

Badania dynamiki wód filtracyjnych w zaporze czołowej zbiornika Siemianówka

Abstract

Research of filtration waters dynamics in main dam of reservoir Siemianówka. Research of filtration waters dynamics in main dam of reservoir Siemianówka are carried out since start of piling it up since 1990. Measurements of water levels in 32 piezometers located in 8 cross - section of dam and upper and lower water levels take place within the scope of research. Results of measurements make ground for detail analysis of water levels changes in dam body and for estimation of influence of piling up on filtration condition too. The analysis consisted in investigation of the course of water levels changes and values of yearly medium, maximum and minimum levels in 1990–1994. In the summary confirmed that filtration waters regime in dam body is correct and water fluctuations in measurement section are connected with changes of lower water levels to a considerable degree.

Key words: water reservoir, dam, dynamic of filtration waters

Wstęp

Budowę zbiornika Siemianówka na rzece Narwi wraz z obiektami towarzyszącymi zakończono w 1991 r. Kontrolowane piętrzenie wody na zaporze czołowej rozpoczęto w pierwszych miesiącach

1990 r., prowadząc równocześnie systematyczne obserwacje poziomów wody w piezometrycznych przekrojach pomiarowych w korpusie i przyczółkach zapory.

W ciągu całego okresu realizacji zbiornika służby inwestorskie i wykonawcze współpracowały ściśle z nadzorem naukowym sprawowanym przez pracowników Katedry Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych SGGW. Nadzór ten obejmuje również okres rozruchu i pierwszych lat eksploatacji podstawowych obiektów zbiornika. W ramach tych prac prowadzone są m.in. badania dynamiki wód filtracyjnych. Niniejszy referat relacjonuje wyniki tych badań prowadzonych w zaporze czołowej w latach 1990–1994.

Ogólna charakterystyka i zadania zbiornika

Zbiornik został wybudowany w dolinie rzeki Narwi w km 367,38 biegu rzeki, gdzie w rejonie wsi Łuka i Rybaki zlokalizowano zaporę czołową. Przy maksymalnym piętrzeniu 145,00 m n.p.m. zbiornik ma długość 11 km, a szerokość

*SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa.

od 0,8 do 4,5 km. Powierzchnia zalewu wynosi 32,55 km², pojemność całkowita 79,5 mln m³, a pojemność użyteczna 62 mln m³. Średnia głębokość zbiornika ok. 2,5 m.

Podstawowym zadaniem inwestycji było zmagazynowanie wody w celu zapewnienia 45 mln m³ wody rocznie do nawodnień łąk w dolinie rzek Narwi i Supraśli, w tym kompleksu Bagna Wizna oraz 17 mln m³ dla zaspokojenia perspektywicznych potrzeb gospodarki komunalnej i przemysłu aglomeracji białostockiej. Ponadto zbiornik pozwalał na zwiększenie przepływów niżówkowych w ww. rzekach w celu poprawy ich stanu sanitarnego, aktywizację gospodarczą terenów wokół zbiornika, stworzenie warunków dla rozwoju ośrodków wypoczynkowych i sportów wodnych oraz umożliwienie prowadzenia gospodarki rybackiej. Natomiast nie przewidywano możliwości wykorzystania zbiornika do celów ochrony przeciwpowodziowej.

Pierwotne założenia gospodarcze zbiornika zdezaktualizowały się, głównie ze względu na zmianę warunków i założeń społeczno-gospodarczych w kraju i regionie. Obecnie jego funkcja sprowadza się do zasilania wodą terenów Narwiańskiego Parku Krajobrazowego w okresie niskich stanów wody w rz. Narwi, zwiększenia w niej przepływów niżówkowych, prowadzenia gospodarki rybackiej w zbiorniku. Stworzył on również warunki do aktywizacji gospodarczej terenów wokół zbiornika; rozwoju rekreacji w regionie; zmniejszenia zagrożenia powodziowego w dolinie Narwi; wykorzystania piętrzenia wody do celów energetycznych.

Konstrukcja i parametry zapory czołowej

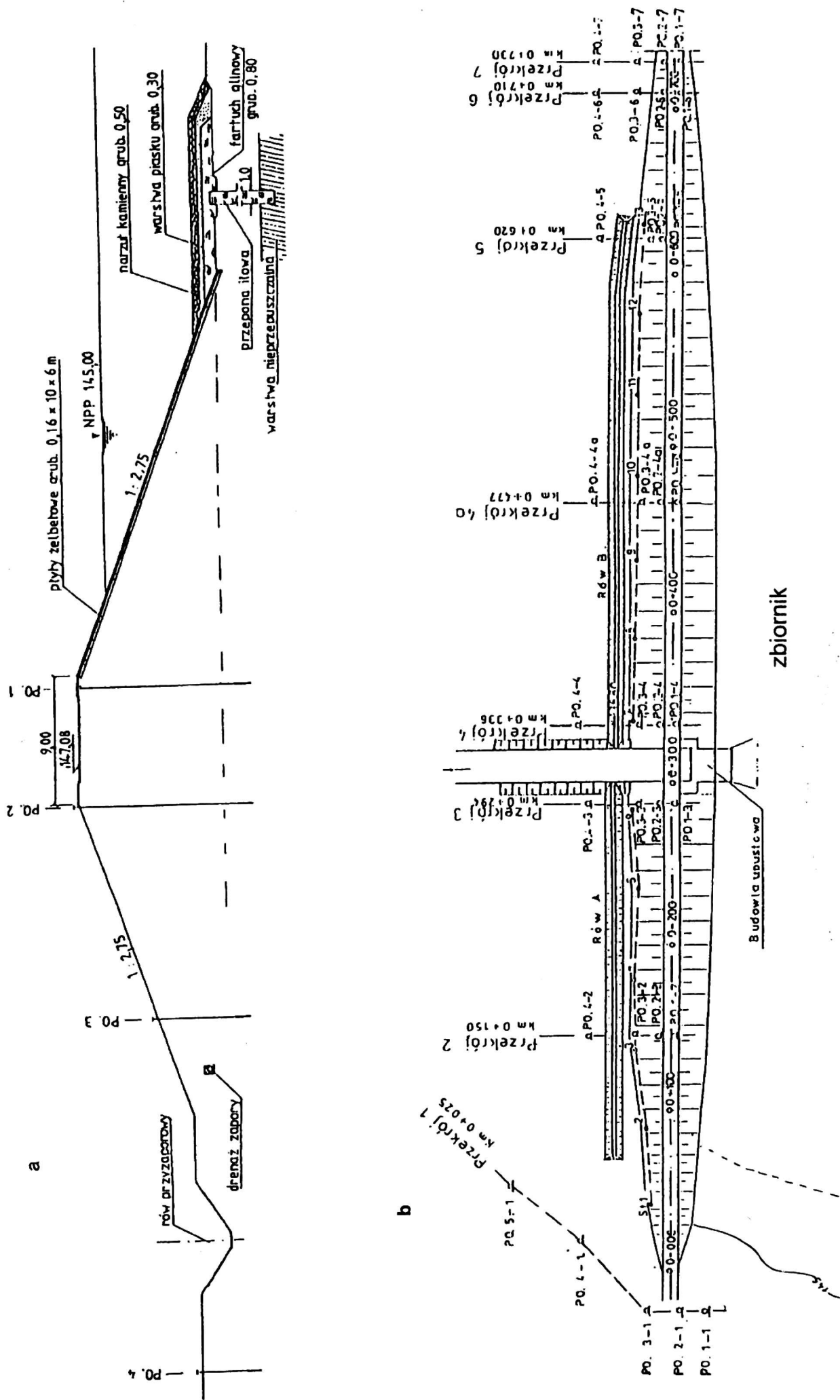
Zapora czołowa jest zaporą ziemną długości 810 m, szerokości korony 9,0 m i nachyleniu skarp 1:2,75. Na koronie zapory wybudowano drogę asfaltową szerokości 6,0 m. Maksymalna wysokość zapory wynosi 9,0 m (piętrzenie 7,0 m). W odległości ok. 300 m od lewego przyczółka w korpusie zapory zlokalizowano trzyprzęsłowy (3×6 m) jaz żelbetowy z zamknięciami klapowymi, z progiem (wysokości 6 m) i trzema spustami dennymi (każdy średnicy 1,0 m).

Uszczelnienie korpusu zapory stanowią: pionowa przesłona iłowa grubości 1,0 m i głębokości od 6,0 do 20,0 m (1,0 m poniżej stropu glin zwałowych) zainstalowana przed zaporą po stronie piętrzenia, poziomy fartuch glinowy długości 15,0 m, płyty żelbetowe z betonu wodoszczelnego na skarpie odwodnej.

Skarpa od strony lądu umocniona jest siatką z masy plastycznej, zahumusowana i obsiana mieszanką traw. Stopa skarpy odpowietrznej zabezpieczona jest drenażem z perforowanych rur kamionkowych w obsypce żwirowej. Odpływy z drenażu przejmuje rów przyzaporowy umocniony ażurowymi płytami żelbetowymi na włókninie filtracyjnej.

Zakres pomiarów i interpretacji wyników

W korpusie zapory i na jej obrzeżach zainstalowano łącznie 32 piezometry rozmieszczone w ośmiu przekrojach pomiarowych (rys. 1). Piezometry oznaczone numerami 1 i 2 zlokalizowane są na krawędziach korony zapory od strony wody



Rys. 1. Zapora czołowa Siemianówka: a – przekrój poprzeczny zapory, b – szkic rozmieszczenia przekrojów piezometrycznych

górną i dolną, piezometry nr 3 – w skarpię odpowietrznej zapory, piezometry nr 4 zaś po zewnętrznej stronie rowu przyzaporowego.

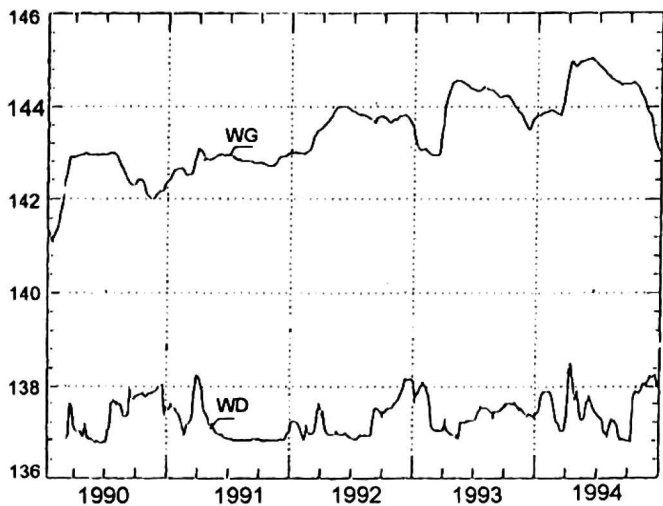
Systematyczne pomiary ciśnień piezometrycznych prowadzone są od marca 1990 r. Wcześniej (od stycznia 1989 r.) notowano jedynie poziomy wody w zbiorniku powyżej budowli upustowej (woda górna) oraz w rzece poniżej piętrzenia (woda dolna). Notowania poziomów wody w piezometrach prowadzone były początkowo codziennie, następnie w zależności od intensywności wahań w odstępach 1–3-dniowych, a od 1993 r. regularnie co 3 dni. Dane z pomiarów wykonywanych przez służby eksploatacyjne są sukcesywnie analizowane i opracowywane w sprawozdaniach okresowych w ramach nadzoru naukowego. Specjalne programy komputerowe umożliwiają gromadzenie i przetwarzanie danych oraz szczegółową ich analizę. W ramach badania dynamiki wód filtracyjnych w korpusie zapory czołowej dokonano analitycznego i graficznego zestawienia stanów wody w górnym i dolnym stanowisku zbiornika oraz stanów wody w 32 piezometrach zanotowanych w okresie minionego pięciolecia. Dodatkowo dokonano zestawienia i analizy stanów charakterystycznych: minimalnych, maksymalnych i średnich rocznych. Podjęto próbę ustalenia kształtu i położenia krzywych depresji w wybranych przekrojach zapory i porównania ich z krzywymi prognozowanymi na etapie projektu zapory. Ponadto wykonano sprawdzające obliczenia statystyczne zależności poziomów wody w piezometrach od stanów wody górnej i dolnej.

Poziomy wody w zbiorniku (WG)

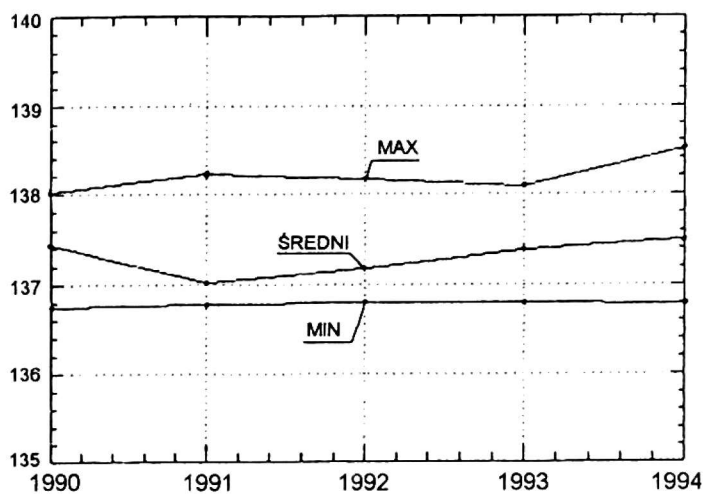
Kontrolowane napełnienie zbiornika rozpoczęto w 1990 r., podnosząc wodę z poziomu 141,08 m n.p.m. (początek stycznia) do poziomu 142,90 m (połowa marca). Ten maksymalny poziom utrzymywano przez 4,5 miesiąca, aby następnie obniżyć go pod koniec października do rzędnej 142,00 m. W 1991 r. poziomy wody w zbiorniku układały się w granicach rzędnych 142,40–143,08 m. W 1992 r. maksymalne piętrzenie wzrosło prawie o 1,0 m do rzędnej 143,99 m. Dwa następną lata to kolejne wzrosty, każdy prawie o 0,50 m. Projektowany docelowy poziom piętrzenia zbiornika wynoszący 145,00 m osiągnięto w pierwszej dekadzie marca 1994 r. Poziom ten utrzymywano przez niespełna trzy miesiące. Od czerwca rozpoczęto powolne obniżanie piętrzenia. W połowie października woda układała się jeszcze na rzędnej 144,50 m, a do końca grudnia opadła do poziomu 142,96 m n.p.m. Przebieg poziomów piętrzenia ilustruje wykres WG na rysunku 2. Minimalne, maksymalne i średnie stany roczne w zbiorniku przedstawiono na rysunku 3.

Poziomy wody w dolnym stanowisku zapory (WD)

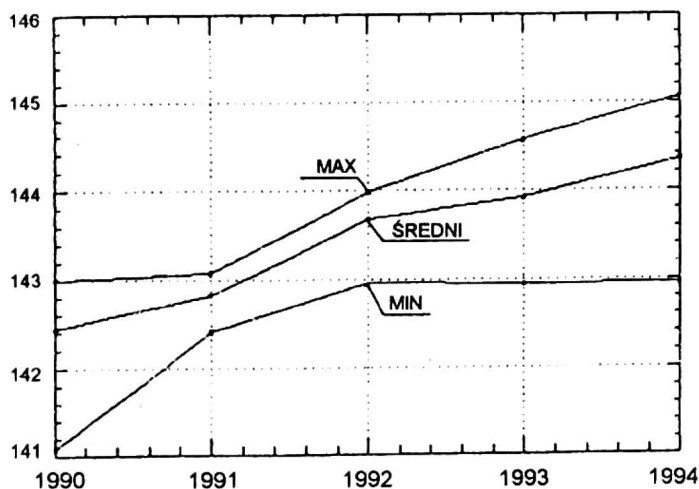
Stany wody dolnej wynikają z wielkości natężenia przepływu wody przepuszczanej przez budowlę upustową. Są więc związane zarówno z warunkami hydrologicznymi w górnej części zlewni rz. Narwi, jak i z gospodarką wodną na zbiorniku (napełnianie zbiornika w czasie



Rys. 2. Poziomy wody w zbiorniku (WG) i w dolnym stanowisku zapory (WD)



Rys. 4. Wykresy charakterystycznych rocznych poziomów WD



Rys. 3. Wykresy charakterystycznych rocznych poziomów WG

wesbrań wiosennych, zrzuty wody do nawodnień w okresach niżówkowych, obniżanie poziomów piętrzenia w okresach jesiennych). Wpływa ona w pewnym stopniu na reżim hydrologiczny rzeki poniżej zapory, zmniejszając amplitudę wahań ekstremalnych wartości stanów i przepływów.

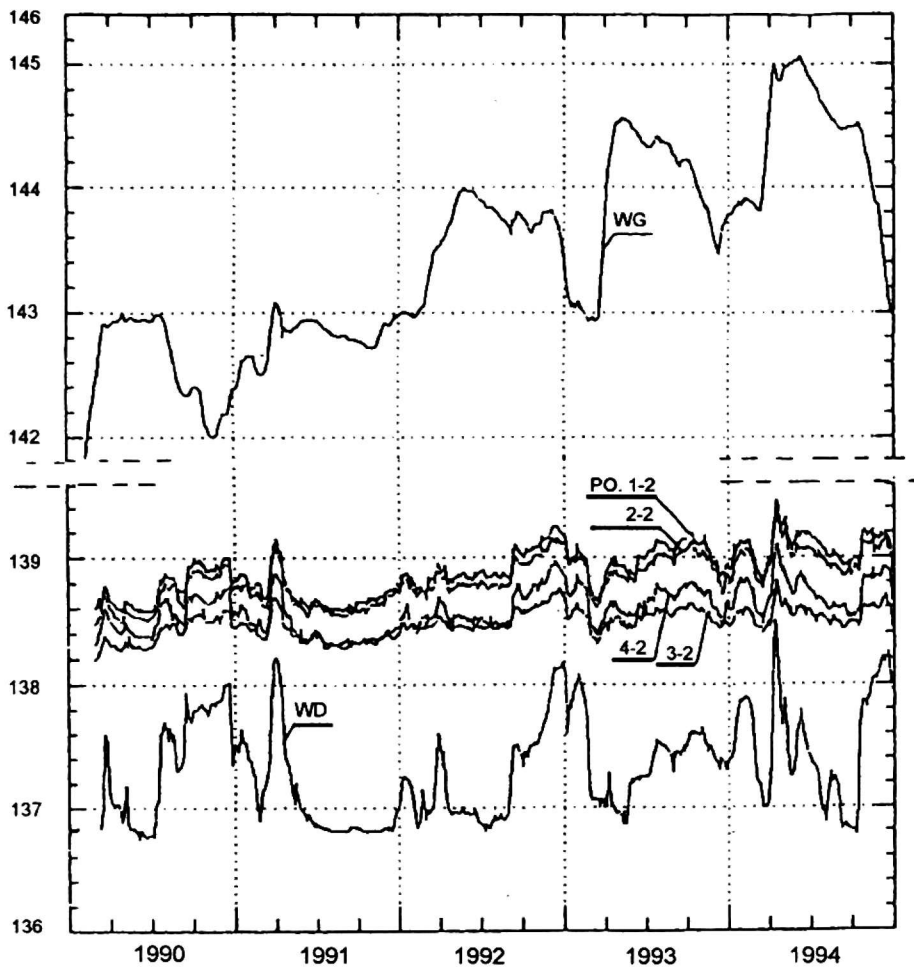
Cechą charakterystyczną poziomów wody dolnej jest ich niewielka zmienność w poszczególnych latach omawianego pięćdziesięciu lat. Ilustracją tego jest zarówno

wykres przebiegu stanów WD (rys. 2), jak i wykresy rocznych stanów charakterystycznych przedstawione na rysunku 4.

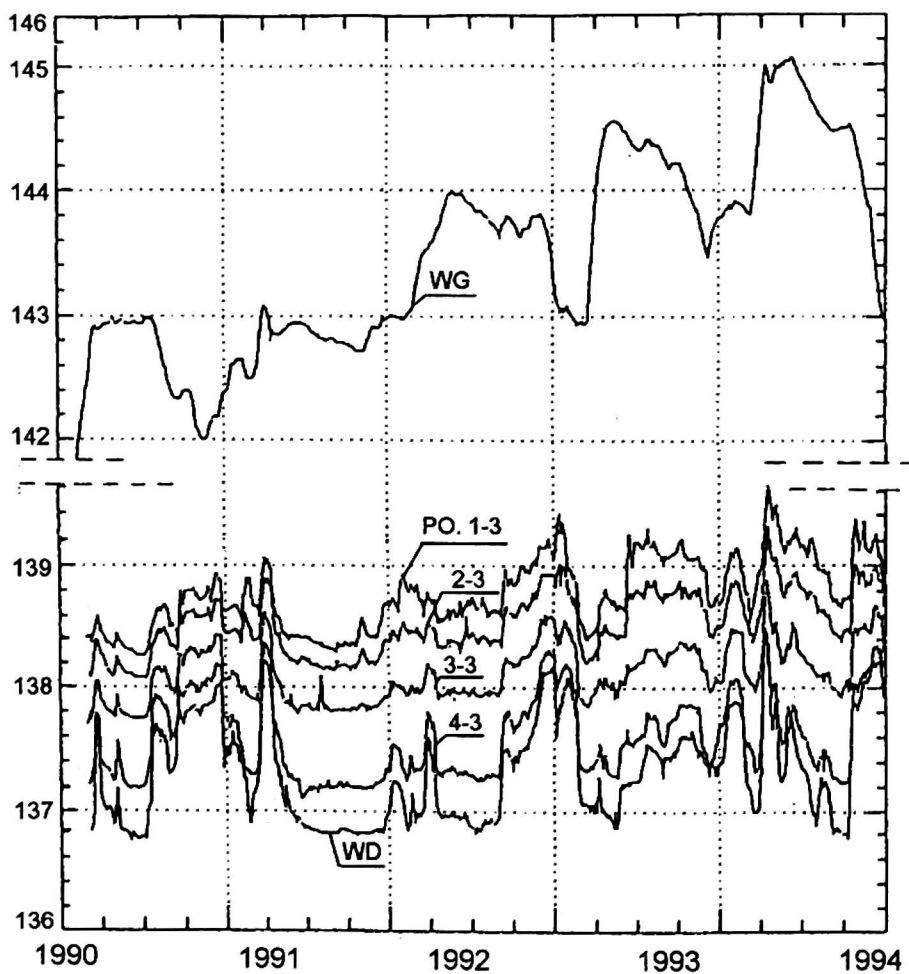
Poziomy wód filtracyjnych w zaporze

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowe wykresy ciśnień piezometrycznych, obrazujące zmiany poziomów wody w przekrojach pomiarowych nr 2 i 3 w zestawieniu ze stanami wody górnej i wody dolnej. Analiza kształtów i przebiegu wykresów poziomów wody w poszczególnych przekrojach piezometrycznych w korpusie zapory (przekroje nr 2, 3, 4, 4A i 5) wykazała, że istotny wpływ na dynamikę wód filtracyjnych mają poziomy w dolnym stanowisku budowli upustowej.

Stopień zależności zmian wysokości ciśnień piezometrycznych od poziomów wody w rzece jest różny w poszczególnych punktach pomiarowych zależnie od ich lokalizacji. Najbardziej wyraźne oddziaływanie obserwuje się w piezome-



Rys. 5. Poziomy wody w zaprze czołowej – przekrój nr 2



Rys. 6. Poziomy wody w zaprze czołowej – przekrój nr 3

trach zainstalowanych najbliżej rzeki (nr 4-3 i 4-4). Wykresy przebiegu stanów wody w tych punktach są niemal równoległe do wykresu WD – z niewielkim (jedno-, dwudniowym) przesunięciem w czasie, o czym świadczą daty wystąpienia wartości ekstremalnych, i niewielkim ich spłaszczeniem, na co wskazują mniejsze niż w rzece amplitudy wahań wody w tych piezometrach (tab.).

W przekrojach bardziej oddalonych od brzegów rzeki (nr 2, 4A i 5) oraz w piezometrach położonych w dalszej odległości od rowu przyzaporowego wrażliwość poziomów wody na wahania sta-

nów wody dolnej jest nieco mniejsza, ale charakter zmian (wzrost i opadanie ciśnień piezometrycznych) jest analogiczny do zmian poziomów wody w rzece. Obserwuje się tu również przesunięcia w czasie, zróżnicowane w poszczególnych punktach przekrojów pomiarowych. Charakterystycznym tego przykładem są wyniki badań stanów ekstremalnych w 1994 r. Maksymalne stany w przekrojach piezometrycznych wystąpiły w kilka dni po szczytowym stanie WD, zaobserwowanym 11.04.94 r. W piezometrach od strony odpowietrznej (nr 3 i 4) poziomy maksymalne zanotowano 14.04, zaś w

Tabela. Amplitudy wahań poziomów wody w korpusie zapory czołowej oraz WG i WD

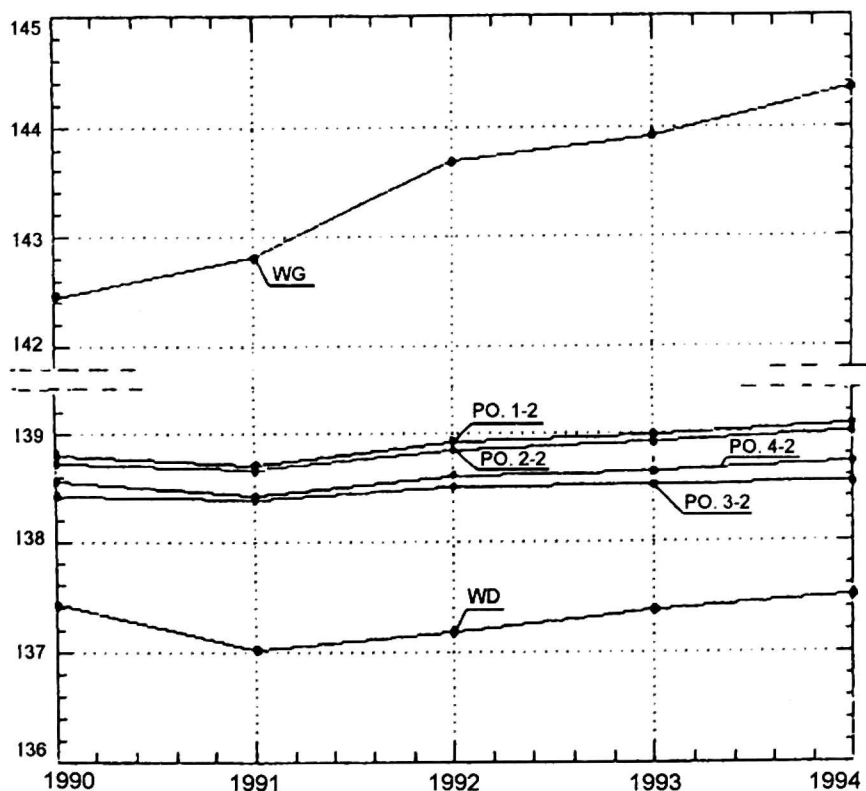
Nr przekroju	Nr piezometru	Roczne amplitudy (m)				
		1990	1991	1992	1993	1994
2	1	0,44	0,58	0,59	0,54	0,70
2	2	0,47	0,55	0,47	0,52	0,57
2	3	0,35	0,41	0,38	0,34	0,42
2	4	0,45	0,57	0,53	0,48	0,61
3	1	0,68	0,80	0,69	1,03	1,08
3	2	0,66	0,76	0,67	0,84	0,94
3	3	0,74	0,85	0,73	0,72	0,97
3	4	1,02	1,27	1,08	0,98	1,26
4	1	0,74	1,19	1,19	1,90	1,53
4	2	0,76	0,82	0,75	1,48	1,18
4	3	0,72	0,89	0,68	0,83	1,09
4	4	1,00	1,25	1,21	0,85	1,24
4A	1	0,75	1,02	0,65	1,14	1,48
4A	2	0,70	0,99	0,65	0,95	1,30
4A	3	0,68	0,99	0,75	0,83	1,17
4A	4	0,75	0,98	0,72	0,82	1,13
5	1	0,33	0,88	0,66	0,77	1,22
5	2	0,39	0,85	0,52	0,74	0,90
5	3	0,29	0,45	0,39	0,34	0,61
5	4	0,64	0,78	0,72	0,56	0,77
WG		1,92	0,68	1,03	1,62	2,10
WD		1,35	1,48	1,36	1,22	1,72

punktach zlokalizowanych w koronie zapory (nr 1 i 2) 17.04.94 r. Taka kolejność wzrostu poziomów wody w przekrojach pomiarowych wskazuje na zasilanie korpusu zapory i podpiętrzanie krzywej depresji wodami z dolnego stanowiska.

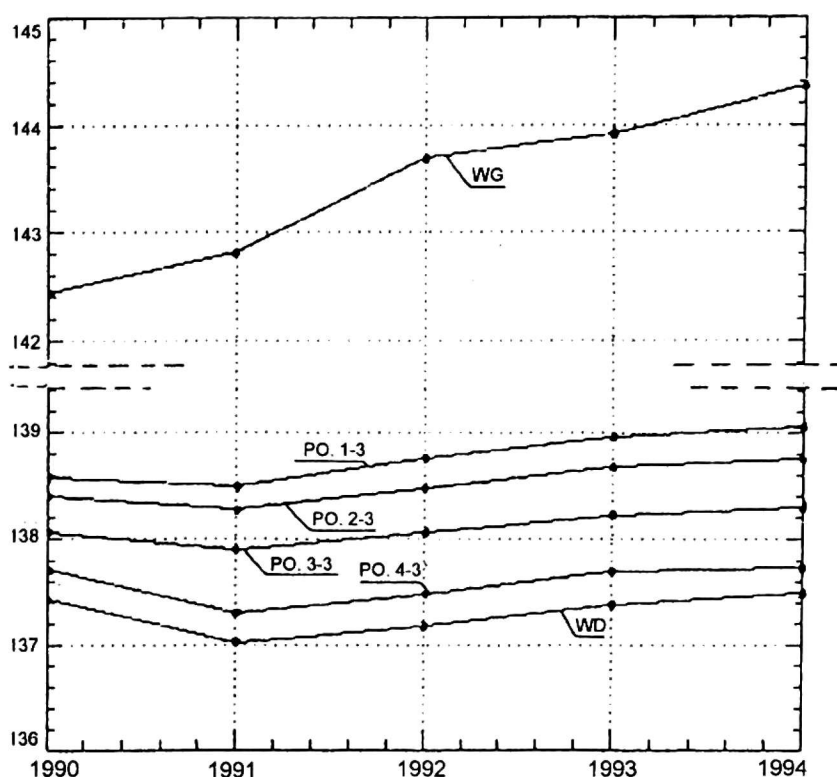
Kolejną charakterystyką filtracji w korpusie zapory jest wzajemne położenie poziomów wody w punktach pomiarowych poszczególnych przekrojów, wyznaczające kształt krzywej filtracyjnej. We wszystkich (poza zlokalizowanymi w przyczółkach zapory) przekrojach najwyższe ciśnienia występują w piezometrach nr 1, najniższe w piezometrach nr 3. Największe różnice poziomów wody między piezometrami nr 1–3 występują w przekroju nr 4, a najmniejsze w przekroju nr 2. Generalnie bardziej stromo układają się krzywe filtracji w przekrojach nr 4 i 3, bardziej płasko w przekrojach pozostałych.

Roczne amplitudy wahań poziomów piezometrycznych (tab.) są zróżnicowane w zależności od lokalizacji przekroju w zaporze oraz położenia punktu pomiarowego w przekroju. Im bliżej budowli upustowej i im bliżej strony odwodnej zapory, tym wyższe różnice między ekstremalnymi poziomami wody w piezometrach. Ponadto amplitudy wzrastają w kolejnych latach obserwacji, co jest zgodne ze wzrostem poziomów piętrzenia oraz wzrostem wartości wahań stanów ekstremalnych w zbiorniku.

Analiza wartości i wykresów rocznych stanów charakterystycznych (maksymalnych, średnich i minimalnych) pozwoliła na syntetyczną ocenę kierunku zmian poziomów wody w przekrojach pomiarowych w obserwowanym okresie. Przykładowe wykresy zmian stanów średnich przedstawiono na rysunkach 7 i 8 (w przekrojach nr 2 i 3) oraz na



Rys. 7. Wykresy stanów średnich rocznych w przekroju nr 2 w zaporze czołowej



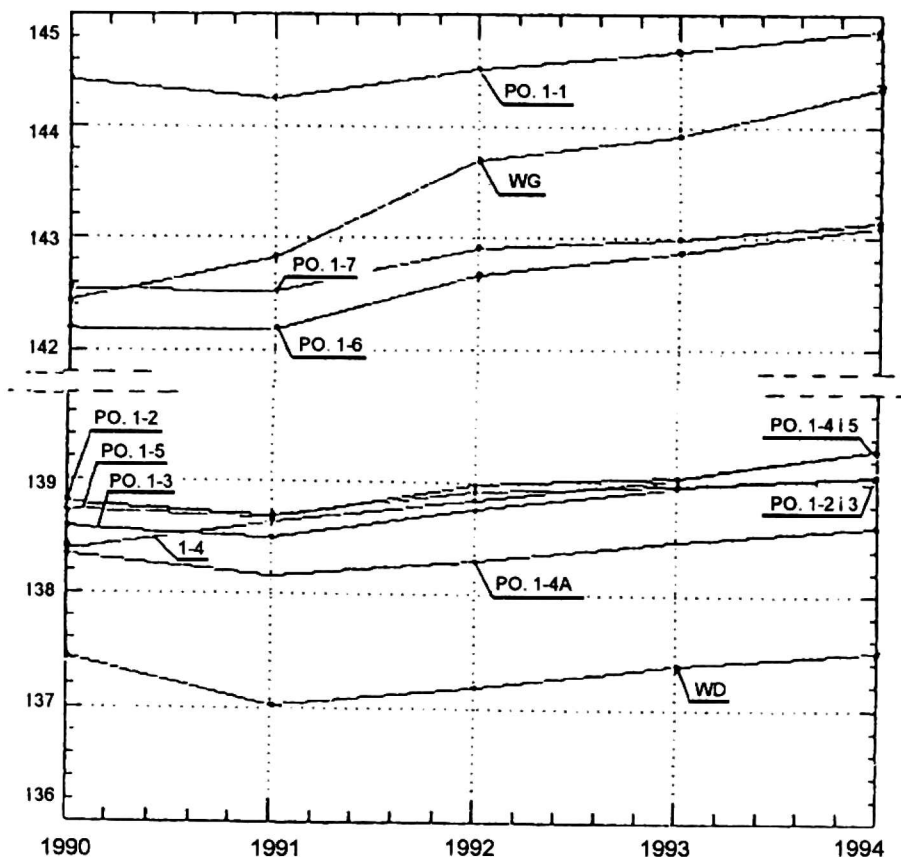
Rys. 8. Wykresy stanów średnich rocznych w przekroju nr 3 w zaporze czołowej

rysunku 9 (w piezometrach nr 1 w przekrojach nr 2–5).

Cechą wspólną na wykresach średnich poziomów wody w niemal wszystkich piezometrach (wyjątek stanowią piezometry nr 1 i 2 w przekroju nr 4) jest wystąpienie w 1991 r. – analogicznie jak na wykresie średnich stanów wody dolnej – najniższych wartości w analizowanym wieloleciu. W latach następnym do 1994 r. miał miejsce systematyczny ich wzrost. Taki sam kierunek zmian wykazują poziomy maksymalne i minimalne. Większe wzrosty w kolejnych latach wykazują poziomy wody w przekrojach zlokalizowanych w centralnej (najwyższej) części zapory, mniejsze zaś w przekrojach bardziej odległych od rzeki. Ponadto w środkowych przekrojach średnie poziomy wód w poszczególnych piezometrach są bardziej zróżnicowane niż w przekro-

jach pozostałych, dając bardziej strome krzywe filtracji, co zostało stwierdzone powyżej przy omawianiu wyników analizy wykresów przebiegu obserwowanych poziomów wody.

Uzupełnieniem badań zależności poziomów wody w korpusie zapory od poziomów wody w górnym i dolnym jej stanowisku były wykonane wstępne (fragmentaryczne) obliczenia statystyczne. Rozszerzenie ich przewiduje się w następnych opracowaniach sprawozdawczych. Wykonane obliczenia dotyczyły obserwacji z 1994 r. w przekroju nr 4. Określone współczynniki korelacji potwierdzają istotną zależność ciśnień piezometrycznych od poziomów wody dolnej w punktach nr 4 i 3 (współczynniki 0,967 i 0,865), zanikanie tej zależności w piezometrach nr 2 i 1 oraz brak bezpośredniej korelacji z poziomami wody gór-



Rys. 9. Wykresy stanów średnich rocznych w piezometrach nr 1

nej. Należy zaznaczyć, że nie uwzględniono w obliczeniach przesunięcia obserwacji piezometrycznych w czasie oraz że przebieg wahań poziomów wody w przekroju nr 4 odbiega nieco charakterem od dynamiki wód w innych przekrojach korpusu zapory.

W kilku przekrojach pomiarowych (nr 3, 4, 4A) dokonano porównania położenia krzywych filtracji wyznaczonych przez maksymalne poziomy ciśnienie piezometrycznych z okresu pięciolecia, które miały miejsce w kwietniu 1994 r., z krzywymi obliczonymi na etapie projektowania. W dwóch przypadkach – w przekroju nr 3 i 4A – krzywe filtracji w zaporze układają się poniżej krzywej prognozowanej w projekcie. W przekroju nr 4, w którym obserwowano najwyższe poziomy wody w piezometrach 1 i 2, rze-

czywista krzywa depresji układa się nieco ponad krzywą teoretyczną. Biorąc pod uwagę pewne różnice między przyjętymi do obliczeń a rzeczywistymi poziomami drenażu, położenie i kształt krzywych teoretycznych i pomierzonych wskazuje na zbieżność przewidywanych i faktycznych warunków filtracji.

Wyniki obliczeń gradientów hydraulicznych przeprowadzonych dla czterech przekrojów piezometrycznych (nr 3, 4, 4A i 5) wykazały, że mieszczą się one w przedziale wartości od 0,043 do 0,088. Są one nieco niższe od gradientów określonych w projekcie (od 0,88 do 0,11) oraz znacznie niższe od dopuszczalnych – określanych w literaturze dla budowli I klasy i korpusu z piasków drobnych – 045.

Podsumowanie

Lata 1990–1994 to okres stopniowego napełniania zbiornika do projektowanej rzędnej maksymalnego piętrzenia 145,00, który to poziom osiągnięto w 1994 r. Poziomy wody dolnej były na ogół wyrównane z wyraźną jednak tendencją wzrostową. Od 1991 do 1994 r. wzrost średniego stanu rocznego WD wyniósł 0,50 m.

Dotychczasowe wyniki badań poziomów wód filtracyjnych w zaporze zbiornika Siemianówka wykazały, że zasadniczy, niemal bezpośredni, wpływ na ich dynamikę mają poziomy wody w dolnym stanowisku. Oddziaływanie to jest większe w przekrojach położonych bliżej rzeki (nr 3, 4 i 4A) oraz w piezometrach zlokalizowanych po stronie odpowietrznej zapory (nr 3 i 4).

Równocześnie na podstawie badań na przestrzeni wieloletnich obserwacji można stwierdzić zauważalny wpływ piętrzenia, czyli stanów wody górnej na poziomy w zaporze. Świadczą o tym wartości poziomów średnich rocznych, które wzrastają w niektórych punktach pomiarowych szybciej niż poziomy wody dolnej oraz amplitudy wahań wzrastające w

kolejnych latach analogicznie do rosnących wartości amplitudy wody górnej.

Analiza położenia krzywych filtracji w korpusie zapory pozwoliła stwierdzić, że krzywe skonstruowane na podstawie najwyższych zaobserwowanych dotychczas stanów w piezometrach zapory czołowej są zbliżone do określonych w dokumentacji projektowej. Obliczone przy rzeczywistych krzywych filtracji gradienty hydrauliczne nie przekraczają wartości 0,10, są więc parokrotnie niższe od wartości uznanej dla tej klasy budowli za dopuszczalną.

Generalnie należy stwierdzić, że warunki filtracji przez zaporę przebiegają dotychczas prawidłowo, co świadczy o skutecznym działaniu urządzeń uszczelniających i odwadniających.

Literatura

SOKOŁOWSKAD., SOKOŁOWSKI J., POŁOŃSKI M. *Doradztwo, nadzór naukowy i badania terenowe w okresie piętrzenia wody w zbiorniku Siemianówka. Cz. II. Badania dynamiki wód filtracyjnych w zaporze czołowej. Sprawozdania za lata 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 i 1995.* Katedra Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych SGGW, Warszawa.