

WPLYW RÓŻNYCH METOD STEROWANIA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH NA SYMULACJĘ TRANSFORMACJI FALI W MODELU RUCHU NIEUSTALONEGO

Praca dotyczy numerycznej symulacji transformacji fali powodziowej przez uproszczony system rzeczny, składający się z odcinka rzeki o nieco wyidealizowanej batymetrii (długości ok. 111 km), na którym znajduje się zbiornik retencyjny. Celem pracy była analiza wpływu doboru parametrów sterowania pracą urządzeń zrzutowych zapory zbiornika na kształtowanie się hydrogramów stanów, przepływów i innych wielkości hydraulicznych wzdłuż biegu rzeki. Wpierw opisano definicję zbiornika retencyjnego i jego zapory, traktowanej w ramach całego systemu jako węzeł wewnętrzny. Podane też zostały równania i metoda postępowania przy wyznaczaniu przepływu przez takie urządzenia. Następnie określono podstawowe metody sterowania urządzeniami zrzutowymi w modelu ruchu nieustalonego. Wykorzystując te metody, przeprowadzono szereg symulacji testowych fal powodziowych, z których w ramach niniejszej pracy wykorzystano część, zebraną w dwa warianty porównawcze, różniące się sposobem sterowania klapami (uzależnienie algorytmu sterowania od założonych poziomów wody na zbiorniku lub od przebiegu hydrogramu w oddalonym górnym warunku brzegowym). Dalej przedstawiono i porównano wyniki symulacji tych wariantów, zarówno w układzie „migawek” czasowych jak i w funkcji czasu. Porównania te posłużyły do sformułowania wniosków podanych w zakończeniu pracy.

1. WSTĘP

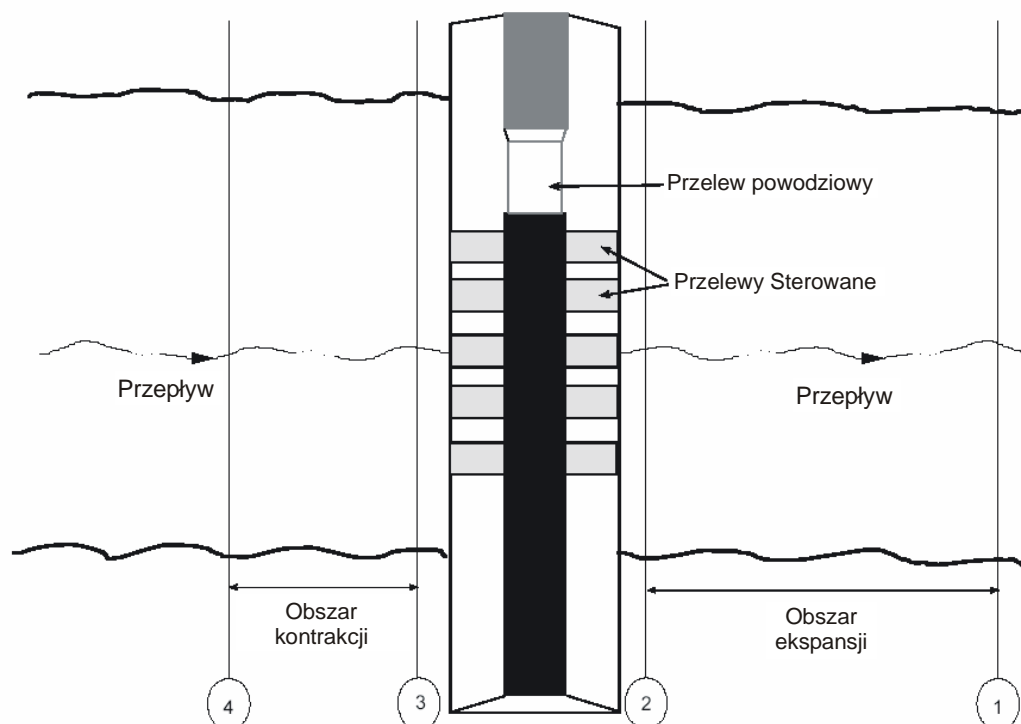
Modelowanie transformacji fali powodziowej w rzekach, na których występuje złożona zabudowa hydrotechniczna, wymaga, między innymi, uwzględnienia w definicji jedno-wymiarowego (1-W) modelu ruchu nieustalonego obecności takich elementów jak zbiorniki retencyjne, tamy, elektrownie wodne, jazy sterowane i niesterowalne, mosty i kanały ulgi. Sama rzeka zwykle ma koryto naturalne, ale na obszarze jej doliny (w ramach definicji przekrojów poprzecznych) trzeba uwzględnić występowanie wałów przeciwpowodziowych, nasypów dróg i linii kolejowych oraz naturalnych form wzdłużnych terenu. Podczas przejścia fal powodziowych przez tak złożony system rzeczny, na skutek dużych gradientów czasowych przepływów, może się zmieniać charakter przepływu ze spokojnego w rwący i na odwrót. Model matematyczny winien to uwzględniać poprzez wykorzystanie metod obliczania ruchu transkrytycznego (Ewertowski, 2006 b). Szczególnie często może to być wymagane w systemie rzeczonym ze zbiornikami retencyjnymi i jazami, gdzie procedury modelowania dużych przepływów powodziowych mogą chwilowo generować prędkości przepływu o liczbie Froude’a przekraczającej wartość graniczną. W niniejszej pracy jest rozpatrywany właśnie problem definicji tych obiektów w modelu pod kątem ich wpływu na transformację fali powodziowej.

¹ Politechnika Szczecińska, Szczecin

2. CHARAKTERYSTYKA PROBLEMU DEFINICJI ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH, ZAPÓR I JAZÓW W MODELU RUCHU NIEUSTALONEGO

W 1-W modelu ruchu nieustalonego czasza występującego na danej rzece zbiornika retencyjnego jest opisana poprzez ciąg przekrojów poprzecznych, wmontowanych w ciąg przekrojów danego odcinka rzeki. Winien on opisywać we właściwy sposób geometrię czaszy zbiornika, gdyż przy danej rzędnej lustra wody obliczona objętość zgromadzonej wody winna w przybliżeniu odpowiadać wartości na krzywej pojemnościowej zbiornika. Punkty skrajne przekrojów opisujących czaszę zbiornika winny znajdować się na jej obrysie dla maksymalnego projektowanego stanu napełnienia zbiornika (z uwzględnieniem jego obwałowania).

Dla poprawnego zdefiniowania zapory (tamy) zbiornika retencyjnego wymagane są cztery przekroje poprzeczne: dwa od strony wody górnej (w ramach przekrojów czaszy zbiornika) i dwa od strony wody dolnej (na odpływowym cieku rzeczny). W ramach tej czwórki przekrojów górny wewnętrzny przekrój winien się znajdować wystarczająco blisko korony zapory, aby na jego podstawie możliwe było zbudowanie przekroju tamy (wzdłuż jej korony) i umieszczenie w nim wszystkich, występujących w niej urządzeń hydrotechnicznych. Dostępny zbiór tych urządzeń zależy od zaimplementowanych w modelu instrukcji obliczeniowych i może, między innymi, obejmować przelew powodziowy z jazem o kształcie prostokątnym lub praktycznym), przelew sterowany klapami opuszczanymi lub obrotowymi, turbiny hydroelektrowni. Dolny przekrój wewnętrzny winien być zlokalizowany bezpośrednio poniżej zapory. Istotne jest także, aby górny przekrój zewnętrzny znajdował się w takiej odległości od górnego przekroju wewnętrznego, która w przybliżeniu odpowiada długości kontrakcji strugi przepływu przed jego wejściem na urządzenia spustowe. Podobnie, dolny przekrój zewnętrzny winien być zlokalizowany na końcu odcinka ekspansji strugi przepływu po jego wyjściu z urządzeń spustowych zapory.



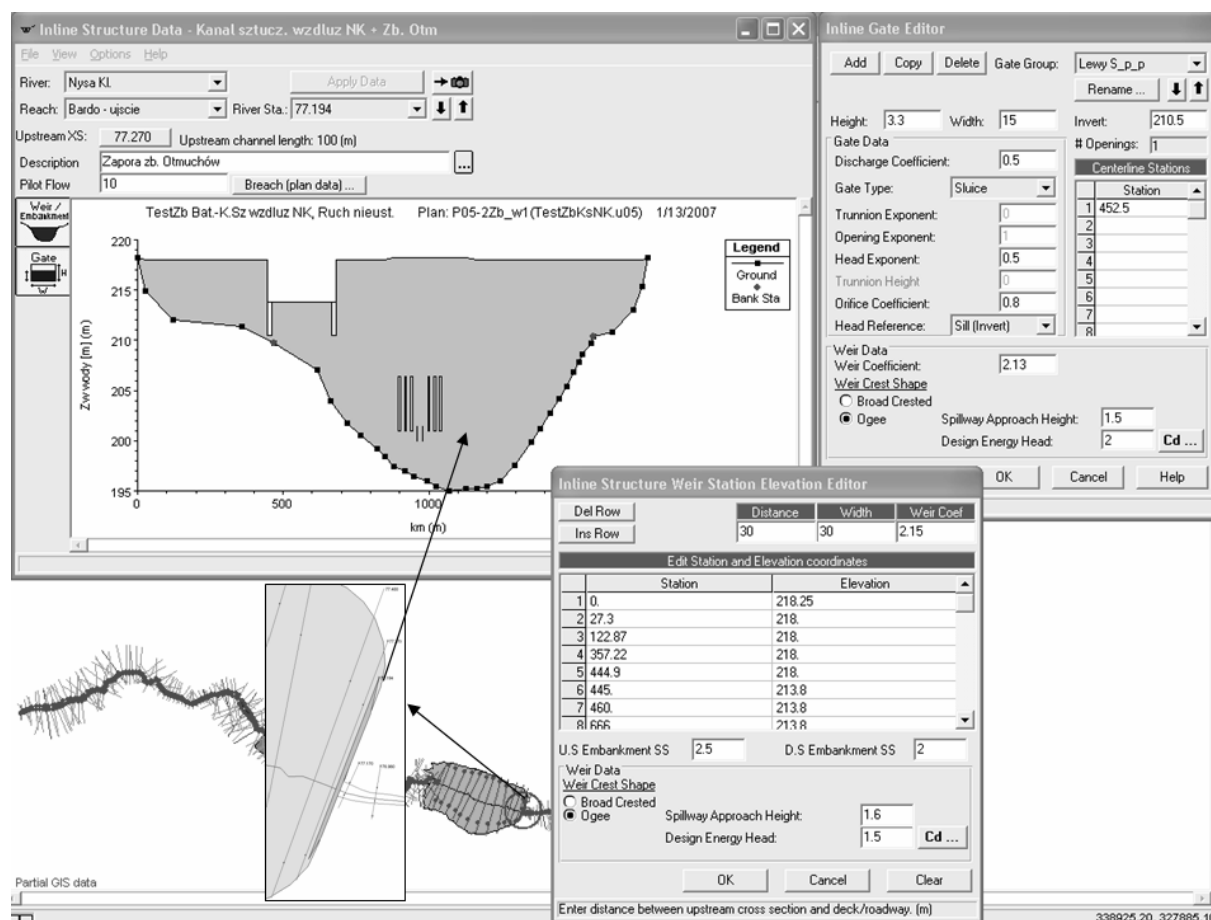
Rys.1. Przykładowy schemat przekrojów ograniczających budowlę hydrotechniczną (jaz, zapora)

Taka lokalizacja przekrojów ograniczających tamę umożliwia właściwe zastosowanie współczynników kontrakcji/ekspansji w procedurach obliczeniowych, stosowanych dla tej struktury hydrotechnicznej w modelu matematycznym. Te współczynniki muszą być określone doświadczalnie i służą do wyznaczania strat hydraulicznych na obszarach kontrakcji i ekspansji poprzez ich iloczyny z różnicami bezwzględными wysokości prędkości między dwoma przekrojami poprzecznymi ograniczającymi każdy obszar. Jeśli wysokość prędkości wzrasta w kierunku przepływu, to stosowany jest współczynnik kontrakcji, natomiast, gdy maleje, wtedy używany jest współczynnik ekspansji. Ogólnie rzecz biorąc, ekspansja przepływu wywołuje większe straty energii niż jego kontrakcja. Ponadto, straty zwiększają się ze wzrostem gradientu zmiany kontrakcji w ekspansję stopnia, zależnego ściśle od charakterystyki geometrycznej i hydraulicznej samego urządzenia zrzutowego.

W przypadku występowania jazów w cieku rzeczonym trzeba zastosować podobne zasady lokalizacji przekrojów poprzecznych, jak w przypadku zapór.

Określenie sposobu pracy samych urządzeń przepływowych ma charakter techniczny i wynika z przyjętych założeń eksploatacyjnych i instrukcji obsługi. Wykorzystywane także są w tym zakresie dane hydrotechniczne i scenariusze pracy zapór z książek obiektów budowlanych i instrukcji gospodarki wodnej dla zbiorników retencyjnych (Ewertowski, 2006 b).

Przykładowa definicja zapory zbiornika retencyjnego w systemie modelowania HEC-RAS jest przedstawiona na rys. 2.



Rys.2. Definicja zapory i zbiornika w modelu systemu rzeczowego w systemie HEC-RAS

Definicja zapory, tamy lub jazu zwykle obejmuje następujące elementy:

- Definicję przekroju geometrycznego przegrody. Jest to przekrój poprzeczny wzdłuż podłużnej osi zapory, zbudowany w oparciu o przekrój poprzeczny zbiornika, zlokalizowany od wody górnej tuż przed zaporą. Cechą charakterystyczną przekroju zapory jest to, iż rzędne poszczególnych punktów sondażowych opisują położenie korony zapory wraz z kształtem istniejących jazów (przelewów). Ponadto, w ramach tego przekroju jest określona szerokość poprzeczna zapory, odległości jej osi podłużnej od zwykłych przekrojów poprzecznych ją ograniczających, nachylenia skarp zapory, współczynnik wydatku na jazie, kształt przelewu (o kształcie praktycznym lub o szerokiej koronie) i przepływ minimalny.
- Definicja sterowalnych urządzeń zrzutowych i energetycznych – głównie definicja pracy klap jazów sterowanych i turbin energetycznych. W ramach tej definicji opisywane są charakterystyki poszczególnych klap (lub grup klap), obejmujące między innymi takie dane, jak lokalizacja osi klapy w ramach przekroju zapory, jej szerokość i maksymalna wysokość otwarcia, poziom progu dolnego i kształt przelewu. Typ klapy (zasuwa lub radialna), współczynnik przepływu, współczynnik kształtu otworu, współczynnik wydatku na jazie, wykładnik potęgi przy wysokości linii energii w formule „jazowej”, sposób referencji tej wysokości.

Oprócz tego, w przypadku sterowalnych urządzeń zrzutowych konieczne jest określenie sposobu ich pracy podczas zmiany warunków przepływu w ruchu nieustalonym, występującym w trakcie transformacji fal powodziowych poprzez badany system rzeczny. Jest to możliwe do wykonania poprzez określenie nastaw klap i sposobów sterowania nimi w zależności od realizowanego scenariusza hydrologicznego i przyjętych zasad postępowania podczas wezbrań powodziowych. Jednakże, ich parametry hydrauliczne (ustawienie i sterowanie klap) muszą być związane z informacjami hydrologicznymi, dotyczącymi zmieniających się warunków przepływu -w trakcie procesu transformacji fali.

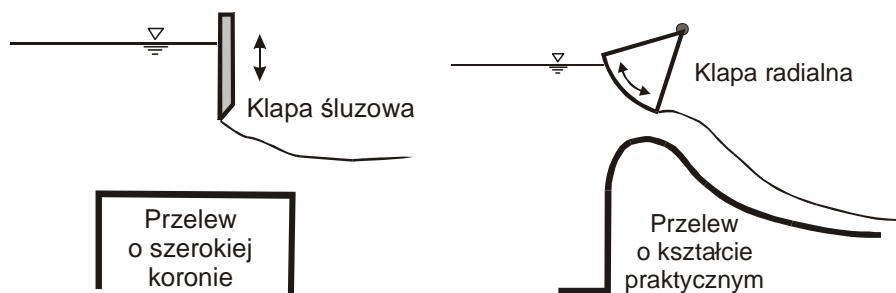
Proces transformacji fali powodziowej wzdłuż naturalnych odcinków rzecznych poza rejonami występowania tam i jazów jest modelowany za pomocą mniej lub bardziej złożonych wersji układu równań Saint-Venanta (Ewertowski, 2006 a). Każdy odcinek rzeczny jest w tym przypadku opisany przez ciąg przekrojów poprzecznych obejmujących zarówno koryto główne jak i potencjalne obszary zalewowe. W miejscach łączenia się cieków lokowane są tzw. węzły wewnętrzne modelu i stosowane uproszczone równania bilansu przepływu i ciągłości linii energii.

Struktury hydrotechniczne, występujące w modelowanym odcinku rzeki, są w terminologii modeli matematycznych także traktowane jako węzły wewnętrzne. Obowiązują zatem dla nich dwa równania: równanie zachowania masy i równanie (1) zmiany energii przepływu pomiędzy przekrojami poprzecznymi ograniczającymi daną budowlę hydrotechniczną:

$$H_{j+1} + Zd_{j+1} + \frac{\alpha_{j+1} V_{j+1}^2}{2g} = H_j + Zd_j + \frac{\alpha_j V_j^2}{2g} + SWE_{j+1,j} \quad (1)$$

gdzie: H – głębokość przepływu, Zd – rzędna dna, V – średnia prędkość przepływu ($=Q/A$), α – współczynnik niejednorodności rozkładu prędkości w przekroju, SWE – strata wysokości energii na odcinku między przekrojami poprzecznymi $j+1$ i j . Budowla hydrotechniczna jest zlokalizowana między tymi przekrojami. Spadek lokalny S_h jest wyrażany przez pochodną spiętrzenia h_l dla danej budowli hydrotechnicznej i jest związany ze specyfiką pracy danej budowli wodnej (formuły „jazowe” i scenariusze pracy).

Każde urządzenie zrzutowe występujące w definicji zapory (np. z rys.1) lub jazu może reprezentować przelew sterowany przedstawiony schematycznie na rys. 3.

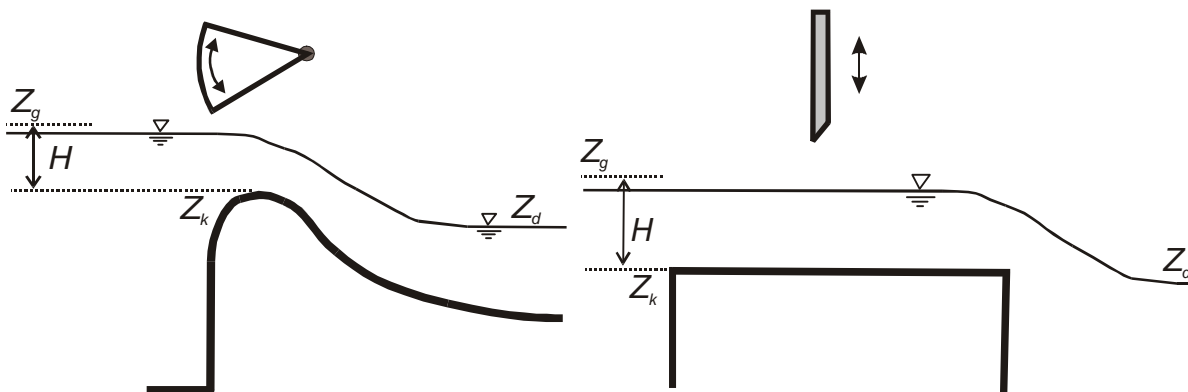


Rys. 3. Najczęściej występujące w modelach zapór typy urządzeń zrzutowych

Równania opisujące przepływ przez te urządzenia zrzutowe mogą być stosowane zarówno w warunkach przelewu zatopionego jak i niezatopionego zarówno od strony wody górnej jak i od strony wody dolnej.

Same obliczenia przepływu przez urządzenie zrzutowe dla określonego, ustalonego położenia kłapy jest oparte na trzech następujących zasadach:

1. Gdy $H < h_k$ (rys.4), czyli gdy rzędna wody górnej Z_g jest poniżej lub równo z dolną krawędzią kłapy Z_k (obie brane względem korony przelewu Z_k), wtedy do obliczeń hydraulicznych stosowany jest wzór na przepływ przez jaz.
2. Gdy $h_k < H < 1.25h_k$ (rys.5: $Z_k < Z_g < 1.25Z_k$) wtedy przepływ znajduje się w strefie przejściowej między przepływem swobodnym przez jaz a przepływem pod kłapą sterującą i jest wyznaczany iteracyjnie jako liniowo ważona średnia z przepływów otrzymanych z formuły jazowej i formuły kłapowej.
3. Gdy $H > 1.25h_k$ (rys.5: $Z_g \geq 1.25Z_k$) wtedy przepływ jest wyznaczany z formuły kłapowej (rys.6).



Rys. 4. Przepływ swobodny przez urządzenia zrzutowe

W sytuacji przepływowej, do której odnosi się pierwsza zasada, niezależnie od typu urządzenia zrzutowego, stosuje się ten sam standardowy wzór na przepływ przez jaz dla obu typów urządzeń zrzutowych (Chaudhry, 1993):

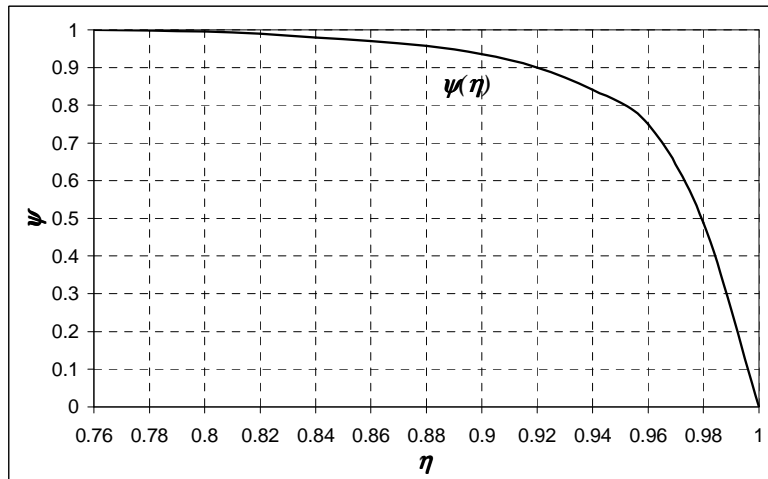
$$Q = \psi C_j B H^{3/2} \quad (2)$$

gdzie: Q – przepływ przez przelew, C_j – współczynnik przepływu na jazie ($=1,38 \div 1,7$) dla przepływu niezatopionego, B – długość korony przelewu (czyli jego szerokość w poprzek strumienia przepływu), H – wysokość linii energii wody górnej względem rzędnej korony przelewu Z_k ($H = Z_g - Z_k$). Parametr ψ jest parametrem redukcji przepływu na skutek zatopienia przelewu od strony wody dolnej.

Współczynnik C_j zależy od kształtu przelewu i podlega redukcji wraz ze wzrostem stopnia zatopienia przepływu, co jest wyrażone przez iloczyn $\psi \cdot C_j$ we wzorze (2). Stopień zatopienia przelewu jest określany przez parametr η , będący stosunkiem głębokości wody dolnej do wysokości linii energii wody górnej (rys. 6):

$$\eta = \frac{Z_d - Z_k}{Z_g - Z_k} \equiv \frac{h_d}{H} \quad (3)$$

Badania laboratoryjne i pomiary terenowe pozwoliły na oszacowanie zależności parametru redukcji ψ od parametru η ($\psi(\eta)$ – rys. 5) (Bradley, 1978)

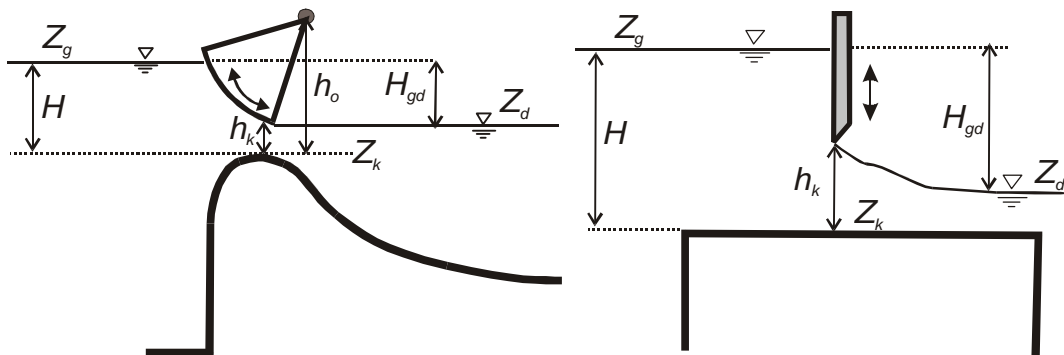


Rys. 5. Parametr $\psi(\eta)$ redukcji przepływu przez jaz w zależności od jego stopnia zatopienia

W przypadku przelewu o kształcie praktycznym współczynnik C_j jest dodatkowo zmieniany w sposób automatyczny w miarę zmiany aktualnego poziomu wody górnej Z_g względem tzw. poziomu projektowego Z_{g0} . Korekta jest dokonywana w oparciu o bezwymiarową krzywą $C_j/C_{j0}=f(H/H_0)$, gdzie H_0 – wysokość linii energii przy przepływie projektowym Q_0 .

W sytuacji przepływu pod ciśnieniem, określonego trzecią zasadą ($H > 1.25h_k$ – rys. 6), stosowane są różne postacie wzorów w zależności od typu urządzenia sterującego i stopnia zatopienia przelewu (Brunner, 2002):

Stopień zatopienia η	Przelew o kształcie praktycznym	Przelew o szerokiej koronie	
$\eta < 0.67$	$Q = C_q \sqrt{2g} B h_o^{\alpha_o} h_k^{\alpha_k} H^{\alpha_H}$ $C_q \approx 0.5 \div 0.7, \alpha_o \approx 0.16, \alpha_k \approx 1.0, \alpha_H \approx 0.5 \div 0.65$	$Q = C_q \sqrt{2g} B h_k H^{1/2}$ $C_q \approx 0.5 \div 0.7$	(3a)
$0.67 < \eta < 0.8$	$Q = C_q \sqrt{2g} B h_o^{\alpha_o} h_k^{\alpha_k} (3H_{gd})^{\alpha_H}$ $C_q \approx 0.5 \div 0.7, \alpha_o \approx 0.16, \alpha_k \approx 1.0, \alpha_H \approx 0.5 \div 0.65$	$Q = C_q \sqrt{2g} B h_k (3H_{gd})^{1/2}$ $C_q \approx 0.5 \div 0.7$	(3b)
$0.8 < \eta < 0.97$	$Q = C_q \sqrt{2g} B h_k H_{gd}^{1/2}$ $C_q \approx 0.8$	$Q = C_q \sqrt{2g} B h_k H_{gd}^{1/2}$ $C_q \approx 0.8$	(3c)
$0.97 < \eta$	Równanie bilansu energii: $Z_g + \frac{\alpha_g V_g^2}{2g} = Z_g + \frac{\alpha_g V_g^2}{2g} + \sum_{g-d} h_{str}$		(3d)



Rys. 6. Przepływ ciśnieniowy przez urządzenia zrzutowe

W równaniach (3a,b,c) h_k oznacza wysokość otworu przelewowego pod klapą, $H_{gd}=Z_g-Z_d$, h_o – wysokość osi obrotu kłapy powyżej korony przelewu Z_k , C_q – współczynnik przepływu. Współczynniki empiryczne α_o , α_k , α_H są stosowane dla kłapy obrotowej (radialnej), natomiast dla kłapy śluzowej ważny jest tylko współczynnik przepływu C_q

Dla upustów dennych i turbin hydroelektrowni zaporę zachodzi warunek $\eta < 0.67$, zatem stosowane jest równanie (3a). Dla powierzchniowych przelewów kontrolowanych wykorzystywany jest cały zestaw równań (3a,b,c,d) w zależności od aktualnych nastaw kłap i występujących warunków przepływu (wartości przepływu Q i stanów wody Z_g i Z_d).

Dla przepływu przez niekontrolowany powierzchniowy upust (przelew) powodziowy (jeśli występuje na danej zaporze lub jazie) stosowany jest wzór (2) dla warunków niezatopionego przelewu:

3. METODY STEROWANIA URZĄDZENIAMI ZRZUTOWYMI ZAPÓR I JAZÓW W MODELU RUCHU NIEUSTALONEGO

Powyższe wzory, rysunki i definicje dotyczą realizacji obliczeń układu zwierciadła wody, rozkładu przepływów i prędkości przepływu wzdłuż symulowanego odcinka rzeki w jednej chwili (jednym kroku czasowym) w ramach symulacji ruchu nieustalonego, mającej za główny cel przeanalizowania transformacji fali powodziowej. Aby jednak te wzory mogły być przydatne dla realizacji tego celu, niezbędne jest także (oprócz zdefiniowania wymaganych warunków brzegowych) określenie sposobu sterowania urządzeniami zrzutowymi w trakcie trwania modelowanego zjawiska.

Algorytm sterowania urządzeniami zrzutowymi zapór i jazów jest czuły na dobór metody i określenie jej parametrów. Zasadniczo można pokierować nim na cztery sposoby:

1. Poprzez zwiążanie nastaw otwarcia kłap z ustalonymi wartościami wody górnej (Z_g) na zbiorniku lub w wybranym przekroju powyżej jazu. Wielkością referencyjną Z_{ref} stanu wody dla sterowania pracą kłap jest w tym przypadku poziom wody na zbiorniku retencyjnym ($Z_{ref} = Z_g$), wynikający z instrukcji pracy tego zbiornika i przyjętych założeń dotyczących jego roli podczas transformacji fali powodziowej.
2. Poprzez określenie tych nastaw jako funkcji stanu wody dla odległego (w górę rzeki) przekroju wodowskazowego ($Z_{ref} = Z_{wod}$). W ten sposób sterowanie kłap zostanie uzależnione od zmian sytuacji hydrologicznej, występujących na wodowskazie, który może znajdować się tak daleko w górę rzeki od miejsca lokalizacji danego zbiornika, aby możliwe było dostosowanie jego pojemności i napełnienia dla wykonania planowej

funkcji przeciwpowodziowej, czyli zmagazynowania wody i ścięcia piku fali powodziowej już w chwili pojawienia się jej czoła fali na jego wejściu.

3. Poprzez określenia stopnia otwarcia klap w zależności od różnicy stanów wody w dwu dowolnie wybranych przekrojach rzeki powyżej zbiornika tamy
4. Poprzez bezpośrednie wprowadzenie tabel czasowych stopnia otwarcia poszczególnych klap w okresie symulacji danej fali powodziowej

Inną metodą sterowania pracą zbiorników retencyjnych jest metoda oparta na tzw. „zaporach nawigacyjnych”. Polega ona na ustaleniu wzdłuż cieku rzeki przekrojów monitorujących stan i przepływ i zdefiniowaniu w nich pożądaných krzywych konsumpcyjnych (lub tabel stanów i przepływów). Rolą modelu jest takie sterowanie nastawami urządzeń zrzutowych, aby podczas transformacji fali powodziowej obliczone w przekrojach monitorujących stany i przepływy mieściły się na przyjętych krzywych konsumpcyjnych (z założoną tolerancją). Ta metoda nie zawsze jednak jest w stanie poradzić sobie z przepływem powodziowym – może to powodować „sztuczne” fale powodziowe poniżej zbiornika, wygenerowane przez model dla uniknięcia stanu pracy awaryjnej i warunków zagrażających samym budowiom hydrotechnicznym. Sytuacje takie mogą powstać np. dla zbyt „sztywnych” warunków nałożonych w przekrojach monitorujących.

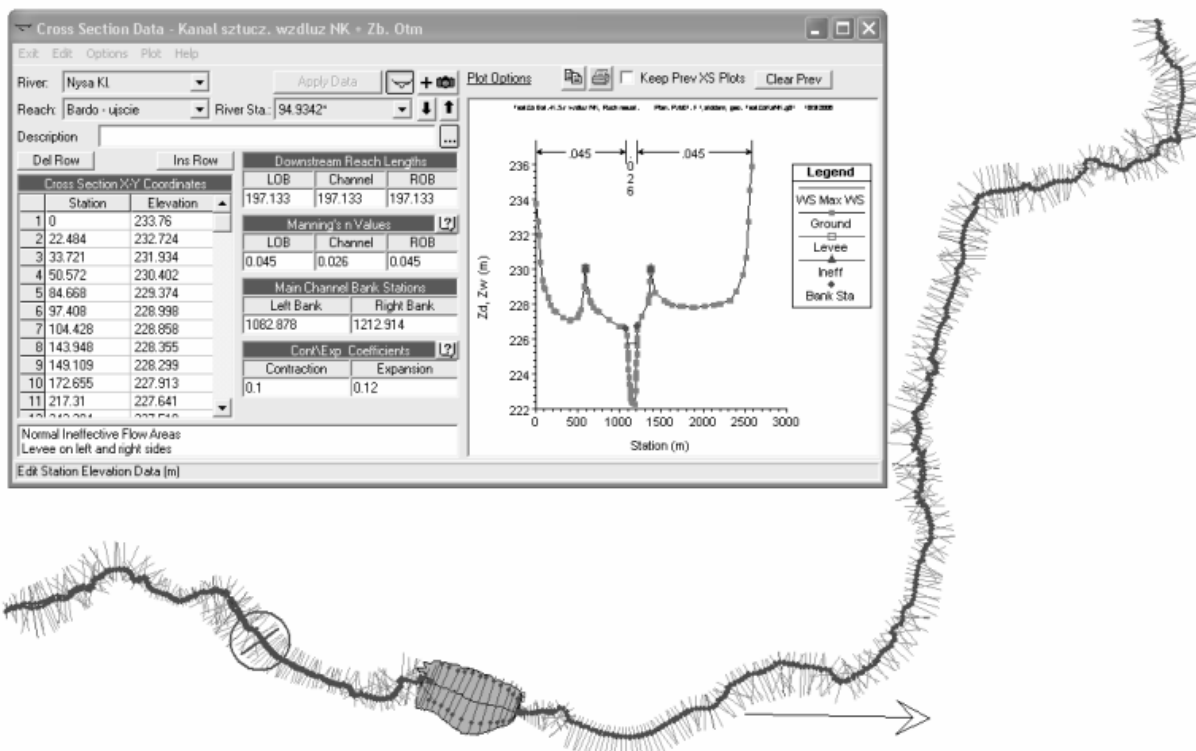
Niezależnie od wybranego sposobu sterowania trzeba określić dodatkowo szereg parametrów pracy urządzeń sterujących. Należą do nich, między innymi:

- Z_{ref_ok} – poziom wody, przy którym rozpoczyna się otwieranie kłapy
- Z_{ref_zk} – poziom wody, przy którym rozpoczyna się zamykanie kłapy
- S_{ok} – tempo otwierania kłapy/przepustu [m/min]
- S_{zk} – tempo zamykania kłapy/przepustu [m/min]
- h_{k_max} – maksymalna wysokość otwarcia kłapy/przepustu
- h_{k_min} – minimalna wysokość otwarcia kłapy/przepustu
- h_{k_ini} – początkowa wysokość otwarcia kłapy/przepustu.

4. TESTOWANIE WPLYWU METOD STEROWANIA URZADZENIAMI ZRZUTOWYMI NA WYNIKI SYMULACJI TRANSFORMACJI FALI POWODZIOWEJ

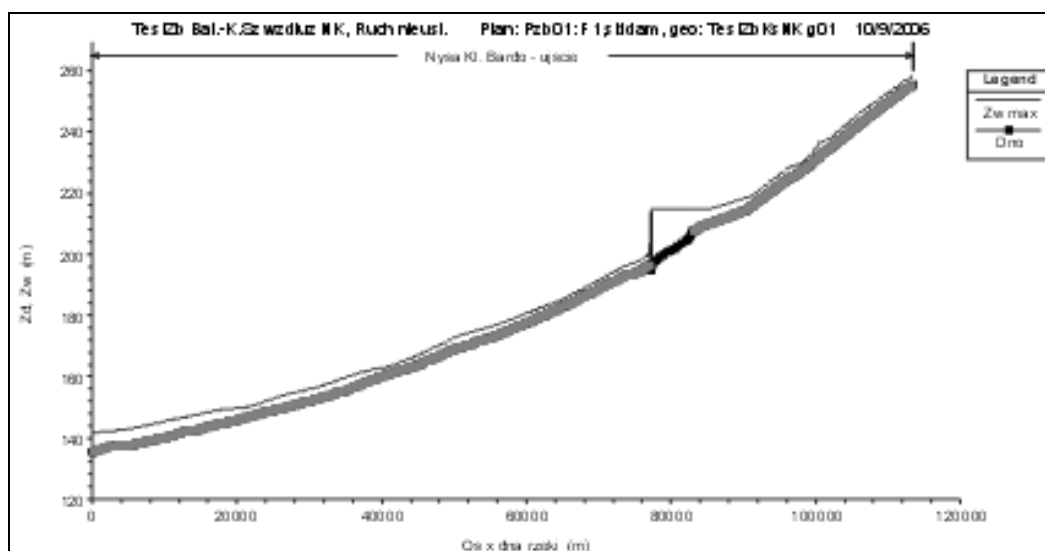
Celem badań na tym etapie budowy modelu transformacji fali powodziowej w hydrotechnicznie zabudowanym systemie rzeczonym było określenie wpływu sposobu sterowania zbiornikiem na charakter uzyskiwanego rozwiązania zagadnienia ruchu nieustalonego.

Dla tego celu została utworzona specjalna uproszczona batymetria rzeki odpowiadająca charakterem odcinkowi Nysy Kłodzkiej od Bardo do ujścia, ale bez dopływów i z obecnością tylko jednego zbiornika – odpowiadającego lokalizacji zbiornika Otmuchów. Schemat tego systemu został przedstawiony na rys.7 Została w nim zachowana linia cieku NK w układzie geograficznym, natomiast wszystkie przekroje poprzeczne (było ich 599) zostały wyznaczone poprzez interpolację w oparciu o kilka wybranych przekrojów rzeczywistych (ale o „wygładzonym kształcie - rys.7). Przekroje interpolowane posiadały podobne kształty i zostały rozmieszczone jeden od drugiego średnio co 200 m.



Rys. 7. Schemat odcinka „naśladowującego” Nysę Klodzka na odcinku od Bardo do ujścia z jednym zbiornikiem retencyjnym

Najniższe punkty tworzonych przekrojów zostały tak dobrane, aby został zachowany generalnie ten sam spadek linii dna na rozpatrywanym odcinku NK, ale aby jednocześnie pozbyć się nieregularnych uskoków spadku linii dna, które na tym odcinku występują w rzeczywistości. Rys. 8 pokazuje uzyskaną linię spadku dna oraz jedną z obliczonych linii zwierciadła wody.



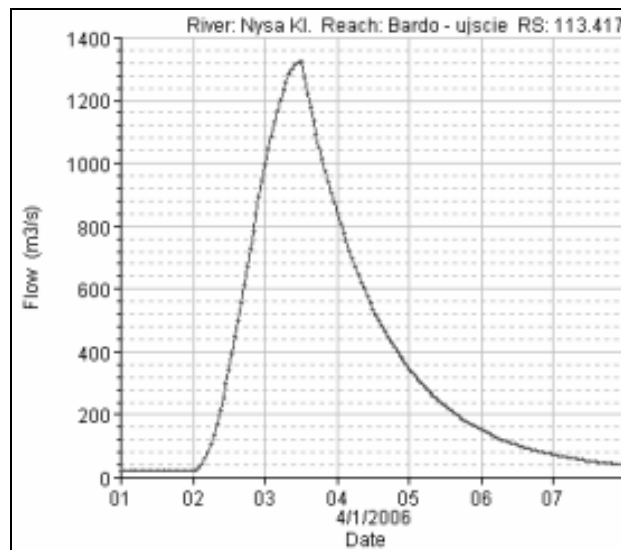
Rys. 8. Profil podłużny dna uproszczonego odcinka NK z jednym zbiornikiem retencyjnym

Zbiornik retencyjny został umieszczony w miejscu rzeczywistego zbiornika Otmuchów i przypisano mu także parametry takie jak dla Otmuchowa. Czasza zbiornika została utworzona z ciągu odpowiednio dobranych przekrojów poprzecznych (rys. 2),

natomiast przekrój poprzeczny tamy wraz z urządzeniami hydrotechnicznymi zdefiniowano w oparciu o dostępne dane dla Otmuchowa (rys.2). Pokazane na rys. 2 w przekroju tamy urządzenia spustowe tego zbiornika obejmują:

- sześć klap upustów dennych (rys. 2)
- dwie turbiny hydroelektrowni
- dwa sterowane przelewy segmentowe
- jaz niesterowany

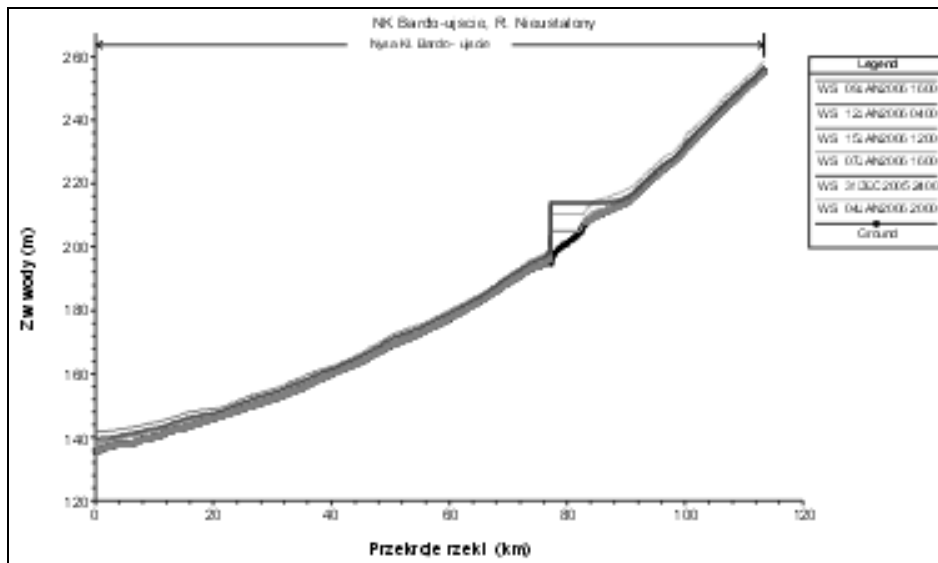
W rozpatrywanym układzie odcinka rzeki z jednym zbiornikiem retencyjnym przeprowadzono badanie wpływu urządzeń sterujących zapory zbiornika na postać uzyskiwanego rozwiązania w okresie trwania hipotetycznej fali powodziowej, której hydrogram przepływu wchodzącego w górnym przekroju granicznym układu jest przedstawiony na rys. 9.



Rys. 9. Hipotetyczna fala powodziowa – górny warunek brzegowy typu $Q(t)$.

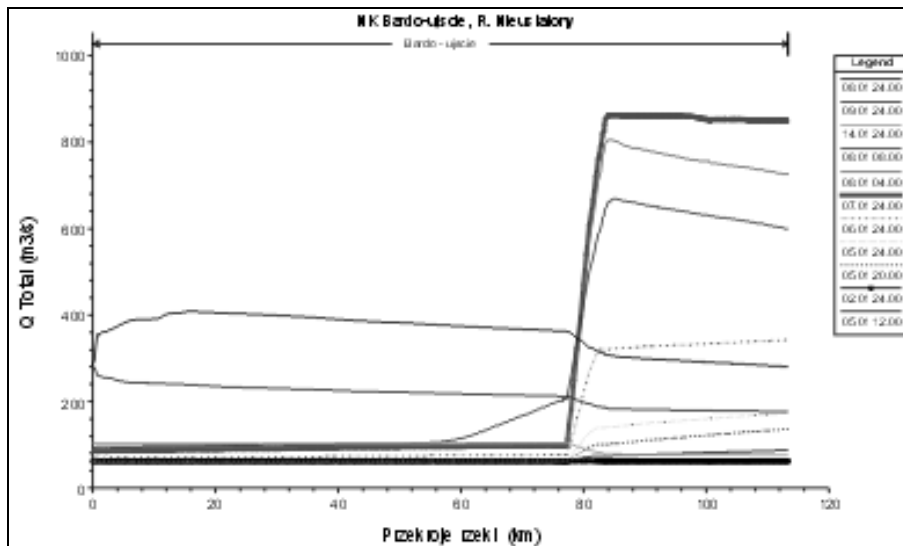
Wpierw wykonywano symulacje, w których otwieranie i zamykanie klap zbiorników było sterowane poziomem wody w zbiorniku.

Na rys. 10a przedstawione zostały profile podłużne obliczonego położenia zwierciadła wody, przechwycone w kilku charakterystycznych chwilach podczas przechodzenia symulowanej fali przez badany system.



Rys. 10a. Profil zwierciadła wody w kilku wybranych chwilach transformacji fali.

Widoczna tam zmiana poziomu wypełnienia zbiornika wynika z założenia, iż w początkowym okresie symulacji w całym systemie panuje ruch ustalony o niskim przepływie, a zbiornik jest wypełniony do połowy swej objętości. Po dwóch dobach spokoju pojawia się fala powodziowa w postaci wzrostu przepływu i stanów i wtedy zbiornik zaczyna magazynować wpływającą wodę. Dokonuje się przy tym bardzo znaczna redukcja przepływu, pokazana na rys. 10b.



Rys. 10b. Profile podłużne przepływu w kilku wybranych chwilach transformacji fali

Z analizy tego typu wykresów oraz wykresów w dziedzinie czasu można scharakteryzować zachowanie się modelu zbiornika. W pewnej chwili T_{max} do zbiornika wpływa $Q_{max}=860 \text{ m}^3/\text{s}$ a opuszcza go woda z $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$. Potem jednak, na skutek podnoszenia klap sterowanych wzrastającym poziomem wody na zbiorniku następuje zwiększony wypływ wody ze zbiornika i po przejściu kulminacji fali odpływ zaczyna zdecydowanie przeważać nad dopływem wody do zbiornika.

Wprowadzane do modelu parametry sterowania urządzeniami spustowymi zapory zostały zebrane w Tabeli 1 oraz w Tabeli 2, zawierającej tylko wartości zmienionych nastaw w stosunku do pierwszej tabeli. Te tabele definiują dwa warianty badawcze – *w1* i *w1*.

Tabela 1. Nastawy parametrów sterowania urządzeniami spustowymi zapory zbiornika retencyjnego (*w1*).

Metody i parametry sterowania	L_SSPP	P_SSPP	Upusty denne (6)	Turbiny (2)
Sterowanie poprzez poziom górnej wody na zbiorniku zapory	Tak	Tak	Tak	Nie
Sterowanie poprzez poziom wody w przekroju referencyjnym	Nie	Nie	Nie	Tak - km 77.400
Poziom wody, przy którym rozpoczyna się otwieranie kłapy [m]	215	215	215	200
Poziom wody, przy którym rozpoczyna się zamykanie kłapy [m]	213	213	212.1	250
Tempo otwierania kłapy/przepustu [m/min]	0.01	0.01	0.01	0.001
Tempo zamykania kłapy/przepustu [m/min]	0.01	0.01	0.01	0.001
Maksymalna wysokość otwarcia kłapy/przepustu [m]	4.5	4.5	3	2
Minimalna wysokość otwarcia kłapy/przepustu [m]	0.0	0.0	0.0	0.1
Początkowa wysokość otwarcia kłapy/przepustu [m]	0.0	0.0	0.1	2.0

Tabela 2. Nastawy parametrów sterowania urządzeniami spustowymi zapory retencyjnego (*w2*).

Metody i parametry sterowania	L_SSPP	P_SSPP	Upusty denne (6)	Turbiny (2)
Sterowanie poprzez poziom górnej wody na zbiorniku zapory	Nie	Nie	Nie	Nie
Sterowanie poprzez poziom wody w przekroju referencyjnym	Tak – km 113.417	Tak – km 113.417	Tak – km 113.417	Tak - km 77.400
Poziom wody, przy którym rozpoczyna się otwieranie kłapy [m]	258.18	258.18	258.18	198
Poziom wody, przy którym rozpoczyna się zamykanie kłapy [m]	257.46	257.46	257.46	215

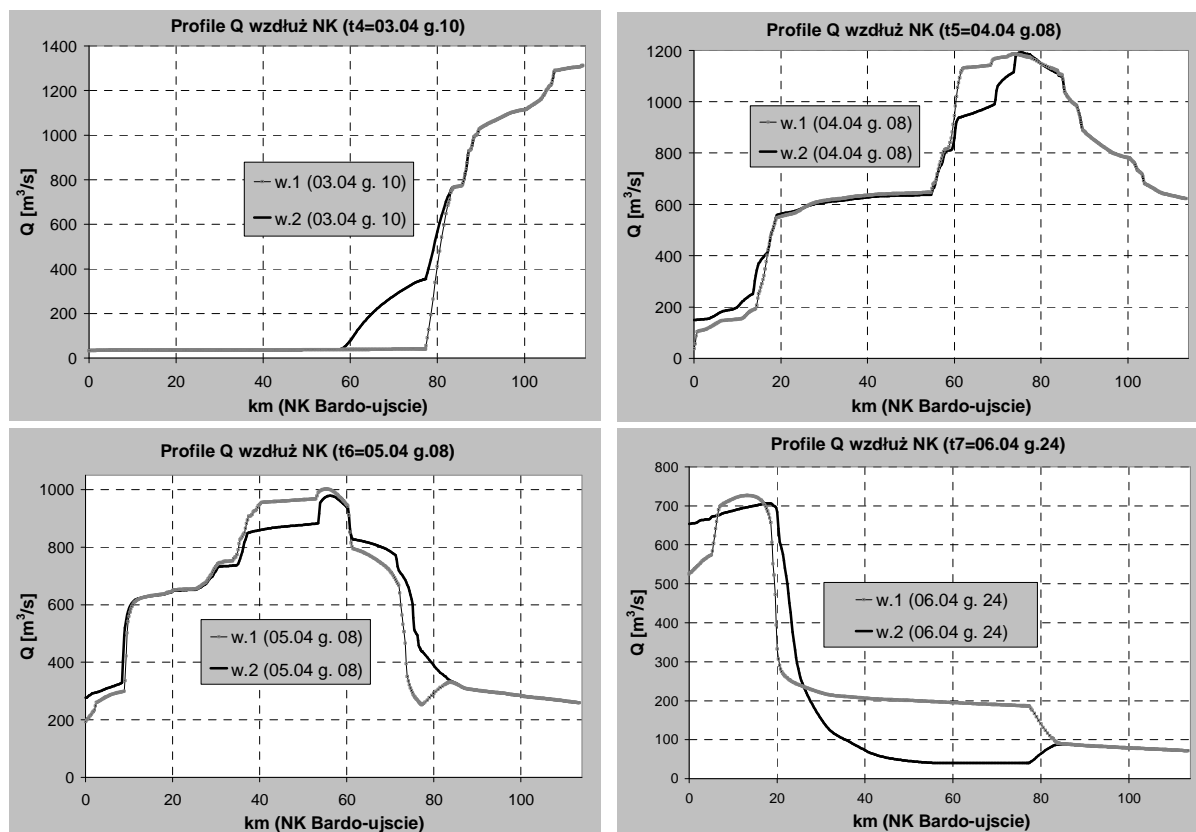
Rozpatrywane warianty zostały ustawione w następującym porządku:

- *w1* – dolny warunek brzegowy – głębokość normalna o spadku linii energii = 0.00001, warunki sterowania urządzeniami spustowymi zapory z Tabeli 1. Oznacza to, że otwarcia kłap lewego (L_SSPP) i prawego (P_SSPP) segmentu przelewu powodziowego sterowane jest poziomem wody górnej na zbiorniku zapory, tak samo działa sterowanie kłapami upustów dennych, natomiast sterowanie pracą turbin odbywa się w taki sposób, iż są one całkowicie otwarte w całym okresie symulacji.
- *w2* – dolny warunek brzegowy – głębokość normalna o spadku linii energii = 0.001, warunki sterowania urządzeniami spustowymi zapory z Tabel 1 i 2. Oznacza to, że otwarcie kłap segmentów przelewów powodziowych jest sterowane poziomem wody na wodowskazie w górnym przekroju granicznym, otwarcie kłap upustów dennych – poziomem wody górnej zbiornika, upusty turbin są całkowicie otwarte.

Oba warianty były obliczane przy tych samych ustawieniach parametrów hydraulicznych i numerycznych. Założono równe dla wszystkich przekrojów współczynniki szorstkości Manninga $n_k = 0.025$, $n_z = 0.045$ i równe współczynniki kontrakcji/ekspansji.

Wyniki obliczeń dotyczące kształtu profili podłużnych są prezentowane w czterech wybranych chwilach okresu symulacji wejściowej fali $Q_{1\%}$, obejmujących obie fazy transformacji (fazę wznoszenia i fazę opadania) na rysunkach 11 a,b,c.

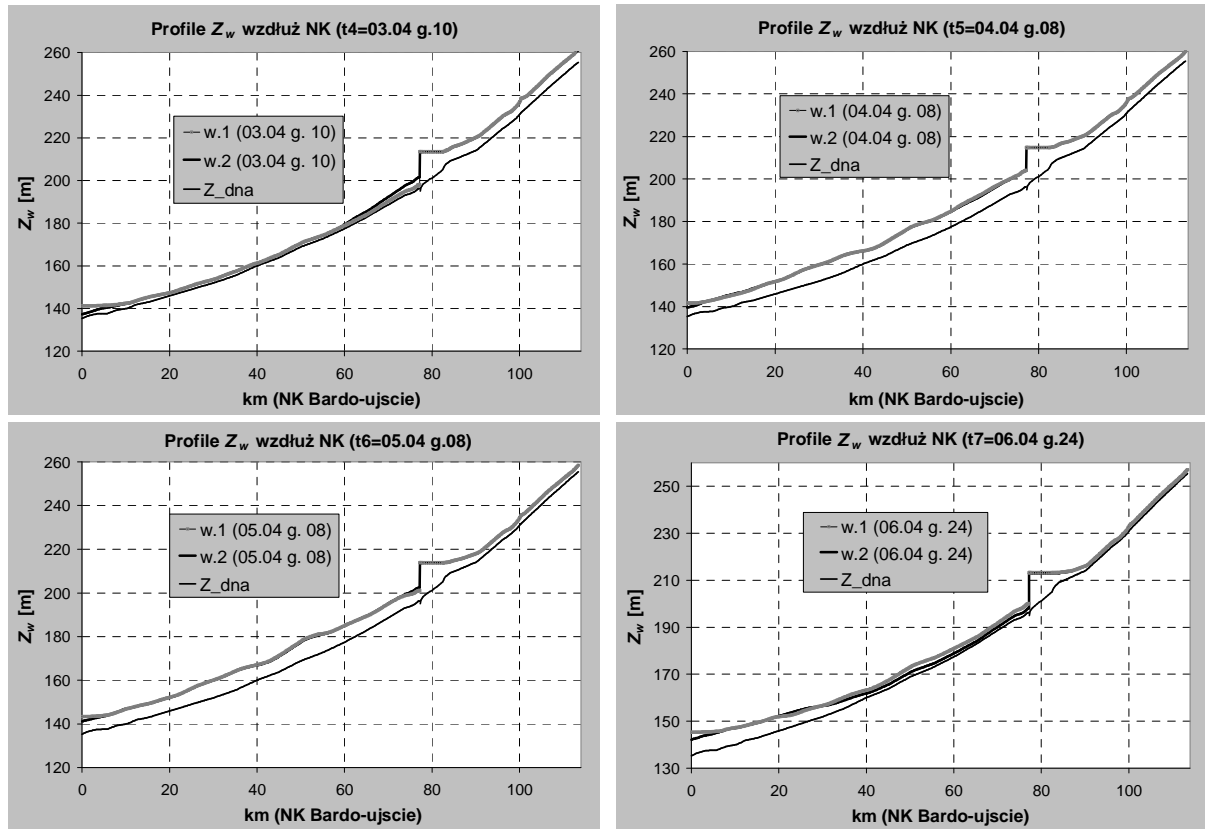
W przypadku profili przepływów (rys. 11a) widoczne są różnice pomiędzy wariantami $w1$ i $w2$, wywołane innym sterowaniem urządzeń spustowych. Różnice te są znaczące (rzędu $200 \text{ m}^3/\text{s}$), gdyż algorytm sterowania otwieraniem zasuw w wariantcie $w1$ starał się utrzymać poziom wody na zbiorniku w założonym przedziale, natomiast w wariantcie $w2$ starał się bardziej nadążać za zmieniającymi się stanami wody na wodowskazie górnego warunku brzegowego.



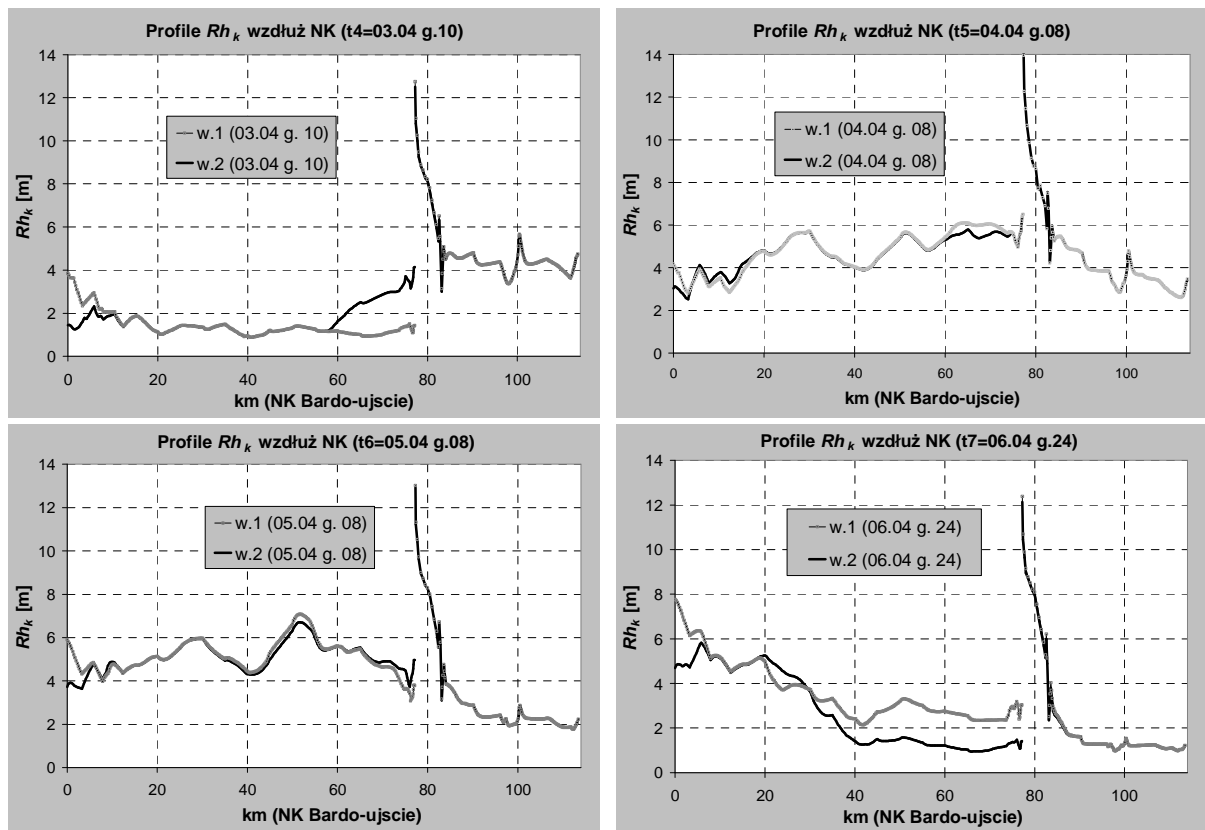
Rys. 11a. Profile podłużne przepływu w charakterystycznych chwilach transformacji hipotetycznej fali $Q_{1\%}$

Na rys.11b można zauważyć różnice w napełnieniu koryta rzeki i zbiornika, wynikające z uchwycenia w wybranych chwilach różnych faz transformacji fali w badanym systemie. Można także, w chwilach fazy opadania (3 ostatnie wykresy) dostrzec wpływ różnych procedur sterowania.

Innym ważnym parametrem liczonym podczas symulacji fali powodziowej jest promień hydrauliczny. Jego profile podłużne (rys. 11c) wykazują dużą skokową zmianę wartości, ale ten nagły wzrost R_h i nieciągłość dotyczy przekrojów zbiornika zapory i samej tamy. Poniżej zapory występują różnice pomiędzy profilami R_h , potwierdzające istotny wpływ różnych metod sterowania urządzeniami spustowymi na hydrogramy parametrów wzdłuż dolnej części systemu. Rozwarstwienie na dole między wariantami $w1$ i $w2$ to wpływ dolnego war. brzegowego.



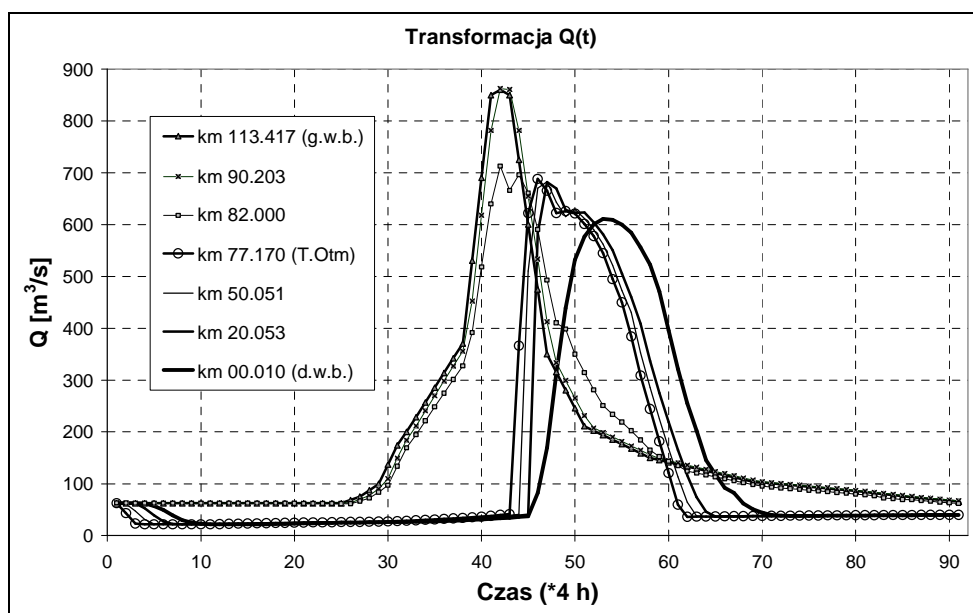
Rys. 11b. Obliczone profile podłużne zwierciadła wody podczas transformacji hipotetycznej fali $Q_{1\%}$



Rys. 11c. Obliczone profile podłużne promienia hydraulicznego koryta głównego podczas transformacji hipotetycznej fali $Q_{1\%}$

W obliczeniach testowane były dwa różne typy warunków wewnętrznych, określających sposoby sterowania urządzeniami spustowymi zapory pod kątem ich wpływu na charakter transformacji tej fali wzdłuż badanego odcinka rzeki. Różnica pomiędzy nimi polegała na tym, iż w wariancie $w1$ wszystkie urządzenia spustowe były sterowane poziomem górnej wody na zbiorniku zapory (Tabela 1), natomiast w wariancie $w2$ ich sterowanie oparte zostało na wielkości stanów wody na wodowskazie wejściowym (czyli na zachowaniu się stanów wody w górnym warunku brzegowym). Stany wody w tym przekroju były w każdej chwili okresu symulacji brane z krzywej konsumpcyjnej związanej z hydrogramem $Q(t)$. Wartości stanów w tym punkcie, decydujące o otwieraniu i zamykaniu zasuw zapory, podane zostały w Tabeli 2, poza tym reszta parametrów pracy tych urządzeń była taka jak w wariancie $w1$.

Dla wariantu $w1$ (dolny warunek brzegowy – głębokość normalna o spadku linii energii = 0.00001, warunki sterowania urządzeniami spustowymi zapory z Tabeli 1) hydrogramy $Q(t)$, $Z_w(t)$, $dZ_w(t)$ w wybranych przekrojach są przedstawione na rys. 12. Odzwierciedlają one transformację fali powodziowej wzdłuż badanego ciek i na zbiorniku.

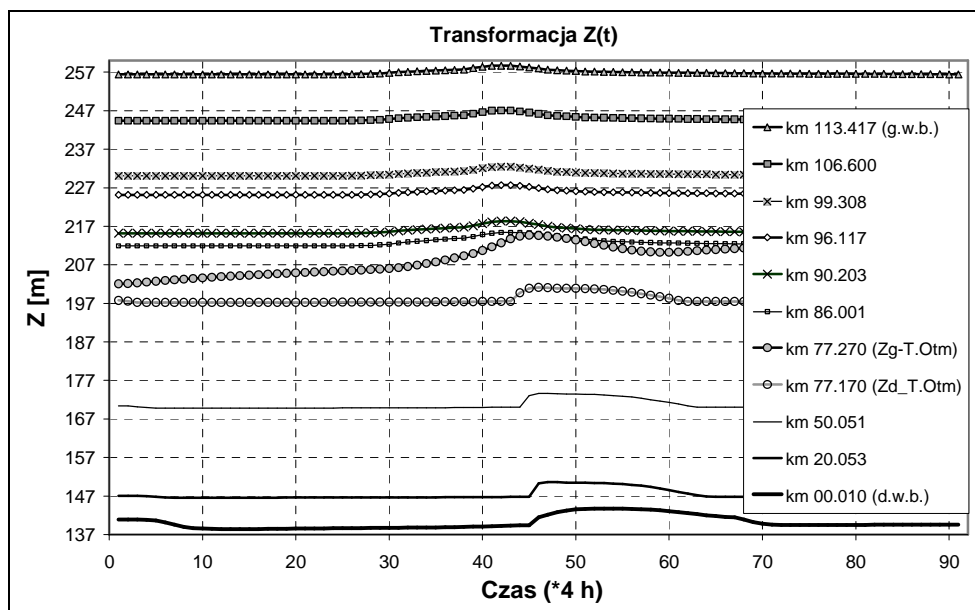


Rys. 12a. Transformacja fali w wariancie $w1$ – hydrogramy $Q(t)$

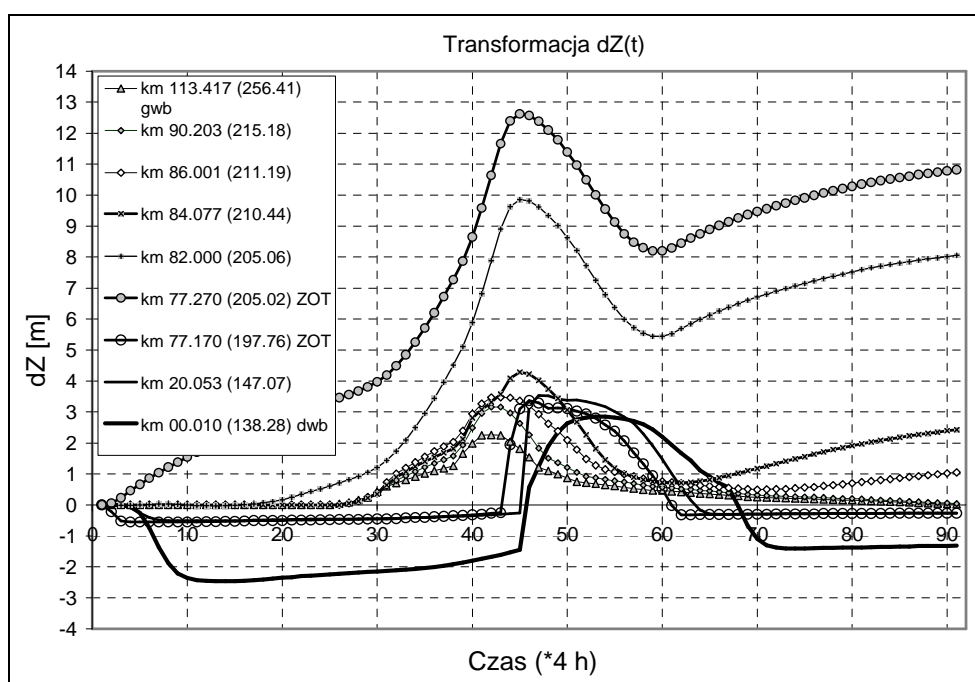
Na rys. 12a przedstawione są hydrogramy obliczonych przepływów w wybranych przekrojach badanego systemu rzeczno (idąc od góry w dół ciek, przy czym oznaczenie „g.w.b” przy przekroju km 113.417 oznacza górny warunek brzegowy, analogicznie „d.w.b” – dolny warunek brzegowy na km 00.010, natomiast „T.Otm” oznacza, że w przekroju km 77.170 występuje zapora zbiornika (analog tamy Otmuchów). Nieistotne przy tym jest dla przepływów, czy jest to przekrój od strony wody dolnej czy też od strony wody górnej – tutaj jest to dolny przekrój struktury definiującej zapórę w znaczeniu pokazanym na rys.1.

Wyraźnie jest widoczny efekt ścinania piku przepływu powodziowego na zbiorniku, przy czym redukcja przepływu występuje już na przekrojach czaszy zbiornika (km 82). Połączone jest to także z efektem opóźnienia wystąpienia kulminacji przepływu w dolnej części badanego systemu (hydrogramy $Q(t)$ km 50.051, 20.053, 0.10 na rys. 12a).

Na rys. 12b pokazane hydrogramy stanów wody w wybranych przekrojach wzdłuż biegu rzeki także pokazują przebieg transformacji fali z wyraźnym zaakcentowaniem jej zmiany w miejscu lokalizacji zbiornika i jego tamy (km 86.001, 77.270 (górną wodą zbiornika), 77.170 (dolną wodą zbiornika)).



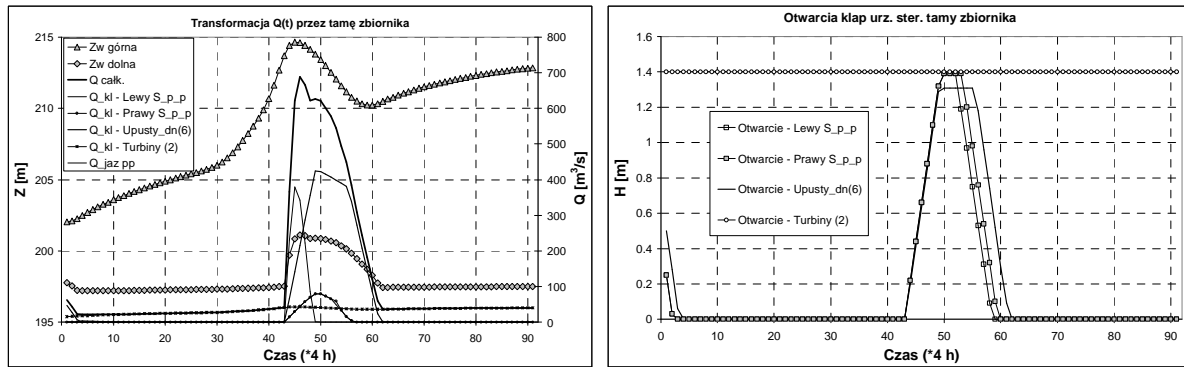
Rys. 12b. Transformacja fali w wariancie wI – hydrogramy $Z(t)$



Rys. 12c. Transformacja fali w wariancie wI – hydrogramy $dZ(t)$

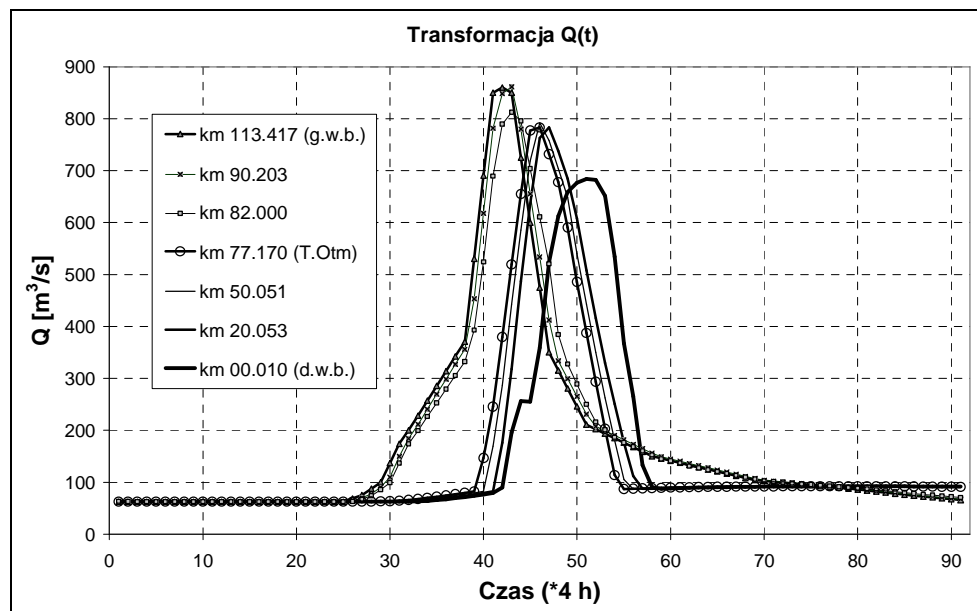
Na rys. 12c wielkość $dZ_w(t)$ oznacza różnicę stanów wody $Z_w(t) - Z_w(t_0)$ pomiędzy wynikiem z bieżącej chwili t a wartością w początkowej chwili symulacji (t_0).

Interesujące jest przeanalizowanie pracy urządzeń spustowych zapory i ich wydatków w funkcji czasu w okresie symulowanej fali, gdyż to pozwoliłoby na weryfikację algorytmów sterowania tymi urządzeniami. Wstępnymi informacjami w tym zakresie mogą być wykresy zachowania się górnej i dolnej wody oraz hydrogramy generowanych przepływów przez urządzenia zrzutowe zapory, prezentowane na rys. 12d (lewa strona) oraz wykresy stopnia otwarcia klap i zasuw (także w funkcji czasu) – prawa strona rys. 12d.



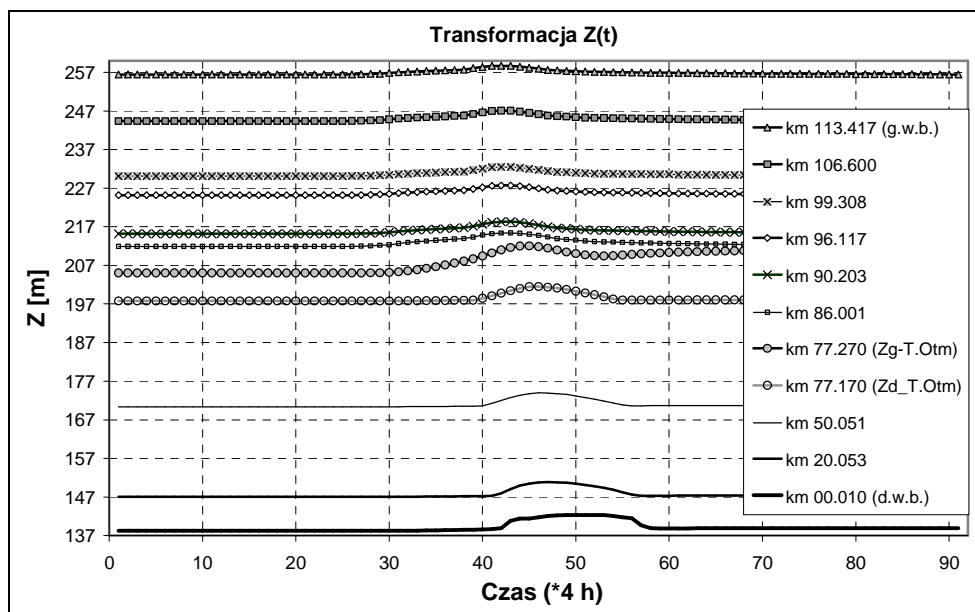
Rys. 12d. Wariant $w1$ – hydrogramy $Q(t)$ i $Z(t)$ na zaporze oraz otwarcia upustów zapory

Dla wariantu $w2$ (dolny warunek brzegowy – głębokość normalna o spadku linii energii = 0.001, warunki sterowania urządzeniami spustowymi zapory z Tabeli 2) wyniki symulacji fali testowej są przedstawione w postaci hydrogramów $Q(t)$, $Z_w(t)$, $dZ_w(t)$ w tych samych wybranych przekrojach jak w wariacie $w1$ na kolejnych rysunkach 13 a,b,c.

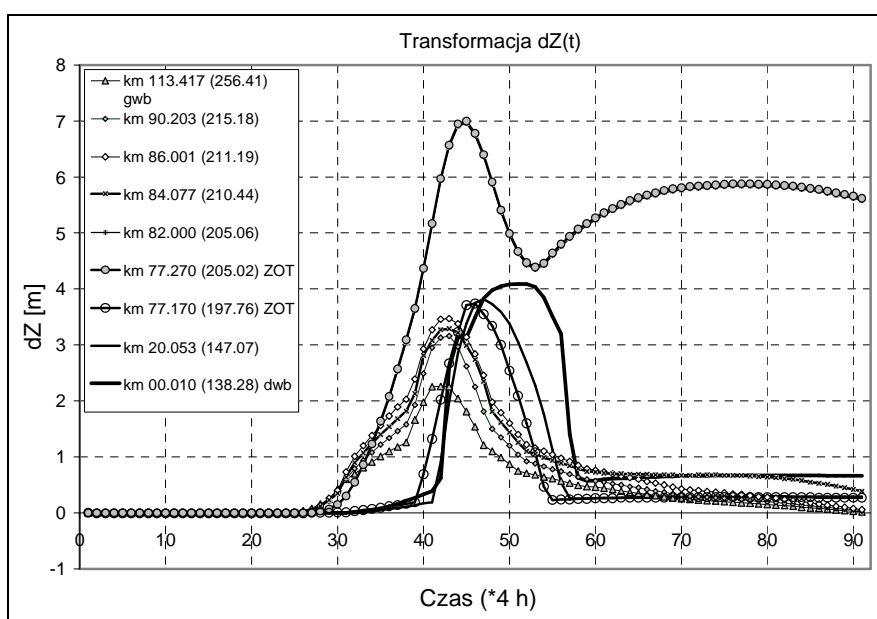


Rys. 13a. Transformacja fali w wariacie $w2$ – hydrogramy $Q(t)$

Porównując hydrogramy $Q(t)$ na rys. 12a i 13a można zauważyć, iż w wariacie $w2$ występuje znacząco mniejsza redukcja piku powodziowego. Wynika z tego, iż algorytm sterowania otwieraniem klap, podążając w tym wariacie za sytuacją powodziową, zarejestrowaną na wodowskazie w górnym warunku brzegowym, „przepuszcza” znacznie więcej wody. Powoduje to zmniejszenie gradientu narastania stanów w rejonie czaszy zbiornika (widoczne różnice pomiędzy przebiegami dZ_w na rys. 12c i 13 c). Porównując przebiegi stanów na rys. 12b i 13c, można także stwierdzić, że w wariacie $w2$ łagodniej także zachowują się hydrogramy stanów wody w trakcie transformacji fali.



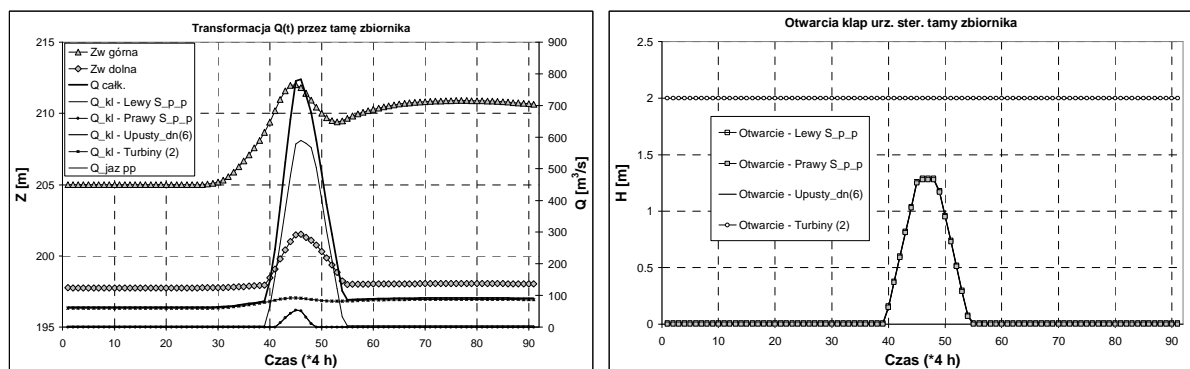
Rys. 13b. Transformacja fali w wariancie w_2 – hydrogramy $Z(t)$



Rys. 13c. Transformacja fali w wariancie w_2 – hydrogramy $dZ(t)$

Pracę urządzeń spustowych zapory i ich wydatki w funkcji czasu dla wariantu w_2 ilustrują wykresy przedstawione na rys. 13d. Wynika z nich, że sterowane urządzenia zrzutowe (L_SSPP, P_SSPP, upusty denne) w tym wariancie są otwierane tylko w okresie dojścia kulminacji fali bezpośrednio do zapory i zrzucają one wtedy te same przepływy, pomimo tego, iż ich geometryczne wymiary i lokalizacje różnią się. Jest to zastanawiające i może wskazywać na ograniczenia istniejące w procedurach sterowania, stosowanych przez algorytm modelu dla zarządzania stopniem i tempem otwarcia klap w tym wariancie.

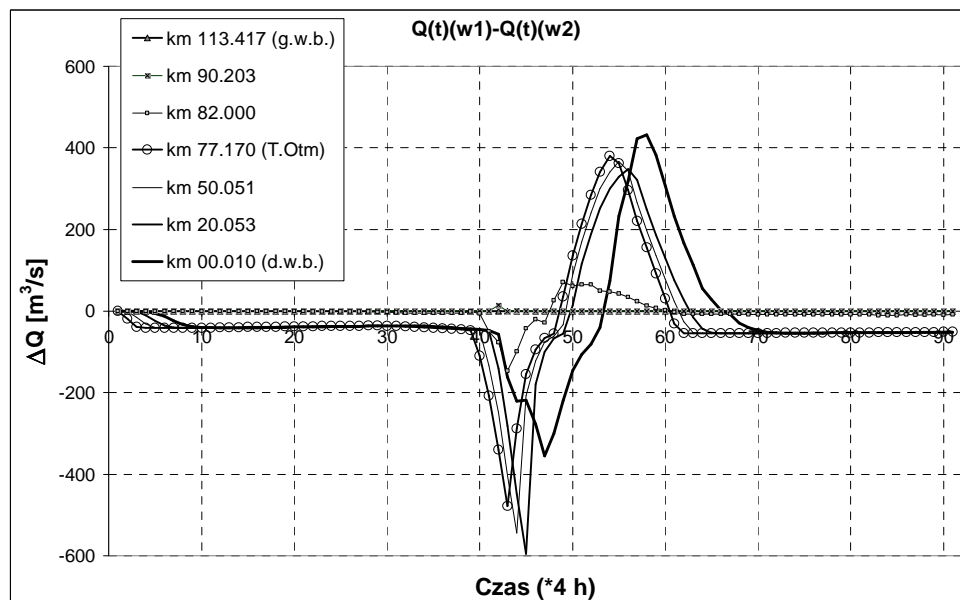
Trzeba jeszcze dodać, iż (jak widać z rys. 12d i 13d), turbiny hydroelektrowni pracują w obu wariantach w sposób ciągły, czyli zgodnie z parametrami określonymi dla nich (Tabele 1 i 2).



Rys. 13d. Wariant w_2 – hydrogramy $Q(t)$ i $Z(t)$ na zaporze oraz otwarcia upustów zapory

Wyniki obliczeń z rys. 12-13 pokazują, iż na zaporze następuje redukcja przepływu rzędu 30-40 % (w zależności od wariantu). Poniżej zapory występuje opóźnienie wystąpienia szczytu $Q(t)$ sięgające 48 godzin, co w porównaniu z czasem opóźnienia szczytu $Q(t)$ w przekrojach powyżej zapory rzędu 3-4 godzin świadczy o zdolności modelu do „ścianiania” szczytu fali na zbiorniku retencyjnym. Jednakże przyrosty głębokości na dolnym odcinku podczas fazy zrzutowej są większe niż w fazie wzrostu w przekrojach powyżej zapory, co może świadczyć o niewłaściwych nastawach parametrów urządzeń spustowych, generujących nadmierne tempo zrzutu wody ze zbiornika.

Dalsza analiza prowadzi do oszacowania różnic między obu wariantami. Odejmując zapisy hydrografów uzyskanych w wariacie w_2 od wyników wariantu w_1 , można bezpośrednio ocenić te różnice. Dane tego typu są przedstawione na kolejnych rysunkach 14 a, b, c, d, e.

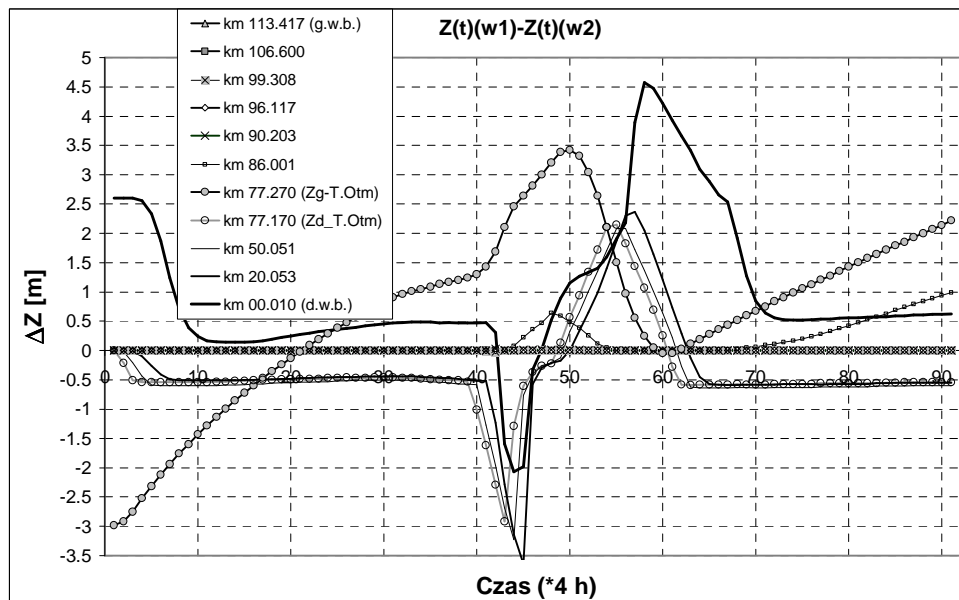


Rys. 14a. Różnica w hydrogramach przepływów $Q(t)$ między wariantami w_1 i w_2 .

Różnice w transformacji przepływu, widoczne na rys. 14a w okresie przechodzenia kulminacji fali, dotyczą przekrojów na obszarze czaszy zbiornika i poniżej zapory (od km 82 w dół rzeki). Z ich przebiegu wynika, iż w fazie narastania fali metoda sterowania klapami w oparciu o założone poziomy wody na zbiorniku (wariant w_1) generuje znacznie mniejsze przepływy niż metoda bazująca na zachowaniu się krzywej konsumpcyjnej na wodowskazie

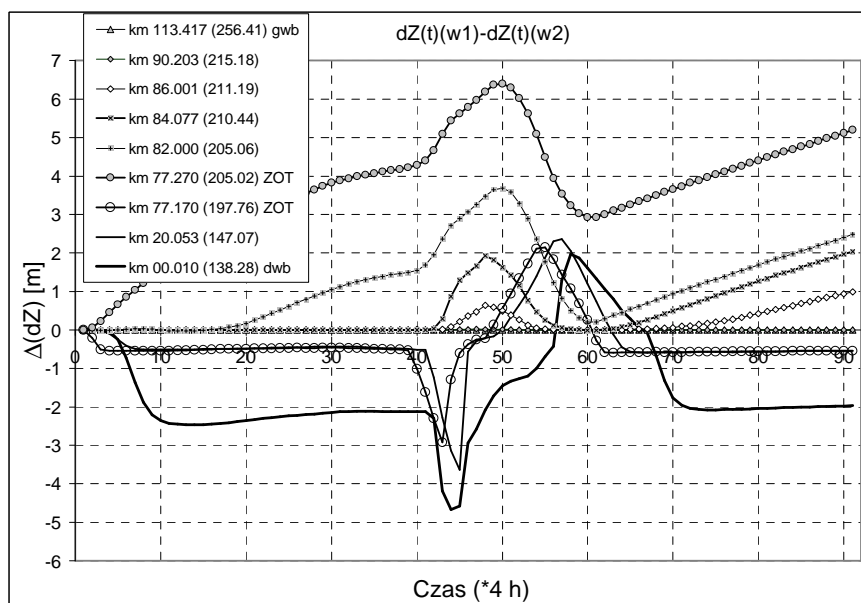
górnego warunku brzegowego (wariant w2). Maksymalna różnica 600 m³/s występuje w środkowej części odcinka rzeki poniżej zapory.

Sytuacja zmienia się w chwili przejścia kulminacji fali w danym przekroju – przepływy w wariantie w2 są większe od tych z wariantu w1, przy czym największa różnica występuje w dolnej części systemu, sięgając 400 m³/s w przekroju dolnego warunku brzegowego.



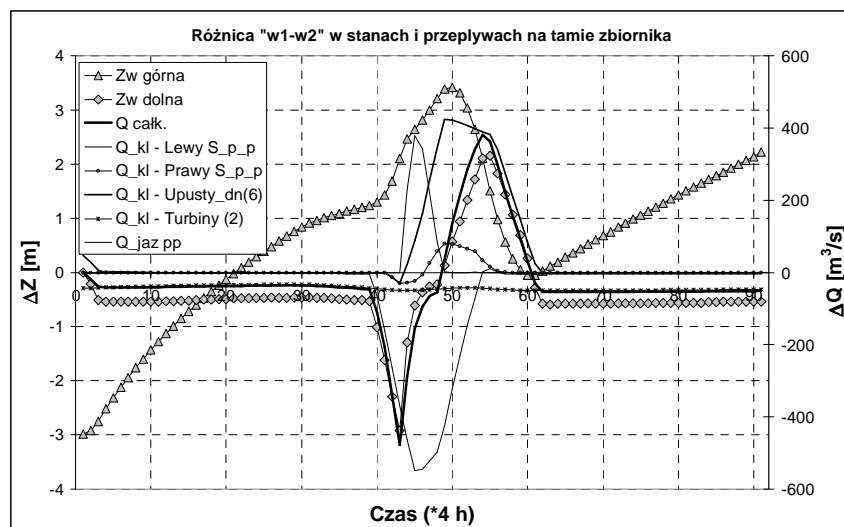
Rys. 14b. Różnica w hydrogramach stanów $Z(t)$ między wariantami $w1$ i $w2$.

Praca urządzeń zrzutowych wymuszona przez algorytm sterowania klapami różni się w każdym z tych dwu wariantów w sposób zasadniczy, czego dowodem są nie tylko różnice w hydrografach $Q(t)$, ale także różnice w poziomach wody górnej i dolnej na zaporze zbiornika (rys. 14b). Różnica $Z_g(w1)-Z_g(w2)$ sięga 3m i występuje po przejściu kulminacji fali, natomiast różnica $Z_d(w1)-Z_d(w2)$ sięga -3m i to minimum występuje przed przejściem kulminacji.



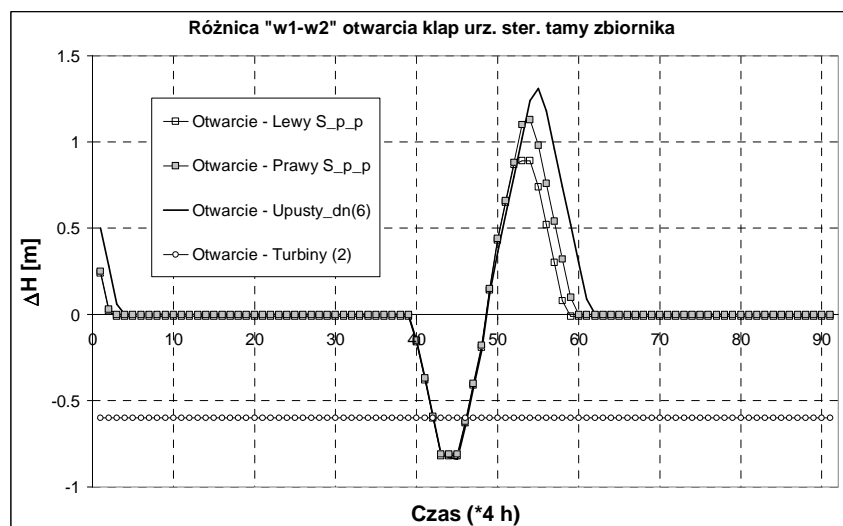
Rys. 14c. Różnica w przyrostach stanów $dZ(t)$ między wariantami $w1$ i $w2$.

Dodatnia różnica w przyrostach stanów wody górnej (rys. 14c) ($dZ_g(w1) > dZ_g(w2)$) wskazuje na to, iż wariant drugi sterowania klapami generuje zbyt duże zrzuty wody, powodując opadanie poziomu wody na zbiorniku przez prawie cały okres symulacji (pomijając fazę samej kulminacji). Tą tendencję potwierdzają także wykresy różnic stanów oraz przepływów na samej zaporze (rys.14d). Oznacza to być może niedopasowanie w ustawieniu parametrów sterowania w wariacie w2, ale w ramach takich porównań symulacji numerycznych nie można łatwo określić, który z wariantów należy forsować w konkretnych sytuacjach.



Rys. 14d. Różnica w stanach wody górnej Z_g i wody dolnej Z_d oraz w przepływach przez urządzenia zrzutowe zapory między wariantami $w1$ i $w2$.

Być może w dalszych decyzjach, co do wyboru jednej z dwu metod, mogą pomóc wykresy otwarć klap oraz wykresy ich różnic, podobne do prezentowanych niżej na rys. 14e.



Rys. 14e. Różnica w wysokości otwarcia urządzeń zrzutowych zapory między wariantami $w1$ i $w2$.

W każdej sytuacji praktycznej niezbędne jest jednak posiłkowanie się instrukcją użytkownika danej zapory i zbiornika oraz dążenie w opracowywanej definicji metody sterowania do możliwie bliskiej zgodności z zasadami eksploatacyjnymi i wariantami powodziowymi. Następnym krokiem może być zbudowanie wariantów postępowania

i przetestowanie ich przydatności w podobny sposób, jak zostało to przedstawione w niniejszym opracowaniu.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Informacje przedstawione w niniejszym artykule stanowią fragment badań analizujących wpływ doboru parametrów obliczeniowych modelu ruchu nieustalonego na uzyskane rozwiązania. Model był badany pod kątem czułości na różne parametry obliczeniowe, nastawy pracy urządzeń hydrotechnicznych, warunki początkowe generowane przez model ruchu ustalonego i na sposoby definicji złożonych przekrojów poprzecznych. Tutaj nacisk został położony na analizę wpływu metod sterowania urządzeniami hydrotechnicznymi na przebieg hydrogramów podstawowych parametrów opisujących transformację fali powodziowej.
2. Badania były wykonywane na uproszczonym modelu systemu rzecznoego (uproszczone przekroje poprzeczne, wygładzone spadki dna, tylko jeden zbiornik z tamą). Chodziło o to, aby można było w pierwszej kolejności ustalić na prostym wariancie, jak należy np. zamodelować pracę jednego urządzenia spustowego, aby uniknąć niestabilności modelu numerycznego, a potem przenieść te ustalenia na bardziej złożoną wersję..

Na podstawie wykonanego zakresu prac można sformułować następujące wnioski i zasady postępowania podczas numerycznego modelowania ruchu nieustalonego w rzekach o charakterze górskim z intensywną zabudową hydrotechniczną:

1. W przypadku obecności w systemie rzecznoym budowli hydrotechnicznej należy metodą przybliżeń ustalić parametry pracy urządzeń spustowych. Jest to proces rekurencyjny – tempo otwierania/zamykania klap ma bardzo istotny wpływ na dobór kroku czasowego obliczeń w całej sieci, a z kolei zmiana współczynników szorstkości i kontrakcji/ekspansji wpływa na stabilność pracy tych urządzeń. Krok czasowy zarówno w fazie rozruchu jak i podczas właściwej symulacji w przypadku obecności sterowanych urządzeń spustowych musi być znacznie mniejszy (w trakcie testów z niektórymi nastawami był to krok $dt=0.05$ min).
2. Badany zbiornik jest zdefiniowany w modelu w trybie „zbiornika zwykłego”, co pozwala na powiązanie sterowania klapami jego zapory za pomocą poziomu wody na samym zbiorniku lub też poziomu wody w wybranym przekroju rzeki (np. na górnym wodowskazie). Są jednak istotne różnice między obu metodami sterowania w obrazie transformacji fali w rejonie zbiornika i poniżej jego zapory. W przypadku konkretnej realizacji modelu dla rzeczywistego systemu rzecznoego potrzebne będą dalsze badania ukierunkowane na wybranie metody dającej możliwie poprawne (w sensie przestrzegania założonej instrukcji zbiornikowej dla warunków transformacji fali powodziowej) hydrogramy Z i Q na zaporze
3. Dla stworzenia scenariusza pracy kaskady zbiorników być może byłby pomocny tryb pracy „zbiorniki nawigacyjne”, ale opanowanie i przystosowanie tego trybu dla potrzeb obliczeń wymaga jeszcze dużego wysiłku koncepcyjnego i wielu testów obliczeniowych.

Literatura

1. Bradley J.: Hydraulics of Bridge Waterways, Hydraulics Design Series No. 1, Federal Highway Administration, Washington D.C., 1978

2. Brunner G. W.: HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. US Army Corps Engineering, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2002
3. Chaudhry M.H.: Open channel flow, Prentice Hall, USA 1993
4. Ewertowski R.: Uwarunkowania modelowania przepływów i zasięgu stref zalewowych dla Nysy Kłodzkiej od wodowskazu Bardo do ujścia, IX Konferencja „Problemy Hydrotechniki” – Współczesne problemy planowania i projektowania w inżynierii i gospodarce wodnej, Wrocław, 2006
5. Ewertowski R.: Niedopasowanie warunków początkowych i brzegowych w 1-W modelu ruchu nieustalonego wody, Regionalne Problemy Gospodarki Wodnej i Hydrotechniki, Szczecin, 2006

INFLUENCE OF DIFFERENT CONTROL METHODS APPLIED TO RETENTION RESERVOIRS ON SIMULATION OF FLOOD WAVE TRANSFORMATION BY UNSTEADY FLOW MODEL

The paper concerns the numerical simulation of flood wave transformation through the slightly idealized river system consisting of river branch (length around 111 km) with a retention reservoir located on it. The purpose of the paper was to analyze influence of control parameters settings for controlled weirs and gates in dam's corpse on shape of flow and stage hydrograms along river downstream to the dam. First, the definition of a retention reservoir and its dam (including its hydrotechnical structures) has been described in terms of an internal condition of unsteady flow model for the whole system. Also necessary equations for flow calculation through controlled weirs were given together with methods of calculation for different flow situations (e.g. submergence). Next, basic rules for controlling the hydraulic structures in unsteady flow model were outlined. Based on such rules, several numerical simulations have been performed for selected flood waves. Part of obtained results has been arranged here in two comparative variants: the first one, where the algorithm responsible for controlling weir's sluice closing was referred to the water level of reservoir, and the second one, where the same algorithm was referenced to the flow-discharge curve of upper boundary condition of the river system being modeled. Further, results of both variants have been presented and comparisons between them were discussed (as time-shots as well as hydrogram curves). The comparisons would then serve for making some conclusions given at the end of the paper.