ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1983
Seria : AUTOMATYKA z.68 Nr kol.767

Jerzy GRELA

Instytut Meteorologii
i Gospodarki Wodnej
Kraków

BADANIA SYMULACYJNE WSPÓŁPRACY ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH GÓRNEJ WISŁY W CZASIE POWODZI

Streszczenie: Na przykładzie badań symulacyjnych prowadzonych na testowej powodzi, omówiono założenia metodyki opracowywania zasad sterowania zbiornikami górnej Wisły. Założenia te uwzględniają zagadnienia współpracy obiektów, wpływu błędów prognozy, horyzontu optymalizacji, czasu repetycji i kryteriów na efekty sterowania. Omówiono główne narzędzia symulacyjne. Uzyskane wyniki wymagają uogólnienia na większej liczbie scenariuszy powodziowych

1. Wstęp

Głównym celem projektowania systemu sterowania falą powodziową na obszarze górnego dorzecza Wisły, jest zgodnie z koncepcją[1], stworzenie narzędzi wspomagania dyspozytora /Regionalnego Ośrodka Dyspozycyjno-Informacyjnego/ w zakresie wypracowywania propozycji oddziaływań sterujących. Propozycje te winny spełniać szereg wymagań narzucanych różnorodnością możliwych sytuacji powodziowych. Losowość czynników powodziowych /wielkość i rozkład opadów w czasie i przestrzeni, czasy występowania i wielkości kulminacji w poszczególnych zlewniach, stany napełnień zbiorników przed powodzią, awaryjność urządzeń ochrony przeciwpowodziowej/ sprawia, że niemal każda powódź wymaga sformułowania odrębnego problemu optymalizacyjnego.

Jednym z istotnych wymagań jest w tych warunkach konieczność uwzględnienia możliwych form współpracy obiektów. Podstawowe zadania sterowania z jakimi możemy spotkać się w czasie powodzi na omawianym obszarze to:

- sterowanie zespołem zbiorników usytuowanych równolegle z uwzględnieniem interesów całego dorzecza,
- sterowanie kaskadą zbiorników jednej rzeki,
- sterowanie pojedynczym zbiornikiem na przekrój zaporowy /ochrona zle-

wni leżącej bezpośrednio poniżej zapory/,

- sterowanie pojedynczym zbiornikiem z uwzględnieniem dopływu bocznego poniżej zapory /praca kompensacyjna/.

Teoretycznie rzecz biorąc możemy sformułować co najmniej kilka alternatywnych układów tych zadań. Pytanie więc, który z nich jest w danych warunkach optymalny.

Rozstrzygnięcie tego problemu nie determinuje doboru innych parametrów sterowania takich jak kryterium, horyzont optymalizacji czy okres repetycji. Pozostaje również zagadnienie doboru optymalnych modeli sterowania dla poszczególnych zadań. Bardzo istotna jest też konieczność uwzględnienia wpływu błędów prognoz hydrologiczno-meteorologicznych na wypracowywane oddziaływania sterujące.

Sprecyzowanie powyższych elementów utworzy określony układ sterowania. Ważne jest, aby w każdych warunkach był on zbliżony do optymalnego. W niniejszym referacie omówiony zostanie schemat badań symulacyjnych nad doborem optymalnego układu sterowania obejmujący całokształt zasygnalizowanych wyżej problemów. Będzie on zaprezentowany na przykładzie wybranej powodzi. W pierwszej części przedstawione zostaną założenia modelu współpracy obiektów w układzie równoległym, stanowiącego podstawowe narzędzie eksperymentów symulacyjnych.

2. Symulacyjny model współpracy zbiorników w układzie równoległym

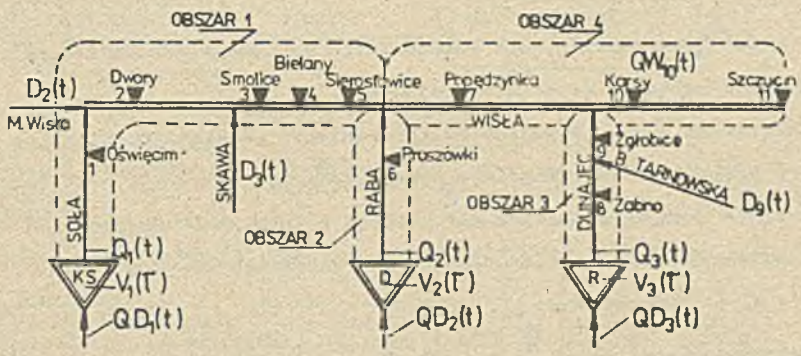
Szczegółowy opis modelu realizującego współpracę zbiorników Kaskady Soły, Dobczyce i Rożnów /rys.1/ zawierają prace [2] i [5]. Poniżej przytoczone zostaną najważniejsze założenia i elementy tego modelu, ułatwiające zrozumienie przeprowadzonych badań symulacyjnych.

Formułując model współpracy zbiorników w wersji symulacyjnej, należało uwzględnić następujące jego funkcje:

- wypracowywanie oddziaływań sterujących w warunkach niepewnej prognozy dopływu i niepewnej prognozy transformacji fali,
- korygowanie sterowania z uwzględnieniem nowej informacji o aktualnym i prognozowanym stanie systemu,
- uwzględnienie różnych form współpracy obiektów,
- ocenianie efektów sterowania dla okresu całej fali,
- analiza porównawcza z innymi alternatywnymi strategiami sterowania.

W związku z tymi funkcjami, a także funkcjami wynikającymi z koncepcji systemu, przyjęto następujące ogólne założenia:

- model pracuje w strukturze repetycyjnej o zmiennych parametrach ΔT - okres repetycji i TH - horyzont optymalizacji,
- sterowaniem wypracowywanym w dyskretnej chwili czasu τ, dla realizacji w przedziale $[\tau, \tau+\Delta T]$, jest wektor $\bar{Q}^*_\tau/t/$, którego współrzędne są rozwiązaniem problemu wyboru strategii sterowania na poszczególnych zbiornikach dla horyzontu $TH \geq T$,
- funkcja kryterialna winna uwzględniać spodziewane straty powodziowe w dorzeczu objętym działaniem systemu,
- wektora sterującego $\bar{Q}^*_\tau/t/$, poszukuje się metodą przeszukiwania arbitralnie sformułowanych wariantów sterowań,
- sterowanie w okresie całej powodzi to ciąg wektorów $\{\bar{Q}^*_\tau/t/\}$, wyznaczanych w kolejnych dyskretnych chwilach czasu $\tau = t_p, t_p+\Delta T, t_p+2\Delta T, \ldots$
- realizacja sterowań na zbiornikach odbywa się ściśle według wypracowanej strategii,
- do czasu opracowania dokładnych modeli zjawisk hydrologicznych, wykorzystuje się modele uproszczone,
- model posiada strukturę modułową.



Oznaczenia:

$\bar{Q}(t)$ — odpływy ze zbiorników

$\bar{QD}(t)$ — dopływy do zbiorników

$\bar{D}(t)$ — dopływy boczne

$\bar{QW}(t)$ — przepływy w przekrojach wodowskazowych

$\bar{V}(t)$ — napełnienie zbiorników retencyjnych

Rys.1 Schemat systemu fizycznego objętego badaniami symulacyjnymi

Ideowe schematy funkcjonalne algorytmów realizujących poszczególne funkcje modelu umieszczono na rys. 2. Zawierają one określone procedury, których niektóre szczegółowe założenia przytoczone zostaną poniżej.

a/ Wyznaczanie wariantów sterowania obejmuje:

- ustalenie liczby wariantów dopuszczalnych N w oparciu o parametry współpracy obiektów,
- wyznaczenie maksymalnie 4 alternatywnych strategii odpływu $Q_i^j/t/$ na każdym i-tym zbiorniku systemu polegających na odprowadzaniu w miarę możliwości największego odpływu - $Q_i^1/t/$, odprowadzaniu w miarę możliwości najniższego odpływu - $Q_i^2/t/$, odprowadzaniu odpływu średniego - $Q_i^3/t/$, realizowaniu obowiązującej instrukcji - $Q_i^4/t/$, przy uwzględnieniu warunków wynikających z ograniczeń fizycznych odpływu, żądania nieprzekroczenia prognozowanej kulminacji oraz wymagania osiągnięcia na końcu okresu TH napełnienia jakie przewiduje instrukcja,
- zdefiniowanie zbioru możliwych wariantów sterowania $\{\bar{Q}^j/t/\}$.

b/ Model transformacji fali jest modelem kaskady zbiorników nieliniowych, opartym na klasycznym równaniu ciągłości i nieliniowym równaniu retencji, posiadającym:

- strukturę dostosowaną do systemu fizycznego/podział na węzły i odcinki/,
- wektor parametrów $\bar{p}$ zoptymalizowanych na powodziach 1970 i 1972.

c/ Obliczanie wartości kryterium obejmuje:

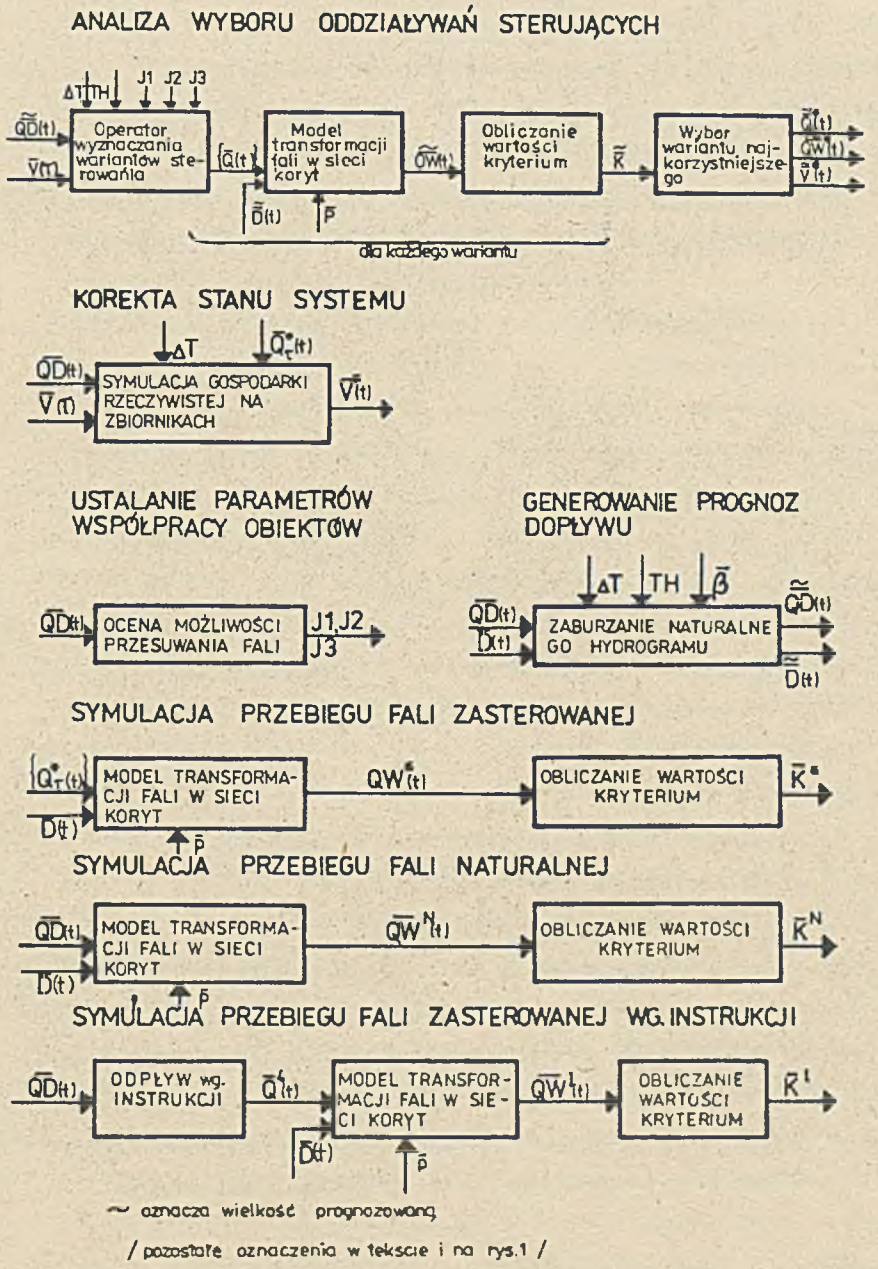
- kryterium strat, bazujące na wprowadzonym podziale dorzecza na obszary przypisane poszczególnym przekrojom zbiornikowym i profilom kontrolnym oraz opracowanych dla każdego z tych obszarów krzywych strat uzależnionych od wartości maksymalnego przepływu, S/QK/,

$$K_1 = \sum_{i=1}^{3} S_i/QK_i/ + \sum_{i=1}^{11} S_i/QK_i/ \qquad /1/$$

- kryterium przekroczenia przepływów granicznych, bazujące na wyznaczonych przepływach granicznych QGR, w tych samych przekrojach co wyżej i systemie wag przypisanych każdemu przekrojowi i profilowi, a wynikające z analizy strat jakie spowodowałaby woda o 1% prawdopodobieństwie wystąpienia

$$K_2 = \sum_{i=1}^{3} w_i x/QK_i - QGR_i/ + \sum_{i=1}^{14} w_i x/QK_i - QGR_i/ \qquad /2/$$

d/ Wybór wariantu najkorzystniejszego polega na wyborze spośród N wariantów takiego, dla którego kryterium /K_1 lub K_2/ osiąga minimum



Rys.2 Schematy podstawowych funkcji symulacyjnego modelu współpracy zbiorników

e/ Korekta stanu systemu prowadzona jest dla wektora napełnień początkowych $V/\tau/$, znalezionego wektora $Q^{*}_{\tau}/t/$ i przy rzeczywistych dopływach do zbiornika $Q\Pi/t/$, a polega na symulacji gospodarki powodziowej, w rezultacie, której otrzymuje się faktyczne trajektorie napełnień $V^{*}/t/$; w szczególności wektor końcowych napełnień $V^{*}/\tau+\Delta T/$, jest wektorem napełnień początkowych dla następnego τ,

f/ Ustalanie parametrów współpracy obiektów /szczegółowy opis w [4]/zawiera:

- eksperymenty symulacyjne polegające na badaniu możliwości przesuwania czasu kulminacji fali dopływającej do zbiornika,
- porównanie uzyskanych czasów przesunięć, z ustalonym wcześniej czasem minimalnym,
- sprecyzowanie zdolności obiektów do współpracy poprzez ustawienie wskaźników J1/dla Kaskady/, J2/dla Dobczyc/, J3/dla Rożnowa/

$$J1,\ J2,\ J3 = \begin{cases} 1 & \text{- gdy zbiornik może przesunąć kulminację,} \\ 4 & \text{- gdy zbiornik nie może przesunąć kulminacji.} \end{cases}$$

g/ Generowanie prognoz dopływu polega na:

- zaburzaniu objętości hydrogramu rzeczywistego dla przedziałów[1, 24] i [25, 48] w przekrojach zbiornikowych i przekrojach ujściowych dopływów pokazanych na rys.1, wg. formuły:

$$W_i' = W_i \,/\, 1 + \beta_i \times \operatorname{arctg} X/ \,, \qquad /3/$$

gdzie: i - numer przedziału,

W_i - objętość rzeczywista dopływającej wody,

W_i' - objętość zaburzona,

β_i - maksymalny błąd objętości,

X - zmienna losowa o rozkładzie znormalizowanym Gaussa,

- rozłożeniu błędów w czasie według trójkąta.

Ostatnie 3 schematy z rys. 2 pokazują w jaki sposób realizowana jest analiza porównawcza proponowanej przez model strategii sterowania z innymi politykami. Jako układy odniesienia przyjęto brak sterowania /fala naturalna/ oraz politykę sterowania według obecnie obowiązujących instrukcji.

3. Założenia badań symulacyjnych

Jako podstawowe narzędzia badań symulacyjnych, dla systemu obiektów przedstawionego na rys. 1 przyjęto:

a/ model współpracy zbiorników w układzie równoległym /opisany w p.2/,

b/ model sterowania Kaskadą Soły z uwzględnieniem Małej Wisły i Skawy, opisany w pracy [3];

c/ modele realizujące obowiązujące lub przewidywane/ w przypadku zbiornika Dobczyce/ instrukcje postępowania w czasie powodzi - opis w [6].

Zestaw tych modeli pozwala na prowadzenie eksperymentów symulacyjnych mających na celu:

- zbadanie wpływu poszczególnych parametrów układu sterowania na uzyskiwane efekty,
- oszacowanie wartości parametrów układu sterowania gwarantujących uzyskanie korzystnych efektów sterowania w warunkach niepewności co do rozwoju sytuacji powodziowej.

Wprowadzone tu pojęcie parametrów układu sterowania obejmuje szereg elementów, od których w sposób istotny zależy wypracowywanie optymalnych decyzji. Podstawowym czynnikiem, który wpływa na prawidłowość uzyskiwanych rozwiązań jest niepewność towarzysząca prognozom zjawisk powodziowych i to zarówno w zakresie elementów hydrometeorologicznych jak i pozaprzyrodniczych takich jak np. awaryjność urządzeń ochrony przeciwpowodziowej. Szybki i gwałtowny przebieg powodzi oraz niedoskonała i często spóźniona informacja sprawia, że modele prognostyczne obarczone są błędami, zwiększającymi się w miarę wydłużania okresu prognostycznego. Stąd nasz stopień zaufania do odleglejszych w czasie rzędnych hydrogramu prognozowanego jest mniejszy niż do rzędnych początkowych, co w konsekwencji może skłaniać do skracania horyzontu zadania optymalizacji TH, bądź skracania okresu repetycji ΔT. Pojęcie błędu prognozy może być definiowane w sposób bardzo różnorodny w zależności od przyjętej hipotezy o rozkładzie błędów i ich wzajemnych uwarunkowaniach. Rzeczywiste błędy modeli prognostycznych mogą być określone dopiero po pewnym okresie eksploatacji i uzyskaniu pewnej próby losowej. Ponieważ obecnie modele prognostyczne są na etapie opracowywania, należało w badaniach symulacyjnych problem ich błędów potraktować w sposób uproszczony. Przyjęto, że błąd prognozy utożsamiany będzie z błędem objętości prognozowanego hydrogramu, w stosunku do objętości hydrogramu rzeczywistego, z rozbiciem na odcinki 24 - godzinne. Wariantowaniu podlegać może wielkość błędu maksymalnego β.. Założono ponadto, że $\beta_2 = 2 \times \beta_1$ /por. p.2/.

Problem wyboru kryteriów sterowania nie można rozwiązać na etapie projektowania systemu. Zgodnie z założeniami koncepcji, kryteria uwzględniać winny straty powodziowe na obszarze systemu. Można tego dokonać w sposób bezpośredni / funkcje strat/ lub pośrednio /np. przez minimalizację ważonych maksymalnych przepływów/. Problem ten będzie stale towarzyszył systemowi sterowania przede wszystkim w warunkach bieżącej eksploatacji, z racji zmienności w czasie zagospodarowania obszarów zagrożonych, losowych przypadków przerwań wałów, itp. Poprzez symulację można natomiast zbadać zalety i wady wariantowo przyjmowanych funkcji kryterialnych.

Zagadnienie współpracy obiektów związane jest ściśle z podstawowymi manewrami jakich można dokonać w stosunku do kulminacji fali dopływającej do zbiornika. Manewry te to przesunięcie w czasie jej wystąpienia oraz ścięcie jej szczytu. Ponieważ przesunięcie w czasie kulminacji na dopływie może istotnie zmniejszyć kulminację na cieku głównym, przyjęto, że warunkiem włączenia zbiornika do współpracy staje się jego zdolność do przesuwania w czasie przepływu kulminacyjnego. W praktyce możliwe są 4 przypadki współpracy zbiorników pokazanych na rys. 1.:

a/ gdy wszystkie zbiorniki posiadają zdolność przesuwania fali, to celem sterowania jest optymalne rozsynchronizowanie kulminacji na recypiencie,

b/ gdy 2 zbiorniki posiadają te możliwości,to ich cel jest taki jak w p. a/, natomiast trzeci steruje w celu obniżenia kulminacji w zlewni lokalnej

c/ gdy 1 zbiornik ma możliwość przesuwania fali, celem jego jest przesunięcie kulminacji w stosunku do fali recypienta, a pozostałe zbiorniki starają się obniżyć kulminacje w swoich zlewniach lokalnych.

d/ gdy w systemie brak możliwości przesuwania fali, wszystwie zbiorniki pracują na obniżenie lokalnych kulminacji.

Ponieważ ocena manewrowości zbiorników również bazować musi na prognozie, może być obarczona błędem prowadzącym w konsekwencji do przyjęcia nienajkorzystniejszego schematu współpracy. Z tego względu zbadanie wpływu takich sytuacji na efektywność uzyskiwanych rozwiązań stanowi istotny problem do rozwiązania na drodze symulacyjnej.

Analizując możliwe przypadki współpracy, w kontekście dysponowania omówionym zestawem modeli, wyłania się problem wyboru w zlewni lokalnej modelu sterowania. W tym referacie rozważa się to zagadnienie na przykładzie rzeki

Soły, gdzie możemy zastosować instrukcję, bądź model przedstawiony w [3].

Bazą dla obliczeń symulacyjnych była sztucznie wygenerowany scenariusz powodziowy, składający się z 300 - godzinowych hydrogramów dopływów wody do systemu, charakteryzujący się występowaniem fal podwójnych w większości przekrojów i niebezpieczeństwem nakładania się fal. Szczegółowy opis scenariusza zawiera opracowanie [5] . Przyjęto ponadto założenie, że w okresie przed powodzią, zbiorniki pracowały zgodnie z instrukcją pracy w okresie normalnym, w szczególności zaś, że ich napełnienia spełniają wymagania rezerwy przeciwpowodziowej w okresie letnim.

4. Wyniki obliczeń symulacyjnych i ich dyskusja

Charakterystykę wariantów układów sterowania zbiornikami Kaskady Soły, Dobczyce oraz Rożnów, jakie wybrano do badań symulacyjnych na powodzi testowej, przedstawia tab. 1. Jak z niej wynika, rozważano 3 możliwe horyzonty optymalizacji/12,24 i 48 godzin/, 2 okresy repetycji /6 i 12 godzin/, 3 wartości maksymalnego błędu prognozy /0.0, 0.3 i 0.6/, 2 funkcje kryterialne, oraz 2 modele sterowania Kaskadą Soły / I - instrukcja, M - model opisany w[3]/ i 4 możliwe formy współpracy obiektów. Sformułowano ogółem 14 wariantów oraz 2 poziomy odniesienia - obowiązujący sposób sterowania wg. instrukcji na wszystkich zbiornikach /wariant 15/ i przebieg fali naturalnej /wariant 16/. Grupując odpowiednio te warianty, prowadzić można analizę wpływu poszczególnych czynników na efekty sterowania w zakresie nakreślonym w p. 3.

W tablicy 2 przedstawiono wyniki przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych w zakresie wskaźników związanych z kryteriami sterowania /straty powodziowe w poszczególnych obszarach i kulminacje w wybranych przekrojach/. Dodatkowo umieszczono informację o przekrojach,w których możliwe są przerwania wału, przyjmując, że zjawisko to wystąpić może, gdy poziom przepływu kulminacyjnego w określonym przekroju przekracza 0.5 m poniżej korony wału. Innego rodzaju informację zawiera ostatnia kolumna tab. 2. Podano w niej szacunkowy czas wypracowywania jednej decyzji o sterowaniu, osiągany na maszynie cyfrowej CYBER-72.

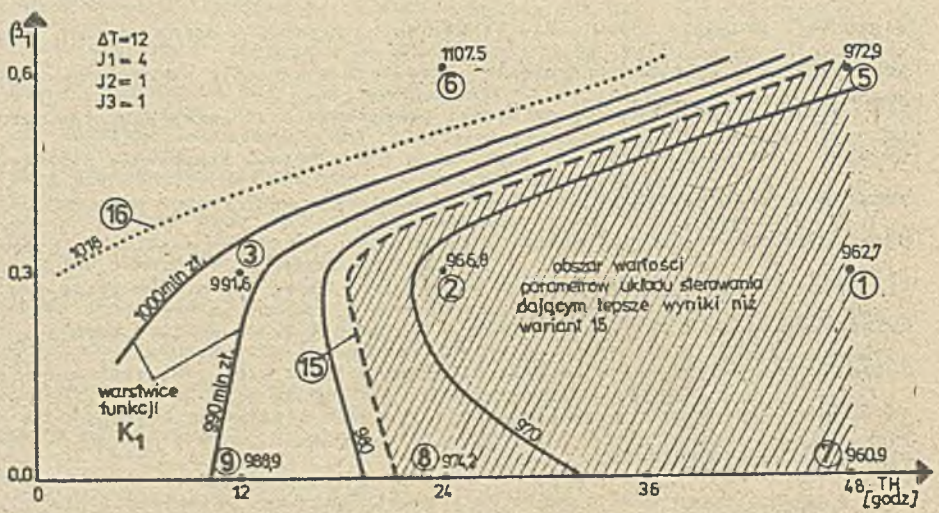
Z wyników tych wysnuć można cały szereg wniosków. Niektóre z nich dla przykładu przedstawione są poniżej:

1. Z uwagi na różnorodność kryteriów oceny, trudno jednoznacznie wskazać najlepszy układ sterowania/w tab.2 zaznaczono gwiazdką optymalne wartości

Charakterystyka wariantów

Tablica 1

Nr wariantu sterowania	Horyzont optymalizacji TH	Okres repetycji T	Błąd prognozy β_1	Funkcja kryterjalna K	Stopień współpracy			Model w zlewni nie podlegającej współpracy
					Kaskady Soły	Dobczyc	Rożnowa	
1	48	12	0.3	K_1	-	+	+	I
2	24	12	0.3	K_1	-	+	+	I
3	12	12	0.3	K_1	-	+	+	I
4	48	6	0.3	K_1	-	+	+	I
5	48	12	0.6	K_1	-	+	+	I
6	24	12	0.6	K_1	-	+	+	I
7	48	12	0.0	K_1	-	+	+	I
8	24	12	0.0	K_1	-	+	+	I
9	12	12	0.0	K_1	-	+	+	I
10	48	12	0.3	K_2	-	+	+	I
11	48	12	0.3	K_1	+	+	+	-
12	48	12	0.3	K_1	-	-	+	I
13	48	12	0.3	K_1	-	+	+	M
14	48	6	0.3	K_1	-	+	+	M
15	Fala wg. instrukcji				-	-	-	I
16	Fala naturalna							



Rys.3 Współzależność między horyzontem optymalizacji błędem prognozy oraz wielkością strat globalnych dla ustalonego czasu repetycji i stopnia współpracy obiektów

Wyniki badań symulacyjnych

Tablica 2

Nr. wariantu sterowania	Wielkość strat powodziowych mln zł.					Kulminacja w przekrojach m^3/s				Możliwość przerwania wałów w przekrojach	Szacunkowa ocena czasu obliczeń s
	Obszar 1	Obszar 2	Obszar3	Obszar 4	Ogółem	Czaniec	Dobczyce	Czchów	Karsy		
1	571.8	132	93.7	165	962,7	1130	1298	774	4670	2,3	31
2	570.9	131.6	99.2	165	966.8	1130	1475	787	4653	2,3	16
3	570.9	141.1	114.6	165	991.6	1130	1791	1202	4794	2,3	9
4	579.1	123.0*	76.8	165	943.8	1347	842	774	4237	2,3	31
5	576.8	132.0	99.2	165	972.9	1215	1351	828	4680	2,3	31
6	576.8	134.9	111.2	284.8	1107.5	1215	1523	1346	5092	2,3.10	16
7	571.1	123.2	101.6	165	960.9	1140	726*	798	4555	2,3	31
8	571.1	130.3	107.7	165	974.2	1140	1530	835	4798	2,3	16
9	571.1	139.4	113.4	165	988.9	1140	1725	1199	4726	2,3	9
10	570.9	127.5	107.8	165	971.2	1130	1291	1127	4344	2,3	31
11	585.4	125.8	92.2	165	968.3	1343	759	774	4387	2,3	109
12	570.9	131.7	104.8	165	972.4	1130	1258	871	4441	2,3	13
13	444.8	125.4	62.4*	165	797.5	1047*	1115	643*	4358	3	37
14	317.9*	123.4	89.6	165	736.0	1174	738	774	3898*	- *	37
15	572.5	130.3	110.3	165	978.1	1140	1203	900	4926	2,3	2*
16	603.8	133.7	115.5	165	1018.1	1347	1374	1114	5033	2,3	-

poszczególnych kryteriów/. Stosunkowo najkorzystniejszymi wariantami są warianty 13 i 14, polegające na zastosowaniu do zlewni Soły modelu opisanego w [3], z racji odsunięcia niebezpieczeństwa przerwania wałów w rejonie Dworów i Smolic /w tym drugim przekroju dzięki zagęszczeniu repetycji analiz wyboru/. Obniżenie poziomu kulminacji w przekroju Karsy, uzyskane dla wariantu 14 w stosunku do wariantu 16, oszacować można na 120 cm. Są kryteria bardziej i mniej czułe na zmienność oddziaływań sterujących. Mało przydatne jest kryterium strat dla koryta obwałowanego /obszar 4/, z racji braku przyrostu strat w zakresie gdy woda przekroczy podstawę wału, a nie przekroczy granicy bezpieczeństwa wału.

2. Można dokonać oceny współzależności jakie zachodzą pomiędzy parametrami układu sterowania, np. horyzontem TH, błędem prognozy β_1, i wielkością strat globalnych w dorzeczu /przy ustalonych parametrach pozostałych/. Wskazać można zakres wartości parametrów /rys. 3/, zapewniających poprawienie wskaźnika jakości sterowania w stosunku do fali naturalnej /wariant 16- linia kropkowana/, lub w stosunku do obowiązujących reguł sterowania /wariant 15 - linia kreskowana/.
3. Analiza stopnia współpracy zbiorników dokonana na rzeczywistej fali wykazała, że Dobczyce winny współpracować z Rożnowem, a Kaskada Soły powinna sterować niezależnie. Z analizy strat globalnych jakie uzyskano dla wariantów 1,11, 12, 15, realizujących różne formy współpracy wynika, że było to założenie słuszne.
4. Większość wariantów osiągnęło wyniki lepsze niż wariant 15, ale przy niekorzystnym doborze parametrów /wariant 6/, można pogorszyć sytuację nawet w stosunku do fali naturalnej /dodatkowe przerwanie wału w rejonie Kars/.
5. Podane szacunkowe czasy obliczeń odzwierciedlają różny stopień skomplikowania problemu wyboru sterowań. Można na tej podstawie stawiać hipotezy o przydatności niektórych wariantów w sterowaniu operacyjnym, mając na uwadze szybkość obliczeń na minikomputerze MERA-400, na którym przewiduje się wdrożenie całego systemu sterowania[1] . Gdyby np. założyć, że MERA-400 jest 15-krotnie wolniejsza od CYBERA, a na wypracowanie decyzji w warunkach bieżącego sterowania 20 minut, niemożliwe byłoby w praktyce obliczenie wariantu 11, przewidującego pełną współpracę zbiorników.

Przedstawione wyniki są jedynie fragmentem obszernych rezultatów jakie uzyskano z eksperymentów symulacyjnych. Z braku miejsca nie analizowano,np.

przebiegu trajektorii napełnień zbiorników w czasie powodzi. Okazałoby się wówczas, że bardzo korzystne wyniki wariantu 13 i 14/uratowanie wałów i najmniejsze straty globalne/, uzyskano kosztem wypracowania bardzo dużej rezerwy dodatkowej na zbiorniku Tresna przed wystąpieniem właściwej kulminacji, co wobec ryzyka nie wystąpienia powodzi w ogóle, mogłoby spowodować niespełnienie innych zadań zbiornika. Interesująca mogłaby być również statystyczna analiza wybieranych operacyjnie polityk sterowania w celu zweryfikowania ich przydatności w warunkach operacyjnych.

5. Podsumowanie

Dotychczasowe eksperymenty numeryczne potwierdzają przydatność opracowanych modeli dla wypracowywania decyzji o odpływach ze zbiorników w czasie powodzi, dla przedstawionego systemu fizycznego. Jak wykazały testowe eksperymenty symulacyjne, mogą zaistnieć takie warunki hydrologiczne, w których prezentowane modele pozwalają uzyskać lepsze wyniki w zakresie redukcji strat i kulminacji, niż obecnie stosowane zasady sterowania. Stwierdzono prawidłową reakcję modeli na zmiany parametrów sterowania.

W sposób przedstawiony na rys. 3 oszacować można obszar wartości parametrów układu sterowania korzystnych w stosunku do sterowania tradycyjnego. Należy jednak pamiętać, że jest to efekt jednej próby losowej. Dalszy kierunek prac winien koncentrować się na zbadaniu większej liczby scenariuszy powodziowych i próbie statystycznej oceny wielkości tego obszaru. Kolejnym ograniczeniem tak wyznaczonego obszaru, będzie w fazie wdrażania zdolność obliczeniowa MERY-400 i rzeczywista wielkość błędu sformułowanych modeli prognostycznych.Rozstrzygnie to ostatecznie o doborze właściwych parametrów układu sterowania.

LITERATURA

[1] H.Słota,J.Grela,R.Konieczny: Koncepcja systemu sterowania falą powodziową w górnym dorzeczu Wisły. Materiały konferencyjne.

[2] J.Grela,P.Madej,R.Schaefer: A Simulation Model for Determination of Outflow in Flood Conditions from Parallelly Situated Reservoirs. Proceedings of the AMSE Conference, Bermuda 1983.

[3] P.Madej,R.Schaefer: Algorytmy gospodarki powodziowej na zbiornikach Soły i Dunajca przy uwzględnieniu dopływu bocznego. Materiały konferencyjne.

[4] P.Madej, R.Schaefer: Determination of Reservoir Operational Effect Range for Control Activities During Floods. Proceedings of the AMSE Conference Paris, 1982.

[5] Modele symulacyjne dla potrzeb sterowania falą powodziową górnej Wisły. PR-7.05.08.08, IMGW O/Kraków /maszynopis/, 1982.

[6] Założenia do modelu sterowania falą powodziową górnej Wisły. PR-7.08.04.06, IMGW O/Kraków /maszynopis/, 1981.

СИМУЛЯЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ВОДОЁМОВ ВЕРХНЕЙ ВИСЛЫ ВО ВРЕМЯ НАВОДНЕНИЯ

Обсуждено предположения методики разработки принципов управления водохранилищами верхней Вислы на примере симуляционных исследований переведенных на примерном наводнению. Эти предположения учитивают проблемы влияния сотрудничества объектов, ошибок прогноза, горизонта оптимиризации, времени повторения и критериев на результаты управления. Обсуждено также главные симуляционные инструменты. Получены результаты требуют обобщения на более большом количестве наводнений.

SIMULATION STUDIES ON THE COOPERATION OF THE UPPER VISTULA RETENTION RESERVOIRS IN FLOOD CONDITIONS

The assumptions underlying the principles of the Upper Vistula reservoirs control were discussed as exemplified by simulation studies carried out in experimental flood conditions. The above assumptions take into consideration the problems of objects cooperation, the effect of forecast errors, the optimization horizon, the time of repetition and the criteria upon the control mechanisms. The main simulation tools were discussed. The obtained results were found to call for a generalized work-out on the basis of a bigger flood population