawicznej zmianie. Pod każdym krążkiem znajduje się gąbczasta masa śryżu ($100-150 \text{ kgm}^{-3}$) o miąższości do 1 m.



Ryc. 24. Przebieg zlodzenia zbiornika "Włocławek" - schemat na tle sytuacji z zimy 1982 roku:

A - pokrywa lodowa powstająca przy niewielkich prędkościach przepływu powyżej $0,5 \text{ m s}^{-1}$, zbudowana z tranzytowego lodu; A' - strefa kontaktowa, V_{cr} - krytyczne prędkości przepływu w przekrojach poprzecznych,

V/Q - średnie prędkości przepływu w przekrojach przy różnych natężeniach przepływu (dopływach),

z.w. - układy zwierciadła wody zimą 1982 r., C-1 - zator śrężowo-lodowy, C-2 - zator śrężowy

Sequence of events during ice cover formation in the Włocławek reservoir and scheme of the ice cover formation - an example from winter 1982:

A - ice cover developing during low flow velocity over $0,5 \text{ m s}^{-1}$, consist from tranzit ice, A' - contact zone,

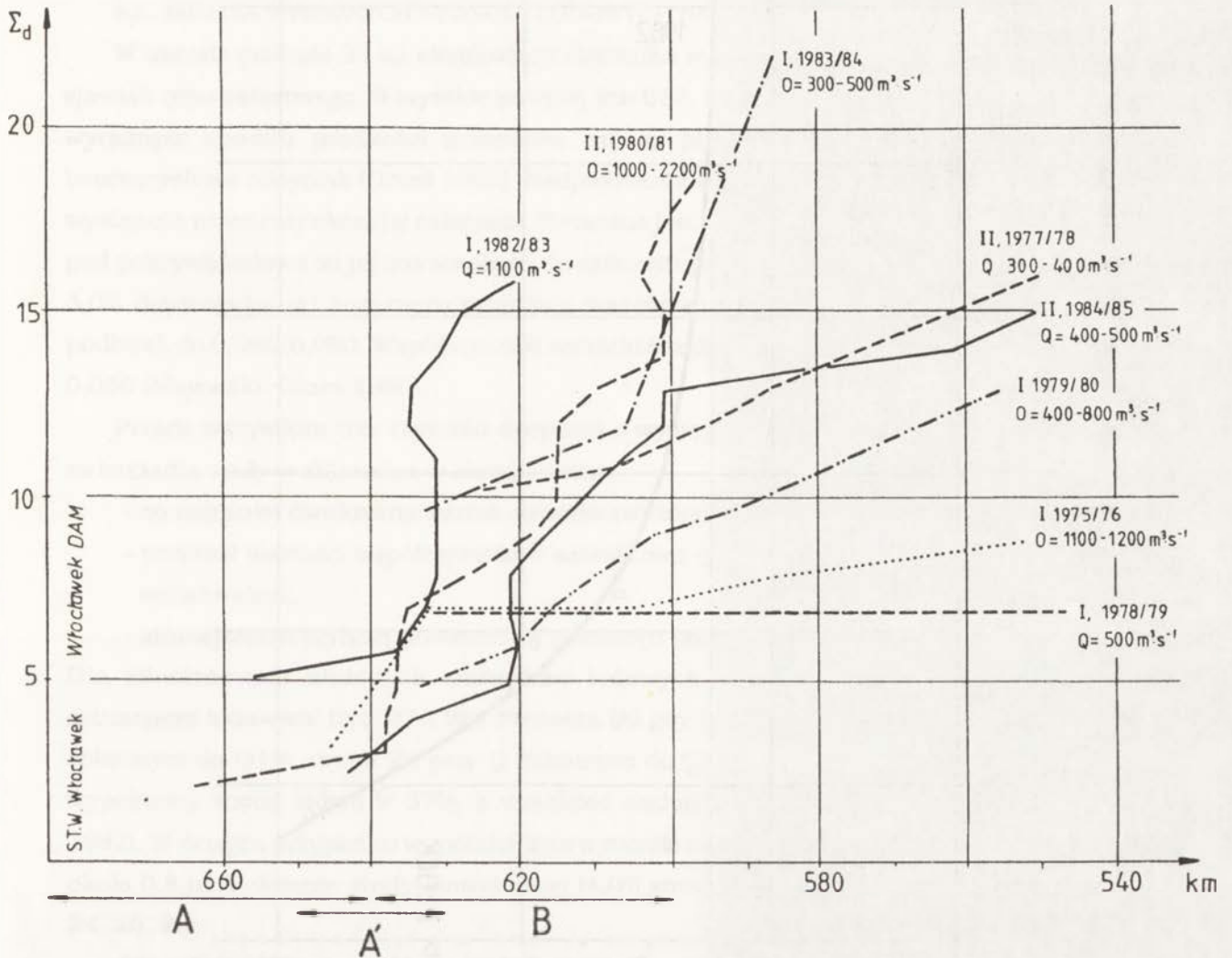
V_{cr} - critical flow velocity in cross-section, V/Q - mean flow velocity during characteristic discharges (inflow),

z.w. - backwater profile during winter 1982, C-1 - ice-frazil jam, C-2 - frazil jam

Przy prędkości przepływu od $0,4-0,5 \text{ ms}^{-1}$ na skutek ściskania pojedynczych krążków powstaje pokrywa lodowa o dachówkowej morfologii powierzchni. Równocześnie dochodzi do przyrostu miąższości lodu do 2 m, a nawet 3 m (Grześ 1985, 1991). Do zbiornika napływają najczęściej pola lodowe zbudowane z pojedynczych krążków. Średnica pól waha się w granicach od 50 do 100 m. Koltzja dwóch pól doprowadza do lokalnego przyrostu miąższości mas lodu. Zjawisko to nazywane mechanicznym przyrostem grubości lodu (Michel 1986) na Wiśle przekracza 3,5 m. W płytkich rejonach rzeki i zbiornika może w ten sposób dojść do znacznego wypełnienia przekroju lodem (A1) sięgającego wartości $0,7-0,8$ i spiętrzenia zwierciadła wody o $2,5-3,0$ m.

Dopływające do skraju pokrywy lodowej krążki śryżowe ulegają zagęszczeniu. Przy prędkości przepływu powyżej $0,6-0,7 \text{ ms}^{-1}$ sięga ono wartości $500-600 \text{ kgm}^{-3}$. Stwierdzono, że prędkościom przepływu $0,8-1,2 \text{ ms}^{-1}$ odpowiadały podbitki o miąższości 4,5 m. Istnienie kilkumetrowej miąższości podbitki tłumaczy się podpływaniem lodu pod skraj pokrywy lodowej. Ten skomplikowany proces nie został jeszcze do końca poznany (Shen 1985). W zbiorniku wrocławskim stwierdzano przypadki transportu śryżu pod pokrywą lodową na dystansie 2,5 km. Za czynnik decydujący o występowaniu w zbiorniku podbitek o miąższości do 8,0 m uznano proces tłoczenia lodu (Grześ 1991). Podpływanie lodu uznano za proces drugorzędny. Jednym z wielu na to dowodów jest dwudzielność budowy mas lodu. Do 2,5 m pulpa śryżowa z postawionymi pod różnymi kątami krążkami. Gęstość tej warstwy wynosi $500-600 \text{ kgm}^{-3}$. Poniżej 2,5 m znajduje się luźna pulpa śryżowa bez krążków. Gęstość tej warstwy waha się od 150 do 400 kgm^{-3} . Jest to uproszczony obraz budowy wewnętrznej podbitek. Dokładny opis przedstawiono w innej pracy (Grześ 1991).

Dla potrzeb prognozowania hydrologicznego i praktyki eksploatacyjnej zbiornika istotna jest znajomość położenia strefy kontaktowej A/B. Stwierdzono, że im głębiej w zbiorniku położona jest ta strefa, tym wyższe i długotrwałe nadpiętrzenia zwierciadła wody są obserwowane. Pomiedzy lokalizacją strefy A/B i dopływem do zbiornika istnieje wyraźna zależność, co ilustrują ryciny 25 i 26. Na tych samych rycinach przedstawiono przykłady frontального rozbudowywania się pokrywy lodowej. Należy zwrócić uwagę na obszary, w których ma miejsce "długotrwałe" formowanie się pokrywy lodowej. Fakt ten świadczy o wypełnieniu przekroju czynnego lodem.

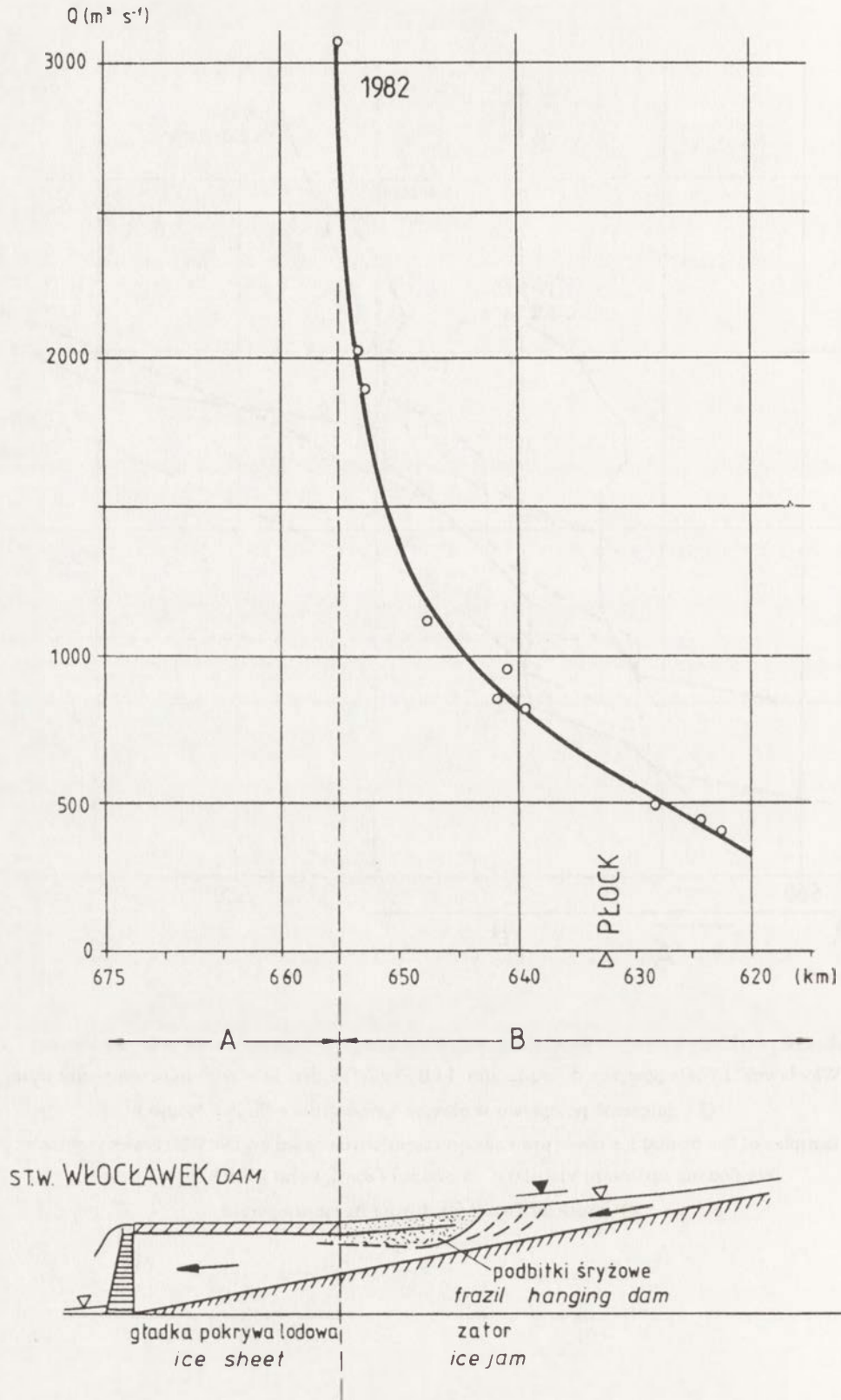


Ryc. 25. Wybrane przykłady krzywych kumulacyjnych frontalnego rozbudowywania pokrywy lodowej na zbiorniku "Włocławek" i Wiśle powyżej: d - suma dni, I i II - cykle zlodzenia w danym sezonie zimowym,

Q - natężenie przepływu w okresie formowania pokrywy lodowej

Selected examples of the frontal ice cover progression cumulative curves on the Włocławek reservoir and on the free flowing upstream Vistula: d - amount of days, I and II - ice cycle number,

Q - value of discharge during freeze-up period



Ryc. 26. Zależność pomiędzy natężeniem przepływu (Q , dopływ do zbiornika) a lokalizacją czoł zatorów (km)
 Relation between the discharge (Q , inflow to reservoir) and ice jam fronts location (km)

9.3. ANALIZA WYBRANYCH SYTUACJI LODOWYCH NA ZBIORNIKU

W okresie przeszło 20 lat eksploatacji zbiornika w jego czaszy zarejestrowano przeszło 20 zjawisk typu zatorowego. Wszystkie powyżej km 655. Ich lokalizacja przypadła na miejsca o wyraźnym spadku prędkości przepływu, rejonu płytko zatopionych kęp i współcześnie tworzących się odsypisk (Grześ 1983). Nadpiętrzenia wywołane pokrywą lodową na zbiorniku występują przez cały okres jej zalegania. Związane jest to z faktem, że podbitki śryżowe zalegają pod pokrywą lodową od jej powstania aż do całkowitego jej rozpadu. Obecność podbitek (strefa A/B) doprowadza do znacznego przyrostu współczynnika szorstkości dolnej "powierzchni" podbitek do 0,060-0,090. Współczynniki szorstkości gładkiej pokrywy lodowej wynoszą 0,040-0,050 (Majewski, Grześ 1986).

Przed wszystkim trzy czynniki decydują o występowaniu permanentnego nadpiętrzenia zwierciadła wody w zbiorniku w okresie zimy:

- co najmniej dwukrotny wzrost obwodu zwilżonego,
- przyrost wartości współczynników szorstkości (podbitki, skomplikowana rzeźba subakwalna),

- zmniejszenie czynnej powierzchni przekroju poprzecznego przez jej wypełnienie lodem.

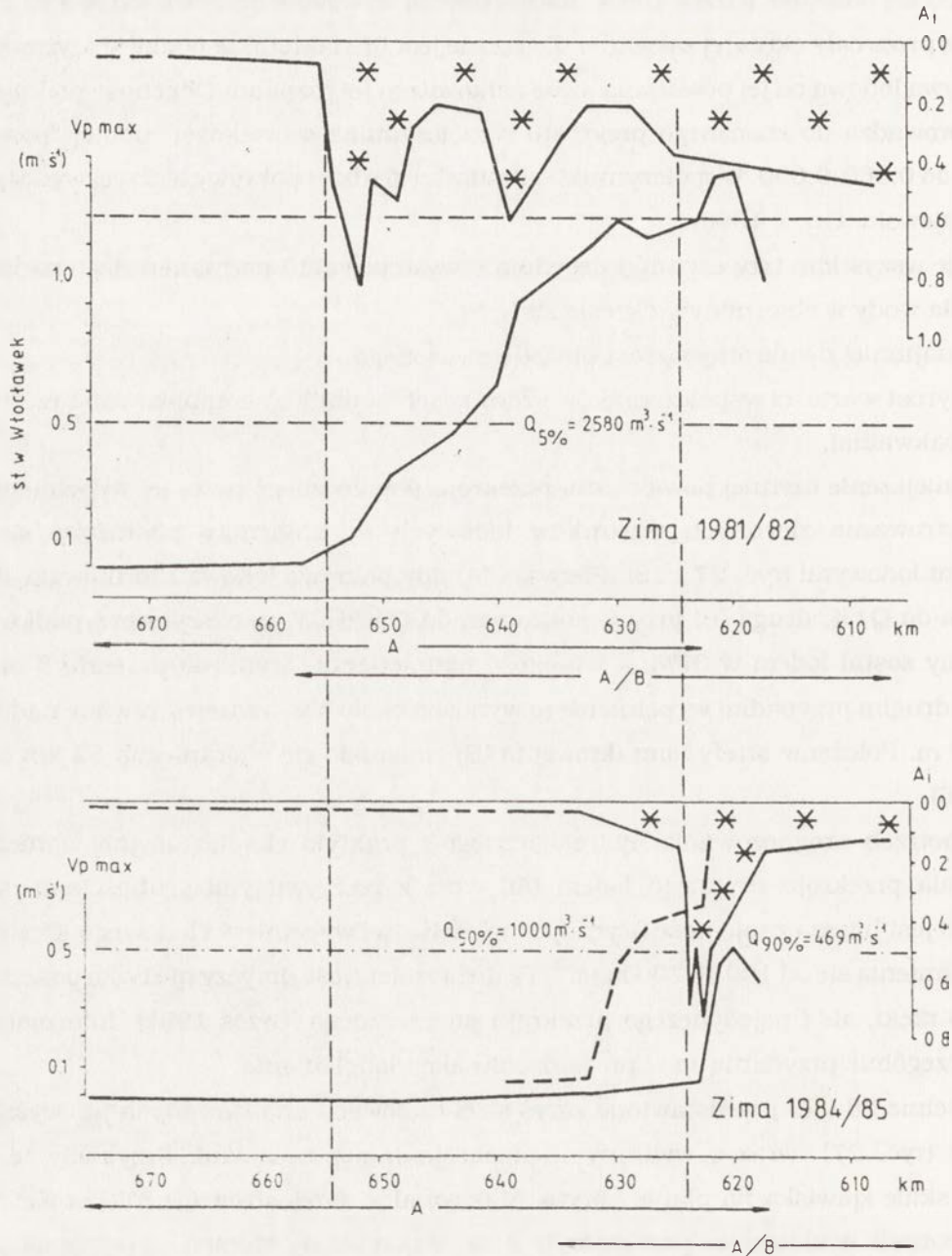
Dla zilustrowania złożonych warunków lodowych na zbiorniku posłużono się dwoma sytuacjami lodowymi (ryc. 27 i 28). Pierwsza (A) gdy pokrywa lodowa uformowała się przy Q zbliżonym do $Q_{1\%}$, druga (B) przy Q zbliżonym do $Q_{90\%}$. W pierwszym przypadku zbiornik wypełniony został lodem w 37%, a wysokość nadpiętrzenia wyniosła przeszło 3 m (styczeń 1982). W drugim przypadku wypełnienie to wynosiło około 5%, a zarejestrowane nadpiętrzenie około 0,8 m. Położenie strefy kontaktowej (A/B) zmieniało się w granicach 32 km cofki (ryc. 24, 25, 26).

Dla potrzeb prognozowania hydrologicznego i praktyki eksploatacyjnej oprócz stopnia wypełnienia przekroju czynnego lodem (A_l) wraz z rzeczywistymi grubościami mas lodu, niezbędna jest bliższa znajomość fizycznych właściwości wypełnienia lodowego. Gęstość pulpy śryżowej zmienia się od 100 do 700 kgm⁻³. Ta duża zmienność dotyczy nie tylko poszczególnych odcinków rzeki, ale i pojedynczego przekroju poprzecznego (Grześ 1991). Informacje na ten temat szczególnie przydatne są w prowadzeniu akcji lodołamania.

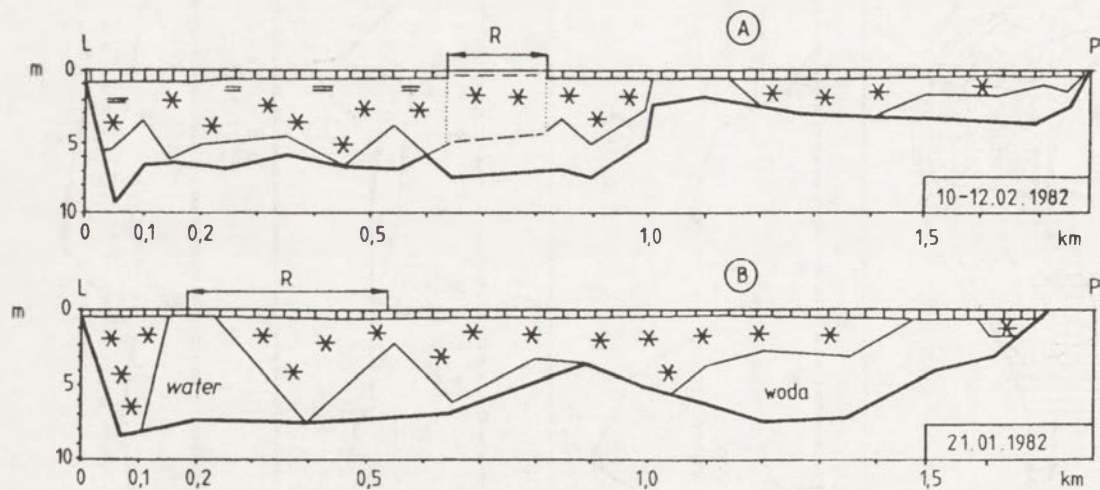
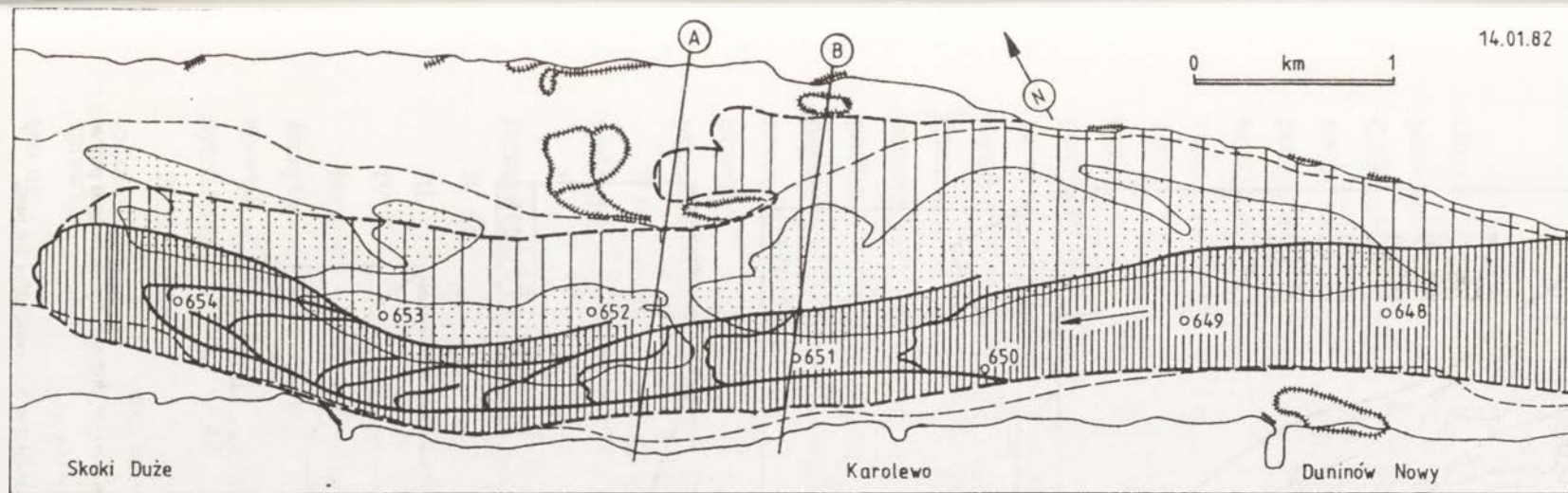
Na rycinie 28 i 29 przedstawiono zarys stref czołowych analizowanych już wyżej sytuacji lodowych (ryc. 27), wraz z wybranymi przekrojami poprzecznymi. Przykłady te najlepiej ilustrują skalę zjawiska na planie koryta. Maksymalne zarejestrowane miąższości mas lodu zgromadzonych w zbiorniku przekroczyły 8 m. Maksymalny stopień wypełnienia przekroju lodem 80% (A_l).

Powszechnie przyjmuje się, że podbitki śryżowe dość szybko ulegają "wyplukaniu". Stwierdzono, że podbitki śryżowe zaraz po ich uformowaniu mają największą grubość, która stopniowo maleje. Zjawisku temu nie towarzyszy wyplukiwanie, a zagęszczanie. Kryształ śryżu zaraz po powstaniu mają nieregularny i ostrokrawędzisty kształt. Z czasem ulegają

obtopieniu, a wskutek wyporu hydrostatycznego zajmują mniejszą objętość. Dlatego też zmniejsza się stopień wypełnienia przekroju, przy jednoczesnym wzroście gęstości podbitek. Do zagęszczenia podbitek dochodzi również przy spadku stanów wody, gdy osiadają one na dnie.



Ryc. 27. Przykłady stopnia wypełnienia lodem przekrojów poprzecznych (A_i) w profilu podłużnym zbiornika, na tle rozkładu maksymalnych prędkości przepływu w poszczególnych przekrojach (V_{max})
Examples of the degree of ice filling in cross-sections (A_i) in longitudinal profile of reservoir on the background of maximal flow velocity distribution in cross-section (V_{max})

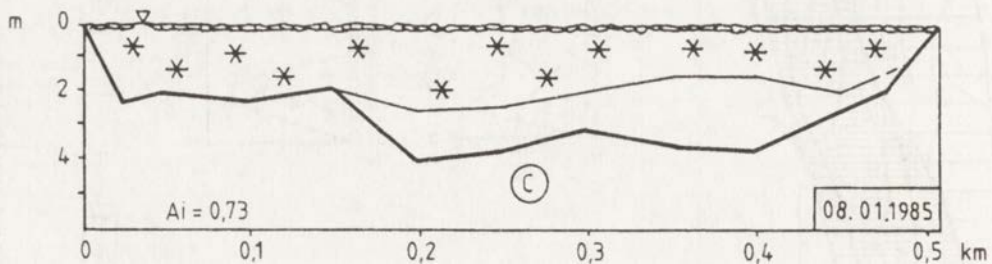
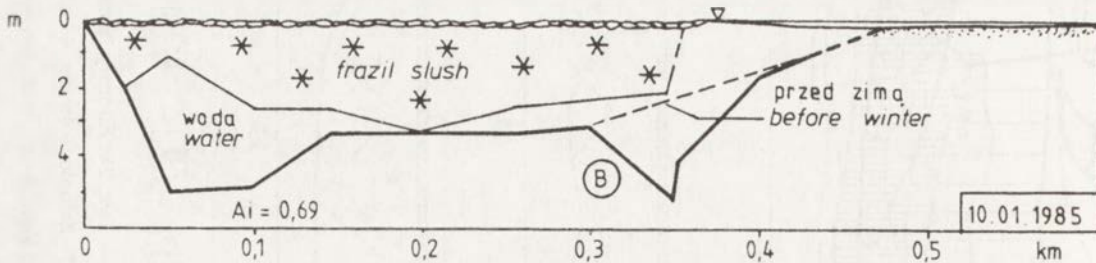
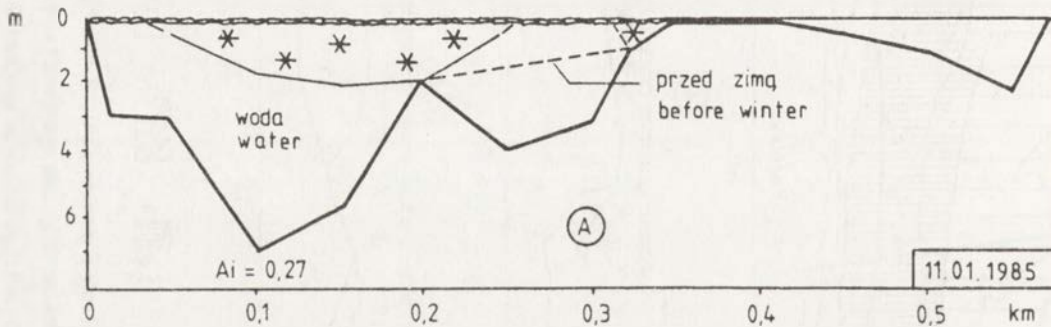
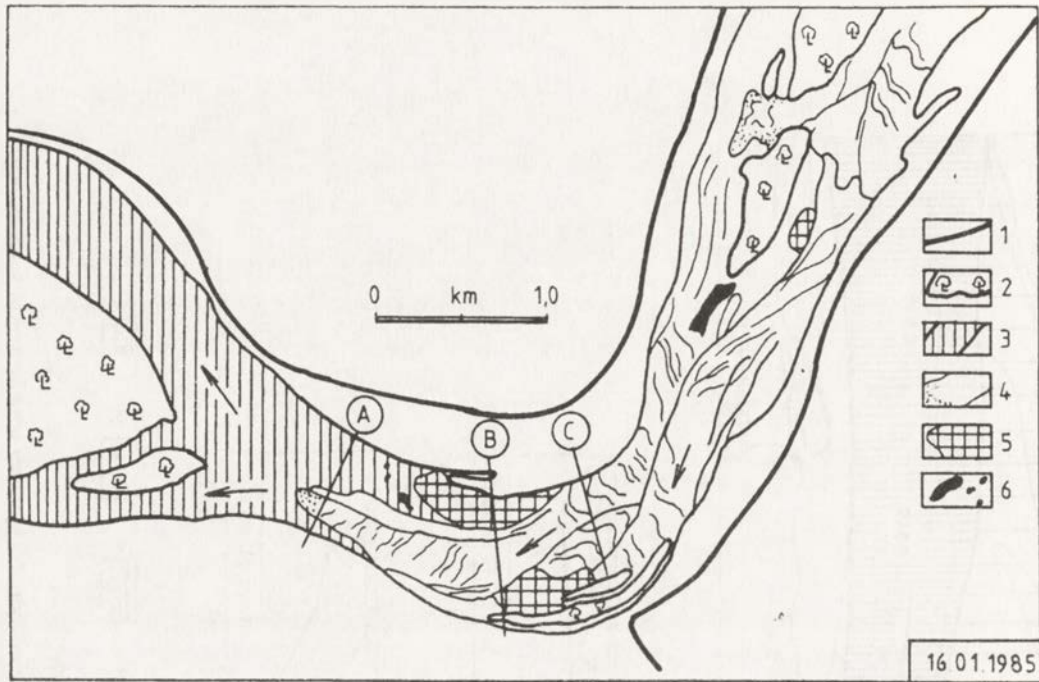


Ryc. 28. Kontury i przekroje poprzeczne zatoru, zima 1982:

1 - brzeg, 2 - brzeg rzeki przed spiętrzeniem, 3 - zatopione wyspy, 4 - większe skupienie spiętrzeń i wypiętrzeń lodu, 5 - pierwszy etap formowania się zatoru, 6 - drugi etap formowania się zatoru, 7 - linie kompresji lodu, 8 - km biegu Wisły, 9 - pokrywa lodowa ze stłoczonych krążków, 10 - podbitki śryżowe, 11 - miejsce wykonania rynny

Contours and cross-sections of Ice Jam, winter 1982:

1 - bank, 2 - river bank for damming, 3 - submerged islands, 4 - hummocked and ridged ice floes, 5 - first stage of ice jam forming, 6 - second stage of ice jam forming, 7 - compression lines, ice cover consist from pancake ice, 8 - km of Vistula course, 9 - agglomerate ice cover, 10 - hanging dams, 11 - channel in ice cover made by ice breakers



Ryc. 29. Kontury i przekroje poprzeczne zatoru, zima 1985

1 - wały, 2 - wyspy, 3 - pokrywa lodowa bez podbitek śróżowych, 4 - kontury zatoru, 5 - lód osiadły na dnie, 6 płonice

Contours and cross-sections of ice jam, winter 1985

1 - embankments, 2 - islands, 3 - ice cover without of underhanging frazil ice, 4 - contour of ice jam,

5 - ice accumulated on bed (anchor ice), 6 - polynya

9.4. PRZEBIEG ZJAWISK LODOWYCH PONIŻEJ STOPNIA WODNEGO

Powstanie stopnia wodnego doprowadziło do znacznych zmian ustroju lodowego rzeki. Objęły one odcinek rzeki do km 718. W wyjaśnieniu przebiegu zlodzenia odcinka rzeki powstającego pod wpływem pracy stopnia wodnego posłużono się schematem (Paschke, Coleman 1986). Charakterystyczną cechą analizowanego odcinka jest brak pokrywy lodowej na pewnym odcinku rzeki poniżej stopnia (ryc. 30). W warunkach zbliżonych do przeciętnych powstawanie inicyjalnej pokrywy lodowej obserwuje się dopiero w km 680-690. Bezpostaciowy śryż obserwowany jest około 7-10 km poniżej stopnia. Przyczyn tego upatrywać można w tym, że ze zbiornika wypływa woda o podwyższonej temperaturze i zubożona w zawieszinę (Paślowski 1970; Grześ 1991). Podwyższenie temperatury wynosi około $1,0^{\circ}$ C. Dodatkowy przyrost temperatury wody powodują zrzuty ścieków z Włocławka. Tworząca się poniżej stopnia pokrywa lodowa ma krótkotrwały charakter. Często są to bariery śryżowe w płytkich miejscach i w rejonach lokalnych spadków prędkości przepływu. Krótkotrwały charakter pokrywy lodowej wynika ze szczytowego rytmu pracy elektrowni wodnej i znacznych wahań stanów wody. Cienka kora wraz z niewielkimi ilościami śryżu spływając zatrzymuje się na skraju wcześniej utworzonej pokrywy lodowej. W ten sposób przez okres całej zimy poniżej stopnia tworzą się podbitki śryżowo-lodowe. Do szczególnie niebezpiecznych należą sytuacje z niewielkimi natężeniami przepływu (poniżej $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) i długotrwałymi ochłodzeniami. W godzinach nocnych, gdy elektrownia rozpoczyna szczytową pracę, dochodzi do przyrostu prędkości przepływu i wzrostu stanów wody. Skraj wcześniej utworzonej pokrywy lodowej ulega przesunięciu w dół rzeki. Prowadzi to do upakowania mas lodu w korycie.

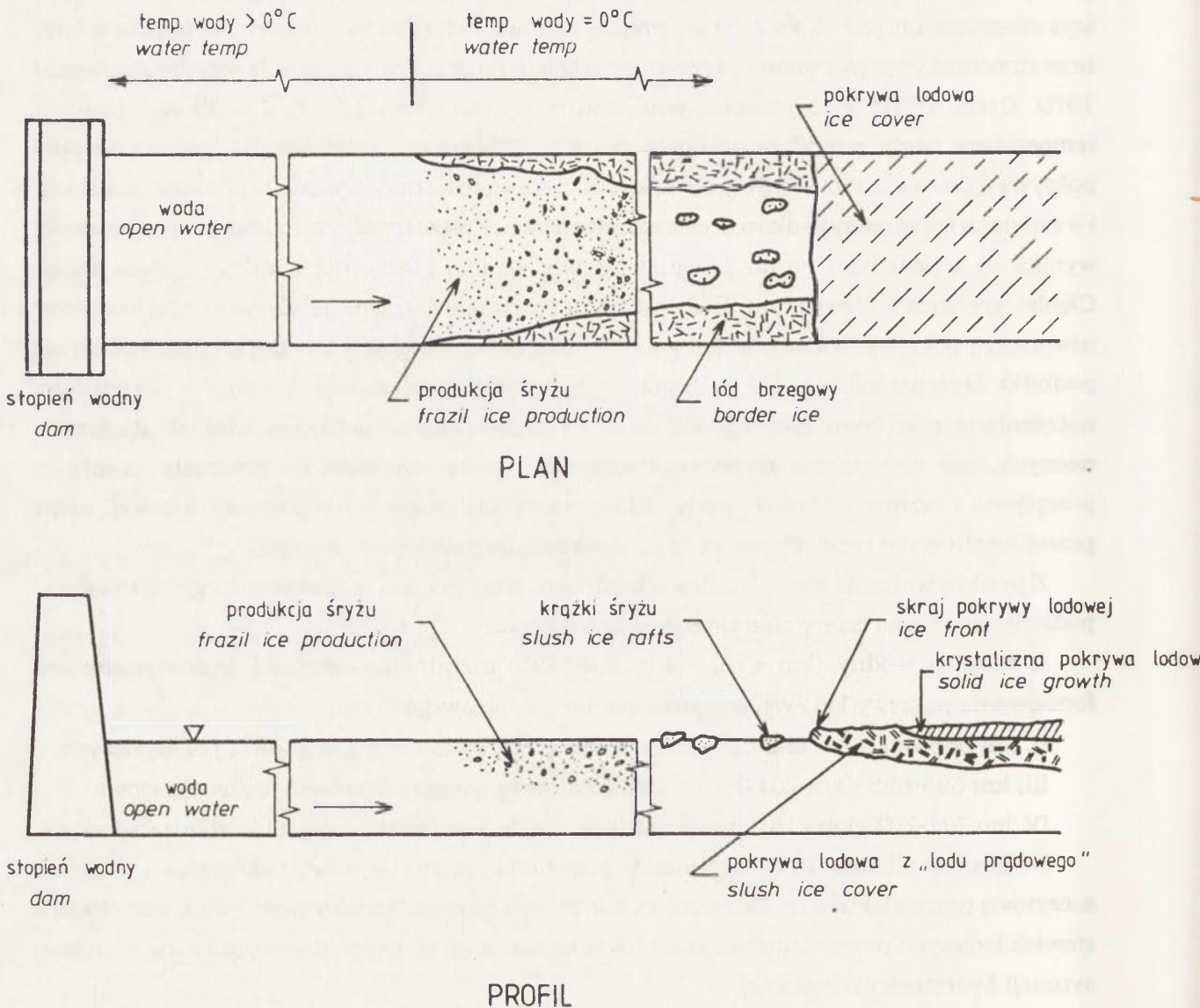
Z punktu widzenia zjawisk lodowych odcinek Wisły poniżej stopnia wodnego "Włocławek" podzielić można na cztery charakterystyczne odcinki:

- I. Stopień wodny (km 675) - km 688/692: utrudnione warunki hydrodynamiczne formowania pokrywy lodowej, powstawanie bezpostaciowego śryżu.
- II. km 688-692 - km 695-698: formowanie pokrywy lodowej z krażków i pól śryżowych.
- III. km 695-698 - km 701-702: odcinek zatorowy - zatory śryżowe i śryżowo-lodowe.
- IV. km 701-702 - km 718: formowanie pokrywy lodowej ze stłoczonych krażków śryżowych.

Na granicy odcinka I i II dochodzi do powstania zatorów śryżowo-lodowych wywołanych szczytową pracą elektrowni. Do czasu wybudowania stopnia "Ciechocinek", w okresie trwania zjawisk lodowych praca elektrowni wodnej "Włocławek" musi być podporządkowana aktualnej sytuacji hydrometeorologicznej.

Bliższego wyjaśnienia wymagają sytuacje w okresie przepuszczania lodu przez jaz. Akcja lodołamania na zbiorniku (wyłamywanie rynny wzdłuż zbiornika) połączona jest ze spławianiem lodu. W takiej sytuacji Wisła poniżej stopnia powinna być wolna od lodu. Warunek ten nie zawsze może być spełniony. Lodołamanie na przeszło 200 km odcinka dolnej Wisły od ujścia do stopnia przy niskich stanach wody jest bardzo trudne, a nawet niemożliwe. Dotyczy to szczególnie płytkiego odcinka nieuregulowanego (Babiński 1992) od km 690 do granicy

Wisły uregulowanej (km 718). Jak już wyżej wspomniano jest to wybitnie zatorowy rejon. Dlatego też dotarcie lodolamaczy do stopnia jeszcze przed rozpoczęciem spławiania lodu przez stopień nie zawsze jest możliwe. W takich warunkach spływająca kra rozbudowuje wcześniej utworzony zator śrężowo-lodowy. Gwałtownie rosną stany wody, aż do momentu naturalnego ruszenia zatoru.



Ryc. 30. Schemat formowania się pokrywy lodowej poniżej stopnia wodnego

(Według: N.W. Paschke, H.W. Coleman 1986)

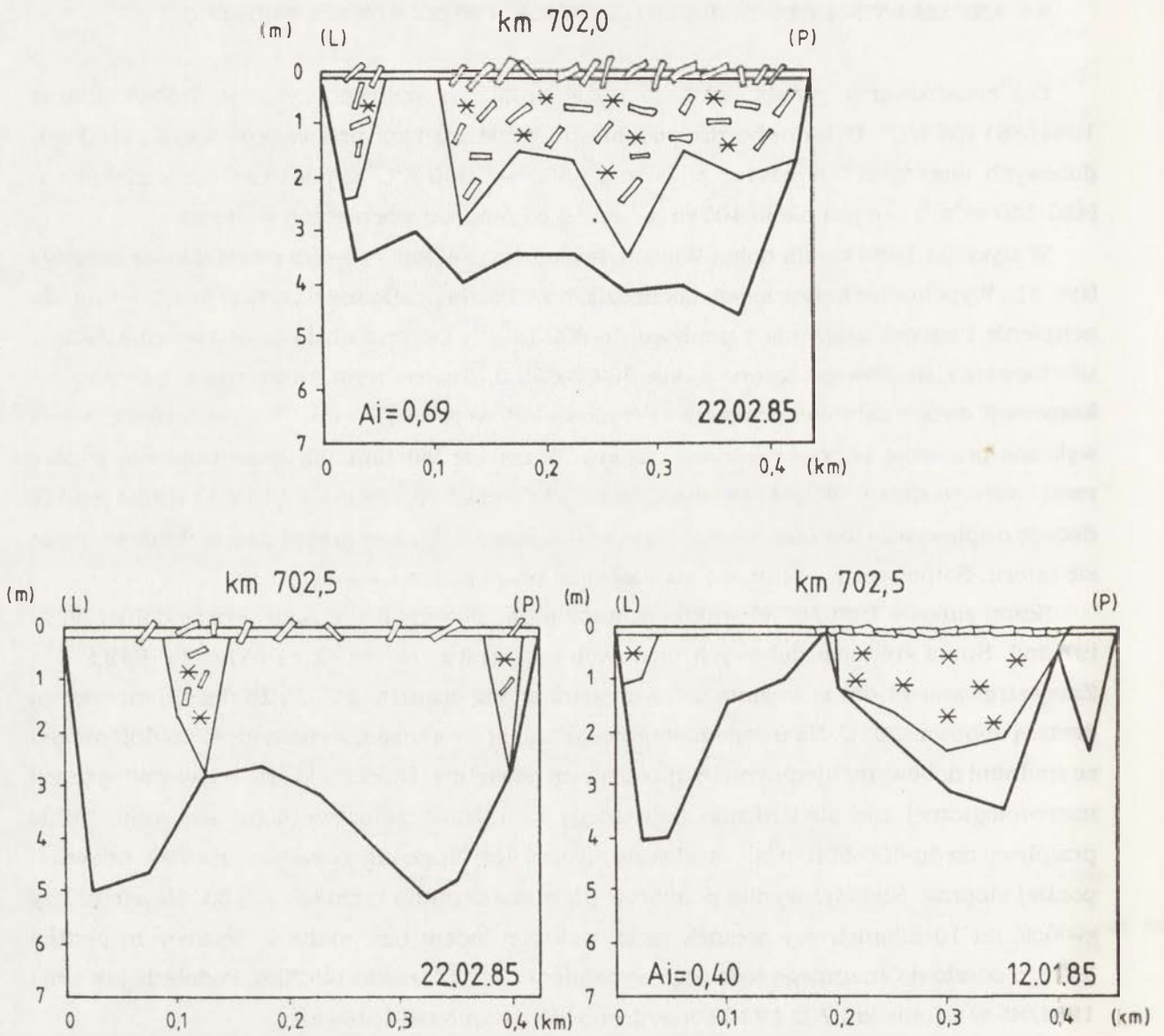
Model of ice cover formation downstream from the dam (after N.W. Paschke and H.W. Coleman 1986)

9.5. ANALIZA WYBRANYCH SYTUACJI LODOWYCH PONIŻEJ STOPNIA WODNEGO

Dla zilustrowania przedstawionego wyżej problemu wybrano sytuacje lodowe z zimy 1984/85 i 1986/87. Były one bardzo podobne do siebie, zarówno pod względem sumy średnich dobowych ujemnych temperatur powietrza (-500 — $-600 \Sigma^{\circ}\text{C}$ n, jak i natężenia przepływu (450 - $550 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) - to jest około $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ mniej od średniej wieloletniej wartości.

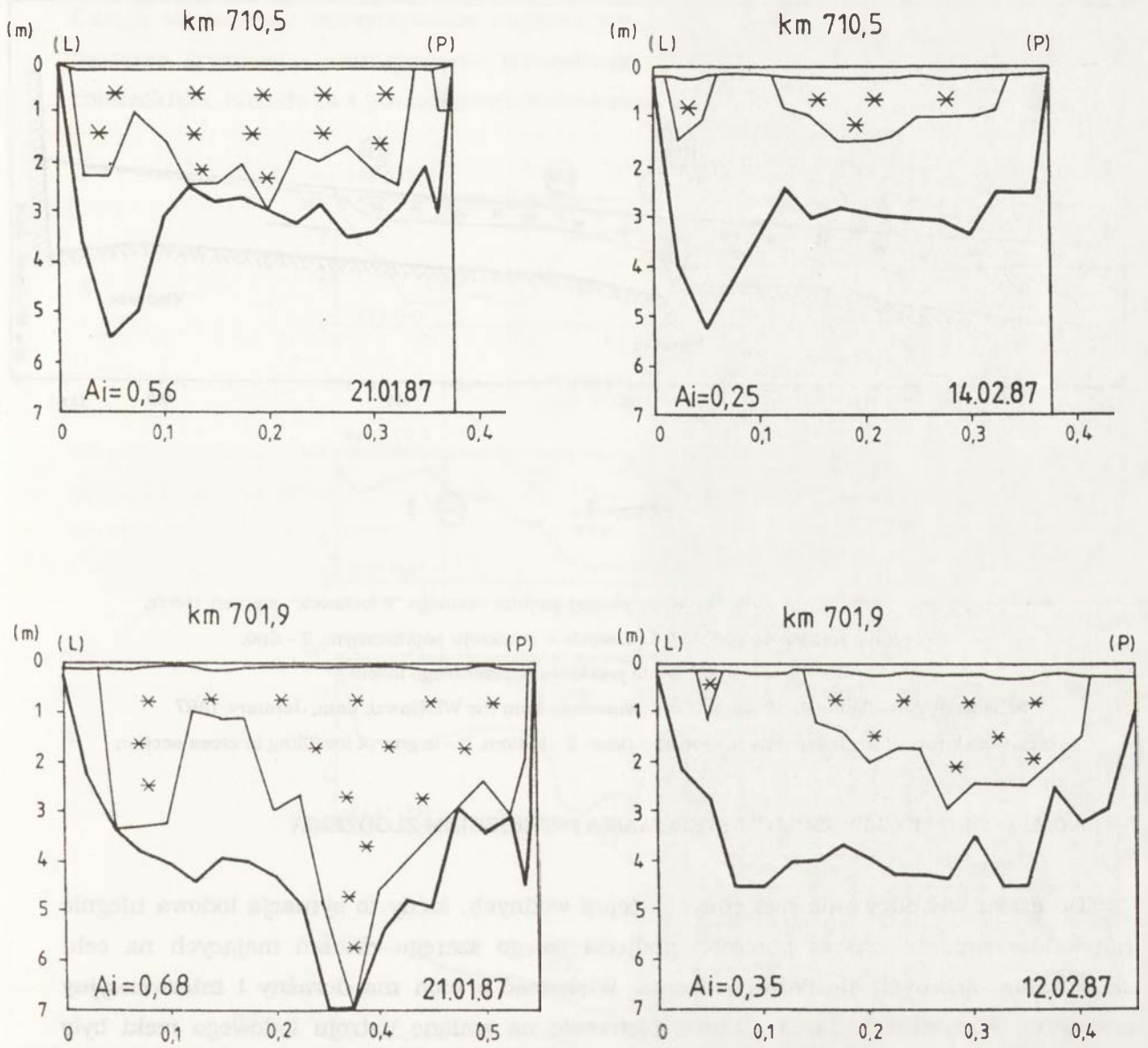
W styczniu 1985 r. cała dolna Wisła była zlodzona. W km 710-695 powstał zator śryżowy (ryc. 31). Wypełnienie koryta lodem dochodziło do 40%. Na przełomie stycznia i lutego wystąpiło ocieplenie i wzrost natężenia przepływu do $800 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Doprowadziło to do ruszenia lodu i uformowania się nowego zatoru w km 702,7-695,0. Stwierdzono interesujące zjawisko inkorporacji dwóch zatorów: śryżowego i śryżowo-lodowego. Na rycinie 32 przedstawiono dwa wybrane przekroje poprzeczne z tego rejonu. W trakcie lodołamania, postępującego w górę rzeki, rozbite zatoru okazało się niemożliwe. Kierownictwo stopnia wodnego podjęło jednak decyzję o spławianiu lodu do dolnego stanowiska. Przez 5 dni trwało sztuczne rozbudowywanie się zatoru. Samoistne ruszenie zatoru nastąpiło przy splętrzeniu około 2 m.

Sezon zimowy 1986/87 charakteryzował się długotrwałym zlodzeniem całej dolnej Wisły (97 dni). Suma średnich dobowych ujemnych temperatur za ten okres wynosiła $-619,9^{\circ}\text{C}$. Zarejestrowano 41 dni ze średnią dobową ujemną temperaturą -10°C , 13 dni z temperaturą średnią dobową -20°C . Na uwagę zasługuje fakt nieprzerwanego, wynoszącego 46 dni, okresu ze średnimi dobowymi ujemnymi temperaturami powietrza. Dzięki takiemu rozwojowi sytuacji meteorologicznej nie stwierdzono poważnego zagrożenia zatorowego na zbiorniku. Małe przepływy rzędu 400 - $500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ w okresie styczeń-luty sprzyjały rozwojowi zjawisk lodowych poniżej stopnia. Niektóre wyniki pomiarów przedstawiono na rycinach 32, 33. Uwagę należy zwrócić na 10 kilometrowy odcinek rzeki pokrytej lodem bez podbitek śryżowych, poniżej którego doszło do znacznego lodowego wypełnienia koryta, rzędu 60-70%. Podobnie jak zimą 1984/85 w rejonie km 702 i 710 stwierdzono zatory śryżowo-lodowe.



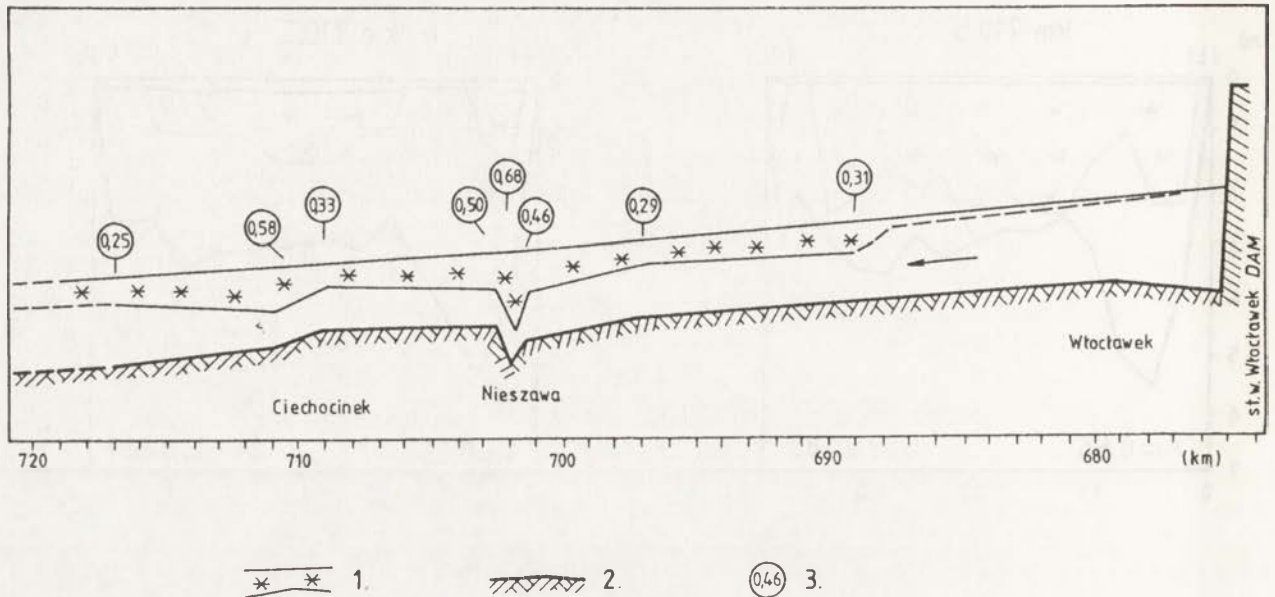
Ryc. 31. Przykłady przekrojów poprzecznych przez zator śrężowo-łodowy poniżej stopnia wodnego "Włocławek", zima 1985

Examples of cross-sections through the ice-frazil jam below the Włocławek dam, winter 1985



Ryc. 32. Przykłady przekrojów poprzecznych przez zator śrżyżowo-lodowy poniżej stopnia wodnego "Włocławek", zima 1987

Examples of cross-sections through the ice-frazil jam below the Włocławek dam, winter 1987



Ryc. 33. Schematyczny profil podłużny Wisły poniżej stopnia wodnego "Włocławek", styczeń 1987r.

- 1 - średnia miąższość podbitków śryżowych w przekroju poprzecznym, 2 - dno,
3 - stopień wypełnienia przekroju poprzecznego lodem

Scheme of Vvistula longitudinal profile downstream from the Włocławek dam, January 1987

1 - mean thickness of frazil deposits in cross-sections, 2 - bottom, 3 - degree of ice filling in cross-section

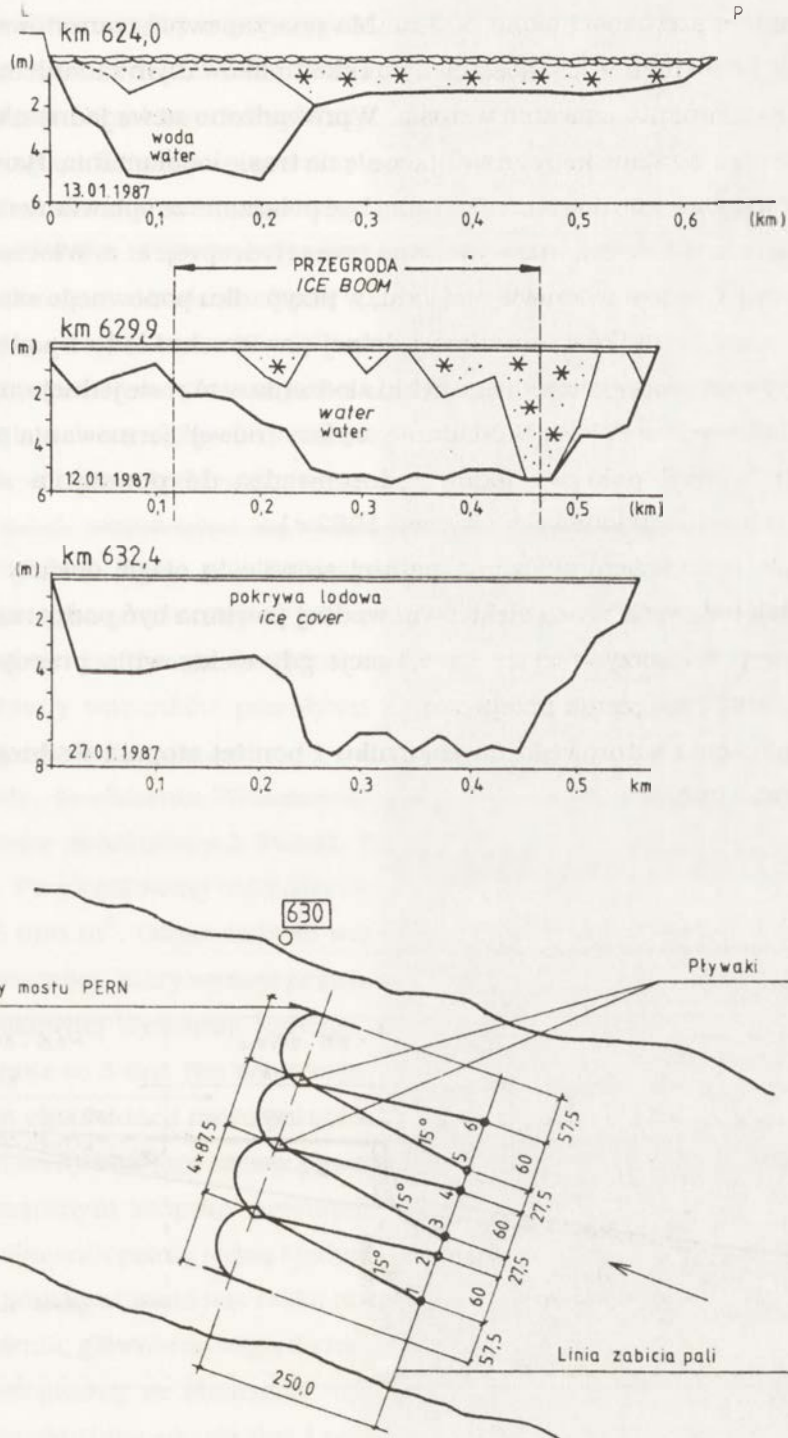
9.6. UWAGI O MOŻLIWOŚCIACH STEROWANIA PRZEBIEGIEM ZŁODZENIA

Do czasu wybudowania następnych stopni wodnych, kiedy to sytuacja lodowa ulegnie radykalnej zmianie, zaszła potrzeba podjęcia całego szeregu działań mających na celu złagodzenie ujemnych skutków zlodzenia. Większość z nich ma doraźny i interwencyjny charakter. Wszystkie badania wpływu piętrzenia na zmianę ustroju lodowego rzeki były wykonywane na potrzeby służb eksploatacyjnych stopnia i zbiornika włocławskiego. Wiele z nich było wykorzystanych w praktyce.

Likwidacja czy też złagodzenie ujemnych skutków zlodzenia ma szanse powodzenia tylko w przypadku kontrolowanych zmian struktury zlodzenia. Niekorzystną zmianę struktury zlodzenia uznano za główną przyczynę permanentnego zagrożenia powodziowego na zbiorniku.

Z punktu widzenia piętrzeń wywołanych zjawiskami lodowymi najkorzystniejsze są sytuacje gdy zbiornik szybko pokryje się zwartą taflą lodową. Długotrwałemu zamarzaniu towarzyszy napływanie do zbiornika dużych ilości lodu (ryc. 26), zmniejszenie przekroju czynnego i podniesienie się poziomu wody. W 1985 roku w górnej części zbiornika (km 630) zainstalowano po raz pierwszy tak zwaną przegrodę śryżową (przegrodę lodową - ice boom). Od tej pory są one stałym elementem ochrony przeciwpowodziowej zbiornika włocławskiego (ryc. 34). Ich zadaniem jest przyspieszenie powstawania pokrywy lodowej na zbiorniku (typ A).

Osiąga się to przez zatrzymywanie napływających krążków i pól śryżowych na "sztucznej" barierze śryżowej - zainicjowanie frontального rozbudowywania pokrywy lodowej poza zbiornikiem. Metoda ta z powodzeniem stosowana jest od wielu lat w USA i Kanadzie.

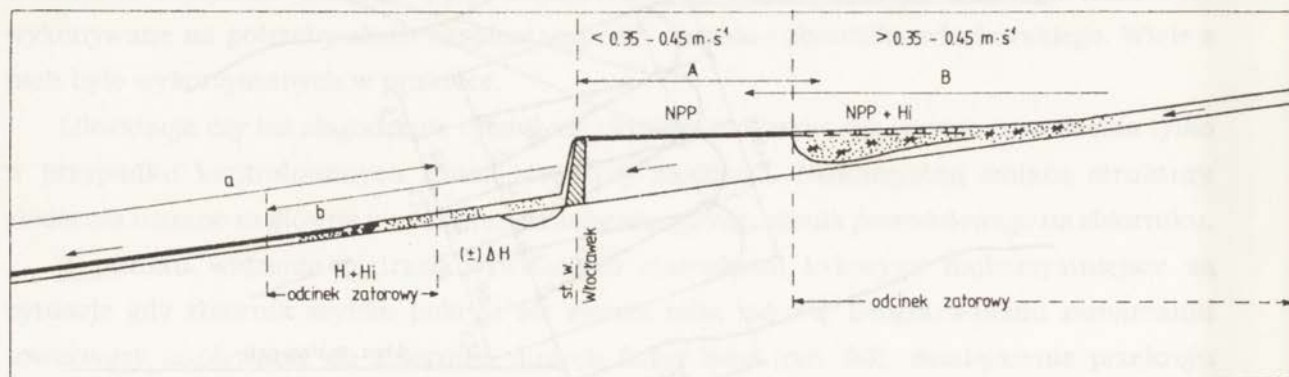


Ryc. 34. Warunki lodowe przegrody lodowej w Płocku
Ice conditions in ice boom area in Płock

Tendencja do dłuższego utrzymywania się pokrywy lodowej na zbiorniku, w stosunku do rzeki swobodnie płynącej powyżej, jest przyczyną tworzenia się niebezpiecznych zatorów lodowo-śryżowych. Złagodzenie tego zagrożenia osiąga się przez prowadzenie lodołamania. Przed prognozowanym rozpadem pokrywy lodowej, na całej długości zbiornika, lodołamacze wykonują rynnę o szerokości około 500 m. Ma ona zapewnić tranzytowe przepływanie lodu przez zbiornik. Lodołamanie jest kosztownym i skomplikowanym zadaniem. W ostatnich latach efektywność lodołamania znacznie wzrosła. Wprowadzono nowe jednostki o mocy 1000 KM. Zlikwidowano płytko zalane kępy znajdujące się na trasie lodołamania. Bardzo wyraźnie należy podkreślić, że lodołamanie na zbiorniku musi być połączone ze spławianiem lodu przez stopień. Określa to instrukcja lodołamania wykonana przez Hydroprojekt o/Włocławek w 1982 r. Samo wyłamanie rynny i pozostawienie w niej lodu, w przypadku ponownego zamrożenia prowadzi do przyrostu współczynników szorstkości dolnej powierzchni lodu i podniesienia się stanów wody. Występowanie więcej niż jednego cyklu zlodzenia w okresie jednej zimy jest typową cechą dla wód śródlądowych w Polsce. Nakładanie się fazy "nowej" formowania pokrywy lodowej, na fazę rozpadu "starej" pokrywy lodowej doprowadza do powstania skomplikowanych i niebezpiecznych sytuacji lodowych (styczeń 1982 r.).

Sterowanie przebiegiem zlodzenia poniżej stopnia to ciągle otwarty problem. W czasie trwania zjawisk lodowych praca elektrowni wodnej powinna być podporządkowana aktualnej sytuacji lodowej. Najkorzystniejsze są sytuacje gdy elektrownia pracuje przepływowo, bez gwałtownych zmian natężenia przepływu.

Strefy zagrożenia zatorowego na zbiorniku i poniżej stopnia wodnego przedstawiono w formie schematu (ryc. 35).



Ryc. 35. Strefy oddziaływania stopnia wodnego "Włocławek" na zjawiska lodowe
Zones of the Włocławek dam influence on ice phenomenon

ZAKOŃCZENIE

Stopień wodny "Włocławek" został zaprojektowany i wykonany jako pierwszy element kaskady dolnej Wisły. Zakładano ciągłość realizacji całego przedsięwzięcia. Niestety w latach siedemdziesiątych wstrzymano prace przygotowawcze do budowy stopnia wodnego koło Ciechocinka. Stopień wodny "Włocławek" pozostaje więc od blisko 25 lat jedynym zrealizowanym elementem kaskady dolnej Wisły. Z faktem tym związane są prawie wszystkie problemy eksploatacyjne. Dotyczy to szeroko pojętej strefy oddziaływania. Obejmuje ona: stopień, zbiornik, odcinek rzeki swobodnie płynącej powyżej zbiornika i poniżej stopnia.

Zakład Geomorfologii i Hydrologii Niżu Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk podjął badania zbiornika "Włocławek" i jego otoczenia zaraz po jego napełnieniu. W 1977 roku we wsi Dobiegniewo (km 660), na lewym brzegu zbiornika zorganizowano systematyczne obserwacje hydrometeorologiczne. Posterunek ten rozbudowano w latach następnych do rozmiarów stacji badawczej.

Zbiornik "Włocławek" jest obiektem zainteresowania specjalistów wielu dyscyplin. Wyniki dotychczasowych badań rozproszone są w różnych wydawnictwach. Wraz z powrotem do koncepcji kaskady dolnej Wisły powstało zapotrzebowanie na publikacje o charakterze monograficznym. Niniejsza praca nie jest pełną monografią hydrologiczną. Omówiono w niej tylko wybrane zagadnienia. Uwagę skupiono na tych elementach ustroju hydrologicznego, które w wyniku zmiany warunków przepływu wywołanych spiętrzeniem rzeki, stwarzają określone problemy eksploatacyjne.

Podkreślić należy, że zbiornik "Włocławek" o powierzchni około 70 km² jest jednym z największych akwenów śródlądowych Polski. Wśród zbiorników zaporowych plasuje się na pierwszym miejscu. Przy całkowitej objętości około 400 mln m³, objętość warstwy użytecznej wynosi zaledwie 55 mln m³. Odpowiada to warstwie wody 0,8 m. Biorąc pod uwagę średni roczny dopływ do zbiornika, który wynosi prawie 31 mld m³ (średnia z lat 1971-1990), warstwa użyteczna ulega całkowitej wymianie każdego dnia. Całkowita wymiana wody w zbiorniku włocławskim następuje co 5 dni. Nie pełni więc on roli zbiornika przeciwpowodziowego. A jak to wynikło w trakcie eksploatacji może potęgować zagrożenie powodziowe. Dotyczy to okresu zlodzenia zbiornika, kiedy to w jego czaszy powstają zatory śryżowe i śryżowo-lodowe. Zbiornik włocławski w nieznanym stopniu przyczynił się do skrócenia czasu trwania niżówek. Aktualnie stopień i zbiornik pełnią jedną i jedyną funkcję - energetyczną. Transport wodny nie funkcjonuje. Wisła poniżej stopnia jest rzeką niezeglowną. Gospodarka rybacka i rekreacja nie ma większego znaczenia, głównie ze względu na zanieczyszczenie wody. Istnieją tylko dwa duże ujęcia wody technologicznej ze zbiornika. Ujęcia wody poniżej stopnia muszą być ciągle przystosowywane do obniżającego się dna i poziomu rzeki.

Stopień wodny "Włocławek" ma dwóch gospodarzy. Jednym jest Inspektorat Eksploatacji Rzek Okręgowej Dyrekcji Gospodarki Wodnej we Włocławku, znajdujący się w strukturach

Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych. Drugim jest Elektrownia Wodna Włocławek podlegająca Zakładom Energetycznym. Nie do uniknięcia są sytuacje niezgodności interesów energetyki i gospodarki wodnej. Efektem tego jest między innymi dewastacja koryta poniżej stopnia wodnego.

Spiętrzenie Wisły o około 11 m doprowadziło do dwukrotnego przyrostu powierzchni zwierciadła wody w stosunku do swobodnie płynącej rzeki przed spiętrzeniem. Ograniczenie powierzchni osłagnięto przez budowę zapór bocznych. Wzrost powierzchni zwierciadła wody doprowadził do wzrostu parowania. W efekcie tego procesu ubywa ze zbiornika około $50\text{m}^3\text{s}^{-1}$ (ok. 4% przepływu). Strata ta jest dopiero uzupełniona na odcinku Wisły sięgającym Torunia.

Powstanie zbiornika zmieniło warunki transportu rumowiska wlezonego i unoszonego przez rzekę. Około 1,8 mln m^3 rumowiska wlezonego odkłada się co roku w górnej i środkowej części zbiornika, a także około 41% zawiesiny. Stwierdzona została zależność pomiędzy typem sedymentacji a dopływami do zbiornika. Stopniowe spływanie zbiornika pogorszyło warunki napływania i tranzytowego przepływania lodu. Doprowadziło to do wzrostu zagrożenia zatorowego. Już w kilka lat po oddaniu do eksploatacji zbiornika zaszła potrzeba pogłębiania jego czaszy. Poważny i niedoceniany problem stanowi toksyczność osadów dennych odkładanych przez Wisłę w zbiorniku.

Obecnie największym problemem eksploatacyjnym i zarazem hydrologicznym zbiornika jest duże zagrożenie powodzią zatorowymi. Wszystkie dotychczasowe działania (bagrowanie, podwyższanie zapór bocznych, instalowanie barier śryżowych) mają doraźny i interwencyjny charakter. Najskuteczniejszą metodą jest lodołamanie. Sytuacja ulegnie radykalnej zmianie dopiero po wybudowaniu kolejnego stopnia powyżej Płocka.

Wyniki obserwacji zjawisk lodowych prowadzonych na zbiorniku włocławskim jest niezwykle trudno transponować na planowane kolejne stopnie kaskady. Warto w tym miejscu przypomnieć, że w założeniach projektowych zbiornika włocławskiego wykorzystano doświadczenia i wyniki obserwacji ze zbiornika zegrzyńskiego. Zakładano, że powstała na zbiorniku włocławskim pokrywa lodowa stopi się na miejscu. Nie przewidywano prowadzenia na szeroką skalę lodołamania i przepuszczania lodu przez stopień. Już w pierwszych sezonach zimowych stwierdzono, że założenia projektowe nie sprawdziły się, a zjawiska lodowe stały się najpoważniejszym problemem eksploatacyjnym zbiornika włocławskiego. Spektakularnym przykładem jest tu katastrofalna powódź zatorowa w styczniu 1982 r. w rejonie Płocka. Praktycznie każdego sezonu zimowego, w którym wystąpiły zjawiska lodowe stwierdzono zatorowe nadpiętrzenia zwierciadła wody. Niektóre z nich były niższe od rzędnej zapór bocznych zaledwie o kilkanaście centymetrów. Na zbiorniku utrzymywana jest flotyła lodołamaczy w sile 8-10 jednostek o mocy 1000 KM. Od 1986 r. na wejściu do zbiornika instalowane są przegrody lodowe. Po 1982 r. w środkowej i górnej części zbiornika podwyższone zostały zapory boczne.

Procesy lodowe i formowanie się pokrywy lodowej poniżej stopni wodnych w znacznym stopniu zależą od reżimu pracy hydroelektrowni, natężenia przepływu i temperatury wody.

Poniżej stopnia wodnego - w strefie bezpośredniego oddziaływania elektrowni zjawiska lodowe są bardzo zróżnicowane - niesprzyjające do formowania pokrywy lodowej. Dobowy rytm pracy elektrowni uniemożliwia powstanie trwałej pokrywy lodowej. Przez cały okres zimy utrzymuje się poniżej stopnia wolne od lodu zwierciadło wody.

Przy przemieszczaniu się górnego skraju pokrywy lodowej na odcinkach o podwyższonych prędkościach przepływu pod pokrywą lodową podpływa śryż i kra lodowa. Doprowadza to do zmniejszenia przekroju czynnego rzeki i powstania zatorów śryżowych, lodowych i podniesienia stanów wody. Rozwój zjawisk lodowych poniżej stopnia "Włocławek" zależy głównie od reżimu pracy elektrowni wodnej. W wyniku jej pracy maksymalne wahania stanów wody mogą dochodzić do 3 m. Podczas tych nagłych zrzutów wody następują chwilowe przyrosty przepływów rzeki dochodzące do $1500-1600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, które są obserwowane na odcinku Wisły sięgającym Grudziądza. Największe dobowe wahania stanów wody notowane są w okresie trwania średnich przepływów, zaś minimalne podczas wezbrań i niżówek. W przebiegu dobowym, choć trudno stwierdzić wyraźną cykliczność pracy stopnia, to jednak wyróżnić można najczęściej dwie kulminacje stanów wody przypadające na godziny nocne i południowe. Podczas ich tworzenia się następuje chwilowy wzrost spadków zwierciadła wody dochodzący maksymalnie do 0,45%.

Dobowe wahania przepływów dające znaczne przyrosty energii kinetycznej rzeki wraz z wpływem ze zbiornika "oczyszczonych" z rumowiska wleczonego wodami Wisły, wywołują intensywny proces erozji wgłębnej poniżej zapory. Przemieszcza się on w postaci tzw. "fali erozyjnej" w dół rzeki z przeciętną prędkością 1,2 km w ciągu roku. Wraz z ustawicznym, nierównomiernym w czasie i przestrzeni obniżaniem się dna koryta następują zmiany w spadku zwierciadła wody. W początkowym okresie działalności zbiornika, na odcinku erozyjnym, był on niewielki i wynosił około 0,05%, obecnie zmierza do osłabnięcia wartości sprzed piętrzenia, przy obniżonym dnie koryta o około 2,5 m. Proces obniżania się dna koryta w znacznym stopniu ograniczają odporne na erozję utwory ilasto-gliniaste i bruk morenowy oraz uregulowany odcinek Wisły poniżej ujścia rzeki Tażyny.

Poniżej odcinka erozyjnego tworzy się strefa agradacji o zmniejszonym spadku dna i zwierciadła wody. Podnoszące się dno koryta przeciętnie o 0,2-0,4 m w stosunku do okresu poprzedzającego spiętrzenie rzeki wraz z dużym nagromadzeniem się łach płaszczystych stwarza na tym odcinku dogodne warunki do tworzenia się zatorów śryżowo-lodowych. Jest to zjawisko aktualnie zagrażające Nizinie Ciechocińskiej.

Wyeliminowanie niekorzystnych dla człowieka zjawisk hydrologicznych Wisły powstałych w wyniku samotnie działającego zbiornika wodnego we Włocławku tj. - procesu całkowitej akumulacji rumowiska wleczonego w górnej części zbiornika (odcinek zatorogenny), - akumulacji toksycznego rumowiska unoszonego w całym zbiorniku, -

procesu erozji wgłębnej poniżej zapory czołowej, - tworzenia się poniżej odcinka erozyjnego strefy akumulacyjnej (odcinek zatorogenny, trudny dla żeglugi), może w tych warunkach nastąpić w przypadku wybudowania pozostałych stopni planowanej kaskady dolnej Wisły.

LITERATURA

- Aleksiński K., 1955, *Ruch rumowiska a zamulanie zbiornika*, (w:) 9 Projekt stopnia piętrzącego na Wiśle we Włocławku, CBSiPBW "Hydroprojekt", Włocławek.
- Avakian A.B., Arapov V.A., Salatkin V.P., .. 1979, *Vodoohranilica mira*, Izdat. "Nauka", Moskwa.
- Babiński Z., 1982, *Procesy korytowe Wisły poniżej zapory wodnej we Włocławku*, Dok. Geogr., 1,2.
- 1985, *Hydromorfologiczne konsekwencje regulacji dolnej Wisły*, Przegl. Geogr., 57, 4, 471-486.
- 1986, *Zmiany warunków hydrologicznych i morfologicznych Wisły poniżej stopnia wodnego "Włocławek"* (w:) J. Szupryczyński (red.) *Zbiornik Włocławski - niektóre problemy z geografii fizycznej*, Dok. Geogr., 5, 41-54.
- 1992, *Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły*, Prace Geogr., 157.
- Banach M., 1977, *Rozwój osuwisk na prawym zboczu doliny Wisły między Dobrzyńem a Włocławkiem*, Prace Geogr., 124.
- 1985, *Osady denne - wskaźnik hydrodynamiki zbiornika włocławskiego*, Przegl. Geogr., 57, 4, 487-497.
- 1988, *Główne procesy a osady w strefie brzegowej zbiornika Włocławek*, Przegl. Geogr., 60, 3, 267-299.
- 1994, *Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Prace Geogr., 161.
- Branicki A., Biegała L., 1985, *Charakterystyka przebiegu zlodzenia Wisły przed i po spiętrzeniu stopniem Włocławek*, (w:) W. Majewski (red.) *Powódź zatorowa na Wiśle w rejonie zbiornika Włocławek w zimie 1982 r.*, Komitet Gospodarki Wodnej PA, Ser. Monografie, Wyd. Geol., Warszawa, 50-67.
- Cyberski J., 1982, *Charakterystyka hydrologiczna dolnej Wisły*, (w:) B. Augustowski (red.), *Dolina Dolnej Wisły*, Osolineum, Wrocław, 103-153.
- Dąbkowski S.L., 1971, *Prognoza zamulania zbiorników dolnych na przykładzie Zbiornika Włocławek na rzece Wiśle*, maszynopis pracy doktorskiej, SGGW-AR, Warszawa.
- Faferek B., 1960, *Inżynierskie badania geologiczne dla stopnia wodnego we Włocławku*, Przegl. Geol., 2, 84-89.
- Glazik R., 1978, *Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Włocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie*, Dok. Geogr., 2/3.
- Głodek J., 1985, *Jeziora zaporowe świata*, PWN, Warszawa.

- Grześ M., 1978, *Termika osadów dennych w badaniu Jezior*, Prace Geogr., 130.
- 1983, *Niektóre problemy stopnia wodnego "Włocławek" i jego zbiornika*, Czasop. Geogr., 54, 4, 439-457.
- 1985, *Problem zatorów i powodzi zatorowych na dolnej Wiśle*, Przegl. Geogr., 57, 4, 499-525.
- 1991, *Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle. Mechanizmy i warunki*, IGIPZ PAN, Warszawa.
- Kłosiński J., 1984, *Trzy przegrodzenia*, Gosp. Wodna, 4, 245-250.
- Król D., 1988, *Procesy sedymentacyjne w zbiorniku wodnym "Włocławek" w latach 1984-1987*, Inform. Projekt. CBSiPBW "Hydroprojekt", 4, 27-35.
- Machalewski W., Miłkowski M., Rozwadowski J., 1974, *Wpływ stopnia wodnego we Włocławku na warunki żeglugowe dolnej Wisły*, Gosp. Wodna, 3, 114-117.
- Majewski W., Grześ M., 1986, *Formation ice cover on impounding reservoir and its influence on roughness coefficients and flow conditions.*, IAHR Ice Symposium, Iowa City, Proceedings I, 63-73.
- Mayer W., 1979, *Wpływ zbiorników na charakter hydrologiczny rzek*, Gazeta Obs., IMGW, 4(376), 6-9.
- Meler Z., 1987, *Stopień i zbiornik Włocławek - miejsce w projektowanej kaskadzie i eksploatacja*, (w:) *Konferencja naukowo-techniczna: "Problemy eksploatacyjne zbiornika wodnego Włocławek"*, NOT - SI i TWM, Płock, 5-22.
- Michel B., 1986, *Packing in front of a forming river ice cover*, IAHR Ice Symposium, Iowa City, Proceedings I, 75-87.
- Paschke N.W., Coleman H.W., 1986, *Forecasting the effects on the effect on river ice due to the proposed Sustina Hydroelectric Project*, Proceedings of the "Cold Regions Hydrology Symposium", Am. Water Res. Ass., 557-563.
- Pasławski Z., 1970, *Wpływ zjawisk lodowych na przepływ rzeczny*, Prace PIHM, 99, Wyd. Komunikacyjne, Warszawa.
- Patalas K., 1960, *Mieszanie wody jako czynnik określający intensywność krążenia materii w różnych morfologicznie jeziorach okolic Węgorzewa*, Roczn. Nauk Roln., 77, B-1, Warszawa, 223-242.
- Procesy sedymentacyjne w zbiorniku "Włocławek"*, 1981, (w:) *"Hydroprojekt" O/Włocławek*, nr arch. 4772-B/81, m-pls.
- Rosiński A., 1987, *Erozja rzeki poniżej stopnia we Włocławku* (w:) *Konferencja Naukowo-Techniczna: "Problemy eksploatacyjne zbiornika wodnego Włocławek"*, NOT Płock, 23-44.
- Shen H.T., 1985, *Hydraulics of river ice*, Departm. of Civil and Environ. Eng., Clareson Univ., Rep. 85-1.
- Skibiński J., 1985, *Charakterystyka morfologiczna Wisły na odcinku Modlin-Włocławek oraz zmiany powstałe w ukształtowaniu dna w wyniku spiętrzenia wody w Zbiorniku Włocławskim* (w:) W. Majewski (red.) *Powódź zatorowa na Wiśle w rejonie Zbiornika Włocławek w zimie 1982 r.*, Wyd. Geol. Warszawa, 35-49.
- Śliwiński W., 1979, *Stopień wodny "Włocławek" - procesy sedymentacyjne w zbiorniku*, Inform. Projekt., CBSiPBW "Hydroprojekt", 3, 1-4.
- Śliwiński W., 1987, *Realizacja prac pogłębiarskich w czaszy zbiornika "Włocławek"*, Inform. Projekt., CBSiPBW "Hydroprojekt", 1-2, 1-10.

HYDROLOGICAL MONOGRAPH OF THE WŁOCŁAWEK RESERVOIR

Summary

The "Włocławek" barrage was designed and completed as the first element of the Lower Vistula cascade. It was assumed that the whole project would be carried on. Alas, in the 1970s the preparatory works for building the barrage near Ciechocinek were stopped. Thus, the "Włocławek" dam has been the only realized element of the Lower Vistula cascade for nearly 25 years. Almost all exploitation problems are connected with this fact. It refers to a widely understood zone of influence which includes: the dam, the reservoir, the section of the "natural" flowing river above the reservoir and below the dam.

The "Włocławek" reservoir, with its surface of about 70 km², is the biggest man-made lake in Poland. Having total capacity of about 400 mln m³ it has only 55 mln m³ of the using layer which gives a water layer 0.8 m deep. Taking into consideration an average annual inflow to the reservoir, which is nearly 31 mld m³ (an average for years 1971-1990), the using layer gets exchanged totally every day. Total exchange of water of the whole reservoir takes place every 5 days. Thus, "Włocławek" barrage does not act as the flood reservoir. And as it resulted from the exploitation process of the reservoir it can even increase flood phenomenon. It refers to the periods when the reservoir is frozen over and ice-jams and frazil-ice jams originate in the upper part of reservoir. The "Włocławek" reservoir contributed to shortening periods of low water of the Vistula river only to a very slight degree. At present the dam and the reservoir have only one function - generating energy. Water transport does not function. Below the dam the Vistula river is not navigable. Fishing and recreation are not important due to water pollution. There are only two big intakes of technological water from the reservoir. The intakes which are located below the dam must be continuously adapted to the lowering bottom and river water level.

Damming up of about 11 m of the Vistula river resulted in doubling of the water surface in comparison with the freely flowing river before damming. The surface was reduced by building side dams. The increase of the surface caused an increase of evaporation. Thus, as a result, about 50 m³ of water diminish per second (about 4% of flow). This loss is filled up only in the section of the Vistula river near Toruń. Construction of the reservoir changed conditions of river transport of bed-load and suspended-load. About 1.8 mln m³ of the bed-load is accumulated annually in the upper and middle part of the reservoir. About 41% of suspended-load is also accumulated in the reservoir. It was found out that there exists a dependence of the type of sedimentation and inflow to the reservoir. Gradual shallowing of the reservoir worsened conditions of inflow and transit flow of ice. It brought about an increase of ice-jam phenomenon. A few years after the completion of the reservoir, the need for deepening its upper part appeared. Toxicity of bottom deposits accumulated in the reservoir by the Vistula river is a serious and underestimated problem.

Actually the biggest exploitation and, at the same time, hydrological problem of the reservoir is a threat of serious ice-jam flood. All the works that have been done up till now, that is dredging, highering side dams, and installing frazil boom barriers, are only of emergency and intervention character. Ice-breaking is the most efficient method. The situation is going to be changed radically only after constructing the next dam up the river near Płock.

It is very difficult to use the results of observations of ice occurrences, carried on the "Włocławek" reservoir, to the next planned dams of the cascade. It is worth reminding that at the time of the "Włocławek" reservoir projecting, the experiences and results of the "Zegrzyn" reservoir were used. It was assumed that ice cover on the "Włocławek" reservoir would melt on the spot. Intensive breaking and passage of ice over the dam were not anticipated. However, during the first winter season it occurred that the project assumptions did not work, and ice occurrences became the most serious exploitation problem of the "Włocławek" reservoir. A spectacular example was the disastrous ice-jam flood in the Płock region in January 1982. Practically every winter season when ice occurrences were noted, damming up of the water level appeared due to ice-jams. Some of them were only a dozen centimetres lower than the side dam ordinate. There is a fleet of 8 to 10 ice-breakers of 1000 KM power kept on the reservoir. At the entrance to the reservoir ice frazil booms have been being installed since 1986. Additionally, side dams were highered in the middle and upper part of the reservoir after 1982.

Ice processes and forming of ice cover below the dam depend to a high degree on regime of hydro-electric power plant, intensity of flow and temperature of water.

Below the dam, within the zone of direct influence of power plant, ice occurrences are considerably varied. It is unpropitious for ice cover forming. A 24-hours rhythm of power plant work does not allow permanent ice cover to form. During the whole winter period water below the dam is free from ice.

When the upper edge of ice cover moves through the sections of quicker flow, frazil-ice and ice float get under it. As a result, cross-section of the river gets smaller. It causes creating frazil and ice-jams, and uplifting of water level. Development of ice occurrences below "Włocławek" dam depends mainly on hydro-electric power plant regime. Its work results in fluctuation of water level up to 3 m. Sudden dumping of water effects in temporary increase of river flow up to 1500 - 1600 m³ per second. It is observed along the Vistula section even as far as Grudziądz. The biggest 24-hours water level fluctuations are noted during periods of average flow, while minimal ones - during flooding and low water levels. It is very difficult to trace a clear cycle of hydro-electric power plant work. However, it is possible to distinguish two culminations in 24-hours course: one at night and one at noon. The temporary fluctuation of water level gets up to 0.45%.

24-hours fluctuations of flow cause considerable increase of kinetic energy of the river. This phenomenon, together with the fact that water flowing out of the reservoir is free from bed-load, intensifies bed erosion below the dam. It moves down the river as so called "erosive wave" with the average speed of 1.2 km per year. Constant, but irregular in time and space, lowering of the river bed causes changes in water level drop. At the beginning of the reservoir operating it was minimal in the erosive section: about 0.05%. At present it tends to reach the value it had before damming up, but now at the river bed about 2.5 m lower. The process of lowering of the river bed is limited by silt-and-clay and morainic formation, while expanding of it down the river is limited by a flood-controlled section of the Vistula river below the mouth of the Tążyna river.

Below the erosive section there is an aggradation zone having lowered bottom slope and water level. Uplifting of the river bed from 0.2 to 0.4 m on average compared to the state before damming up, together with intensive accumulation of the sand bars at that section creates good conditions for frazil-ice jams. Actually they threaten of Ciechocinek Lowland.

Hydrological occurrences of the Vistula river, disadvantageous for man, result from operating the only water reservoir in Włocławek. They include: - process of accumulation of bed-load totally in the upper part of the reservoir (subject to ice-frazil jams), - accumulation of toxic suspended-load within the whole of the reservoir, - process of bed erosion below the dam, - process of creating an accumulation zone below the erosive section (subject to ice frazil jams, difficult to navigate). Elimination of the phenomena mentioned above is possible only by building the rest of the planned dams of the Lower Vistula cascade.

The first part of the document is a preface, written by the author, in which he explains the purpose and scope of the work. He states that the book is intended for students and researchers in the field of...

The second part of the document is the main body of the text, which is divided into several chapters. The first chapter discusses the historical background of the subject, while the subsequent chapters focus on the theoretical and practical aspects of the topic. The author provides a detailed analysis of the various factors that influence the process, and offers several suggestions for improvement.

The third part of the document is a conclusion, in which the author summarizes the main findings of the study and offers some final thoughts on the subject. He emphasizes the importance of further research in this area, and expresses his hope that the book will be of some use to its readers.

The fourth part of the document is a list of references, which includes a number of books, articles, and other sources that have been consulted in the preparation of the work. The references are arranged in alphabetical order, and provide a useful guide to further reading on the subject.

The fifth part of the document is an index, which provides a convenient way of finding specific information within the book. The index is organized in a logical and systematic manner, and covers all the major topics and sub-topics discussed in the text.

The sixth part of the document is a glossary, which defines the key terms and concepts used in the book. The glossary is written in a clear and concise manner, and provides a useful reference for students and researchers alike.

The seventh part of the document is a list of appendices, which contain additional information and data that are related to the main text. The appendices are organized in a logical and systematic manner, and provide a useful reference for students and researchers alike.

The eighth part of the document is a list of acknowledgments, in which the author expresses his appreciation to the many people and organizations that have helped him in the preparation of the book. He thanks his family, friends, and colleagues for their support and encouragement.

**Wymagania techniczne
stawiane pracom składanym do druku w „Zeszytach IGiPZ PAN”**

Teksty na dyskietkach muszą spełniać następujące warunki:

1. Zapis w kodach ASCII (większość edytorów ma możliwość eksportu do ASCII; wykluczamy edytor Chi-Writer dla tekstów polskich) z rozszerzeniem TXT, np. BAZA.TXT.

2. Pojedyncza interlinia.

3. Bez wcięć akapitowych, przenoszenia wyrazów, wyrównywania prawego marginesu.

4. Paragrafy (akapity) rozdzielone jedną linią wolną.

5. Tekst gładki, bez wyróżnień (tj. pogrubień, podkreśleń, subskryptów itp.).

6. Podanie jedynie podpisów rysunków i tabel.

7. Miejsca, w których występują wzory, zaznaczyć w nawiasach; same wzory osobno na wydruku lub na kartce.

8. Tabele oraz rysunki przygotowane za pomocą innych programów (np. LOTUS) należy umieścić w osobnym pliku o stosownym rozszerzeniu (np. KOŁO.PIC dla rysunków z LOTUSA).

Wydruk dołączony do dyskietki powinien być wydrukowany z podwójną interlinią oraz zawierać wymiary rycin i tabel.

Uwaga!

Do pracy należy dołączyć streszczenie (maksymalnie do 5 stron), spis rycin i tabel oraz abstrakt (3-4 zdania) i słowa kluczowe (3-4) w wersji polskiej i angielskiej.

Informacje dla autorów

"Zeszyty IGiPZ PAN" wychodzą w standardowym nakładzie 120 egzemplarzy (w tym 15 autorskich).

Bieżące numery publikacji IGiPZ PAN rozprowadza ORWN, Pałac Kultury i Nauki, Warszawa.

Numery wcześniejsze są do nabycia w Dziale Wymiany Biblioteki IG i PZ PAN ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa, w godz. od 9 do 15.

1993

12. Z. BABIŃSKI - Stopień wodny Ciechocinek i jego zbiornik Nieszawa - prognoza zmian środowiska geograficznego;
P. GIERSZEWSKI - Denudacja chemiczna w zlewni Rudy.
13. A. GAWRYSZEWSKI - Struktura przestrzenna zatrudnienia i bezrobocia w Polsce, 1990-1992.
14. M. SOBCZYŃSKI - Trwałość dawnych granic państwowych w krajobrazie kulturowym Polski.
15. P. KORCELLI, A. GAWRYSZEWSKI, E. IWANICKA-LYRA, A. MUZIÓŁ-WĘCŁAWOWICZ, A. POTRYKOWSKA, M. POTRYKOWSKI, Z. RYKIEL - Program rozwoju Warszawy - synteza.
16. T. GERLACH, M. KRYSOWSKA-IWASZKIEWICZ, K. SZCZEPANEK, M.F. PAZDUR - Nowe dane o pokrywie karpackiej odmiany lessów w Humniskach koło Brzozowa.
17. R. SZCZĘSNY - Poziom produkcji towarowej rolnictwa indywidualnego w Polsce. Przestrzenne zróżnicowanie i przemiany w latach 1960 - 1988.
18. T. KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA, D. LIMANÓWKA, T. NIEDŹWIEDŹ, Z. USTRNUL, S. PACZOS - Charakterystyka termiczna Polski.
19. R. SZCZĘSNY - Zróżnicowanie produkcji rolnictwa polskiego w aspekcie gospodarki żywnościowej w 1990r.
20. A. WOŚ - Regiony klimatyczne Polski w świetle częstości występowania różnych typów pogody.

1994

21. A. WERWICKI - Sfera usług społeczno-kulturalnych w wybranych krajach środkowoeuropejskich w ostatniej dekadzie istnienia nakazowo-rozdzielczego systemu gospodarczego (1980-1989); Potencjały naukowe w Polsce w 1990 roku i ich rozmieszczenie.
22. E. NOWOSIELSKA - Sfera usług w badaniach geograficznych. Główne tendencje rozwojowe ostatniego dwudziestolecia i aktualne problemy badawcze.
23. T. LIJEWSKI - Infrastruktura komunikacyjna Polski wobec zmian politycznych i gospodarczych w Europie Środkowej i Wschodniej.
24. A. BOKWA, A. MROCZKA, R. PRZYBYŁA, J. ŚMIAŁKOWSKI, R. TWARDOSZ - Wybrane zagadnienia z klimatologii i bioklimatologii.
25. M. DEGÓRSKI, A. MATUSZKIEWICZ, W. MATUSZKIEWICZ, J.M. MATUSZKIEWICZ - Badania porównawcze ekosystemów leśnych w Finlandii.
26. T.S. KONSTANTINOVA, J. BOLOBAN, J. PASZYŃSKI, J. SKOCZEK, B. KRAWCZYK - Badania topoklimatyczne w Moldawii.
27. R. SZCZĘSNY - Rolnictwo Finlandii. Przestrzenne zróżnicowanie i przemiany.
28. K. BŁAŻEJCZYK, B. KRAWCZYK - Bioclimatic research of the human heat balance.

1995

29. P. EBERHARDT - Zagadnienia ludnościowe obszaru byłych Prus Wschodnich.

PL - ISSN 0867-6836
WYDAWNICTWA IGI PZ PAN, WARSZAWA

<http://rcin.org.pl>