

Henryk SŁOTA, Jerzy GRELA, Roman KONIECZNY

Instytut Meteorologii
i Gospodarki Wodnej
Kraków

KONCEPCJA SYSTEMU STEROWANIA FAŁĄ POWODZIOWĄ

W GÓRNYM DORZECZU WISŁY

Streszczenie: W referacie przedstawiono założenia systemu sterowania falą powodziową górnej Wisły po ujściu Dunajca. Omówiono cel i przeznaczenie systemu, jego konfigurację w zakresie oprogramowania i sprzętu oraz współpracę z innymi systemami informatycznymi wdrażenymi w IMGW Kraków. Przedstawiono również aktualny stan zaawansowania prac nad systemem.

1. Założenia i cele systemu

Ochrona przeciwpowodziowa, podobnie jak i zaopatrzenie w wodę jest jednym z podstawowych zadań gospodarki wodnej na obszarach górnego dorzecza Wisły^{*/}. Celem poprawy skuteczności ochrony przeciwpowodziowej opracowuje się stale nowe instrukcje precyzujące zasady postępowania w ramach tzw. czynnej i biernej ochrony przeciwpowodziowej, za którą są odpowiedzialne Wojewódzkie Komitety Przeciwpowodziowe /WKPP/. Okazuje się jednak, że skuteczność tę można poprawić, wykorzystując do tego celu obserwowany w ostatnich latach postęp w pracach metodycznych z zakresu: prognozowania oraz modelowania matematycznego procesów hydrologicznych, teorii sterowania dużymi i wielokryterialnymi systemami, automatyzacji procesu zbierania, przesyłania i przetwarzania informacji. Za zmianą w sposobach prowadzenia szczególnie czynnej ochrony przeciwpowodziowej przemawia również brak skutecznych mechanizmów koordynacji decyzji operacyjnych poszczególnych WKPP. Istniejąca bowiem struktura organizacyjna, w ramach której funkcje koordynacyjne pełni Regionalny Ośrodek Dystrybucyjno-Informacyjny /RODI/, znajdujący się przy ODGW w

^{*/}Mówiąc o górnym dorzeczu Wisły ma się na uwadze zlewnię Wisły po przekroju wod wskazowy Karsy, czyli z dorzeczem Dunajca łącznie.

Krakowie, z różnych przyczyn koordynacji tej nie zapewnia, między innymi z powodu braku sformalizowanego oraz opartego na naukowo-technicznych podstawach, systemu wypracowywania decyzji koordynacyjnych. Celem opracowywanego od 1980 r. w ramach PR-7 systemu sterowania falą powodziową w górnym dorzeczu Wisły, jest właśnie stworzenie takiego mechanizmu podejmowania decyzji, który ograniczając skutki powodzi do minimum pozwalałby równocześnie godzić interesy lokalne i regionalne z interesami wyższego rzędu. Zdając sobie sprawę z tego, że skuteczność tego systemu podejmowania decyzji zależy w dużym stopniu zarówno od niezawodności systemu zbierania i przekazywania informacji jak i trafności prognoz, zdecydowano, aby funkcje tego systemu obejmowały pełny ciąg "technologiczny" zaczynający się zbieraniem, transmisją i przetwarzaniem informacji, następnie prognozowaniem opadów, dopływów do zbiorników oraz ze zlewni bocznych, jak również transformacją przepływów w korytach rzek, aż wreszcie, kończący się na wypracowywaniu wspólnie z kompetentnymi decydentami decyzji ostatecznych oraz rejestracją skutków tych decyzji.

Przystępując do opracowywania zdefiniowanego powyżej systemu sterowania przyjęto następujące generalne założenia, jakie powinien ten system spełniać:

- musi się "wpisywać" w istniejącą strukturę organizacyjną czynnej ochrony przeciwpowodziowej,
- nie powinien zastępować decydentów, lecz pomagać im przy wypracowywaniu decyzji /tzn. wspomagać decydentów/,
- musi uwzględniać warunki niepewności, w jakich podejmowane są decyzje wynikające z niedoskonałości modeli prognozujących zjawiska meteorologiczne i hydrologiczne,
- musi bazować na istniejącej sieci obserwacyjno-pomiarowej IMGW oraz być dostosowanym do obowiązujących terminów oraz posiadanych środków łączności wykorzystywanych do przekazywania informacji,
- musi być dostosowany do istniejących i opracowywanych systemów informatycznych z zakresu hydrologii i meteorologii,
- procedury przetwarzania, opracowywania prognoz oraz wypracowywania decyzji, muszą być realizowane na aktualnie dostępnym sprzęcie komputerowym.

Przyjmując te założenia brano pod uwagę konieczność jak najwcześniejszego wdrożenia tego systemu, chcąc w ten sposób stworzyć warunki sprawdzenia go w praktyce i umożliwienia wprowadzenia udoskonaleń.

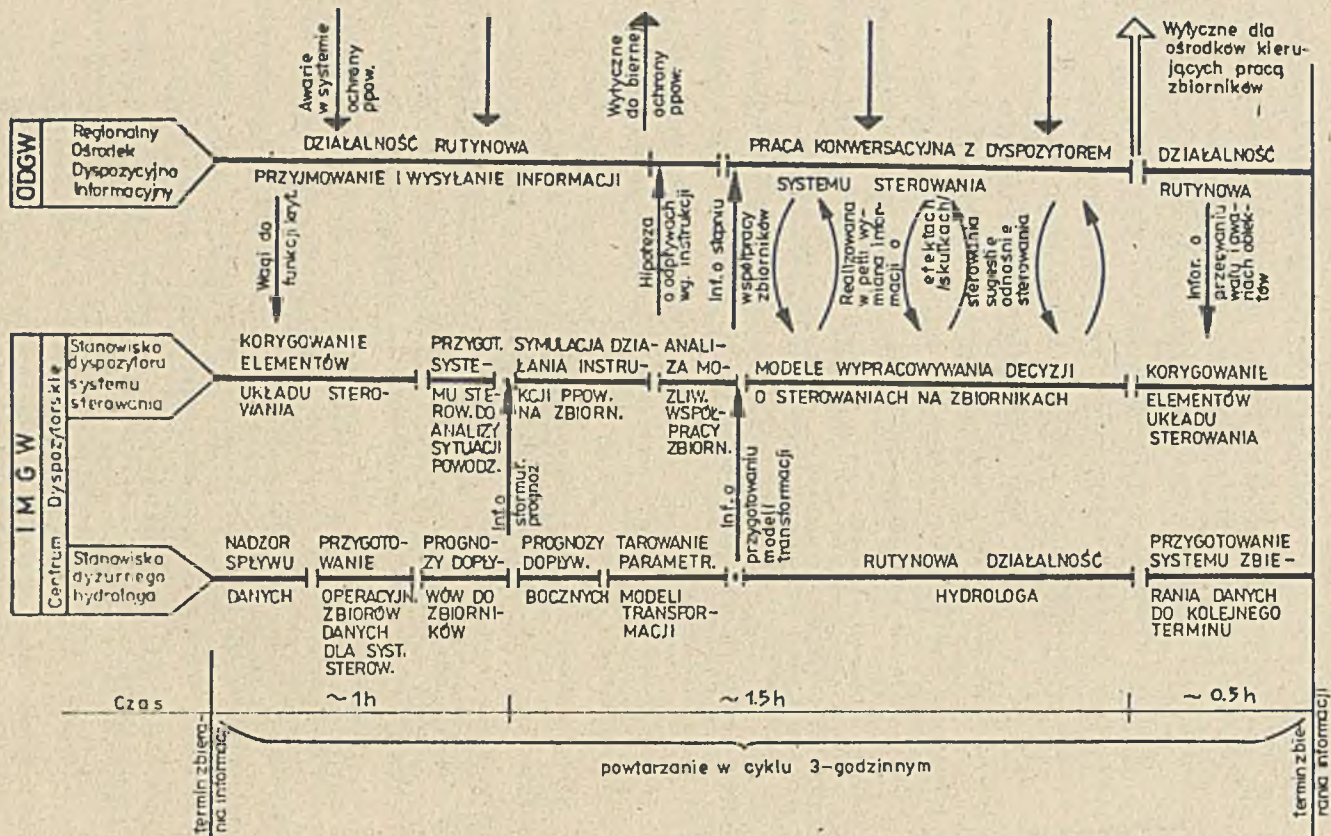
2. Organizacja i zasady wypracowywania decyzji

Wymienione powyżej założenia narzuciły w pewien sposób organizację oraz zasady wypracowywania decyzji. Przyjęto dwupoziomowy układ decyzyjny, w ramach którego na pierwszym poziomie dokonywana będzie koordynacja decyzji podejmowanych przez decydentów niższego poziomu, czyli dyspozytorów zbiorników, którymi mogą być kierownictwa zbiorników, lub też WKPP. Taki hierarchiczny układ decyzyjny umożliwia skoordynowanie odpływów z poszczególnych zbiorników w sposób najkorzystniejszy z punktu widzenia całego systemu. Ma to szczególne znaczenie w przypadku zbiorników usytuowanych równolegle, dla których ponadto obowiązujące zasady gospodarki wodnej biorą pod uwagę jedynie redukcję przepływów w przekrojach bezpośrednio poniżej tych zbiorników.

Koordynacja decyzji podejmowanych przez dyspozytorów zbiorników nie może polegać na określaniu hydrogramów odpływów z tych zbiorników, co byłoby równoznaczne z całkowitym scentralizowaniem decyzji. Powinna natomiast ograniczać się do precyzowania pewnych wytycznych, lub ograniczeń dla sterowań, względnie korekt do obowiązujących instrukcji sterowania. Koordynacja taka będzie miała miejsce tylko w takich przypadkach, kiedy odstępstwo od instrukcji, lub sterowań suboptymalnych pozwala na zmniejszenie sumarycznych strat powodziowych w całym dorzeczu Wisły.

Wypracowywanie decyzji koordynacyjnych następować będzie w tzw. Centrum Dyspozytorskim, przy ścisłym współdziałaniu z RODI. W Centrum tym będą ponadto zbierane wszystkie potrzebne informacje hydrologiczno-meteorologiczne oraz opracowywane prognozy. Z uwagi na znacznie zróżnicowany zakres czynności, wyodrębniono w Centrum Dyspozytorskim dwa stanowiska operatorskie, mianowicie stanowisko hydrologa oraz operatora systemu sterowania. Zakresy ich czynności oraz orientacyjne czasy trwania wyszczególniono na rys. 1, który ponadto ilustruje w sposób schematyczny szereg realizowanych na przemian procedur prognostycznych i optymalizacyjnych. Niektóre z tych procedur są szerzej objaśnione w dalszej części referatu oraz w pracach [1], [2].

Cel sterowania, który ogólnie można sformułować jako ochronę terenów przyległych do koryt rzecznych przed skutkami przejścia fal powodziowych, narzuca kryteria, które stanowić powinny podstawę podejmowania decyzji. W naszym przypadku można przyjąć, że będą to ekonomiczno-społeczne straty spowodowane zalaniem wspomnianych obszarów. Z uwagi na warunki niepewności, w jakich decyzje są podejmowane, koniecznym jest uwzględnienie w tym procesie



Rys.1 Funkcje Centrum Dyspozytorskiego i RODI dla celów sterowania fałą powodziową

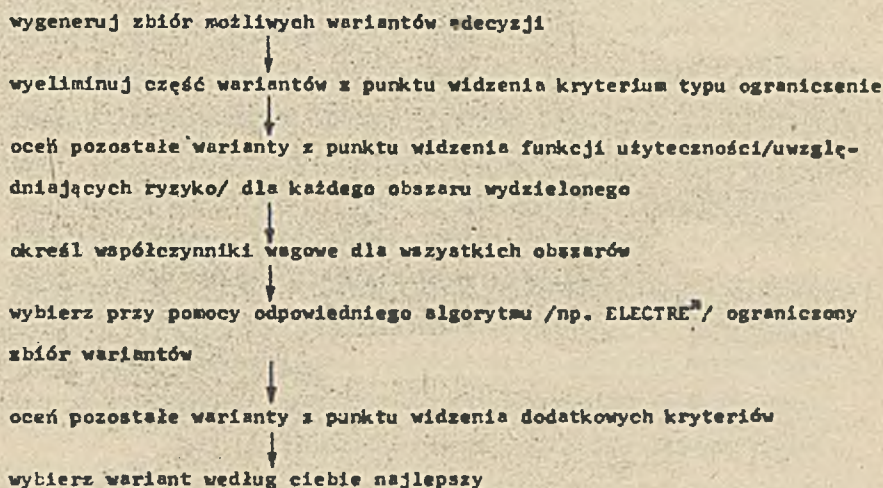
ryzyka jakie gotów jest ponieść decydent.

Specyfika rozwiązywanego problemu dyktuje ponadto warunki, w jakich podejmowane będą decyzje. Można je sformułować następująco:

- niepewność następstw decyzji wynikająca z trudności prognozowania stanów natury, niedokładności modeli transformacji fali powodziowej, niedokładności systemu informacyjnego o stratach powodziowych,
- przeciążenie informacyjne wynikające z chęci dysponowania jak najwszzechstronniejszą informacją o skutkach decyzji, zarówno dla całego obszaru, jak i jego części,
- presja czasu wynikająca z konieczności podejmowania decyzji w krótkich parogodzinnych odstępach,
- presja motywacyjna, wynikająca ze świadomości, nie tyle skutków popełnienia kardynalnego błędu, co ze świadomości, że skutki decyzji to nie tylko rozumiane abstrakcyjnie straty ekonomiczne, ale również zagrożenie życia człowieka i dorobku jego życia.

Wymienione wyżej warunki podejmowania decyzji można uznać za trudne [5].

Przyjęta w konsekwencji strategia działania zmierza do zminimalizowania problemów, jakie stwarza praca w tych "trudnych warunkach decyzyjnych". Wynikający z niej algorytm wypracowywania decyzji, oparty o współpracę człowieka z maszyną cyfrową, ma następującą postać:



²Algorytm pozwalający na wybór wariantów "sytysfakcjonujących"/lub jednego wariantu/ z uwagi na wiele kryteriów. Opis znajduje się w pracy [3].

Procedura powyższa opiera się na następujących założeniach:

- decydent jest integralnym elementem układu człowiek-maszyna cyfrowa stanowiąc podmiot podejmujący decyzję w oparciu o informacje wypracowane automatycznie,
- wszystkie rutynowe elementy, które nie muszą być wykonywane przez człowieka realizuje maszyna cyfrowa,
- maszyna cyfrowa nadzoruje realizację szczegółowo sformułowanej i oprogramowanej strategii działania.

Taka forma podziału pracy pomiędzy człowiekiem i maszyną zabezpiecza w trybie operacyjnym przed niekonsekwentnym stosowaniem przez decydenta, przyjętej /często przez niego samego/ strategii postępowania. Niekonsekwencje takie zdarzają się w praktyce dość często, szczególnie we wspomnianych wcześniej "warunkach trudnych".

W przedstawionej procedurze wyróżnić można trzy etapy:

1. Redukcja liczby możliwych wariantów do zbioru wariantów dopuszczalnych za pomocą kryterium typu ograniczenie. Można na przykład przyjąć, że będą to warianty, dla których kulminacja nie przekroczy poziomu 0.5 m poniżej korony wałów /w określonych przekrojach/.
2. Redukcja liczby wariantów dopuszczalnych do zbioru wariantów "satysfakcjonujących" decydenta w oparciu o funkcje nieużyteczności określone dla każdego z wydzielonych obszarów. Funkcja nieużyteczności wyraża w tym przypadku preferencje stanów wody i ryzyko jakie decydent jest gotów ponieść w oczekiwaniu na określone stany. Funkcje te powinny być identyfikowane przez tzw. decydentów zastępczych w okresach między powodzią. Byłaby to grupa ludzi składająca się z fachowców z różnych dziedzin, np.: przedstawiciela administracji regionu, fachowca od rolnictwa, lekarza, socjologa, inżyniera budownictwa wodnego itd. Ten sposób identyfikacji pozwoliłby na uwzględnienie różnych punktów widzenia na zagrożenie powodziowe. Wartości tej funkcji byłyby szacowane na podstawie informacji o zagrożonych obszarach, obiektach tam zlokalizowanych [(drogi kołowe, linie kolejowe, zabudowania gospodarskie) itd. Informacji tych dostarczać będzie zrealizowany w IMGX System o Zagrożeniach [4].
3. Wybór przez decydenta wariantu ostatecznego w oparciu o niesformalizowane kryteria. Podstawą tego wyboru byłyby dostarczane decydentowi informacje, tj. straty /globalne i cząstkowe/, równomierność rozkładu zagrożenia w

czasie i przestrzeni, liczba przerwania wałów, aktualne napełnienia zbiorników retencyjnych i awarie ich urządzeń upustowych, itd.

Zaproponowane dla etapu pierwszego kryterium przekroczenia, lub nie, rzędnej odpowiadającej 0.5 m poniżej korony wałów w określonych przekrojach, działa w sposób następujący - w sytuacji gdy istnieją warianty nie zagrażające wałom, nie dopuszcza ono do następnych etapów innych wariantów, natomiast w sytuacji gdy istnieją tylko warianty działania zagrażające przerwaniem wałów dalsza analiza dotyczy tylko tych wariantów. I chociaż można stosować równolegle inne kryteria typu ograniczenie, opisane wcześniej kryterium powinno stanowić w rozważaniach coś w rodzaju "stałego elementu gry", gdyż jest ono rozgraniczeniem dwóch sytuacji o różnych cechach wpływających istotnie na sposób podejmowania decyzji. Jeśli bowiem uznamy, że podejmowanie decyzji w sytuacji, gdy nie ma groźby przerwania wałów jest w miarę oczywiste / na tym etapie rozważań/, to podejmowanie decyzji o realizacji jednego z wariantów, z których każdy przewiduje awarię wałów, może nastroczać wiele problemów, wymagających rozwikłania. Można dla przykładu wymienić następujące :

- wybór wariantu sterowania, w efekcie którego straty społeczno-ekonomiczne będą najniższe - w praktyce może być to wybór pomiędzy zalewaniem wsi "X" i wsi "Y",
- podjęcie decyzji o wysadzeniu wału w określonym wcześniej miejscu, w którym skutki decyzji będą najniższe - konieczne będzie wcześniejsze rozwiązanie problemu "palderów",
- podjęcie decyzji, czy ze względu na możliwość ostrzeżenia i akcji ewakuacyjnej preferujemy wariant, który charakteryzuje się przerwaniem wału w jednym profilu, czy też wariant, który charakteryzuje się dwoma przerwaniem, ale odpowiadające obszary zalewu będą mniejsze, niż w przypadku pierwszym.

W przyjętym schemacie wypracowywania decyzji operacyjnych, dwa pierwsze etapy bazują na ograniczeniach i kryteriach ustalonych przed powodzią. Rola operatora systemu sterowania ogranicza się w tych etapach do generowania według ustalonych reguł różnych wariantów decyzji oraz uruchomienia odpowiednich procedur wyboru pewnego małego licznego zbioru decyzji. Rola ROLB polega na sugerowaniu własnych wariantów decyzji oraz określaniu współczynników wagowych funkcji użyteczności dla algorytmu wyboru ograniczonego zbioru decyzji. Natomiast w trzecim etapie wypracowywania decyzji wiodącą rolę

spełnia RODI, który dokonuje ostatecznego wyboru decyzji na podstawie szeregu dodatkowych informacji otrzymywanych na żądanie z Centrum Dyspozytorskiego.

3. Model systemu sterowania

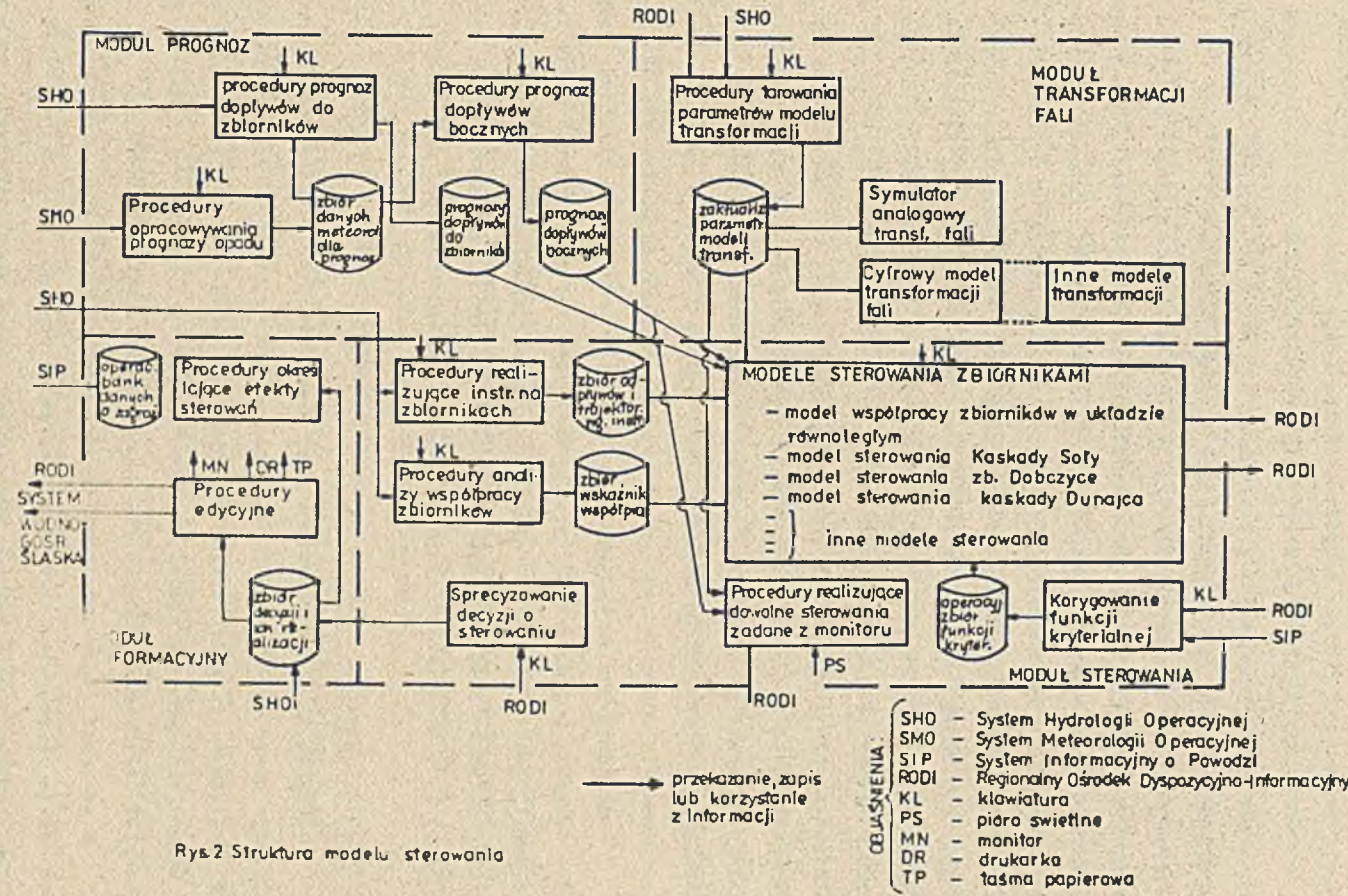
Głównymi środkami realizacji postawionych na wstępie celów systemu sterowania falą powodziową jest oprogramowanie oraz baza sprzętowa. Są to elementy ściśle ze sobą związane, z tego też względu ważne jest, aby założyć realne w najbliższych latach możliwości obliczeniowe.

W zakresie oprogramowania systemu sterowania wyróżnić można kilka mających odrębne funkcje modułów, stanowiących ciągi procedur realizujących poszczególne zadania cząstkowe. Wyróżniono więc:

- moduł obejmujący procedury przygotowania prognozy opadu, prognozy dopływów do zbiorników retencyjnych, prognozy dopływów bocznych skupionych oraz prognozy dopływów bocznych niekontrolowanych, nazwany został modułem prognoz,
- moduł zawierający cyfrowe procedury oraz symulator analogowy opisujące transformację fali w systemie, nazwany modułem transformacji,
- moduł składający się z szeregu alternatywnych procedur realizujących różne strategie sterowania w systemie zbiorników, pozwalających współpracować we współpracy z RODI decyzje o odpływach ze zbiorników, zwany modułem sterowania oraz
- moduł zapewniający w miarę obszerną informację o efektach podjętych decyzji, obejmujący też procedury przekazywania tej informacji użytkownikom, zwany modułem informacyjnym.

Orientacyjny schemat powiązań, jakie w ramach takiej struktury występować będą wewnątrz systemu sterowania przedstawiono na rys. 2. Dla sprawnego współdziałania wymienionych modułów, konieczne jest tworzenie na bieżąco szeregu zbiorów operacyjnych gromadzących informacje, umożliwiające uruchamianie kolejnych procedur.

Niezbędne jest zapewnienie odpowiednich powiązań z innymi systemami informatycznymi. W szczególności rozważyć należy opracowane i wdrażane obecnie w IMGW O/Kraków systemy: System Hydrologii Operacyjnej, System Informacyjny o Zagrożeniu i Stratach Powodziowych oraz projektowany System Meteorologii Operacyjnej. Ponadto z uwagi na ponadregionalny charakter sterowania falą



Rys.2 Struktura modelu sterowania

powodziową, konieczne wydaje się zapewnienie współpracy w zakresie przekazywania informacji również z Systemem Wodno-Gospodarczym Śląska.

Podstawowym elementem w zakresie wyposażenia w środki obliczeniowe jest MERA-400, wraz z wyposażeniem koniecznym dla SHO i SMO /głównie stacje PSPD-90, pracujące jako teleksy dokonujące wstępnej weryfikacji danych/. Dla celów sterowania falą powodziową przewiduje się dodatkowo wykonanie pulpity dyspozytorskich dla hydrologa oraz operatora systemu sterowania, jak również symulatora analogowego transformacji fali powodziowej. Pulpity te wyposażone będą w monitory i klawiatury funkcyjne, pozwalające na uruchamianie poszczególnych procedur obliczeniowych. Rozważana jest koncepcja wyposażenia monitora kolorowego w pióro świetlne. Jak wynika z rys.1 i 2, przewiduje się realizację dwóch stanowisk, przy czym hydrolog w czasie powodzi obsługiwał będzie moduły prognoz i transformacji, natomiast zadaniem dyspozytora będzie obsługa modułu sterowania i modułu informacyjnego. Analogowy symulator budowany będzie na bazie cyfrowego modelu kaskady zbiorników nieliniowych dla całego dorzecza górnej Wisły. Parametry symulatora regulowane będą operacyjnie /cyfrowo bądź potencjometrem/. Wywoływanie symulatora przez programy fortranowskie odbywało się będzie poprzez standardową instrukcję CALL.

Zaprezentowaną tu koncepcję pracy systemu sterowania traktować trzeba jako wstępną. Jej poszczególne założenia mogą być weryfikowane przez takie czynniki, jak : rzeczywisty czas obliczeń poszczególnych procedur na MERZE-400 / w tym szczególnie procedur konwersacyjnych/, wymagania pracy SHO i SMO, czas przekazywania informacji między współpracującymi urządzeniami itp.

4. Stan zaawansowania prac

W ramach PR-7.05 prowadzone jest szereg tematów, których celem jest realizacja poszczególnych elementów systemu sterowania falą powodziową. Tematy te realizowane są przez trzech głównych wykonawców-- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej O/Kraków, Instytut Automatyki Politechniki Warszawskiej, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej.

W zakresie sterowania zrealizowana została zasadniczo większość procedur modułu sterowania. Przeważnie testowane one były na maszynie CYBER-72. W chwili obecnej na MERZE-400 uruchomiony został model sterowania Roźnowem w wersji konwersacyjnej. Niektóre szczegóły na temat zrealizowanych procedur i prowadzonych badań symulacyjnych, zawierają artykuły [1] i [2] .

W zakresie modeli prognostycznych, najbardziej zaawansowane są prace nad modelem dopływu do Kaskady Soły, gdzie prowadzone są prace nad adaptacją działającego obecnie modelu prognostycznego dla potrzeb sterowania. Pozostałe modele prognostyczne są w fazie opracowywania modeli symulacyjnych.

Sprawdzona została w IAPW pierwsza wersja symulatora analogowego z uwzględnieniem współpracy z MER4-400. Efektywność symulatora / czas obliczeń/ jest bardzo wysoka. Ponadto we współpracy z modelem sterowania Równowem, uruchomiony został model transformacji fali na dolnym Dunajcu, typu Muskingham.

Wstępne wdrożenie systemu sterowania falą powodziową przewidywane jest w roku 1985. Zakres tego wdrożenia uzależniony jest nie tylko od realizacji podstawowego oprogramowania, ale również tempa rozwoju ośrodka obliczeniowego IMGW /w szczególności jego rzeczywistych możliwości obliczeniowych/, wdrażania SHO i SMO na MERZE-400 itp. Przez pewien okres czasu system działał będzie równoległe z tradycyjnym modelem osłony hydrologicznej, prowadzonej w IMGW O/Kraków. W okresie tym powinny być usunięte wszystkie ewentualne mankamenty systemu i jego powiązań oraz doskonalona jego obsługa. Podstawowym problemem będzie na tym etapie wypracowanie odpowiednich form współpracy między IMGW i RODI.

LITERATURA

- [1] P.Madej, R.Schaefer: Algorytmy gospodarki powodziowej na zbiornikach Soły i Dunajca przy uwzględnieniu dopływu bocznego. Materiały konferencyjne.
- [2] J.Grela: Badania symulacyjne współpracy zbiorników retencyjnych górnej Wisły w czasie powodzi. Materiały konferencyjne.
- [3] W.Woźniak: Przykład optymalizacji rozwoju systemu górnej Wisły metodą wielokryterialną ELECTRE. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka, Z.48, 1979.
- [4] J.Chojnicki i in.: Szczegółowa rejonizacja zagrożenia wraz z określeniem potrzeb sterowania falą powodziową w doręczach Małej Wisły, Wisły, Przemszy, Soły, Skawy, Raby, Dunajca, Wisłoki i Sanu /zestaw opracowań - rozszynopisy/, IMGW, O/Kraków. 1975.
- [5] J.Kozielecki: Psychologiczna teoria decyzji. PWN, Warszawa. 1975.

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАВОДКАМИ ВЕРХНЕЙ ВИСЛЫ

В статье представлено предположения системы управления паводками верхней Вислы до устья Дунайца. Обсуждено цель и назначение системы, её положение в сфере программирования и оборудования а также сотрудничество с другими информатическими системами применяемыми в ИМВХ в г.Кравове. Представлено также актуальное состояние работ над этой системой.

A CONCEPT OF THE UPPER VISTULA FLOOD WAVE CONTROL SYSTEM

The paper presents assumptions underlying the flood wave control system on the Upper Vistula River up to the mouth of the tributary Dunajec river. The authors discuss the objectives and destination of the system, its configuration as far as the program, equipment and cooperation with other information systems implemented by Institute of Meteorology and Water Management are concerned. Additionally, the paper gives a progress report on the above system development.