

ELŻBIETA KANIA-KISIEL

WOJCIECH INDIK

INSTYTUT INŻYNIERII I GOSPODARKI WODNEJ

POLITECHNIKA KRAKOWSKA

OPERACYJNY ALGORYTM STEROWANIA KASKADĄ ZBIORNIKÓW NA PRZYKŁADZIE  
ZESPOŁU ZBIORNIKOWEGO ROŻNÓW-CZCHÓW

Streszczenie: W niniejszej pracy autorzy zaproponowali algorytm operacyjnego sterowania kaskadą zbiorników energetycznych Rożnów-Czchów. Położono szczególny nacisk na konwersacyjność algorytmu z dyspozytorem zespołu zbiornikowego. Podstawowym celem algorytmu jest maksymalizacja efektów energetycznych dla zadanych ograniczeń oraz określenie racjonalnego odpływu ze zbiornika dolnego.

### 1. Wprowadzenie

Zbiorniki wodne są najważniejszym elementem planowej regulacji rzek. Można wyróżnić dwa główne zadania występujące w trakcie gospodarowania wodą w zbiorniku:

- a/ Ochrona przeciwpowodziowa terenów poniżej zbiornika związana z minimalizacją strat spowodowanych wezbraniem powodziowymi. Cel ten osiągnąć jest przez przygotowywanie zbiornika na duże dopływy /stała lub zmienna pojemność powodziowa/ lub, w trakcie wezbrania, takie sterowanie odpływem ze zbiornika, które pozwala na wychwycenie kulminacji fali powodziowej.
- b/ Gromadzenie wody w zbiorniku pozwalające na zwiększenie zasobów wodnych w danym przekroju, a co za tym idzie - na zaspokojenie potrzeb odbiorców wody. Szeroko rozumianym odbiorcą wody jest każdy użytkownik, jak np. aglomeracja miejska, przemysł, rolnictwo /melioracja/ lub przerzut wody do innej zlewni zaopatrującej takich użytkowników.

Te dwa wymienione cele można uznać za podstawowe dla większości istniejących i projektowanych zbiorników w Polsce. Stopień kompromisu między tymi zadaniami ustalany jest zazwyczaj poprzez opracowywanie instrukcji sterowania danym zbiornikiem, która powstaje na bazie analizy ciągów przepływów

historycznych w danym przekroju rzeki lub analizy prawdopodobieństw przepływów uzyskanych z opracowanych rozkładów.

Możemy wyróżnić jeszcze trzeci cel występujący w trakcie pracy zbiornika, jakim jest

- c/ produkcja energii elektrycznej poprzez wykorzystanie naturalnej energii wody.

Należy zaznaczyć, że możliwości wykorzystania energii wodnej w Polsce są znikome [5]. Dlatego też zadanie to nie może być uznane za podstawowe dla większości zbiorników /wyjątek stanowią sztuczne zbiorniki szczytowo-pompowe, takie jak np. Porąbka-Żar/. Jednakże wszędzie tam, gdzie jest to ekonomicznie uzasadnione, uzyskanie naturalnej energii wody /zwłaszcza w godzinach szczytu energetycznego/ poprawia nie najlepszy bilans energetyczny kraju.

Włączenie tego zadania w gospodarkę wodną na zbiorniku, w przypadku lokalizacji ujęć odbiorców wody poniżej zbiornika, nie stoi w konflikcie z wcześniej wymienionymi celami. W większości przypadków uznaje się jednak nadrzędność celu a/ nad b/ i podporządkowanie tym celom zadania c/. Nie przeszkadza to jednak w możliwości rozpatrywania optymalizacji celu trzeciego /rozumianej w sensie maksymalizacji produkcji energii elektrycznej/. Takie podejście zapewnia realizację celów bazowych, będących ograniczeniami dla zadania produkcji energii elektrycznej, oraz powoduje uniknięcie strat energii spowodowanych nieprawidłowym spracowywaniem wody turbinami.

Największe znaczenie dla krajowego systemu energetycznego ma produkcja energii elektrycznej w godzinach szczytu. Zadanie produkcji energii szczytowej przez elektrownię wodną determinuje dyskretny charakter pracy elektrowni w ciągu doby. Związane byłoby to także z nieciężką dostawą wody do użytkowników poniżej zbiornika. Problem ten rozwiązywany jest poprzez budowę zbiornika dolnego, którego głównym zadaniem jest wyrównywanie w dobie odpływu ze zbiornika górnego, a co za tym idzie-zapewnienie nieprzerwanej dostawy wody. Zainstalowanie przepływowego bloku energetycznego w dolnej zaporze pozwala na uzyskanie dodatkowej ilości energii.

## 2. Zespół zbiorników Rożnów-Czchów

Typowym przykładem opisanego powyżej rozwiązania jest zespół zbiorników energetycznych Rożnów-Czchów o następujących głównych parametrach technicznych :

elektrownia i zbiornik Rożnów

- maksymalny poziom piętrzenia - 270 m npm

- minimalny poziom energetyczny - 258 m npm



- maksymalny spad - 31 m
  - maksymalna moc turbin -  $4 \times 14 \text{ MW} = 56 \text{ MW}$
  - maksymalna rezerwa powodziowa -  $80 \text{ mln m}^3$
- elektrownia i zbiornik Czchów
- pojemność całkowita -  $12 \text{ mln m}^3$
  - średni spad - 9 m
  - moc turbin -  $2 \times 4 \text{ MW} = 8 \text{ MW}$

Elektrownia Rożnów jest elektrownią szczytową, pracującą w krajowym systemie energetycznym i podlegającą Państwowej Dyspozycji Mocy [2]. Warunki jej pracy oraz ograniczenia, jakie muszą być spełniane przy planowaniu gospodarki wodnej i energetycznej na tym obiekcie, zostały szczegółowo opisane w pracy [1].

Dodatковым elementem, jaki pojawia się przy analizie pracy kaskady zbiorników, jest ustalanie odpływu ze zbiornika Czchów. Naczelnym zadaniem tego zbiornika jest zaopatrzenie w wodę Tarnowskich Zakładów Azotowych, co spełnione jest przy odpływie ze zbiornika w wysokości  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . W przypadku konieczności zmiany odpływu w dobie wymagane jest, aby ilość takich zmian była jak najmniejsza ze względu na zjawisko erozji brzegowej. Ponadto, wielkość odpływu nie może być dowolna. Jest ona ściśle związana z charakterystykami technicznymi zainstalowanych turbin w korpusie zapory i może wynosić 20, 30, 45, 60, 75, 90 lub  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ . W przypadku konieczności odprowadzania wody w ilości większej niż  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ , nadwyżka spracowywana jest jazem.

W konkretnym przypadku kaskady zbiorników Rożnów-Czchów zaistniała konieczność opracowania użytecznego modelu dopływu rzeki Łososiny, która zasila zbiornik w Czchowie [6]. Element ten jest istotny dla ustalania całkowitego dobowego dopływu do zbiornika czchowskiego, a także warunkuje wymagany minimalny odpływ z Rożnowa, a co za tym idzie - minimalny czas pracy jego turbin.

### 3. Operacyjny program optymalizacji pracy zbiornika w Rożnowie

Prace prowadzone przez autorów potwierdziły celowość optymalizacji efektów energetycznych elektrowni Rożnów oraz wykazały wpływ przyjętej struktury podziału horyzontu optymalizacji na te efekty [1], [6]. Za obowiązującą i najlepszą przyjęto 11- przedziałową strukturę czasową o następującym podziale :

- a/ 5 przedziałów dobowych,
- b/ 1 przedział do końca bieżącego tygodnia /przedział ten może być pełnym tygodniem/,

- o/ 2 przedziały tygodniowe,
- d/ 1 przedział do końca bieżącego miesiąca /może być pełny miesiąc/,
- e/ 2 przedziały miesięczne.

Tak przyjęta struktura stworzyła konieczność opracowania modelu predykcji dopływu do zbiornika dla przedziałów dobowych, tygodniowych i miesięcznych. Dla przedziałów dobowych i tygodniowych model oparty został na rozkładzie logarytmiczno-normalnym z jednokrotnym uwarunkowaniem. Współczynniki korelacji wartości średnich miesięcznych dopływów, obliczone dla wszystkich kolejnych dwóch miesięcy, okazały się nieistotne. Dlatego też, zaniechano w tym przypadku budowy modelu z jednokrotnym uwarunkowaniem i dla dopływów średnich miesięcznych przyjęto prosty model o rozkładzie logarytmiczno-normalnym. Parametry tych rozkładów zostały oszacowane na bazie danych historycznych dopływów Dunajca do zbiornika rożnowskiego z lat 1943-1980 .

Opracowane rozkłady służą do obliczenia hipotetycznych ciągów prognozowanych dopływów do zbiornika na cały horyzont optymalizacji. Ciągi te opracowywane są dla wartości przewyższenia od 90% do 10%, co 10%, dla każdego kolejnego okresu prognozowania. Oznacza to, że prognozowany dopływ o prawdopodobieństwie przewyższenia np. 90% dla przedziału drugiego staje się wielkością wejściową dla rozkładu prawdopodobieństwa dopływu w przedziale trzecim, z którego obliczany jest znowu dopływ o prawdopodobieństwie przewyższenia 90%, itd. Dodatkowo, bazując na tej samej zasadzie, wyznaczane są hipotetyczne ciągi dopływów odpowiadające wartości oczekiwanej i modalnej każdego z przyjętych przedziałów horyzontu optymalizacji. Za obowiązującą na najbliższą dobę prognozę dopływu do Rożnowa przyjmowana jest deterministyczna prognoza IMGW, opracowywana na podstawie modelu opad-odpływ.

Jako metodę optymalizacji zastosowano metodę sukcesywnego dyskretnego programowania dynamicznego. Zmienny przyrost pojemności zbiornika przyjęty przy dyskretyzacji stanu odpowiada objętościom dającym jednocentymetrowe różnice w odczycie na łacie zbiornika. Otrzymano tym sposobem 1201 stanów, obejmujących warstwę pojemności od najniższego poziomu energetycznego do maksymalnego piętrzenia.

Poszukiwanie trajektorii optymalnej stanów zbiornika, maksymalizującej globalne efekty energetyczne, odbywa się przy spełnieniu ograniczeń nakłożonych zarówno na zbiornik i elektrownię w Rożnowie, jak i w Czchowie.

#### I. Ograniczenia dla Rożnowa :

- a/ maksymalne wypełnienie zbiornika,
- b/ minimalne wypełnienie zbiornika,



- c/ suma przebiegów i przepławk,
- d/ minimalny czas pracy turbin,
- e/ ilość pracujących turbin.

## II. Ograniczenia dla Czchowa :

- a/ minimalny odpływ,
- b/ maksymalny odpływ,
- c/ ilość pracujących turbin.

Program optymalizacyjny opracowany został przy założeniu konwersacyjnej współpracy dyspozytora z minikomputerem MERA 400. Współpraca taka umożliwia ingerencję operatora /dyspozytora/ w kolejność wykonywania modułów podprogramów, wybór parametrów optymalizacji oraz ostatecznych decyzji o pracy zbiornika w Rożnowie. Po uruchomieniu pierwszego modułu programu pobierane są z pamięci maszyny dwa zbiory ograniczeń obowiązujące w danych przedziałach czasowych. Pierwszy z nich zawiera ograniczenia stałe, wynikające z parametrów technicznych zapory oraz obowiązującej gospodarki wodno-energetycznej. Drugi zbiór zawiera aktualne zmiany tych ograniczeń, wprowadzone przez dyspozytora we wcześniejszych okresach.

Po odpowiednim podziale horyzontu optymalizacji dyspozytorowi wyświetlane są obecnie obowiązujące ograniczenia. Jeżeli dyspozytor nie wprowadził wcześniej żadnych zmian, oznacza to powrót do ograniczeń stałych. Zmiana ograniczeń może odbywać się na trzech poziomach :

- a/ zmiana ograniczeń stałych - jest to wprowadzenie nowych ograniczeń, które będą obowiązywały także w następnych latach,
- b/ zmiana ograniczeń czasowych - zmiana taka będzie obowiązywała tylko w bieżącym roku, w przypadku gdy w dniach następnych algorytm będzie się odwoływał do danego przedziału czasowego,
- c/ zmiana ograniczeń bieżących - zmiana taka jest "zapominana" przez algorytm dla następnego wywołania programu.

Poprzez podanie numeru kolumny i wiersza dyspozytor ma możliwość wejścia w każdy punkt tabeli ograniczeń. Przykład korzystania z tabeli ograniczeń pokazano na wydruku 1.

Po akceptacji ustalonych ograniczeń dyspozytor podaje, na zapytanie algorytmu, prognozę dopływu do Rożnowa na dzień bieżący /prognoza IMGW/ oraz aktualne wypełnienie zbiornika. Po otrzymaniu tych danych algorytm wyświetla na monitorze prognozowane hipotetyczne ciągi dopływów oraz uruchamia podprogram optymalizacyjny. Optymalizacja efektów energetycznych odbywa się dla każdego z tych ciągów. Wyznaczenie optymalnej trajektorii stanów zbiornika rozpoczyna się od obliczenia trajektorii wstępnej spełniającej zadane ograniczenia. W przypadku niezalezienia trajektorii wstępnej

10:00

## USTALANIE OGRANICZEN

05.03.05

## OGRANICZENIA PROGRAMU OPTIMALIZACYJNEGO 10:00

OGRANICZENIA PROGRAMU OPTIMALIZACYJNEGO									
R O Z N O W					C Z C H O W				
DATA	GORNA	DOLNA	PRZEPL	MIN	ILOSC	MIN	MAX	ILOSC	
1984	POJEHM.	POJEHM.	+PRZEC	CZAS PR.	TURB.	ZRZUT	ZRZUT	TURB.	
	MLN M**3	MLN M**3	M**3/S	H/DOBE		M**3/S	M**3/S		
05.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	1
06.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	2
07.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	3
08.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	4
09.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	5
10-14.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	6
15-21.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	7
22-31.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	8
KWIECIEN	153.23	37.81	3.5	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	9
MAJ	126.23	37.81	3.5	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	10
CZERWIEC	91.23	37.81	3.5	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	11

CZY SA ZMIANY OGRANICZEN ? - T

PROSZE PODAC RODZAJ ZMIAN /1-STALE, 2-CZASOWE, 3-BIEZACE / - 3

PROSZE PODAC NR KOLUMNY - 4 NR WIERSZA - 4

PODANIE ZNAKU %% OZNACZA KONIEC ZMIAN

## OGRANICZENIA PROGRAMU OPTIMALIZACYJNEGO

10:00

OGRANICZENIA PROGRAMU OPTIMALIZACYJNEGO									
R O Z N O W					C Z C H O W				
DATA	GORNA	DOLNA	PRZEPL	MIN	ILOSC	MIN	MAX	ILOSC	
1984	POJEHM.	POJEHM.	+PRZEC	CZAS PR.	TURB.	ZRZUT	ZRZUT	TURB.	
	MLN M**3	MLN M**3	M**3/S	H/DOBE		M**3/S	M**3/S		
05.03	171.23	37.81	2.3	1:30	4.0	20.	1200.	2.0	1
06.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	2
07.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	3
08.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	4
09.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	5
10-14.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	6
15-21.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	7
22-31.03	171.23	37.81	2.3	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	8
KWIECIEN	153.23	37.81	3.5	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	9
MAJ	126.23	37.81	3.5	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	10
CZERWIEC	91.23	37.81	3.5	1:00	4.0	20.	1200.	2.0	11

CZY SA ZMIANY OGRANICZEN ? - N



10:01 USTALANIE CZASU PRACY ROZNOWA 85.03.05

PROSZE PODAC PROGNOZOWANY DOPLYW W DNIU BIEZACYM - 40  
 PROSZE PODAC AKTUALNA RZEDNA ROZNOWA - 269

PROGNOZOWANE CIAGI DOPLYWOW DO ROZNOWA (M\*\*3/S)

PRZEDZIAL	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	WOC	MOD
05.03	40.	40.	40.	40.	40.	40.	40.	40.	40.	40.	40.
06.03	26.	30.	34.	38.	42.	46.	51.	57.	68.	45.	36.
07.03	20.	25.	30.	35.	40.	46.	53.	63.	80.	44.	34.
08.03	15.	21.	27.	33.	40.	48.	58.	74.	102.	44.	32.
09.03	11.	17.	23.	31.	40.	51.	67.	92.	143.	46.	30.
10-14.03	5.	11.	17.	27.	41.	63.	99.	170.	364.	52.	26.
15-21.03	12.	29.	44.	60.	79.	102.	134.	182.	273.	172.	67.
22-31.03	28.	45.	61.	77.	96.	119.	149.	195.	280.	138.	63.
KWIECIEŃ	53.	67.	79.	90.	103.	117.	134.	158.	198.	117.	79.
MAJ	47.	57.	65.	73.	80.	89.	100.	114.	137.	88.	68.
CZERWIEC	44.	56.	66.	76.	88.	100.	116.	138.	175.	101.	66.

PARAMETRY PRACY NA DZIEŃ BIEZACY

CZAS PRACY	1:45	1:45	1:45	1:45	1:45	1:45	1:45	1:45	24:00	1:45	1:45
ENERGIA	105.	105.	105.	105.	105.	105.	105.	105.	1344.	105.	105.
SPAD KONCOWY	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	28.94	30.10	30.10
MOC TURBIN	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.
PRZELYK TURBIN	229.	229.	229.	229.	229.	229.	229.	229.	233.	229.	229.
ZRZUT JALOWY	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.

PRZYCISNIJ CR

TABELA PARAMETROW PRACY NA DZIEŃ BIEZACY W ZALEZNOSCI OD CZASU PRACY TURBIN

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I CZAS PRACY I TURBIN	I ENERGIA I MWH	I MOC I MW	I PRZELYK I M**3/S	I RZEDNA I M NPM	I POJEH. I MLN M**3	I REZERWA I MLN	I ZRZUT I JALOWY I M**3/S	I	I
I 1:45 I	I 105. I	I 56. I	I 229. I	I 269.10 I	I 154.99 I	I 16.24 I	I 0. I	I	I
I 2:00 I	I 117. I	I 56. I	I 229. I	I 269.09 I	I 154.82 I	I 16.41 I	I 0. I	I	I
I 2:15 I	I 129. I	I 56. I	I 229. I	I 269.08 I	I 154.65 I	I 16.58 I	I 0. I	I	I
I 2:30 I	I 140. I	I 56. I	I 229. I	I 269.07 I	I 154.48 I	I 16.75 I	I 0. I	I	I
I 2:45 I	I 163. I	I 56. I	I 229. I	I 269.05 I	I 154.14 I	I 17.09 I	I 0. I	I	I
I 3:00 I	I 175. I	I 56. I	I 229. I	I 269.04 I	I 153.97 I	I 17.26 I	I 0. I	I	I
I 3:15 I	I 187. I	I 56. I	I 229. I	I 269.03 I	I 153.80 I	I 17.43 I	I 0. I	I	I
I 3:30 I	I 198. I	I 56. I	I 229. I	I 269.02 I	I 153.63 I	I 17.61 I	I 0. I	I	I
I 3:45 I	I 221. I	I 56. I	I 229. I	I 269.00 I	I 153.28 I	I 17.95 I	I 0. I	I	I
I 4:00 I	I 233. I	I 56. I	I 229. I	I 268.99 I	I 153.12 I	I 18.12 I	I 0. I	I	I
I 4:15 I	I 244. I	I 56. I	I 229. I	I 268.98 I	I 152.95 I	I 18.28 I	I 0. I	I	I
I 4:30 I	I 256. I	I 56. I	I 229. I	I 268.97 I	I 152.78 I	I 18.45 I	I 0. I	I	I
I 4:45 I	I 267. I	I 56. I	I 229. I	I 268.96 I	I 152.61 I	I 18.62 I	I 0. I	I	I
I 5:00 I	I 290. I	I 56. I	I 229. I	I 268.94 I	I 152.27 I	I 18.96 I	I 0. I	I	I
I 5:15 I	I 301. I	I 56. I	I 229. I	I 268.93 I	I 152.10 I	I 19.13 I	I 0. I	I	I

CZY PRZEGLADASZ DALEJ ? - N  
 PROSZE PODAC. WYBRANY CZAS PRACY TURBIN - 1:45

następuje analiza kolejnego ciągu hipotetycznego. Nieznalezienie trajektorii wstępnej dla żadnego z ciągów dopływów powoduje powiadomienie dyspozytora o konieczności zmiany ograniczeń i następuje powrót do ich ponownego ustalania. W efekcie końcowym, dyspozytor otrzymuje dane o optymalnym czasie pracy turbin w dniu bieżącym wraz z wielkością produkowanej energii, spadcu, mocy i przeżytku turbin oraz ewentualnej wielkości zrzutu jałowego.

W następnym etapie algorytm umożliwia dyspozytorowi przeglądanie tabel możliwych czasów pracy turbin w dniu bieżącym wraz z pozostałymi parametrami zbiornika wynikającymi z tak przyjętych czasów pracy. Założono 15-minutową dyskretyzację czasu pracy turbin. Parametry te dotyczą energii, mocy i przeżytku turbin, rzędnej i wypełnienia końcowego, rezerwy przeciwpowodziowej oraz zrzutu jałowego. Dyspozytor ma możliwość przerywania przeglądania tabel. Zakończeniem tego modułu programowego jest wybór przez dyspozytora obowiązującego czasu pracy turbin. Przykład ustalania optymalnego czasu pracy turbin T elektrowni Rożnów został przedstawiony na wydruku 2.

#### 4. Operacyjny program ustalania odpływu ze zbiornika Czchów

Czas pracy turbin T elektrowni Rożnów jest wielkością wejściową dla algorytmu określającego odpływ ze zbiornika w Czchowie, który musi spełnić wszystkie wymagania opisane w punkcie 2. Odpływ z Czchowa jest wielkością ściśle związaną z rozkładem okresów pracy turbin Rożnowa w dobie, zwanym harmonogramem pracy. Autorzy zaproponowali sposób określania harmonogramu dla bieżącej doby oparty na znajomości rytmu pracy turbin Rożnowa w dobie poprzedniej. Tak więc, w oparciu o znajomość takiego rozkładu oraz znajomość globalnego przewidywanego czasu pracy Rożnowa T, algorytm określa harmonogram dla bieżącej doby przy następujących dodatkowych założeniach:

- a/ ilość włączeń i wyłączeń turbin w dobie bieżącej będzie taka sama jak w dobie poprzedniej,
- b/ obowiązuje zasada proporcjonalności poszczególnych czasów pracy turbin w dobie bieżącej i poprzedniej,
- c/ rozkład całkowitego przewidywanego czasu pracy T elektrowni dokonuje się symetrycznie wokół punktów środkowych czasów pracy doby poprzedniej,
- d/ minimalna przerwa między kolejnymi okresami pracy wynosi 15 min.; założenie to może powodować korektę poprzednich ustaleń prowadząc do mniejszej ilości włączeń niż w dniu poprzednim i przesuwając punkty środkowe, wokół których dokonywany był rozdział czasu pracy turbin,
- e/ jeżeli czas pracy, wyliczony na bazie poprzednich założeń, byłby mniejszy niż 15 min., to włączenie takie jest likwidowane,



f/ bieżąca doba, dla której opracowywane są zasady gospodarowania wodą w Czchowie, trwa od godz. 10<sup>00</sup> rano do godz. 10<sup>00</sup> rano dnia następnego; założenie to wynika z procedury opracowywania i dostarczania prognozy dopływu do Rożnowa przez stację IMGW w Nowym Sączu.

Przykładowo, jeżeli w dniu poprzednim turbiny Rożnowa pracowały w godzinach 11<sup>00</sup>-17<sup>00</sup>, 4<sup>00</sup>-6<sup>00</sup> oraz 7<sup>00</sup>-9<sup>00</sup> /3 włączenia/, to harmonogram na dzień bieżący, w myśl powyższych założeń, przewiduje pracę turbin w godzinach 10<sup>00</sup>-20<sup>00</sup> oraz 24<sup>00</sup>-10<sup>00</sup> /2 włączenia/, dla przewidywanego globalnego czasu pracy 20 h.

Kolejno, w oparciu o harmonogram pracy Rożnowa zaakceptowany przez dyspozytora, któremu pozostawiono możliwość wprowadzania własnych propozycji czasów pracy, algorytm oblicza średni dobowy odpływ z Czchowa  $Q_{\text{sr}}$ :

$$Q_{\text{sr}} = Q_{\text{tur}} \cdot \frac{T}{24} + Q_{\text{p}} + Q_{\text{z}} + \frac{v_{\text{p}} - v_{\text{k}}}{86400}, \quad (1)$$

gdzie:

- $Q_{\text{tur}}$  - wydatek turbin Rożnowa [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],
- $T$  - czas pracy turbin Rożnowa w bieżącej dobie [h],
- $Q_{\text{p}}$  - wielkość przecieków Rożnowa i przepływu przez przepławkę [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],
- $Q_{\text{z}}$  - prognozowana wielkość dopływu rzeki Łososiny [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],
- $v_{\text{p}}$  - aktualne wypełnienie zbiornika Czchów [mln  $\text{m}^3$ ],
- $v_{\text{k}}$  - żądane końcowe wypełnienie zbiornika Czchów [mln  $\text{m}^3$ ].

Jeżeli tak wyznaczony odpływ jest mniejszy od 20  $\text{m}^3/\text{s}$ , wynikających z zaopatrzenia Zakładów Azotowych w Tarnowie, to przyjmuje się  $Q_{\text{Cz}} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ , jeżeli zaś  $Q_{\text{sr}}$  jest większe od 20  $\text{m}^3/\text{s}$ , to  $Q_{\text{Cz}}$  zaokrąglane jest do wielkości podanych w punkcie 2 i wynikających z możliwości pracy turbin Czchowa.

Dla tak wyznaczonego średniego odpływu  $Q_{\text{Cz}}$  wyznaczana jest trajektoria stanu zbiornika w oparciu o założenia opisane powyżej przy minimalizacji zmian odpływu w dobie. Jeżeli wyznaczona trajektoria nie narusza ograniczeń stanu, to tak określone  $Q_{\text{Cz}}$  przyjmowane jest jako ostateczne.

W przypadku naruszenia tylko jednego ograniczenia /dolnego lub górnego/  $Q_{\text{Cz}}$  jest odpowiednio zwiększane lub zmniejszane do najbliższej technicznie możliwej wielkości i dla tej nowej wartości odpływu sprawdzana jest ponownie trajektoria stanu. Procedura ta powtarzana jest aż do momentu, gdy trajektoria mieścić się będzie w ograniczeniach stanu.

W przypadku naruszenia obydwu ograniczeń nie jest możliwe ustalenie jednego odpływu w całej dobie. Algorytm opracowany przez autorów wyznacza odpowiednią ilość odpływów, jakie wynikają z dowolnego układu przekraczania ograniczeń. Ogólnie stwierdzić można, iż maksymalna ilość zmian

10:08 USTALANIE ODPLYWU CZCHOWA 85.03.05

PROSZE PODAC ILOSC WLACZEN TURBIN W DNIU POPRZEDNIM - 2

NR	GODZ. WLACZENIA	GODZ. WYLACZENIA
1	12:00	13:00
2	19:00	20:30

WLACZENIA TURBIN W DNIU POPRZEDNIM

-----WWW-----WWW-----  
 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

PRZEKIDYWANY CZAS PRACY TURBIN W DNIU BIEZACYM - 1:45

PROGNOZOWANE WLACZENIA TURBIN W DNIU BIEZACYM

-----WWW-----WWW-----  
 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

NR	GODZ. WLACZENIA	GODZ. WYLACZENIA
1	12:09	12:51
2	19:13	20:17

CZY JEST AKCEPTACJA PROGNOZOWANYCH CZASOW WLACZEN TURBIN ? - T

PROSZE PODAC AKTUALNE WYPELNIENIE CZCHOWA /MLN M\*\*3/ - 10

CZY JEST ZMIANA WARUNKU UK=VF ? - T

PROSZE PODAC KONCOWE WYPELNIENIE CZCHOWA /MLN M\*\*3/ - 9

TRAJEKTORIA ZBIORNIKA CZCHOW

```

12.I.....
I
I
11.I
I
I ***** **
10.***** ** *****
I * **** *****
I
9.I *****
I
I
8.I
I
I VMIN = 9.3 MLN M3
7.I VMAX = 10.5 MLN M3
I UK = 9.3 MLN M3
I
6.I-----
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
    
```

PRZYCISNIJ CR

USTALONE ODPLYWY Z CZCHOWA

DD DD ODPLYW M\*\*3/S  
 10:00 - 10:00 30.  
 CZY JEST AKCEPTACJA ODPLYWU Z CZCHOWA ? - T



odpływu z Czchowa wynosi  $2n+1$ , gdzie  $n$  jest ilością włączeń Rożnowa w bieżącej dobie.

W przypadku, gdy przewidywana jest całodobowa praca turbin Rożnowa, algorytm potrzebuje dodatkowej informacji o wielkości zrzutu jałowego  $Q_{jał}$ . Średni dopływ do Czchowa powiększany jest o tę wartość i ustalany jest jeden odpływ z Czchowa w całej dobie.

Wydruk 3 ilustruje procedurę określającą racjonalny odpływ z Czchowa opracowaną przy założeniu możliwości ingerencji dyspozytora. Kończącym efektem tej procedury jest trajektoria stanów zbiornika oraz wielkość odpływu /odpływów/ ze zbiornika /wraz z podaniem przewidywanych czasów ich zmian/. Dyspozytor ma możliwość sprawdzenia każdego zaproponowanego przez siebie ciągu odpływów z Czchowa poprzez wizualną ocenę trajektorii stanu zbiornika dla wybranego ciągu.

## 5. Podsumowanie

W trakcie gospodarowania wodą w zbiornikach energetycznych występują dwa zjawiska losowe, jakimi są dopływy do zbiorników oraz czas pracy turbin. Obydwa te czynniki uniemożliwiają deterministyczne podejście do procesu, a w konsekwencji wyeliminowanie udziału decydenta /dyspozytora/ w kierowaniu pracą elektrowni. Dopiero złożenie wszystkich elementów, takich jak własne doświadczenie dyspozytora dotyczące dodatkowych czynników nieuwzględnionych w algorytmie oraz możliwość szybkiego przeglądnięcia skutków podejmowanych decyzji, znacznie obniża ryzyko podjęcia decyzji energetycznie niezasadniczych.

Zaproponowany algorytm ma na celu ułatwienie wypracowywania decyzji dotyczących parametrów pracy zbiorników w Czchowie i w Rożnowie na okres jednej doby. Jednodobowe wyprzedzenie proponowanego czasu pracy turbin Rożnowa wynika z obowiązujących ustaleń między Kierownictwem ZEW Rożnow-Czchów i Państwową Dyspozycją Mocy. W przyszłości przewiduje się opracowanie modułów programowych pracujących w czasie rzeczywistym, które będą pozwalały na korektę wypracowanych decyzji z uwagi na bieżące niezgodności pomiędzy wielkościami prognozowanymi na początku doby a zaistniałymi w rzeczywistości.

## LITERATURA

- [1] Indyk W., Iania-Kisiel E., Potocki A., Słota H. - "Optymalne sterowanie zbiornikiem energetycznym". Zeszyty Naukowe Pol. Sl. s. Automatyka Z.68, Gliwice 1983.

- [2] Indyk W., Kania-Kisiel E., Potocki A., Skota H. - "Konceptcja współpracy elektrowni wodnych z systemem energetycznym". Zeszyty Naukowe Pol. Sl. s. Automatyka, Z.68, Gliwice 1983.
- [3] Indyk W., Kania-Kisiel E., Potocki A., Skota H. - "On structures of repetitive control of a water power plant reservoir". Proceedings Int. AMSE Conf. "Modelling and Simulation", Vol. 3.3, Ateny 1984.
- [4] Lambor J. - "Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych". Arkady, Warszawa 1962.
- [5] Łaski A. - "Elektrownie wodne, rozwiązania i dobór parametrów". WNT, Warszawa 1971.
- [6] Skota H. i inni - "Opracowanie zasad i algorytmów sterowania zbiornikami wodnymi w dorzeczu Raby i Dunajca". PR-7, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej PK, Kraków 1984.

AN OPERATIVE ALGORITHM OF RESERVOIRS CASCADE CONTROL

BY EXAMPLE OF THE ROŻNÓW-CZCHÓW RESERVOIRS SYSTEM

S u m m a r y

In this paper, an algorithm of operative control of the Rożnów-Czchów energy reservoirs cascade has been suggested. Cooperation between the algorithm and a dispatcher of the reservoirs system is emphasized. Maximization of total energy effects for given constraints and determination of rational releases from the lower reservoir has been chosen as the basic objectives of the algorithm.

ОПЕРАЦИОННЫЙ ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ РЕЗЕРВУАРОВ  
НА ПРИМЕРЕ АНСАМБЛЯ РЕЗЕРВУАРОВ РОЖНОВ - ЧХОВ

Р е з ю м е

В данной работе авторы предложили закон оперативного управления каскадом энергетических резервуаров Рожно-Чхов. Особенный упор сделан на правильное и непринужденное сотрудничество с диспетчером резервуарного ансамбля. Основной целью закона управления является максимизация энергетических эффектов для заданных ограничений а также определение рационального стока из нижнего резервуара.