

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział
Inżynierii Sanitarnej i Wodnej



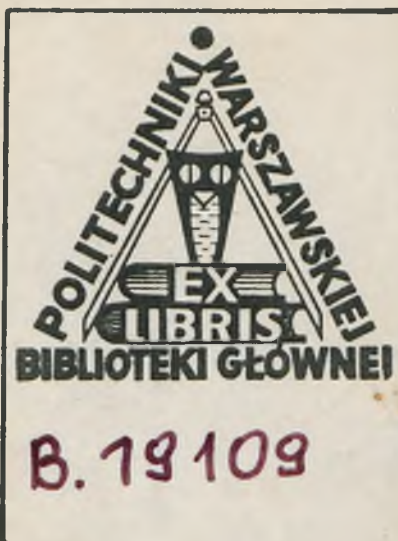
ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Sylwestra Tyszewskiego

pt. „Model symulacyjno-optymalizacyjny
systemu wodnogospodarczego dla celów
wspomagania decyzji dyspozytorskich”

WARSZAWA

1983



628.1.001.57:043

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

5

WYDZIAŁ INŻYNIERII SANITARNEJ I WODNEJ

INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA

mgr inż. Sylwester Tyszewski

MODEL
SYMULACYJNO-OPTYMALIZACYJNY
SYSTEMU WODNOGOSPODARCZEGO
DLA CELÓW WSPOMAGANIA
DECYZJI DYSPOZYTORSKICH

Praca doktorska wykonana
pod kierunkiem
Prof. dr hab.inż. Tomasza Biernackiego

Warszawa 1983



43-8-84d

Składam serdeczne poszeikowania

Promotorowi Panu Profesorowi
Tomaszowi Biernackiemu za pomoc i
cenne uwagi w trakcie wykonywania
pracy

Panu Doktorowi Januszowi
Kindlerowi za pomoc w sprawnym
przeprowadzeniu obliczeń

Panu Doktorowi Przemysławowi
Zielińskiemu za pomoc i życzliwe
rady

Odrębne podziękowania składam
Mojej Żonie Bożenie za stworzenie
właściwego klimatu w domu oraz po-
moc przy redagowaniu niniejszej
pracy

SPIS TREŚCI

| | |
|---|----|
| STRESZCZENIE | 1 |
| 1. WSTĘP | 3 |
| 1.1. Sterowanie systemami wodnogospodarczymi w dotychczasowych pracach | 4 |
| 1.2. Cel pracy | 10 |
| 2. STEROWANIE W SYSTEMACH WODNOGOSPODARCZYCH | 12 |
| 2.1. Ogólna charakterystyka funkcjonowania systemu wodnogospodarczego | 12 |
| 2.2. Hierarchiczny charakter systemu sterowania .. | 17 |
| 3. OPTIMALIZACJA WIELOKRYTERIALNA W ANALIZACH WODNOGOSPODARCZYCH | 21 |
| 3.1. Wprowadzenie | 21 |
| 3.2. Sformułowanie problemu optymalizacji wielokryterialnej | 22 |
| 3.3. Przegląd metod rozwiązywania zadań optymalizacji wielokryterialnej | 28 |
| 3.4. Zasady doboru i formułowania funkcji " kryterialnych " | 38 |
| 4. MODEL SYMULACYJNO-OPTYMALIZACYJNY SYSTEMU WODNO- GOSPODARCZEGO DLA POTRZEB WSPOMAGANIA DECYZJI DYSPOZYTORSKICH | 47 |
| 4.1. Metoda wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego w warunkach normalnych i niedoboru wody | 47 |
| 4.2. Metoda wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego w warunkach po- wodziowych | 55 |

| | |
|---|-----|
| 5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY - WYZNACZANIE BIEŻĄCYCH STEROWAN PRACĄ SYSTEMU WODNOGOSPODARCZEGO W WARUNKACH NORMALNYCH I NIEDOBRU WODY | 63 |
| 5.1. Opis systemu | 65 |
| 5.2. Założenia i opis procesu wyznaczania bie- żących sterowań pracą systemu wodnogospo- darczego | 68 |
| 5.3. Sformułowanie zadania optymalizacji wielo- kryterialnej dla warstwy planowania retencji | 72 |
| 5.4. Sformułowanie zadania optymalizacji wielo- kryterialnej dla warstwy rozrządu wody | 79 |
| 5.5. Sterowanie pracą obiektów i rozrządem wody w wyodrębnionych podsystemach nr 5,6,7 | 82 |
| 5.6. Symulacyjno-optymalizacyjne modele pod- systemów nr 1,2,3 i 4 | 97 |
| 5.7. Opis danych | 120 |
| 5.8. Wyniki obliczeń | 128 |
| 6. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY - WYZNACZANIE STEROWAN PRACĄ SYSTEMU WODNOGOSPODARCZEGO W WARUNKACH POWODZIOWYCH | 147 |
| 6.1. Opis systemu | 148 |
| 6.2. Sformułowanie zadania optymalizacji | 151 |
| 6.3. Matematyczny model zlewni różnicowej | 154 |
| 6.4. Opis danych | 156 |
| 6.5. Wyniki obliczeń | 160 |
| 7. WNIOSKI | 176 |
| LITERATURA | 180 |
| ZAŁĄCZNIK 1. Przebieg procesu wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego | 185 |

STRESZCZENIE

Narastające trudności w prawidłowym rozwiązywaniu problemów zaopatrzenia w wodę o odpowiedniej jakości, skomplikowane powiązania występujące między użytkownikami wody, różnymi sposobami jej użytkowania oraz lokalizacją zasobów wodnych, wymagają planowania rozwoju gospodarki wodnej oraz eksploatacji zasobów wodnych w sposób kompleksowy w ramach systemów wodnogospodarczych.

W niniejszej pracy, wychodząc naprzeciw tym wymaganiom, podjęto próbę opracowania metodyki konstruowania interakcyjnych algorytmów decyzyjnych, wspomagających dyspozytora w procesie wyznaczania sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie wodnogospodarczym.

Proponowana metodyka przewiduje opracowywanie niezależnych algorytmów sterowania pracą systemu wodnogospodarczego dla warunków normalnych i niedoboru wody oraz dla warunków powodziowych. Algorytmy te, w zależności od sytuacji panującej w systemie będą przejmowały sterowanie jego pracą.

Analiza różnych koncepcji sterowania złożonymi systemami dynamicznymi dokonana na tle podstawowych własności systemu wodnogospodarczego /rozdział 2/, umożliwiła sformułowanie ogólnych wymagań, jakim powinny odpowiadać tego typu algorytmy decyzyjne.

Stwierdzono, że ze względu na dużą złożoność systemu wodnogospodarczego, bardzo zróżnicowaną dynamikę jego obiektów oraz różnorodność zadań przed nim stawianych, wyznaczanie sterowań powinno odbywać się w ramach tzw. struktur hierar-

chicznych z wykorzystaniem wielokryterialnego charakteru analiz optymalizacyjnych.

Opierając się na tych ogólnych ustaleniach, w rozdziale czwartym, sformułowano metodykę opracowywania symulacyjno-optymalizacyjnych modeli systemu wodnogospodarczego dla potrzeb wspomagania dyspozytora w procesie podejmowania decyzji, dotyczących bieżących sterowań.

W metodyce tej przyjęto, że wyznaczanie sterowań odbywa się w układzie trzywarstwowym, przy czym w poszczególnych warstwach, związanych z różnymi horyzontami czasowymi, uwzględnia się możliwość dokonania przestrzennej dekompozycji zadania sterowania /wielopoziomowość/.

Ponadto, że względu na konieczność kompleksowej analizy zarówno ilościowych jak i jakościowych aspektów gospodarowania zasobami wodnymi, w procesie wyznaczania decyzji wykorzystano możliwości jakie stwarzają metody optymalizacji wielokryterialnej. Zagadnieniom tym poświęcono rozdział trzeci, w którym między innymi przedstawiono, opracowaną przez autora, konwersacyjną procedurę wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego zadania optymalizacji wielokryterialnej.

W celu wykazania prawidłowości i praktycznej przydatności proponowanej metodyki, wykonano przykładowe obliczenia dla systemu rzeki Kamiennej, obejmującego 6 zbiorników retencyjnych oraz 34 użytkowników wody. Wyniki obliczeń przedstawione w rozdziałach 5 i 6 świadczą korzystnie o proponowanej metodyce i zachęcają do dalszego jej rozwijania.

1. WSTĘP

Intensywny wzrost produkcji przemysłowej, powstawanie coraz większych aglomeracji miejsko-przemysłowych oraz intensyfikacja produkcji rolniczej, często prowadzą do takiego wzrostu zapotrzebowania na wodę i jej zanieczyszczenia, że niedobory nadającej się do użytkowania wody, stają się powoli hamulcem dalszego rozwoju gospodarczego. Narastające trudności w prawidłowym rozwiązywaniu problemów zaopatrzenia w wodę, skomplikowane powiązania występujące między użytkownikami wody, różnymi sposobami jej użytkowania oraz lokalizacją zasobów wodnych, wymagają planowania rozwoju gospodarki wodnej oraz eksploatacji zasobów wodnych w sposób kompleksowy w ramach systemów wodnogospodarczych.

W literaturze można znaleźć wiele różnorodnych definicji pojęcia "system wodnogospodarczy". Najtrafniejszą spośród nich wydaje się być definicja podana przez Symonowicza [31], określająca system wodnogospodarczy jako układ funkcjonalno-przestrzenny, obejmujący naturalne zasoby wód powierzchniowych i podziemnych, obiekty hydrotechniczne związane z zagospodarowaniem tych zasobów, obiekty użytkowników wody związane z jej wykorzystaniem oraz powiązania występujące pomiędzy tymi elementami.

Celem działania tak rozumianego systemu wodnogospodarczego, jest pełne zaspokojenie zapotrzebowania na wodę jej odbiorców, bez naruszania w istotny sposób środowiska naturalnego

oraz zabezpieczenie przed powodzią określonych obszarów.

Sterowanie obiegiem wody w systemie wodnogospodarczym umożliwiają obiekty hydrotechniczne /zbiorniki retencyjne, kanały przerzutowe, oczyszczalnie ścieków/, realizujące takie funkcje jak: transformacja zasobów wodnych w czasie i przestrzeni oraz kształtowanie jakości tych zasobów.

Wysokie koszty inwestycyjne i stosunkowo długi okres amortyzacji obiektów hydrotechnicznych, stwarzają konieczność możliwie pełnego wykorzystywania istniejących i nowobudowanych obiektów w gospodarowaniu zasobami wodnymi, a więc racjonalnego sterowania ich pracą.

Z kolei ze względu na coraz bardziej złożoną strukturę systemów wodnogospodarczych, dążenie do centralnego sterowania całym systemem staje się koniecznością naszych czasów. Jest to zagadnienie już bardzo ważne, a na pewno o wzrastającym stopniu ważności, kryjące przy tym pod słowami "centralne sterowanie systemem" wiele jeszcze nie rozwiązanych problemów metodycznych i prawno-administracyjnych.

1.1. Sterowanie systemami wielozbiornikowymi w dotychczasowych pracach

W okresie ostatniego 25-lecia, dzięki coraz bardziej powszechnemu wykorzystywaniu elektronicznej techniki obliczeniowej, obserwuje się intensywny rozwój metod sterowania wielozbiornikowymi systemami wodnogospodarczymi w oparciu o techniki symulacyjne i symulacyjno-optimalizacyjne.

Jako jedna z pierwszych w tym zakresie pojawiła się w 1962 r. praca [18] Harwardzkiego Programu Wodnego, w której dla potrzeb sterowania pracą czterech zbiorników retencyjnych zastosowano model symulacyjno- optymalizacyjny, wykorzystujący algorytm Out-of-Kilter.

W Polsce jako jedne z pierwszych o tej tematyce opublikowane zostały prace Krajewskiego [14] i Mańczaka [20], poświęcone przede wszystkim problemom sterowania kaskadą zbiorników retencyjnych. W pierwszej z nich, przedstawiono możliwości matematycznego modelowania gospodarki wodnej na zbiornikach retencyjnych w oparciu o metody Monte Carlo. W drugiej, problem sterowania pracą kaskady zbiorników retencyjnych rozwiązywany był jako zadanie wieloetapowej optymalizacji statystycznej.

W Związku Radzieckim zainteresowanie zespołami współpracujących zbiorników koncentrowało się wokół zagadnień projektowania i eksploatacji kaskady zbiorników energetycznych. Należy tu w pierwszym rzędzie wspomnieć prace Svanidze , który zaproponował wykorzystanie do tych celów metody Monte Carlo. Analitycznym rozwiązaniem problemu kaskady zbiorników zajmował się Kartvelisvili [11].

W latach 1969-1972 opracowano "Projekt kompleksowego rozwoju systemu rzeki Wisły" [9], w którym problematyka gospodarowania wodą w systemach wielozbiornikowych stanowiła jedno z kluczowych zagadnień. W opracowaniu tym po raz pierwszy w kraju zastosowano z powodzeniem algorytm Out-of-Kilter.

W 1974 roku Strupczewski i Zdanowski [29] przedstawili koncepcję dwupoziomowego systemu sterowania pracą zbiornika retencyjnego w warunkach powodziowych, przy założeniu, że proces dopływu wody w przedziałach dobowych opisywany jest jako prosty proces Markowa.

W tym samym okresie pojawiły się prace Słoty [28] i Kindlera [12] poświęcone zagadnieniom optymalizacji planu dyspozytorskiego dla zespołu zbiorników retencyjnych. W pierwszej z nich podjęto próbę sformułowania problemu optymalnego sterowania rozrzędem wody w systemie wodnogospodarczym w oparciu o zasady ogólnej teorii sterowania dużymi systemami dynamicznymi. Rozwiązanie problemu sprowadziło się tam do identyfikacji parametrów planu dyspozytorskiego w oparciu o analizy symulacyjno-optymalizacyjne, prowadzone na danych historycznych. Podstawową niedogodność tej metodyki stanowił szybki wzrost wymiarowości zadań optymalizacyjnych wraz ze wzrostem ilości zbiorników oraz ilości przedziałów czasowych na jakie podzielono rozpatrywany horyzont czasowy. Ponadto w metodyce tej nie uwzględniano problematyki związanej z ochroną jakości wód.

W drugiej z tych prac, autor podjął próbę sformułowania ogólnej metodyki optymalizacji planu dyspozytorskiego dla zespołu zbiorników, w oparciu o podejście stochastyczne implicite. Rozwiązanie problemu sprowadziło się tam do określenia planów dyspozytorskich poszczególnych zbiorników w oparciu o wyniki analiz symulacyjno-optymalizacyjnych prowadzonych na długich, wygenerowanych ciągach przepływów średnich miesięcznych. Plany dyspozytorskie miały postać równań regresji wielokrotnej,

w których zmienną zależną było napełnienie końcowe danego zbiornika w danym miesiącu, natomiast zmiennymi niezależnymi napełnienia początkowe wszystkich zbiorników w danym miesiącu oraz prognozowane na dany miesiąc dopływy wody do wszystkich zbiorników. Metodyka ta, ze względu na szybki wzrost wymiarowości nie może być wykorzystywana dla krótszych niż 1 miesiąc przedziałów czasowych. Ponadto dotyczyła ona tylko ilościowych aspektów gospodarowania zasobami wodnymi.

Kolejną grupą prac zasługujących na szczególną uwagę są pozycje, w których podejmowano próby rozwiązania problemów wielozbiornikowych przez zastosowanie metod dekompozycji zadania sterowania pracą systemu. Typowymi przykładami tego kierunku są prace Roefs'a i Bodina [24] oraz Trott'a i Yeh'a [32]. W obydwu pracach rozpatrywano zagadnienie optymalizacji planu dyspozytorskiego dla zespołu zbiorników retencyjnych. W pierwszej z nich wykorzystano metodę dekompozycji zadań programowania liniowego, znaną jako algorytm Dantzig'a-Wolfe'a; w drugiej natomiast, wielopoziomową metodę programowania dynamicznego.

W innej pracy Yeh'a [37] do wyznaczania miesięcznych, dobowych i godzinowych planów dyspozytorskich systemu wielozbiornikowego wykorzystano zasady dekompozycji czasowej w zadaniach programowania liniowego i dynamicznego.

Słota i Madej [27] zaproponowali repetycyjny model sterowania systemem wielozbiornikowym w czasie rzeczywistym. Model ten w pierwszej fazie dokonuje wyboru optymalnej strategii sterowania w okresie najbliższego miesiąca, uwzględniając losowość

dopływu wody do systemu zgodnie z zasadami podejścia stochastycznego implicate. Wybór optymalnych strategii sterowania bazuje na zbiorze informacji przedstawianym w formie tzw. tabel wypłat, określających konsekwencje różnych strategii w zależności od przyszłego stanu natury. Tak wybrana strategia sterowania wprowadzana jest następnie jako ograniczenie do modelu sterowania w krótszych przedziałach czasowych. Model ten charakteryzuje się dużą pracochłonnością obliczeń związanych z wyznaczaniem elementów tabel wypłat. Wykorzystanie tej metodyki do sterowania systemami obejmującymi kilka lub kilkanaście zbiorników retencyjnych wydaje się mało realne ze względu na wymagania modelu generacyjnego procesu przepływów średnich miesięcznych /odpowiednia długość ciągów historycznych, pamięć maszyny cyfrowej/. Ponadto, podobnie jak omówione wyżej prace, metodyka ta dotyczy tylko ilościowych aspektów gospodarowania zasobami wodnymi.

Salewicz i Terlikowski [26] przedstawili koncepcję wielowarstwowego układu sterowania pracą systemu wodnogospodarczego. Zgodnie z tą koncepcją w układzie sterowania systemem wodnogospodarczym wyróżniono dwie warstwy, których czynności związane są odpowiednio z planowaniem retencji w skali całego systemu na długim horyzoncie czasowym oraz dokonywanym na bieżąco rozdziałem zasobów wodnych. Podstawowym celem działania systemu było zaspokojenie ilościowych zapotrzebowań na wodę przy równoczesnym utrzymaniu na pożądanym poziomie stężeń zanieczyszczeń w profilach kontrolnych. Podstawową niedogodnością tej koncepcji jest konieczność ustalania wartości liczbowych

współczynników wagowych przy poszczególnych członach funkcji celu, charakteryzujących stopień realizacji różnych zadań systemu.

Podobne koncepcje sterowania pracą wielozbiornikowego systemu wodnogospodarczego przedstawione zostały w pracach Brdysia, Findeisena, Frelka, Michalskiej, Tatjewskiego i Woźniaka [1] oraz Rogowskiego, Tyszewskiego i Zielińskiego [25]. W drugiej z nich w procesie wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu, wykorzystano metody optymalizacji wielokryterialnej, co umożliwiło pełniejsze uwzględnienie jakościowych aspektów gospodarowania zasobami wodnymi.

Wnioski jakie wypływają z wyżej wymienionych prac znalazły odzwierciedlenie w materiałach Międzynarodowej Konferencji Naukowej "The Operation of Multiple Reservoir Systems" [10]. W wielu prezentowanych tam pracach, podkreślano zasadność tworzenia odpowiednio wyposażonych i oprogramowanych, scentralizowanych ośrodków dyspozycyjnych, zarządzających pracą całego systemu wodnogospodarczego. Stwierdzono również, że ze względu na kluczową rolę prognoz w procesie podejmowania decyzji, dotyczących sterowań pracą systemu, koniecznym jest prowadzenie intensywnych prac związanych z doskonaleniem modeli prognostycznych.

Dokonując krótkiego podsumowania opisanych wyżej prac można stwierdzić, że dotychczasowe prace przebiegały w dwóch zasadniczych kierunkach. Pierwszy z nich związany jest z optymalizacją pólztywnych reguł decyzyjnych /planów dyspozytorskich/ w oparciu o badania symulacyjno-optymalizacyjne, prowadzone na długich, historycznych lub wygenerowanych ciągach realizacji procesu zasilania systemu w wodę.

Drugi związany jest z wyznaczaniem sterowań pracą systemu na bieżąco w oparciu o różnego typu koncepcje układów sterowania, wypracowane przez teorię sterowania złożonymi systemami dynamicznymi.

1.2. Cel pracy

Niniejsza praca stanowi próbę opracowania metodyki tworzenia symulacyjno- optymalizacyjnego modelu systemu wodnogospodarczego, który dzięki interakcyjnemu sposobowi pracy, wspomaga dyspozytora systemu w procesie wyznaczania decyzji dotyczących sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie wodnogospodarczym. Model tego typu, w oparciu o postulaty dyspozytora, wyznacza sterowania pracą systemu oraz dostarcza informacji o stanie systemu i skutkach związanych z ewentualną realizacją tych sterowań.

Proponowana metodyka przewiduje opracowanie niezależnych algorytmów sterowania pracą systemu wodnogospodarczego dla warunków normalnych i niedoboru wody oraz dla warunków powodziowych. Algorytmy te, w zależności od aktualnej sytuacji panującej w systemie będą przejmowały sterowanie jego pracą.

W niniejszej pracy przyjęto, że proponowana metodyka musi spełniać następujące wymagania:

- w procesie wyznaczania sterowań powinny być uwzględnione zarówno ilościowe jak i jakościowe aspekty gospodarowania wodą,
- w procesie wyznaczania bieżących sterowań dla krótkich przedziałów czasowych powinna być uwzględniona konieczność za-

pewnienia realizacji zadań systemu dla znacznie dłuższego horyzontu czasowego, wynikającego z dynamiki "najwolniejszych" elementów systemu - zbiorników retencyjnych.

Realizacja tych wymagań może być osiągnięta dzięki wykorzystaniu hierarchicznej struktury układu sterowania oraz zastosowaniu analiz optymalizacyjnych o charakterze wielokryterialnym.

Umożliwi to dokonanie dekompozycji czasowej /wielowarstwowość/ i przestrzennej /wielopoziomowość/ zadania wyznaczania sterowań pracą systemu wodnogospodarczego oraz uwzględnienie aspektów związanych z ochroną jakości wód bez konieczności uciekania się do "sztucznego" i kłopotliwego przeliczania jednostek naturalnych /np. stężenie zanieczyszczeń/ na jednostki monetarne.

W celu wykazania prawidłowości i praktycznej przydatności proponowanej metodyki dla potrzeb sterowania w rzeczywistych systemach wodnogospodarczych, przewiduje się wykonanie przykładowych obliczeń dla systemu wodnogospodarczego, wzorowanego na systemie rzeki Kamiennej, obejmującego sześć zbiorników retencyjnych oraz 34 użytkowników wody.

Wymaga to opracowania i oprogramowania konwersacyjnej procedury wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego zadania optymalizacji wielokryterialnej oraz symulacyjno-optymalizacyjnych modeli systemu wodnogospodarczego rzeki Kamiennej, zarówno dla warunków normalnych i niedoboru wody jak i dla warunków powodziowych.

2. STEROWANIE W SYSTEMACH WODNOGOSPODARCZYCH

2.1. Ogólna charakterystyka funkcjonowania systemu wodnogospodarczego

Sterowanie pracą obiektów hydrotechnicznych systemu wodnogospodarczego analizowane jest w warunkach istniejących środków hydrotechnicznych tworzących dany system.

Celem działania systemu wodnogospodarczego, a tym samym celem sterowania, jest możliwie pełne zaspokojenie zapotrzebowania na wodę jej odbiorców, bez naruszania w istotny sposób środowiska naturalnego oraz zabezpieczenie przeciwpowodziowe określonych obszarów. Każdy system wodnogospodarczy niezależnie od własnej specyfiki, wynikającej np. z ukształtowania terenu, przewagi przemysłu czy rolnictwa, z punktu widzenia teorii sterowania jest złożonym systemem, tzn. zespołem wielu powiązanych między sobą obiektów, takich jak: zbiorniki retencyjne, aglomeracje miejskie, rejony upraw rolnych, zakłady przemysłowe itp.

Zarówno rozdział i ochrona jakości zasobów wodnych, jak i eksploatacja obiektów systemu wymaga podejmowania różnorodnych działań, z których jako zasadnicze można wydzielić przepisy prawno-eksploatacyjne oraz bieżące decyzje sterujące. Przepisy prawno-eksploatacyjne ustalane na dłuższe okresy czasu określają takie elementy jak np.:

- wymagane przepływy nienaruszalne i dopuszczalne normy zanieczyszczeń w ciekach naturalnych,
- zezwolenia wodno-prawne na eksploatację z określoną intensywnością ujęć wód podziemnych,
- minimalne dopuszczalne ilości wody w zbiornikach retencyj-

nych /tzw. pojemności rezerwowe/ oraz rezerwy powodziowe w tychże zbiornikach,

- opłaty za korzystanie z wody,
- normy dotyczące zrzucanych do odbiorników zanieczyszczeń i kary za przekraczanie tych norm,
- priorytety potrzeb użytkowników wody,
- normy dotyczące np. ciśnienia wody w sieci wodociągowej i parametrów jakościowych wody pitnej.

Decyzje prawno-administracyjne ustalające te przepisy podejmowane są z uwzględnieniem średnich warunków zasilania systemu przez dopływy naturalne, średniej szybkości procesów regenerowania się wód gruntowych, średniej wydajności oczyszczalni ścieków i wydajności procesów samooczyszczania się cieków naturalnych, typowych warunków powodziowych, itp. -

Pozostałe decyzje dotyczące rozdziału zasobów i ochrony jakości wód podejmowane są ze znacznie większą częstotliwością, przy uwzględnianiu bieżących informacji dotyczących takich wielkości jak: ilości wody zmagazynowane w zbiornikach retencyjnych, prognozowane na najbliższą przyszłość dopływy naturalne do systemu, prognozowane potrzeby wodne oraz przewidywane ilości zanieczyszczeń wprowadzanych do systemu.

W szczególności decyzje, dotyczyć będą takich wielkości jak np.:

- odpływy ze zbiorników retencyjnych,
- przerzuty wody pomiędzy zbiornikami,
- pobory wody przez takich użytkowników jak: kompleksy nawadnianych użytków rolnych, duże zakłady przemysłowe korzystające z własnych ujęć wód powierzchniowych i podziemnych, wodociągi miejskie, itp.

Powyższe decyzje muszą być zmieniane w czasie i określane w taki sposób, aby możliwie jak najlepiej zagospodarować zasoby wodne

przy aktualnym stanie tych zasobów, aktualnych potrzebach i zasilaniach.

Mechanizmy decyzyjne służące określaniu tych decyzji i strukturę wykorzystania tych mechanizmów określa się mianem sterowania operacyjnego rozdziałem zasobów lub krótko sterowaniem operacyjnym [2,26].

Warto zauważyć, że na poziomie sterowania operacyjnego podstawową rolę odgrywa dynamika systemu wodnego jako całości oraz losowość potrzeb wodnych i procesu zasilania systemu w wodę. Na tym poziomie system wodny, a przynajmniej jego podstawowa część musi być rozpatrywana w sposób łączny.

W odniesieniu do sterowania pracą poszczególnych obiektów systemu należy zauważyć, że częstotliwość podejmowania decyzji będzie tam na ogół większa niż w sterowaniu operacyjnym, np. sterowanie pracą obiektów systemu wodociągowego lub sterowanie rozrzędem wody w zakładzie przemysłowym.

Przed przystąpieniem do wyboru określonej struktury procesu sterowania systemem wodnogospodarczym należy dokonać szczegółowej analizy własności rozpatrywanego systemu.

Z punktu widzenia możliwości sterowania pracą systemu wodnogospodarczego najważniejszymi jego własnościami są:

- wysoki stopień złożoności wyrażający się dużą ilością obiektów, z których znaczna część już sama w sobie stanowi skomplikowany obiekt sterowania, np. system wodociągowy aglomeracji miejskiej obejmujący stacje uzdatniania wody, zbiorniki wody pitnej, stacje pomp, itp.,
- występowanie obiektów o bardzo różnej dynamice poczynając od dużych zbiorników retencyjnych z dynamiką mierzoną w skali miesięcy, poprzez mniejsze zbiorniki terenowe, aż do elementów sieci dystrybucji wody z dynamiką określaną w skali go-

dzin. Rozważanie działania systemu wodnego jako całości z jednoczesnym uwzględnieniem np. pracy zbiorników retencyjnych z jednej strony i stacji wodociągowych oraz pompowni z drugiej strony, wymagałoby utworzenia skomplikowanego, łącznego modelu matematycznego ujmującego dynamikę systemu. W takiej sytuacji należałoby operować skalą czasu wyznaczoną przez "szybkie" elementy systemu /np. stacja pomp/ oraz horyzontem czasowym wyznaczonym poprzez pracę "wolnych" elementów systemu - zbiorników retencyjnych.

przestrzenne rozmieszczenie obiektów na dużych obszarach, powodujące, że powiązania między wieloma obiektami, czy grupami obiektów mogą być uważane za słabe lub nieistotne. Stwarza to możliwości wyodrębnienia z systemu wodnogospodarczego tych jego części, które są ze sobą silnie powiązane i wobec tego w strukturze sterowania stanowią zasadniczą część systemu. Inaczej mówiąc, istnieje możliwość wyeliminowania z rozważań nad zasadniczą częścią systemu tych elementów, które są z nią słabo powiązane. Sterowanie takimi elementami systemu można wówczas rozpatrywać osobno.

jakościowo różny charakter zadań systemu i zasad pracy obiektów hydrotechnicznych w warunkach normalnych i warunkach awaryjnych. Do sytuacji awaryjnych można zaliczyć przede wszystkim okresy zagrożenia powodziowego i samej powodzi oraz awarie systemu, wynikłe z uszkodzeń poszczególnych obiektów systemu np. oczyszczalni ścieków. Oczywistym jest fakt, że w każdej z powyżej wymienionych sytuacji obowiązywać będzie inny system wartości dla oceny obiektów sterowania, inne przepisy eksploatacyjne, itp. Towarzyszyć temu będzie wprowadzenie innych mechanizmów sterowania operacyjnego, zmiana częstotliwości i zakresu ich działania, a nawet zmiana samej struktury sterowania /np. powoły-

wanie Komitetów Powodziowych dla kierowania akcją przeciwpowodziową/. Można więc mówić o różnych reżimach pracy systemu.

- losowy charakter procesu zasilania systemu w wodę oraz potrzeb wodnych niektórych typów użytkowników wody /np. rolnictwo/.
- wielorakość i różnorodność celów działania systemu wodnogospodarczego prowadzące w naturalny sposób do formułowania wielu funkcji kryterialnych, mierzonych w różnych jednostkach.

Już nawet pobieżna analiza wyżej wymienionych własności systemu wodnogospodarczego skłania do przyjęcia stanowiska prezentowanego przez specjalistów z zakresu teorii sterowania [1,15,25], że sterowanie tak wysoce złożonym i zróżnicowanym systemem może odbywać się jedynie w strukturach hierarchicznych, przy czym ze względu na złożoność i wielość celów realizowanych przez system celowym wydaje się rozpatrywanie problemu sterowania w kategoriach optymalizacji wielokryterialnej. W drugiej części rozdziału 2 i w rozdziale 3 przedstawiono opis koncepcji sterowania hierarchicznego i metod optymalizacji wielokryterialnej oraz dokonano analizy ich przydatności dla potrzeb sterowania pracą systemu wodnogospodarczego.

Innego typu problemem jest sposób uwzględniania losowości procesu zasilania systemu w wodę oraz potrzeb wodnych niektórych typów użytkowników. W niniejszej pracy zaproponowano metodę typu heurystycznego, polegającą na uwzględnianiu losowości w sposób pośredni poprzez wykorzystanie prognoz wielkości przepływu w określonych przekrojach oraz prognoz zapotrzebowania na wodę poszczególnych użytkowników. Wówczas dalsze analizy mogą być prowadzone w sposób identyczny jak dla przypadku zdeterminowanego, przy czym wyznaczone sterowania korygowane są w trakcie działania systemu po uzyskaniu nowych, poprawionych prognoz. Ponadto celowym wydaje się opracowanie niezależnych algorytmów

sterowania pracą systemu dla warunków normalnych i warunków awaryjnych, które w zależności od aktualnej sytuacji będą przejmowały sterowanie pracą systemu wodnogospodarczego i jego obiektów.

2.2 Hierarchiczny charakter systemu sterowania

Decydujący wpływ na wybór struktury sterowania pracą systemu wodnogospodarczego ma dynamika jego obiektów oraz zjawisk i procesów w nim zachodzących. Z rozważań przytoczonych wyżej wynika, że sterowanie pracą systemu wodnogospodarczego powinno być określane w taki sposób, aby z jednej strony zapewnić jak najlepszą realizację celów bieżących, a z drugiej strony działanie to musi być dokonywane przy uwzględnieniu konieczności zapewnienia właściwej pracy systemu w przyszłości. Horyzont czasu jaki należy brać pod uwagę na danym etapie sterowania dyktowany jest przez elementy systemu o najwolniejszej dynamice. Należy zwrócić uwagę na fakt, że okres planowania stanów wody w zbiorniku retencyjnym jest znacznie dłuższy niż okres planowania zapotrzebowania wody dla dużego zakładu przemysłowego, czy też pojedynczego odbiorcy miejskiego. Wynika stąd, że zadanie sterowania w systemie wodnogospodarczym musi być rozpatrywane w skali długiego horyzontu czasowego i dotyczy ono wówczas planowania retencji, tworząc tym samym przesłanki do podejmowania działań mających na celu bieżący rozdział zasobów wodnych.

Duże możliwości w tym zakresie stwarza teoria sterowania hierarchicznego złożonymi systemami dynamicznymi. Sterowanie hierarchiczne oparte jest na dwóch podstawowych koncepcjach [2, 5, 15]:

- sterowania wielowarstwowego, gdzie działanie układu sterującego podzielone jest na kilka wzajemnie podporządkowanych warstw działających z różną częstotliwością i wykonujących różne zadania,

- sterowania wielopoziomowego, gdzie cel sterowania systemem jako całością podzielony jest na cząstkowe cele lokalne, przy czym działalność lokalnych jednostek decyzyjnych jest odpowiednio koordynowana.

Poniżej omówiono, jedną z najczęściej proponowanych przez specjalistów z zakresu teorii sterowania, koncepcję hierarchicznego, wielowarstwowego sterowania pracą systemu wodnogospodarczego [1,26]. Idea tej koncepcji polega na tym, że przy rozpatrywaniu warstwy najwyższej, nazywanej często warstwą planowania retencji, rozważa się działanie całego systemu wodnego dla długiego horyzontu czasowego /np. rzędu kilku miesięcy/, wykorzystując uproszczony opis dynamiki systemu. W modelu matematycznym systemu, dla tej warstwy, uwzględnia się dynamikę zbiorników retencyjnych, dynamikę procesu przepływu rzeczno i zapotrzebowań zagregowanych użytkowników wody, zakładając znajomość prognoz długoterminowych tych wielkości.

Podstawowym zadaniem modelu decyzyjnego warstwy planowania retencji jest wyznaczenie sterowań pracą zbiorników retencyjnych i kanałów przerzutowych w taki sposób, aby w pełni wykorzystać ich możliwości transformacji zasobów dyspozycyjnych w czasie i w przestrzeni. Decyzje tej warstwy sterowania mają postać trajektorii napełnień zbiorników i przepływów w kanałach przerzutowych, wyznaczonych dla długiego horyzontu czasowego.

Z reguły trajektorie te otrzymywane są w postaci skończonej ilości punktów, odpowiadających przyjętemu w modelu czasowi dyskretyzacji.

Niezbędne informacje wykorzystywane w modelu systemu wodnego stanowią parametry zbiorników retencyjnych, kanałów przerzutowych i oczyszczalni ścieków, prognozy zapotrzebowania na wodę

zagregowanych odbiorców oraz prognozy dopływów wody do systemu wraz z ich charakterystykami jakościowymi. Bardzo istotnymi wielkościami związanymi z warstwą planowania retencji są: długość horyzontu czasowego, czasu dyskretyzacji oraz częstotliwość interwencji /stawiania nowych prognoz i określania nowych decyzji/. Wielkości te, zależne od wielkości zbiorników retencyjnych, własności procesu zasilania systemu w wodę oraz częstości otrzymywania istotnie różnych prognoz, powinny być określone na podstawie wnikliwej analizy systemu.

Wyznaczone w warstwie planowania retencji sterowania pracą kluczowych obiektów systemu stanowią wielkości wyjściowe dla układu sterowania w warstwie niższej, nazywanej warstwą dystrybucji. W warstwie tej w oparciu o aktualne prognozy krótkoterminowe dopływów wody do systemu i zapotrzebowań na wodę użytkowników rozwiązywany jest problem optymalnego rozdziału dyspozycyjnych zasobów wody, określonych w warstwie planowania retencji. Model matematyczny opisujący funkcjonowanie systemu wodnogospodarczego dla potrzeb warstwy dystrybucji powinien charakteryzować się znacznie większym stopniem dokładności odwzorowania struktury systemu i dynamiki jego obiektów, niż miało to miejsce w modelu dla warstwy planowania retencji.

Warstwa dystrybucji, ze względu na możliwości wydzielenia w systemie wodnogospodarczym, w pewnym sensie autonomicznych podsystemów z własnymi, lokalnymi ośrodkami decyzyjnymi, najczęściej rozpatrywana jest jako dwupoziomowy układ sterowania. W układzie tym jednostki lokalne podejmują decyzje bezpośrednie, w sposób optymalny z punktu widzenia lokalnych, krótkoterminowych interesów podsystemu, natomiast jednostka centralna dba o realizację, przez te jednostki, polityki retencji ustalonej w warstwie nadrzędnej.

Podsumowując powyższe rozważania można stwierdzić, że najbardziej istotnymi cechami koncepcji sterowania wielowarstwowego systemem dynamicznym są:

- w każdej warstwie rozwiązywane jest zadanie optymalizacji na innym horyzoncie czasowym, przy czym im wyższa warstwa tym dłuższy horyzont czasowy,
- model matematyczny systemu, lub też ilość wykorzystywanej informacji w każdej warstwie są różne; najprostszemu model lub najbardziej zagregowane informacje wykorzystuje się w warstwie najwyższej,
- rozwiązanie zadania optymalizacji w danej warstwie dostarcza wystarczającej informacji w postaci stanu końcowego do rozwiązania zadania optymalizacji w warstwie niższej.

Natomiast w przypadku koncepcji sterowania wielopoziomowego najistotniejszym jest:

- możliwość zmniejszenia wymiarowości problemu sterowania, poprzez dokonanie podziału zadania sterowania dużym systemem na szereg znacznie mniejszych zadań sterowania pracą poszczególnych podsystemów. Ma to istotny wpływ na zmniejszenie nakładów obliczeniowych wynikający z nieliniowej zależności pracochłonności obliczeń od wymiarowości zadania optymalizacji,
- stworzenie możliwości kontroli realizacji zaleceń centralnej jednostki decyzyjnej przez lokalne ośrodki sterowania.

3. OPTIMALIZACJA WIELOKRYTERIALNA W ANALIZACH WODNOGOSPODARCZYCH

3.1. Wprowadzenie

W większości dotychczasowych zastosowań metod optymalizacyjnych związanych z eksploatacją obiektów gospodarki wodnej wykorzystywano jedną funkcję kryterialną, opisującą wiele zadań jakie miał wypełniać system wodnogospodarczy. Kryterium tym było najczęściej kryterium ekonomiczne, np. maksymalizacja efektów ekonomicznych, minimalizacja strat, itp. W wielu rozwiązaniach uwzględniano również pozaekonomiczne funkcje, jakie powinny wypełniać obiekty hydrrotechniczne, ale odbywało się to albo drogą ustalenia pewnych sztywnych parametrów nie podlegających optymalizacji, albo przez wykonanie analiz pooptymalizacyjnych. Takie podejście wymagało często sztucznego i skomplikowanego przeliczania efektów z jednostek naturalnych /np. stężenie zanieczyszczeń/ na jednostki monetarne. Zadania jakie powinien spełniać system wodnogospodarczy, a także jego obiekty są na ogół bardzo złożone, często sprzeczne ze sobą i równie często nie dają się skwantyfikować /mierzyć/ tymi samymi jednostkami.

Począwszy od drugiej połowy lat 60-tych obserwuje się dynamiczny wzrost zainteresowania wykorzystaniem metod optymalizacji wielokryterialnej. Metody te, dopuszczające formułowanie wielu wskaźników jakości, które mogą być wyrażone w różnych jednostkach, stwarzają możliwości bardziej dokładnego, niż w przypadku optymalizacji skalarnej, odwzorowania procesów zachodzących w systemie wodnogospodarczym.

3.2. Sformułowanie problemu optymalizacji wielokryterialnej

Termin "optymalizacja wielokryterialna" lub używany wymiennie termin "optymalizacja wektorowa" [16,21,34], już sam w sobie zawiera opis problemu - optymalizacja funkcji celu, która jest wektorem o składowych, będących skalarnymi wskaźnikami jakości /funkcjami kryterialnymi/.

W ogólnym przypadku zadanie optymalizacji wielokryterialnej można zapisać w następującej postaci:

$$\min_{\underline{x}} \{ J_1(\underline{x}), J_2(\underline{x}), \dots, J_k(\underline{x}) \}$$

przy ograniczeniach /p.o./

/3.1./

$$G_j(\underline{x}) \leq 0 ; j=1,2,\dots,m$$

gdzie:

\underline{x} - n-wymiarowy wektor zmiennych decyzyjnych;

$J_i(\underline{x})$, $i=1,2,\dots,k$ - skalarne funkcje kryterialne, nazywane również wskaźnikami jakości;

$G_j(\underline{x})$, $j=1,2,\dots,m$ - funkcje ograniczeń, określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych:

$$T = \{ \underline{x} : G_j(\underline{x}) \leq 0 ; j=1,2,\dots,m \} \quad /3.2./$$

Zadanie /3.1./ często przedstawiane jest w tzw. postaci wektorowej:

$$\min_{\underline{x}} \underline{J}(\underline{x})$$

p.o.

/3.3./

$$\underline{G}(\underline{x}) \leq \underline{0}$$

gdzie:

$\underline{J} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^k$ jest wektorową funkcją kryterialną;

$\underline{G} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ jest wektorową funkcją ograniczeń;

$\underline{0} \in \mathbb{R}^m$ jest wektorem, którego wszystkie elementy są równe 0

Każdy wektor \underline{x} zmiennych decyzyjnych, należący do zbioru rozwiązań dopuszczalnych T w sposób jednoznaczny określa wartości składowych wektorowej funkcji kryterialnej $\underline{J}(\underline{x})$ [4,8,21]. Wynika stąd, że zbiorowi rozwiązań dopuszczalnych T w przestrzeni decyzji $/R^n/$ odpowiada tzw. zbiór celów:

$$S = \{ \underline{J}(\underline{x}) : \underline{x} \in T \} \quad /3.4./$$

w przestrzeni jakości $/R^k/$.

Wobec powyższego, problem optymalizacji wielokryterialnej może być również zapisywany w następującej postaci:

$$\min_{\underline{x}} \underline{J}(\underline{x})$$

p.o. $\underline{J}(\underline{x}) \in S \quad /3.5./$

$$\underline{J}(\underline{x}) \in S$$

Dodatkowych wyjaśnień wymaga pojęcie "minimalizacja wektorowej funkcji celu", które nie jest tak oczywiste jak minimalizacja skalarnej funkcji celu.

Zadanie optymalizacji skalarnej zapisywane jest najczęściej w postaci:

$$\min_{\underline{x}} J(\underline{x})$$

p.o. $G_j(\underline{x}) \leq 0 ; j=1,2,\dots,m \quad /3.6./$

$$G_j(\underline{x}) \leq 0 ; j=1,2,\dots,m$$

gdzie:

$J : R^n \rightarrow R^1$ jest skalarną funkcją celu.

Rozwiązanie zadania optymalizacji skalarnej /3.6./ polega na znalezieniu takiego wektora zmiennych decyzyjnych $\underline{x}^* \in T$, nazywanego punktem optymalnym, który dla wszystkich $\underline{x} \in T$ spełnia nierówność:

$$J(\underline{x}^*) \leq J(\underline{x}) \quad /3.7./$$

Warto zauważyć, że w zadaniach optymalizacji skalarnej każde dwa rozwiązania dopuszczalne \underline{x}' i \underline{x}'' mogą być porównane przy pomocy funkcji kryterialnej, tzn. można stwierdzić, że \underline{x}' jest rozwiązaniem lepszym od \underline{x}'' , jeżeli $J(\underline{x}') < J(\underline{x}'')$. Ze względu na wektorowy charakter oceny rozwiązań dopuszczalnych, w optymalizacji wielokryterialnej porównanie dwóch rozwiązań $\underline{x}' \in T$ i $\underline{x}'' \in T$ wymaga wprowadzenia definicji relacji typu "gorszy - lepszy" /typu " \ll " / dla wektorów.

Definicja 1

Dla dwóch wektorów $\underline{y} \in R^k$ i $\underline{z} \in R^k$ zależność:

$$\underline{y} \ll \underline{z}$$

/3.8./

zachodzi tylko wtedy, gdy dla każdego $i=1,2,\dots,k$ spełniony jest warunek $y_i < z_i$, gdzie y_i oraz z_i są składowymi wektorów \underline{y} i \underline{z} [4, 8].

Definicja 1 umożliwia wprowadzenie dwóch kolejnych definicji, podstawowych dla teorii optymalizacji wielokryterialnej; definicji rozwiązania optymalnego oraz tzw. rozwiązania nie-zdominowanego /polioptymalnego/.

Definicja 2

Rozwiązanie \underline{x}^* nazywa się rozwiązaniem optymalnym zadania optymalizacji wielokryterialnej /3.1./, wtedy i tylko wtedy gdy: $\underline{x}^* \in T$ oraz dla wszystkich $\underline{x} \in T$ spełniona jest relacja $J(\underline{x}^*) \ll J(\underline{x})$.

Definicja 3

Rozwiązanie $\underline{\hat{x}}$ nazywa się rozwiązaniem polioptymalnym problemu /3.1./, wtedy i tylko wtedy gdy: $\underline{\hat{x}} \in T$ oraz nie istnieje takie rozwiązanie $\underline{x} \in T$, dla którego spełniona jest relacja

$\underline{J}(\underline{x}) \leq \underline{J}(\underline{\hat{x}})$ równoważna układowi nierówności:

$$J_i(\underline{x}) < J_i(\underline{\hat{x}}); \quad i=1,2,\dots,k \quad /3.9./$$

przy czym przynajmniej jedna z nierówności spełniona jest w sposób ostry.

Definicja 3.a

Rozwiązanie $\underline{x}' \in T$ nazywa się zdominowanym /gorszym/, jeżeli w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych istnieje takie rozwiązanie \underline{x}'' , że

$$\underline{J}(\underline{x}'') < \underline{J}(\underline{x}').$$

Łatwo można zauważyć, że przy dużej liczbie zadań systemu wodnogospodarczego występują - ogólnie rzecz biorąc - sprzeczności, które prowadzą do tego, że odpowiednie wskaźniki jakości nie mogą być jednocześnie zoptymalizowane przez określone sterowanie /wybór wielkości zmiennych decyzyjnych/.

Wobec powyższego można stwierdzić, że w przypadku ogólnym, w optymalizacji wielokryterialnej możliwe jest tylko częściowe uporządkowanie zbioru rozwiązań dopuszczalnych T , tzn. możliwe jest tylko wydzielenie zbioru P rozwiązań niezdominowanych:

$$P = \left\{ \underline{J}(\underline{x}) : \underline{x} \text{ jest rozwiązaniem polioptymalnym} \right\}$$

W pracy [4,21] udowodniono, że wszystkie rozwiązania polioptymalne $\underline{J}(\underline{\hat{x}}) \in P$ znajdują się na brzegu /linii granicznej/ obszaru S .

W związku z powyższymi stwierdzeniami, można powiedzieć [15], że optymalizacja wektorowa polega na znajdowaniu wszystkich rozwiązań polioptymalnych, czyli na znalezieniu zbioru P , nazywanego często optimum w sensie Pareto lub zbiorem kompromisów. Istotną właściwością rozwiązań należących do zbioru kompromisów jest to, że poprawa wartości jednego ze wskaźników jakości może odbyć się tylko kosztem pogorszenia jednego

lub wielu pozostałych kryteriów.

W celu lepszego naświetlenia opisanych wyżej, podstawowych problemów optymalizacji wielokryterialnej zilustrowano je prostym przykładem obliczeniowym:

$$\min [J_1(\underline{x}) = -5x_1 + 2x_2; J_2(\underline{x}) = x_1 - 4x_2]$$

p.o.

/3.10./

$$G_1(\underline{x}) = -x_1 + x_2 - 3 \leq 0$$

$$G_2(\underline{x}) = x_1 + x_2 - 8 \leq 0$$

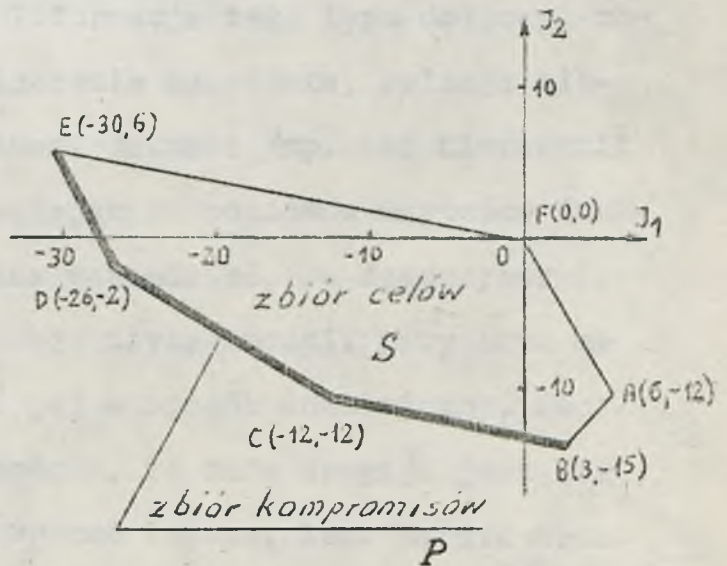
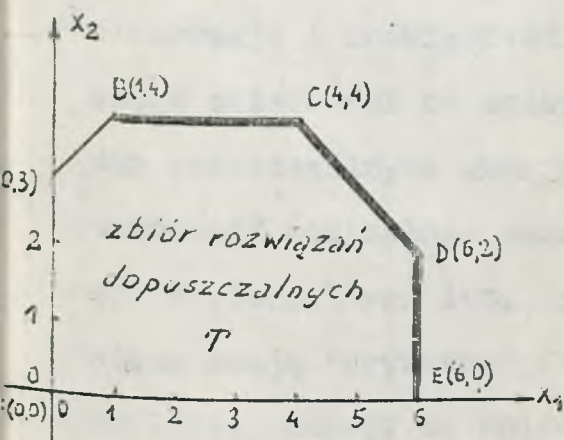
$$G_3(\underline{x}) = x_1 - 6 \leq 0$$

$$G_4(\underline{x}) = x_2 - 4 \leq 0$$

$$G_5(\underline{x}) = -x_1 \leq 0$$

$$G_6(\underline{x}) = -x_2 \leq 0$$

Zbiory: rozwiązań dopuszczalnych T , celów S oraz kompromisów P , dla rozpatrywanego przykładu, przedstawiono na rys.3.1.a. i 3.1.b.



Rys.3.1.a.

Obszar decyzji

Rys.3.1.b.

Obszar wartości funkcji kryterialnych

Z punktu widzenia zastosowań praktycznych określenie zbioru kompromisów może być tylko krokiem pośrednim na drodze do podjęcia decyzji, której celem ostatecznym musi być wybór /przez decydenta^x/ określonego, w danych warunkach możliwie "wszechstronnie optymalnego", rozwiązania kompromisowego, nazywanego dalej preferowanym rozwiązaniem kompromisowym /PRK/.

Wybór PRK spośród rozwiązań polioptymalnych związany jest zawsze z wykorzystaniem informacji apriorycznej, dotyczącej funkcji kryterialnych, relacji między nimi, dodatkowych wymagań nie uwzględnianych w modelu optymalizacyjnym itp.

Pod względem charakteru informacje aprioryczne można podzielić na:

- informacje o wzajemnych związkach funkcjonalnych między poszczególnymi wskaźnikami jakości; informacja tego typu najczęściej dostarczana jest w postaci tzw. funkcji użyteczności /utility function/,
- informację subiektywną decydenta wynikającą z własnych obserwacji i doświadczeń. Informacja tego typu dotyczyć może, w zależności od doświadczenia decydenta, relacji między poszczególnymi wskaźnikami jakości /np. ich hierarchii ważności/ minimalnie zadowalających poziomów wartości funkcji kryterialnych itp. Można powiedzieć, że dyspozytor posiada swoją "prywatną" funkcję użyteczności, przy czym na ogół nie potrafi on opisać jej w sposób analityczny. Decydent potrafi na ogół stwierdzić, że dana decyzja jest zła lub spośród dwóch decyzji wybrać lepszą, lecz bardzo trud-

^x/ Osoba lub zespół osób uprawnionych do oceny rozwiązań i podejmowania decyzji

no uzasadnić mu wybór.

3.3. Przegląd metod rozwiązywania zadań optymalizacji wielokryterialnej

Z punktu widzenia udziału decydenta w procesie wyznaczania PRK, metody optymalizacji wielokryterialnej można podzielić na 3 podstawowe grupy.

Do pierwszej grupy zalicza się metody umożliwiające wyznaczenie zbioru rozwiązań polioptymalnych.

Idea tego podejścia polega na wyznaczeniu zbioru rozwiązań polioptymalnych i przedstawieniu go decydentowi, który widzi w takiej sytuacji skutki /lub efekty/ wszystkich ewentualnych decyzji i może na tej podstawie określić PRK lub rozwiązanie do niego zbliżone. Procedura ta związana jest z wielkimi nakładami obliczeniowymi, związanymi z wyznaczeniem zbioru kompromisów lub jego aproksymacją.

Najczęściej wykorzystywanymi metodami generowania punktów zbioru kompromisów są metody wagowa i ograniczeń.

M e t o d a w a g o w a

Metoda ta opiera się na twierdzeniu Kuhna i Tuckera, którego dowód można znaleźć w pracach Cohona i Kulikowskiego [4,15].

Jeżeli \hat{x} jest punktem polioptymalnym, to istnieje taki wektor współczynników wagowych $\underline{\alpha} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k]$, którego składowe spełniają warunki

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1; \quad \alpha_i \geq 0; \quad i=1,2,\dots,k \quad /3.11./$$

że funkcja skalarna

$$F(\underline{x}) = \sum_{i=1}^k \alpha_i J_i(\underline{x}). \quad /3.12./$$

osiąga swoje minimum w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych T w punkcie $\underline{x} = \hat{\underline{x}}$

Generowanie zbioru rozwiązań polioptymalnych P polega na rozwiązywaniu zadania optymalizacji skalarnej /3.12./ dla różnych wektorów współczynników wagowych $\underline{\alpha}$ spełniających warunki /3.11./ Każde uzyskane w ten sposób rozwiązanie jest jednym z elementów zbioru kompromisów.

Metoda ograniczeń

W metodzie tej generowanie zbioru rozwiązań polioptymalnych P sprowadza się do rozwiązania szeregu zadań optymalizacji skalarnej w postaci:

$$\min J_p(\underline{x}) \quad /3.13./$$

p.o.

$$\underline{x} \in T \quad /3.14./$$

$$J_j(\underline{x}) \leq D_j \quad j=1,2,\dots,p-1,p+1,\dots,k \quad /3.15/$$

gdzie:

D_j - górne ograniczenie wartości j -tego wskaźnika jakości

dla różnych kombinacji wartości górnych ograniczeń D_j wskaźników jakości. Każde uzyskane w ten sposób rozwiązanie jest jednym z elementów zbioru P .

Do drugiej grupy metod optymalizacji wielokryterialnej należą metody umożliwiające jednoznaczne, bezpośrednie wyznaczenie preferowanego rozwiązania kompromisowego. Podstawowymi i najczęściej wykorzystywanymi metodami są metody funkcji użyteczności, programowania docelowego i leksykograficzna.

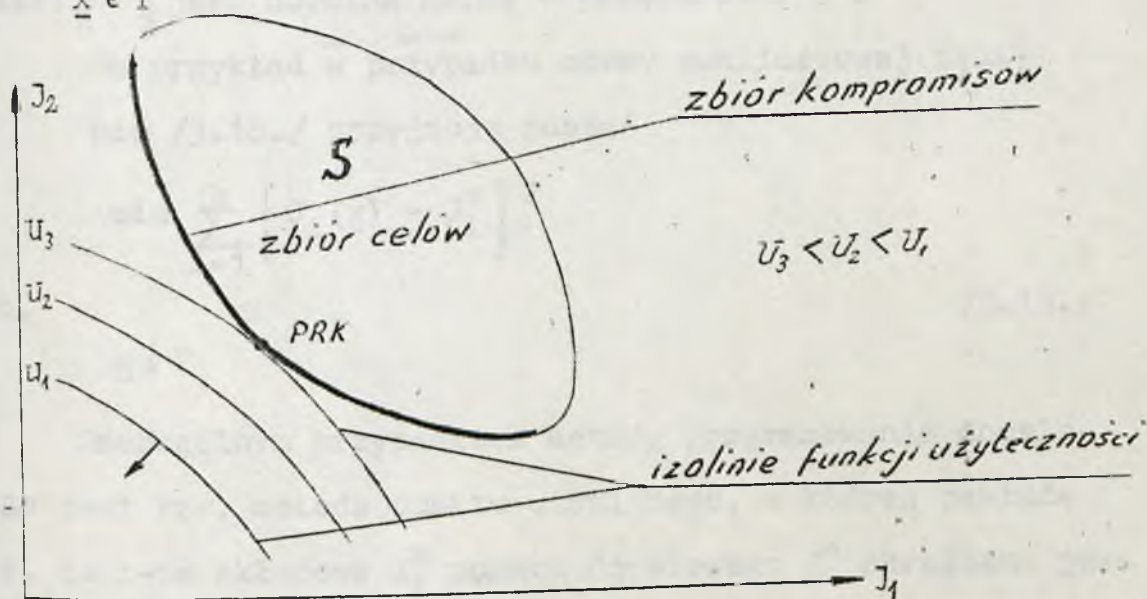
Metoda funkcji użyteczności

W metodzie tej zakłada się, że znana jest postać funkcji użyteczności:

$$U = U[J_1(\underline{x}), J_2(\underline{x}), \dots, J_k(\underline{x})] \quad /3.16./$$

Preferowane rozwiązanie kompromisowe określane jest jako rozwiązanie, które maksymalizuje zbiorową użyteczność /society's utility/. PRK może być wyznaczone przez rozwiązanie zadania optymalizacji skalarnej o postaci:

$$\begin{aligned} \text{p.o.} \quad & \max U[\underline{J}(\underline{x})] \\ & \underline{x} \in T \end{aligned} \quad /3.17./$$



Rys.3.2. Wyznaczanie PRK metodą funkcji użyteczności

Należy tu podkreślić, że zgodnie z opinią ekonomistów ustalenie postaci funkcji użyteczności jest zadaniem [3,17,31] niezwykle trudnym.

Metoda programowania docelowego /Goal programming/

Metoda ta wymaga określenia przez decydenta pożądaných poziomów wartości J_i^* , $i=1,2,\dots,k$ jakie mają osiągnąć poszczególne funkcje kryterialne, przy czym zakłada się, że punkt docelowy $\underline{J}^* = J_1^*, J_2^*, \dots, J_k^*$ nie należy do zbioru celów S .

PRK definiowane jest jako rozwiązanie, które minimalizuje odchylenie punktu docelowego od zbioru celów.

$$\min \left\| \underline{J}(x) - \underline{J}^* \right\|$$

p.o.

/3.18./

$$\underline{x} \in T$$

gdzie: $\| \cdot \|$ jest dowolną normą w przestrzeni R^k .

Na przykład w przypadku normy euklidesowej zadanie /3.18./ przyjmuje postać:

$$\min \sum_{i=1}^k \left[J_i(\underline{x}) - J_i^* \right]^2$$

p.o.

/3.19./

$$\underline{x} \in T$$

Szczególnym przypadkiem metody programowania docelowego jest tzw. metoda punktu utopijnego, w której zakłada się, że i -ta składowa J_i^* punktu docelowego \underline{J}^* określana jest przez rozwiązanie zadania optymalizacji skalarnej o postaci:

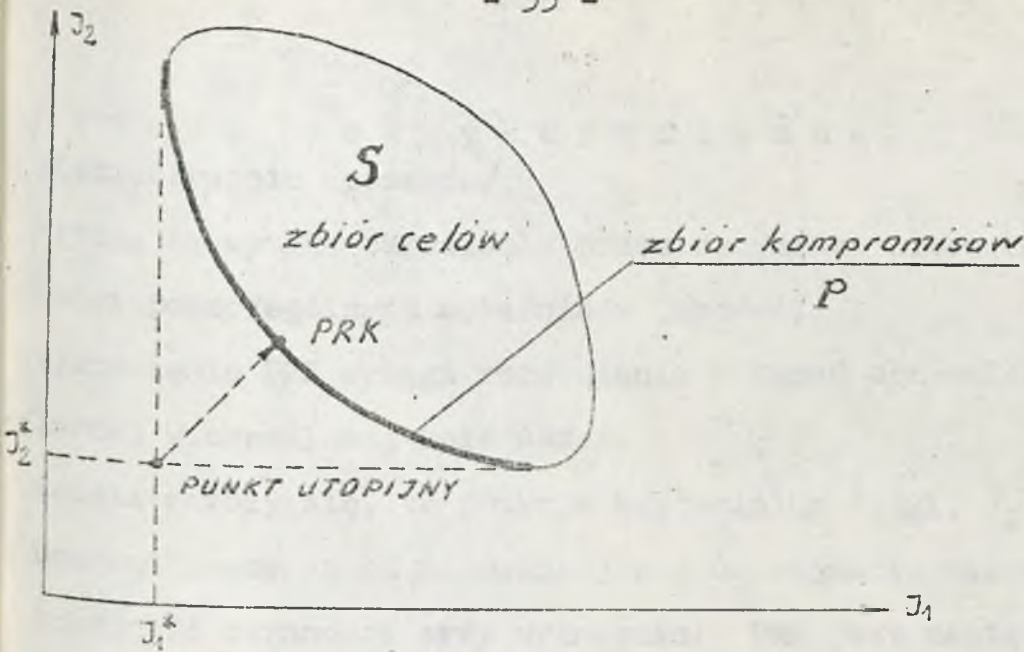
$$\min J_i(\underline{x})$$

p.o.

/3.20./

$$\underline{x} \in T$$

Metoda programowania docelowego charakteryzuje się tym, że wszystkie kryteria są jednakowo ważne, co w praktycznych zastosowaniach występuje na ogół rzadko.



Rys.3.3. Ilustracja metody punktu utopijnego

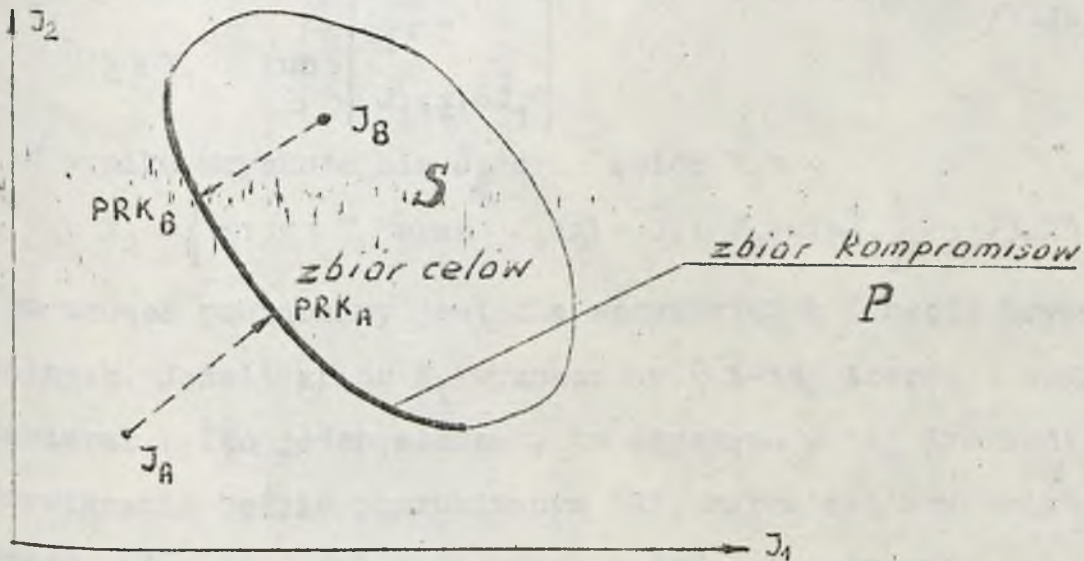
Wierzbicki [36] uogólnił metodę programowania docelowego poprzez wyeliminowanie warunku $\underline{J}^* \in S$.

W tym przypadku postać zadania jest następująca:

$$\min_{\underline{x} \in T} \omega [\underline{J}(\underline{x}), S, \underline{J}^*] = - \prod_{i=1}^k \max \left\{ 0; [J_i^* - J_i(\underline{x})] \right\} + \beta \sum_{i=1}^k \left\{ \max \left\{ 0; [J_i(\underline{x}) - J_i^*] \right\} \right\}^2$$

p.o. $\underline{x} \in T$ /3.21./

gdzie: $\beta > 0$ - współczynnik funkcji kary



Rys.3.4. Ilustracja metody Wierzbickiego wyznaczania PRK

Metoda leksykograficzna
/Lexicographic approach/

Metoda ta wymaga określenia przez decydenta hierarchii ważności poszczególnych wskaźników jakości.

Wyznaczenie PRK wymaga rozwiązania k zadań optymalizacji skalarnej w określonej kolejności.

Jeżeli założy się, że funkcje kryterialne $J_1(\underline{x}), J_2(\underline{x}), \dots, J_k(\underline{x})$ uporządkowane są od najważniejszej do najmniej ważnej, to kolejność czynności przy wyznaczaniu PRK jest następująca:

i/ rozwiązuje się zadanie optymalizacji skalarnej o postaci:

$$\begin{array}{ll} \text{p.o.} & \min J_1(\underline{x}) \\ & \underline{x} \in T \end{array} \quad /3.22./$$

W wyniku uzyskuje się minimalną wartość \hat{J}_1 najważniejszej funkcji kryterialnej, do której może prowadzić wiele rozwiązań dopuszczalnych, tworzących zbiór

$$Y_1 = \left\{ \underline{x}: \underline{x} \in T \text{ oraz } J_1(\underline{x}) = \hat{J}_1 \right\} \quad /3.23./$$

ii/ rozwiązuje się zadanie optymalizacji skalarnej o postaci:

$$\begin{array}{ll} \text{p.o.} & \min J_2(\underline{x}) \\ & \underline{x} \in Y_1 \quad \text{lub} \quad \left\{ \begin{array}{l} \underline{x} \in T \\ J_1(\underline{x}) = \hat{J}_1 \end{array} \right\} \end{array} \quad /3.24./$$

W wyniku uzyskuje się \hat{J}_2 oraz zbiór Y_2 :

$$Y_2 = \left\{ \underline{x}: \underline{x} \in T \text{ oraz } J_1(\underline{x}) = \hat{J}_1; J_2(\underline{x}) = \hat{J}_2 \right\} \quad /3.25./$$

Ten proces powtarzany jest dla wszystkich k funkcji kryterialnych. Jeżeli zbiór Y_i wyznaczony w i-tej iteracji będzie zawierał tylko jeden element, to uzyskane w tej iteracji rozwiązanie będzie poszukiwanym PRK, natomiast kryteria mniej ważne od $J_i(\underline{x})$ będą przez metodę zignorowane.

W przypadku podejścia leksykograficznego często zdarza się, że już Y_1 jest zbiorem jednoelementowym, a więc metoda ignoruje /k-1/ pozostałych wskaźników jakości.

Niedogodność tą eliminuje modyfikacja tej metody zaproponowana przez Waltza [8]. Idea tej metody polega na tym, że po minimalizacji kryterium $J_1(\underline{x})$, drugie kryterium $J_2(\underline{x})$ minimalizowane jest pod warunkiem, że wartość pierwszego kryterium nie pogorszy się więcej niż o ΔJ_1 ustalone przez decydenta, czyli

$$\begin{array}{l} \text{p.o.} \\ \min J_2(\underline{x}) \\ \underline{x} \in T \\ J_1(\underline{x}) - \hat{J}_1 \leq \Delta J_1 \end{array} \quad /3.26./$$

W i-tej iteracji postać zadania jest następująca:

$$\begin{array}{l} \text{p.o.} \\ \min J_i(\underline{x}) \\ \underline{x} \in T \\ J_j(\underline{x}) - \hat{J}_j \leq \Delta J_j ; \quad j=1,2,\dots,i-1 \end{array} \quad /3.27./$$

Proces ten jest powtarzany dla wszystkich kryteriów.

Do trzeciej grupy metod optymalizacji wielokryterialnej należą tzw. metody konwersacyjne /interaktywne/ wymagające czynnego udziału decydenta.

Idea tych metod polega na tym, że po wygenerowaniu jednego lub kilku rozwiązań polioptymalnych przedstawia się je decydentowi, który ocenia ich jakość ze swojego punktu widzenia. Na ogół po analizie uzyskanych rozwiązań potrafi on wskazać przybliżony kierunek dalszych poszukiwań. Następnie uwzględniając wskazówki decydenta generuje się kolejne rozwiązania należące do zbioru polioptymalnego i ponownie przed-

stawia się je do oceny. Postępowanie takie kontynuowane jest do momentu, gdy decydent uzna, że jedno z uzyskanych rozwiązań jest zadowalające. Przykładem ilustrującym tą grupę metod może być opracowana i oprogramowana przez autora, konwersacyjna procedura wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego /PRK/. Procedura ta, opisana poniżej, wykorzystywana jest w dalszej części pracy do wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego.

W prezentowanym algorytmie do generowania rozwiązań polioptymalnych wykorzystano zmodyfikowaną, przez Wierzbickiego [36], wersję metody programowania docelowego.

Idea działania tego algorytmu polega na tym, że decydent określa pożądane wartości poszczególnych funkcji kryterialnych $\underline{J}^0 = [J_1^0, J_2^0, \dots, J_k^0]$ /współrzędne punktu docelowego/, natomiast algorytm poszukuje najbliższego temu punktowi rozwiązania polioptymalnego. Procedura powtarzana jest do momentu osiągnięcia zadowalającego rozwiązania /PRK/.

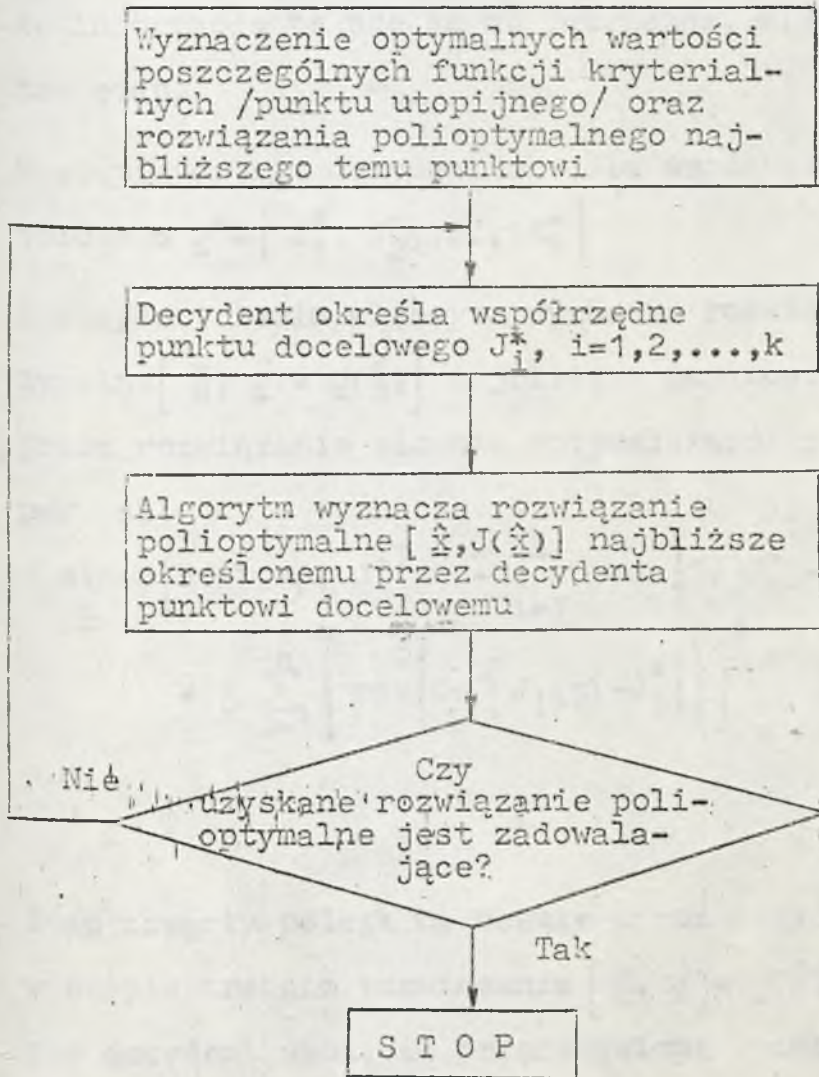
Procedura wyznaczania PRK przebiega w czterech etapach /Rys.3.5/

1. W etapie pierwszym wyznacza się optymalne wartości poszczególnych funkcji kryterialnych poprzez rozwiązanie k zadań optymalizacji skalarnej o postaci:

$$\begin{aligned} & \min J_i(\underline{x}) \\ & \text{p.o.} \\ & \underline{x} \in T \end{aligned} \quad /3.28./$$

Dla uzyskania w ten sposób punktu utopijnego \underline{J} wyznacza się najbliższe rozwiązanie polioptymalne poprzez rozwiązanie zadania o postaci:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^k [J_i(\underline{x}) - J_i^0]^2 \\ & \text{p.o.} \\ & \underline{x} \in T \end{aligned} \quad /3.29./$$



Rys.3.5. Procedura wyznaczania PRK.
Metoda kowarsacyjna.

Etap pierwszy dostarcza decydentowi podstawowych informacji o możliwościach systemu. Jeżeli decydent uzna, że informacje te nie są mu potrzebne, algorytm pomija ten etap.

2. W etapie drugim decydent określa współrzędne punktu docelowego $\underline{J}^* = [J_1^*, J_2^*, \dots, J_k^*]$
3. W etapie trzecim algorytm wyznacza rozwiązanie polioptymalne $[\hat{\underline{x}}, \hat{\underline{J}} = \underline{J}(\hat{\underline{x}})]$ najbliższe punktowi docelowemu poprzez rozwiązanie zadania optymalizacji skalarnej o postaci:

$$\min_{\underline{x}} \omega [J(\underline{x}), \xi, \underline{J}^*] = - \prod_{i=1}^k \max \left\{ 0; [J_i^* - J_i(\underline{x})] \right\} + \xi \sum_{i=1}^k \left\{ \max \left\{ 0; [J_i(\underline{x}) - J_i^*] \right\} \right\}^2$$

p.o.

/3.30./

$\underline{x} \in T$

4. Etap czwarty polega na ocenie przez decydenta uzyskanego w etapie trzecim rozwiązania $[\hat{\underline{x}}, \hat{\underline{J}} = \underline{J}(\hat{\underline{x}})]$. W przypadku gdy decydent uzna, że przedstawione rozwiązanie jest zadowalające, poszukiwanie PRK jest zakończone. W przeciwnym przypadku powtarza się wszystkie czynności rozpoczynając od etapu drugiego.

3.4. Zasady doboru i formułowania funkcji kryterialnych

Jednym z podstawowych problemów przy rozwiązywaniu zadań optymalizacji jest sformułowanie jednego /optymalizacja skalarne/ lub wielu /optymalizacja wektorowa/ wskaźników jakości. Wskaźniki te powinny odzwierciedlać cele działania

rozpatrywanego systemu; od ich doboru w bardzo istotny sposób zależy uzyskane rozwiązanie.

W związku z powyższym uznano za celowe dokonanie krótkiego omówienia problemów związanych z doborem funkcji kryterialnych dla opisu stopnia realizacji różnych zadań systemów wodnogospodarczych.

W gospodarce wodnej przyjęło się podejście polegające na tym, że w przypadkach gdy należy rozdzielić pewną ilość wody /niewystarczającą na pokrycie wszystkich potrzeb/ pomiędzy różnych użytkowników, woda rozdzielana jest w oparciu o kryteria ekonomiczne typu maksymalizacja efektów ekonomicznych, minimalizacja strat itp. Tego typu kryteria mogłyby być stosowane do oceny realizacji zadań gospodarki wodnej takich jak: zapewnienie odpowiednich ilości wody dla przemysłu i rolnictwa, wykorzystanie zasobów wodnych dla celów energetyki wodnej, transportu wodnego, hodowli ryb itp.

Jednakże przy próbach formułowania postaci matematycznej tych kryteriów pojawia się szereg trudności związanych z określeniem efektów ekonomicznych lub strat wynikających z dostarczenia lub niedostarczenia odpowiedniej ilości wody użytkownikom. W przypadku gdy woda używana jest do produkcji pewnych dóbr /przemysł i rolnictwo/ trudności te wynikają z faktu, że woda jest tylko jednym z wielu, niezbędnych w procesie produkcji, czynników i samo zwiększenie jej dostaw, w oderwaniu od pozostałych czynników wpływających na wzrost produkcji, nie pozwala na jej zwiększenie, a więc i na pojawienie się efektów. Można oczywiście jako efekty przyjmować wielkości unikniętych strat, prowadzi to jednak do innego nie

mniej trudnego problemu - formułowania zależności "deficyt - strata".

Wnioski z prac zespołów [31] zajmujących się problematyką ekonomicznych aspektów gospodarowania wodą wskazują, iż we współczesnej gospodarce narodowej, charakteryzującej się skomplikowanym splotem współzależności między jej komponentami, określenie całokształtu skutków jakie wynikają z niewyprodukowania dóbr określonego typu, nie wydaje się możliwe, nie tylko do skwantyfikowania, ale chociażby samego ich wymienienia.

Pomimo tych wątpliwości, dotyczących możliwości opracowania funkcji typu "strata - deficyt wody", nie ulega wątpliwości, że wielkość deficytu wody u użytkownika powinna być argumentem funkcji kryterialnej. Jedną z możliwych realizacji postaci takiego kryterium mogłaby być funkcja:

$$K(\underline{x}) = f[d(\underline{x})] \quad /3.31./$$

gdzie:

- d- wielkość deficytu wody u użytkownika, zależna od wektora zmiennych decyzyjnych \underline{x}
- f- funkcja strat wywołanych deficytem wody, wyrażająca wielkość utraconej produkcji w jednostkach naturalnych

Warto zwrócić tu uwagę na to, że informacja o wielkości utraconej produkcji, mierzonej w jednostkach naturalnych może okazać się bardziej użyteczna niż wielkość strat wyrażona w złotych.

Ustalenie analitycznej postaci funkcji strat w zależności /3.31./ jest związana ze znacznymi trudnościami, szczególnie

w przypadku użytkowników przemysłowych. Trzeba jednakże wyraźnie podkreślić, że jest to informacja minimalna, niezbędna dla celów racjonalnego sterowania rozrzędem wody i jako taka musi być opracowana dla potrzeb centralnego sterowania systemem.

Innego typu grupą potrzeb wodnych, pojawiającą się w systemie wodnogospodarczym, są potrzeby gospodarki komunalnej i przepływu nienaruszalnego, a więc użytkowników, których potrzeby mają charakter bezwzględny /nie mogą być zastąpione żadnym rozwiązaniem substytucyjnym/.

Ze względu na społeczną wagę ich zaspokojenia najbardziej właściwym sposobem ich uwzględnienia w modelu optymalizacyjnym systemu jest włączenie tej grupy potrzeb do ograniczeń modelu. Innym sposobem może być konstruowanie kryteriów o postaci:

$$K(\underline{x}) = Q_{opt} - Q(\underline{x}) \quad /3.32./$$

gdzie:

Q_{opt} - przepływ lub dopływ minimalny zapewniający pełne pokrycie potrzeb użytkownika,

$Q(\underline{x})$ - aktualny przepływ /lub dopływ/ zależny od wektora zmiennych decyzyjnych \underline{x} .

Podejście to może być o tyle lepsze od poprzedniego, że w normalnych warunkach pracy systemu można żądać pełnego pokrycia potrzeb obu w.w. użytkowników, co daje taki sam efekt jak przeniesienie ich do ograniczeń. W warunkach awaryjnych lub w warunkach wyjątkowo ostrego deficytu wody, kwestia pełnego pokrycia potrzeb staje się dyskusyjna, szczególnie w odniesieniu do gospodarki komunalnej.

Decydent systemu powinien wówczas ustalić, jak duże mogą być odchylenia od całkowitego zapotrzebowania i to odchylenie

stanowiłoby kryterium oceny rozwiązania.

Kolejnym bardzo ważnym zadaniem systemu wodnogospodarczego jest ochrona jakości wód. Znaczenie tego zadania nieustannie wzrasta, w związku z systematycznym wzrostem zanieczyszczenia wód. Dotychczas stosowane w wielu zagadnieniach optymalizacyjnych, kryteria opisujące tylko aspekty ilościowe rozrządu wody w systemie okazują się niewystarczające. Najprostszym ze stosowanych kryteriów jest funkcja opisująca stężenie miarodajne wybranego wskaźnika zanieczyszczenia:

$$K(\underline{x}) = S_w^m(\underline{x}) \quad /3.33/$$

gdzie:

$S_w^m(\underline{x})$ - stężenie miarodajne wskaźnika "w", zależne od wektora zmiennych decyzyjnych.

Inne stosowane kryteria, opisane szczegółowo w pracy oparte są o:

- częstotliwość występowania poszczególnych wartości stężeń danego wskaźnika,
- częstotliwość przekroczenia zadanego stężenia granicznego.

Dużym utrudnieniem przy korzystaniu z tak formułowanych kryteriów jest ograniczanie analizy stanu jakościowego do badania tylko jednego wskaźnika jakości wody. Pozornie problem ten jest eliminowany w przypadkach gdy sterowanie systemem prowadzone jest w oparciu o wielokryterialne modele decyzyjne, Jednakże wprowadzenie większej ilości funkcji kryterialnych wydłuża czas potrzebny na obliczenia oraz komplikuje analizę uzyskiwanych rozwiązań. Z tych powodów bardzo cenne są prace zmierzające do wprowadzenia kompleksowego kryterium oceny jakości wód, umożliwiającego porównanie dwóch dowolnych stanów

przy pomocy jednej wartości liczbowej, nazywanej indeksem jakości wody. Przykładem takiego kryterium może być indeks sformułowany następująco:

$$K(\underline{x}) = \frac{W_1 Z_1(\underline{x}) + W_2 Z_2(\underline{x}) + \dots + W_n Z_n(\underline{x})}{W_1 + W_2 + \dots + W_n} \quad /3.34./$$

gdzie:

$Z_i(\underline{x})$ - przetransponowana wartość i -tego wskaźnika zanieczyszczenia do nowej skali od 0 do 100 %

W_i - waga wyrażająca względny skład i -tego wskaźnika zanieczyszczenia w ogólną jakość wody.

Zaletą tego podejścia jest ujęcie zagadnienia oceny jakości wody przy pomocy jednej funkcji kryterialnej. Inne przykłady budowy indeksu jakości wody omówione są w pracy [13].

Zupełnie innego sposobu podejścia wymaga kolejny użytkownik korzystający bezpośrednio z wody magazynowanej w zbiorniku retencyjnym - energetyka wodna.

Odmienność podejścia związana jest przede wszystkim z przynależnością elektrowni wodnych do zupełnie innego systemu decyzyjnego niż system wodnogospodarczy. Wszystkie przyzbiornikowe elektrownie wodne są obecnie włączone do ogólnokrajowego systemu energetycznego, którego dysponentem jest Państwowa Dyspozycja Mocy /PDM/. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest zupełnie niezależny od innych zadań zbiornika, sposób pracy elektrowni wodnej. Podejmowana decyzja o wielkości odpływu wody przez turbiny elektrowni oparta jest zazwyczaj na przesłankach, wynikających z aktualnego zapotrzebowania na energię i stanu całego systemu energetycznego. Wydaje się, że w obecnej sytuacji energetycznej kraju jak

również w najbliższej perspektywie elektrownie wodne powinny podlegać PDM. W takiej sytuacji zaspokojenie potrzeb wodnych hydroenergetyki w modelu decyzyjnym powinno być uwzględniane poprzez wprowadzenie do zadania optymalizacyjnego dodatkowych ograniczeń, zapewniających odpowiednie ilości wody dla realizacji tego zadania. Kolejnym potencjalnym użytkownikiem systemu wodnogospodarczego jest żegluga śródlądowa. Jak wiadomo, funkcjonowanie żeglugi uwarunkowane jest utrzymaniem odpowiedniego poziomu zwierciadła wody na całym odcinku rzeki, na którym ona się odbywa, przy czym dotyczy to zarówno poziomu minimalnego jak i maksymalnego. Kryteria oceniające pracę systemu ze względu na potrzeby żeglugi można podzielić na dwie grupy. Pierwsza grupa związana jest z oceną funkcjonowania transportu w dłuższym okresie czasu np. 1 miesiąc, 1 kwartał itp. Kryteria te powinny być związane z efektami ekonomicznymi transportowania towarów drogą wodną, a ustalona w oparciu o nie decyzja może stanowić wytyczną dla dyspozytora systemu, jak powinno przebiegać sterowanie w krótszych przedziałach czasowych, tak aby uwzględnić interesy żeglugi.

Druga grupa kryteriów związana jest z bieżącym sterowaniem systemem w przedziałach np. jedno- lub dwudobowych. Najprostszy kryterium z tej grupy może być funkcja o postaci:

$$K(\underline{x}) = \left| Q_{\text{opt}} - Q(\underline{x}) \right| \quad /3.35./$$

gdzie:

Q_{opt} - najkorzystniejsza z punktu widzenia żeglugi

wielkość, przepływu rzeczno-

$Q(\underline{x})$ + aktualny przepływ, zależny od wektora zmiennych decyzyjnych \underline{x}

Inna propozycja dotyczy funkcji badającej zgodność podejmowanej decyzji, dotyczącej wielkości przepływu /lub głębokości/ z decyzją wypracowaną dla dłuższego horyzontu czasowego.

Kolejną grupą zadań systemu wodnogospodarczego jest zapewnienie odpowiednich warunków dla celów rekreacji i turystyki.

Działalność systemu w tym zakresie może przejawiać się albo przez utrzymanie odpowiednich poziomów wody w zbiornikach retencyjnych, albo przez zasilanie rzeki w celu zapewnienia właściwej wielkości przepływu. Odnosnie pierwszej formy działalności najbardziej odpowiednią postacią kryterium powinna być funkcja, opisująca wielkość odchylenia napełnienia zbiornika od optymalnego ze względu na możliwości rekreacji. Możliwości czynnego wypoczynku i rekreacji nad zbiornikami wodnymi są ściśle związane z ich napełnieniem, ponieważ zbyt duże napełnienia ograniczają wielkość terenów plażowych, a zbyt niskie poziomy wody w zbiorniku powodują odsłonięcia zamulonych brzegów i dna zbiornika.

$$K(\underline{x}) = \left| V_{opt} - V(\underline{x}) \right| \quad /3.36./$$

gdzie: V_{opt} - optymalne napełnienie zbiornika retencyjnego z punktu widzenia jego funkcji rekreacyjnych i turystycznych

$V(\underline{x})$ - aktualne napełnienie zbiornika, zależne od wektora zmiennych decyzyjnych \underline{x}

Zadania rekreacyjne systemu, polegające na zasilaniu cieku mogą być opisane przy pomocy funkcji kryterialnej /3.35./, przy czym przez Q_{opt} należy rozumieć najkorzystniejszą ze względów rekreacyjnych i turystycznych wielkość przepływu.

Nie mniej istotnym dla celów rekreacji jest zachowanie odpowiedniej jakości wody. Kryteria tego typu były omówione wyżej, należy jednak zaznaczyć, że powinny one mieć równorzędne znaczenie przy ocenie wypełniania zadań rekreacyjnych, ponieważ samo zachowanie odpowiednich napełnień lub przepływów nie stwarza jeszcze wystarczających warunków dla rekreacji.

Kolejnym bardzo ważnym zadaniem systemu jest ochrona przed powodzią. Miarą realizacji tego zadania może być funkcja kryterialna charakteryzująca stopień redukcji przepływu kulminacyjnego, lub funkcja charakteryzująca wielkość strat powodziowych w zależności od przepływu kulminacyjnego, czyli:

$$K(\underline{x}) = f[Q_{\max}(\underline{x}) - Q_d] \quad /3.37/$$

lub:

$$K(\underline{x}) = g[Q_{\max}(\underline{x})] \quad /3.38/$$

gdzie:

$Q_{\max}(\underline{x})$ - przepływ kulminacyjny zależny od wektora zmiennych decyzyjnych \underline{x}

Q_d - przepływ dozwolony /nieszkodliwy/

g - funkcja określająca wielkość strat w złotych

Podsumowując powyższe rozważania, należy stwierdzić, że stanowią one tylko ogólne wskazówki, jakimi należy kierować się przy ustalaniu postaci funkcji kryterialnych, charakteryzujących stopień realizacji poszczególnych zadań konkretnego systemu wodnogospodarczego.

4. MODEL SYMULACYJNO-OPTYMALIZACYJNY SYSTEMU WODNOSPONDAR- CZEGO DLA POTRZEB WSPOMAGANIA DECYZJI DYSPOZYTORSKICH DOTYCZĄCYCH STEROWAN PRACĄ SYSTEMU

Proponowana metoda wspomagania decyzji dyspozytor-
skich dotyczących bieżących sterowań pracą systemu wodno-
gospodarczego, zgodnie z postulatami zawartymi w rozdzia-
le drugim, składa się z dwóch odrębnych części, z których
pierwsza umożliwia wyznaczanie sterowań w warunkach nor-
malnych i niedoboru wody natomiast druga w okresach wez-
braniowych i powodziowych.

4.1. Metoda wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego w warunkach normalnych i w warun- kach niedoboru wody.

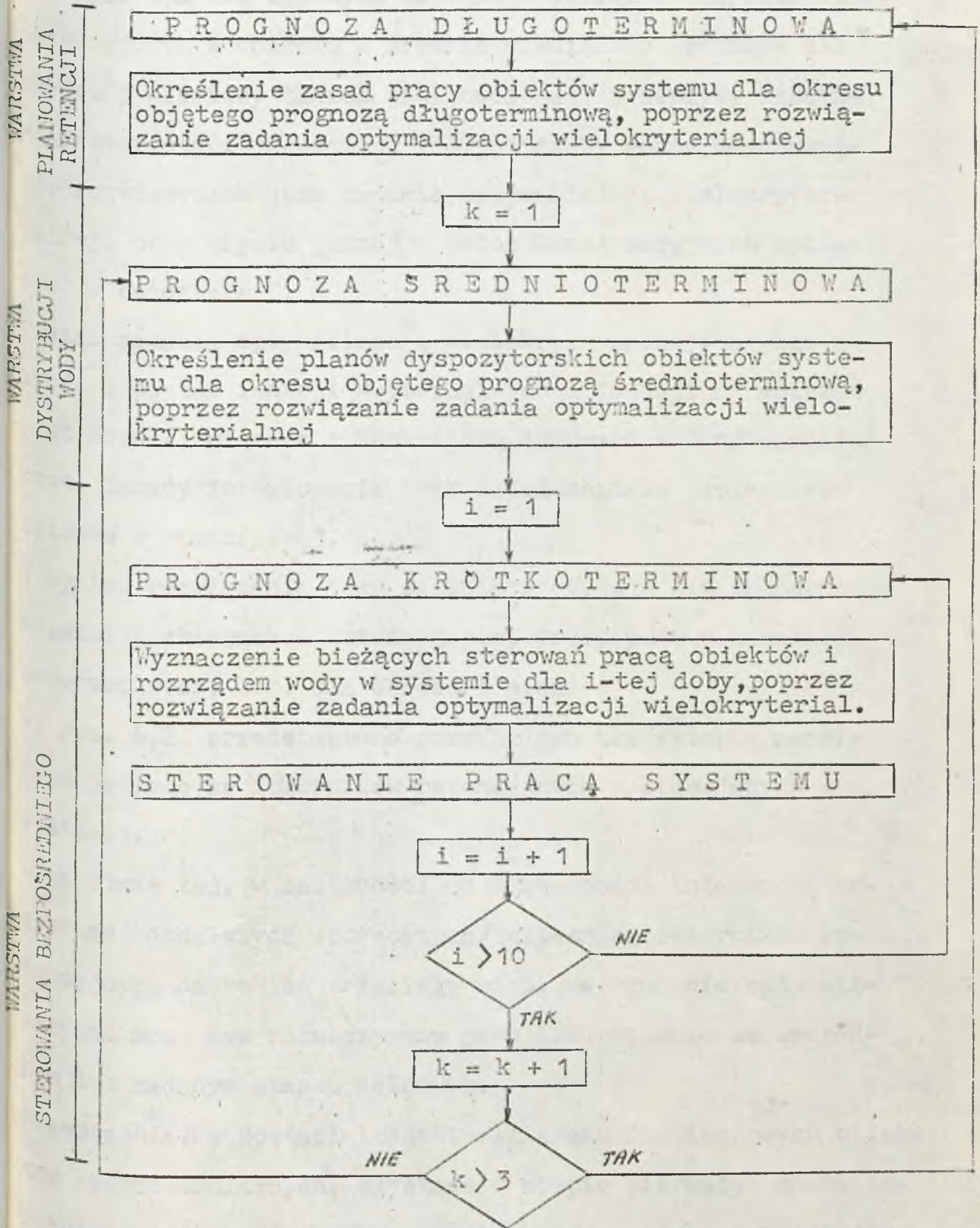
W opracowanej metodzie wspomagania decyzji dyspozy-
torskich przyjęto następujące założenia:

- algorytm współpracuje z dyspozytorem w trybie interak-
cyjnym pełniąc rolę doradcy w procesie ustalania decyzji
dotyczących sterowań pracą obiektów systemu wodnogospo-
darczego, poprzez generowanie decyzji uwzględniających
postulaty dyspozytora oraz pokazywanie efektów i skutków
wynikających z podjęcia tych decyzji,
- sterowanie pracą systemu wodnogospodarczego odbywa się
w układzie wielowarstwowym /dwu- lub trzy-warstwowym/,
przy czym w poszczególnych warstwach uwzględnia się moż-
liwość dokonania dekompozycji przestrzennej zadania stero-
wania, tzn. wykorzystania koncepcji sterowania wielopo-
ziomowego,

- metoda umożliwia kompleksowe rozpatrywanie zagadnień związanych z rozrzędem zasobów wodnych i ochroną ich jakości,
- prowadzone analizy optymalizacyjne mają charakter wielokryterialny,
- losowość procesu zasilania systemu w wodę, potrzeb wodnych niektórych typów użytkowników oraz charakterystyk jakościowych wód uwzględniana jest w sposób pośredni poprzez wykorzystanie prognoz tych wielkości, przy czym przyjęto, że dysponuje się 3 lub 2 typami prognoz /w zależności od ilości warstw/ nazywanymi umownie długoterminowymi, średnioterminowymi i krótkoterminowymi.

W dalszej części tego rozdziału, dla lepszego skoncentrowania uwagi przyjęto, że sterowanie odbywa się w układzie trzywarstwowym, a odpowiadające poszczególnym warstwom typy prognoz obejmują odpowiednio: prognoza długoterminowa - 3 okresy miesięczne, prognoza średnioterminowa okres 1 dekadę, prognoza krótkoterminowa okres 1 doby. Przy tych ustaleniach, prezentowana metoda wspomagania decyzji dyspozytorskich, której schemat ideowy przedstawiono na rys.4.1., obejmuje 3 podstawowe etapy. Każdy z tych etapów odpowiada jednej z warstw układu sterowania i jest związany z wyznaczeniem sterowań pracą systemu dla innego horyzontu czasowego.

Etap pierwszy, odpowiadający warstwie najwyższej /planowania retencji/, związany jest z 3-miesięcznym horyzontem czasowym.



rys.4.1. Schemat ideowy metody wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego

W etapie tym dla zadanych napełnień początkowych zbiorników retencyjnych w oparciu o średnie miesięczne prognozy dla okresu 3 miesięcy takich wielkości jak: przepływy rzeczne, charakterystyki jakościowe wód, potrzeby wodne użytkowników rozwiązywane jest zadanie optymalizacji wielokryterialnej, przy użyciu jednej z metod konwersacyjnych opisanych w rozdziale 3.

Postać zadania optymalizacji wielokryterialnej, a więc ilość i postać funkcji kryterialnych i funkcji ograniczeń, jest ściśle związana z konkretnym systemem wodnogospodarczym. Zasady formułowania tych zadań zostały szczegółowo opisane w rozdziale 3.

W wyniku rozwiązania tego zadania otrzymuje się trajektorie napełnień zbiorników retencyjnych, przepływów w kanałach przerzutowych, itp. dla okresu 3 miesięcy.

Na rys. 4.2. przedstawiono przykładowo trajektorie napełnień jednego ze zbiorników retencyjnych występujących w systemie.

W warstwie tej, w zależności od dostępności informacji dotyczącej docelowych /pożądanych/ napełnień zbiorników retencyjnych na koniec trzeciego miesiąca, zadanie optymalizacyjne może być rozwiązywane jako tzw. zadanie ze swobodnym lub zadanym stanem końcowym.

Rozwiązania, w postaci trajektorii stanu dla kluczowych obiektów hydrotechnicznych, uzyskane w etapie pierwszym charakteryzują sposób pracy systemu wodnogospodarczego, zapewniający właściwą realizację zadań w okresie objętym prognozą długo-

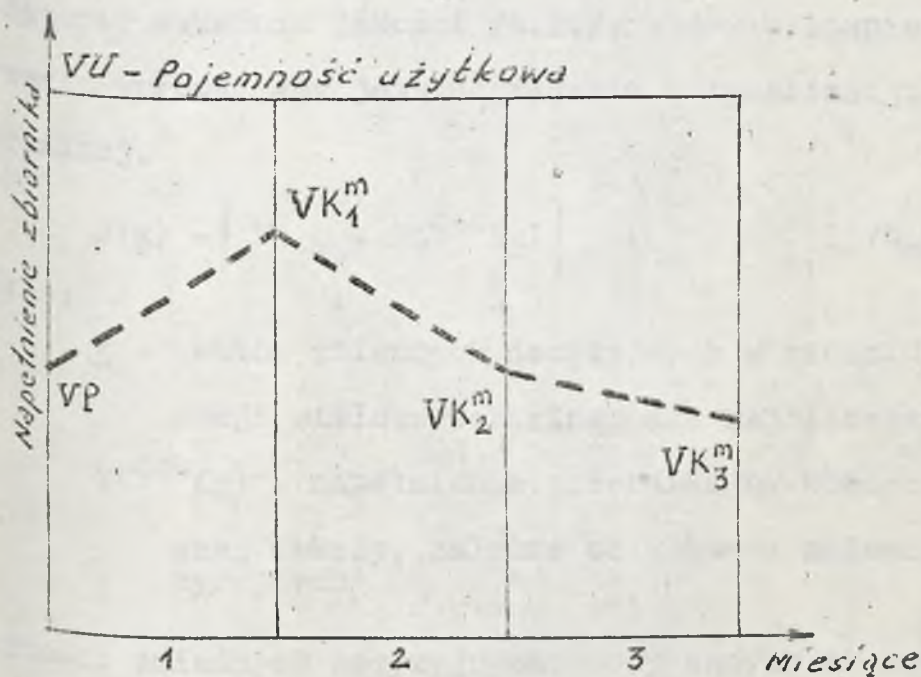
termionową oraz stanowią ogólne wytyczne do ustalania sterowań dla krótszego przedziału czasowego.

Przykładowo w przypadku zbiornika retencyjnego wykorzystując trajektorię napełnień dla okresu 3 miesięcy wyznacza się napełnienie docelowe V_{dek} na koniec najbliższej dekady, w oparciu o następującą zależność:

$$V_{dek} = VP + \frac{VK_1^m - VP}{3} \quad /4.1./$$

gdzie:

VK_1^m - wyznaczone w warstwie planowania retencji napełnienie zbiornika na końcu pierwszego miesiąca



Rys. 4.2. Przykładowa trajektoria napełnień zbiornika retencyjnego dla okresu 3 miesięcy - etap I.

Etap drugi, odpowiadający warstwie dystrybucji wody, związany jest z 1-dekadowym horyzontem czasowym. W etapie tym, dla zadanych napełnień początkowych VP oraz napełnień docelowych V_{dek} określonych w etapie pierwszym, w oparciu o prognozy średnioterminowe rozwiązuje się ponownie zadanie optymalizacji wielokryterialnej.

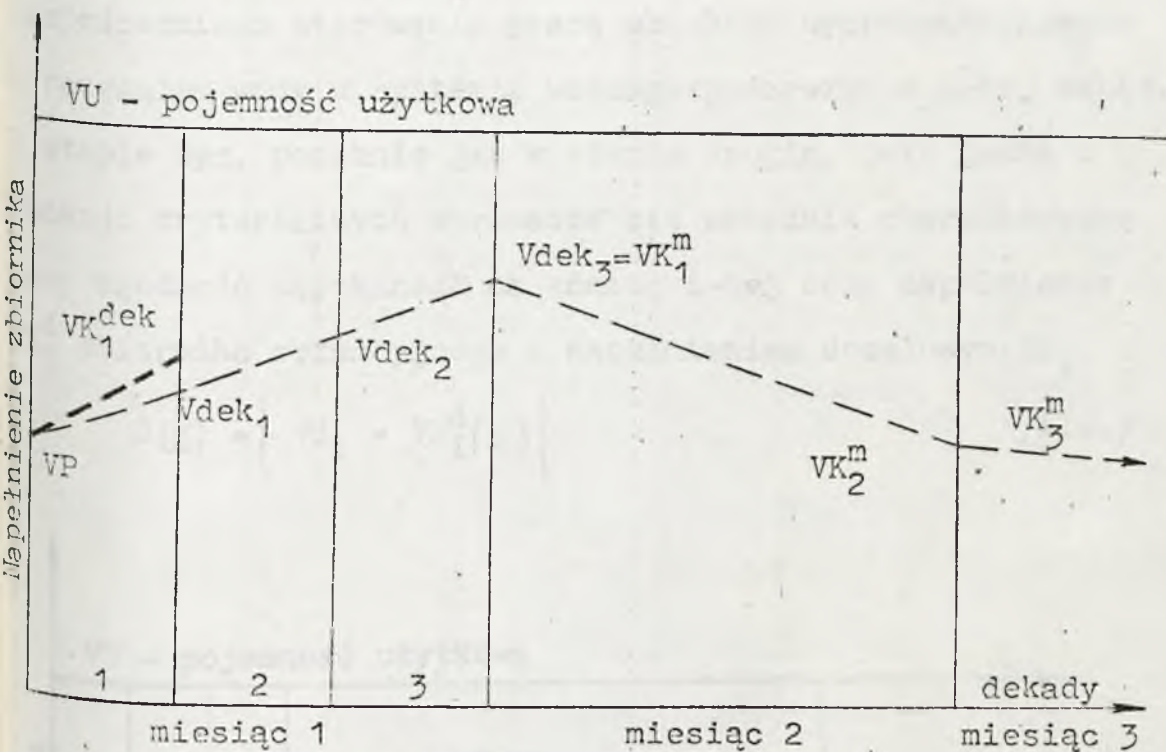
Uzyskane w ten sposób sterowania pracą obiektów hydrotechnicznych systemu w okresie najbliższej dekady są w określonym stopniu zgodne z wyznaczonymi w etapie pierwszym nadrzędnymi planami dyspozytorskimi, uwzględniającymi konieczność spełnienia zadań w dłuższym niż 1 dekada okresie czasu. Stopień tej zgodności charakteryzowany jest poprzez dodatkowy wskaźnik jakości /4.2./, który w etapie drugim i trzecim wprowadzany jest do zadania optymalizacji wielokryterialnej.

$$J(\underline{x}) = \left| V_{dek} - VK^{dek}(\underline{x}) \right| \quad /4.2./$$

gdzie:

- \underline{x} - wektor zmiennych decyzyjnych w zadaniu optymalizacji wielokryterialnej dla najbliższej dekady,
- $VK^{dek}(\underline{x})$ - napełnienie zbiornika na koniec najbliższej dekady, zależne od wektora zmiennych decyzyjnych

Wartości zmiennych decyzyjnych, dotyczących sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych, uzyskane dla rozpatrywanej dekady, przyjmuje się jako wytyczne dla etapu trzeciego, w którym wyznacza się sterowania w okresach dobowych. Etap trzeci, odpowiadający warstwie najniższej /nazywanej umownie warstwą sterowania bezpośredniego/, związany jest z 1-dobowym hory-



Rys. 4.3. Przykładowa trajektoria napełnień zbiornika re-
tencyjnego - etap II.

zontem czasowym.

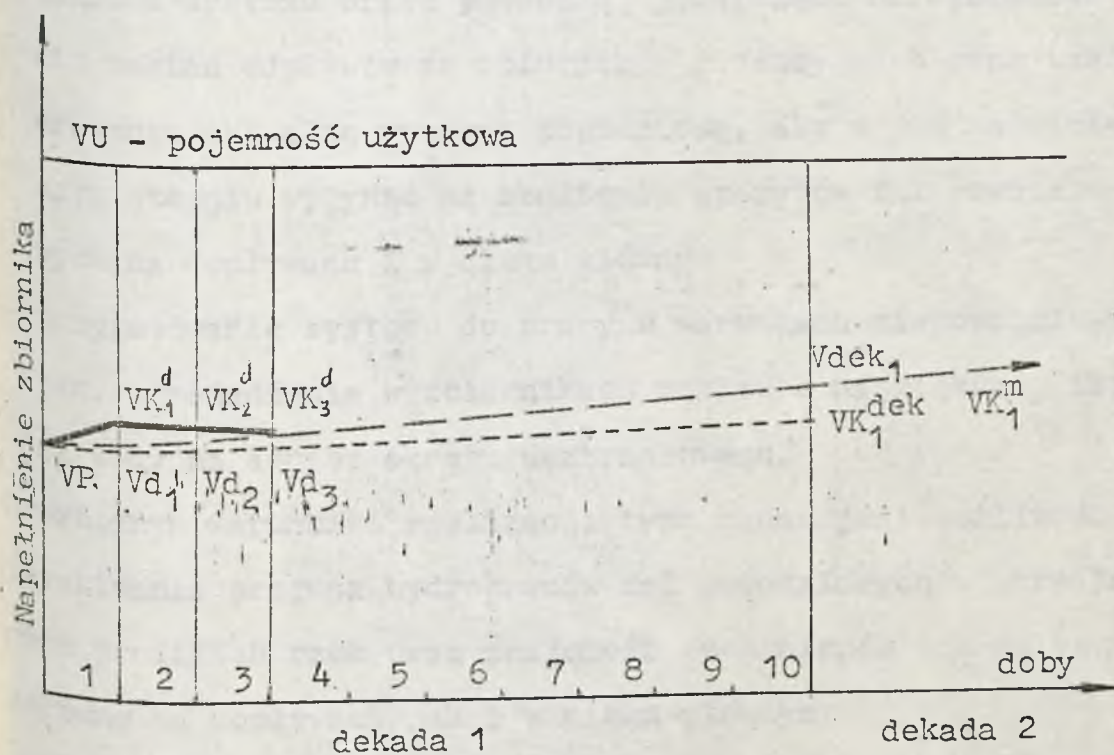
W etapie tym na początku każdej doby "i" w oparciu o za-
leżność /4.3./ obliczane jest napełnienie docelowe Vd_i na
koniec okresu objętego prognozą krótkoterminową.

$$Vd_i = VP + \frac{VK^{dek} - VP}{10} i \quad /4.3./$$

Następnie w oparciu o napełnienie docelowe Vd_i , rzeczywiste
napełnienie na początku i-tej doby oraz krótkoterminową
prognozę przepływów, charakterystyk jakościowych wód i po-
trzeb wodnych użytkowników rozwiązywane jest, przy pomocy
metody konwersacyjnej, zadanie optymalizacji wielokryterial-
nej. W wyniku rozwiązania tego zadania otrzymuje się war-
tości zmiennych decyzyjnych, wykorzystywanych w procesie

bezpośredniego sterowania pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie wodnogospodarczym w i-tej dobie. W etapie tym, podobnie jak w etapie drugim, jako jedną z funkcji kryterialnych wprowadza się wskaźnik charakteryzujący zgodność uzyskanego na koniec i-tej doby napełnienia zbiornika retencyjnego z napełnieniem docelowym Vd_i

$$J(x) = \left| Vd_i - VK_i^d(x) \right| \quad /4.4./$$



Rys.4.4. Przykładowa trajektoria napełnień zbiornika retencyjnego - etap III.

Postępowanie takie wykonywane jest dla wszystkich dni rozpatrywanej dekady.

Na początku każdej dekady wykonywane są wszystkie czynności opisane w etapach drugim i trzecim, natomiast na początku każdego miesiąca należy powtórzyć wszystkie czynności rozpoczynając od etapu pierwszego.

4.2. Metoda wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego w warunkach powodziowych

W warunkach powodziowych czynna ochrona przeciwpowodziowa w systemie wodnogospodarczym realizowana jest przede wszystkim poprzez kompleksowe sterowanie pracą zespołu

zbiorników retencyjnych. Podstawowymi zadaniami sterowania

w okresach wezbraniowych są:

- ochrona systemu przed powodzią, polegająca na wyznaczeniu takich odpływów ze zbiorników retencyjnych oraz takim operowaniu aktualną rezerwą powodziową, aby w jak największym stopniu wpłynąć na obniżenie szczytów fal powodziowych na dopływach i w cieku głównym
- przygotowanie systemu do pracy w warunkach niepowodziowych, tzn. zgromadzenie w zbiornikach możliwie największej ilości wody na koniec okresu wezbraniowego.

Niezbędnym warunkiem realizacji tych zadań jest możliwość uzyskiwania prognoz hydrogramów fal powodziowych w określonych profilach rzek oraz znajomość mechanizmów ich spływu zarówno na dopływach jak i w cieku głównym

Z a ł o ż e n i a m e t o d y i i d e a d z i a ł a -
n i a a l g o r y t m u

Proponowana metoda wyznaczania bieżących sterowań pracą zespołu zbiorników retencyjnych oparta jest na następujących założeniach:

- dostępne są prognozy hydrogramów fal powodziowych w określonych profilach rzek,

- dysponuje się modelami matematycznymi zlewni różnicowych, opisującymi proces transformacji fali powodziowej w korycie rzeczonym oraz proces dopływu bocznego z obszaru zlewni różnicowej,
- dysponuje się modelami matematycznymi zbiorników retencyjnych, uwzględniającymi możliwość wykorzystania rezerwy forsowanej.

Zasada działania algorytmu, uwarunkowana niedokładnością prognoz hydrologicznych i meteorologicznych, polega na tym, że w chwili uzyskania prognoz hydrogramów fal powodziowych wyznacza się hydrogramy odpływów wody przez upusty denne zbiorników retencyjnych dla całego okresu wezbraniowego. Hydrogramy te uzyskuje się w wyniku rozwiązania zadania optymalizacyjnego. Ogólne zasady konstruowania zadania optymalizacji dla tego typu problemu zostały opisane w dalszej części niniejszego rozdziału, natomiast przykład formułowania funkcji kryterialnej i funkcji ograniczeń dla konkretnego systemu wodnogospodarczego przedstawiono w rozdziale 6. Wyznaczone w ten sposób sterowania pracą zbiorników realizowane są do momentu uzyskania nowych informacji, umożliwiających uściślenie prognoz wyjściowych. W oparciu o skorygowane prognozy oraz aktualne wielkości dyspozycyjnej rezerwy powodziowej poszczególnych zbiorników retencyjnych wyznacza się nowe hydrogramy odpływów. Postępowanie takie kontynuowane jest do momentu zakończenia wezbrania w systemie.

Model zbiornika retencyjnego

Podstawą wyznaczenia wielkości całkowitego odpływu ze zbiornika retencyjnego w i -tym przedziale czasowym jest równanie o postaci:

$$\left[Q_i - X_i - 0,5(q_i + q_{i+1}) \right] \Delta t = V_{i+1} - V_i \quad /4.5./$$

gdzie:

Q_i - średni dopływ do zbiornika w i -tym przedziale czasowym,

X_i - średni odpływ ze zbiornika przez upusty denne w i -tym przedziale czasowym /zmienna decyzyjna/,

q_i - wydatek przelewów w i -tej chwili /na początku i -tego przedziału czasowego/,

V_i - napełnienie zbiornika retencyjnego na początku i -tego przedziału czasowego Δt .

Dokumentacja każdego zbiornika retencyjnego między innymi zawiera takie charakterystyki jak: krzywa konsumcyjna odpływu przez przelewy $q=q(H)$ i krzywa pojemności zbiornika $W=W(H)$, gdzie H oznacza stan wody w zbiorniku /rys.4.5./.

W zastosowaniach praktycznych krzywe te najczęściej przyjmowane są w postaci:

$$q(H) = \begin{cases} \alpha(H-H_p)^{3/2} & \text{gdy } H > H_p \\ 0 & \text{gdy } H \leq H_p \end{cases} \quad /4.6./$$

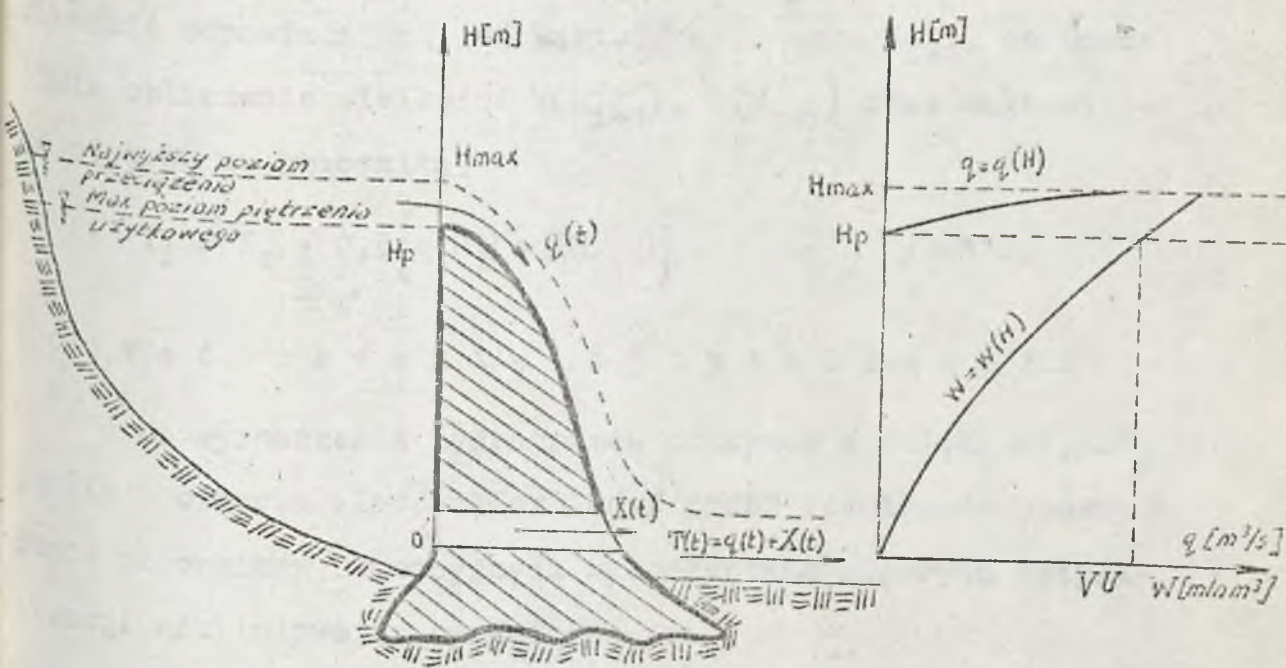
$$W(H) = a H^2 + b H + c \quad /4.7./$$

gdzie:

H_p - stan wody w zbiorniku, odpowiadający rzędnej krawędzi przelewu,

α - współczynnik wydatku przelewu,

a, b, c - parametry równania krzywej pojemności zbiornika



Rys. 4.5. Charakterystyki zbiornika retencyjnego

Po uwzględnieniu w równaniu /4.5./ zależności /4.6./ i /4.7./ oraz dokonaniu prostych przekształceń otrzymuje się równanie w postaci:

$$W(H_{i+1}) + 0,5 \cdot \Delta t \cdot q(H_{i+1}) = (Q_i - X_i) \Delta t - 0,5 \cdot \Delta t \cdot q(H_i) + W(H_i) \quad /4.8./$$

Łatwo, jest zauważyć, że na początku i -tego przedziału czasowego wielkości występujące po prawej stronie równania /4.8./ są określone. Wobec tego oznaczając wartość prawej strony równania przez Z_i oraz wprowadzając ciągłą, monotonicznie rosnącą funkcję pomocniczą:

$$S(H) = W(H) + 0,5 \cdot \Delta t \cdot g(H) \quad /4.9./$$

otrzymuje się równanie:

$$S(H_{i+1}) = Z_i \quad /4.10./$$

Znając wartość Z_i funkcji /4.9./ można w sposób jednoznaczny określić odpowiadającą jej wartość argumentu H_{i+1} , co umożliwia obliczenie wielkości $w(H_{i+1})$, $q(H_{i+1})$ oraz całkowitego odpływu ze zbiornika:

$$T_i = X_i + 0,5 \left[q(H_i) + q(H_{i+1}) \right] \quad /4.11./$$

Postać zadania optymalizacji

Do wyznaczenia hydrogramów odpływów $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$ /gdzie n oznacza ilość zbiorników/ przez regulowane upusty denné zbiorników retencyjnych wykorzystano algorytm optymalizacji nieliniowej z ograniczeniami.

Oczywistym jest fakt, że postać zadania optymalizacyjnego jest ściśle związana z rozpatrywanym systemem wodnogospodarczym. Tym nie mniej można podać ogólne zasady formułowania tego typu zadań.

Model matematyczny systemu wodnogospodarczego, stanowiący odpowiednio uporządkowany zbiór modeli zlewni różnicowych oraz poszczególnych zbiorników, powinien być zbudowany w taki sposób, aby dla zadanych sterowań $X_1(t), \dots, X_n(t)$ dostarczał informacji o przebiegu fali powodziowej w systemie. Informacja ta ma postać hydrogramów przepływów $T_1(t), T_2(t), \dots, T_n(t)$ w przekrojach położonych tuż poniżej zbiorników oraz $T_{n+1}(t), T_{n+2}(t), \dots, T_m(t)$ w przekrojach charakterystycznych dla rozpatrywanego systemu.

Funkcja celu zadania optymalizacyjnego składa się z dwóch podstawowych członów, z których pierwszy związany jest z realizacją zadania redukcji przepływów kulminacyjnych, natomiast drugi "odpowiedzialny" jest za przygotowanie syste-

mu do pracy w warunkach niepowodziowych, w ogólnym przypadku funkcja celu może być przedstawiona w następującej postaci:

$$\begin{aligned} \min F[X_1(t), \dots, X_n(t)] &= \\ &= \sum_{i=1}^m A_i[T_i(t), QD_i] + \sum_{j=1}^n S_j[V_j(t_k), VU_j] \quad /4.12/ \end{aligned}$$

gdzie:

QD_i - przepływ dozwolony /nieszkodliwy/ w i -tym profilu kontrolnym, $i=1,2,\dots,m$

VU_j - pojemność użytkowa j -tego zbiornika retencyjnego, $j=1,2,\dots,n$

t_k - chwila zakończenia wezbrania w systemie,

$V_j(t_k)$ - napełnienie j -tego zbiornika retencyjnego w chwili zakończenia wezbrania,

$A_i[T_i(t), QD_i]$ - funkcja charakteryzująca stopień redukcji przepływu kulminacyjnego w i -tym przekroju kontrolnym, przyjmowana w postaci:

$$A_i[T_i(t), QD_i] = \max_{t \in [t_0, t_k]} \left\{ 0, [T_i(t) - QD_i] \right\} \quad /4.13./$$

gdzie: t_0 - chwila uzyskania prognozy

$S_j[V_j(t_k), VU_j]$ - funkcja charakteryzująca stopień przygotowania j -tego zbiornika do pracy w warunkach niepowodziowych, przyjmowana w postaci:

$$S_j[V_j(t_k), VU_j] = \begin{cases} [VU_j - V_j(t_k)]^2 & \text{gdy } V_j(t_k) < VU_j \\ 0 & \text{gdy } V_j(t_k) \geq VU_j \end{cases} \quad /4.14/$$

Ograniczenia określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych

można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- ograniczenia związane z bilansem wodnym zbiorników retencyjnych:

$$V_j(t_2) = V_j(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} [Q_j(t) - T_j(t)] dt \quad /4.15/$$

$$0 \leq V_j(t_2) \leq W_j(H \max_j) \quad /4.16/$$

dla $j=1,2,\dots,n$

oraz dla wszystkich t_1 i $t_2 \in \langle t_0; t_k \rangle$ spełniających warunek $t_1 < t_2$

gdzie: $Q_j(t)$ oznacza dopływ do j -tego zbiornika

- ograniczenia związane z nieujemnością zmiennych decyzyjnych /rzędnych hydrogramów odpływów ze zbiorników przez upusty denne/:

$$X_j(t) \geq 0 \quad /4.17/$$

dla $j=1,2,\dots,n$ oraz wszystkich $t \in \langle t_0; t_k \rangle$

W przypadku systemów wodnogospodarczych obejmujących duże obszary /rzędu kilkunastu tysięcy km^2 /, gdzie istnieje możliwość występowania powodzi o charakterze lokalnym, w celu wyeliminowania nieuzasadnionego gromadzenia wody w zbiornikach, kosztem ograniczonych dostaw wody dla użytkowników zlokalizowanych na obszarach nie objętych powodzią, w funkcji celu należy uwzględnić dodatkowy człon w postaci:

$$\sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_k} B_j [T_j(t), QM_j] dt \quad /4.18/$$

gdzie:

QM_j - minimalny odpływ z j-tego zbiornika umożliwiający zaspokojenie potrzeb wodnych użytkowników położonych w obszarze oddziaływania tego zbiornika,

$B_j [T_j(t), QM_j]$ - funkcja charakteryzująca stopień zaspokojenia potrzeb wodnych użytkowników przyjmowana w postaci:

$$B_j [T_j(t), QM_j] = \begin{cases} [T_j(t) - QM_j]^2 & \text{gdy } T_j(t) < QM_j \\ 0 & \text{gdy } T_j(t) \geq QM_j \end{cases} \quad /4.19/$$

5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY - WYZNACZANIE BIEŻĄCYCH STEROWAN PRACĄ SYSTEMU WODNOGOSPODARCZEGO W WARUNKACH NORMALNYCH I NIEDOBORU WODY

Możliwości oraz sposób wykorzystania omówionej w rozdziale 4.1 metody wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu, pokazane zostały na przykładzie hipotetycznego systemu wodnogospodarczego, wzorowanego na przedstawionej w pracy [24] koncepcji rozwoju gospodarki wodnej w systemie rzeki Kamiennej. Rozpatrywany system hipotetyczny pod względem takich elementów jak: układ sieci rzecznej, lokalizacja użytkowników wody, parametry i lokalizacja zbiorników retencyjnych jest zgodny z ustaleniami wyżej wspomnianej koncepcji. Różnice dotyczą przede wszystkim danych liczbowych, związanych z charakterystykami jakościowymi wód oraz ścieków odprowadzanych przez poszczególnych użytkowników.

W związku z powyższym, aby uniknąć nieporozumień należy podkreślić, że analizowany w niniejszej pracy model systemu nie może być traktowany ani jako uproszczony, ani jako żaden inny model systemu wodnogospodarczego tego regionu. Można natomiast stwierdzić, że stopień złożoności rozpatrywanego w pracy systemu jest podobny jak systemu rzeczywistego. Ze względu na ograniczone możliwości czasowe korzystania ze sprzętu obliczeniowego oraz ze względu na możliwość uzyskania danych o potrzebach wodnych użytkowników tylko dla przedziałów miesięcznych i dekadowych, w przykładzie ograniczono się do wyznaczania sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrzędem wody w systemie dla przedziałów dekadowych, tzn.

uwzględniono tylko dwie warstwy układu sterowania: warstwę planowania retencji, obejmującą 3 okresy miesięczne oraz warstwę dystrybucji wody, obejmującą okres 1 dekady.

Obliczenia obejmowały wyznaczenie sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie dla sześciu kolejnych okresów dekadowych.

Proces wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu, dla rozpatrywanego okresu 6 dekad, obejmował kolejno:





- wyznaczenie trajektorii napełnień zbiorników retencyjnych dla okresu 3 miesięcy /czerwiec, lipiec, sierpień/ poprzez rozwiązanie jednego zadania optymalizacji wielokryterialnej, związanego z warstwą planowania retencji,
- wyznaczenie sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie w przedziałach dekadowych dla 3 kolejnych dekad, czerwca, poprzez trzykrotne rozwiązanie zadania optymalizacji wielokryterialnej, związanego z warstwą dystrybucji wody,
- wyznaczenie trajektorii napełnień zbiorników retencyjnych dla okresu 3 miesięcy /lipiec, sierpień i wrzesień/, w analogiczny sposób jak dla miesięcy czerwiec, lipiec i sierpień,
- wyznaczenie sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie w przedziałach dekadowych dla trzech kolejnych dekad lipca, w analogiczny sposób jak w przypadku dekad czerwcowych.

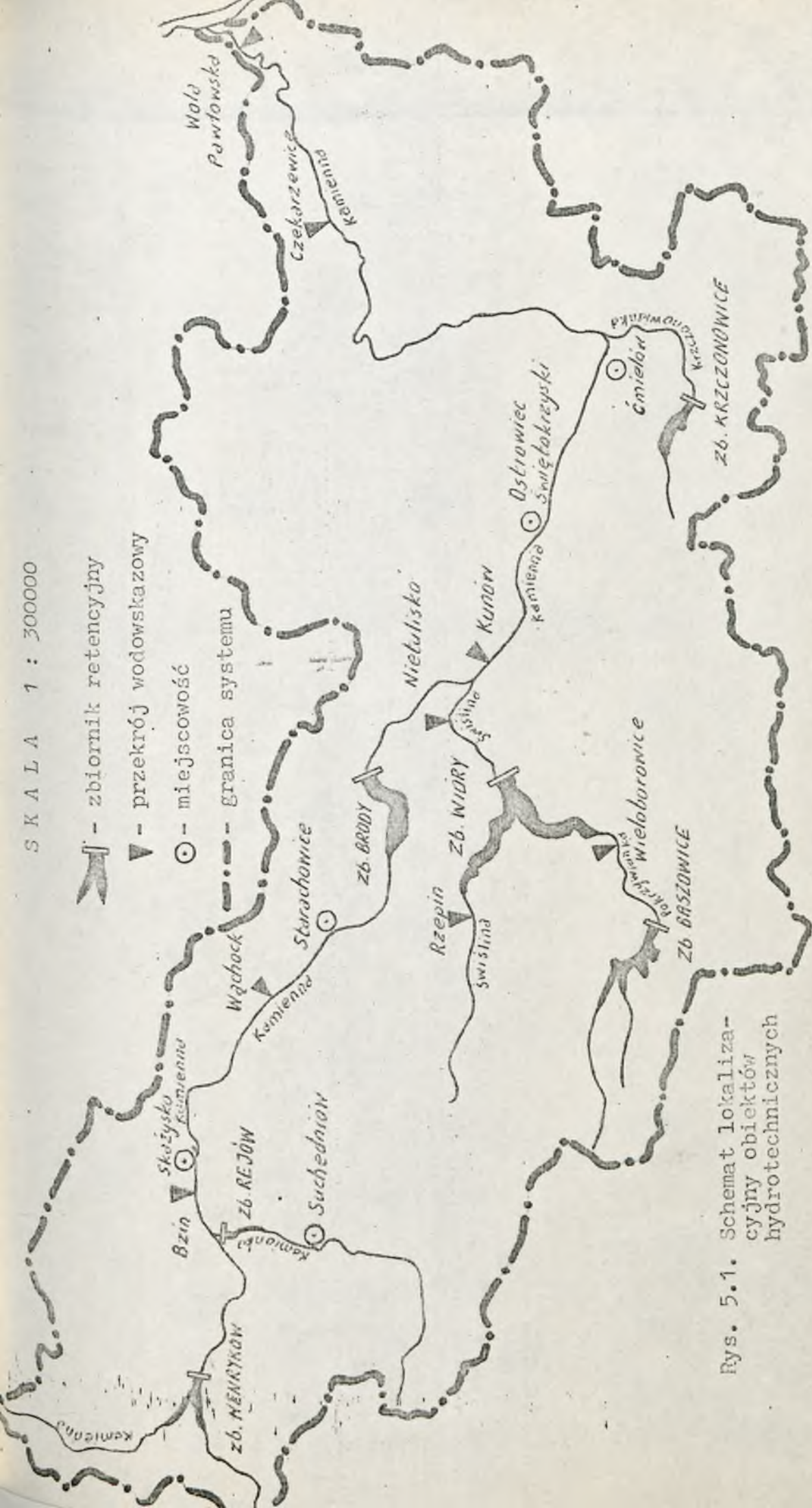
5.1. Opis systemu

Rozpatrywany system wodnogospodarczy /rys. 5.1 i 5.2/ usytuowany w dorzeczu rzeki Kamiennej o powierzchni 2008 km², obejmuje ciek główny /Kamienna/, trzy prawe dopływy /Kamionka, Świślina, Krzczonowianka/, 6 zbiorników retencyjnych /Henryków, Rejów, Brody, Baszowice, Wióry, Krzczonowice/ oraz 34 użytkowników wody /10 użytkowników o charakterze ośrodka miejskiego lub dużego zakładu przemysłowego i 24 kompleksy użytkowników rolnych przeznaczonych do nawodnień/.

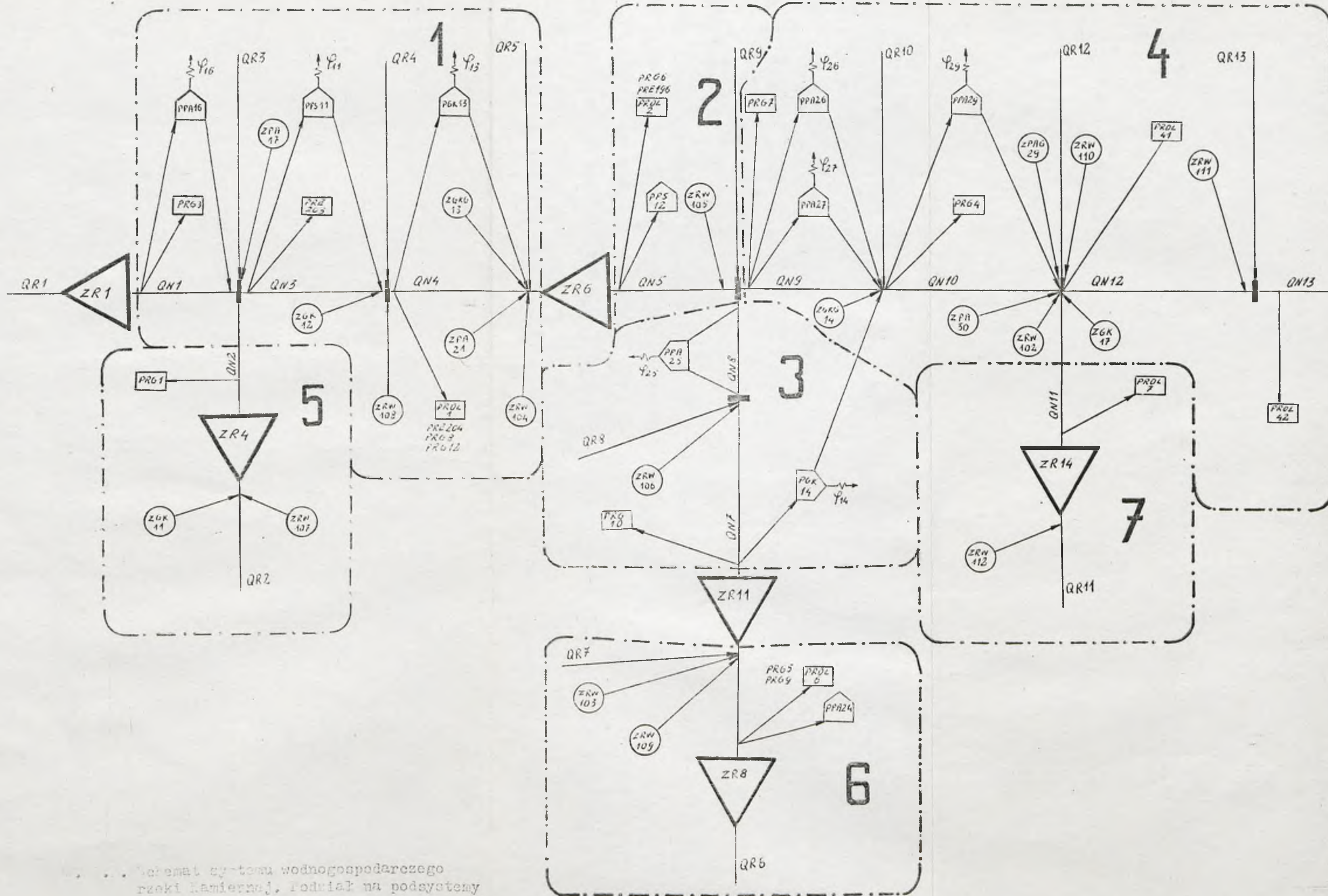
Opierając się na ustaleniach wspomianej już koncepcji zabudowy hydrotechnicznej systemu rzeki Kamiennej [24], gdzie zbiorniki Rejów /ZR4/, Baszowice /ZR8/ i Krzczonowice /ZR14/ uznane zostały za biorniki o charakterze lokalnym w rozpatrywanym systemie hipotetycznym przyjęto, że powiązania występujące pomiędzy tymi zbiornikami, a pozostałą częścią systemu można uważać za słabe. W związku z powyższym, w rozpatrywanym systemie wydzielono trzy podsystemy, związane z obszarami oddziaływania tych zbiorników, oznaczając je numerami 5, 6 i 7 /rys. 5.2/. Sterowanie pracą tych podsystemów rozpatrywane jest w sposób niezależny, natomiast ich powiązania z podstawową częścią systemu realizowane są poprzez wyjścia z tych podsystemów, które stanowią jednocześnie wejścia do systemu podstawowego.

W systemie podstawowym, obejmującym zbiorniki: Henryków /ZR1/, Brody /ZR6/ i Wióry /ZR11/, dokonano podziału na cztery podsystemy /rys. 5.2/, charakteryzujące się różnymi możliwościami

-  - zbiornik retencyjny
-  - przekrój wodowskazowy
-  - miejscowość
-  - granica systemu



Rys. 5.1. Schemat lokalizacji obiektów hydrotechnicznych



... Schemat systemu wodnogospodarczego rzeki Kamiennej. Podział na podsystemy

mi zaspokojenia potrzeb wodnych:

- podsystem nr 1, objęty oddziaływaniem zbiornika ZR1,
- podsystem nr 2, objęty oddziaływaniem zbiornika ZR6 z uwzględnieniem możliwości zasilania tego zbiornika przez zbiornik ZR1,
- podsystem nr 3, objęty oddziaływaniem zbiornika ZR11,
- podsystem nr 4, objęty oddziaływaniem zbiornika ZR6 i ZR11.

Podsystemy te ze względu na silne powiązania występujące pomiędzy nimi, w procesie wyznaczania sterowań powinny być rozpatrywane w sposób łączny.

Rozpatrywany, hipotetyczny system rzeki Kamiennej powinien spełniać następujące zadania:

- zachowanie przepływów nienaruszalnych na poszczególnych odcinkach cieku głównego i dopływów,
- zaopatrzenie w wodę poszczególnych użytkowników,
- utrzymanie określonej klasy czystości wód.

Ponadto system powinien pracować w taki sposób, aby zapewniona była zgodność bieżących sterowań z nadrzędnym planem dyspozytorskim, uwzględniającym konieczność spełnienia zadań dla dłuższego horyzontu czasowego.

5.2. Założenia i opis procesu wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego

Zgodnie z ogólnymi założeniami oposanej w rozdziale 4.1 metody wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu, dla rozpatrywanego przykładu obliczeniowego przyjęto, że:

- algorytm współpracuje z dyspozytorem w trybie interakcyjnym, pełniąc rolę doradcy w procesie ustalania decyzji dotyczących sterowań pracą obiektów systemu,
- sterowanie pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie ma charakter układu dwuwarstwowego,
- sterowania pracą podsystemów nr 5, 6 i 7 wyznaczane są niezależnie od sterowań pracą systemu podstawowego, przy czym wyjścia z tych podsystemów, w postaci wielkości odpływu wody wraz z jej charakterystykami jakościowymi, traktowane są jako dodatkowe źródła zasilania systemu podstawowego. W związku z powyższym dla każdego z tych podsystemów opracowano niezależny model symulacyjno- optymalizacyjny, umożliwiający wyznaczenie sterowań pracą zbiornika retencyjnego i rozrządem wody w podsystemie oraz wielkości odpływu wody z podsystemu wraz z charakterystykami jakościowymi odpływającej wody. Szczegółowy opis modeli podsystemów 5, 6 i 7 oraz zasad ich opracowywania przedstawiono w podrozdziale 5.5,
- losowość procesu zasilania systemu w wodę, potrzeb wodnych użytkowników oraz charakterystyk jakościowych wód uwzględniana jest poprzez wykorzystanie prognoz tych wielkości, przy czym przyjęto, że dysponuje się dwoma typami prognoz:
 - i/ prognozy długoterminowe, dotyczące wartości średnich miesięcznych dla okresu 3 miesięcy,
 - ii/ prognozy średnioterminowe, dotyczące wartości średnich dekadowych dla okresu 1 dekady,
- jakość wód i ścieków charakteryzowana jest wskaźnikiem BZT_5 biochemicznego zapotrzebowania tlenu,

- bezpośrednio po zrzucie ścieków następuje ich całkowite wymieszanie się z wodami odbiornika,
- proces samooczyszczania się wód odbiornika uwzględnia się w postaci redukcji BZT_5 na poszczególnych odcinkach rzek w oparciu o znajomość czasu T_p przepływu wody i współczynnika szybkości biochemicznego zużycia tlenu K_1 :

$$L_B = L_A 10^{-K_1 T_p} \quad /5.1/$$

gdzie: L_A i L_B oznaczają BZT_5 wody na początku i na końcu rozpatrywanego odcinka,

- prowadzone analizy optymalizacyjne mają charakter wielokryterialny, przy czym do rozwiązywania zadań optymalizacji wielokryterialnej wykorzystuje się metodę konwersacyjną, opisaną w rozdziale 3.

Proces wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu obejmuje dwa podstawowe etapy:

- wyznaczenie trajektorii napełnień zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11 dla okresu 3 miesięcy. W etapie tym dla zadanych napełnień początkowych zbiorników w oparciu o średnie miesięczne prognozy dla okresu 3 miesięcy takich wielkości jak:

przepływy rzeczne, charakterystyki jakościowe wód i ścieków oraz potrzeby wodne użytkowników rozwiązywane są następujące problemy:

- 1/ wyznaczenie sterowań pracą zbiorników retencyjnych ZR4, ZR8 i ZR14 oraz rozrzędem wody w niezależnych podsystemach nr 5, 6 i 7. Uzyskane na wyjściu z tych podsystemów wielkości odpływów wody ZS5, ZS6, ZS7 wraz z ich

charakterystykami jakościowymi BS5, BS6, BS7 dla trzech okresów miesięcznych, traktowane są jako dodatkowe źródła zasilania w wodę systemu podstawowego,

ii/ wyznaczenie sterowań pracą zbiorników retencyjnych ZR1, ZR6, ZR11 oraz rozrzędem wody pomiędzy podsystemy 1, 2, 3 i 4 dla trzech okresów miesięcznych, poprzez rozwiązanie zadania optymalizacji wielokryterialnej. Zasady formułowania i postać zadania optymalizacji wielokryterialnej, związanego z warstwą planowania retencji, dla rozpatrywanego systemu omówiono w podrozdziale 5.3,

wyznaczenie sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrzędem wody w systemie w przedziałach dekadowych. W etapie tym dla aktualnych napełnień początkowych zbiorników oraz napełnień docelowych, określonych w etapie pierwszym, na początku każdej dekady wykonuje się następujące czynności:

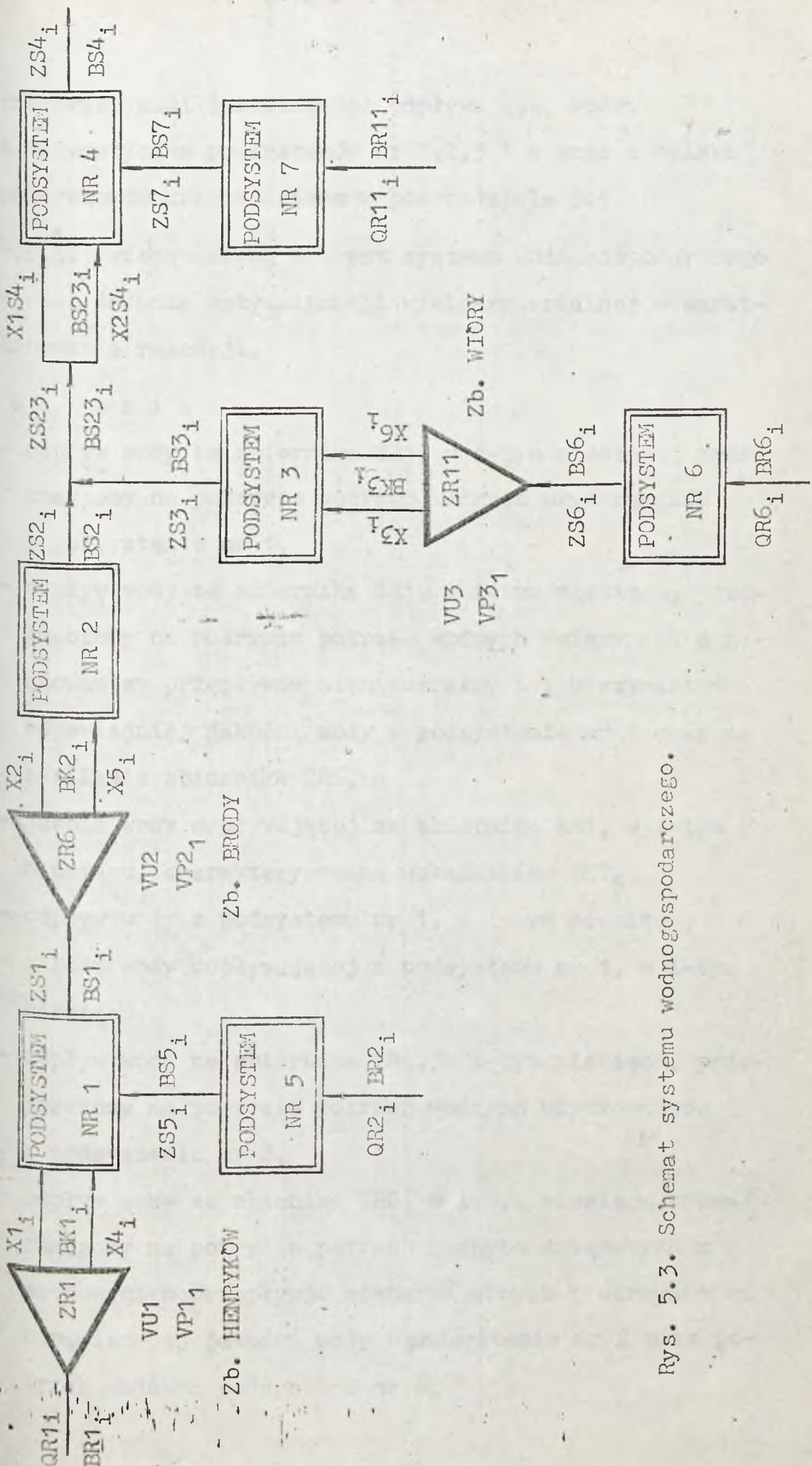
i / wyznaczenie sterowania pracą niezależnych podsystemów 5, 6 i 7 w okresie najbliższej dekady,

ii/ poprzez rozwiązanie zadania optymalizacji wielokryterialnej, otrzymuje się wartości zmiennych decyzyjnych, wykorzystywanych w procesie bezpośredniego sterowania pracą zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11 oraz rozrzędem wody w systemie wodnogospodarczym w okresie najbliższej dekady.

5.3. Sformułowanie zadania optymalizacji wielokryterialnej dla warstwy planowania retencji

Zgodnie z przyjętymi założeniami na początku każdego miesiąca rozwiązywane jest zadanie optymalizacji wielokryterialnej, tzn. wyznaczane jest preferowane rozwiązanie kompromisowe, które określa między innymi sterowania pracą zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11 oraz rozrządem wody pomiędzy podsystemy nr 1, 2, 3 i 4.

Wyznaczanie preferowanego rozwiązania zadania optymalizacji wielokryterialnej odbywa się w trybie interakcyjnym przy pomocy metody konwersacyjnej, opisanej w rozdziale 3, w metodzie tej generowanie punktów należących do zbioru rozwiązań polioptymalnych odbywa się poprzez rozwiązywanie zadań optymalizacji skalarnej. Ze względu na dużą wymiarowość tych zadań, do ich rozwiązywania wykorzystano ideę optymalizacji dwupoziomowej. Idea ta polega na tym, że na górnym poziomie optymalizacji, związanym z całym systemem, określa się wielkości odpływów ze zbiorników oraz ilości wody przeznaczone na pokrycie potrzeb wodnych poszczególnych podsystemów /tzw. zmienne koordynujące/. Wartości zmiennych koordynujących przekazywane są na dolny poziom optymalizacji, gdzie w oparciu o reguły decyzyjne dokonuje się rozrządu dyspozycyjnych zasobów wody w podsystemach nr 1, 2, 3 i 4. Pod pojęciem reguł decyzyjnych należy rozumieć modele symulacyjno-optymalizacyjne podsystemów, umożliwiające dokonanie rozrządu wody pomiędzy poszczególnych użytkowników w danym podsystemie oraz określenie wielkości odpływu wody z tego podsystemu wraz



Rys. 5.3. Schemat systemu wodnogospodarczego.

z charakterystykami jakościowymi odpływającej wody.

Modele matematyczne podsystemów nr 1,2,3 i 4 wraz z opisem tych podsystemów przedstawiono w podrozdziale 5.6.

Na rys.5.31 przedstawiono schemat systemu wodnogospodarczego dla potrzeb zadania optymalizacji wielokryterialnej w warstwie planowania retencji.

Oznaczenia :

- $X1_i$ - odpływ wody ze zbiornika ZR1, w i -tym miesiącu, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników w podsystemie nr 1,
- $X4_i$ - odpływ wody ze zbiornika ZR1, w i -tym miesiącu, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych związanych z zachowaniem przepływów nienaruszalnych i utrzymaniem odpowiedniej jakości wody w podsystemie nr 1 oraz na zasilanie zbiornika ZR6,
- $BK1_i$ - jakość wody odpływającej ze zbiornika ZR1, w i -tym miesiącu, charakteryzowana wskaźnikiem BZT₅,
- $ZS1_i$ - odpływ wody z podsystemu nr 1, w i -tym miesiącu,
- $BS1_i$ - jakość wody odpływającej z podsystemu nr 1, w i -tym miesiącu,
- $X2_i$ - odpływ wody ze zbiornika ZR6, w i -tym miesiącu, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników w podsystemie nr 2,
- $X5_i$ - odpływ wody ze zbiornika ZR6, w i -tym miesiącu, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych związanych z zachowaniem przepływów nienaruszalnych i utrzymaniem odpowiedniej jakości wody w podsystemie nr 2 oraz potrzeb wodnych podsystemu nr 4,

- BK2_i - jakość wody odpływającej ze zbiornika ZR6 w i-tym miesiącu,
- ZS2_i - odpływ wody z podsystemu nr 2 w i-tym miesiącu,
- BS2_i - jakość wody odpływającej z podsystemu nr 2 w i-tym miesiącu,
- X3_i - odpływ wody ze zbiornika ZR11, w i-tym miesiącu, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników w podsystemie nr 3,
- X6_i - odpływ wody ze zbiornika ZR11, w i-tym miesiącu, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych związanych z zachowaniem przepływów nienaruszalnych i utrzymaniem odpowiedniej jakości wody w podsystemie nr 3 oraz potrzeb wodnych podsystemu nr 4,
- BK3_i - jakość wody odpływającej ze zbiornika ZR11 w i-tym miesiącu,
- ZS3_i - odpływ wody z podsystemu nr 3 w i-tym miesiącu,
- BS3_i - jakość wody odpływającej z podsystemu nr 3 w i-tym miesiącu,
- ZS23_i - dopływ wody do podsystemu nr 4 w i-tym miesiącu
- $ZS23_i = ZS2_i + ZS3_i$ /5.2/
- BS23_i - jakość wody dopływającej do podsystemu nr 4 w i-tym miesiącu,
- $BS23_i = ZS2_i \cdot BS2_i + ZS3_i \cdot BS3_i$ /5.3/
- X7_i - zmienna określająca rozdział dopływającej do podsystemu nr 4 wody na dwie części, z których jedna X1S4_i przeznaczona jest na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników, a druga X2S4_i na pokrycie potrzeb związa-

nych z zachowaniem przepływów nienaruszalnych i
utrzymaniem odpowiedniej jakości wody

$$X1S4_i = ZS23_i \cdot X7_i \quad /5.4/$$

$$X2S4_i = ZS23_i \cdot (1 - X7_i) \quad /5.5/$$

$ZS4_i$ - odpływ wody z podsystemu nr 4 w i-tym miesiącu,

$BS4_i$ - jakość wody odpływającej z podsystemu nr 4 w i-tym
miesiącu,

$ZS5_i, ZS6_i, ZS7_i$ - odpływ wody z podsystemów 5, 6, i 7 w
i-tym miesiącu,

$BS5_i, BS6_i, BS7_i$ - jakość wody odpływającej z podsystemów
nr 5, 6, 7 w i-tym miesiącu,

$VU1, VU2, VU3$ - pojemność użytkowa zbiorników retencyjnych
 $ZR1, ZR6, ZR11,$

$VP1, VP2, VP3$ - napełnienia zbiorników $ZR1, ZR6$ i $ZR11$
na początku pierwszego miesiąca,

$QR1_i, QR2_i, QR6_i, QR11_i$ - prognozy dopływu wody do systemu
w i-tym miesiącu,

$BR1_i, BR2_i, BR6_i, BR11_i$ - prognozy charakterystyk jakości-
owych wody dopływającej do systemu
w i-tym miesiącu.

Sformułowanie zadania optymalizacji wielokryterialnej

W celu możliwie pełnego odwzorowania podstawowych zadań systemu sformułowano osiem wskaźników jakości:

Wskaźniki charakteryzujące stopień spełnienia potrzeb wodnych użytkowników w podsystemach nr 1, 2, 3 i 4, określające wielkości deficytów wody w tych podsystemach:

$$\min J_1(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, PS1_i - X1_i\} \quad /5.6/$$

$$\min J_2(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, PS2_i - X2_i\} \quad /5.7/$$

$$\min J_3(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, PS3_i - X3_i\} \quad /5.8/$$

$$\min J_4(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, PS4_i - X1S4_i\} \quad /5.9/$$

gdzie:

$PS1_i, PS2_i, PS3_i, PS4_i$ - prognozy łącznych potrzeb wodnych użytkowników w podsystemach nr 1, 2, 3 i 4, obliczane przy pomocy modeli tych podsystemów w oparciu o prognozy potrzeb poszczególnych użytkowników,

\underline{X} - wektor zmiennych decyzyjnych, którego elementami są wielkości: $X1_i, X2_i, X3_i, X4_i, X5_i, X6_i, X7_i$;
 $i=1, 2, 3.$

Wskaźniki jakości charakteryzujące jakość wody w przekrojach kontrolnych, określające wielkość przekroczenia dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń, obowiązujących dla

danego przekroju:

$$\min J_5(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, \text{BGR1}-\text{BS1}_i\} \quad /5.10/$$

$$\min J_6(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, \text{BGR2}-\text{BS2}_i\} \quad /5.11/$$

$$\min J_7(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, \text{BGR3}-\text{BS3}_i\} \quad /5.12/$$

$$\min J_8(\underline{X}) = \sum_{i=1}^3 \max\{0, \text{BGR4}-\text{BS4}_i\} \quad /5.13/$$

gdzie:

BGR1, BGR2, BGR3, BGR4 - dopuszczalne wielkości wskaźników BZT₅ obowiązujące w poszczególnych przekrojach.

Ograniczenia, określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych, można podzielić na 3 grupy:

- ograniczenia związane z bilansem wodnym zbiorników retencyjnych ZR1, ZR6 i ZR11:

$$\text{VK1}_i = \text{VP1}_i + \text{QR1}_i - \text{X1}_i - \text{X4}_i \quad /5.14/$$

$$0 \leq \text{VK1}_i \leq \text{VU1} \quad /5.15/$$

dla $i=1,2,3$

$$\text{VK2}_i = \text{VP2}_i + \text{ZS1}_i - \text{X2}_i - \text{X5}_i \quad /5.16/$$

$$0 \leq \text{VK2}_i \leq \text{VU2} \quad /5.17/$$

dla $i=1,2,3$

$$\text{VK3}_i = \text{VP3}_i + \text{ZS6}_i - \text{X3}_i - \text{X6}_i \quad /5.18/$$

$$0 \leq \text{VK3}_i \leq \text{VU3} \quad /5.19/$$

dla $i=1,2,3$

gdzie:

$\text{VK1}_i, \text{VK2}_i, \text{VK3}_i$ - napełnienia zbiorników ZR1, ZR6, ZR11 na końcu i -tego miesiąca

- ograniczenia zapewniające, że ilości wody dostarczane do poszczególnych podsystemów nie przekraczają ich zapotrzebowań:

$$X1_i \leq PS1_i \quad /5.20/$$

$$X2_i \leq PS2_i \quad /5.21/$$

$$X3_i \leq PS3_i \quad /5.22/$$

$$X1S4_i \leq PS4_i \quad /5.23/$$

dla $i=1,2,3$

- ograniczenia na wartości zmiennych decyzyjnych, wynikające z ich interpretacji fizycznej:

$$X1_i, X2_i, X3_i, X4_i, X5_i, X6_i, X7_i \geq 0 \quad /5.24/$$

dla $i=1,2,3$

$$X7_i \leq 1 \quad \text{dla } i=1,2,3 \quad /5.25/$$

5.4. Sformułowanie zadania optymalizacji wielokryterialnej dla warstwy rozrzadu wody

Postać zadania optymalizacji wielokryterialnej dla warstwy rozrzadu wody jest podobna jak dla warstwy planowania retencji. Różnica polega na tym, że zadanie dla warstwy rozrzadu wody dotyczy okresu 1 dekady oraz na tym, że wprowadza się trzy dodatkowe wskaźniki jakości charakteryzujące zgodność bieżących sterowań z nadrzędnym planem dyspozytorskim, ustalonym w warstwie planowania retencji.

W celu możliwie pełnego odwzorowania podstawowych zadań systemu sformułowano 11 wskaźników jakości:

- wskaźniki charakteryzujące stopień spełnienia potrzeb wodnych użytkowników w podsystemach nr 1,2,3,4 w okresie naj-

bliższej dekady:

$$\min J_1(\underline{X}) = \max\{0, PS1-X1\} \quad /5.26/$$

$$\min J_2(\underline{X}) = \max\{0, PS2-X2\} \quad /5.27/$$

$$\min J_3(\underline{X}) = \max\{0, PS3-X3\} \quad /5.28/$$

$$\min J_4(\underline{X}) = \max\{0, PS4-X1S4\} \quad /5.29/$$

gdzie:

PS1, PS2, PS3, PS4 - prognozy łącznych potrzeb wodnych użytkowników w podsystemach nr 1,2,3 i 4 w okresie najbliższej dekady,

\underline{X} - wektor zmiennych decyzyjnych o elementach:

X1, X2, ..., X7, które określają wielkości odpływów ze zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11 oraz rozrząd wody pomiędzy podsystemy nr 1,2,3 i 4 w okresie najbliższej dekady,

wskaźniki charakteryzujące jakość wody w przekrojach kontrolnych w okresie najbliższej dekady:

$$\min J_5(\underline{X}) = \max\{0, BGR1-BS1\} \quad /5.30/$$

$$\min J_6(\underline{X}) = \max\{0, BGR2-BS2\} \quad /5.31/$$

$$\min J_7(\underline{X}) = \max\{0, BGR3-BS3\} \quad /5.32/$$

$$\min J_8(\underline{X}) = \max\{0, BGR4-BS4\} \quad /5.33/$$

gdzie:

BS1, BS2, BS3, BS4 - charakterystyki jakościowe wód odpływających z podsystemów nr 1,2,3 i 4 w okresie najbliższej dekady,

wskaźniki charakteryzujące zgodność bieżących sterowań z nadrzędnym planem dyspozytorskim:

$$J_9(\underline{X}) = |VD1 - VK1| \quad /5.34/$$

$$J_{10}(\underline{X}) = |VD2 - VK2| \quad /5.35/$$

$$J_{11}(\underline{X}) = |VD3 - VK3| \quad /5.36/$$

gdzie:

VD1, VD2, VD3 - napeżnienia docelowe zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11 dla okresu najbliższej dekady, wyznaczone w warstwie planowania retencji,

VK1, VK2, VK3 - napeżnienia zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11 na końcu najbliższej dekady, określone zależnościami /5.37/, /5.39/, /5.41/.

Ograniczenia, określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych dla okresu najbliższej dekady można podzielić na 3 grupy:

- ograniczenia związane z bilansem wodnym zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11

$$VK1 = VP1 + QR1 - X1 - X4 \quad /5.37/$$

$$0 \leq VK1 \leq VU1 \quad /5.38/$$

$$VK2 = VP2 + ZS1 - X2 - X5 \quad /5.39/$$

$$0 \leq VK2 \leq VU2 \quad /5.40/$$

$$VK3 = VP3 + ZS6 - X3 - X6 \quad /5.41/$$

$$0 \leq VK3 \leq VU3 \quad /5.42/$$

- ograniczenia zapewniające, że ilości wody dostarczane do poszczególnych podsystemów nie przekraczają ich zapotrzebowań:

$$X1 \leq PS1 \quad /5.43/$$

$$X2 \leq PS2 \quad /5.44/$$

$$X3 \leq PS3 \quad /5.45/$$

$$X1S4 \leq PS4 \quad /5.46/$$

ograniczenia na wartości zmiennych decyzyjnych, wynikające z ich interpretacji fizycznej:

$$X_1, X_2, \dots, X_7 \geq 0 \quad /5.47/$$

$$X_7 \leq 1 \quad /5.48/$$

5.5 Sterowanie pracą obiektów i rozrzędem wody w wyodrębnionych podsystemach nr 5, 6, 7

Zgodnie z przyjętą koncepcją wydzielenia niezależnych podsystemów 5, 6 i 7, w tej części pracy przedstawiono opis poszczególnych podsystemów, ich zadań oraz metod wyznaczania bieżących sterowań pracą obiektów oraz rozrzędem wody w tych podsystemach.

Ze względu na stosunkowo małą złożoność podsystemów 5, 6 i 7 oraz w zasadzie jednozadaniowy charakter zbiorników ZR4, ZR8 i ZR14 przyjęto, że sterowanie pracą tych podsystemów odbywać się będzie w oparciu o ustalone w sposób sztywny plany dyspozytorskie. Idea metody opracowywania tych planów polega na tym, że dla długiego, N-letniego /w przykładzie N=15/ okresu czasu wyznacza się optymalne, z punktu widzenia przyjętych kryteriów, sterowania pracą zbiornika w przedziałach dekadowych przy założeniu, że dysponuje się bezbłędną prognozą przepływów i potrzeb wodnych dla całego rozpatrywanego N-letniego okresu czasu. W wyniku takiego postępowania, dla każdej z 36-ciu dekad otrzymuje się N-elementowy ciąg optymalnych napełnień zbiornika retencyjnego V_{ij} , $i=1,2,\dots,36$; $j=1,2,\dots,N$, który stanowi podstawę do obliczenia tzw. na-

pełnienia docelowego, w oparciu o zależność:

$$VD_i = \max\{V_{ij}\}; \quad i=1,2,\dots,36 \quad /5.49/$$

Uzyskane w ten sposób napełnienia docelowe VD_i stanowią podstawę wyznaczania bieżących sterowań pracą zbiorników w poszczególnych podsystemach.

Wielkość odpływu T_i ze zbiornika retencyjnego dla najbliższej dekady obliczana jest w oparciu o zależność:

$$T_i = \begin{cases} VP_i + Q_i & \text{gdy} \quad VP_i + Q_i - QN < 0 \\ QN & \text{gdy} \quad 0 \leq VP_i + Q_i - QN \leq VD_i \\ VP_i + Q_i - VD_i & \text{gdy} \quad VP_i + Q_i - QN > 0 \end{cases} \quad /5.50/$$

gdzie:

- Q_i - prognoza dopływu do zbiornika w i -tej dekadzie,
- VP_i - napełnienie zbiornika na początku i -tej dekady,
- QN - przepływ nienaruszalny

Rozrząd dyspozycyjnych zasobów wodnych T_i dokonywany jest zgodnie z przyjętą dla danego podsystemu hierarchią użytkowników wody.

Należy podkreślić, że przyjęta metoda wyznaczania bieżących sterowań pracą niezależnych podsystemów jest tylko jedną z wielu możliwych do wykorzystania, mniej lub bardziej skomplikowanych metod.

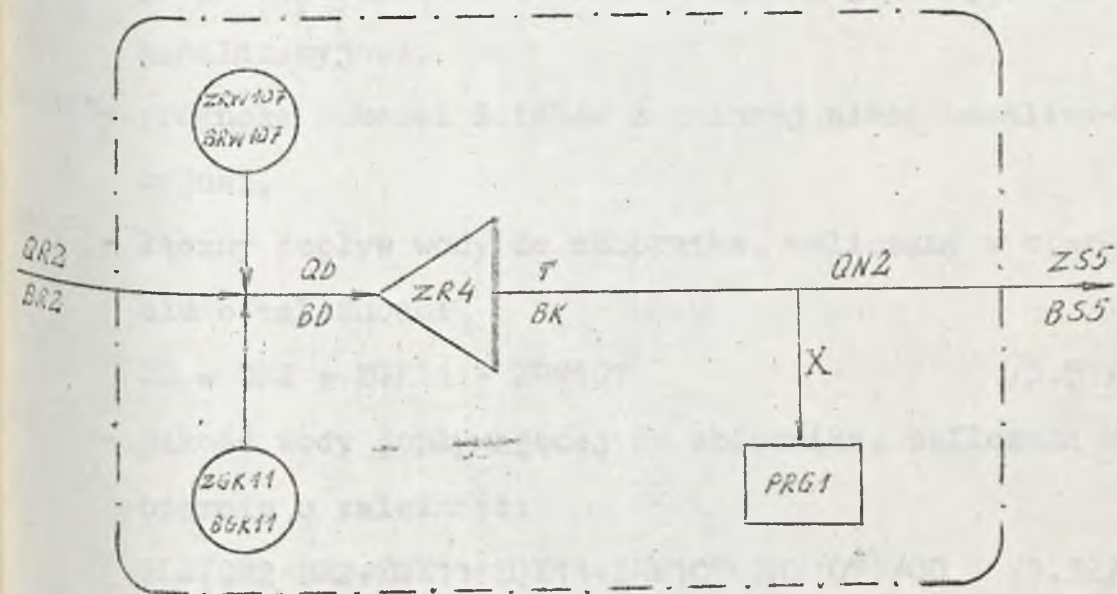
Podsystem nr 5

Podsystem nr 5, którego schemat przedstawiono na rys.5.4 obejmuje 1 zbiornik retencyjny i 1 użytkownika wody.

Zadania jakie powinien wypełniać podsystem, w kolejności

odpowiadającej przyjętej hierarchii, są następujące:

- zapewnienie przepływu nienaruszalnego QN2,
- dostarczenie wody dla celów nawodnień kompleksu gruntów ornych /PRG1/,
- zasilanie zasobów wodnych rzeki Kamiennej.



Rys. 5.4. Schemat podsystemu nr 5.

Oznaczenia:

- VM4 - pojemność użytkowa zbiornika ZR4 - Rejów,
- VP4 - napełnienie zbiornika na początku rozpatrywanego okresu,
- VD4 - napełnienie docelowe zbiornika dla rozpatrywanego okresu,
- BZ4 - jakość wody zbiornikowej na początku rozpatrywanego okresu, charakteryzowana wskaźnikiem BZT_5 biochemicznego zapotrzebowania tlenu,
- QR2 - prognoza przepływu rzeczno-geologicznego w profilu zbiornikowym dla rozpatrywanego okresu,

- BR2 - prognoza jakości wody dopływającej do zbiornika,
ZGK11 - prognoza wielkości zrzutu ścieków komunalnych ośrodka miejskiego,
BGK11 - prognoza jakości ścieków komunalnych,
ZRW107 - prognoza wielkości zrzutu ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,
BRW107 - prognoza jakości ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,

QD - łączny dopływ wody do zbiornika, obliczany w oparciu o zależność:

$$QD = QR2 + ZGK11 + ZRW107 \quad /5.51/$$

BD - jakość wody dopływającej do zbiornika, obliczana w oparciu o zależność:

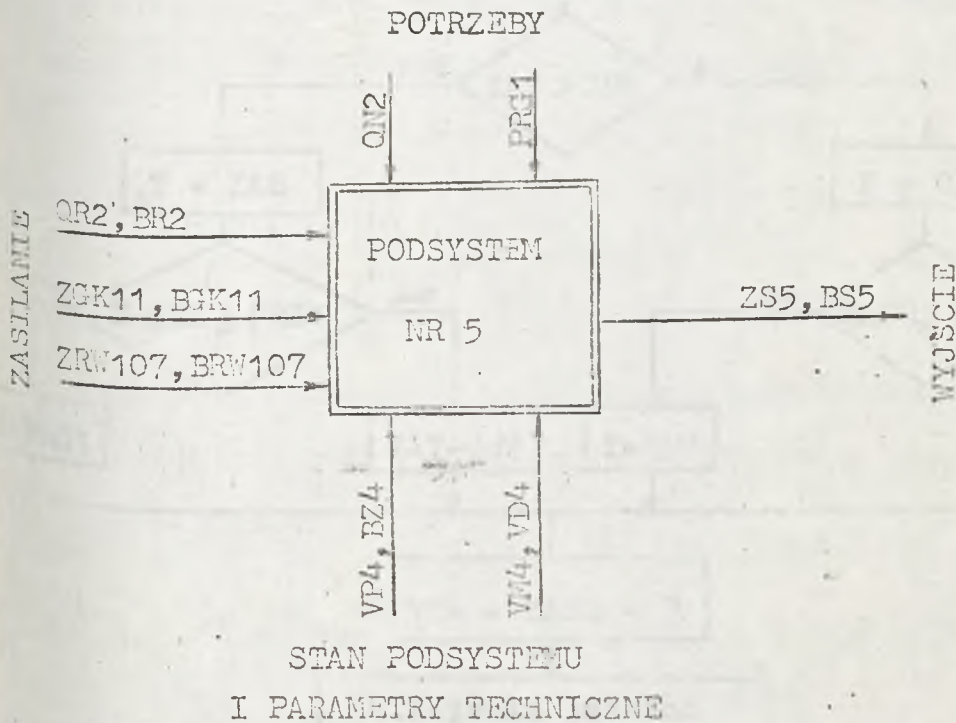
$$BD = (QR2 \cdot BR2 + ZGK11 \cdot BGK11 + ZRW107 \cdot BRW107) / QD \quad /5.52/$$

- VP4 - przepływ nienaruszalny,
 Δt - długość rozpatrywanego przedziału czasowego,
PRG1 - prognoza potrzeb wodnych użytkownika rolniczego,
T - odpływ wody ze zbiornika retencyjnego w rozpatrywanym okresie,
BK - jakość wody odpływającej ze zbiornika obliczana w oparciu o zależność:

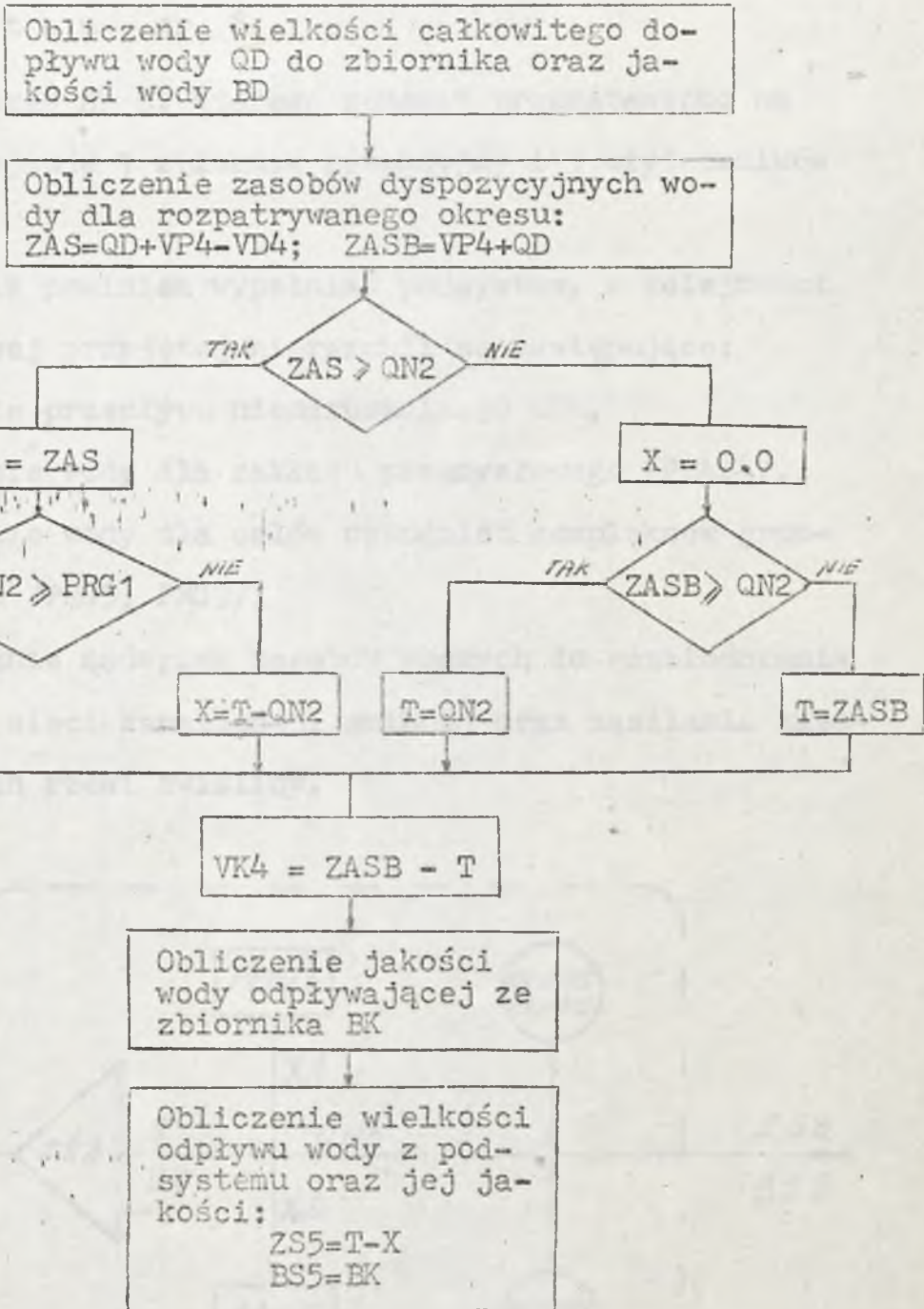
$$BK = (VP4 \cdot BZ4 + \Delta t \cdot QD \cdot BD) / (VP4 + \Delta t \cdot QD) \quad /5.53/$$

- X - ilość wody dostarczanej użytkownikowi rolniczemu,
ZS5 - wielkość odpływu wody z podsystemu,
BS5 - jakość wody odpływającej z podsystemu.

Model matematyczny podsystemu nr 5, którego schemat blokowy przedstawiono na rys.5.5. i 5.6. umożliwia obliczenie wielkości odpływu z podsystemu oraz charakterystyk jakościowych odpływającej wody.



Rys. 5.5. Uproszczony schemat modelu podsystemu nr 5.



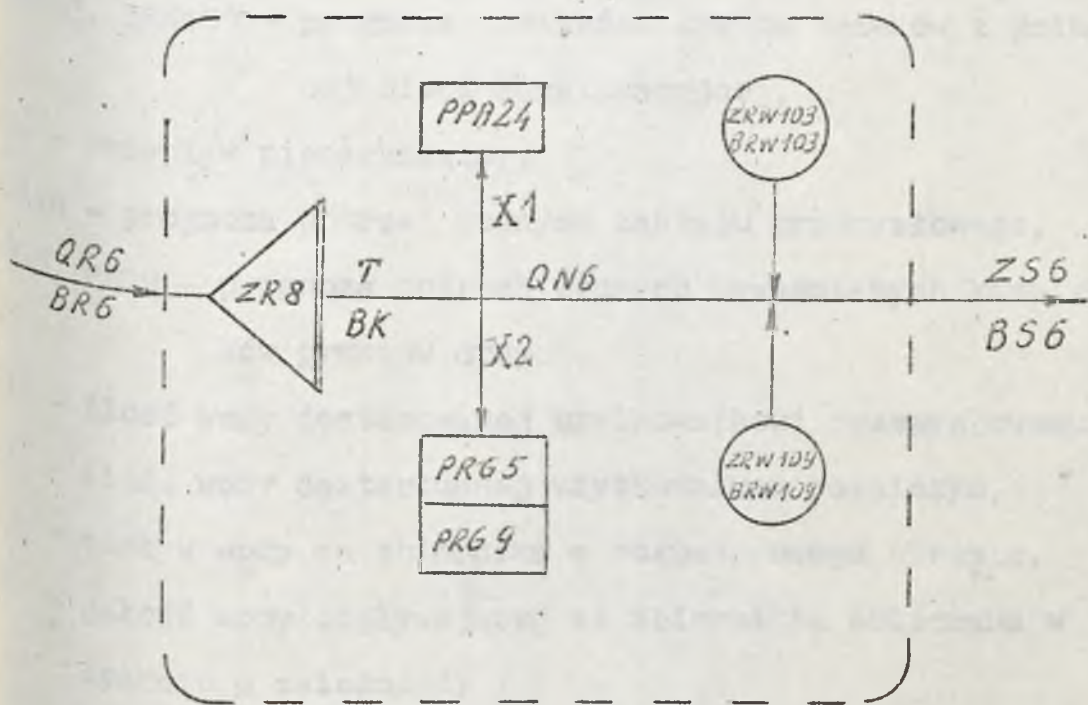
Rys. 5.6. Schemat blokowy matematycznego modelu podsystemu nr 5.

Podsystem nr 6.

Podsystem nr 6, którego schemat przedstawiono na rys.5.7. obejmuje 1 zbiornik retencyjny i 3 użytkowników wody.

Zadania jakie powinien wypełniać podsystem, w kolejności odpowiadającej przyjętej hierarchii są następujące:

- zapewnienie przepływu nienaruszalnego QN6,
- dostarczenie wody dla zakładu przemysłowego /PPA24/,
- dostarczenie wody dla celów nawodnień kompleksów gruntów ornych /PRG5, PRG9/,
- wykorzystanie nadwyżek zasobów wodnych do rozcieńczania ścieków z sieci kanalizacji gminnej oraz zasilania zasobów wodnych rzeki Świśliny.



Rys. 5.7. Schemat podsystemu nr 6

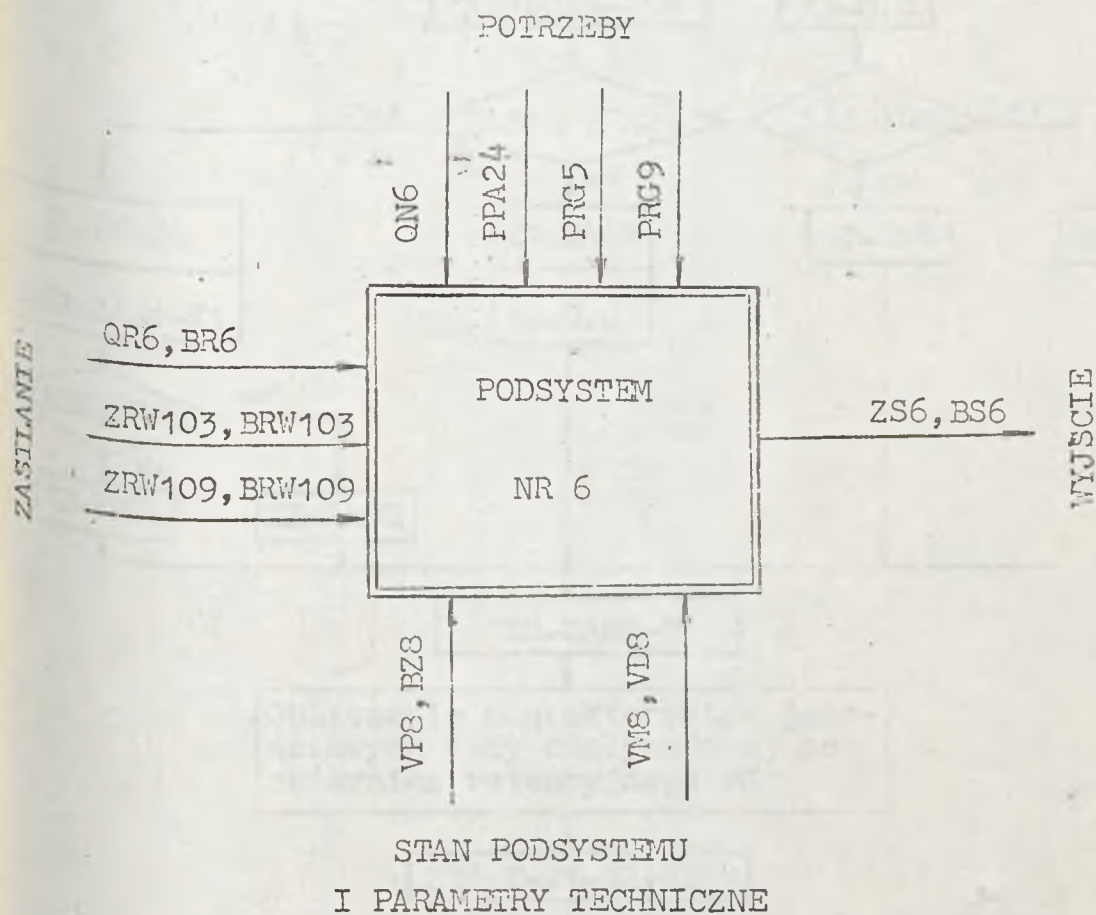
Oznaczenia:

- VM8 - pojemność użytkowa zbiornika ZR8 - Baszowice,
- VP8 - napełnienie zbiornika na początku rozpatrywanego okresu,
- VD8 - napełnienie docelowe zbiornika dla rozpatrywanego okresu,
- BZ8 - jakość wody zbiornikowej na początku rozpatrywanego okresu,
- QR6 - prognoza przepływu rzeczno-egzogenicznego w profilu zbiornikowym dla rozpatrywanego okresu,
- BR6 - prognoza jakości wody rzecznej dopływającej do zbiornika,
- BRW103, BRW109 - prognoza jakości ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,
- ZRW103, ZRW109 - prognoza wielkości zrzutu ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,
- QNV6 - przepływ nienaruszalny,
- PPA24 - prognoza potrzeb wodnych zakładu przemysłowego,
- PRG5, PRG9 - prognoza potrzeb wodnych nawadnianych kompleksów gruntów ornych,
- X1 - ilość wody dostarczanej użytkownikowi przemysłowemu,
- X2 - ilość wody dostarczanej użytkownikom rolniczym,
- T - odpływ wody ze zbiornika w rozpatrywanym okresie,
- EK - jakość wody odpływającej ze zbiornika, obliczana w oparciu o zależność:

$$EK = (VP8 \cdot BZ8 + \Delta t \cdot QR6 \cdot BR6) / (VP8 + \Delta t \cdot QR6) \quad /5.54/$$

- Δt - długość rozpatrywanego przedziału czasowego,
- ZS6 - wielkość odpływu wody z podsystemu,
- BS6 - jakość wody odpływającej z podsystemu.

Model matematyczny podsystemu nr 6, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 5.8. i 5.9. umożliwia obliczenie wielkości odpływu z podsystemu oraz charakterystyk jakościowych odpływającej wody.

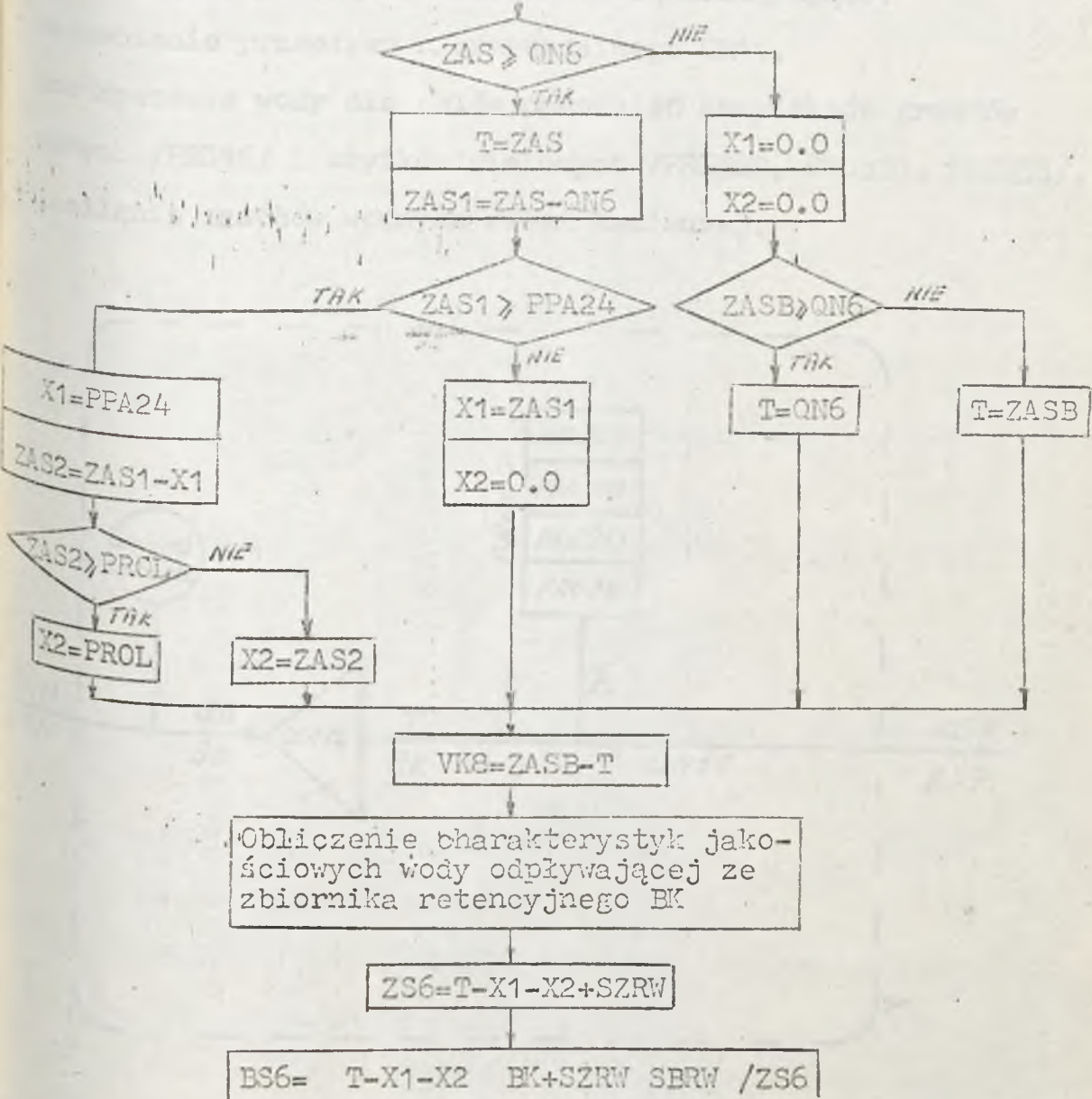


Rys. 5.8. Uproszczony schemat modelu podsystemu nr 6.

Obliczenie łącznych potrzeb wodnych użytkowników rolniczych: $PROL = PRG5 + PRG9$

Obliczenie wielkości całkowitego zrzutu ścieków SZRW oraz ich charakterystyki jakościowej SBRW

Obliczenie zasobów dyspozycyjnych wody dla rozpatrywanego okresu:
 $ZAS = QR6 + VP8 - VDS$; $ZASB = QR6 + VP8$



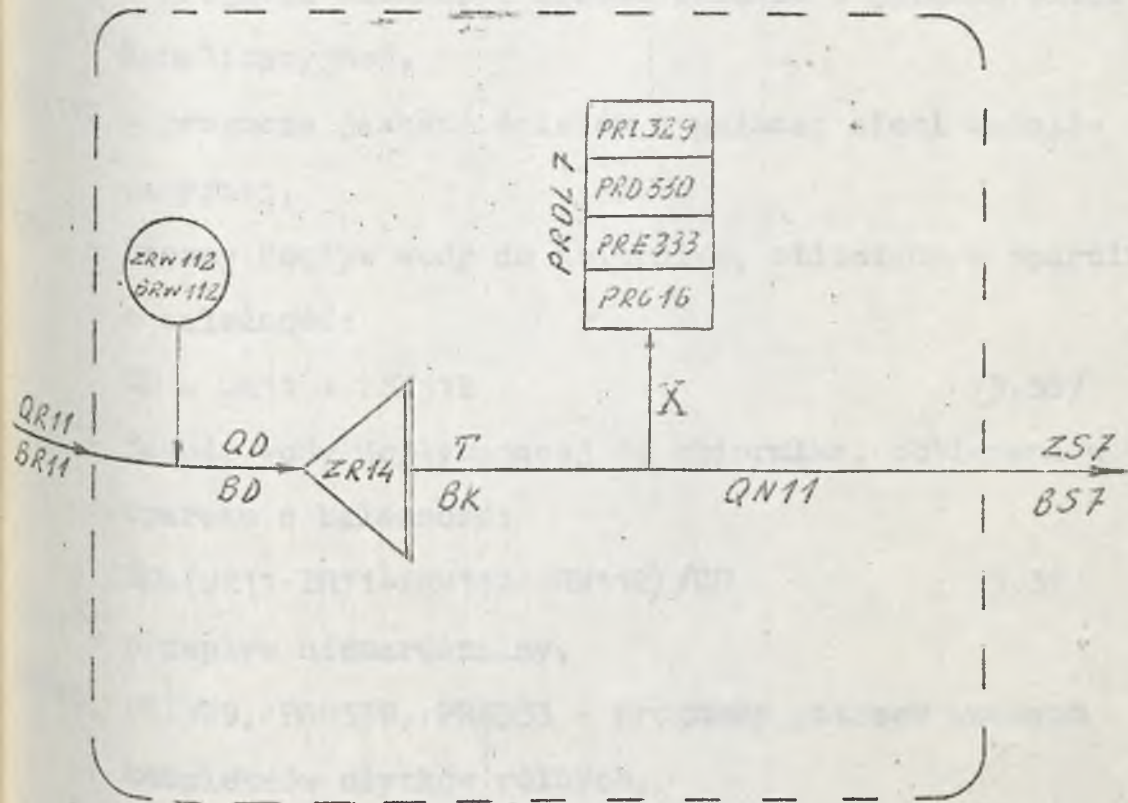
Rys. 5.9. Schemat blokowy matematycznego modelu podsystemu nr 6.

Podsystem nr 7

Podsystem nr 7, którego schemat przedstawiono na rys.5.10. obejmuje 1 zbiornik retencyjny i 4 użytkowników wody.

Zadania jakie powinien wypełniać podsystem, w kolejności odpowiadającej przyjętej hierarchii są następujące:

- zapewnienie przepływu nienaruszalnego QN11,
- dostarczenie wody dla celów nawodnień kompleksów gruntów ornych /PRG16/ i użytków zielonych /PRI329, PRD330, PRE333/,
- zasilanie zasobów wodnych rzeki Kamiennej.



Rys. 5.10. Schemat podsystemu nr 7.

Oznaczenia:

- VM14 - pojemność użytkowa zbiornika ZR14 - Krzczonowice,
VP14 - napełnienie zbiornika na początku rozpatrywanego
okresu,
VD14 - napełnienie docelowe zbiornika dla rozpatrywanego
okresu,
BZ14 - jakość wody zbiornikowej na początku rozpatrywanego
okresu,
QR11 - prognoza przepływu rzecznoego w profilu zbiornikowym
dla rozpatrywanego okresu,
BR11 - prognoza jakości wody dopływającej do zbiornika,
ZRW112 - prognoza wielkości zrzutu ścieków z gminnej sieci
kanalizacyjnej,
BRW112 - prognoza jakości ścieków z gminnej sieci kanali-
zacyjnej,
QD - łączny dopływ wody do zbiornika, obliczany w oparciu
o zależność:
$$QD = QR11 + ZRW112 \quad /5.55/$$

BD - jakość wody dopływającej do zbiornika, obliczana w
oparciu o zależność:
$$BD = (QR11 \cdot BR11 + ZRW112 \cdot BRW112) / QD \quad /5.56/$$

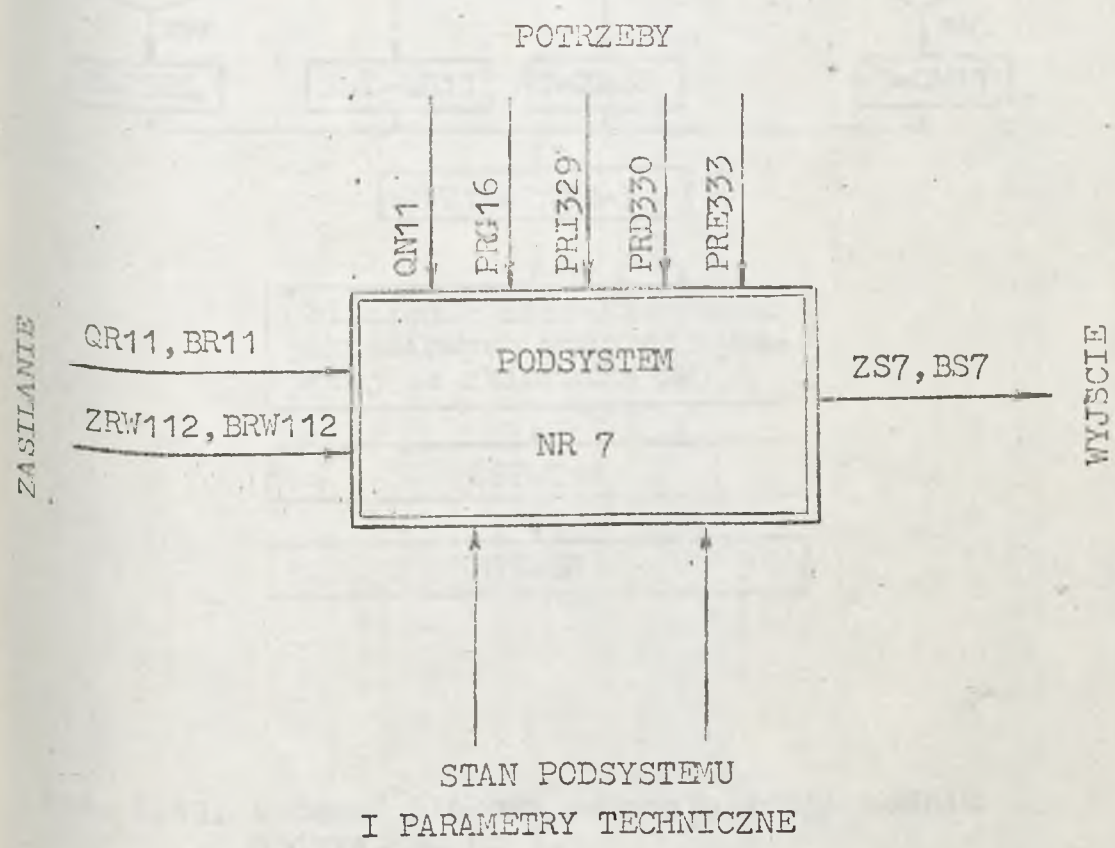
QW11 - przepływ niénaruszalny,
PRG16; PR1329, PRD330, PRE333 - prognozy potrzeb wodnych
kompleksów użytków rolnych,
- odpływ wody ze zbiornika retencyjnego w rozpatrywa-
nym okresie,

BK - jakość wody odpływającej ze zbiornika, obliczana w oparciu o zależność:

$$BK = (VP14 \cdot BZ14 + \Delta t \cdot QD \cdot BD) / (VP14 + \Delta t \cdot QD) \quad /5.57/$$

- Δt - długość przedziału czasowego,
- X - ilość wody dostarczanej użytkownikom rolniczym,
- ZS7 - wielkość odpływu wody z podsystemu,
- BS7 - jakość wody odpływającej z podsystemu.

Model matematyczny podsystemu nr 7, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 5.11. i 5.12, umożliwia obliczenie wielkości odpływu z podsystemu oraz charakterystyk jakościowych odpływającej wody.

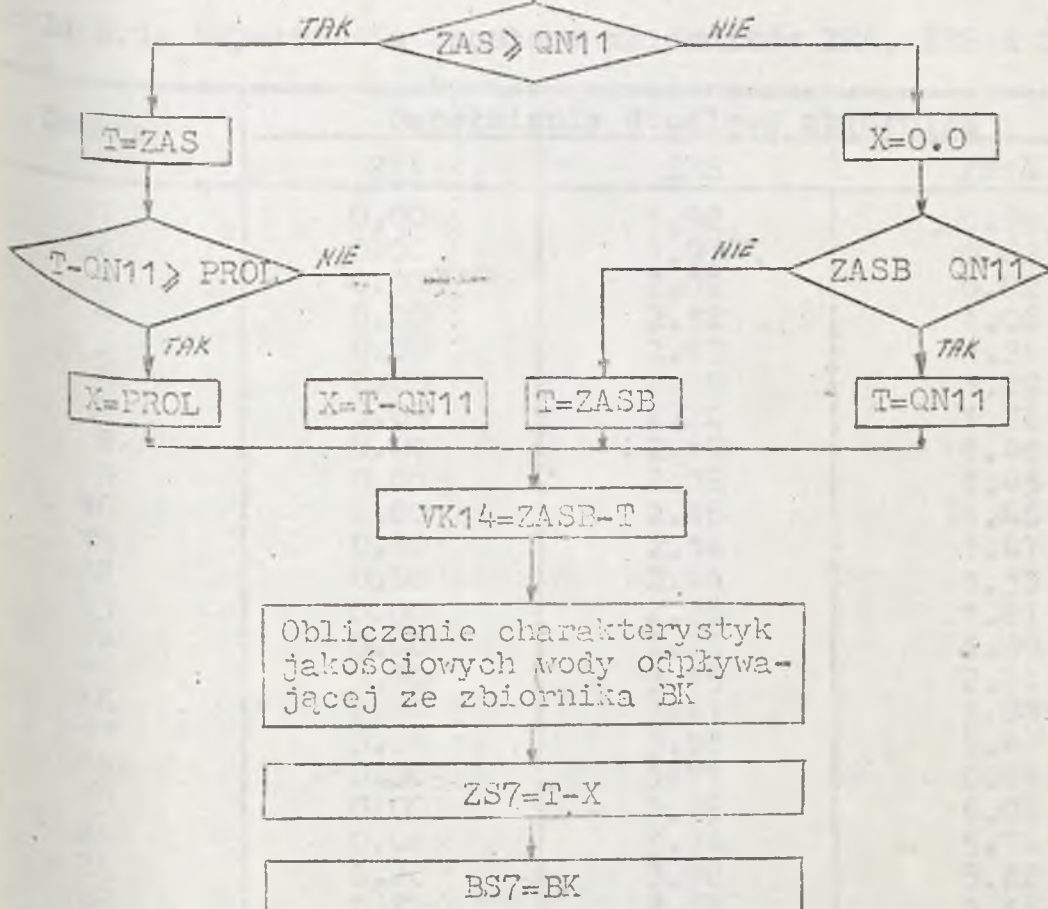


Rys. 5.11. Uproszczony schemat modelu podsystemu nr 7

Obliczenie wielkości całkowitego dopływu wody QD do zbiornika oraz charakterystyk jakościowych dopływającej wody BD

Obliczenie całkowitych potrzeb wodnych nawadnianych kompleksów użytków rolnych:
 $PROL = PRI329 + PRD330 + PRE333 + PRG16$

Obliczenie zasobów dyspozycyjnych dla rozpatrywanego okresu:
 $ZAS = QD + VP14 - VD14$; $ZASB = QD + VP14$



Rys. 5.12. Schemat blokowy matematycznego modelu podsystemu nr 7.

Mielkości napełnień docelowych zbiorników ZR4, ZR8 i ZR14 dla poszczególnych dekad, obliczone w oparciu o historyczne ciągi przepływów dekadowych i potrzeb wodnych użytkowników, z okresu wielolecia 1951-1965, zestawiono w tabeli 5.1. Obliczenia te wykonano przy pomocy programów NDS5, NDS6, NDS7 napisanych w języku FORTRAN, dla emc MERA-400.

Wydruki programów, danych wejściowych oraz wyników obliczeń dołączono do pierwszego egzemplarza pracy.

Tabela 5.1. Napełnienia docelowe zbiorników ZR4, ZR8 i ZR14

| Dekada | Napełnienia docelowe zbiornika | | |
|--------|--------------------------------|------|------|
| | ZR4 | ZR8 | ZR14 |
| 1 | 0,00 | 1,92 | 0.59 |
| 2 | 0.00 | 1.93 | 0.62 |
| 3 | 0.00 | 2.02 | 0.82 |
| 4 | 0.00 | 2.12 | 1.06 |
| 5 | 0.00 | 2.19 | 1.24 |
| 6 | 0.00 | 2.19 | 1.29 |
| 7 | 0.09 | 2.20 | 1.36 |
| 8 | 0.00 | 2.19 | 1.40 |
| 9 | 0.01 | 2.18 | 1.45 |
| 10 | 0.00 | 2.16 | 1.46 |
| 11 | 0.00 | 2.14 | 1.47 |
| 12 | 0.00 | 2.14 | 1.53 |
| 13 | 0.00 | 2.25 | 1.61 |
| 14 | 0.00 | 2.75 | 1.99 |
| 15 | 0.00 | 3.15 | 2.74 |
| 16 | 0.00 | 3.41 | 3.85 |
| 17 | 0.00 | 3.58 | 5.41 |
| 18 | 0.00 | 3.71 | 6.07 |
| 19 | 0.00 | 3.78 | 6.07 |
| 20 | 0.04 | 3.74 | 5.74 |
| 21 | 0.20 | 3.80 | 5.22 |
| 22 | 0.22 | 3.65 | 5.14 |
| 23 | 0.35 | 3.80 | 4.66 |
| 24 | 0.35 | 3.44 | 3.99 |
| 25 | 0.32 | 3.07 | 3.48 |
| 26 | 0.39 | 3.07 | 2.95 |
| 27 | 0.53 | 3.03 | 2.50 |
| 28 | 0.46 | 2.46 | 2.20 |
| 29 | 0.48 | 2.30 | 1.87 |
| 30 | 0.36 | 1.69 | 1.66 |
| 31 | 0.23 | 1.63 | 1.39 |
| 32 | 0.07 | 1.70 | 1.18 |
| 33 | 0.04 | 1.77 | 0.96 |
| 34 | 0.03 | 1.85 | 0.76 |
| 35 | 0.02 | 1.87 | 0.65 |
| 36 | 0.01 | 1.89 | 0.61 |

5.6. Symulacyjno-optymalizacyjne modele podsystemów

nr 1, 2, 3 i 4

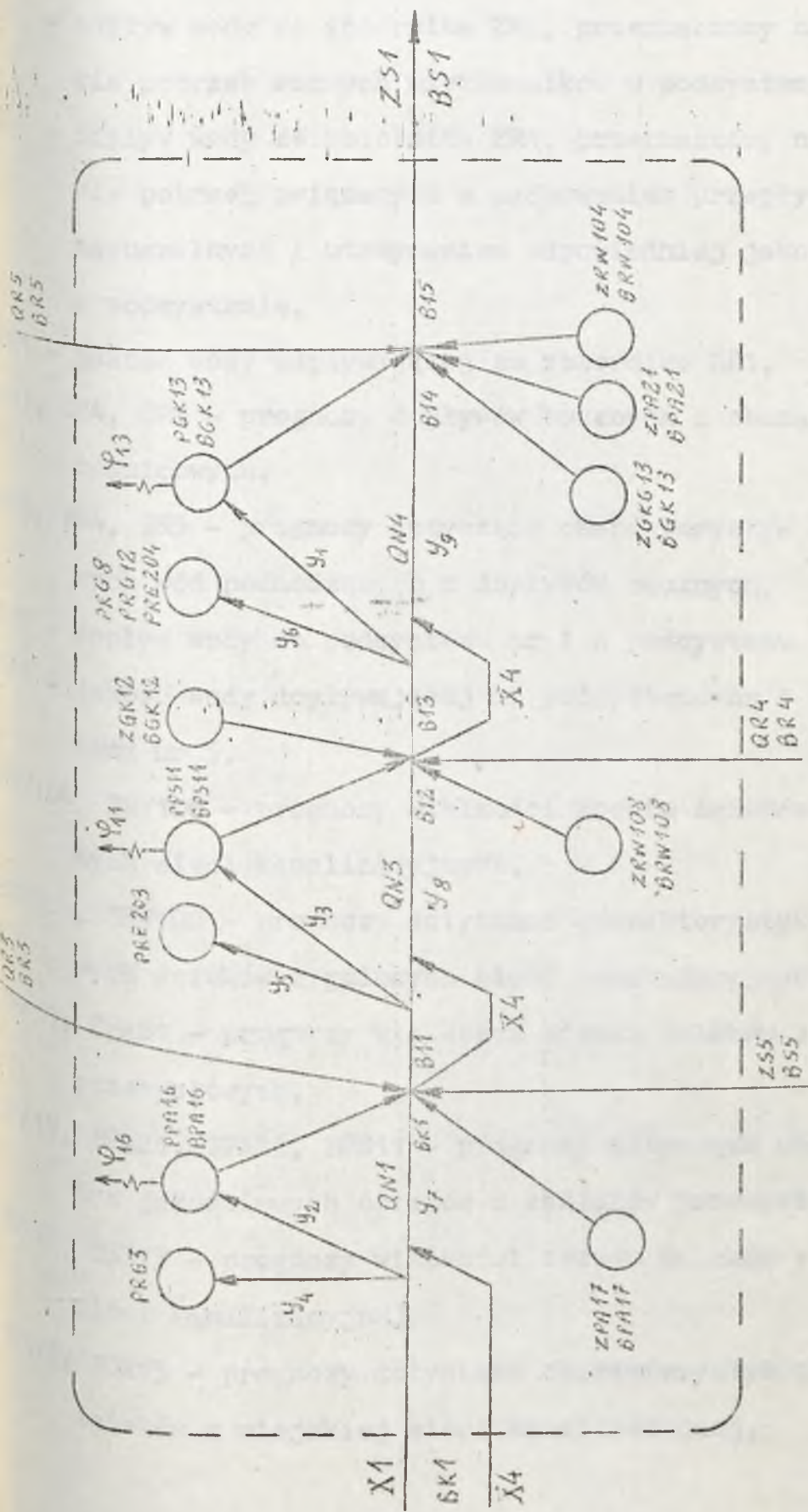
- Symulacyjno-optymalizacyjny model podsystemu, zgodnie z wymaganiami prezentowanej metody, powinien umożliwiać:
- wyznaczenie prognozy łącznych potrzeb wodnych podsystemu, w rozpatrywanym przedziale czasowym, w oparciu o prognozy potrzeb wodnych poszczególnych użytkowników,
 - dokonanie rozrzędu dyspozycyjnych zasobów wodnych pomiędzy poszczególnych użytkowników, zgodnie z przyjętą dla danego podsystemu hierarchią ważności,
 - określenie wielkości odpływu i charakterystyk jakościowych wody odpływającej z podsystemu.

P o d s y s t e m n r 1

Podsystem nr 1, którego schemat przedstawiono na rys.

5.13, obejmuje 8 użytkowników wody. Zadania jakie powinien wypełniać podsystem, w kolejności zgodnej z przyjętą hierarchią, są następujące:

- zapewnienie przepływów nienaruszalnych /QN1, QN3 i QN4/ oraz utrzymanie określonej klasy czystości wody w podsystemie,
- dostarczenie wody dla potrzeb gospodarki komunalnej ośrodka miejskiego /PGK15/,
- dostarczenie wody do zakładów przemysłowych /PPA16, PPS11/,
- dostarczenie wody dla celów nawodnień kompleksów gruntów ornych i użytków zielonych /PRG3, PRE203, PRG8, PRG12, PRE204/.



Rys. 5.13. Schemat podsystemu nr 1.

Oznaczenia:

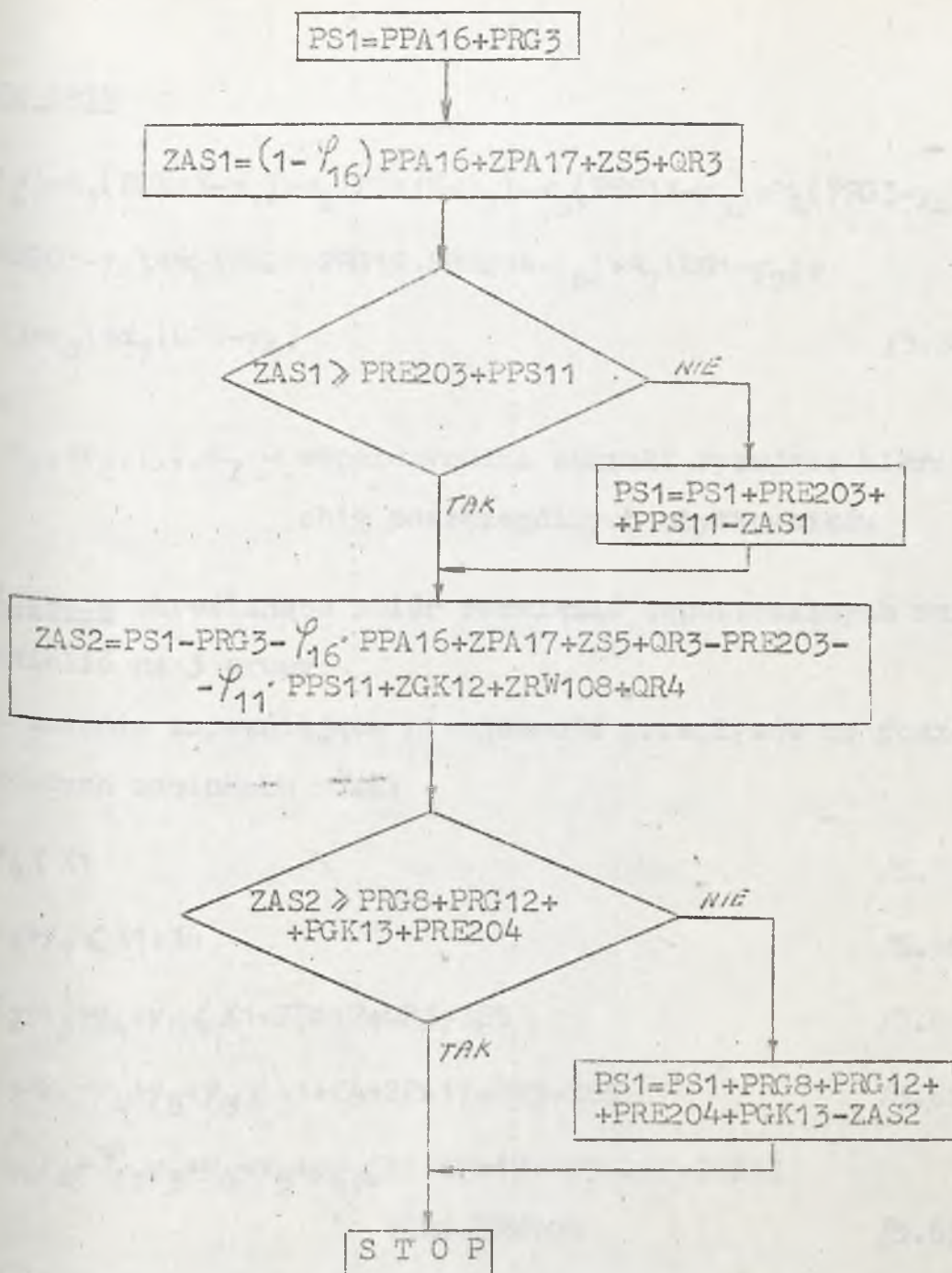
- X1 - odpływ wody ze zbiornika ZR1, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników w podsystemie nr 1,
- X4 - odpływ wody ze zbiornika ZR1, przeznaczony na pokrycie potrzeb związanych z zachowaniem przepływów nie naruszalnych i utrzymaniem odpowiedniej jakości wody w podsystemie,
- BK1 - jakość wody odpływającej ze zbiornika ZR1,
- QR3, QR4, QR5 - prognozy dopływów bocznych z obszaru zlewni różnicowych,
- BR3, BR4, BR5 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych wód pochodzących z dopływów bocznych,
- ZS5 - dopływ wody do podsystemu nr 1 z podsystemu nr 5,
- BS5 - jakość wody dopływającej do podsystemu nr 1 z podsystemu nr 5,
- ZRW104, ZRW108 - prognozy wielkości zrzutu ścieków z gminnych sieci kanalizacyjnych,
- BRW104, BRW108 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych ścieków z gminnych sieci kanalizacyjnych,
- ZPA17, ZPA21 - prognozy wielkości zrzutu ścieków z zakładów przemysłowych,
- BPA17, BPA21, BPA16, BPS11 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych ścieków z zakładów przemysłowych,
- ZGK12, ZGK13 - prognozy wielkości zrzutu ścieków z miejskiej sieci kanalizacyjnej,
- BGK12, BGK13 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych ścieków z miejskiej sieci kanalizacyjnej,

- PRG3, PRG8, PRG12 - prognozy potrzeb wodnych nawadnianych kompleksów gruntów ornych,
- PRE203, PRE204 - prognozy potrzeb wodnych nawadnianych kompleksów użytków zielonych,
- PPS11, PPA16 - prognozy potrzeb wodnych zakładów przemysłowych,
- FGK13 - prognoza potrzeb wodnych wodociągu miejskiego,
- $\gamma_{11}, \gamma_{13}, \gamma_{16}$ - współczynniki strat bezzwrotnych wody użytkowników /PPS11, FGK13, PPA16/
- QN1, QN3, QN4 - przepływy nienaruszalne,
- y_1, y_2, \dots, y_9 - zmienne decyzyjne, określające ilości wody przeznaczone na realizację poszczególnych zadań podsystemu,
- B11, B12, B13, B14, B15 - charakterystyki jakościowe wody rzecznej w przekrojach kontrolnych podsystemu
- ZS1 - odpływ wody z podsystemu nr 1
- BS1 - charakterystyka jakościowa wody odpływającej z podsystemu,
- PS1 - łączne potrzeby wodne użytkowników podsystemu

Model matematyczny podsystemu

Zgodnie z wymaganiami stawianymi przed modelem matematycznym podsystemu, powinien on umożliwiać określenie wielkości: PS1, ZS1, BS1, y_1, y_2, \dots, y_9 .

Łączne potrzeby wodne PS1 użytkowników podsystemu obliczane są przy pomocy algorytmu, którego schemat przedstawiono na rys. 5.14.



Rys.5.14. Schemat blokowy algorytmu obliczania łącznych potrzeb użytkowników podsystemu nr 1.

Rozrządu dyspozycyjnych zasobów wodnych pomiędzy poszczególnych użytkowników podsystemu dokonuje się poprzez rozwiązanie zadania programowania liniowego o postaci:

Funkcja celu

$$\begin{aligned} \min F(\underline{y}) = & \alpha_1(PGK13 - y_1) + \alpha_2(PPA16 - y_2) + \alpha_3(PPS11 - y_3) + \alpha_4(PRG3 - y_4) + \\ & + \alpha_5(PRE203 - y_5) + \alpha_6(PRG8 + PRG12 + PRE204 - y_6) + \alpha_7(QN1 - y_7) + \\ & + \alpha_7(QN3 - y_8) + \alpha_7(QN4 - y_9) \end{aligned} \quad /5.58/$$

gdzie:

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7$ - współczynniki charakteryzujące hierarchię poszczególnych użytkowników

Ograniczenia określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych można podzielić na 3 grupy:

- ograniczenia zapewniające nieujemność przepływów na poszczególnych odcinkach rzek:

$$y_2 + y_4 \leq X1 \quad /5.59/$$

$$y_2 + y_4 + y_7 \leq X1 + X4 \quad /5.60/$$

$$P_{16}y_2 + y_3 + y_4 + y_5 \leq X1 + ZPA17 + QR3 + ZS5 \quad /5.61/$$

$$P_{16}y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_8 \leq X1 + X4 + ZPA17 + QR3 + ZS5 \quad /5.62/$$

$$\begin{aligned} y_1 + P_{16}y_2 + P_{11}y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \leq & X1 + ZPA17 + QR3 + ZS5 + ZGK12 \\ & + QR4 + ZRW108 \end{aligned} \quad /5.63/$$

$$\begin{aligned} y_1 + P_{16}y_2 + P_{11}y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_9 \leq & X1 + X4 + ZPA17 + QR3 + ZS5 + \\ & + ZGK12 + QR4 + ZRW108 \end{aligned} \quad /5.64/$$

- ograniczenia zapewniające, że ilość wody dostarczanej do użytkownika nie przekracza wielkości zapotrzebowania na wodę:

$$y_1 \leq PGK13 \quad /5.65/$$

$$y_2 \leq PPA16 \quad /5.66/$$

$$y_3 \leq \text{PPS11} \quad /5.67/$$

$$y_4 \leq \text{PRG3} \quad /5.68/$$

$$y_5 \leq \text{PRE203} \quad /5.69/$$

$$y_6 \leq \text{PRG8+PRG12+PRE204} \quad /5.70/$$

$$y_7 \leq \text{QN1} \quad /5.71/$$

$$y_8 \leq \text{QN3} \quad /5.72/$$

$$y_9 \leq \text{QN4} \quad /5.73/$$

- ograniczenia zapewniające nieujemność zmiennych decyzyjnych

$$y_i \geq 0, \quad i=1,2,\dots,9 \quad /5.74/$$

Wielkość odpływu wody ZS1 z podsystemu oraz charakterystyki jakościowe wody B11, B12, B13, B14, B15 i BS1 w przekrojach kontrolnych obliczane są w oparciu o zależność:

$$\text{ZS1} = X1 + X4 - \varphi_{16} y_2 - y_4 + \text{QB1} - \varphi_{11} y_3 - y_5 + \text{QB2} - \varphi_{13} y_1 - y_6 + \text{QB3} \quad /5.75/$$

gdzie:

$$\text{QB1} = \text{QR3} + \text{ZS5} + \text{ZPA17} \quad /5.76/$$

$$\text{QB2} = \text{QR4} + \text{ZRW108} + \text{ZGK12} \quad /5.77/$$

$$\text{QB3} = \text{QR5} + \text{ZGKG13} + \text{ZPA21} + \text{ZRW104} \quad /5.78/$$

$$\text{B11} = \left[(X1 + X4 - y_2 - y_4) \cdot \text{BK1} + (1 - \varphi_{16}) y_2 \cdot \text{BPA16} + \text{ZPA17} \cdot \text{BPA17} + \text{QR3} \cdot \text{BR3} + \text{ZS5} \cdot \text{BS5} \right] / (X1 + X4 - \varphi_{16} y_2 - y_4 + \text{QB1}) \quad /5.79/$$

$$\text{B12} = \text{B11} \cdot 10^{-k_1 T_1} \quad /5.80/$$

gdzie:

k_1 i T_1 oznaczają odpowiednio współczynnik szybkości biochemicznego zużycia tlenu i czas przepływu wody pomiędzy przekrojami A i B

$$B13 = \left[(X1+X4 - \varphi_{16}y_2 - y_4 + QB1 - y_3 - y_5) \cdot B12 + (1 - \varphi_{11}y_3 \cdot BPS11 + \right. \\ \left. + ZGK12 \cdot BGK12 + ZRW108 \cdot BRW108 + QR4 \cdot BR4 \right] / \\ (X1+X4 - \varphi_{16}y_2 - y_4 - \varphi_{11}y_3 - y_5 + QB1 + QB2) \quad /5.81/$$

$$B14 = B14 \cdot 10^{-k_2 T_2} \quad /5.82/$$

gdzie:

k_2 i T_2 oznaczają odpowiednio współczynnik szybkości biochemicznego zużycia tlenu i czas przepływu wody pomiędzy przekrojami B i C

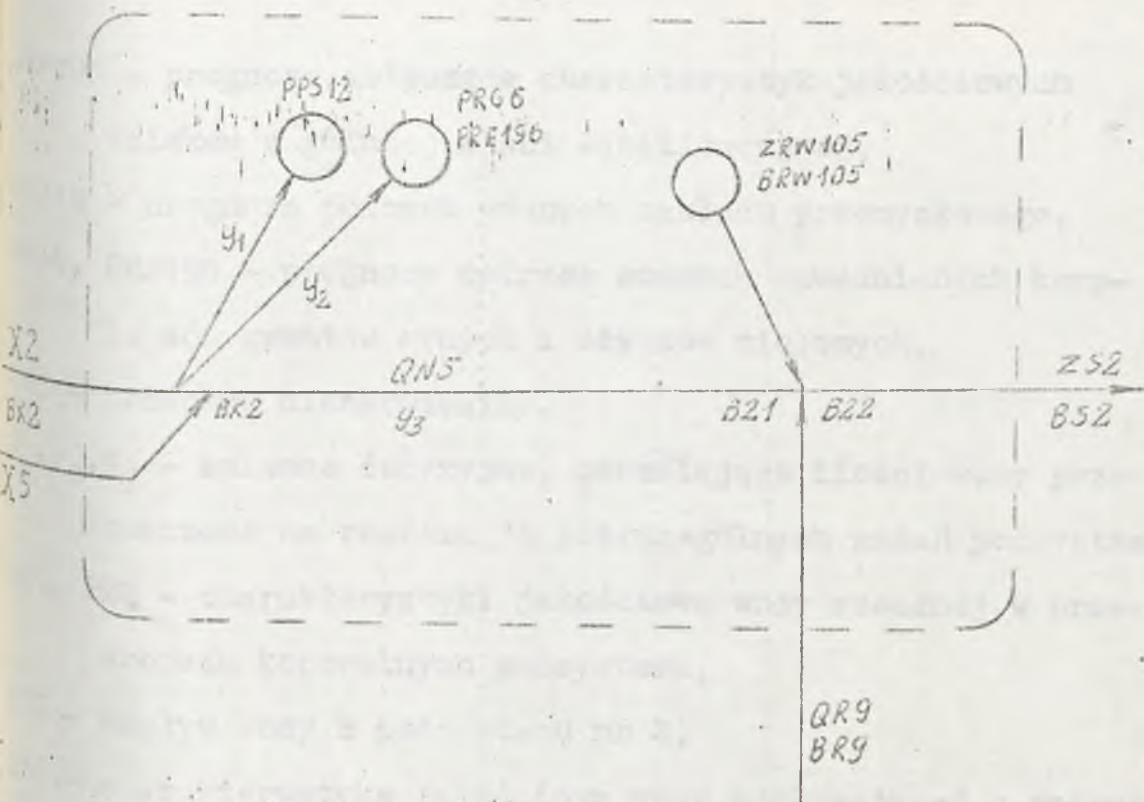
$$B15 = \left[(X1+X4 - \varphi_{16}y_2 - \varphi_{11}y_3 - y_4 - y_5 + QB1 + QB2 - y_6 - y_1) \cdot B14 + \right. \\ \left. + (1 - \varphi_{13}y_1) \cdot BGK13 + ZGK13 \cdot BGK13 + ZPA21 \cdot BPA21 + ZRW104 \cdot \right. \\ \left. \cdot BRW104 + QR5 \cdot BR5 \right] / (X1+X4 - \varphi_{13}y_1 - \varphi_{16}y_2 - \varphi_{11}y_3 - y_4 - y_5 - \\ - y_6 + QB1 + QB2 + QB3) \quad /5.83/$$

$$BS1 = B15 \quad /5.84/$$

Podsystem nr 2

Podsystem nr 2, którego schemat przedstawiono na rys. 5.15, obejmuje 3 użytkowników wody. Zadania jakie powinien wypełniać podsystem, w kolejności zgodnej z przyjętą hierarchią, są następujące:

- zapewnienie przepływu nienaruszalnego /QN5/ oraz utrzymanie określonej klasy czystości wody w podsystemie,
- dostarczenie wody do zakładu przemysłowego /PPS12/,
- dostarczenie wody dla celów nawodnień kompleksu gruntów ornych /PRG6/ i użytków zielonych /PRE196/



Rys. 5.15. Schemat podsystemu nr 2

Oznaczenia:

- X2 - odpływ wody ze zbiornika ZR6, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników w podsystemie nr 2,
- X5 - odpływ wody ze zbiornika ZR6, przeznaczony na pokrycie potrzeb związanych z zachowaniem przepływu nie-naukszalnego i utrzymaniem odpowiedniej jakości wody w podsystemie,
- BK2 - jakość wody odpływającej ze zbiornika ZR6,
- QR9 - prognoza dopływu bocznego z obszaru zlewni różnicowej,
- BR9 - prognoza dotycząca charakterystyk jakościowych wody pochodzącej z dopływu bocznego,
- ZRW105 - prognoza wielkości zrzutu ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,

- BRW105 - prognoza dotycząca charakterystyk jakościowych
ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,
PPS12 - prognoza potrzeb wodnych zakładu przemysłowego,
PRG6, PRE196 - prognozy potrzeb wodnych nawadnianych komp-
leksów gruntów ornych i użytków zielonych,
QN5 - przepływ nienaruszalny,
 y_1, y_2, y_3 - zmienne decyzyjne, określające ilości wody prze-
znaczone na realizację poszczególnych zadań podsystemu,
BZ1, BZ2 - charakterystyki jakościowe wody rzecznej w prze-
krojach kontrolnych podsystemu,
ZS2 - odpływ wody z podsystemu nr 2,
BS2 - charakterystyka jakościowa wody odpływającej z podsyst-
temu,
PS2 - łączne potrzeby wodne użytkowników podsystemu.

Model matematyczny podsystemu

Łączne potrzeb wodne PS2 użytkowników podsystemu
obliczane są w oparciu o zależność:

$$PS2 = PPS12 + PRG6 + PRE196 \quad /5.85/$$

Rozrządu dyspozycyjnych zasobów wodnych pomiędzy poszcze-
gólnych użytkowników podsystemu dokonuje się poprzez roz-
wiązanie zadania programowania liniowego o postaci:

Funkcja celu

$$\min F(y) = \alpha_1 (PPS12 - y_1) + \alpha_2 (PRG6 + PRE196 - y_2) + \alpha_3 (QN5 - y_3) \quad /5.86/$$

Ograniczenia określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych

można podzielić na 3 grupy:

ograniczenia zapewniające nieujemność przepływów na poszczególnych odcinkach rzek:

$$y_1 + y_2 \leq X_2 \quad /5.87/$$

$$y_1 + y_2 + y_3 \leq X_2 + X_5 \quad /5.88/$$

ograniczenia zapewniające, że ilość wody dostarczanej do użytkowników nie przekracza wielkości zapotrzebowania na wodę:

$$y_1 \leq PPS12 \quad /5.89/$$

$$y_2 \leq PRG6 + PRE196 \quad /5.90/$$

$$y_3 \leq QN5 \quad /5.91/$$

ograniczenia zapewniające nieujemność zmiennych decyzyjnych:

$$y_i \geq 0, \quad i=1,2,3 \quad /5.92/$$

Wielkości odpływu wody ZS2 z podsystemu oraz charakterystyki jakościowe wody B21, B22, BS2 w przekrojach kontrolnych obliczane są w oparciu o zależności:

$$ZS2 = X_2 + X_5 - y_1 - y_2 + ZRW105 + QR9 \quad /5.93/$$

$$B21 = B12 \cdot 10^{-KT} \quad /5.94/$$

gdzie:

K i T oznaczają odpowiednio współczynnik szybkości biochemicznego zużycia tlenu i czas przepływu wody pomiędzy przekrojami A i B

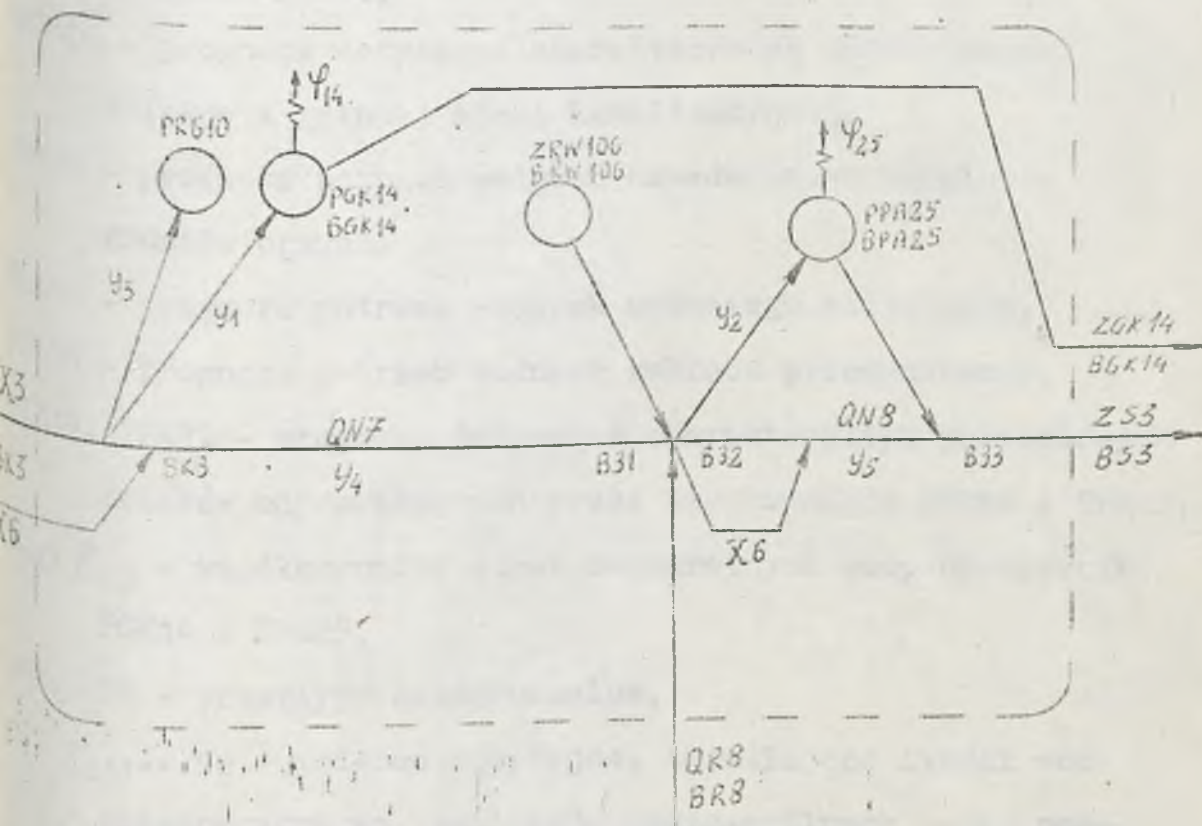
$$B22 = \left[(X_2 + X_5 - y_1 - y_2) \cdot B21 + ZRW105 \cdot BRW105 + QR9 \cdot BR9 \right] / ZS2 \quad /5.95/$$

$$BS2 = B22 \quad /5.96/$$

Podsystem nr 3

Podsystem nr 3, którego schemat przedstawiono na rys.5.16, obejmuje 3 użytkowników wody. Zadania jakie powinien wypełniać podsystem, w kolejności zgodnej z przyjętą hierarchią, są następujące:

- zapewnienie przepływów nienaruszalnych /QN7 i QN8/ oraz utrzymanie określonej klasy czystości wody w podsystemie,
- dostarczenie wody dla potrzeb gospodarki komunalnej ośrodka miejskiego /PGK14/,
- dostarczenie wody do zakładu przemysłowego /PPA25/,
- dostarczenie wody dla celów nawodnień kompleksu gruntów ornych /PRG10/.



rys.5.16. Schemat podsystemu nr 3

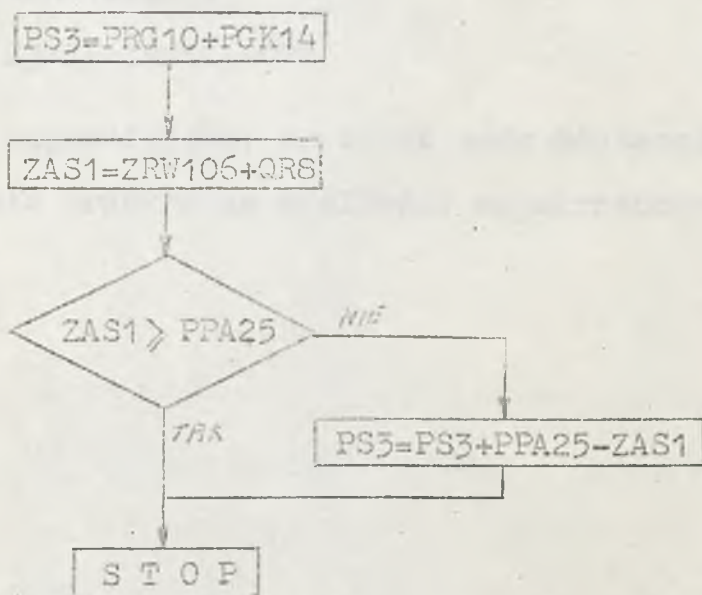
Oznaczenia:

- X3 - odpływ wody ze zbiornika ZR11, przeznaczony na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników w podsystemie nr 3,
- X6 - odpływ wody ze zbiornika ZR11, przeznaczony na pokrycie potrzeb związanych z zachowaniem przepływów nienaruszalnych i utrzymaniem odpowiedniej jakości wody w podsystemie,
- EQ3 - jakość wody odpływającej ze zbiornika ZR11,
- QR3 - prognoza dopływu boczno z obszaru zlewni różnicowej,
- BR3 - prognoza dotycząca charakterystyk jakościowych wody pochodzącej z dopływu bocznego,
- ZRM105 - prognoza wielkości zrzutu ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,
- BRM105 - prognoza dotycząca charakterystyk jakościowych ścieków z gminnej sieci kanalizacyjnej,
- PRG10 - prognoza potrzeb wodnych nawadnianego kompleksu gruntów ornych,
- FGK14 - prognoza potrzeb wodnych wodociągu miejskiego,
- PPA25 - prognoza potrzeb wodnych zakładu przemysłowego,
- FGK14, PPA25 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych ścieków odprowadzanych przez użytkowników FGK14 i PPA25,
- y_{14}, y_{25} - współczynniki strat bezzwrotnych wody użytkowników FGK14 i PPA25,
- QW7, QW3 - przepływy nienaruszalne,
- y_1, y_2, \dots, y_5 - zmienne decyzyjne, określające ilości wody przeznaczone na realizację poszczególnych zadań podsystemu,

- ZGK14 - zrzut ścieków z miejskiej sieci kanalizacyjnej, odpływających do podsystemu nr 4,
- B31, B32, B33 - charakterystyki jakościowe wody rzecznej w przekrojach kontrolnych podsystemu,
- ZS3 - odpływ wody z podsystemu nr 3,
- BS3 - charakterystyka jakościowa wody odpływającej z podsystemu,
- PS3 - łączne potrzeby wodne użytkowników podsystemu.

Model matematyczny podsystemu

Łączne potrzeby wodne PS3 użytkowników podsystemu obliczane są przy pomocy algorytmu, którego schemat przedstawiono na rys.5.17.



Rys. 5.17. Schemat blokowy algorytmu obliczania łącznych potrzeb wodnych użytkowników podsystemu nr 3.

Rozrzędu dyspozycyjnych zasobów wodnych pomiędzy poszczegól-
nych użytkowników podsystemu dokonuje się poprzez roz-
wiązanie zadania programowania liniowego o postaci:

Funkcja celu:

$$\min F(\underline{y}) = \alpha_1 (FGK14 - y_1) + \alpha_2 (PPA25 - y_2) + \alpha_3 (PRG10 - y_3) + \\ + \alpha_4 (QN7 - y_4) + \alpha_4 (QN8 - y_5) \quad /5.97/$$

Ograniczenia określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych
można podzielić na 3 grupy:

- ograniczenia zapewniające nieujemność przepływów na po-
szczególnych odcinkach rzeki:

$$y_1 + y_3 \leq X3 \quad /5.98/$$

$$y_1 + y_3 + y_7 \leq X3 + X6 \quad /5.99/$$

$$y_1 + y_2 + y_3 \leq X3 + ZRW106 + QR8 \quad /5.100/$$

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_8 \leq X3 + X6 + ZRW106 + QR8 \quad /5.101/$$

- ograniczenia zapewniające, że ilość wody dostarczanej do
użytkownika nie przekracza wielkości zapotrzebowania na
wodę:

$$y_1 \leq PGK14 \quad /5.102/$$

$$y_2 \leq PPA25 \quad /5.103/$$

$$y_3 \leq PRG10 \quad /5.104/$$

$$y_4 \leq QN7 \quad /5.105/$$

$$y_5 \leq QN8 \quad /5.106/$$

- ograniczenia zapewniające nieujemność zmiennych decyzyj-
nych:

$$y_i \geq 0, \quad i=1,2,\dots,5 \quad /5.107/$$

Wielkość odpływów wody ZS3 i ścieków ZGK14 z podsystemu oraz charakterystyki jakościowe wody B31, B32, B33 i BS3 w przekrojach kontrolnych obliczane są w oparciu o zależność:

$$ZS3 = X3 + X6 - y_1 - y_3 - \varphi_{25} y_2 + ZRW106 + QR8 \quad /5.108/$$

$$ZGK14 = (1 - \varphi_{14}) y_1 \quad /5.109/$$

$$B31 = BK3 \cdot 10^{-KT} \quad /5.110/$$

gdzie:

K i T oznaczają odpowiednio współczynnik szybkości biochemicznego zużycia tlenu i czas przepływu wody pomiędzy przekrojami A i B

$$B32 = \frac{(X3 + X6 - y_1 - y_2) \cdot B31 + ZRW106 \cdot BRW106 + QR8 \cdot BR8}{(X3 + X6 - y_1 - y_3 + ZRW106 + QR8)} \quad /5.111/$$

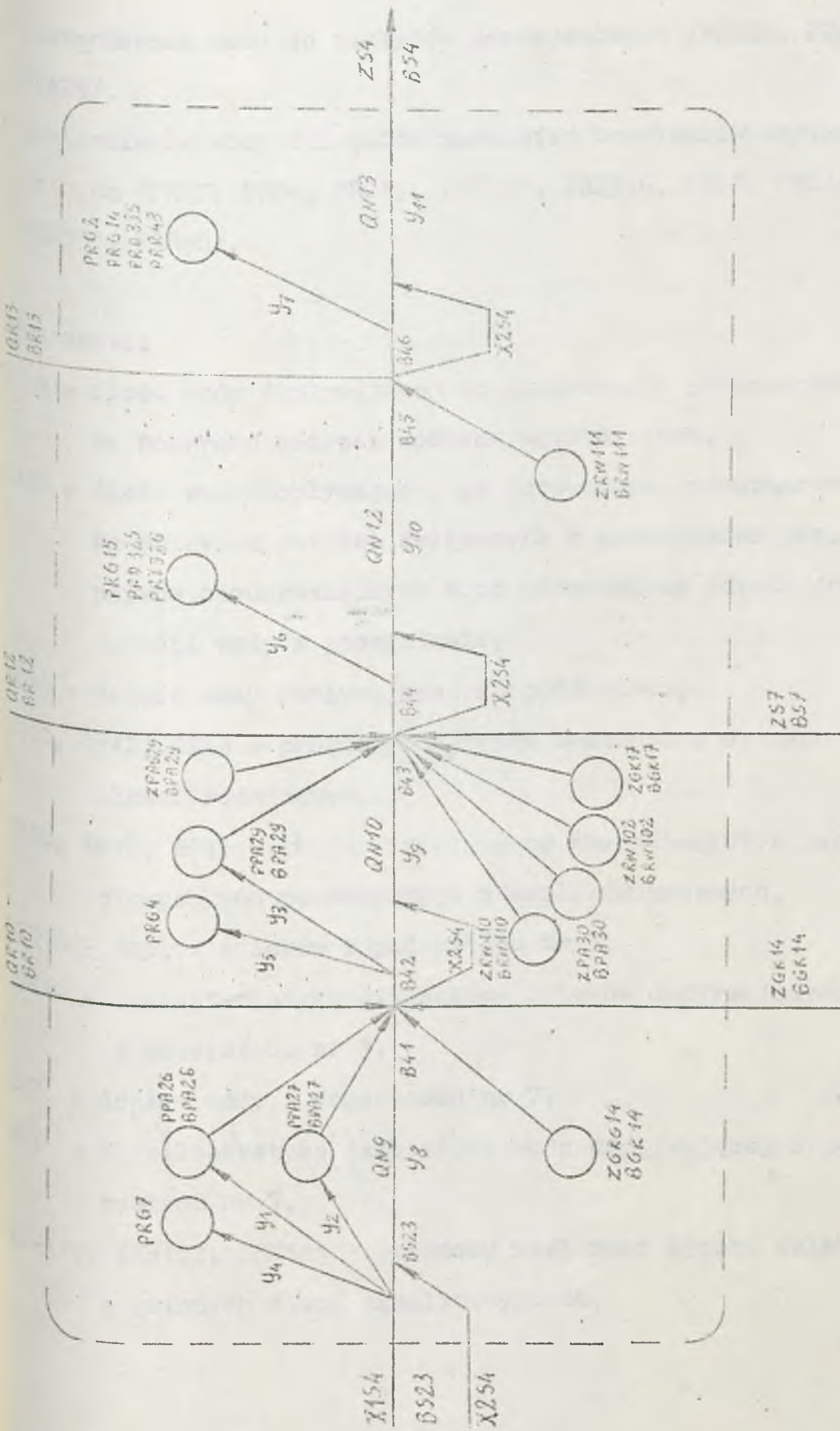
$$B33 = \frac{(X3 + X6 - y_1 - y_3 - y_2 + ZRW106 + QR8) \cdot B32 + (1 - \varphi_{25}) y_2 \cdot BPA25}{ZS3} \quad /5.112/$$

$$BS3 = B33 \quad /5.113/$$

Podsystem nr 4

Podsystem nr 4, którego schemat przedstawiono na rys. 5.18., obejmuje 12 użytkowników wody. Zadania jakie powinien wypełniać podsystem, w kolejności zgodnej z przyjętą hierarchią, są następujące:

- zapewnienie przepływów nienaruszalnych /QN9, QN10, QN12, QN13/ oraz utrzymanie określonej klasy czystości wody w podsystemie,



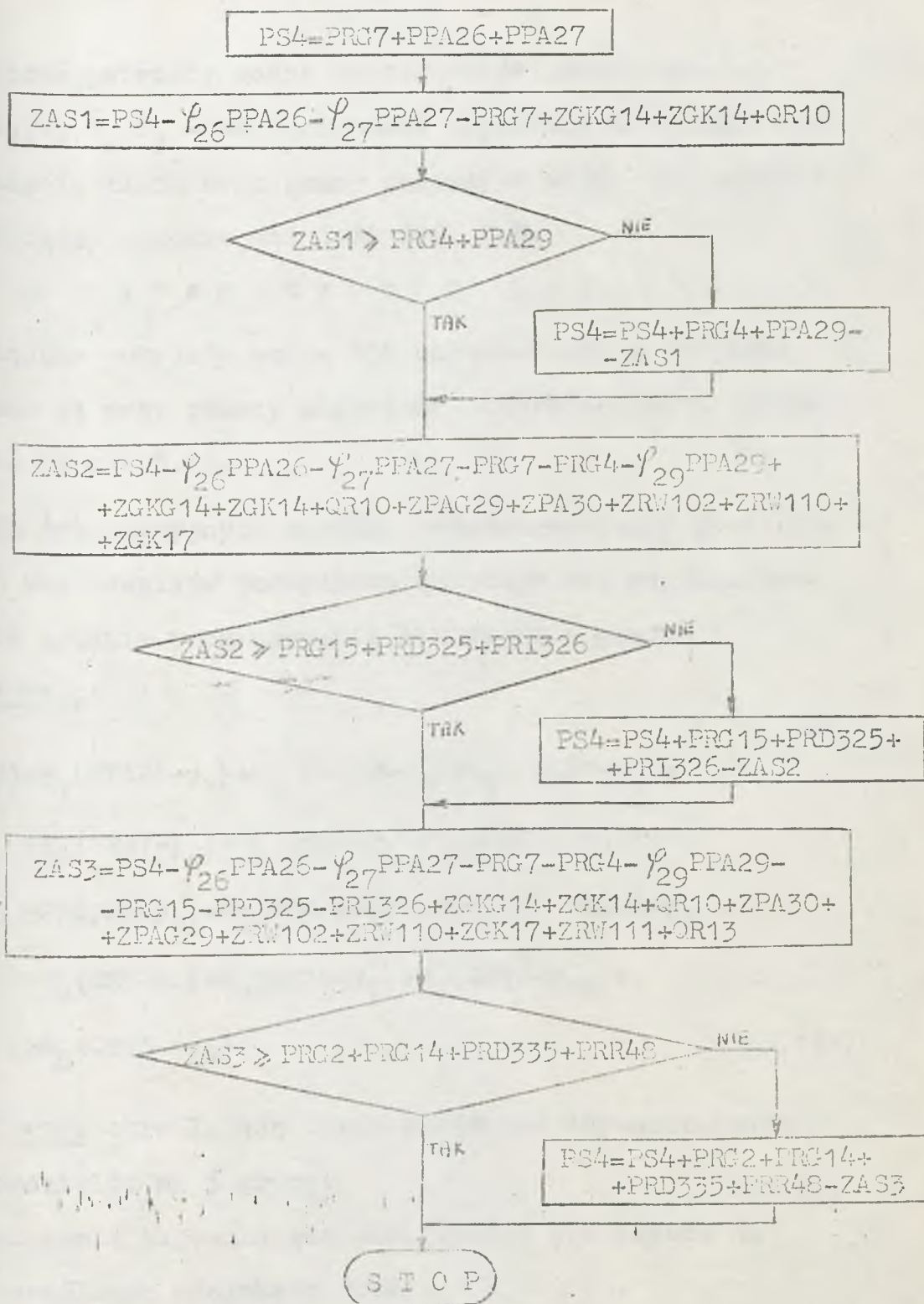
Rys. 5.18. Schemat podsystemu nr 4

- dostarczenie wody do zakładów przemysłowych /PPA26, PPA27, PPA29/;
- dostarczenie wody dla celów nawodnień kompleksów użytków rolnych /PRG7, PRG4, PRG15, PRD325, PRI326, PRG2, PRG14, PRD355, PRR48/.

Oznaczenia:

- K134 - ilość wody dopływającej do podsystemu, przeznaczona na pokrycie potrzeb wodnych użytkowników,
- K234 - ilość wody dopływającej do podsystemu, przeznaczona na pokrycie potrzeb związanych z zachowaniem przepływów nienaruszalnych oraz utrzymaniem odpowiedniej jakości wody w podsystemie,
- BS23 - jakość wody dopływającej do podsystemu,
- QR10, QR12, QR13 - prognozy dopływów bocznych z obszaru zlewni różnicowych,
- BR10, BR12, BR13 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych wód pochodzących z dopływów bocznych,
- ZGK14 - dopływ ścieków z podsystemu nr 3,
- EGK14 - charakterystyka jakościowa ścieków dopływających z podsystemu nr 3,
- ZS7 - dopływ wody z podsystemu nr 7,
- ES7 - charakterystyka jakościowa wody dopływającej z podsystemu nr 7,
- ZRW110, ZRW102, ZRW111 - prognozy wielkości zrzutu ścieków z gminnych sieci kanalizacyjnych,

- BRW110, BRW102, BRW111 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych ścieków z gminnych sieci kanalizacyjnych,
- ZGK14, ZGK17 - prognozy zrzutu ścieków z miejskich sieci kanalizacyjnych,
- BGK17 - prognoza dotycząca charakterystyk jakościowych ścieków z miejskiej sieci kanalizacyjnej,
- ZPAG29, ZPA30 - prognozy wielkości zrzutu ścieków z zakładów przemysłowych,
- BPA29, BPA30 - prognozy dotyczące charakterystyk jakościowych ścieków z zakładów przemysłowych,
- PPA26, PPA27, PPA29 - prognozy pobrzeb wodnych zakładów przemysłowych,
- $\gamma_{26}, \gamma_{27}, \gamma_{29}$ - współczynniki strat bezzwrotnych wody,
- PRG7, PRG4, PRG15, PRG2, PRG14 - prognozy potrzeb wodnych nawadnianych kompleksów gruntów ornych,
- PRD325, PRI326, PRD335, PRR48 - prognozy potrzeb wodnych nawadnianych kompleksów użytków zielonych,
- QN9, QN10, QN12, QN13 - przepływy nienaruszalne,
- y_1, y_2, \dots, y_{11} - zmienne decyzyjne, określające ilości wody przeznaczone na realizację poszczególnych zadań podsystemu,
- B41, B42, B43, B44, B45, B46 - charakterystyki jakościowe wody rzecznej w przekrojach kontrolnych podsystemu
- ZS4 - odpływ wody z podsystemu nr 4,
- ES4 - charakterystyka jakościowa wody odpływającej z podsystemu,



Rys. 5.19. Schemat blokowy algorytmu obliczania łącznych potrzeb wodnych użytkowników podsystemu nr 4

PS4 - łączne potrzeby wodne użytkowników podsystemu,
 $K_1, K_2, K_3, T_1, T_2, T_3$ - współczynniki szybkości biochemicznego zużycia tlenu oraz czasy przepływu wody, odpowiednio pomiędzy przekrojami A-B, B-C, C-D.

Model matematyczny podsystemu

Łączne potrzeby wodne PS4 użytkowników podsystemu obliczane są przy pomocy algorytmu, którego schemat przedstawiono na rys.5.19.

Rozrządu dyspozycyjnych zasobów wodnych pomiędzy poszczególnych użytkowników podsystemu dokonuje się poprzez rozwiązanie zadania programowania liniowego o postaci:

Funkcja celu:

$$\begin{aligned} \min F(y) = & \alpha_1 (PPA26 - y_1) + \alpha_2 (PPA27 - y_2) + \alpha_3 (PPA29 - y_3) + \\ & + \alpha_4 (PRG7 - y_4) + \alpha_5 (PRG4 - y_5) + \alpha_6 (PRG15 + PRD325 + \\ & + PRI326 - y_6) + \alpha_7 (PRG2 + PRG14 + PRD335 + PRR48 - y_7) + \\ & + \alpha_8 (QN9 - y_8) + \alpha_8 (QN10 - y_9) + \alpha_8 (QN12 - y_{10}) + \\ & + \alpha_8 (QN15 - y_{11}) \end{aligned} \quad /5.114/$$

Ograniczenia określające zbiór rozwiązań dopuszczalnych

można podzielić na 3 grupy:

- ograniczenia zapewniające nieujemność przepływów na poszczególnych odcinkach rzek:

$$y_1 + y_2 + y_4 \leq X1S4 \quad /5.115/$$

$$y_1 + y_2 + y_4 + y_8 \leq X1S4 + X2S4 \quad /5.116/$$

$$y_{26}y_1 + y_{27}y_2 + y_3 + y_4 + y_5 \leq X1S4 + QB1 \quad /5.117/$$

$$y_{26}^{p_1} + y_{27}^{p_2} + y_3 + y_4 + y_5 + y_9 \leq X1S4 + X2S4 + QB1 \quad /5.118/$$

gdzie:

$$QB1 = QR10 + ZGKG14 + ZGK14 \quad /5.119/$$

$$y_{26}^{p_1} + y_{27}^{p_2} + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \leq X1S4 + QB1 + QB2 \quad /5.120/$$

$$y_{26}^{p_1} + y_{27}^{p_2} + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_{10} \leq X1S4 + X2S4 + QB1 + QB2 \quad /5.121/$$

gdzie:

$$QB2 = QR12 + ZPAG29 + ZRW110 + ZPA30 + ZRW102 + ZGK17 + ZS7 \quad /5.122/$$

$$y_{26}^{p_1} + y_{27}^{p_2} + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 \leq X1S4 + QB1 + QB2 + QB3 \quad /5.123/$$

$$y_{26}^{p_1} + y_{27}^{p_2} + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_{11} \leq X1S4 + X2S4 + QB1 + QB2 + QB3 \quad /5.124/$$

gdzie:

$$QB3 = QR13 + ZRW11 \quad /5.125/$$

ograniczenia zapewniające, że ilość wody dostarczanej do użytkownika nie przekracza wielkości zapotrzebowania na wodę:

$$y_1 \leq PPA26 \quad /5.126/$$

$$y_2 \leq PPA27 \quad /5.127/$$

$$y_3 \leq PPA29 \quad /5.128/$$

$$y_4 \leq PRG7 \quad /5.129/$$

$$y_5 \leq PRG4 \quad /5.130/$$

$$y_6 \leq PRG13 + PRD325 + PRI326 \quad /5.131/$$

$$y_7 \leq PRG2 + PRG14 + PRD355 + PRR48 \quad /5.132/$$

$$y_8 \leq QN9 \quad /5.133/$$

$$y_9 \leq QN10 \quad /5.134/$$

$$y_{10} \leq QN12 \quad /5.135/$$

$$y_{11} \leq QN13 \quad /5.136/$$

ograniczenia zapewniające nieujemność zmiennych decyzyjnych:

$$y_i \geq 0, \quad i=1,2,\dots,11 \quad /5.137/$$

Wielkości odpływu wody ZS4 z podsystemu oraz charakterystyki jakościowe wody B41, B42, B43, B44, B45, B46 i BS4 w przekrojach kontrolnych obliczane są w oparciu o zależność:

$$ZS4 = X1S4 + X2S4 - \varphi_{26} y_1 - \varphi_{27} y_2 - \varphi_{29} y_3 - y_4 - y_5 - y_6 - y_7 + QB1 + QB2 + QB3 \quad /5.138/$$

$$B41 = BS23 \cdot 10^{-k_1 T_1} \quad /5.139/$$

$$B42 = [(X1S4 + X2S4 - \varphi_{26} y_1 - \varphi_{27} y_2 - y_4) \cdot B41 + (1 - \varphi_{26} y_1) \cdot BPA26 + (1 - \varphi_{27} y_2) \cdot BPA27 + (ZGKG14 + ZGK14) \cdot BGK14 + QR10 \cdot BR10] / (X1S4 + X2S4 - \varphi_{26} y_1 - \varphi_{27} y_2 - y_4 + QB1) \quad /5.140/$$

$$B43 = B42 \cdot 10^{-k_2 T_2} \quad /5.141/$$

$$B44 = [(X1S4 + X2S4 - \varphi_{26} y_1 - \varphi_{27} y_2 - y_4 + QB1 - y_5 - y_3) \cdot B43 + (1 - \varphi_{29} y_3) \cdot BPA29 + QR12 \cdot BR12 + ZPAG29 \cdot BPA29 + ZRW110 \cdot BRW110 + ZPA30 \cdot BPA30 + ZRW102 \cdot BRW102 + ZS7 \cdot BS7 + ZGK17 \cdot BGK17] / (X1S4 + X2S4 - \varphi_{26} y_1 - \varphi_{27} y_2 - y_4 - \varphi_{29} y_3 - y_5 + QB1 + QB2) \quad /5.142/$$

$$B45 = B44 \cdot 10^{-k_3 T_3} \quad /5.143/$$

$$B46 = \left[(X1S4 + X2S4 - \varphi_{26}y_1 - \varphi_{27}y_2 - \varphi_{29}y_3 - y_4 - y_5 - y_6 + \right. \\ \left. + QB1 + QB2) \cdot B45 + QR13 \cdot BR13 + ZRW111 \cdot BRW111 \right] / \\ (X1S4 + X2S4 - \varphi_{26}y_1 - \varphi_{27}y_2 - \varphi_{29}y_3 - y_4 - y_5 - y_6 + \\ + QB1 + QB2 + QB3)$$

/5.144/

$$B34 = B46$$

5.7. Opis danych

W procesie wyznaczania bieżących sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrządem wody w systemie wodnogospodarczym, dla okresu sześciu kolejnych dekad, wykorzystano następujące dane:

- dane dotyczące zbiorników retencyjnych zestawione w tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Parametry zbiorników retencyjnych

| Lp | Nazwa zbiornika | Rzeka | Pojemność użytkowa zbiornika $\frac{1}{3}$ /mln m ³ / | Napełnienie zbiornika na początku 1 dekady $\frac{1}{3}$ /mln m ³ / |
|----|-------------------|----------------|---|---|
| 1 | Henryków ZR1 | Kamienna | 4.25 | 2.10 |
| 2 | Rejów ZR4 | Kamionka | 0.88 | 0.40 |
| 3 | Bródki ZR6 | Kamienna | 4.10 | 2.00 |
| 4 | Baszowice ZR8 | Pokrzywianka | 3.80 | 3.70 |
| 5 | Wióry ZR11 | Świślina | 20.00 | 15.00 |
| 6 | Krzczonowice ZR14 | Krzczonowianka | 6.07 | 3.00 |

dane dotyczące wielkości przepływów nienaruszalnych zestawione w tabeli 5.3.

Tabela 5.3. Przepływy nienaruszalne

| Lp. | Oznaczenie przepływu nienaruszalnego | Wielkość przepływu [m ³ /s] | Lokalizacja /nr podsystemu/ |
|-----|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | QN1 | 0.13 | 1 |
| 2 | QN2 | 0.16 | 5 |
| 3 | QN3 | 0.46 | 1 |
| 4 | QN4 | 0.70 | 1 |
| 5 | QN5 | 0.86 | 2 |
| 6 | QN6 | 0.08 | 6 |
| 7 | QN7 | 0.43 | 3 |
| 8 | QN8 | 0.49 | 3 |
| 9 | QN9 | 1.44 | 4 |
| 10 | QN10 | 1.65 | 4 |
| 11 | QN11 | 0.15 | 7 |
| 12 | QN12 | 1.81 | 4 |
| 13 | QN13 | 2.19 | 4 |

dane dotyczące parametrów modelu samooczyszczania się wód /współczynniki szybkości biochemicznego zużycia tlenu i czasy przepływu wody/ zestawione w tabeli 5.4.

Tabela 5.4. Parametry modelu samooczyszczania się wód

| Lp. | Współczynnik aeracji | Czas przepływu wody pomiędzy przekrojami | Lokalizacja /nr podsystemu/ |
|-----|----------------------|--|--------------------------------|
| 1 | $K_1 = 0.01$ | $T_1 = 10.0$ | 1 |
| 2 | $K_2 = 0.01$ | $T_2 = 10.0$ | 1 |
| 3 | $K = 0.01$ | $T = 10.0$ | 2 |
| 4 | $K = 0.01$ | $T = 10.0$ | 3 |
| 5 | $K_1 = 0.01$ | $T_1 = 10.0$ | 4 |
| 6 | $K_2 = 0.01$ | $T_2 = 10.0$ | 4 |
| 7 | $K_3 = 0.01$ | $T_3 = 10.0$ | 4 |

- dane dotyczące wielkości współczynników strat bezzwrotnych wody u użytkowników zestawione w tabeli 5.5.

Tabela 5.5. Współczynniki strat bezzwrotnych wody

| Lp. | Użytkownik | Oznaczenie współczynnika | Wielkość współczynnika | Lokalizacja /nr podsystemu/ |
|-----|------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1 | PPS11 | 11 | 0.03 | 1 |
| 2 | FGK13 | 13 | 0.25 | 1 |
| 3 | FGK14 | 14 | 0.25 | 3 |
| 4 | PPA16 | 16 | 0.50 | 1 |
| 5 | PPA25 | 25 | 0.20 | 3 |
| 6 | PPA26 | 26 | 0.80 | 4 |
| 7 | PPA27 | 27 | 0.20 | 4 |
| 8 | PPA29 | 29 | 0.10 | 4 |

- dane dotyczące prognoz wielkości potrzeb wodnych użytkowników systemu zestawione w tabeli 5.6.

- dane dotyczące prognoz wielkości dopływów wody /lub ścieków/ do systemu oraz charakterystyk jakościowych /BZT₅/ dopływającej wody zestawione w tabeli 5.7.

cd. Tablity 5.6.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|---|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 15 | | PRG7 | 0.18 | 0.18 | 0.09 | 0.27 | 0.00 | 0.09 | 0.27 | 0.27 | 0.00 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 4 |
| 16 | | PRG4 | 0.30 | 0.30 | 0.15 | 0.44 | 0.00 | 0.15 | 0.44 | 0.44 | 0.00 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 4 |
| 17 | | PRG15 | 0.30 | 0.30 | 0.15 | 0.44 | 0.00 | 0.15 | 0.44 | 0.44 | 0.00 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 4 |
| 18 | | PRG2 | 0.18 | 0.18 | 0.09 | 0.27 | 0.00 | 0.09 | 0.27 | 0.27 | 0.00 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 4 |
| 19 | | PRG14 | 0.30 | 0.44 | 0.10 | 0.44 | 0.10 | 0.00 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 4 |
| 20 | | PRD325 | 0.14 | 0.14 | 0.07 | 0.21 | 0.00 | 0.07 | 0.21 | 0.21 | 0.00 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 4 |
| 21 | | PRD335 | 0.14 | 0.44 | 0.07 | 0.21 | 0.00 | 0.07 | 0.21 | 0.21 | 0.00 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 4 |
| 22 | | PRI326 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 4 |
| 23 | | PRP48 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 4 |
| 24 | | PPA26 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 4 |
| 25 | | PPA27 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 4 |
| 26 | | PPA29 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 4 |
| 27 | | IRG1 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.15 | 0.00 | 0.05 | 0.16 | 0.16 | 0.00 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 4 |
| 28 | | PRG5 | 0.16 | 0.16 | 0.08 | 0.25 | 0.00 | 0.08 | 0.25 | 0.25 | 0.00 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 5 |
| 29 | | PRG9 | 0.16 | 0.16 | 0.08 | 0.25 | 0.00 | 0.08 | 0.25 | 0.25 | 0.00 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 6 |
| 30 | | PPA24 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 6 |
| 31 | | PRG16 | 0.42 | 0.42 | 0.21 | 0.63 | 0.00 | 0.21 | 0.63 | 0.63 | 0.00 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 6 |
| 32 | | PRI326 | 0.05 | 0.10 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 7 |
| 33 | | PRD333 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.00 | 7 |
| 34 | | PRD330 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 7 |

5.8. Wyniki obliczeń

Obliczenia wykonano przy użyciu programu STENOR napisanego w języku FORTRAN dla emc MERA-400. Wydruki programu STENOR, zbioru danych wejściowych i wyników obliczeń dołączono do pierwszego egzemplarza pracy.

Zgodnie z zasadami opisanymi w rozdziale 4.1. metody, wyznaczono sterowania pracą zbiorników retencyjnych /ZR1, ZR4, ZR6, ZR8, ZR11, ZR14/ oraz rozrzędem wody w systemie wodnogospodarczym dla okresu sześciu kolejnych dekad czerwca i lipca 1964 roku.

Na początku pierwszej dekady czerwca w oparciu o dane dotyczące:

- aktualnych napełnień zbiorników retencyjnych,
- napełnień docelowych zbiorników ZR4, ZR8 i ZR14,
- prognoz długoterminowych takich wielkości jak: dopływy wody i ścieków do systemu, charakterystyki jakościowe /BZ T₅/ dopływającej wody i ścieków, potrzeby wodne użytkowników,

poprzez rozwiązanie, w trybie interakcyjnym zadania optymalizacji wielokryterialnej wyznaczono trajektorie napełnień zbiorników retencyjnych dla okresu 3 miesięcy.

Trajektorie te charakteryzują sposób pracy zbiorników retencyjnych, zapewniający racjonalne wykorzystanie ich możliwości w okresie objętym prognozą długoterminową oraz stanowią ogólne wytyczne do ustalania sterowań dla krótszego przedziału czasowego, tzn. stanowią podstawę wyznaczenia napełnień docelowych zbiorników dla trzech najbliższych dekad.

Napełnienie docelowe zbiornika retencyjnego V_{dek_i} dla i -tej dekady obliczane jest w oparciu o zależność:

$$V_{dek_i} = VP + \frac{VK_1^m - VP}{3} i \quad /5.146/$$

gdzie:

VP - napełnienie zbiornika na początku pierwszej dekady,

VK_1^m - napełnienie zbiornika na końcu pierwszego miesiąca

Proces wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego zadania optymalizacji wielokryterialnej, przy pomocy opisanej

w 3.3. procedury konwersacyjnej, przebiega w następujący sposób:

- po wprowadzeniu danych na monitorze wyświetla się napis "PROSZĘ O PODANIE WSPÓLRZĘDNYCH PUNKTU DOCELOWEGO"
- dyspozytor za pośrednictwem klawiatury monitora wprowadza do pamięci maszyny pożądane wartości poszczególnych funkcji kryterialnych /wskaźników jakości/
- na monitorze pojawia się potwierdzenie przyjęcia informacji,

w postaci:

"WSPÓLRZĘDNE PUNKTU DOCELOWEGO"

WJD(1)=.....

WJD(2)=.....

.....

WJD(k)=.....

"PROSZĘ CZEKAĆ NA PROPOZYCJE ROZWIĄZANIA KOMPROMISOWEGO"

- w tym momencie algorytm przystępuje do wyznaczenia rozwiązania polioptymalnego, najbliższego punktowi docelowemu, poprzez rozwiązanie zadania optymalizacji skalarnej

o postaci /3.30/

po wyznaczeniu rozwiązania na monitorze ukazuje się

informacja w następującej postaci:

"PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA KOMPROMISOWEGO"

"WARTOŚCI ZMIENNYCH DECYZYJNYCH"

$X(1) = \dots$

$X(2) = \dots$

\dots

$X(N) = \dots$

"WARTOŚCI WSKAZNIKÓW JAKOŚCI"

$WJ(1) = \dots$

$WJ(2) = \dots$

\dots

$WJ(k) = \dots$

"CZY ŻYCZY PAN SOBIE WYDRUK O SYTUACJI W PODSYSTEMACH"

w przypadku pozytywnej odpowiedzi dyspozytora /"TAK"/

algorytm dokonuje podziału informacji na pięć bloków

tematycznych:

1. zbiorniki retencyjne
2. podsystem nr 1
3. podsystem nr 2
4. podsystem nr 3
5. podsystem nr 4

Informacja o stanie zbiorników obejmuje takie wielkości

jak: dopływ do zbiornika, charakterystyka jakościowa dopływającej wody, napełnienie początkowe, odpływ ze zbior-

niką, charakterystyka jakościowa odpływającej wody, na-
pełnienie końcowe.

Informacja o stanie podsystemów obejmuje takie wielkości
jak: dopływ wody do podsystemu, charakterystyka jakościowa
wody dopływającej wody, potrzeby wodne użytkowników, pobory
wody przez użytkowników, przepływy nienaruszalne, przepły-
wy w przekrojach kontrolnych, charakterystyki jakościowe
wód w przekrojach kontrolnych, odpływ wody z podsystemu,
charakterystyka jakościowa wody odpływającej z podsystemu.

- dyspozytor ma możliwość korzystania z informacji zawartej
w wybranych blokach poprzez podanie ich numerów

- Po zakończeniu wydruku na monitorze lub drukarce mozaiko-
wej oraz w przypadku, gdy decydent rezygnuje z wyprowadza-
nia wydruków, na monitorze wyświetla się napis:

"CZY PROPONOWANE ROZWIĄZANIE KOMPROMISOWE JEST ZADAWA-
LAJĄCE"

- w przypadku odpowiedzi negatywnej /"NIE"/ pojawia się
komunikat:

"PONIEMAJ PROPONOWANE ROZWIĄZANIE KOMPROMISOWE NIE ZOS-
TAŁO PRZYJĘTE PROSZĘ O PODANIE NOWYCH WSPÓLRZĘDNYCH
PUNKTU DOCELOWEGO"

Po tym komunikacie cała wyżej opisana procedura jest
powtarzana.

w przypadku odpowiedzi pozytywnej /"TAK"/ pojawia się komunikat:

"ROZWIĄZANIE ZOSTAŁO PRZYJĘTE"

oznaczający zakończenie procesu wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego.

Przebieg procesu wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego zadania optymalizacji wielokryterialnej /dla miesięcy czerwiec-lipiec-sierpień/ przedstawiono w postaci wydruku z maszyny cyfrowej MERA-400 /załącznik nr 1/.

Na wydruku tym zarejestrowano przebieg dialogu decydenta z emc MERA-400 w procesie poszukiwania PRK.

Syntetyczne wyniki tego etapu obliczeń przedstawiono w tabelach 5.8. i 5.9. oraz na rys. 5.20-5.22.

Tabela 5.8. Trajektorie napełnień zbiorników retencyjnych

| Lp. | Zbiornik retencyjny | Napełnienie na początku 1 dekady [mln m ³] | Napełnienie zbiornika na końcu miesiąca [mln m ³] | | |
|-----|---------------------|---|--|------|------|
| | | | VI | VII | VIII |
| 1 | ZR1 | 2.10 | 4.25 | 2.97 | 0.00 |
| 2 | ZR6 | 2.00 | 4.10 | 4.10 | 4.10 |
| 3 | ZR11 | 15.00 | 13.70 | 9.49 | 5.94 |
| 4 | ZR4 | 0.40 | 0.00 | 0.20 | 0.35 |
| 5 | ZR8 | 3.70 | 3.70 | 3.80 | 3.44 |
| 6 | ZR14 | 3.00 | 6.07 | 5.22 | 3.10 |

Tabela 5.9. Napełnienia docelowe zbiorników dla 3 dekad czerwca

| Lp. | Zbiornik retencyjny | Napełnienia docelowe dla dekady | | |
|-----|---------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | /mln m ³ / | | |
| | | VI ₁ | VI ₂ | VI ₃ |
| 1 | ZR1 | 2.82 | 3.53 | 4.25 |
| 2 | ZR6 | 2.70 | 3.40 | 4.10 |
| 3 | ZR11 | 14.57 | 14.13 | 13.70 |
| 4 | ZR4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | ZR8 | 3.41 | 3.58 | 3.71 |
| 6 | ZR14 | 3.85 | 5.41 | 6.07 |

Kolejnym etapem obliczeń było wyznaczenie bieżących sterowań pracą systemu wodnogospodarczego w okresie trzech kolejnych dekad czerwca. Wyznaczenie bieżących sterowań pracą zbiorników retencyjnych oraz rozrzędem wody pomiędzy użytkownikami systemu wodnogospodarczego w okresie najbliższej dekady odbywało się poprzez rozwiązanie zadania optymalizacji wielokryterialnej /5.26-5.48/ w oparciu o następujące dane:

- aktualne napełnienia zbiorników retencyjnych,
- napełnienia docelowe zbiorników ZR1, ZR6, ZR11, ZR4, ZR8, ZR14,
- prognozy średnioterminowe, dotyczące takich wielkości jak: dopływy wody i ścieków do systemu, charakterystyki jakościowe /BZT₅/ dopływającej wody i ścieków, potrzeby wodne użytkowników.

Syntetyczne wyniki obliczeń, dotyczące sterowań pracą systemu w okresie 3 kolejnych dekad czerwca przedstawiono w tabelach 5.10-5.12 oraz na rys. 5.20-5.22.

Zgodnie z zasadami prezentowanej metody, wyznaczenie bieżących sterowań pracą systemu w 3 kolejnych dekadach lipca, wymagało dokonania aktualizacji planu retencji zbiorników ZR1, ZR6 i ZR11.

W tym celu, w analogiczny sposób jak dla miesięcy czerwiec, lipiec, sierpień, poprzez rozwiązanie zadania optymalizacji wielokryterialnej wyznaczono przebieg trajektorii napełnień zbiorników w okresie od lipca do września.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 5.14 i 5.15 oraz na rys. 5.20-5.22.

Ostatnim etapem obliczeń było wyznaczenie bieżących sterowań pracą zbiorników retencyjnych i rozrzędem wody w systemie wodnogospodarczym w okresie trzech kolejnych dekad lipca.

Syntetyczne wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 5.16-5.19 oraz na rys. 5.20-5.22.

Tabela 5.10. Napętnienia zbiorników retencyjnych w kolejnych dekadach czerwca

| Lp. | Zbiornik retencyjny | Dekada VI ₁ | | | Dekada VI ₂ | | | Dekada VI ₃ | | |
|-----|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| | | Napełnienie początkowe | Napełnienie docelowe | Napełnienie końcowe | Napełnienie początkowe | Napełnienie docelowe | Napełnienie końcowe | Napełnienie początkowe | Napełnienie docelowe | Napełnienie końcowe |
| 1 | ZR1 | 2.10 | 2.82 | 3.61 | 3.53 | 4.25 | 4.25 | 4.25 | 4.25 | 4.25 |
| 2 | ZR6 | 2.00 | 2.70 | 4.10 | 3.40 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 |
| 3 | ZR11 | 15.00 | 14.57 | 15.11 | 14.13 | 14.19 | 14.19 | 14.19 | 13.70 | 13.64 |
| 4 | ZR4 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | ZR8 | 3.70 | 3.41 | 3.41 | 3.58 | 3.58 | 3.58 | 3.58 | 3.71 | 3.71 |
| 6 | ZR14 | 3.00 | 3.85 | 3.85 | 5.41 | 5.41 | 5.41 | 5.41 | 6.07 | 6.07 |

Tabela 5.11. Realizacja zadań systemu w zakresie utrzymania przepływów nienaruszalnych

| Lp. | Przepływ nienaruszalny | | Przepływ w korycie rzeczonym m ³ /s | | |
|-----|------------------------|-------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | Oznaczenie | Wielkość m ³ /s | Dekada | | |
| | | | VI ₁ | VI ₂ | VI ₃ |
| 1 | QN1 | 0.13 | 0.13 | 0.91 | 0.56 |
| 2 | QN2 | 0.16 | 2.90 | 2.32 | 0.97 |
| 3 | QN3 | 0.46 | 5.49 | 5.72 | 2.43 |
| 4 | QN4 | 0.70 | 9.55 | 8.59 | 4.37 |
| 5 | QN5 | 0.86 | 10.63 | 11.12 | 6.02 |
| 6 | QN6 | 0.08 | 1.53 | 0.34 | 0.37 |
| 7 | QN7 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.47 |
| 8 | QN8 | 0.49 | 1.37 | 0.93 | 0.61 |
| 9 | QN9 | 1.44 | 12.59 | 12.24 | 6.69 |
| 10 | QN10 | 1.65 | 14.51 | 15.10 | 8.13 |
| 11 | QN11 | 1.81 | 17.67 | 13.28 | 9.28 |
| 12 | QN12 | 0.15 | 1.24 | 0.15 | 0.16 |
| 13 | QN13 | 2.19 | 25.67 | 14.39 | 11.80 |

Tabela 5.12. Realizacja zadań systemu w zakresie ochrony jakości wód

| Lp. | Dopuszczalna wielkość charakterystyki BZT ₅ | | BZT ₅ wody rzecznej mg O ₂ /l | | |
|-----|--|----------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | Oznaczenie | Wielkość mg O ₂ /l | dekada | | |
| | | | VI ₁ | VI ₂ | VI ₃ |
| 1 | BGR1 | 8.00 | 4.58 | 4.78 | 6.41 |
| 2 | BRG2 | 8.00 | 3.66 | 3.79 | 4.05 |
| 3 | BRG3 | 8.00 | 5.98 | 6.81 | 7.98 |
| 4 | BRG4 | 8.00 | 3.32 | 3.17 | 3.84 |

Tabela 5.13. Realizacja zadań systemu w zakresie zaopatrzenia w wodę użytkowników

| Lp. | Użytkownik | Dekada VI ₁ | | Dekada VI ₂ | | Dekada VI ₃ | | Lokalizacja /nr podsystemu/ |
|-----|------------|--|---|--|---|--|---|-----------------------------|
| | | Zapotrzebieżność na wodę m ³ /s | Ilość dostarczonej wody m ³ /s | Zapotrzebieżność na wodę m ³ /s | Ilość dostarczonej wody m ³ /s | Zapotrzebieżność na wodę m ³ /s | Ilość dostarczonej wody m ³ /s | |
| 1 | PRG5 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 1 |
| 2 | PRE203 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 1 |
| 3 | PROL1 | 0.33 | 0.33 | 0.31 | 0.31 | 0.02 | 0.02 | 1 |
| 4 | PGK13 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 1 |
| 5 | PPS11 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 1 |
| 6 | PPA16 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 1 |
| 7 | PROL2 | 0.22 | 0.22 | 0.18 | 0.18 | 0.04 | 0.04 | 2 |
| 8 | PPS12 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 2 |
| 9 | PGK14 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 3 |
| 10 | PPA25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 3 |
| 11 | PRG7 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.00 | 0.00 | 4 |
| 12 | PRG4 | 0.44 | 0.44 | 0.27 | 0.27 | 0.00 | 0.00 | 4 |
| 13 | PROL41 | 0.65 | 0.65 | 0.78 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 4 |
| 14 | PROL42 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.46 | 0.46 | 4 |
| 15 | PFA26 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 4 |
| 16 | PPA27 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 4 |
| 17 | PPA29 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 4 |
| 18 | PRG1 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 5 |
| 19 | PROL6 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 6 |
| 20 | PPA24 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 6 |
| 21 | PROL7 | 0.87 | 0.87 | 0.67 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 7 |

Tabela 5.14 Trajektorie napełnień zbiorników retencyjnych

| Lp. | Zbiornik retencyjny | Napełnienie na początku 1 dekady mln m ³ | Napełnienie zbiornika na końcu miesiąca mln m ³ | | |
|-----|---------------------|--|---|------|------|
| | | | VII | VIII | IX |
| 1 | ZR1 | 4.25 | 4.04 | 2.57 | 0.00 |
| 2 | ZR6 | 4.10 | 4.10 | 4.09 | 4.10 |
| 3 | ZR11 | 13.64 | 9.47 | 6.50 | 2.90 |
| 4 | ZR4 | 0.00 | 0.20 | 0.35 | 0.36 |
| 5 | ZR8 | 3.71 | 3.80 | 3.44 | 3.03 |
| 6 | ZR14 | 6.07 | 5.22 | 3.99 | 2.50 |

Tabela 5.15. Napełnienia docelowe zbiorników dla 3 dekad lipca

| Lp. | Zbiornik retencyjny | Napełnienie docelowe dla dekady mln m ³ | | |
|-----|---------------------|---|------------------|------------------|
| | | VII ₁ | VII ₂ | VII ₃ |
| 1 | ZR1 | 4.18 | 4.11 | 4.04 |
| 2 | ZR6 | 4.10 | 4.10 | 4.10 |
| 3 | ZR11 | 12.25 | 10.86 | 9.47 |
| 4 | ZR4 | 0.00 | 0.04 | 0.35 |
| 5 | ZR8 | 3.78 | 3.74 | 3.44 |
| 6 | ZR14 | 6.07 | 5.74 | 3.99 |

Tabela 5.16. Napełnienia zbiorników retencyjnych w kolejnych dekadach lipca

| Lp. | Zbiornik retencyjny | Dekada VII ₁ | | Dekada VI ₂ | | Dekada VII ₃ | | |
|-----|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| | | Napełnienie początkowe | Napełnienie końcowe | Napełnienie początkowe | Napełnienie końcowe | Napełnienie początkowe | Napełnienie docelowe | Napełnienie końcowe |
| 1 | ZR1 | 4.25 | 4.18 | 4.18 | 4.11 | 4.00 | 4.04 | 3.91 |
| 2 | ZR6 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 |
| 3 | ZR11 | 13.64 | 12.25 | 12.29 | 10.85 | 10.89 | 9.47 | 9.47 |
| 4 | ZR4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.20 | 0.20 |
| 5 | ZR8 | 3.71 | 3.78 | 3.78 | 3.74 | 3.74 | 3.80 | 3.80 |
| 6 | ZR14 | 6.07 | 6.07 | 6.07 | 5.74 | 5.74 | 5.22 | 5.22 |

Tabela 5.17. Realizacja zadań systemu w zakresie utrzymania przepływów nienaruszalnych

| Lp. | Przepływ nienaruszalny | | Przepływ w korycie rzecznym m ³ /s | | |
|-----|------------------------|-------------------------------|--|------------------|------------------|
| | Oznaczenie | Wielkość m ³ /s | Dekada | | |
| | | | VII ₁ | VII ₂ | VII ₃ |
| 1 | QN1 | 0.13 | 0.24 | 0.28 | 0.13 |
| 2 | QN2 | 0.16 | 0.44 | 0.27 | 0.16 |
| 3 | QN3 | 0.46 | 1.20 | 0.94 | 0.65 |
| 4 | QN4 | 0.70 | 2.24 | 1.79 | 1.41 |
| 5 | QN5 | 0.86 | 3.21 | 2.60 | 2.14 |
| 6 | QN6 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 7 | QN7 | 0.43 | 0.67 | 0.73 | 0.75 |
| 8 | QN8 | 0.49 | 0.63 | 0.63 | 0.62 |
| 9 | QN9 | 1.44 | 3.43 | 2.75 | 2.25 |
| 10 | QN10 | 1.65 | 4.27 | 3.54 | 3.00 |
| 11 | QN11 | 1.81 | 4.60 | 3.79 | 3.12 |
| 12 | QN12 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.23 |
| 13 | QN13 | 2.19 | 5.60 | 4.43 | 3.51 |

Tabela 5.18. Realizacja zadań systemu w zakresie ochrony jakości wód

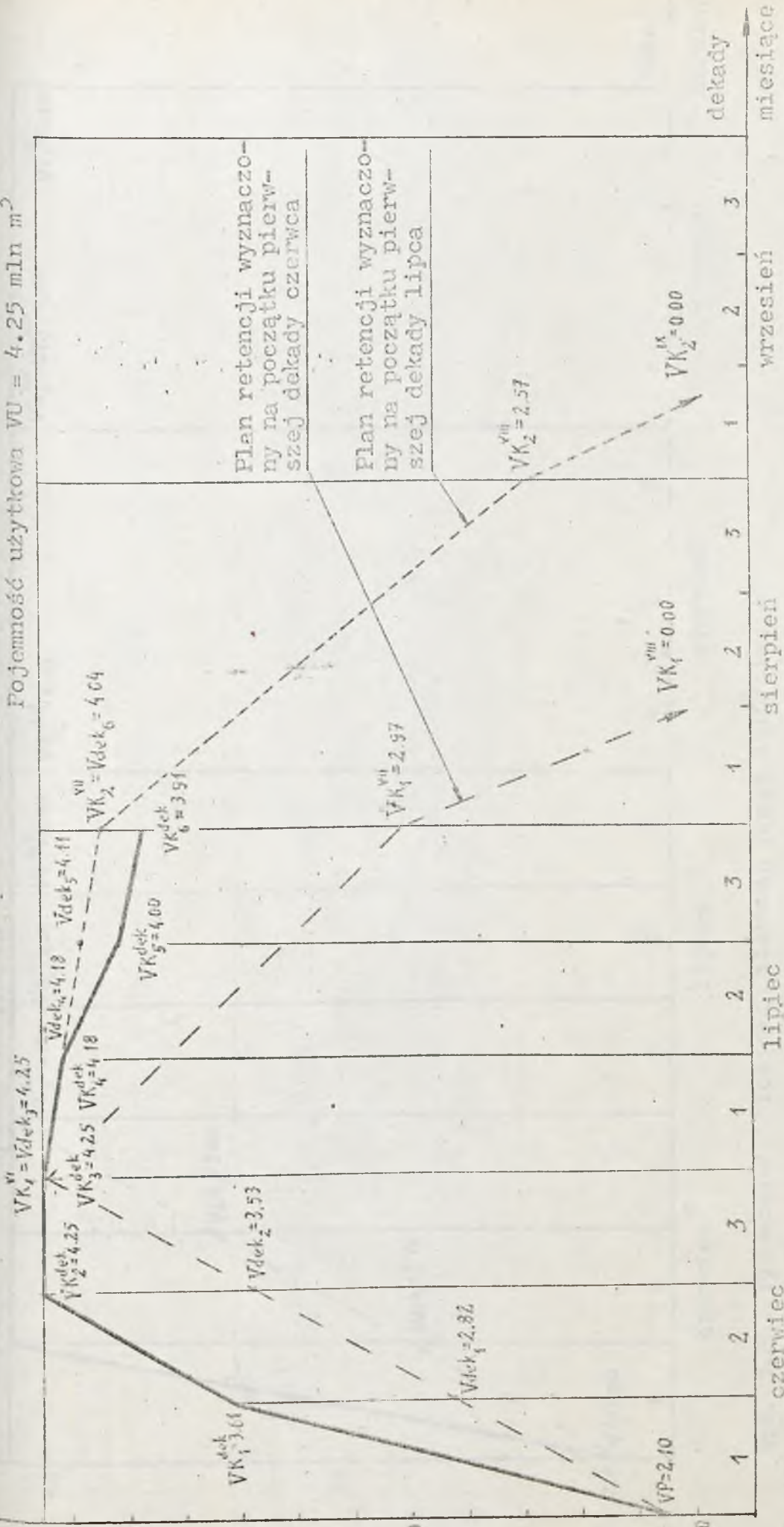
| Lp. | Dopuszczalna wielkość charakterystyki BZT ₅ | | BZT ₅ wody rzecznej mg O ₂ /l | | |
|-----|--|----------------------------------|---|------------------|------------------|
| | Oznaczenie | Wielkość mg O ₂ /l | Dekada | | |
| | | | VII ₁ | VII ₂ | VII ₃ |
| 1 | BRG1 | 8.00 | 8.51 | 9.47 | 6.65 |
| 2 | BRG2 | 8.00 | 4.11 | 4.14 | 4.18 |
| 3 | BRG3 | 8.00 | 7.98 | 7.97 | 8.00 |
| 4 | BRG4 | 8.00 | 4.59 | 4.89 | 5.14 |

Tabela 5.19. Realizacja zadań systemu w zakresie zaopatrzenia w wodę użytkowników

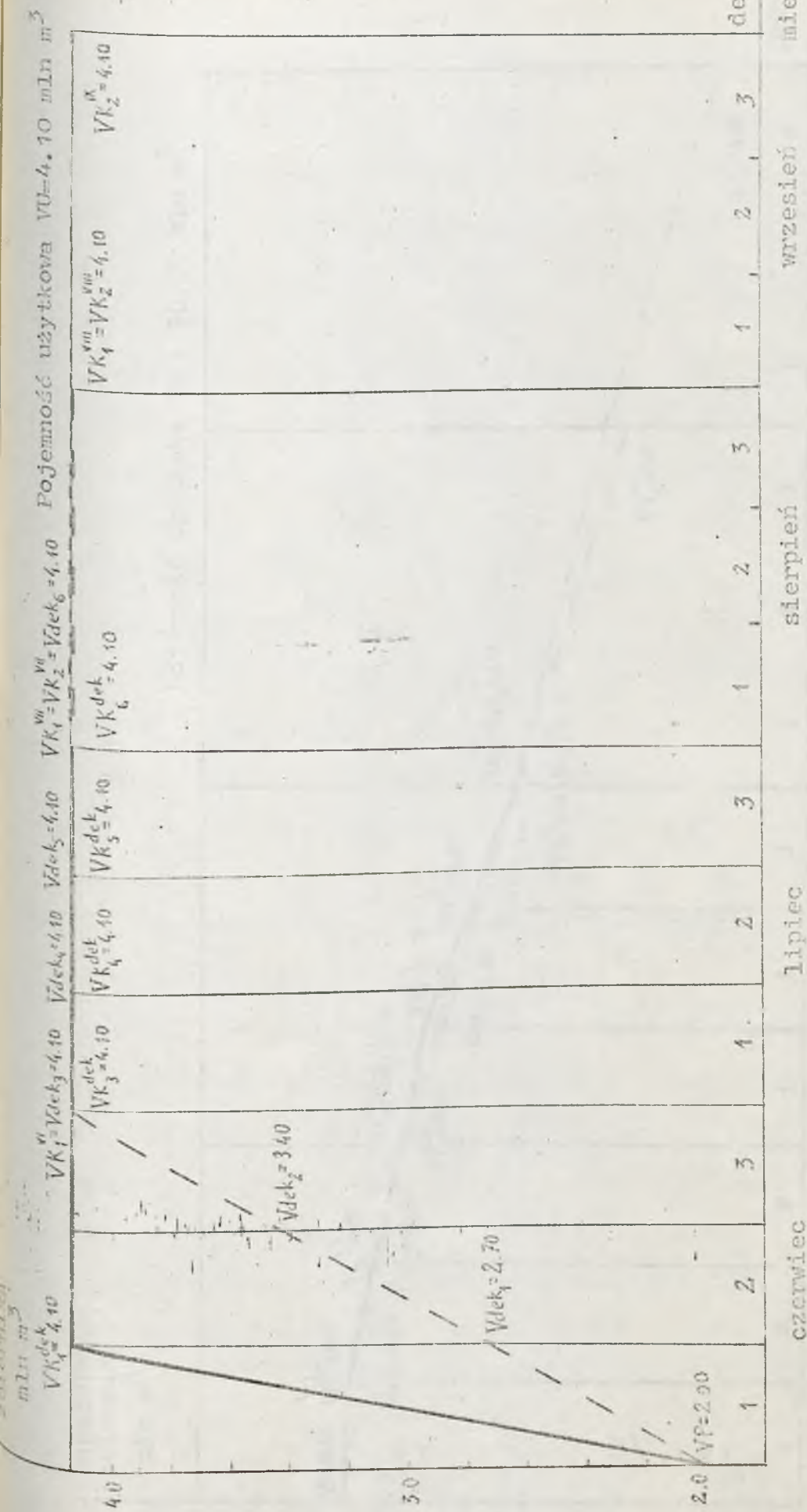
| Lp. | Użytkownik | Dekada VII ₁ | | Dekada VII ₂ | | Dekada VII ₃ | | Lokalizacja /nr podsystemu/ |
|-----|------------|---|---|---|---|---|---|-----------------------------|
| | | Zapotrzebowanie na wodę m ³ /s | Ilość dostarczonej wody m ³ /s | Zapotrzebowanie na wodę m ³ /s | Ilość dostarczonej wody m ³ /s | Zapotrzebowanie na wodę m ³ /s | Ilość dostarczonej wody m ³ /s | |
| 1 | PRG3 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 1 |
| 2 | PRE203 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 1 |
| 3 | PROL1 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.31 | 0.31 | 1 |
| 4 | PGK13 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 1 |
| 5 | FPS11 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 1 |
| 6 | PPA16 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 1 |
| 7 | PROL2 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 2 |
| 8 | FPS12 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 2 |
| 9 | PPA25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 3 |
| 10 | PGK14 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 3 |
| 11 | PRG7 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 4 |
| 12 | PRG4 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 4 |
| 13 | PROL41 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.78 | 0.78 | 4 |
| 14 | PROL42 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 4 |
| 15 | PPA26 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 4 |
| 16 | PPA27 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 4 |
| 17 | PPA29 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 4 |
| 18 | PRG1 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.08 | 5 |
| 19 | PROL6 | 0.50 | 0.10 | 0.50 | 0.14 | 0.50 | 0.00 | 6 |
| 20 | PPA24 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 6 |
| 21 | PROL7 | 0.87 | 0.37 | 0.72 | 0.61 | 0.67 | 0.67 | 7 |

mln m³

Fojemność użytkowa VU = 4.25 mln m³



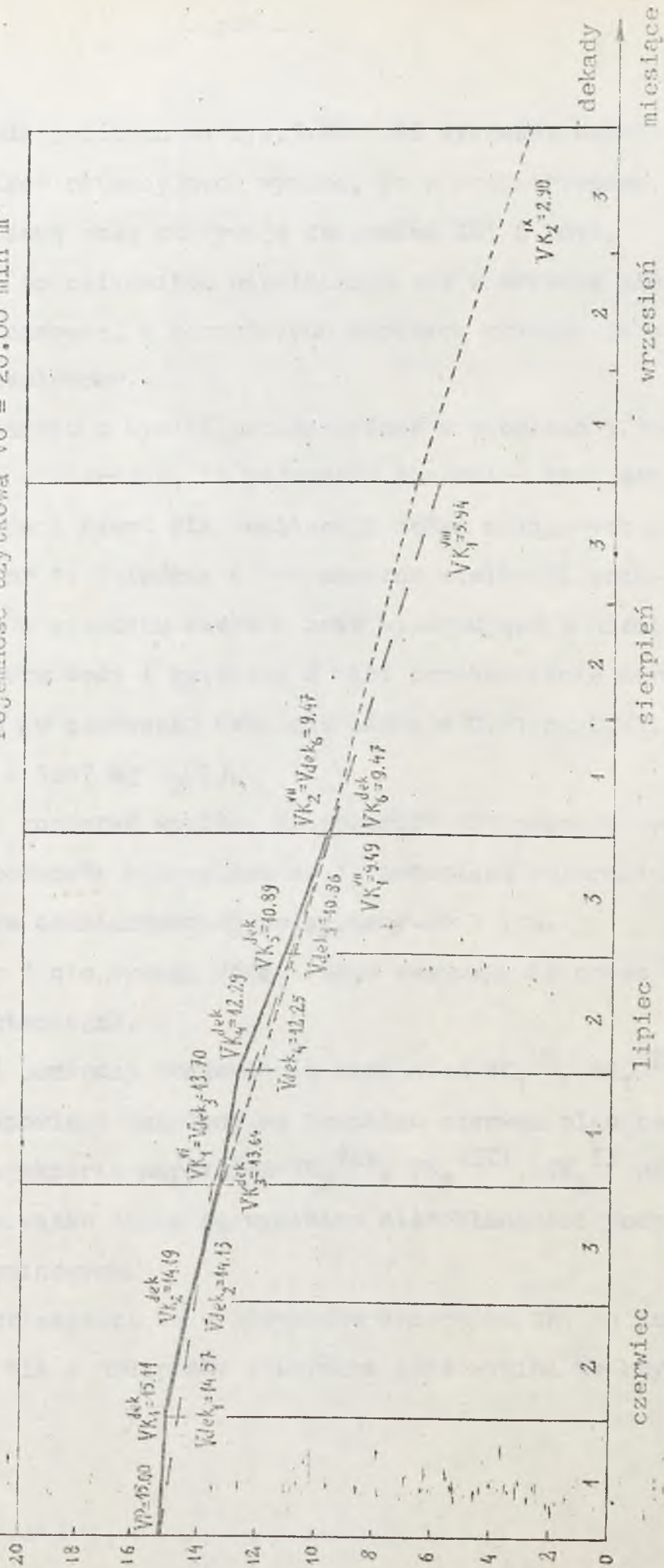
Rys. 5.20. Wyznaczanie bieżących sterowań pracą zbiornika ZR1



Rys. 5.21. Wyznaczanie bieżących sterowań pracą zbiornika ZR6

Napełnienie
zbiornika
mln m³

Pojemność użytkowa VU = 20.00 mln m³



Rys. 5.22. Wyznaczanie bieżących sterowań pracą zbiornika ZR11

Z przedstawionych na rys.5.20-5.22 wykresów napełnień zbiorników retencyjnych wynika, że w rozpatrywanym okresie kluczową rolę odgrywają zbiorniki ZR1 i ZR11.

Zbiornik ZR6 po całkowitym napełnieniu się w okresie pierwszej dekady czerwca, w pozostałych okresach pracuje jako zbiornik przepływowy.

Ponadto w oparciu o wyniki przedstawione w tabelach 5.10-5.19 można stwierdzić, że pojemność zbiornika ZR1 jest niewystarczająca nawet dla realizacji zadań związanych z podsystemem nr 1. Świadczą o tym znaczne wielkości zrzu-
tów jałowych w miesiącu czerwcu oraz występujące w miesiącu lipcu niedobory wody i związane z nimi przekroczenie norm jakościowych (w pierwszej dekadzie lipca o $0.51 \text{ mg O}_2/\text{l}$, a w drugiej o $1.47 \text{ mg O}_2/\text{l}$).

Z powyższych rozważań wynika, że zbiornik ZR1 pracuje wyłącznie na potrzeby podsystemu nr 1, natomiast zbiornik ZR11 obejmuje swym oddziaływaniem podsystemy nr 3 i 4.

Podsystem nr 2 nie wymaga dodatkowego wspomaganie przez zbiorniki retencyjne.

Rozbieżności pomiędzy trajektorią napełnień VK_1^{VI} , VK_1^{VII} , VK_1^{VIII} , stanowiącą ustalony na początku czerwca plan retencji i trajektorią napełnień VK_2^{VII} , VK_2^{VIII} , VK_2^{IX} ustaloną na początku lipca są wynikiem niedokładności prognoz długoterminowych.

Fakt, że rozbieżności te w przypadku zbiornika ZR1 są znacznie większe niż w przypadku zbiornika ZR11 wynika ze zbyt

małej pojemności zbiornika ZR1 w stosunku do potrzeb podsystemu nr 1, co powoduje całkowite opróżnianie się zbiornika w okresie objętym prognozą długoterminową.

Oznacza to, że przyjęty - w warstwie planowania retencji - 3-miesięczny horyzont czasowy jest za krótki. Poprawę jakości wyznaczanych sterowań można osiągnąć poprzez wydłużenie tego horyzontu. Należy jednak pamiętać, że wydłużenie okresu objętego prognozą powoduje pogarszanie jej jakości.

Innego typu rozwiązanie związane jest z uwzględnieniem napełnień docelowych zbiorników retencyjnych w zadaniu planowania retencji. Do wyznaczenia tego typu napełnień można wykorzystać metodykę przedstawioną w podrozdziale 5.5.

6. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY - WYZNACZANIE STEROWAŃ PRACĄ SYSTEMU WODNOCOSPODARCZEGO W WARUNKACH POWODZIOWYCH

Możliwości oraz sposób wykorzystania omówionej w rozdziale 4.2. metody wyznaczania bieżących sterowań pracą zespołu zbiorników retencyjnych, pokazano na przykładzie hipotetycznego systemu wodnospodarczego, wzorowanego na systemie rzeki Kamiennej.

W rozpatrywanym przykładzie przyjęto, że sterowania pracą zbiorników wyznaczane będą dla przedziałów dobowych. Obliczenia wykonano dla jednego wezbrania, przy czym uwzględniono, że wyjściowa prognoza hydrogramów fal powodziowych, w trakcie trwania wezbrania, była dwukrotnie korygowana. Ponadto dla celów porównawczych wyznaczono sterowania pracą zespołu zbiorników dla przypadku gdy dysponuje się idealną prognozą oraz dla przypadku gdy zbiorniki pracują zgodnie z zasadami różnicowej metody gospodarowania dyspozycyjną rezerwą powodziową. Metoda ta polega na tym, że gromadzenie wody w zbiorniku rozpoczyna się w momencie, gdy dopływ Q przekroczy wielkość Q_D przepływu dozwolonego. Począwszy od tego momentu wielkość T dopływu wody ze zbiornika jest równa:

$$T(t) = Q_D + \frac{Q(t) - Q_D}{2} \quad /6.1/$$

Postępowanie takie kontynuowane jest do momentu, gdy dopływ Q spadnie poniżej wielkości Q_D lub rezerwa powodziowa zostanie zapełniona.

6.1. Opis systemu

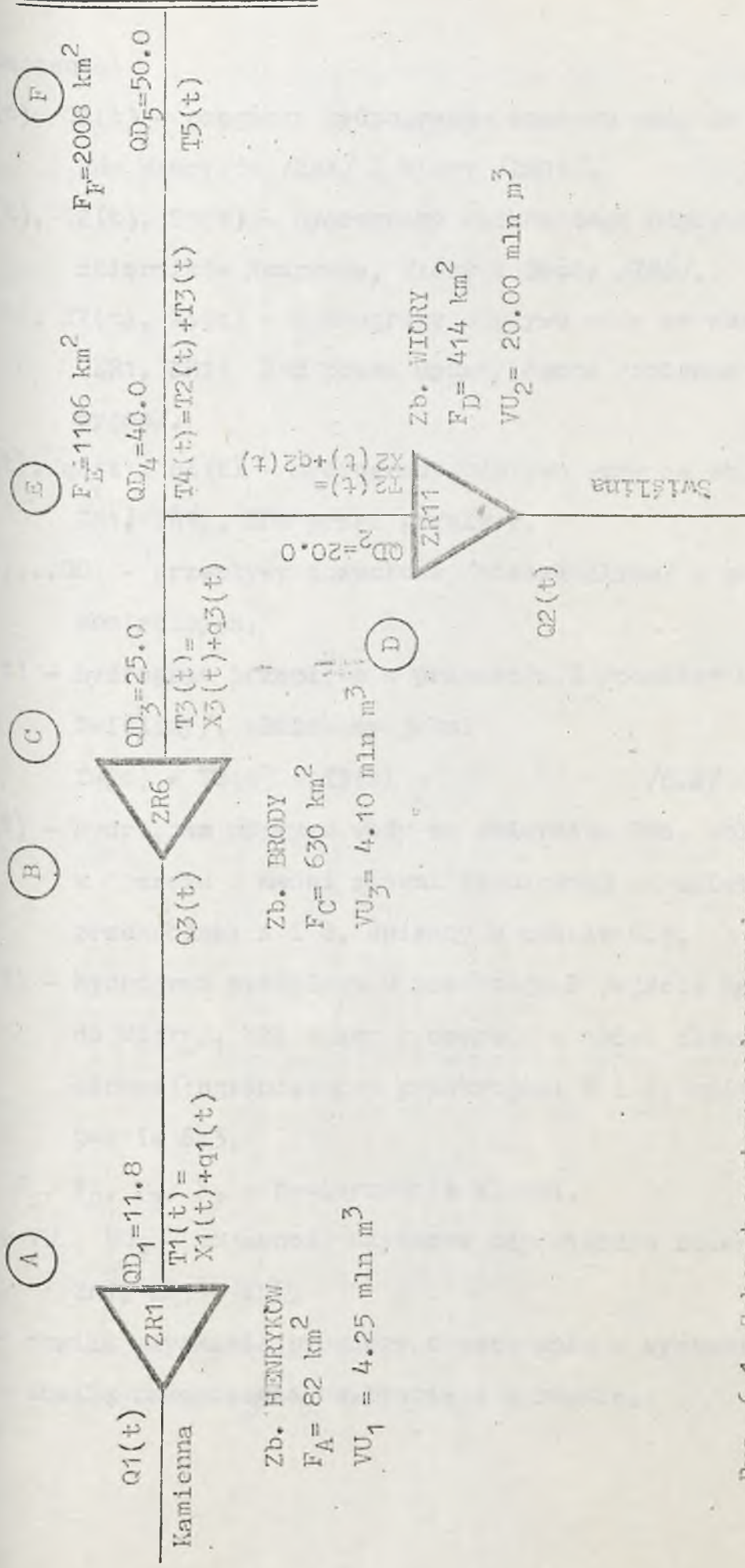
Ogólny schemat systemu przedstawiono na rys. 6.1.

Na rzece Kamiennej oraz jej prawym dopływie Świślinie istnieją trzy zbiorniki retencyjne: zbiornik Henryków o pojemności $VU_1 = 4.25 \text{ mln m}^3$, zbiornik Brody o pojemności $VU_3 = 4.10 \text{ mln m}^3$ i zbiornik Wióry o pojemności $VU_2 = 20.0 \text{ mln m}^3$.

Analiza warunków topograficznych oraz reżimu hydrologicznego rzek Kamiennej i Świśliny wykazała, że z punktu widzenia kształtowania się i przebiegu fali wezbraniowej podstawowe znaczenie ma transformacja fali na odcinku pomiędzy zbiornikami Henryków i Brody oraz na odcinku od ujścia Świśliny do ujścia Kamiennej do Wisły.

Podstawowymi zadaniami systemu są:

- ochrona systemu przed powodzią, polegająca na takim sterowaniu pracą zespołu zbiorników: Henryków, Brody i Wióry, które pozwoli osiągnąć możliwie największą redukcję przepływów kulminacyjnych w przekrojach kontrolnych, oznaczonych na rys. 6.1. literami A, B, C, D, E, F,
- możliwie najlepsze przygotowanie systemu do pracy w warunkach niepowodziowych, polegające na zgromadzeniu w zbiornikach możliwie największej ilości wody na koniec okresu wezbraniowego.



Rys. 6.1. Schemat systemu wodnogospodarczego.

Oznaczenia:

$Q_1(t)$, $Q_2(t)$ - prognozy hydrogramów dopływu wody do zbiorników Henryków /ZR1/ i Wióry /ZR11/,

$T_1(t)$, $T_2(t)$, $T_3(t)$ - hydrogramy całkowitego odpływu wody ze zbiorników Henryków, Wióry i Brody /ZR6/,

$X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$ - hydrogramy odpływu wody ze zbiorników ZR1, ZR11, ZR6 przez upusty denne /zmiennie decyzyjne/,

$q_1(t)$, $q_2(t)$, $q_3(t)$ - hydrogramy odpływu wody ze zbiorników ZR1, ZR11, ZR6 przez przelewy,

QD_1, \dots, QD_5 - przepływy dozwolone /nieszkodliwe/ w przekrojach kontrolnych,

$T_4(t)$ - hydrogram przepływu w przekroju E /poniżej ujścia Świśliny/, obliczany jako:

$$T_4(t) = T_2(t) + T_3(t) \quad /6.2/$$

$Q_3(t)$ - hydrogram odpływu wody do zbiornika ZR6, obliczany w oparciu o model zlewni różnicowej ograniczonej przekrojami A i B, opisany w p-kcie 6.3,

$T_5(t)$ - hydrogram przepływu w przekroju F /ujście Kamiennej do Wisły/, obliczany w oparciu o model zlewni różnicowej ograniczonej przekrojami E i F, opisany w p-kcie 6.3,

F_A, F_C, F_D, F_E, F_F - powierzchnie zlewni,

VU_1, VU_2, VU_3 - pojemność użytkowa odpowiednio zbiorników ZR1, ZR11, ZR6,

t_0 - chwila uzyskania prognozy o wezbraniu w systemie,

t_k - chwila zakończenia wezbrania w systemie,

H_{p1}, H_{p2}, H_{p3} - maksymalne poziomy piętrzenia użytkowego zbiorników ZR1, ZR11, ZR6,

$H_{max1}, H_{max2}, H_{max3}$ - najwyższe poziomy przeciążenia zbiorników ZR1, ZR11, ZR6,

VP_1, VP_2, VP_3 - napełnienia zbiorników ZR1, ZR11, ZR6 w chwili t_0 uzyskania prognozy,

$G_1(H), G_2(H), G_3(H)$ - krzywe konsumpcyjne odpływu przez przelewy zbiorników ZR1, ZR11, ZR6, przyjęte w postaci:

$$G_i(H_i) = \begin{cases} \alpha_i (H_i - H_{pi})^{3/2} & \text{gdy } H_i > H_{pi} \\ 0 & \text{gdy } H_i \leq H_{pi} \end{cases} \quad /6.3/$$

gdzie:

α_i - współczynnik wydatku przelewu i-tego zbiornika,

H_i - aktualny stan wody w i-tym zbiorniku

$W_1(H), W_2(H), W_3(H)$ - krzywe pojemności zbiorników ZR1, ZR11, ZR6 przyjęte w postaci:

$$W_i(H_i) = a_i H_i^2 + b_i H_i + c_i \quad /6.4/$$

gdzie:

a_i, b_i, c_i - parametry równania krzywej pojemności i-tego zbiornika retencyjnego

6.2. Sformułowanie zadania optymalizacji

Do wyznaczenia hydrogramów odpływu $X_1(t), X_2(t), X_3(t)$ ze zbiorników retencyjnych ZR1, ZR11, ZR6 wykorzystano algo-

rytm optymalizacji nieliniowej z ograniczeniami, oparty na metodzie Powella z przesuwaną funkcją kary [6] .

Zadanie optymalizacji dla rozpatrywanego systemu przyjmuje postać:

F u n k c j a c e l u :

$$\min F [X_1(t), X_2(t), X_3(t)] = \sum_{i=1}^5 A_i [Ti(t), QD_i] + A_6 [Q_3(t), QD_3] + \sum_{i=1}^3 S_i [Vi(t_k), VU_i] \quad /6.5/$$

gdzie:

$$A_i [Ti(t), QD_i] = \max \left\{ 0, [Ti(t) - QD_i] \right\} \quad /6.6/$$

$$S_i [Vi(t_k), VU_i] = \begin{cases} [VU_i - Vi(t_k)]^2 & \text{gdy } Vi(t_k) < VU_i \\ 0 & \text{gdy } Vi(t_k) \geq VU_i \end{cases} \quad /6.7/$$

lub po uwzględnieniu dyskretyzacji zmiennej czasu

$$A_i [Ti_j, QD_i] = \max \left\{ 0, [Ti_j - QD_i] \right\} \quad /6.8/$$

$$S_i [Vi_{n+1}, VU_i] = \begin{cases} [VU_i - Vi_{n+1}]^2 & \text{gdy } Vi_{n+1} < VU_i \\ 0 & \text{gdy } Vi_{n+1} \geq VU_i \end{cases} \quad /6.9/$$

gdzie:

n - ilość przedziałów o długości Δt na jakie podzielono czas trwania wezbrania w systemie,

Ti_j - przepływ w i -tym przekroju kontrolnym w j -tym przedziale czasowym,

Vi_j - napełnienie i -tego zbiornika retencyjnego na początku j -tego przedziału czasowego

Dwa pierwsze człony funkcji celu związane są z realizacją zadania redukcji przepływów kulminacyjnych w przekrojach kontrolnych A, B, C, D, E, F, natomiast człon trzeci "odpowiada" za przygotowanie zbiorników ZR1, ZR11, ZR6 do pracy w warunkach "niepowodziowych"

Ograniczenia :

- ograniczenia związane z bilansem wodnym zbiorników:

$$V_i(t_2) = V_i(t_1) + \int_{t_0}^{t_k} [Q_i(t) - T_i(t)] dt \quad /6.10/$$

$$0 \leq V_i(t_2) \leq W_i(H \max_i) \quad /6.11/$$

dla $i=1,2,3$ oraz dla wszystkich t_1 i $t_2 \in \langle t_0, t_k \rangle$

spełniających warunek $t_1 < t_2$

lub po uwzględnieniu dyskretyzacji zmiennej czasu

$$V_{i,j+1} = V_{i,j} + [Q_{i,j} - T_{i,j}] \Delta t \quad /6.12/$$

$$0 \leq V_{i,j+1} \leq W_i(H \max_i) \quad /6.13/$$

dla $i=1,2,3$ oraz $j=1,2,\dots,n$

- ograniczenia związane z nieujemnością zmiennych decyzyjnych /rzędnych hydrogramów odpływu ze zbiorników przez upusty denne/:

$$X_i(t) \geq 0 \quad /6.14/$$

dla $i=1,2,3$ oraz wszystkich $t \in \langle t_0, t_k \rangle$

lub po uwzględnieniu dyskretyzacji zmiennej czasu

$$X_{i,j} \geq 0 \quad /6.15/$$

dla $i=1,2,3$ oraz $j=1,2,\dots,n$

6.3. Matematyczny model zlewni różnicowej

Prezentowana metoda sterowania przebiegiem fali powodziowej w systemie wodnogospodarczym wymaga, aby współpracujący z nią, w sposób pośredni /poprzez model symulacyjny systemu/, model zlewni różnicowej umożliwiał uzyskiwanie hydrogramu fali wezbraniowej w profilu zamykającym zlewnię /rys.6.2./ w oparciu o takie dane jak:

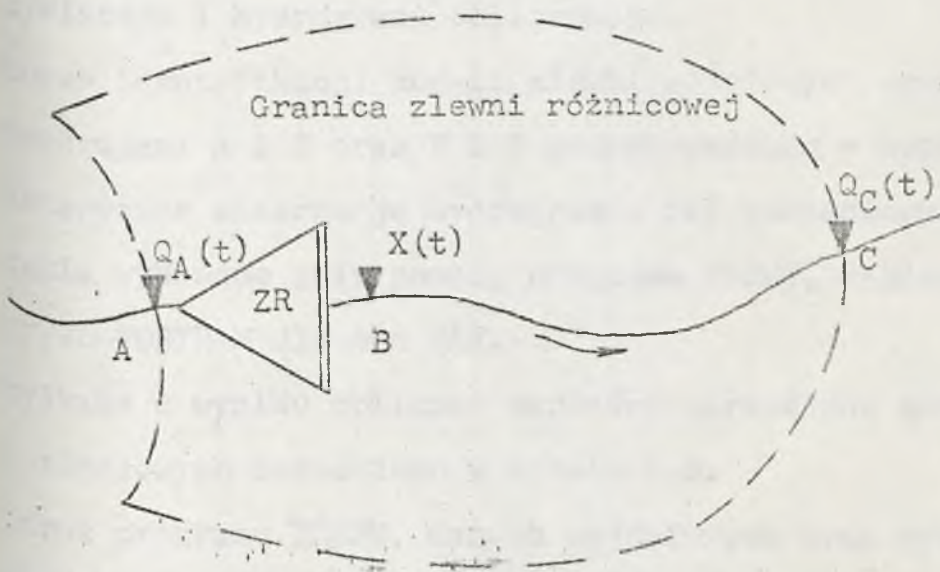
- dane charakteryzujące stan zlewni /np. wielkość opadu atmosferycznego, charakterystyki fizjograficzne zlewni itp./,
- hydrogram fali w profilu A,
- hydrogram fali odpływającej ze zbiornika.

Brak możliwości uzyskania wersji komputerowej modelu zlewni różnicowej, skłonił autora do samodzielnego opracowania modelu, który spełniałby wyżej opisane wymagania. Wiadomym jest, że opracowanie dobrego modelu zlewni różnicowej sprawia poważne trudności nawet specjalistom z zakresu teorii modelowania zjawisk i procesów hydrologicznych. Dlatego też, opisany niżej model należy traktować jako uproszczoną, umożliwiającą wykonanie obliczeń, wersję właściwego modelu.

W opracowanym modelu zlewni różnicowej, który można zaliczyć do klasy tzw. modeli konceptualnych, przyjęto następujące założenia:

- proces transformacji fali w korycie rzecznym oraz proces dopływu bocznego z obszaru zlewni różnicowej może być odwzorowany jako kaskada zbiorników liniowych,

cała informacja o aktualnym stanie zlewni skupiona jest w hydrogramie $Q_A(t)$ fali dopływającej do zbiornika.



Rys. 6.2. Schemat zlewni różnicowej.

Przy tych założeniach model przyjmuje postać:

$$Q_C(t) = \frac{\beta_1}{K_1 \Gamma(n_1)} \int_{t_0}^t X(\tau) \left(\frac{t-\tau}{K_1} \right)^{n_1-1} \exp\left(-\frac{t-\tau}{K_1}\right) d\tau +$$

$$+ \frac{\beta_2}{K_2 \Gamma(n_2)} \int_{t_0}^t Q_A(\tau) \left(\frac{t-\tau}{K_2} \right)^{n_2-1} \exp\left(-\frac{t-\tau}{K_2}\right) d\tau$$

/6.16/

gdzie:

$\beta_1, K_1, n_1, \beta_2, K_2, n_2$ - parametry modelu podlegające identyfikacji

Do identyfikacji parametrów modelu wykorzystano algorytm optymalizacji nieliniowej, w którym wskaźnik jakości określał miarę rozbieżności między przebiegiem hydrogramu rzeczywistego i hydrogramu obliczonego.

Proces identyfikacji modeli zlewni różniowych ograniczonych przekrojami A i B oraz E i F przeprowadzono w oparciu o historyczne obserwacje hydrogramów fal powodziowych. Obliczenia wykonano przy pomocy programu IDENT, napisanego w języku FORTRAN dla emc VAX.

Uzyskane w wyniku obliczeń wartości parametrów modeli zlewni różniowych zestawiono w tabeli 6.2.

Wydruk programu IDENT, danych wejściowych oraz wyników obliczeń dołączono do pierwszego egzemplarza pracy.

6.4. Opis danych

Podstawę do wyznaczenia sterowań $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$ pracą zespołu zbiorników retencyjnych ZR1, ZR11, ZR6 stanowiły

Następujące dane:

- dane dotyczące zbiorników retencyjnych, zestawione w tabeli 6.1.

- dane dotyczące parametrów modeli zlewni różnicowych zestawione w tabeli 6.2.

- dane dotyczące prognoz hydrogramów fal powodziowych oraz wielkości przepływów dozwolonych, zestawione w tabelach

6.3. i 6.4. oraz na rys.6.3.

Tabela 6.1. Parametry techniczne zbiorników retencyjnych

| Lp | Rodzaj danej | Zbiornik Henryków ZR1 | Zbiornik Wióry ZR11 | Zbiornik Brody ZR6 | |
|----|--|-----------------------|---------------------|--------------------|--------|
| 1. | Pojemność użytkowa VU /mln m ³ / | 4.25 | 20.00 | 4.10 | |
| 2. | Napełnienie początkowe VP /mln m ³ / | 2.10 | 12.00 | 2.00 | |
| 3. | Max poziom piętrzenia użytkowego H _p /m/ | 4.50 | 6.50 | 6.00 | |
| 4. | Najwyższy poziom przeciążenia H max /m/ | 6.50 | 7.50 | 8.00 | |
| 5. | Współczynnik równania krzywej pojemności zbiornika | a | 0.000 | 0.362 | 0.089 |
| | | b | 1.045 | 1.015 | -0.111 |
| | | c | -2.540 | -7.990 | -0.700 |
| 6. | Współczynnik wydatku przelewu α | 22.685 | 10.470 | 125.640 | |

Tabela 6.2. Parametry modeli zlewni różnicowych

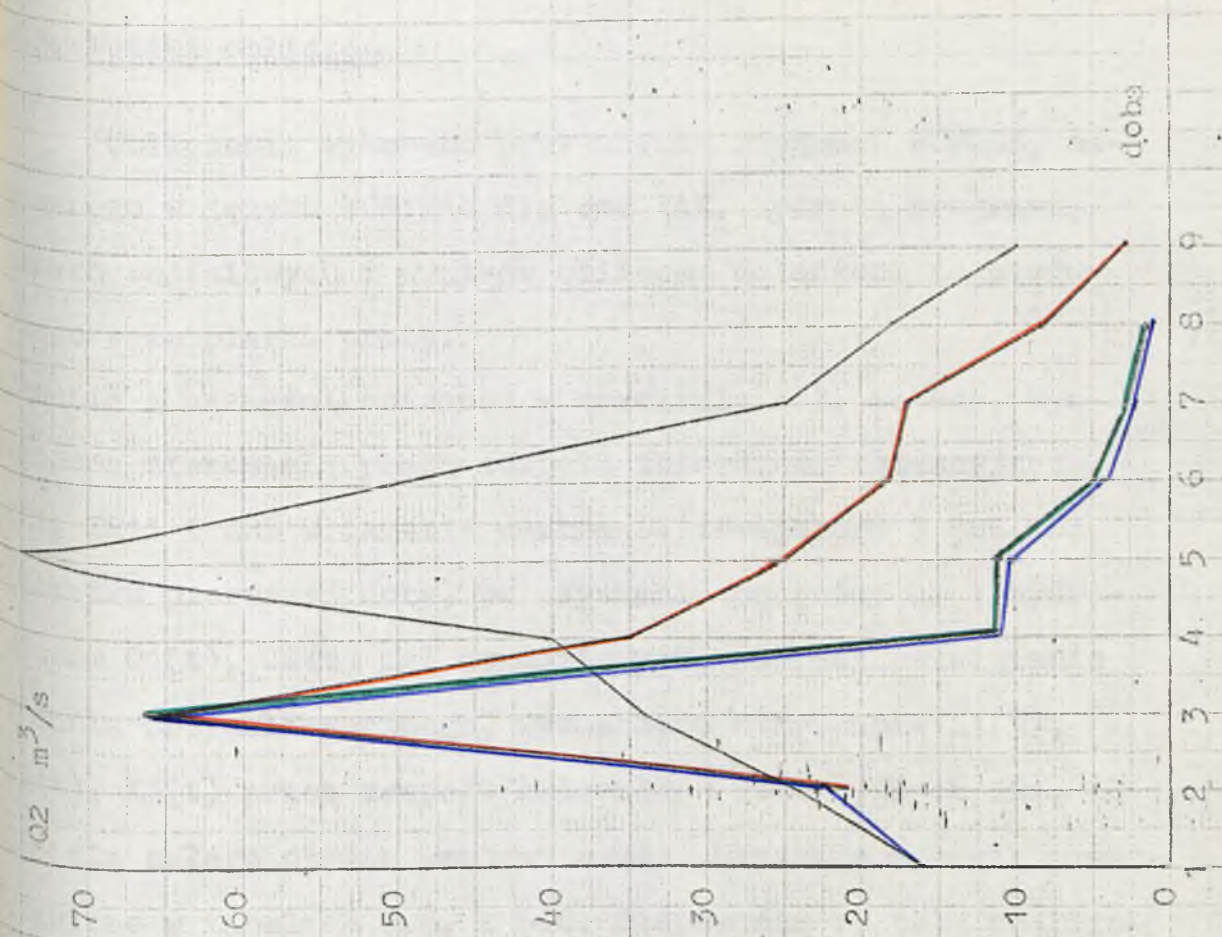
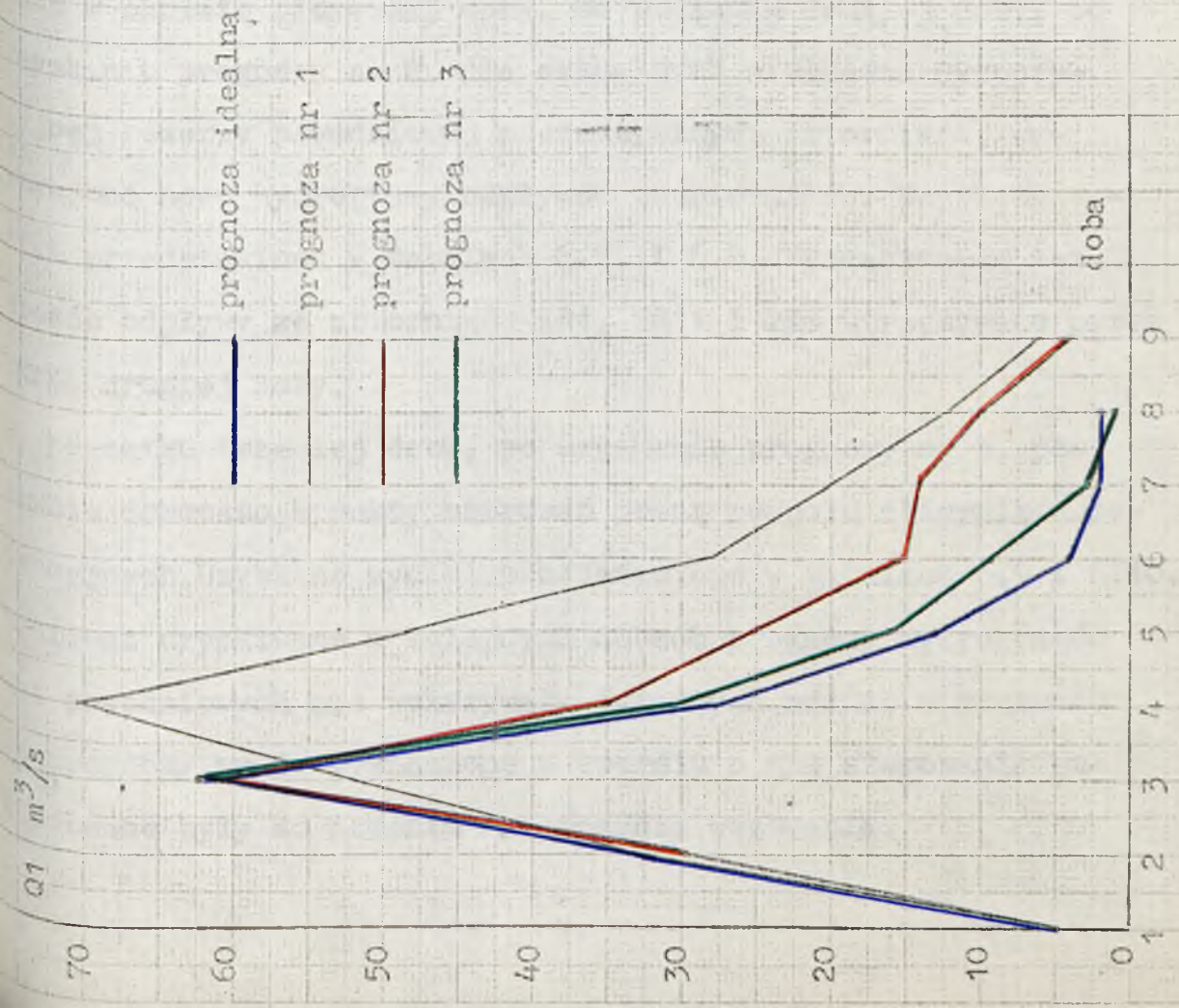
| Zlewnia różnicowa ograniczona przekrojami | β_1 | n_1 | K_1 | β_2 | n_2 | K_2 |
|---|-----------|--------|-------|-----------|--------|-------|
| A i B | 1.0 | 15.034 | 0,140 | 9.256 | 1.535 | 0.164 |
| E i F | 1.0 | 1.102 | 1.340 | 0.220 | 20.001 | 0.118 |

Tabela 6.3. Prognozy hydrogramów fal powodziowych [m³/s]

| Doba | Prognoza nr 1 | | Prognoza nr 2 | | Prognoza nr 3 | | Prognoza idealna | |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|------------------|------|
| | Q1 | Q2 | Q1 | Q2 | Q1 | Q2 | Q1 | Q2 |
| 1 | 4.0 | 16.0 | - | - | - | - | 4.0 | 16.0 |
| 2 | 33.0 | 24.0 | 30.0 | 21.0 | - | - | 30.0 | 22.0 |
| 3 | 52.0 | 34.0 | 61.0 | 65.0 | 62.0 | 66.0 | 62.0 | 66.0 |
| 4 | 70.0 | 40.0 | 35.0 | 35.0 | 29.3 | 12.3 | 28.0 | 12.0 |
| 5 | 48.0 | 75.0 | 20.0 | 25.0 | 16.0 | 11.0 | 13.0 | 10.0 |
| 6 | 28.0 | 50.0 | 15.0 | 18.0 | 9.0 | 4.5 | 4.0 | 3.9 |
| 7 | 20.0 | 25.0 | 14.0 | 17.0 | 2.5 | 2.5 | 1.9 | 2.0 |
| 8 | 12.0 | 18.0 | 10.0 | 8.0 | 1.0 | 1.1 | 1.8 | 1.0 |
| 9 | 6.0 | 10.0 | 4.0 | 3.0 | - | - | - | - |

Tabela 6.4. Przepływy dozwolone

| Oznaczenie przepływu | QD ₁ | QD ₂ | QD ₃ | QD ₄ | QD ₅ |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Wielkość przepływu [m ³ /s] | 11.8 | 20.0 | 25.0 | 40.0 | 50.0 |



Rys. 6.3. Prognozy hydrogramów fal powodziowych.

6.5. Wyniki obliczeń

Obliczenia wykonano przy użyciu programu POWODZ, napisanego w języku FORTRAN dla emc VAX. Wydruki programu, danych wejściowych i wyników obliczeń dołączono do pierwszego egzemplarza pracy.

Zgodnie z zasadami opisanymi w rozdziale 4.2. metody, wyznaczono sterowania pracą zespołu zbiorników retencyjnych ZR1, ZR11 i ZR6 w okresie wezbrania trwającego 8 dni. Na początku pierwszej doby, po uzyskaniu prognozy nr 1 hydrogramów $Q_1(t)$, $Q_2(t)$ fal powodziowych, poprzez rozwiązanie zadania optymalizacyjnego, wyznaczono sterowania $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$ pracą zespołu zbiorników retencyjnych ZR1, ZR11, ZR6 dla całego okresu wezbraniowego. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelach 6.5. i 6.6. Sterowania te były realizowane w okresie pierwszej doby. Na początku drugiej doby, po uzyskaniu prognozy nr 2, dla aktualnych wielkości dyspozycyjnej rezerwy powodziowej poszczególnych zbiorników, wyznaczono nowe hydrogramy odpływów ze zbiorników. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelach 6.7. i 6.8. Wyznaczone w ten sposób odpływy ze zbiorników ZR1, ZR11 i ZR6 utrzymywano przez okres drugiej doby.

Na początku trzeciej doby, po uzyskaniu prognozy nr 3, ponownie dokonano korekty sterowań pracą zespołu zbiorników retencyjnych. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelach 6.9 i 6.10. Ponieważ uzyskiwane w kolejnych dobach prognozy hydrogramów fal powodziowych nie wykazywały istotnych różnic w stosunku do prognozy nr 3, wyznaczone w oparciu o nią sterowania realizowane były do momentu zakończenia wezbrania.

Rys. 6.4 i 6.5 opracowane w oparciu o tabele 6.5-6.10 przedstawiają rzeczywisty obraz przebiegu fali powodziowej w systemie wodnogospodarczym /kolor czerwony/ oraz sterowania pracą zbiorników retencyjnych ZR1, ZR11 i ZR6 /oznaczone kolorem niebieskim hydrogramy odpływu przez upusty denne./ Dla porównania kolorem czarnym pokazano jak wyglądałby obraz wezbrania w systemie, gdyby nie istniały zbiorniki ZR1, ZR11 i ZR6.

W tabelach 6.11 i 6.12 oraz na rys. 6.6 i 6.7 przedstawiono wyniki sterowania pracą zespołu zbiorników ZR1, ZR11 i ZR6, dla przypadku, gdy na początku pierwszej doby dysponuje się idealną prognozą hydrogramów fal powodziowych. Uzyskane przy takim, praktycznie nierealnym, założeniu sterowania pracą zbiorników mogą być traktowane jako nieosiągalne w praktyce optimum.

W tabelach 6.13 i 6.14 oraz na rys. 6.8 i 6.9 pokazano przebieg wezbrania w systemie, przy założeniu, że zbiorniki ZR1, ZR11 i ZR6 pracują zgodnie z zasadami metody półsztywnej. Wykresy ilustrujące przebieg zmian napeźnień zbiorników ZR1, ZR11 i ZR6 w okresie wezbrania dla trzech opisanych wyżej wariantów sterowań przedstawiono na rys. 6.10-6.12.

| Lp | Doba | Q1 | X1 | T1 | Q3 | X3 | T3 | Q2 | X2 | T2 | T4 | T5 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 1 | 4.0 | 28.9 | 28.9 | 4.1 | 26.2 | 26.2 | 16.0 | 22.8 | 22.8 | 49.1 | 19.5 |
| 2 | 2 | 33.0 | 33.2 | 33.2 | 26.4 | 26.6 | 26.6 | 24.0 | 23.6 | 23.6 | 50.3 | 30.8 |
| 3 | 3 | 52.0 | 35.4 | 35.4 | 52.0 | 28.2 | 28.2 | 34.0 | 23.8 | 23.8 | 52.0 | 40.5 |
| 4 | 4 | 70.0 | 24.5 | 30.0 | 61.3 | 30.9 | 42.3 | 40.0 | 23.8 | 23.8 | 66.1 | 56.0 |
| 5 | 5 | 48.0 | 21.4 | 41.3 | 49.9 | 33.1 | 51.3 | 75.0 | 23.9 | 23.9 | 75.2 | 71.1 |
| 6 | 6 | 28.0 | 9.9 | 32.4 | 49.3 | 32.4 | 48.5 | 50.0 | 22.8 | 23.9 | 72.4 | 82.4 |
| 7 | 7 | 20.0 | 11.9 | 23.9 | 41.0 | 20.1 | 40.4 | 25.0 | 21.3 | 23.6 | 63.9 | 76.4 |
| 8 | 8 | 12.0 | 11.6 | 16.1 | 29.6 | 13.8 | 31.1 | 18.0 | 17.3 | 19.6 | 50.7 | 60.3 |
| 9 | 9 | 6.0 | 5.6 | 6.6 | 19.3 | 14.8 | 21.9 | 10.0 | 10.0 | 12.0 | 33.9 | 44.8 |

Tabela 6.6. Napełnienia zbiorników. Prognoza nr 1

| Lp. | Doba | Napełnienia początkowe zbiorników | |
|-----|------|-----------------------------------|------|
| | | ZR1 | ZR6 |
| 1 | 1 | 2.20 | 2.00 |
| 2 | 2 | 0.05 | 0.09 |
| 3 | 3 | 0.03 | 0.93 |
| 4 | 4 | 1.47 | 2.99 |
| 5 | 5 | 4.93 | 4.62 |
| 6 | 6 | 5.51 | 4.50 |
| 7 | 7 | 5.12 | 4.57 |
| 8 | 8 | 4.79 | 4.62 |
| 9 | 9 | 4.44 | 4.49 |
| 10 | 10 | 4.38 | 4.27 |

| Lp | Doba | C1 | X1 | T1 | O3 | X3 | T3 | O2 | X2 | T2 | T4 | T5 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 1 | 2 | 30.0 | 22.5 | 22.5 | 28.8 | 20.0 | 20.0 | 21.0 | 9.6 | 9.6 | 29.6 | 28.0 |
| 2 | 3 | 61.0 | 16.8 | 20.3 | 45.2 | 18.1 | 18.1 | 65.0 | 8.1 | 8.1 | 26.2 | 30.8 |
| 3 | 4 | 35.0 | 11.0 | 27.4 | 34.4 | 15.2 | 20.8 | 35.0 | 1.9 | 1.9 | 22.7 | 39.8 |
| 4 | 5 | 20.0 | 3.0 | 23.7 | 33.4 | 16.9 | 32.1 | 25.0 | 1.4 | 2.5 | 34.6 | 45.4 |
| 5 | 6 | 15.0 | 7.3 | 18.8 | 29.7 | 13.7 | 30.6 | 18.0 | 2.9 | 5.7 | 36.3 | 42.2 |
| 6 | 7 | 14.0 | 7.6 | 14.5 | 24.8 | 10.0 | 24.7 | 17.0 | 6.2 | 10.2 | 34.9 | 36.9 |
| 7 | 8 | 10.0 | 6.3 | 11.5 | 18.9 | 8.8 | 20.2 | 8.0 | 8.3 | 12.5 | 32.8 | 33.4 |
| 8 | 9 | 4.0 | 2.5 | 5.4 | 13.2 | 10.3 | 14.9 | 9.0 | 6.4 | 9.8 | 24.7 | 27.7 |

Tabela 6.8. Napełnienia zbiorników. Prognoza nr 2

| Lp | Doba | Napełnienia początkowe zbiorników | |
|----|------|-----------------------------------|------|
| | | ZR1 | ZR6 |
| 1 | 2 | 0.05 | 0.09 |
| 2 | 3 | 1.22 | 0.85 |
| 3 | 4 | 4.74 | 3.19 |
| 4 | 5 | 5.39 | 4.37 |
| 5 | 6 | 5.08 | 4.48 |
| 6 | 7 | 4.75 | 4.40 |
| 7 | 8 | 4.71 | 4.41 |
| 8 | 9 | 4.58 | 4.30 |
| 9 | 10 | 4.46 | 4.15 |

Tabela 6.9. Sterowania pracą zbiorników. Prognoza nr 3

| Lp | Doba | Q1 | X1 | T1 | Q3 | X3 | T3 | Q2 | X2 | T2 | T4 | T5 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| 1 | 3 | 62.0 | 13.6 | 19.2 | 46.9 | 25.7 | 25.7 | 66.0 | 1.6 | 1.6 | 27.4 | 28.1 |
| 2 | 4 | 29.3 | 7.0 | 24.5 | 31.4 | 18.0 | 18.0 | 12.3 | 1.5 | 1.5 | 19.4 | 36.9 |
| 3 | 5 | 16.0 | 0.3 | 19.4 | 29.4 | 11.4 | 21.5 | 11.0 | 1.4 | 1.4 | 22.9 | 36.4 |
| 4 | 6 | 9.0 | 2.2 | 12.8 | 23.3 | 13.2 | 26.0 | 4.5 | 1.4 | 1.4 | 27.4 | 31.7 |
| 5 | 7 | 2.5 | 1.0 | 6.7 | 13.7 | 13.0 | 14.9 | 2.5 | 1.1 | 1.1 | 16.0 | 18.3 |
| 6 | 8 | 1.0 | 1.0 | 2.1 | 3.6 | 3.6 | 4.7 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 5.8 | 8.6 |

Tabela 6.10. Napełnienia zbiorników. Prognoza nr 3

| Lp | Doba | Napełnienia początkowe zbiorników | |
|----|------|-----------------------------------|------|
| | | ZR1 | ZR6 |
| 1 | 3 | 1.22 | 0.85 |
| 2 | 4 | 4.92 | 2.68 |
| 3 | 5 | 5.33 | 3.83 |
| 4 | 6 | 5.04 | 4.50 |
| 5 | 7 | 4.72 | 4.27 |
| 6 | 8 | 4.36 | 4.17 |
| 7 | 9 | 4.25 | 4.09 |

Tabela 6.11. Sterowanie pracą zbiorników. Prognoza idealna

| Lp | Doba | Q1 | X1 | T1 | Q3 | X3 | T3 | Q2 | X2 | T2 | T4 | T5 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 1 | 1 | 4.0 | 21.6 | 21.6 | 3.7 | 25.0 | 25.0 | 16.0 | 1.0 | 1.0 | 26.0 | 11.2 |
| 2 | 2 | 30.0 | 19.5 | 19.5 | 29.0 | 25.4 | 25.4 | 22.0 | 1.9 | 1.9 | 27.3 | 18.3 |
| 3 | 3 | 62.0 | 13.8 | 21.4 | 43.4 | 23.1 | 23.1 | 66.0 | 5.1 | 6.1 | 29.2 | 25.5 |
| 4 | 4 | 28.0 | 5.1 | 24.8 | 31.9 | 18.0 | 18.0 | 12.0 | 5.0 | 7.2 | 25.2 | 38.8 |
| 5 | 5 | 13.0 | 0.5 | 18.3 | 28.6 | 10.0 | 15.8 | 10.0 | 7.4 | 10.0 | 25.7 | 38.3 |
| 6 | 6 | 4.0 | 2.3 | 9.0 | 20.2 | 7.0 | 19.7 | 3.9 | 3.9 | 6.3 | 26.0 | 31.6 |
| 7 | 7 | 1.9 | 1.5 | 3.0 | 11.0 | 6.5 | 14.0 | 2.0 | 2.0 | 4.1 | 18.1 | 22.6 |
| 8 | 8 | 1.8 | 1.6 | 2.3 | 4.8 | 6.2 | 6.8 | 1.0 | 1.0 | 2.9 | 9.6 | 14.2 |

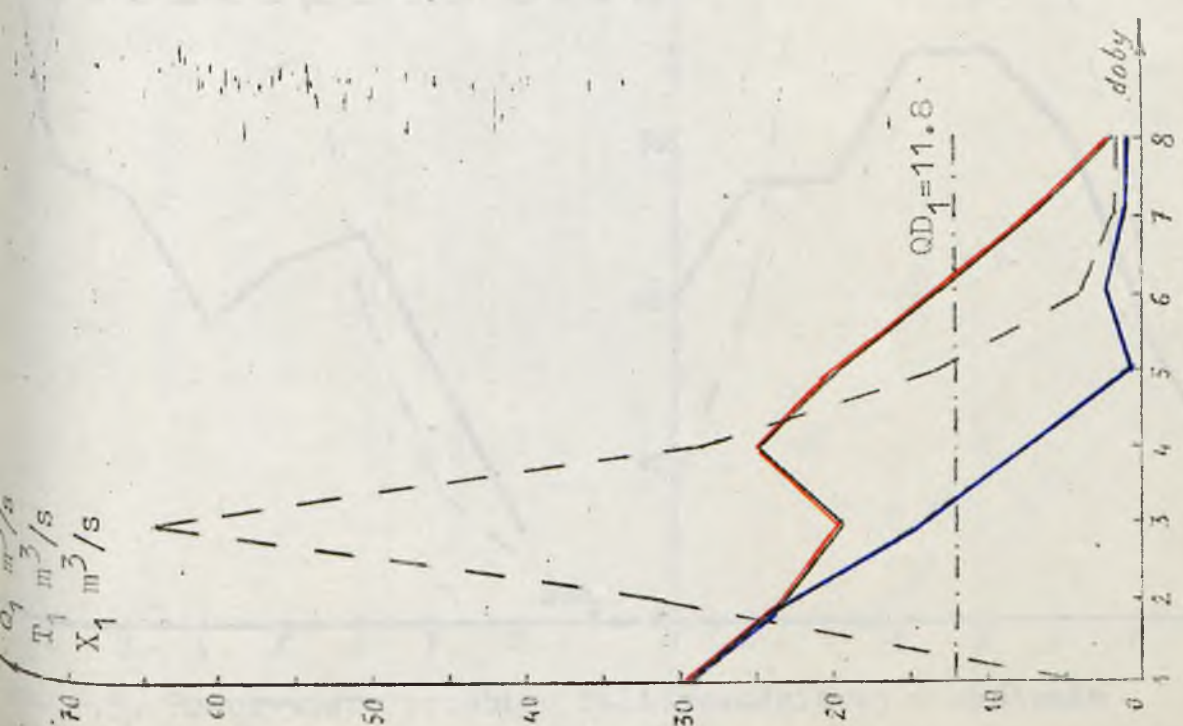
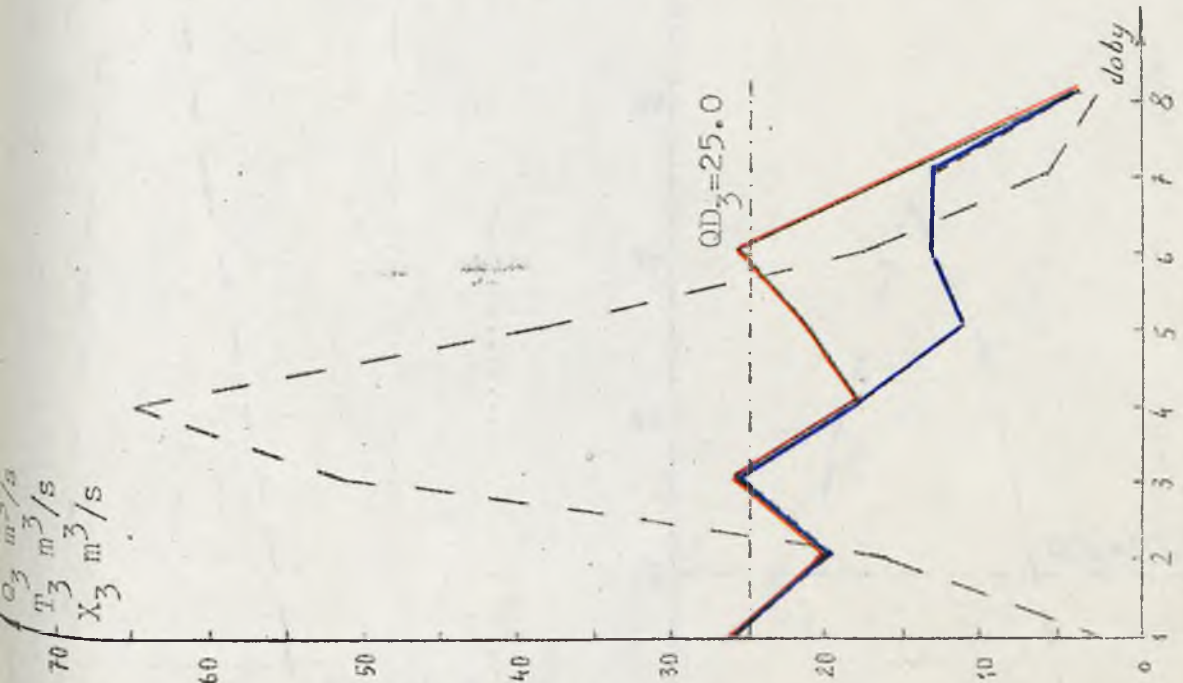
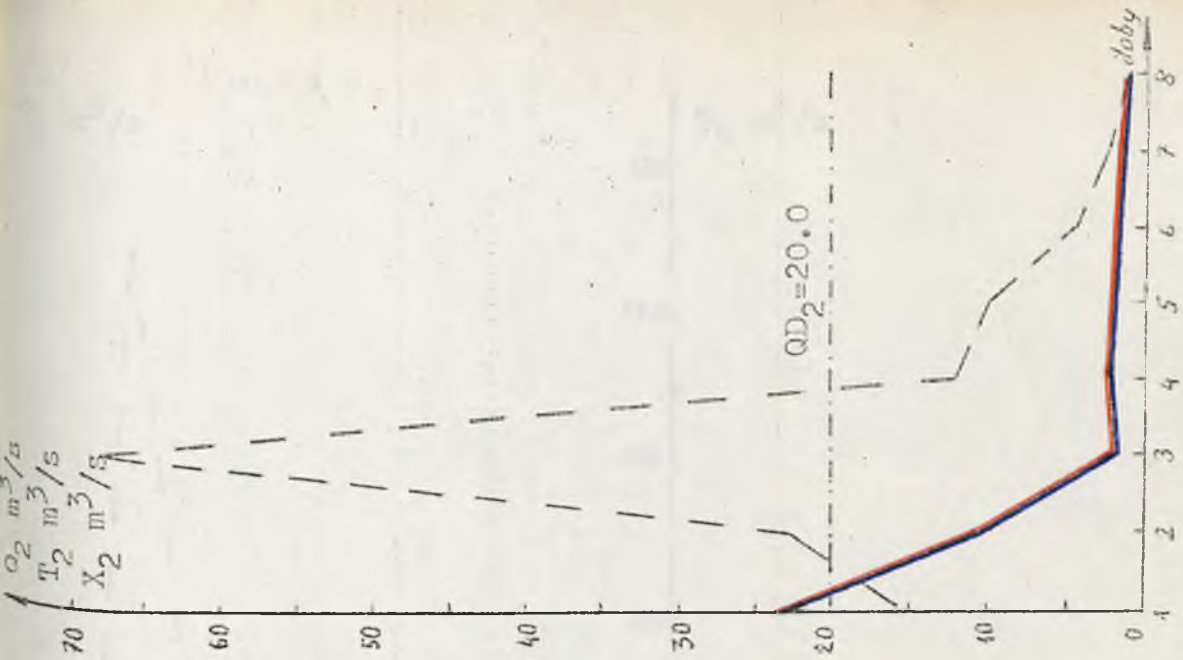
Tabela 6.12. Napełnienia zbiorników. Prognoza idealna

| Lp | Doba | Napełnienia początkowe zbiorników | |
|----|------|-----------------------------------|------|
| | | ZR1 | ZR6 |
| 1 | 1 | 2.20 | 2.00 |
| 2 | 2 | 0.68 | 0.16 |
| 3 | 3 | 1.59 | 0.47 |
| 4 | 4 | 5.09 | 2.22 |
| 5 | 5 | 5.37 | 3.43 |
| 6 | 6 | 4.94 | 4.54 |
| 7 | 7 | 4.51 | 4.58 |
| 8 | 8 | 4.41 | 4.32 |
| 9 | 9 | 4.37 | 4.16 |

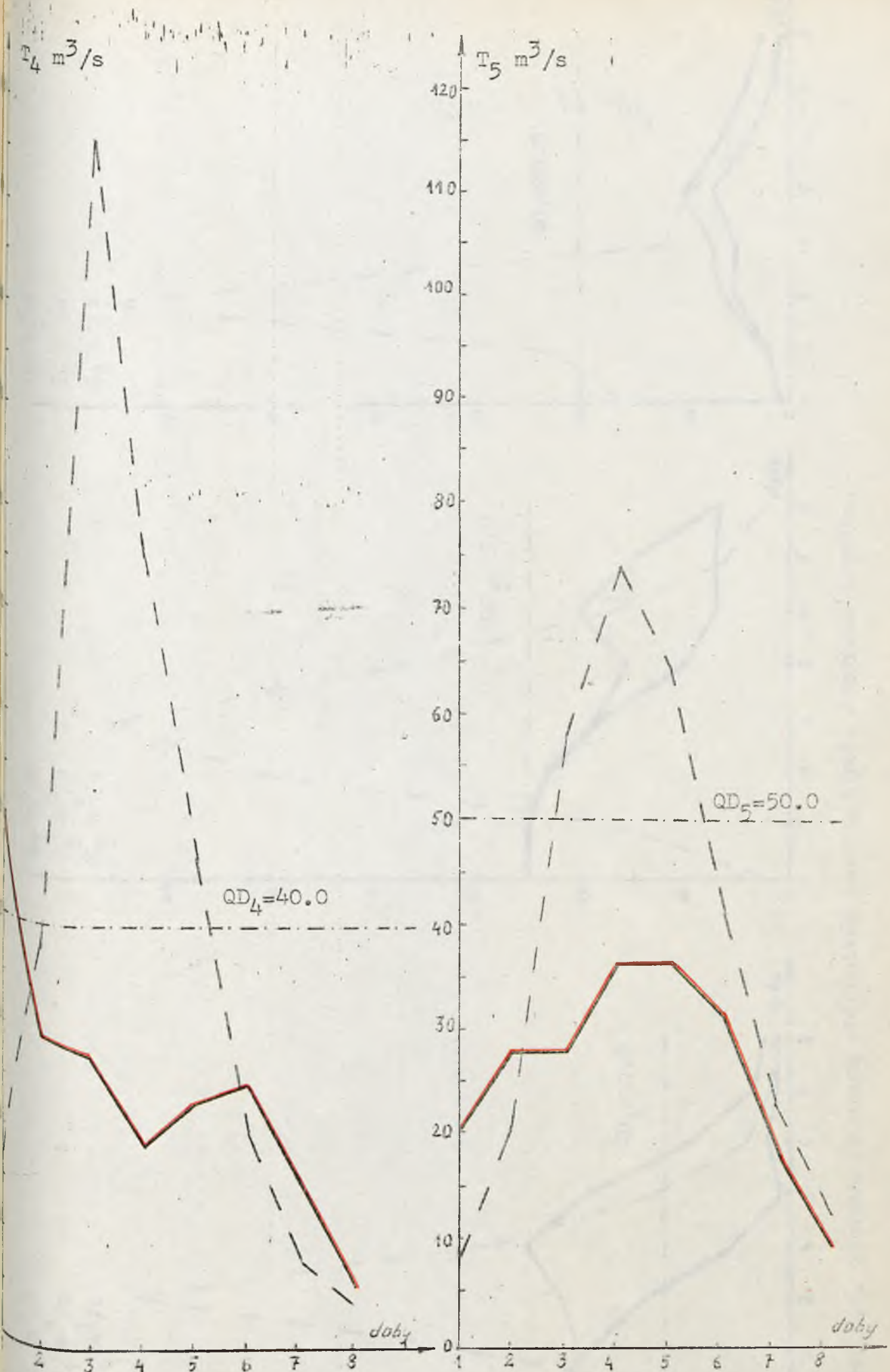
| Lp | Doba | Q1 | X1 | T1 | Q3 | X3 | T3 | Q2 | X2 | T2 | T4 | T5 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 1 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 18.7 | 8.6 |
| 2 | 2 | 30.0 | 15.0 | 15.0 | 15.5 | 15.5 | 15.5 | 22.0 | 21.0 | 21.0 | 36.5 | 20.3 |
| 3 | 3 | 62.0 | 53.3 | 53.3 | 38.7 | 31.9 | 31.9 | 66.0 | 30.0 | 30.0 | 61.9 | 40.8 |
| 4 | 4 | 28.0 | 28.0 | 28.0 | 55.2 | 40.1 | 40.1 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 52.1 | 61.7 |
| 5 | 5 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 36.4 | 33.0 | 33.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 43.0 | 57.3 |
| 6 | 6 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 17.0 | 17.0 | 17.0 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 20.9 | 39.2 |
| 7 | 7 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 6.4 | 6.4 | 6.4 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 8.4 | 22.8 |
| 8 | 8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 12.2 |

Tabela 6.14. Napełnienia zbiorników. Metoda półsztywna

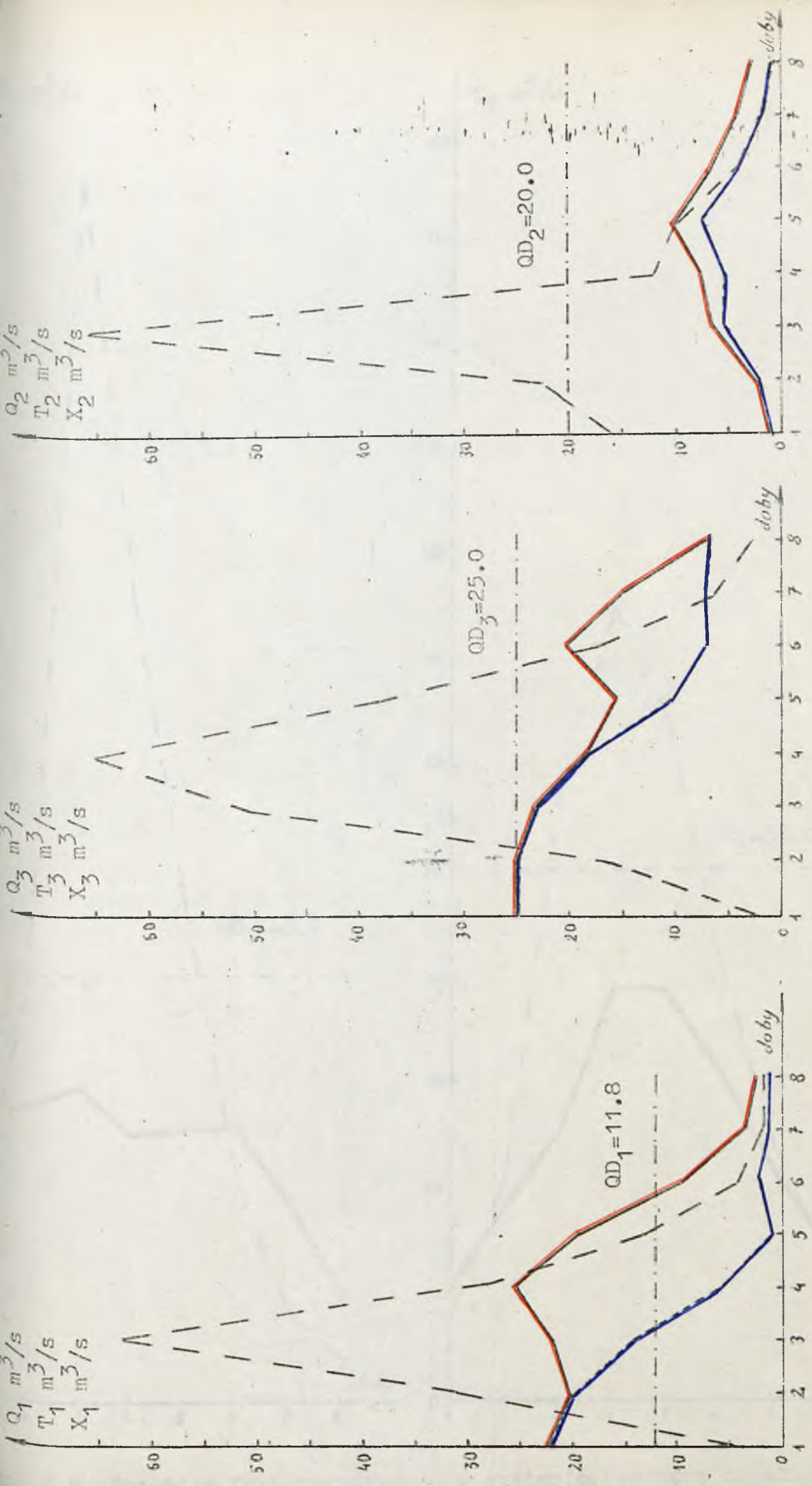
| Lp | Doba | Napełnienia początkowe zbiorników | |
|----|------|-----------------------------------|-------|
| | | ZR1 | ZR6 |
| 1 | 1 | 2.20 | 12.00 |
| 2 | 2 | 2.20 | 12.00 |
| 3 | 3 | 3.50 | 12.09 |
| 4 | 4 | 4.25 | 15.20 |
| 5 | 5 | 4.25 | 15.20 |
| 6 | 6 | 4.25 | 15.20 |
| 7 | 7 | 4.25 | 15.20 |
| 8 | 8 | 4.25 | 15.20 |
| 9 | 9 | 4.25 | 15.20 |



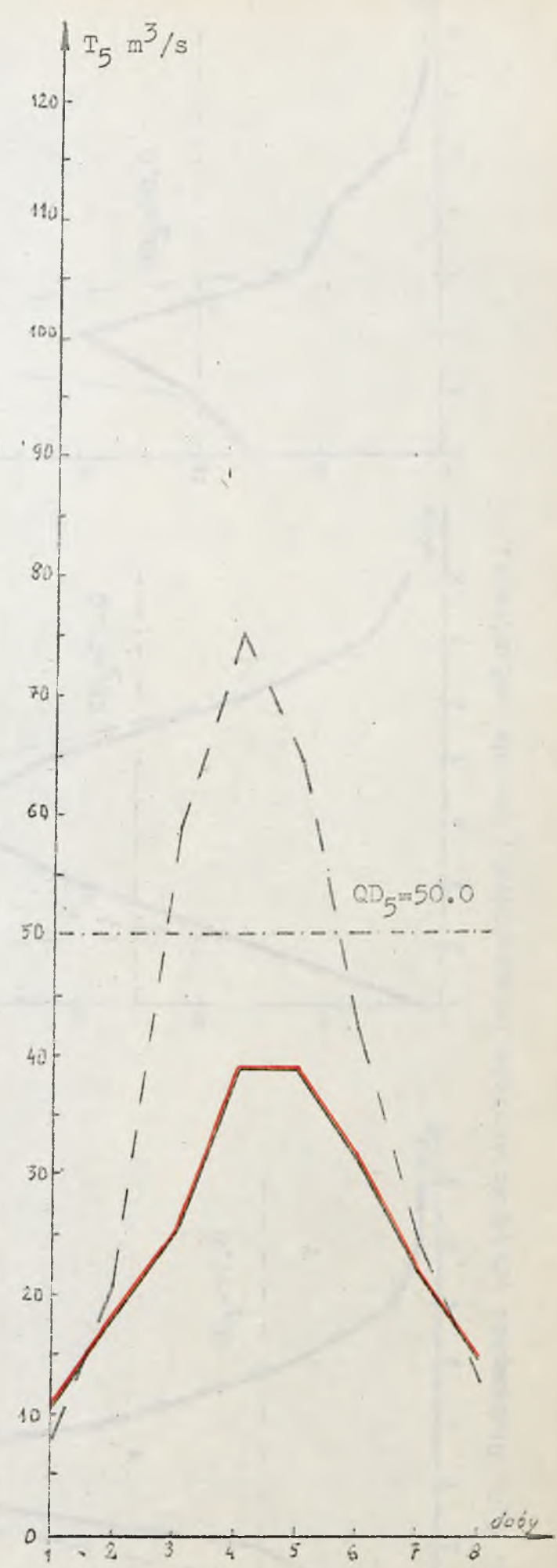
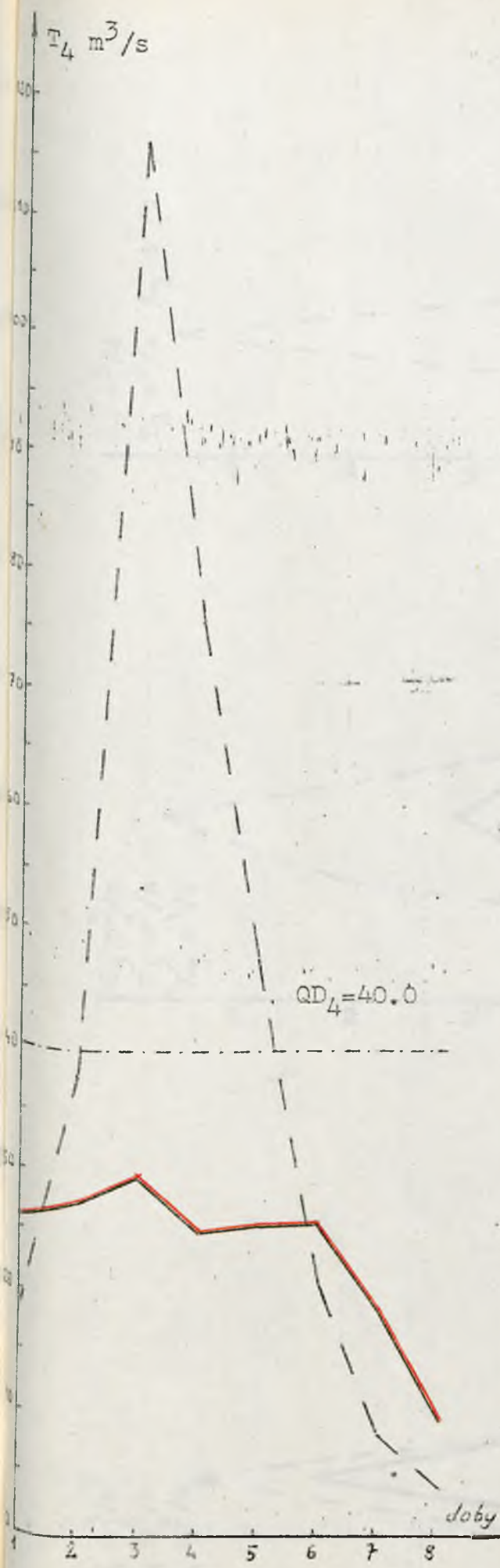
Rys. 6.4. Rzeczywiste sterowanie pracą zbiorników retencyjnych



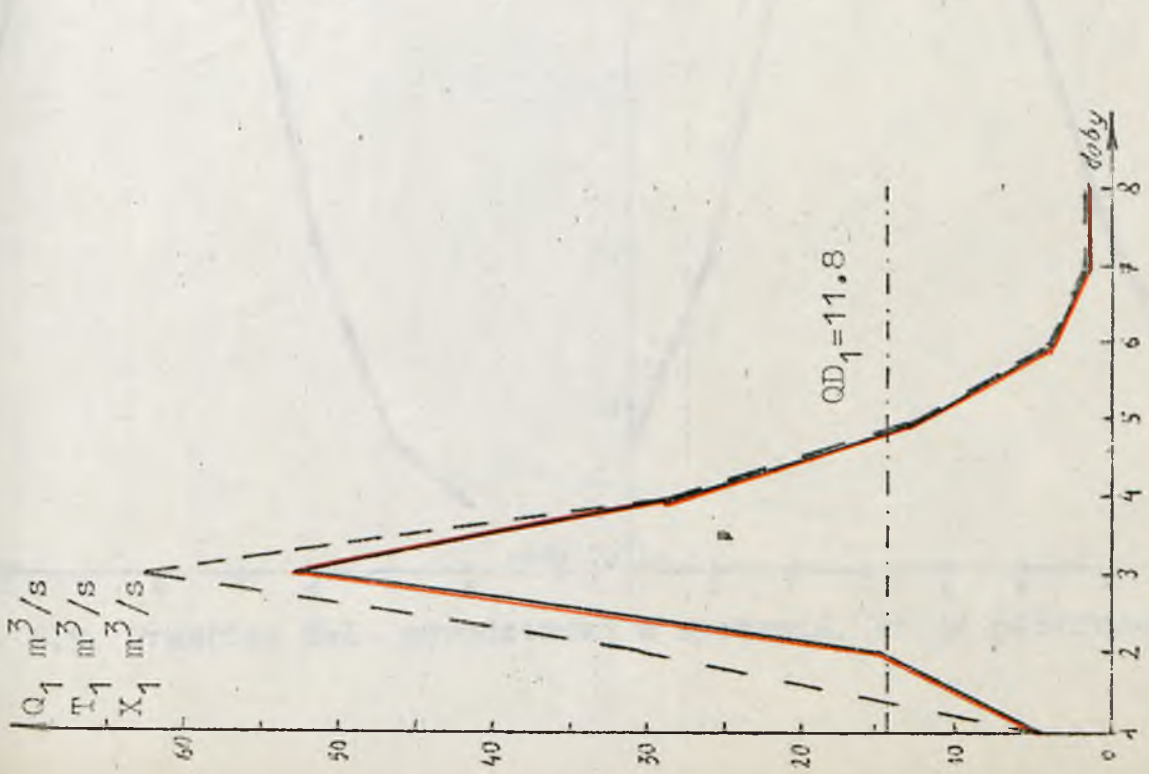
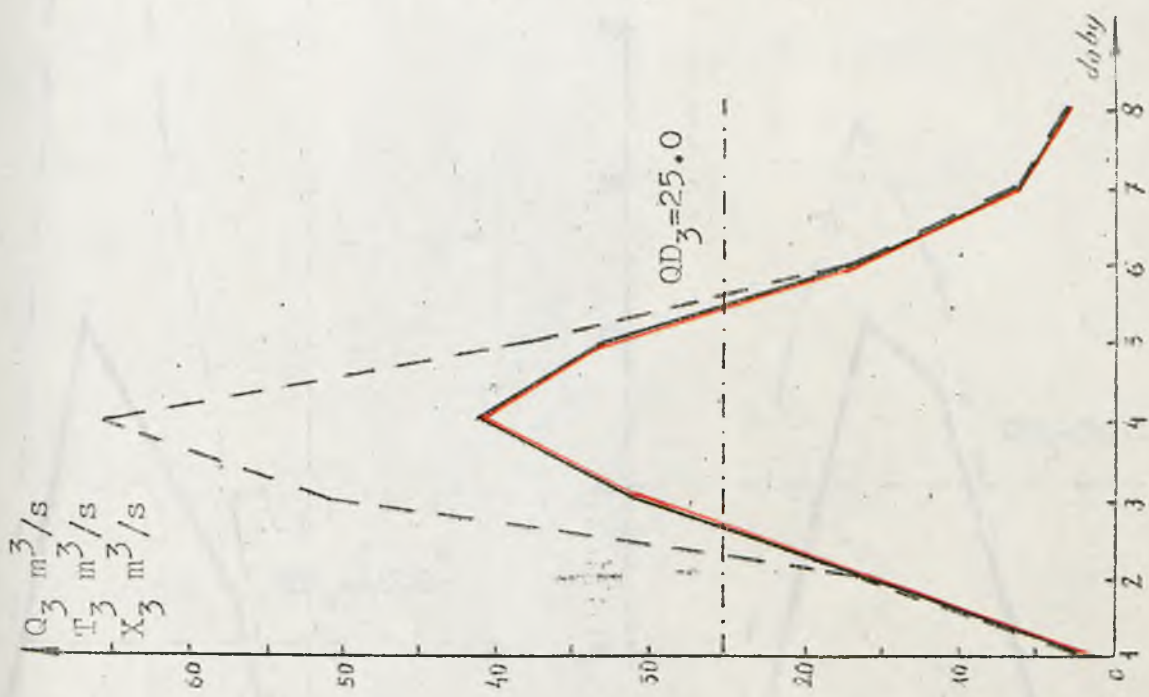
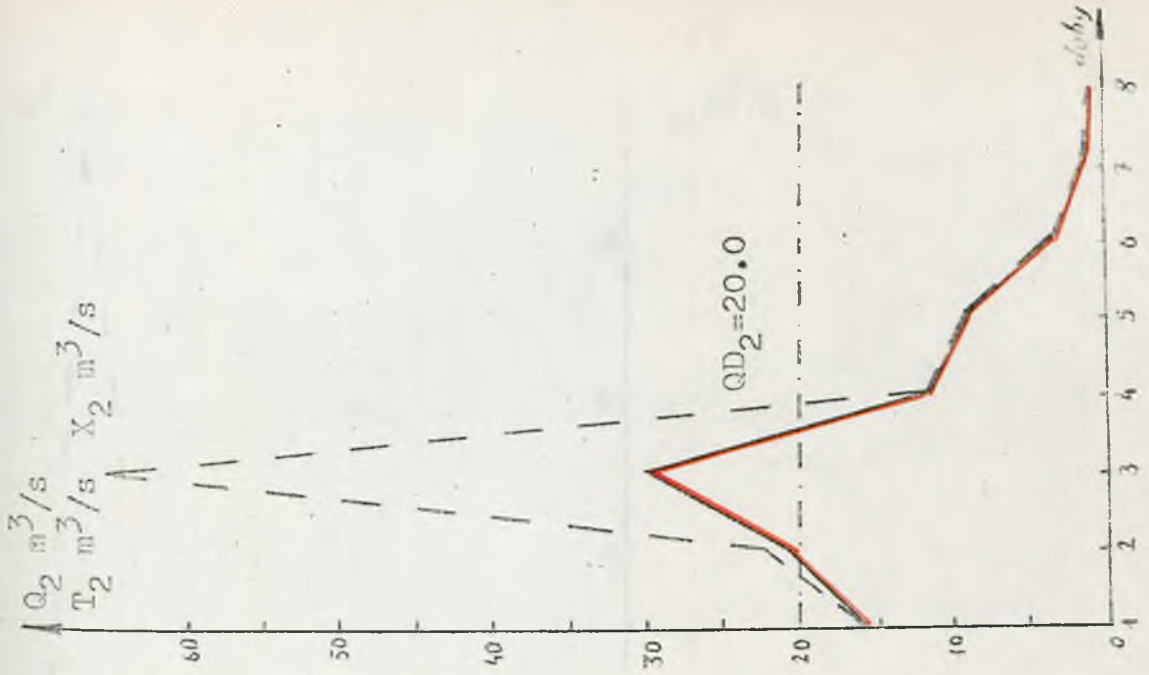
rys. 6.5. Rzeczywisty przebieg fali powodziowej w systemie



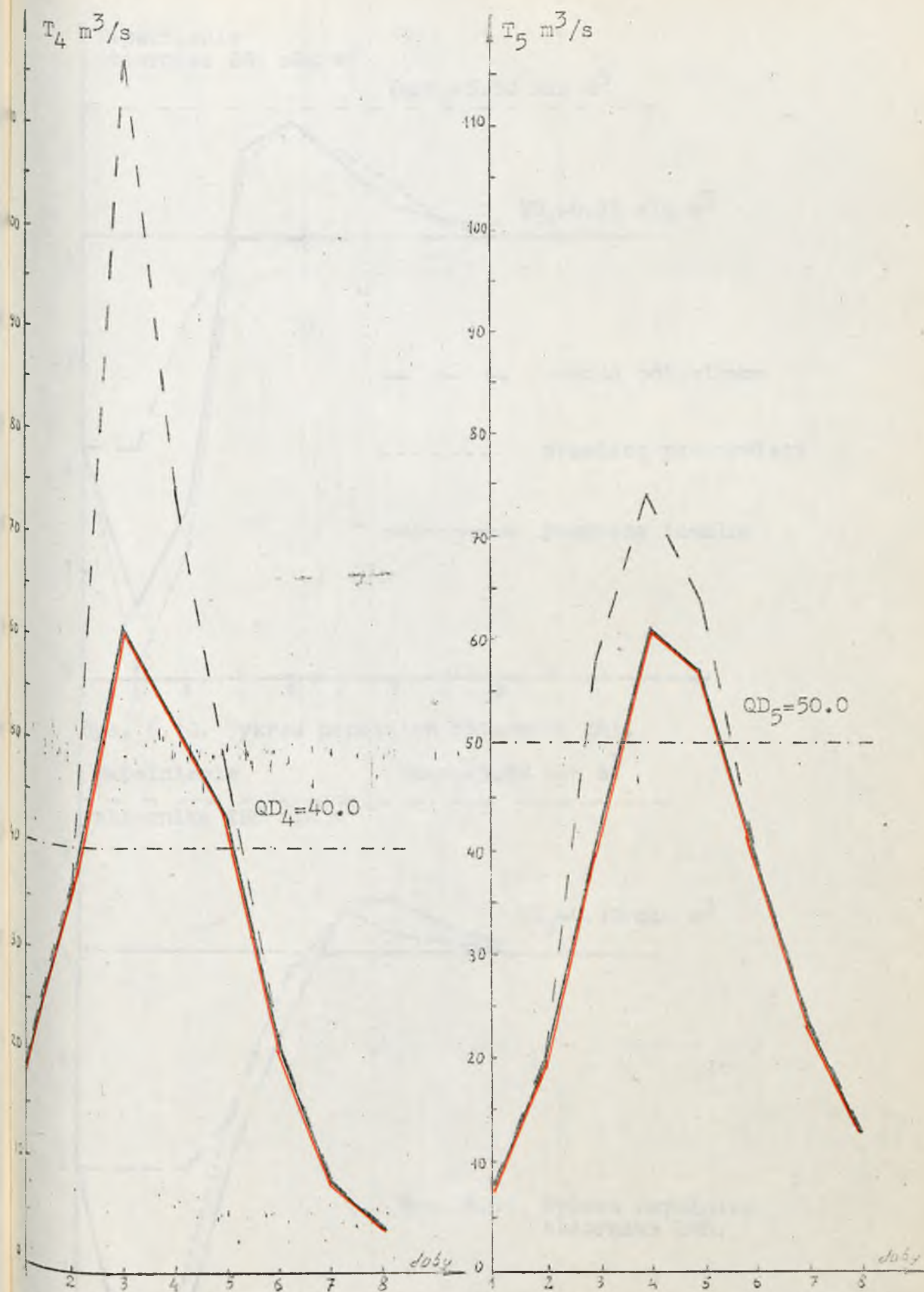
rys. 6.6. Sterowanie pracą zbiorników retencyjnych. Prognoza idealna.



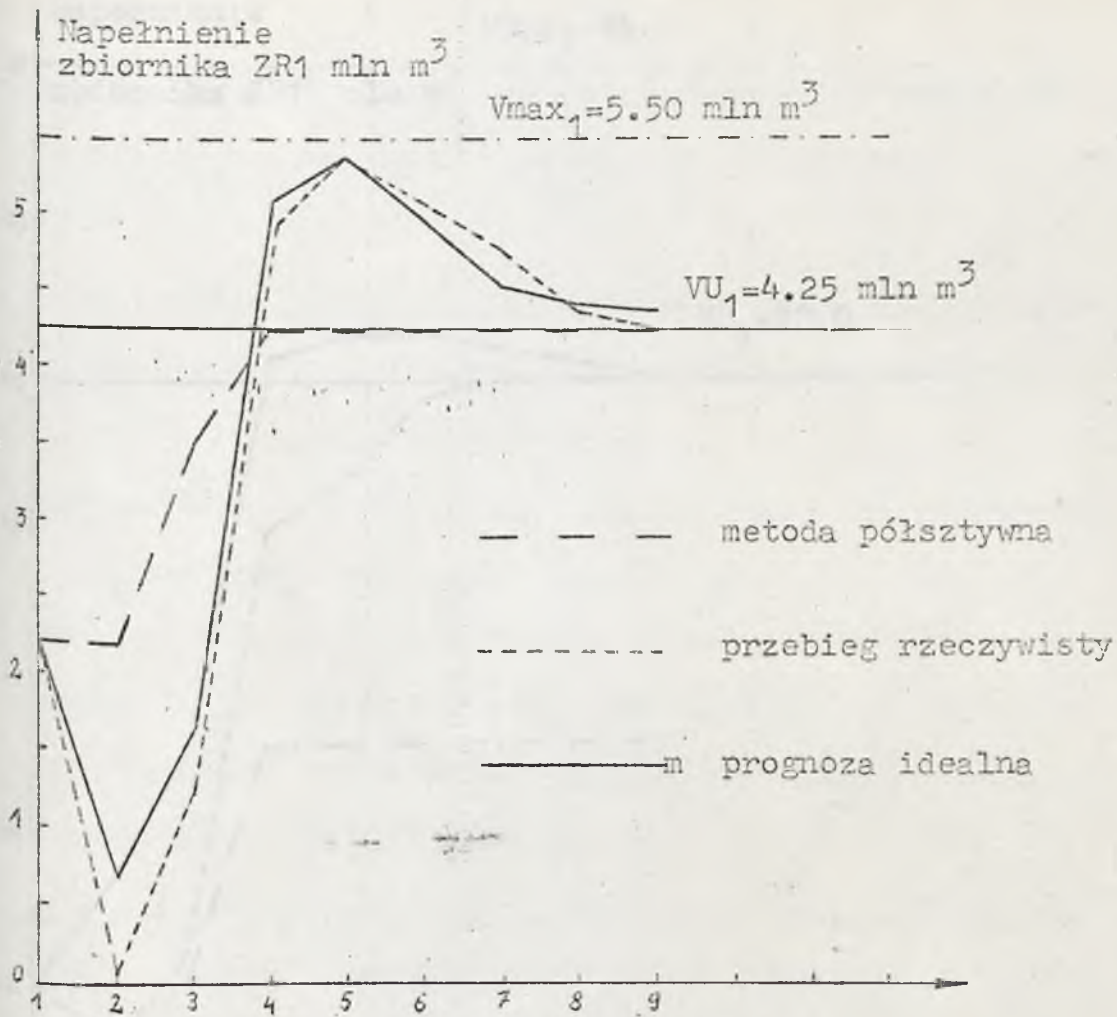
Rys. 6.7. Przebieg fali powodziowej w systemie. Prognoza idealna.



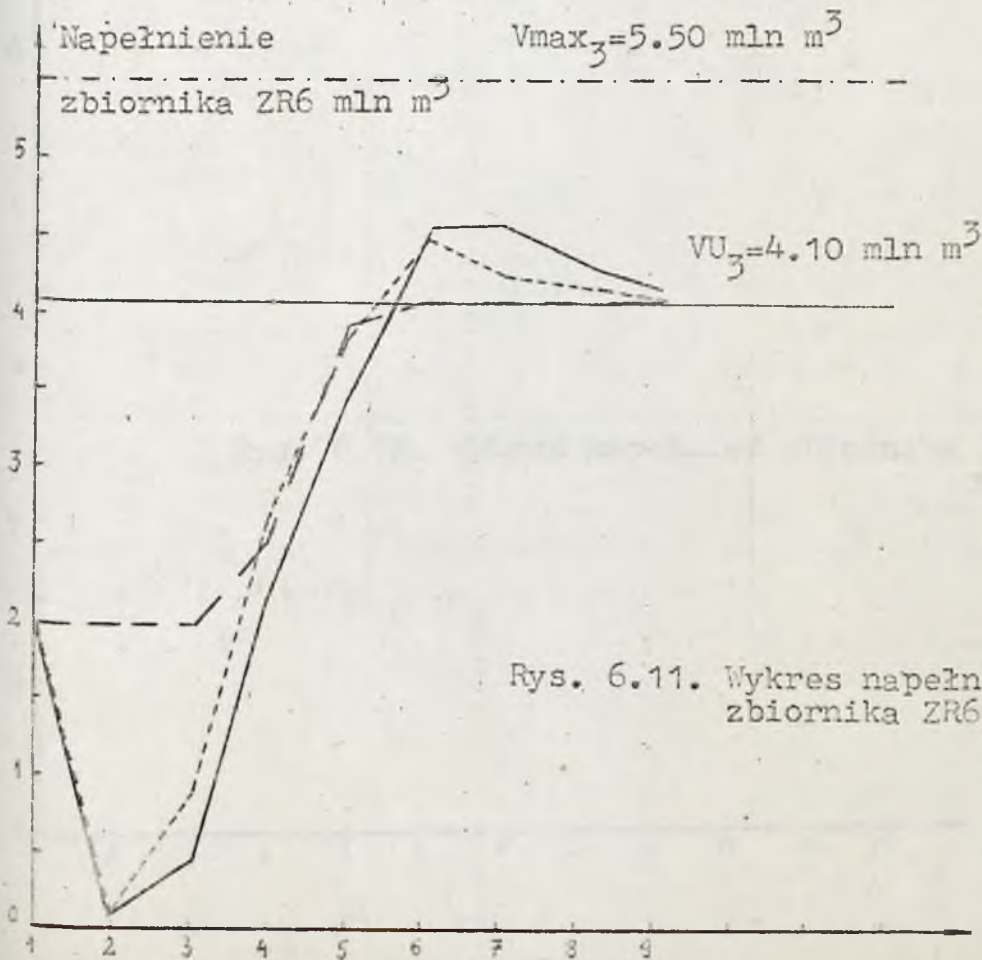
Rys. 6.8. Sterowanie pracą zbiorników retencyjnych. Metoda półsztywna.



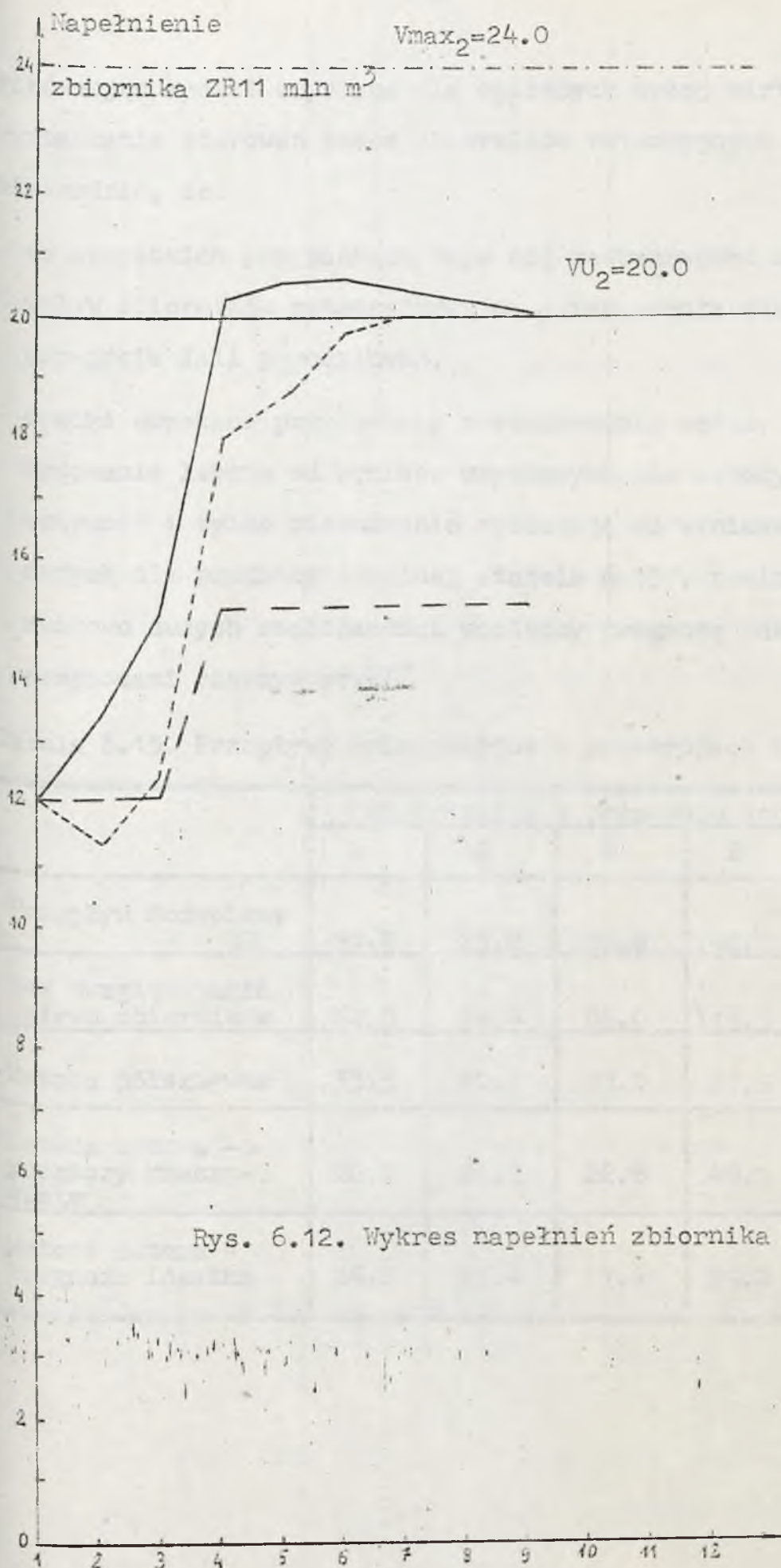
Rys. 6.9. Przebieg fali powodziowej w systemie. Metoda półsztywna.



Rys. 6.10. Wykres napełnień zbiornika ZR1.



Rys. 6.11. Wykres napełnień
zbiornika ZR6.



Rys. 6.12. Wykres napełnień zbiornika ZR11.

Porównując wyniki uzyskane dla opisanych wyżej wariantów wyznaczania sterowań pracą zbiorników retencyjnych można stwierdzić, że:

- we wszystkich przypadkach daje się zaobserwować korzystny wpływ zbiorników retencyjnych na ograniczenia skutków przejścia fali powodziowej,
- wyniki uzyskane przy pomocy prezentowanej metody są zdecydowanie lepsze od wyników uzyskanych dla metody półsztywnej i tylko nieznacznie odbiegają od wyników otrzymanych dla prognozy idealnej /tabela 6.15/, pomimo stosunkowo dużych rozbieżności pomiędzy prognozą idealną a prognozami rzeczywistymi.

Tabela 6.15. Przepływy kulminacyjne w przekrojach kontrolnych

| | Max przepływ w przekroju kontrolnym | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------|------|-------|------|
| | A | C | D | E | F |
| Przepływ dozwolony QD | 11.8 | 25.0 | 20.0 | 40.0 | 50.0 |
| Bez uwzględniania wpływu zbiorników | 62.0 | 64.4 | 66.0 | 116.5 | 74.0 |
| Metoda półsztywna | 53.3 | 40.1 | 30.0 | 61.9 | 61.7 |
| Metoda autora - prognozy rzeczywiste | 28.9 | 26.2 | 22.8 | 49.1 | 36.9 |
| Metoda autora - prognoza idealna | 24.8 | 25.4 | 7.4 | 29.2 | 38.8 |

7. WNIOSKI

W procesie wyznaczania bieżących sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych systemu wodnogospodarczego zachodzi konieczność uwzględniania zadań i warunków pracy systemu w dłuższym okresie czasu.

Uwzględnienie tego postulatu w klasycznych analizach optymalizacyjnych wymaga operowania, w modelu symulacyjnym, krokiem czasowym wynikającym z dynamiki "szybkich" elementów systemu /np. stacji pomp/ oraz horyzontem czasowym wyznaczonym przez pracę "wolnych" elementów systemu - zbiorników retencyjnych.

Rozwiązanie tak sformułowanego problemu związane jest z jednej strony z dużymi trudnościami obliczeniowymi, a z drugiej z praktyczną niemożliwością uzyskania prognoz wielkości przepływu rzecznej dla długich /np. kilkumiesięcznych/ okresów czasu w stosunkowo krótkich /np. dobowych/ przedziałach czasowych .

W niniejszej pracy zaproponowano metodykę wyznaczania bieżących sterowań pracą systemu, w oparciu o hierarchiczne struktury układu sterowania i wielokryterialny charakter analiz optymalizacyjnych, która umożliwia realizację tego zadania przy znacznie mniejszych nakładach obliczeniowych oraz wymaganiach dotyczących prognoz procesu zasilania systemu w wodę.

Przykładowe obliczenia wykonane dla systemu wodnogospodarczego, wzorowanego na systemie rzeki Kamiennej wykazały ogólną prawidłowość tego podejścia.

Na podstawie dostępnej literatury przedmiotu oraz własnych, kilkuletnich doświadczeń uzyskanych w trakcie realizacji niniejszej pracy, można sformułować kilka ogólnych wniosków dotyczących proponowanej metodyki:

- należy uznać za celowe, pojawiające się w wielu pracach dążenie do centralnego sterowania całymi systemami wodno-gospodarczymi. Realizacja tego postulatu wymaga podjęcia prac mających na celu rozwiązanie wielu problemów natury prawno-organizacyjnej takich jak: zakres kompetencji, ośrodków dyspozytorskich, systemy kontroli realizacji za-
leceń centrum dyspozytorskiego, itp.,
- zastosowanie, w niniejszej pracy, hierarchicznej struktury algorytmu decyzyjnego, stwarza możliwości dokonania dekompozycji, zarówno przestrzennej jak i czasowej, zadania wyznaczania sterowań pracą obiektów hydrotechnicznych i rozrzędem wody w systemie wodnogospodarczym. Prowadzi to z jednej strony do zmniejszenia nakładów obliczeniowych, a z drugiej stwarza realne możliwości wykorzystania prezentowanej metodyki dla potrzeb sterowania w rzeczywistych systemach wodnogospodarczych,
- jakość wyznaczanych sterowań w znacznym stopniu zależy od długości okresu objętego prognozą długoterminową /horyzontu czasowego w warstwie planowania retencji/ oraz od dokładności tej prognozy. Realizacja tych sprzecznych za-
leceń związana jest z jednej strony z doskonaleniem modeli prognostycznych, a z drugiej z uwzględnioną w prezentowa-
nym algorytmie możliwością ograniczania długości horyzontu

czasowego poprzez wprowadzanie napełnień docelowych zbiorników w zadaniu planowania retencji.

Wymaga to podjęcia badań związanych z opracowaniem metodyki wyznaczania tego typu napełnień dla systemów wielozbiornikowych,

- wykorzystanie w prezentowanej metodyce analiz optymalizacyjnych o charakterze wielokryterialnym, poprzez możliwość określania stopnia realizacji poszczególnych zadań systemu w jednostkach naturalnych, umożliwiło wyeliminowanie kłopotliwego, a często wręcz niewykonalnego przeliczania jednostek naturalnych na jednostki monetarne. Ponadto opracowana w ramach niniejszej pracy, konwersacyjna procedura wyznaczania preferowanego rozwiązania kompromisowego stwarza możliwości wykorzystania tej części wiedzy dyspozytora o systemie, której nie da się opisać w sposób formalny,
- z punktu widzenia możliwości praktycznych zastosowań prezentowanej metodyki, jednym z elementów o kluczowym znaczeniu jest forma i sposób wymiany informacji pomiędzy dyspozytorem i algorytmem decyzyjnym.

W opracowanym algorytmie, ze względu na dostępność urządzeń typu "wejście-wyjście" /monitor ekranowy, drukarka mozaikowa/ przekazywana informacja musiała mieć postać ciągów znaków alfanumerycznych /komunikaty słowne, tabele, ciągi liczb/,

- wyniki badań przedstawionych w niniejszej pracy zachęcają do dalszego rozwijania proponowanej metodyki wyznaczania bieżących sterowań pracą wielozbiornikowego systemu wodno-gospodarczego.

L I T A R A T U R A

wykorzystywana i cytowana w niniejszej pracy

1. Brdys M., Findeisen W., Frelek B., Michalska H., Tatjewski P., Woźniak A.: Opracowanie pilotowego modelu systemu wodnogospodarczego do celu wyboru decyzji przy sterowaniu dyspozytorskim. Raport PR-7 tematu 7.01.09.01., Warszawa, 1981.
2. Brdys M., Malinowski K., Nowosad K., Tatjewski P., Ulanicki B.: Opracowanie założeń ekonomicznych funkcjonowania regionalnego systemu wodnogospodarczego. Raport PR-7 tematu 7.01.01.01., Warszawa, 1977.
3. Cholewicka-Goździk K.: Rachunek ekonomiczny w programowaniu jakości. PWE, Warszawa, 1977.
4. Cohon J.L.: An Assessment of Multiobjective Solution Techniques for River Basin Planning Problems. Cambridge, Massachusetts, 1973.
5. Findeisen W.: Wielopoziomowe układy sterowania. PWN, Warszawa, 1974.
6. Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1977.
7. Filimowski J., Szota H.: Sposób określania parametrów funkcji kryterialnej rozrządu wody w systemie dla zakładu przetwórczego i stawów rybnych. Materiały Sympozjum "Modelowanie matematyczne systemów wodnogospodarczych", Warszawa 1974.

8. Freedman H.T., Hall W.A., Haines Y.Y.: Multiobjective Optimization in Water Resources Systems. ESPC, New York, 1975.
9. Hydroprojekt: Projekt kompleksowego rozwoju systemu wodnego rzeki Wisły. Raport końcowy, Warszawa, 1972.
10. Kaczmarek Z., Kindler J.: The Operations of Multiple Reservoir Systems. IIASA, Laxenburg, Austria, 1982.
11. Kartvelisvili N.A.: Regulirovanie recznego stoka. Leningrad, 1970.
12. Kindler J.: Optymalizacja planu dyspozytorskiego dla zespołu zbiorników w systemie wodnogospodarczym. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, 1974.
13. Konieczny R., Słota H.: Indeks jakości wody jako kryterium gospodarowania wodą w systemie. Materiały Sesji Naukowej "Kompleksowe wykorzystanie zasobów wody w systemie dorzecza Górnej Wisły", Kraków, 1979.
14. Krajewski K.: Modelowanie cyfrowe gospodarki zbiornikowej oparte na zasadach metod Monte Carlo. Politechnika Warszawska, 1967.
15. Kulikowski R.: Sterowanie w wielkich systemach. PWN, Warszawa, 1974.
16. Lewandowski A.: Analiza metod optymalizacji wielokryterialnej oraz określenie możliwości i zakresu ich stosowania dla projektowania i eksploatacji systemów wodnogospodarczych. Raport PR-7 tematu 7.01.06.06., Warszawa, 1976.

17. Łopatnikow L.: Mały leksykon ekonomiczno-matematyczny. PWE, Warszawa, 1975.
18. Maass A., Hufschmidt M.M., Dorfman P., Thomas H.A., Marglin S.A., Fair G.M.: Design of Water-Resource Systems, Harvard University Press, Cambridge, 1962.
19. Malinowski K., Tatjewski P.: Opracowanie założeń modelowania systemu wodnogospodarczego dla regionu przemysłowego. Raport PR-7 tematu 7.01.01.03., Warszawa, 1976.
20. Mańczak K.: Wieloetapowa optymalizacja statystyczna dwupoziomowego układu sterowania. Archiwum Mechaniki, Tom XIII, z.2, Warszawa, 1968.
21. Peschel M., Riedel C.: Polioptymalizacja - metody podejmowania decyzji kompromisowych w zagadnieniach inżyniersko-technicznych. PWN, Warszawa, 1979.
22. Roefs T.G., Bodin L.D.: Multireservoir Operation Studies Water Resources Research, 6/2, 1970.
23. Rogowski R., Tyszewski S., Zieliński P.: Analiza i adaptacja wybranych modeli procesów i obiektów przygotowująca podstawy symulacji komputerowej działania systemu wodnogospodarczego. Raport PR-7 tematu 7.01.05.03., Warszawa, 1982.
24. Rogowski R., Tyszewski S., Zieliński P.: Regionalne, perspektywiczne plany rozwoju gospodarki wodnej i ochrony wód - obszar obliczeniowy W5/2 /Kamienna i Opatówka/. Hydroprojekt, Warszawa, 1982.

25. Rogowski R., Tyszewski S.: Metoda sterowania przebiegiem fali powodziowej w systemie wodnogospodarczym. Materiały III Seminarium Instytutu Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, 1980.
26. Salewicz K., Terlikowski T.: Model symulacyjny sterowania rozdziałem zasobów w systemie wodnogospodarczym Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Raport PR-7 tematu 7.01.08.02., Warszawa, 1980.
27. Słota H., Madej P., Stochliński T., Heryan H.: Model adaptacyjnego sterowania rozrzędem wody w systemach wielozbiornikowych. Raport PR-7 tematu 7.01.06.05., Kraków, 1979.
28. Słota H.: Model matematyczny systemu rozrzędu zasobów wodnych. Materiały Sympozjum "Modelowanie matematyczne systemów wodnogospodarczych", Warszawa, 1974.
29. Strupczewski W., Zdanowski R.: Model matematyczny optymalnego sterowania odpływem ze zbiornika Rożnów w letnim sezonie powodziowym. Materiały Sympozjum "Modelowanie matematyczne systemów wodnogospodarczych", Warszawa, 1974.
30. Svanidze G.G.: Osnovy rasczeta regulirovania recznogo stoka metodom Monte Carlo. Tbilisi, 1964.
31. Symonowicz A.: Ekonomiczne aspekty gospodarowania zasobami wodnymi w systemach wodnogospodarczych. Wydawnictwa SGPiS, Warszawa, 1976.

32. Trott W.J., Yeh W.: Optimization of Multiple Reservoir System. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the ASCE, HY10, 1973.
33. Tyszewski S., Zieliński P.: Wyznaczanie planu dyspozytorskiego zbiornika retencyjnego oraz sterowań pracą systemu wodnogospodarczego metodami optymalizacji wielokryterialnej. Materiały Konferencji "Zastosowanie analizy systemowej w modelowaniu rozwoju regionalnego", Jabłonna, 1978.
34. Tyszewski S., Zieliński P.: Optymalizacja wielokryterialna w gospodarce wodnej - przegląd metod i ocena przydatności. Gospodarka Wodna, nr 1, 1978.
35. Tyszewski S., Zieliński P.: Metoda bieżącego wyznaczania planu dyspozytorskiego zbiornika retencyjnego w wielokryterialnym systemie sterowania. Raport PR-7 tematu 7.01.05.06., etap I,II,III, Warszawa, 1977-1979.
36. Wierzbicki A.: Methodological Guide to Multiobjective Optimization. Working Paper, WP-79-11, IIASA, Laxenburg, Austria, 1979.
37. Yeh W.: Optimization of Real-Time Hourly Operations of a Complex Multiple Purpose Reservoir System. California, 1978.

Z A Ł A C Z N I K 1

Przebieg procesu wyznaczania
preferowanego rozwiązania kompromisowego
zadania optymalizacji wielokryterialnej
/dla miesięcy czerwiec - lipiec - sierpień/

LIS

SOURCE UPDATE
LISTING

25. 05. 1963

STORNA

| | | |
|----|----|--|
| 1 | 1 | 3,0, |
| 2 | 2 | 21,23,5,33,6,1,0,30,0, |
| 3 | 3 | 0,01,0,01,10,0,10,0,0,1,1,5,0,1,0,1, |
| 4 | 4 | 0,18,0,18,0,73,0,37,0,52,0,31,0,30, |
| 5 | 5 | 0,18,0,18,1,13,0,42,0,34,0,32,0,30, |
| 6 | 6 | 0,15,0,10,0,92,0,35,0,40,0,23,0,30, |
| 7 | 7 | 4,23,4,10,20,0,2,10,7,00,15,0,4,0,4,0,4,0, |
| 8 | 8 | 0,13,0,40,0,70,0,36,0,43,0,47,1,44,1,65,1,61,2,17, |
| 9 | 9 | 0,01,10,0,0,01,10,0,0,01,10,0,0,01,10,0,0,01,10,0, |
| 10 | 10 | 0,01,10,0,0,01,10,0, |
| 11 | 11 | 0,0,8,0,8,0,8,0, |
| 12 | 12 | 0,30,0,03,0,75,0,75,0,70,0,30,0,20,0,10, |
| 13 | 13 | 0,07,0,02,0,02,0,11,0,10,0,05, |
| 14 | 14 | 0,11,0,03,0,12,0,34,0,32,0,30, |
| 15 | 15 | 0,33,0,25,0,18,0,39,0,30,0,18, |
| 16 | 16 | 0,30,0,14,0,14,0,34,0,32,0,34, |
| 17 | 17 | 0,03,0,09, |
| 18 | 18 | 1,55,7,09,0,02,20,0,1,30,4,00,2,57,4,00, |
| 19 | 19 | 0,30,20,0,0,02,20,0,0,51,20,0,0,01,20,0, |
| 20 | 20 | 0,04,20,0,0,15,4,00,0,03,20,0,0,36,4,00, |
| 21 | 21 | 0,01,20,0,0,77,4,00,0,40,20,0,0,71,4,00, |
| 22 | 22 | 0,01,20,0,0,01,20,0,0,02,20,0,0,02,20,0, |
| 23 | 23 | 0,01,20,0,1,31,4,00,4,05,4,00,0,01,20,0, |
| 24 | 24 | 20,0,20,0,20,0,20,0,20,0, |
| 25 | 25 | 0,07,0,01,0,01,0,11,0,10,0,03, |
| 26 | 26 | 0,11,0,03,0,12,0,02,0,02,0,44, |
| 27 | 27 | 0,33,0,15,0,18,0,30,0,30,0,18, |
| 28 | 28 | 0,44,0,14,0,14,0,04,0,07,0,54, |
| 29 | 29 | 0,03,0,09, |
| 30 | 30 | 0,35,4,00,0,02,20,0,0,37,4,00,0,54,4,00, |
| 31 | 31 | 0,00,20,0,0,02,20,0,0,51,20,0,0,01,20,0, |
| 32 | 32 | 0,04,20,0,0,54,4,00,0,37,20,0,0,17,4,00, |
| 33 | 33 | 0,01,20,0,0,13,4,00,0,40,20,0,0,02,4,00, |
| 34 | 34 | 0,01,20,0,0,01,20,0,0,02,20,0,0,02,20,0, |
| 35 | 35 | 0,01,20,0,0,55,4,00,1,37,4,00,0,01,20,0, |
| 36 | 36 | 20,0,20,0,20,0,20,0,20,0, |
| 37 | 37 | 0,04,0,01,0,01,0,05,0,05,0,03, |
| 38 | 38 | 0,11,0,03,0,03,0,07,0,03,0,10, |
| 39 | 39 | 0,33,0,25,0,07,0,15,0,15,0,07, |
| 40 | 40 | 0,10,0,07,0,07,0,30,0,01,0,54, |
| 41 | 41 | 0,03,0,09, |
| 42 | 42 | 0,17,4,00,0,02,20,0,0,22,4,00,0,27,4,00, |
| 43 | 43 | 0,30,20,0,0,02,20,0,0,51,20,0,0,01,20,0, |
| 44 | 44 | 0,04,20,0,0,27,4,00,0,03,20,0,0,13,4,00, |
| 45 | 45 | 0,01,20,0,0,05,4,00,0,40,20,0,0,20,4,00, |
| 46 | 46 | 0,01,20,0,0,01,20,0,0,02,20,0,0,02,20,0, |
| 47 | 47 | 0,01,20,0,0,50,4,00,1,35,4,00,0,01,20,0, |
| 48 | 48 | 20,0,20,0,20,0,20,0,20,0, |
| 49 | 49 | 1,97,5,13,0,36,9,30,0,29,4,12, |
| 50 | 50 | 0,22,9,33,0,13,29,53,0,15,4,20, |
| 51 | 51 | 0,32,8,50,0,18,29,54,0,15,4,27, |

EXI

FJBB

PROSZE O PODANIE WSPÓLRZĘDNYCH PUNKTU DOCELOWEGO

WSPÓLRZĘDNE PUNKTU DOCELOWEGO

WJD(1) = 0.000
WJD(2) = 0.000
WJD(3) = 0.000
WJD(4) = 0.000
WJD(5) = 0.000
WJD(6) = 0.000
WJD(7) = 0.000
WJD(8) = 0.000

PROSZE CZENAC NA PROPOZYCJE ROZWIĄZANIA

PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA KOMPROMISOWEGO

WARTOŚCI ZMIENNYCH DECYZYJNYCH

X(1) = 0.180
X(2) = 0.180
X(3) = 0.930
X(4) = 0.541
X(5) = 9.199
X(6) = 0.430
X(7) = 0.929
X(8) = 0.000
X(9) = 0.160
X(10) = 1.180
X(11) = 0.861
X(12) = 3.331
X(13) = 0.627
X(14) = 0.816
X(15) = 0.000
X(16) = 0.100
X(17) = 0.920
X(18) = 1.298
X(19) = 3.339
X(20) = 0.628
X(21) = 0.836

WARTOŚCI WSKAZNIKÓW JAKOŚCI

WJK(1) = 0.330
WJK(2) = 0.000
WJK(3) = 0.000
WJK(4) = 0.000
WJK(5) = 0.589
WJK(6) = 0.000
WJK(7) = 0.000
WJK(8) = 0.000

CZY ZYCZY PAN SOBIE WYDRUK INFORMACJI O SYTUACJI W PODSYSTEMACH

TAK

* ZBIORNIK ZR 1 *

VZ = 4.25 MLN M**3 VP = 2.10 MLN M**3 BZ = 4.00 MG/L

* I * Q * BG * DOPLYW * VN * BE *

* 1 * 1.95 * 4.00 * 0.72 * 4.25 * 4.00 *
* 2 * 0.35 * 4.00 * 0.86 * 2.92 * 4.00 *
* 3 * 0.17 * 4.00 * 1.30 * 0.00 * 4.00 *

* ZBIORNIK ZR 3 *

VZ = 4.10 MLN M**3 VP = 2.00 MLN M**3 BZ = 4.00 MG/L

* I * Q * BG * DOPLYW * VN * BE *

* 1 * 10.17 * 5.02 * 9.38 * 4.10 * 4.95 *
* 2 * 3.49 * 8.26 * 3.47 * 4.10 * 5.00 *
* 3 * 3.44 * 8.33 * 3.44 * 4.10 * 5.00 *

* ZBIORNIK ZR 11 *

VZ = 20.00 MLN M**3 VP = 15.00 MLN M**3 BZ = 4.00 MG/L

* I * Q * BG * DOPLYW * VN * BE *

* 1 * 0.86 * 9.35 * 1.46 * 15.70 * 4.69 *
* 2 * 0.15 * 29.83 * 1.81 * 9.49 * 5.00 *
* 3 * 0.18 * 29.84 * 1.55 * 5.94 * 5.00 *

 * F00SYSTEM NR 1 *

| * I * | PGN13 * | Y1 * | PPA12 * | Y2 * | PPS11 * | Y3 * | PHG3 * | Y4 * | PRE203 * | Y5 * | PPG11 * | Y6 * |
|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------|--------|
| * 1 * | 0.03 * | 0.03 * | 0.11 * | 0.11 * | 0.03 * | 0.03 * | 0.07 * | 0.07 * | 0.01 * | 0.01 * | 0.23 * | 0.23 * |
| * 2 * | 0.03 * | 0.03 * | 0.11 * | 0.00 * | 0.03 * | 0.03 * | 0.07 * | 0.00 * | 0.01 * | 0.01 * | 0.23 * | 0.23 * |
| * 3 * | 0.03 * | 0.03 * | 0.11 * | 0.00 * | 0.03 * | 0.03 * | 0.09 * | 0.00 * | 0.01 * | 0.01 * | 0.12 * | 0.12 * |

| * I * | GN1 * | GN2 * | GN3 * | GN4 * | GN4 * | B11 * | B12 * | N13 * | B14 * | B15 * | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| * 1 * | 0.13 * | 0.54 * | 0.46 * | 4.50 * | 0.70 * | 2.46 * | 4.75 * | 1.78 * | 5.00 * | 4.14 * | 5.00 * |
| * 2 * | 0.13 * | 0.86 * | 0.46 * | 1.43 * | 0.70 * | 2.37 * | 5.09 * | 4.04 * | 7.99 * | 6.24 * | 8.00 * |
| * 3 * | 0.13 * | 1.30 * | 0.46 * | 1.82 * | 0.70 * | 2.59 * | 4.95 * | 3.93 * | 7.75 * | 6.15 * | 8.35 * |

| * I * | PS1 * | X1 * | ZS1 * | B51 * |
|-------|--------|--------|---------|--------|
| * 1 * | 0.18 * | 0.18 * | 10.19 * | 5.02 * |
| * 2 * | 0.18 * | 0.00 * | 3.49 * | 8.26 * |
| * 3 * | 0.15 * | 0.00 * | 3.44 * | 8.33 * |

 * F00SYSTEM NR 2 *

| * I * | FPS12 * | Y1 * | PKOL2 * | Y2 * | GN5 * | GN5 * | PS7 * | Y2 * | ZS3 * | B52 * |
|-------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| * 1 * | 0.02 * | 0.02 * | 0.15 * | 0.15 * | 0.06 * | 9.20 * | 0.19 * | 0.18 * | 10.00 * | 3.98 * |
| * 2 * | 0.02 * | 0.02 * | 0.14 * | 0.14 * | 0.06 * | 3.33 * | 0.16 * | 0.16 * | 3.53 * | 4.11 * |
| * 3 * | 0.02 * | 0.02 * | 0.03 * | 0.03 * | 0.06 * | 3.34 * | 0.10 * | 0.10 * | 3.52 * | 4.11 * |

PODSYSTEM NR 3 *

| | PS14 * | Y1 * | PPA25 * | Y2 * | PRG10 * | Y3 * | GN7 * | GN7 * | GN8 * | GN9 * |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 * | 0.63 * | 0.63 * | 0.25 * | 0.25 * | 0.30 * | 0.30 * | 0.43 * | 0.43 * | 0.49 * | 0.96 * |
| 2 * | 0.63 * | 0.63 * | 0.25 * | 0.25 * | 0.44 * | 0.44 * | 0.43 * | 0.74 * | 0.49 * | 0.63 * |
| 3 * | 0.63 * | 0.63 * | 0.25 * | 0.25 * | 0.10 * | 0.10 * | 0.43 * | 0.82 * | 0.49 * | 0.63 * |

| | PS3 * | X3 * | ZS3 * | BS3 * | ZS31 * | BS31 * | ZS23 * | BS23 * |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 1 * | 0.93 * | 0.93 * | 1.16 * | 6.79 * | 0.50 * | 20.00 * | 11.24 * | 4.27 * |
| 2 * | 1.18 * | 1.18 * | 0.83 * | 7.99 * | 0.50 * | 20.00 * | 4.36 * | 4.85 * |
| 3 * | 0.92 * | 0.92 * | 0.83 * | 7.99 * | 0.50 * | 20.00 * | 4.35 * | 4.85 * |

PODSYSTEM NR 4 *

| | PPA26 * | Y1 * | PPA27 * | Y2 * | PPA29 * | Y3 * | PRG7 * | Y4 * | PRG4 * | Y5 * | PRGL41 * | Y6 * |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
| 1 * | 0.54 * | 0.54 * | 0.08 * | 0.08 * | 0.09 * | 0.09 * | 0.18 * | 0.18 * | 0.30 * | 0.30 * | 0.48 * | 0.48 * |
| 2 * | 0.54 * | 0.54 * | 0.08 * | 0.08 * | 0.09 * | 0.09 * | 0.18 * | 0.18 * | 0.30 * | 0.30 * | 0.48 * | 0.48 * |
| 3 * | 0.54 * | 0.54 * | 0.08 * | 0.08 * | 0.09 * | 0.09 * | 0.09 * | 0.09 * | 0.15 * | 0.15 * | 0.22 * | 0.22 * |

| | PS4 * | Y1 * | PS4 * | Y2 * | PS4 * | Y3 * | PS4 * | Y4 * | PS4 * | Y5 * | PS4 * | Y6 * |
|-----|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|-------|------|
| 1 * | 0.64 * | 0.64 * | 1.44 * | 10.44 * | 1.65 * | 11.84 * | 1.81 * | 13.11 * | 2.19 * | 17.13 * | | |
| 2 * | 0.78 * | 0.78 * | 1.44 * | 3.56 * | 1.65 * | 4.46 * | 1.81 * | 4.84 * | 2.19 * | 5.62 * | | |
| 3 * | 0.28 * | 0.28 * | 1.44 * | 3.64 * | 1.65 * | 4.67 * | 1.81 * | 5.25 * | 2.19 * | 6.21 * | | |

| | PS4 * | X194 * | ZS4 * | BS4 * |
|-----|--------|--------|---------|--------|
| 1 * | 0.80 * | 0.80 * | 17.13 * | 3.45 * |
| 2 * | 0.80 * | 0.80 * | 5.62 * | 4.64 * |
| 3 * | 0.71 * | 0.71 * | 6.21 * | 4.67 * |

DZY PROPONOWANE ROZWIĄZANIE NIEJST JADOMALAJACE

PROPONOWANE ROZWIĄZANIE NIE ZOSTAŁO PRZYJĘTE PROSZE O PODANIE NOWYCH WSPÓLZĘDNYCH PUNKTU DOCELOWEGO

WSPÓLRZĘDNE PUNKTU DOCELOWEGO

WJD(1) = 0.100
WJD(2) = 0.000
WJD(3) = 0.000
WJD(4) = 0.000
WJD(5) = 0.900
WJD(6) = 0.000
WJD(7) = 0.000
WJD(8) = 0.000

PROSZE CZYTAĆ NA PROPOZYCJI ROZWIĄZANIA

PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA KOMPROMISOWEGO

WARTOŚCI ZMIENNYCH DECYZYJNYCH

X(1) = 0.180
X(2) = 0.130
X(3) = 0.750
X(4) = 0.541
X(5) = 1.179
X(6) = 0.430
X(7) = 0.929
X(8) = 0.100
X(9) = 0.160
X(10) = 1.180
X(11) = 0.748
X(12) = 3.265
X(13) = 0.627
X(14) = 0.813
X(15) = 0.070
X(16) = 0.100
X(17) = 0.920
X(18) = 1.243
X(19) = 3.522
X(20) = 0.628
X(21) = 0.838

WARTOŚCI WSKAZNIKÓW JAKOŚCI

WJ(1) = 0.160
WJ(2) = 0.000
WJ(3) = 0.000
WJ(4) = 0.000
WJ(5) = 0.948
WJ(6) = 0.000
WJ(7) = 0.000
WJ(8) = 0.000

CZY ŻYCZY PAN SOBIE WYDRUK INFORMACJI O SYTUACJI W PODSYSTEMACH

TAK

 * ZBIORNIK ZR 1 *

VZ = 4.25 MLN m³ VP = 2.10 MLN m³ BZ = 4.00 MG/L

 * 1 * Q * BQ * ODPLYW * VK * BK *

 * 1 * 1.55 * 4.00 * 0.72 * 4.25 * 4.00 *
 * 2 * 0.35 * 4.00 * 0.85 * 2.96 * 4.00 *
 * 3 * 0.17 * 4.00 * 1.31 * 0.00 * 4.00 *

 * ZBIORNIK ZR 6 *

VZ = 4.10 MLN m³ VP = 2.00 MLN m³ BZ = 4.00 MG/L

 * 1 * Q * BQ * ODPLYW * VK * BK *

 * 1 * 10.19 * 5.02 * 9.38 * 4.10 * 4.95 *
 * 2 * 3.43 * 8.49 * 3.43 * 4.10 * 5.00 *
 * 3 * 3.42 * 8.46 * 3.42 * 4.10 * 5.00 *

 * ZBIORNIK ZR 11 *

VZ = 20.00 MLN m³ VP = 15.00 MLN m³ BZ = 4.00 MG/L

 * 1 * Q * BQ * ODPLYW * VK * BK *

 * 1 * 0.86 * 9.35 * 1.36 * 15.70 * 4.69 *
 * 2 * 0.18 * 29.53 * 1.81 * 9.49 * 5.00 *
 * 3 * 0.18 * 29.54 * 1.55 * 5.94 * 5.00 *

* PODSYSTEM NR 1 *

```
*****  
* 1 * PGN10 * Y1 * FP610 * Y2 * PPS11 * Y3 * PR63 * Y4 * PPR04 * Y5 * PPR11 * Y6 *  
*****  
* 1 * 0.03 * 0.03 * 0.11 * 0.11 * 0.02 * 0.03 * 0.07 * 0.07 * 0.02 * 0.01 * 0.03 * 0.03 *  
* 2 * 0.03 * 0.03 * 0.11 * 0.10 * 0.03 * 0.03 * 0.07 * 0.00 * 0.01 * 0.01 * 0.02 * 0.02 *  
* 3 * 0.03 * 0.03 * 0.11 * 0.07 * 0.03 * 0.03 * 0.04 * 0.00 * 0.01 * 0.01 * 0.02 * 0.02 *  
*****
```

```
*****  
* 1 * GN1 * GRN1 * GRN * GRN5 * GR4 * GRN4 * R11 * R12 * R13 * R14 * R15 *  
*****  
* 1 * 0.13 * 0.54 * 0.48 * 4.50 * 0.70 * 7.46 * 4.75 * 3.70 * 5.22 * 4.14 * 5.00 *  
* 2 * 0.13 * 0.75 * 0.48 * 1.57 * 0.70 * 2.31 * 3.71 * 4.00 * 0.30 * 1.02 * 0.49 *  
* 3 * 0.13 * 1.24 * 0.48 * 1.80 * 0.70 * 2.97 * 5.28 * 4.18 * 7.94 * 0.31 * 0.48 *  
*****
```

```
*****  
* 1 * P51 * X1 * 251 * 251 *  
*****  
* 1 * 0.18 * 0.18 * 10.17 * 0.00 *  
* 2 * 0.18 * 0.10 * 3.43 * 3.47 *  
* 3 * 0.15 * 0.07 * 3.43 * 0.48 *  
*****
```

* PODSYSTEM NR 2 *

```
*****  
* 1 * PPS12 * Y1 * PPR03 * Y2 * GR5 * GRN5 * P52 * X2 * 252 * 252 *  
*****  
* 1 * 0.02 * 0.02 * 0.16 * 0.16 * 0.95 * 7.20 * 0.16 * 0.10 * 10.00 * 3.98 *  
* 2 * 0.02 * 0.02 * 0.14 * 0.14 * 0.80 * 3.20 * 0.16 * 0.10 * 3.47 * 0.11 *  
* 3 * 0.02 * 0.02 * 0.08 * 0.08 * 0.88 * 3.34 * 0.10 * 0.10 * 3.50 * 4.11 *  
*****
```

 * PODSYSTEM NR 3 *

 * I * POK14 * 11 * PPA25 * Y2 * PR010 * Y3 * GN7 * QNR7 * QNR8 * QNR9 *

 * 1 * 0.63 * 0.63 * 0.25 * 0.25 * 0.30 * 0.30 * 0.43 * 0.43 * 0.47 * 0.75 *
 * 2 * 0.63 * 0.63 * 0.25 * 0.25 * 0.44 * 0.44 * 0.43 * 0.74 * 0.49 * 0.63 *
 * 3 * 0.63 * 0.63 * 0.25 * 0.25 * 0.10 * 0.10 * 0.43 * 0.82 * 0.49 * 0.63 *

 * I * P83 * X3 * Z53 * B53 * Z531 * B531 * Z532 * B532 *

 * 1 * 0.93 * 0.93 * 1.16 * 3.73 * 0.50 * 20.00 * 11.74 * 4.27 *
 * 2 * 1.19 * 1.18 * 0.83 * 7.99 * 0.50 * 20.00 * 4.29 * 4.88 *
 * 3 * 0.92 * 0.92 * 0.83 * 7.08 * 0.50 * 20.00 * 4.33 * 4.85 *

 * PODSYSTEM NR 4 *

 * I * PPA26 * Y1 * PPA27 * Y2 * PPA28 * Y3 * PR07 * Y4 * PR04 * Y5 * PPA41 * Y6 *

 * 1 * 0.54 * 0.54 * 0.05 * 0.05 * 0.09 * 0.09 * 0.18 * 0.18 * 0.20 * 0.30 * 0.32 * 0.40 *
 * 2 * 0.54 * 0.54 * 0.05 * 0.05 * 0.09 * 0.09 * 0.18 * 0.18 * 0.20 * 0.30 * 0.32 * 0.40 *
 * 3 * 0.54 * 0.54 * 0.05 * 0.05 * 0.09 * 0.09 * 0.18 * 0.18 * 0.20 * 0.30 * 0.32 * 0.40 *

 * I * PR042 * Y7 * GN7 * QNR9 * QNR10 * QNR11 * QNR14 * QNR15 * QNR16 *

 * 1 * 0.64 * 0.64 * 1.44 * 10.44 * 1.65 * 11.84 * 1.81 * 13.11 * 2.19 * 17.10 *
 * 2 * 0.78 * 0.78 * 1.44 * 3.49 * 1.65 * 7.49 * 1.81 * 4.77 * 2.19 * 5.55 *
 * 3 * 0.98 * 0.98 * 1.44 * 3.52 * 1.65 * 4.88 * 1.81 * 5.24 * 2.19 * 6.20 *

 * I * P84 * X154 * Z54 * B84 *

 * 1 * 0.80 * 0.80 * 17.12 * 3.45 *
 * 2 * 0.80 * 0.80 * 5.55 * 4.66 *
 * 3 * 0.71 * 0.71 * 6.20 * 4.88 *

CZY PROPONOWANE ROZWIĄZANIE JEST ZADOWNIAJĄCE

POIEWAZ PROPONOWANE ROZWIĄZANIE NIE ZOSTAŁO PRZYJĘTE PROSZE O PODANIE NOWYCH USPÓLIZONNYCH FILTRÓW DOCELLOWYCH

WSPOLRZEDNE PUNKTU DOCELOWEGO

WJD(1) = 0.000
WJD(2) = 0.000
WJD(3) = 0.000
WJD(4) = 0.000
WJD(5) = 1.500
WJD(6) = 0.000
WJD(7) = 0.000
WJD(8) = 0.000

PROSZE CZECAC NA PROPOZYCJE ROZWIĄZANIA

PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA KOMPROMISOWEGO

WARTOŚCI ZMIENNYCH DECYZYJNYCH

X(1) = 0.200
X(2) = 0.180
X(3) = 0.700
X(4) = 0.511
X(5) = 9.194
X(6) = 0.430
X(7) = 0.929
X(8) = 0.180
X(9) = 0.160
X(10) = 1.180
X(11) = 0.664
X(12) = 3.189
X(13) = 0.627
X(14) = 0.810
X(15) = 0.150
X(16) = 0.100
X(17) = 0.920
X(18) = 1.165
X(19) = 3.260
X(20) = 0.628
X(21) = 0.833

WARTOŚCI WSKAZNIKÓW JAKOŚCI

WJ(1) = 0.000
WJ(2) = 0.000
WJ(3) = 0.000
WJ(4) = 0.000
WJ(5) = 1.242
WJ(6) = 0.000
WJ(7) = 0.000
WJ(8) = 0.000

CZY ZYCZY PAN SOBIE WYDRUK INFORMACJI O SYTUACJI W PODSYSTEMACH

TAK

 * ZBIORNIK ZR 1 *

VZ = 4.25 MLN H**3 VP = 2.10 MLN H**3 PZ = 4.00 M6/L

 * I * Q * EQ * ODPLYW * VK * BK *

 * 1 * 1.55 * 4.00 * 0.72 * 4.25 * 4.00 *
 * 2 * 0.35 * 4.00 * 0.84 * 2.97 * 4.00 *
 * 3 * 0.17 * 4.00 * 1.32 * 0.00 * 4.00 *

 * ZBIORNIK ZR 4 *

VZ = 4.10 MLN H**3 VP = 2.00 MLN H**3 PZ = 4.00 M6/L

 * I * Q * EQ * ODPLYW * VK * BK *

 * 1 * 10.19 * 5.02 * 9.35 * 4.10 * 4.95 *
 * 2 * 3.35 * 0.83 * 3.35 * 4.10 * 5.00 *
 * 3 * 3.35 * 8.61 * 3.36 * 4.10 * 5.00 *

 * ZBIORNIK ZR 11 *

VZ = 20.00 MLN H**3 VP = 15.00 MLN H**3 PZ = 4.00 M6/L

 * I * Q * EQ * ODPLYW * VK * BK *

 * 1 * 0.86 * 9.35 * 1.36 * 13.70 * 4.87 *
 * 2 * 0.16 * 29.53 * 1.81 * 9.49 * 5.00 *
 * 3 * 0.15 * 27.54 * 1.55 * 5.94 * 5.00 *

* PDBSYSTEM NR 1 *

* I * PGN13 * Y1 * FFA16 * Y2 * FFS11 * Y3 * PRG5 * Y4 * PRF03 * Y5 * PRGL1 * Y6 *

* 1 * 0.03 * 0.03 * 0.11 * 0.11 * 0.03 * 0.03 * 0.07 * 0.07 * 0.07 * 0.02 * 0.23 * 0.23 *
* 2 * 0.03 * 0.03 * 0.11 * 0.11 * 0.03 * 0.03 * 0.07 * 0.07 * 0.01 * 0.01 * 0.22 * 0.22 *
* 3 * 0.03 * 0.03 * 0.11 * 0.11 * 0.03 * 0.03 * 0.04 * 0.04 * 0.01 * 0.01 * 0.17 * 0.17 *

* I * QN1 * QN1 * QN3 * QN3 * QN4 * QN4 * P11 * P12 * P13 * P14 * P15 *

* 1 * 0.13 * 0.54 * 0.46 * 4.50 * 0.70 * 7.45 * 4.75 * 7.70 * 5.02 * 4.14 * 5.02 *
* 2 * 0.13 * 0.66 * 0.46 * 1.79 * 0.70 * 2.23 * 5.82 * 4.66 * 8.53 * 6.78 * 8.63 *
* 3 * 0.13 * 1.17 * 0.44 * 1.74 * 0.70 * 2.54 * 5.48 * 4.36 * 8.14 * 6.46 * 8.61 *

* I * PS1 * X1 * ZS1 * WS1 *

* 1 * 0.18 * 0.18 * 10.19 * 5.02 *
* 2 * 0.18 * 0.18 * 3.35 * 8.53 *
* 3 * 0.15 * 0.15 * 3.36 * 8.41 *

* PDBSYSTEM NR 2 *

* I * FFS12 * Y1 * PRGL2 * Y2 * QN5 * QN5 * P92 * X2 * ZS2 * WS2 *

* 1 * 0.02 * 0.02 * 0.16 * 0.16 * 0.84 * 9.20 * 0.18 * 0.18 * 10.08 * 3.98 *
* 2 * 0.02 * 0.02 * 0.14 * 0.14 * 0.84 * 3.19 * 0.16 * 0.16 * 3.39 * 4.11 *
* 3 * 0.02 * 0.02 * 0.08 * 0.08 * 0.86 * 3.26 * 0.10 * 0.10 * 3.44 * 4.11 *

 * PODSYSTEM NR 3 *

 * I * PR014 * Y1 * PR015 * Y2 * PR010 * Y3 * 0017 * 0007 * 0005 * 0000 *
 * 1 * 0.63 * 0.63 * 0.25 * 0.25 * 0.30 * 0.30 * 0.43 * 0.43 * 0.49 * 0.49 *
 * 2 * 0.63 * 0.63 * 0.25 * 0.25 * 0.44 * 0.44 * 0.43 * 0.74 * 0.49 * 0.43 *
 * 3 * 0.63 * 0.63 * 0.25 * 0.25 * 0.10 * 0.10 * 0.43 * 0.82 * 0.49 * 0.63 *

 * I * P55 * X5 * 701 * 102 * 7031 * 0001 * 7003 * 0003 *
 * 1 * 0.93 * 0.93 * 1.16 * 4.79 * 0.50 * 20.00 * 11.24 * 4.27 *
 * 2 * 1.18 * 1.18 * 0.83 * 7.70 * 0.50 * 20.00 * 4.27 * 4.84 *
 * 3 * 0.92 * 0.92 * 0.83 * 7.70 * 0.50 * 20.00 * 4.27 * 4.86 *

 * PODSYSTEM NR 4 *

 * I * PR026 * Y1 * PR027 * Y2 * PR020 * Y3 * PR07 * Y4 * PR04 * Y5 * PR041 * Y6 *
 * 1 * 0.54 * 0.54 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.18 * 0.18 * 0.30 * 0.30 * 0.48 * 0.48 *
 * 2 * 0.54 * 0.54 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.18 * 0.18 * 0.30 * 0.30 * 0.48 * 0.48 *
 * 3 * 0.54 * 0.54 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.09 * 0.15 * 0.15 * 0.22 * 0.22 *

 * I * PR042 * Y7 * 0009 * 0007 * 0010 * 0010 * 0011 * 0011 * 0013 * 0014 *
 * 1 * 0.64 * 0.64 * 1.44 * 10.44 * 1.25 * 11.25 * 1.01 * 13.11 * 2.19 * 17.13 *
 * 2 * 0.78 * 0.78 * 1.44 * 3.47 * 1.44 * 4.57 * 1.51 * 4.69 * 2.19 * 5.47 *
 * 3 * 0.25 * 0.20 * 1.44 * 3.36 * 1.44 * 4.57 * 1.51 * 5.19 * 2.19 * 6.14 *

 * I * PR4 * X104 * 704 * 804 *
 * 1 * 0.80 * 0.80 * 17.13 * 5.45 *
 * 2 * 0.80 * 0.80 * 5.47 * 4.69 *
 * 3 * 0.71 * 0.71 * 6.14 * 4.70 *



CZY PROPONOWANE ROZWIĄZANIE JEST ZADWALAJĄCE

ROZWIĄZANIE ZOSTAŁO PRZYJĘTE

SN01 END OF COMPUTE



**Wypożyczalnia
dla Pracowników**