

MAREK MAKOWSKI

## O MODELOWANIU ROZWOJU SYSTEMU WODNEGO W REGIONIE ROLNICZYM

### UWAGI WSTĘPNE

Przy podejmowaniu decyzji dotyczących gospodarki wodnej należy uwzględnić całość rozwoju regionu, traktowanego jako system wodno-gospodarczy. Kompleksowe planowanie rozwoju regionu wymaga prowadzenia prac w szerokim i zróżnicowanym zakresie. Propozycja takich prac została sformułowana na przykład w pracy Albegova i Kulikowskiego<sup>1</sup>. Częścią tych badań są prace nad modelowaniem rozwoju systemu wodnego w regionie rolniczym w warunkach deficytu wody. Będą one wykorzystane przy opracowaniu i wdrożeniu na obszarze zlewni górnej Noteci (ZGN) pilotowego systemu wodno-gospodarczego w ramach Rządowego Programu Badawczo-Rozwojowego PR-7.

Wynikiem szczegółowej analizy wielu różnych procesów (np. intensyfikacji i zmiany struktury rolnictwa, rozwoju demograficznego, urbanizacji, rozwoju przemysłu i infrastruktury) będzie duża liczba różnych informacji. Powstanie więc problem jak najlepszego ich wykorzystania. Jedną z możliwości jest zastosowanie aparatu analizy systemowej, dziedziny, która zajmuje się badaniem uniwersalnych metod modelowania, optymalizacji i sterowania (planowania) złożonymi procesami.

Problem można sprowadzić do zadania zbudowania skomputeryzowanego modelu kompleksowego rozwoju regionu. Model będzie miał charakter normatywny, tzn. będzie umożliwiał wyznaczenie wartości zmiennych decyzyjnych, których zastosowanie zapewni optymalny — w sensie przyjętego kryterium — rozwój. Model taki umożliwi także ocenę skutków różnych wariantów rozwoju do różnych założeń (różnych parametrów i postaci funkcji kryterium, wartości zmiennych egzogenicznych, ograniczeń, warunków początkowych itp.).

Ponieważ praktycznie niemożliwe jest zbudowanie jednego modelu, który byłby wystarczająco dokładny i jednocześnie pomocny przy ra-

<sup>1</sup> M. Albegov, R. Kulikowski (red.), *Noteć Regional Development. Proceedings of Task Force Meeting I on Noteć Regional Development*, Laxenburg, Austria, August 1978, IIASA, RM-78-40.

cjonalnym planowaniu rozwoju regionu, proponuje się zbudowanie systemu modeli, składającego się z kilku współpracujących ze sobą modeli. Przez współpracę rozumiemy wyznaczanie wartości wybranych wejść do danego modelu (zmiennych egzogenicznych) na podstawie wyjść z innych modeli.

System modeli będzie się składał ze stosunkowo prostego „modelu-jądra”, który będzie współpracować z modelami wybranych sfer działalności, na przykład modelami rolnictwa, przemysłu, migracji, systemu wodnego. Propozycje takich modeli są przedstawione choćby w pracach Albegova i Kulikowskiego<sup>2</sup> oraz Kulikowskiego i Makowskiego<sup>3</sup>. Poszczególne modele mogą być budowane i testowane niezależnie, mogą też mieć wymaganą dokładność (w sensie uwzględniania wielu istotnych zjawisk charakterystycznych dla danej sfery, co jest praktycznie niemożliwe w „modelu-jądrze”), mogą wreszcie być używane do innych bardziej szczegółowych analiz wybranych sfer działalności.

W artykule omówiono następujące zagadnienia związane z modelem rozwoju systemu wodnego (oznaczonego dalej przez MRW): przeznaczenie modelu, podstawowe założenia, kryterium jakości, zmienne decyzyjne, struktura modelu, możliwości jego wykorzystania.

#### PRZEZNACZENIE MODELU

Model Rozwoju Systemu Wodnego (MRW) będzie mógł być wykorzystywany:

1) jako jeden z systemu modeli współpracujących z modelem-jądrem przy planowaniu społeczno-gospodarczego rozwoju regionu;

2) do prac planistycznych i projektowych dotyczących rozwoju systemu wodnego w regionie rolniczym, m. in. w studium generalnym rozwoju systemu wodnego w ZGN opracowywanym przez CBSiPWM „Bipramel”.

Przez rozwój systemu wodnego w regionie rolniczym rozumiemy:

1) Przestrzenną alokację dyspozycyjnych zasobów wodnych w regionie i ich wykorzystanie do intensyfikacji rolnictwa.

2) Kształtowanie zasobów wodnych, tzn. wyznaczanie wielkości i lokalizacji zbiorników oraz wielkości przerzutów wody, a także sekwencji inwestycji. Kształtowanie zasobów ma na celu zarówno zwiększanie zasobów dyspozycyjnych jak też zmianę dyspozycyjności wody zarówno w czasie, jak i przestrzeni.

Kryteria rozwoju systemu wodnego zostaną omówione w punkcie 4.

<sup>2</sup> M. Albegov R. Kulikowski (red.), *Noteć Regional Development. Proceedings of Task Force Meeting II on Noteć Regional Development* (w druku).

<sup>3</sup> R. Kulikowski, M. Makowska (red.), *Zastosowanie analizy systemowej w modelowaniu rozwoju regionalnego. Materiały konferencji. Ossolineum, (w druku).*

MRW będzie składać się ze zbioru programów i podprogramów na emc, Wszystkie segmenty będą napisane w języku Fortran i uruchomione na szybkiej maszynie cyfrowej CDC 6400 Cyber 73-16. Ponieważ MRW może mieć potencjalnie wiele zastosowań, będziemy dążyć do zapewnienia takiej jego struktury, która umożliwi łączenie grup segmentów w tzw. pakiety, które będą mogły być używane do ściśle określonego celu. Przewidujemy na przykład możliwość wykorzystania uproszczonej (a więc i szybszej) wersji modelu w celu wstępnej oceny wielu wariantów i wybrania części z nich do pełnej analizy.

#### PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA

Przed przystąpieniem do budowy modelu konieczne jest określenie zbioru założeń dotyczących zarówno modelowanego zjawiska, jak też jego modelu. Założenia te formułujemy — po pierwsze — opierając się na naszym wyobrażeniu o danym zjawisku. Drugi rodzaj założeń (nazywanych zwykle upraszczającymi) wynika z ograniczeń związanych z możliwością rozwiązania zadania matematycznego bądź też z dostępnością danych niezbędnych do estymacji parametrów równań opisujących proces lub przyjętej funkcji kryterium. Przyjęty zbiór założeń ma podstawowe znaczenie dla postaci opisu matematycznego, zaś spójność tych założeń z rzeczywistością zasadniczo rzutuje na możliwości wykorzystania otrzymanych wyników.

MRW jest budowany dla zlewni górnej Noteci, jednak przy założeniu, iż będzie on mógł być też wykorzystywany w innych regionach. Jest to dodatkowy argument za precyzyjnym sformułowaniem przyjętych założeń.

Na podstawie analizy warunków w ZGN oraz praktyki i przepisów (por. op. pracę Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych<sup>4</sup>) związanych z projektowaniem systemu wodnego przyjęto, że uzasadnione jest akceptowanie omówionych niżej postulatów i założeń, dotyczących zarówno MRW, jak też modeli z nim współpracujących, a w szczególności modelu rolnictwa.

1) Obszar będący obiektem modelowania można podzielić na mikroregiony (oznaczane dalej przez RM), które mogą być traktowane jako jednorodne z punktu widzenia modelu.

2) Kryterium optymalności MRW uwzględnia efekt wykorzystania wody wyłącznie w rolnictwie. Należy podkreślić konieczność racjonalnego określenia parametrów w kryterium ekonomicznym (przez racjonalność rozumiemy zgodność z rzeczywistym znaczeniem produkcji rolnej dla społeczeństwa, co nie zawsze znajduje odzwierciedlenie w obowiązującym układzie cen).

4 *Metodyka określania ekonomicznej efektywności inwestycji wodnych, melioracyjnych i zaopatrzenia wsi w wodę*, IMUZ, Warszawa 1975 (odbitka powielana).

3) Nie można racjonalnie określić zapotrzebowania na wodę w rolnictwie bez jednoczesnej znajomości kosztów zapewnienia wody i efektów jej stosowania. Stosowanie modeli tzw. supply-oriented (równoważne poszukiwaniu najtańszego sposobu dostarczania danej ilości wody) nie jest uzasadnione, gdyż prowadzi do ekstensywnej gospodarki wodą. Nie jest też uzasadnione minimalizowanie zużycia wody w rolnictwie. Należy dążyć do znalezienia jednocześnie optymalnej wielkości zużywania wody w poszczególnych RM i optymalnego systemu, który zapewnia jej dostarczenie. Jest to równoważne spełnieniu postulatów wyznaczenia takiego poziomu zużycia wody, przy którym uzyskane efekty uzasadniają jeszcze ponoszenie kosztów związanych z rozbudową systemu wodnego przy uwzględnieniu pozostałych kosztów wynikających z intensyfikacji produkcji rolnej.

4) Rolnictwo będzie w intensywny sposób korzystało z wody. Spowoduje to istotną zmianę zarówno struktury upraw, jak i rodzajów upraw. Model rolnictwa, z którym będzie współpracował MRW, nie może więc opierać się na ekstrapolacji obecnych trendów: konieczne jest wyznaczenie optymalnej, w sensie kryterium przyjętego dla rolnictwa, strategii rozwoju rolnictwa w regionie. Rozumiemy przez to wyznaczenie takiej struktury upraw i hodowli, która gwarantuje spełnienie ograniczeń związanych z możliwością zapewnienia odpowiedniej ilości nawozów, siły roboczej, zachowania płodozmianu itp. oraz z wymaganiami stawianymi przed rolnictwem. Model rolnictwa będzie także określał zapotrzebowanie na wodę na potrzeby hodowli.

5) MRW ma za zadanie wyznaczyć docelową strukturę systemu wodnego. Wszelkie zapotrzebowania na wodę oraz parametry w funkcji celu należy wyznaczać przy uwzględnieniu możliwie najdłuższego zakresu czasowego, ponieważ okres technicznej eksploatacji inwestycji wodnych jest bardzo długi.

6) Ponieważ zagadnień planowania systemu wodnego nie należy oddzielać od problemów operatywnego sterowania, nie można w modelu operować średnimi rocznymi. Jako jednostkę dyskretyzacji czasu przyjęto 10 dni. W każdej dekadzie muszą być spełnione warunki bilansowe. Wyznaczone poziomy zużycia wody w poszczególnych dekadach należy traktować jednak jako orientacyjne. Do operatywnego sterowania zużyciem wody wykorzystany będzie inny model (por. np. pracę Albegova i Kulikowskiego<sup>5</sup>).

7) Wartość wody w ZGN poza okresem wegetacyjnym oraz w Wiśle w ciągu całego roku jest pomijalnie mała w stosunku do wartości wody w ZGN w okresie wegetacyjnym.

8) Model nie uwzględnia problemów wykorzystania systemu wodnego do zapobiegania powodziom. Zadanie to może być rozwiązane pośred-

<sup>5</sup> M. Albegov, R. Kulikowski (red.), *Noteć Regional Development. Proceedings of Task Force Meeting II on Noteć Regional Development* (w druku).

nio — przez wyznaczenie ograniczenia na minimalną pojemność zbiorników retencyjnych.

9) Przewidywane warianty zbiorników i przerzutów wody są akceptowane z punktu widzenia ochrony środowiska. W szczególności uwzględniony jest wpływ budowania zbiorników na zmiany poziomów wód głębinowych.

10) W każdym RM musi być zachowana co najmniej pewna minimalna ilość wody, nazwana w modelu umownie nienaruszalnym przepływem biologicznym.

11) W MRW nie rozpatruje się bezpośrednio zagadnienia jakości wody. Jakość wody *może* być uwzględniona pośrednio przez ewentualne zwiększenie nienaruszalnego przepływu w cieku i jednocześnie ustalenie norm emisji zanieczyszczeń w taki sposób, aby ich koncentracja w środowisku nie przekraczała norm określonych przepisami.

12) W modelu rozważa się wyłącznie wody powierzchniowe. Korzystanie z ujęć głębinowych powinno być uwzględnione przy obliczaniu zapotrzebowań użytkowników; przez zapotrzebowanie w MRW rozumie się zapotrzebowanie na wody powierzchniowe. Zakłada się, iż pobór wód głębinowych nie ma wpływu na zasoby powierzchniowe, oraz że przy planowaniu wykorzystywania zasobów wód głębinowych wzięto pod uwagę możliwość ich wyczerpania.

13) Istnieje możliwość stosowania w praktyce racjonalnej gospodarki wodą (np. transfer wody z jednego województwa do innego).

14) Określone jest zapotrzebowanie na wodę na cele gospodarki komunalnej; ma ono w MRW zapewniony priorytet na równi z nienaruszalnym przepływem biologicznym.

15) Uwzględnia się zapotrzebowanie przemysłu na wodę. Analizuje się wpływ zmiany tego zapotrzebowania na wielkość produkcji rolnej i koszty związane z pokryciem zapotrzebowania. Uważamy, że zapotrzebowanie jest równoważne rzeczywistym potrzebom; powinny one być szczególnie starannie zweryfikowane dla okresu wegetacyjnego. Należy rozważyć możliwość zmniejszenia zużycia wody, zwłaszcza w okresie tzw. dekad krytycznych dla nawodnień. Ponieważ ceny wody nie są skutecznym instrumentem zmniejszenia jej zużycia przez przemysł, należy dążyć do oceny rzeczywistych potrzeb przemysłu na podstawie analizy technologii. Należy także rzetelnie określić różnicę między poborem wody a jej zużyciem, przy zapewnieniu należytej jakości wody zwracanej do cieku.

16) MRW jest modelem deterministycznym, mimo że zjawiska hydrologiczne i rolnicze mają losowy charakter. Istnieją dwa sposoby wykorzystania MRW. Pierwszy polega na wykonaniu wielu niezależnych obliczeń dla danych dotyczących wielkości przepływów naturalnych i zależności przyrostu produkcji rolnej od nawodnień z poszczególnych lat, oraz na wyborze — na podstawie nie sprecyzowanych jeszcze kryte-

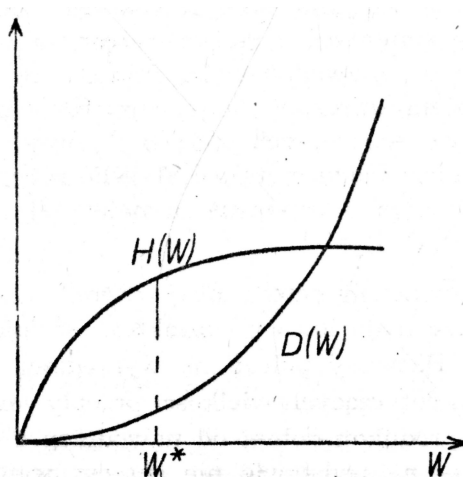
riów — roku, z którego dane będą podstawą do projektowania. Drugi sposób zakłada przeprowadzenie analizy statystycznej danych z wielolecia (15-30 lat) i na jej podstawie wybór wartości omówionych wyżej zmiennych, które będą traktowane jako podstawa projektowania. Zwracamy uwagę na fakt, że nie będzie to prawdopodobnie zbiór danych dla konkretnego roku. Bliższe omówienie tej koncepcji jest przedstawione w punkcie 4.

17) Istotne znaczenie ma wybór warunków (reprezentowanych przez wielkości przepływów nawadniających, przepływów naturalnych oraz przyrostu produkcji roślinnej na skutek nawodnień) będących podstawą do projektowania. Jednak niezależnie od tego, jakie one będą, system wodny nie będzie w praktyce całkowicie wykorzystywany w każdym roku. W latach przeciętnych i mokrych część objętości zbiorników i możliwości technicznych przerzutów wody nie będzie wykorzystywana. W latach ekstremalnie suchych akceptujemy pewien niedobór wody, nie powinien on jednak powodować klęski suszy.

18) Zakładamy, że przeprowadzono weryfikację wszystkich danych. Jest to uwaga trywialna, należy jednak powtórzyć truizm, że rzetelność danych ma podstawowe znaczenie dla zaufania, jakim można darzyć otrzymane wyniki.

#### KRYTERIUM JAKOŚCI

Rozważmy (dla ilustracji schematycznie tylko przedstawione) zależności efektów wykorzystania wody w rolnictwie  $H$  oraz kosztów związanych z jej zapewnieniem  $D$  w zależności od ilości wykorzystywanej (i. zakładamy, dostarczanej w tej ilości) w ciągu roku wody —  $W$ . Funkcja  $H(W)$  będzie rosnącą funkcją wklęsłą. Wynika to z faktu, że przy



małej ilości wody nawadniamy rośliny (ewentualnie obszary), z których otrzymujemy największy przyrost produkcji. W miarę wzrostu  $W$  efektywność stosowania wody maleje, aż wreszcie w pewnym punkcie nie jesteśmy w stanie zużyć racjonalnie większej ilości wody. Natomiast funkcja kosztów  $D(W)$  jest rosnąca, na ogół wypukła, gdyż dla małych ilości wody zużywa się tę dostępną w rzekach, następnie wykorzystuje się tanie zbiorniki, w końcu zaś konieczne jest budowanie drogiego zbiorników bądź przerzutów wody. Logiczny jest więc wniosek, że istnieje pewna graniczna wielkość systemu wodnego (oznaczona na rysunku przez  $W^*$ ), którą należy osiągnąć, ale której nie należy przekraczać, gdyż pochodna różnicy między efektem wykorzystywania wody a kosztami jej zapewnienia jest dla  $W > W^*$  już ujemna. W punkcie  $W^*$  graniczna efektywność zużycia wody jest równa granicznemu kosztowi jej dostarczenia. Wielkość optymalnego systemu wodnego jest oczywiście zależna zarówno od warunków hydrologicznych jak też sposobu zużywania wody. Zauważmy, iż powyższe rozumowanie jest przeprowadzone przy założeniu, iż optymalizuje się zarówno zużywanie, jak i dostarczanie wody.

Dla optymalizacji zużywania zasobów dyspozycyjnych wody wyodrębniono część MRW nazywaną dalej MRW1. W celu wyznaczenia optymalnej alokacji wody między RM-y należy określić powierzchnie nawadniane w każdym z nich. Wynika to z faktu, że zakładając nawadnianie stosuje się odmiany roślin, które są wprawdzie wysoko wydajne, ale za to mało odporne na niedostatek wody; dlatego też lepiej zdecydować się na nawadnianie tylko części powierzchni niż ryzykować przerwanie nawadniania podczas okresu wegetacyjnego. MRW1 wyznaczy powierzchnie nawadniane w taki sposób, że w każdej dekadzie będzie zapewniona odpowiednia ilość wody do nawodnień. Wyjaśnienie, co to jest „odpowiednia ilość wody” wymaga szerszego omówienia.

Wielkość plonów danej rośliny zależy od wielu wzajemnie ze sobą powiązanych czynników, takich jak rodzaj głoby, odmiana rośliny, stosowanie nawozów i pestycydów, inne zabiegi agrotechniczne oraz pogoda. Wielkość nawodnień danej uprawy  $QI_t$  ( $t$  — index dekady) można określić jako

$$QI_t = ETP_t - QR_t - RI_t, \quad (1)$$

gdzie  $ETP_t$  jest ewapotranspiracją potencjalną, tzn. ilością wody zużywaną podczas wzrostu rośliny w danej dekadzie przy zapewnianiu jej idealnych warunków;  $QR_t$  jest łatwo przyswajalnym zapasem wody w glebie, zaś  $RI_t$  wielkością opadu atmosferycznego. Zauważmy, że o ile możemy przyjąć, że  $ETP_t$  jest znane, to  $QR_t$  i  $RI_t$  są istotnie zależne od warunków meteorologicznych. Nie jest to istotną przeszkodą przy podejmowaniu, w czasie rzeczywistym, decyzji dotyczących nawodnień. Stanowi natomiast problem przy projektowaniu, gdyż nie jest całkowicie jasne, dla jakich warunków system powinien być projektowany. Ryzykowne jest projektowanie dla warunków średnich, rozrzutne wydaje się pro-

jektowanie dla warunków, najgorszych. Można symulować przebiegi dla różnych warunków z Okresu wielolecia i na podstawie analizy wyników wybrać rok, z którego dane będą podstawą do projektowania, *bądź też* wybrać wariant będący interpolacją otrzymanych wyników, co może być jednak rozwiązaniem ryzykownym.

Zaproponowano więc (Makowski<sup>6</sup>) wyznaczenie tzw. warunków reprezentatywnych, które mogą być podstawą do projektowania. W tym celu należy — na podstawie znanych wyników doświadczeń i wiedzy rolniczej, przy wzięciu pod uwagę wyników analizy statystycznej  $QR_t$  i  $RI_t$  — określić takie wartości ewapotranspiracji  $ETR_t$ , dla których zniżka plonów jest jeszcze akceptowalna, i przyjąć, że

$$QI_t = ETR_t - QRM_t - RIM_t, \quad (2)$$

gdzie  $QRM_t$  i  $RIM_t$  są minimalnymi w wieloleciu wartościami odpowiednio zapasu wody w glebie i opadu. Podstawą do projektowania będą więc warunki zbliżone do najgorszych, gdyż akceptujemy budowę systemu, który nie będzie wykorzystywany w całości co roku, ale umożliwi zapobieganie klęsce suszy. Nie projektujemy jednak dla warunków najgorszych, gdyż zgadzamy się na pewne straty — mając możliwość oceny ich wielkości, w latach ekstremalnie suchych.

Reasumując dotychczasowe rozważania, wskaźnik jakości dla MRWI może być przedstawiony w postaci:

$$H(F) = \sum_{i=1}^N (a_i - b_i) f_i, \quad (3)$$

gdzie  $N$  jest liczbą RM,  $f_i$  powierzchnią nawadnianą w  $i$ -tym RM. zaś  $a_i$  i  $b_i$  są wielkościami jednostkowego (na 1 ha) przyrostu — odpowiednio — wartości produkcji rolnej oraz sumy kosztów związanych z nawadnianiem (przy wykorzystaniu tylko zasobów dyspozycyjnych).

Dokładniejsze omówienie sposobu wyznaczania  $a_i$  i  $b_i$  jest podane w pracy Makowskiego<sup>7</sup>. W  $b_i$  uwzględniono koszty inwestycyjne (z uwzględnieniem amortyzacji, oprocentowania i zamrożenia kapitału), koszty eksploatacji zarówno nawadniania, jak i doprowadzania wody i budowy ujęcia oraz przewidywany przyrost kosztów rolniczych związanych z intensyfikacją rolnictwa. Współczynniki  $a_i$  i  $b_i$  są oczywiście zależne od zadanej struktury upraw, która jest różna w różnych RM.

Wskaźnik (3) wyraża więc roczny efekt stosowania wody do intensyfikacji produkcji roślinnej.

MRWI będzie wykorzystywany do wyznaczania powierzchni przeznaczonych do nawodnień przy danej strukturze zasobów dyspozycyj-

<sup>6</sup> M. Makowski, *A Normative Model of Water System Development in an Agricultural Region*, w: M. Albegov, R. Kulikowski (red.), *Notec Regional Development. Proceedings of Task Force Meeting II on Notec Regional Development* (w druku).

<sup>7</sup> M. Makowski, op. dt.

nych wody. Jednocześnie będzie on wyznaczał optymalną alokację wody między RM.

Kryterium oceny danego systemu wodnego w regionie rolniczym może być zapisane w postaci:

$$L(F, X, V) = H(F) - H^* - \sum_{j=1}^J R_j(v_j) - \sum_{k=1}^K S_k(x_k), \quad (4)$$

gdzie  $F=(f_1, \dots, f_N)$  — powierzchnie przeznaczone do nawodnień w poszczególnych RM;  $X=(x_1, \dots, x_K)$  — techniczne możliwości przerzutów wody do danego RM;  $V=(v_1, \dots, v_J)$  — pojemności poszczególnych zbiorników;  $H$  — wartość funkcji kryterium dla modelu MRW1;  $H^*$  — wartość funkcji kryterium dla MRW1 przy założeniu braku możliwości kształtowania zasobów wody;  $J, K$  — liczby rozpatrywanych projektów, odpowiednio zbiorników i przerzutów wody;  $R_j(v_j)$   $S_k(x_k)$  — funkcje opisujące nakłady związane z podjęciem inwestycji odpowiednio  $j$ -ego zbiornika o pojemności  $v_j$  i  $k$ -tego przerzutu wody o wielkości  $x_k$ .

Na podstawie analizy ekonomicznej wszystkich technicznie akceptowalnych wariantów danej inwestycji przy wzięciu pod uwagę wyników uzyskanych z MRW1 (przy założeniu nawodnień tylko z przepływów bieżących) należy dokonać wyboru najlepszego wariantu z punktu widzenia zarówno technicznego, jak i ekonomicznego oraz przy uwzględnieniu zagadnień ochrony środowiska. Dla najlepszych wariantów określonej inwestycji (rozumiemy przez to np. zbiornik o danej objętości i lokalizacji) wyznacza się funkcję nakładów. Przy określaniu kosztów należy uwzględnić wielkość nakładów inwestycyjnych z zamrożeniem, amortyzacją i oprocentowaniem kapitału oraz średnie roczne koszty eksploatacyjne.

System wodny zaprojektowany zgodnie z kryterium (4) jest stanem docelowym. Osobnym zagadnieniem jest kwestia sekwencji inwestycji (por. punkt 6). Zwróćmy jednak uwagę, iż podstawową kwestią jest określenie docelowej struktury systemu. Wszelkie bowiem zmiany systemu docelowego już w trakcie realizowania inwestycji mogą być bardzo kosztowne, gdyż optymalny mniejszy system wodny nie będzie nią ogół częścią optymalnego większego systemu.

#### ZMIENNE DECYZYJNE

Zmiennymi decyzyjnymi podlegającymi optymalizacji w MRW są:

- 1)  $F$  — wektor powierzchni przeznaczonych do nawodnień w poszczególnych RM,
- 2)  $V$  — wektor pojemności poszczególnych zbiorników,
- 3)  $X$  — wektor określający techniczne możliwości przerzutów wody do danego RM.

Egzogenicznymi zamiennymi decyzyjnymi są wielkości dopływów nawadniających  $QI$  oraz struktury upraw w poszczególnych RM.

Zmienne decyzyjne muszą należeć do zbioru rozwiązań dopuszczalnych, który jest określony przez zbiór nierówności omówiony w pracy Makowskiego<sup>8</sup>. Pomijając, ze względu na brak miejsca, dokładną specyfikację nierówności, zauważmy, że spełnienie ich zapewnia zachowanie bilansu wody w poszczególnych przekrojach w zlewni oraz techniczne warunki realizacji inwestycji wodnych.

#### STRUKTURA MODELU

MRW będzie, jak to już omówiono we wstępie, współpracował z innymi modelami, a w szczególności z modelem rozwoju regionu MRR i modelem rolnictwa MROL.

Zakłada się iteracyjny proces wykorzystywania trzech modeli: MRR, MROL i MRW. W procesie tym w kolejnych obliczeniach, przeprowadzanych za pomocą poszczególnych modeli, będzie się wykorzystywało wyniki uzyskane w poprzednich przebiegach pozostałych modeli. Proces ten należy kontynuować, aż do uzyskania spójnych ze sobą rozwiązań. Istotne znaczenie ma przy tym możliwość ingerencji w proces obliczeń przez zmianę niektórych wielkości bądź odrzucenie określonego wariantu.

W MRR wyznaczone będą wartości następujących zmiennych egzogenicznych dla MRW:

- 1) zapotrzebowanie na wodę przez gospodarkę komunalną i przemysł,
- 2) wielkości funduszy inwestycyjnych,
- 3) współczynniki niezbędne do określenia kosztów nawadniania i kształtowania zasobów wodnych oraz wartości produkcji rolnej.

Następujące informacje uzyskane w MRW mogą być używane w kolejnych obliczeniach w MRR:

- 1) graniczny koszt zapewnienia wody w poszczególnych dekadach i RM,
- 2) wyznaczenie dekad krytycznych dla nawodnień,
- 3) przyrost wartości i wielkości produkcji roślinnej.

W MROL będą wyznaczone wartości następujących zmiennych egzogenicznych dla MRW:

- 1) struktura upraw w poszczególnych RM,
- 2) wielkości plonów poszczególnych upraw w zależności od wielkości nawodnień,
- 3) wielkości dopływu nawadniającego,
- 4) zapotrzebowanie hodowli na wodę,
- 5) maksymalne powierzchnie przeznaczone do nawodnień.

<sup>8</sup> M. Makowski, op. cit.

Wyznaczone w MRW powierzchnie nawadniane poszczególnych upraw bądź ilość wody przeznaczona na nawodnienia w poszczególnych dekadach i RM będą użyte do zmiany ograniczeń w MROL.

Do czasu uruchomienia MRR i MROL zmienne, które mają być wyznaczone w tych modelach, należy uzyskać z innych analiz.

MRW będzie się składał z czterech wzajemnie powiązanych modeli: MRW1, MRW2, MRW3 i MRW0.

Przeznaczenie pierwszych dwóch modeli — MRW1 służącego do wyznaczania powierzchni przeznaczonych do nawodnień oraz MRW2 służącego do wyznaczania docelowej struktury systemu wodnego — zostało już omówione.

Model MRW3 służyć będzie do optymalizacji sekwencji inwestycji określonych przez MRW2, tak aby maksymalizować efekt w okresie inwestowania przy ograniczeniach na roczne wielkości inwestycji, zmiany zapotrzebowania przez użytkowników nierolniczych, moce przerobowe itp. Uznano za celowe oddzielenie procesu optymalizacji sekwencji inwestycji od zadania znalezienia optymalnej struktury systemu wodnego, pozwala to bowiem na oddzielne rozwiązanie dwóch związanych ze sobą zadań przy zdecydowanie niniejszych nakładach na obliczenia i analizę wyników.

Model MRW0 umożliwi wykorzystanie pozostałych modeli w systemie pracy konwersacyjnej na szybkiej i wystarczająco dużej maszynie cyfrowej. W przypadku braku odpowiednich do pracy konwersacyjnej urządzeń wejścia/wyjścia, MRW0 będzie użyteczny do analizy różnych scenariuszy. Można będzie badać wpływ zmian wybranych zmiennych decyzyjnych i porównywać efekty stosowania strategii różnych od optymalnych. Przez porównanie rozumie się nie tylko różnicę wskaźnika jakości, ale także informacje dotyczące na przykład wartości wody, przyrostu wielkości produkcji rolnej, różnych wskaźników (np. efektywności inwestycji), ewentualnie niespełnionych ograniczeń. Możliwe będą także badania wpływu zmian wartości zmiennych egzogenicznych, parametrów modelu itp. oraz wstępna selekcja wariantów (scenariuszy) zgodnie z przyjętym kryterium, jak również selektywny wybór wyprowadzanych z maszyny cyfrowej informacji i ich przetwarzanie.

#### WYKORZYSTANIE MRW

MRW, podobnie jak większość modeli matematycznych, nie jest przeznaczony do wyznaczania jedynego sterowania optymalnego. Może on być wykorzystywany w procedurze interacyjnej opisanej w poprzednim punkcie lub też do tzw. analizy scenariuszy.

Rozróżnimy dwa rodzaje scenariuszy:

1) Badanie skutków zastosowania innych niż optymalne wartości zmiennych decyzyjnych. Może to mieć znaczenie dla analizy rozwiązań,

w których zdecydowano się — na podstawie przesłanek nie mających odzwierciedlenia w funkcji kryterium — na przyjęcie określonych wartości dla części bądź wszystkich zmiennych decyzyjnych. Może to mieć zastosowanie na przykład przy badaniu wpływu zbudowania Kanału Centralnego, którego przepustowość będzie prawdopodobnie znacznie większa niż potrzeby wykorzystania wody z niego w ZGN, ale budowa takiego kanału jest uzasadniona potrzebami w innych regionach.

2) Wyznaczanie rozwiązań optymalnych dla różnych wariantów wartości zmiennych egzogenicznych i parametrów modelu. W szczególności ciekawe może być porównanie rozwiązań optymalnych i wartości funkcji kryterium dla różnych wariantów, w których zakładać się będzie różne wartości następujących zmiennych: struktura upraw, pożądany dopływ nawadniający, wartość jednostki produkcji rolnej (np. zbożowej lub białkowej), amortyzacja, oprocentowanie kapitału, zużycie wody przez użytkowników nierolniczych, maksymalne powierzchnie przeznaczone do nawodnień i ewentualnie inne wielkości.

Dopiero na podstawie analizy wielu wariantów rozwiązań wybierać się będzie wariant przeznaczony do realizacji.

#### ON MODELLING A WATER SYSTEM DEVELOPMENT IN AN AGRICULTURAL REGION

##### S u m m a r y

The paper deals with problems of modelling a water system expansion in an agricultural region. The model pertains to planning of a water system development and may be used for regional development analysis. For the latter application a concept of a family mutually linked models is discussed. Following other questions are considered in the paper: basic assumptions accepted for the region modelled, goal function that serves as a criterion for a water system development, the decisions variables, the structure of the model and the possibilities of the model application.