



Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Michał Inkielman

**SYMULACYJNE METODY  
ANALIZY STEROWANYCH  
WIELOZBIORNIKOWYCH  
SYSTEMÓW WODNYCH**



SYMULACYJNE METODY ANALIZY STEROWANYCH  
WIELOZBIORNIKOWYCH SYSTEMÓW WODNYCH

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE**  
**tom 19**

---

**Redaktor naukowy:**

**Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum**

Warszawa 1995

Michał Inkielman

**SYMULACYJNE METODY  
ANALIZY STEROWANYCH  
WIELOZBIORNIKOWYCH  
SYSTEMÓW WODNYCH**

Publikację opiniowali do druku:

Prof. dr hab. Zdzisław Kaczmarek  
Prof. dr hab. Krzysztof Malinowski

Wydano z wykorzystaniem dotacji  
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN  
Warszawa 1995

**ISBN 83-85847-31-6**  
**ISSN 0208-8029**

## A.. DODATEK - Opis pakietu symulacyjnego *ECOSYM*

### 1.. Uruchomienie pakietu

#### a. Zbiory dyskowe

Pełna lista zbiorów zawierających elementy pakietu podana jest poniżej. Przed uruchomieniem należy skopiować zawartość dyskietek 1 i 2 do katalogu roboczego twardego dysku:

Dyskietka 1.: EXEC. Zawiera kody wykonywalne programów wchodzących w skład pakietu.

ECODANE	EXE	83216	09.05.91	12:42
ECOTEST	EXE	63712	24.09.91	9:36
ECOGEN	EXE	51232	19.06.91	13:25
ECORES	EXE	77808	19.06.91	13:25
ECOSYM	EXE	43584	24.09.91	10:40
ECORYS	EXE	53632	11.05.91	13:29
FIGDEMO	EXE	23168	10.06.91	15:01

Dyskietka 2.: DANE1.

***	HERC	BGI	6125	29.08.88	5.00
	TPC	CFG	34	12.07.90	10.45
***	LITT	CHR	2138	29.08.88	5.00
***	SANS	CHR	5438	29.08.88	5.00
***	TRIP	CHR	7241	29.08.88	5.00
d)	DYSTR	DAT	2392	02.04.90	9:25
d)	ECOL	GAL	22281	13.05.91	13:51
	ECOL	SCH	18870	13.05.91	14:05
	CIAGWE	WEJ	32788	03.04.90	12:46
d)	ECOL	WEJ	13536	25.07.91	11:58
d)	ECOL	WEZ	5607	13.05.91	14:04
m)	ECOBIL	DAT	2267	24.09.91	9:59
m)	ECOREG	DAT	3905	23.09.91	14:30
m)	ECOFUNG	DAT	1525	23.09.91	14:29
m)	ECOPOLL	DAT	1310	23.09.91	14:38
	PLIKI	DAT	108	04.02.91	9:33
***	ENGLISH	MSG	16864	13.03.91	11:22
***	POLISH	MSG	18225	13.03.91	11:28
***	EGAVGA	BGI	5363	2.05.89	5.50
	ECOSYM	PAS	1863	23.09.91	15:29
	TPC	EXE	61878	2.05.89	5.50
	ECOOBS	TPU	21216	91-04-01	20:34
	ECODEF	TPU	5664	91-04-01	20:34
	ECOMSG	TPU	12016	91-04-01	20:34
	ECODSTR	TPU	16912	91-04-01	20:34
	ECO_TAB	TPU	3984	91-04-01	20:34
	ECOREG	TPU	2032	24.09.91	10:40
	ECOSWM	TPU	31872	24.09.91	10:43

Zbiory grafiki *Turbo Pascala 5.5* i biblioteki komunikatów, niezbędne do rozpoczęcia pracy programów w wersji EXE zaznaczono gwiazdkami \*\*\*. Przykładowe zbiory danych umożliwiające demonstrację działania pakietu zaznaczono symbolem "d)". Są one użyteczne na etapie nauki obsługi pakietu. W normalnym

działaniu użytkownik tworzy własne zbiory danych korzystając z opcji pakietu. Zbiory oznaczone symbolem "m)" zawierające modele matematyczne elementów systemu wodnego, podobnie jak segment główny programu symulacyjnego ECOSYM.PAS, muszą być przygotowane poza pakietem jako pliki pascalskie. Pozostałe zbiory z dyskietki są potrzebne w przypadku konieczności zmiany postaci modeli matematycznych lub scenariusza symulacji ECOSYM.PAS - wiąże się to z uruchomieniem kompilatora TPC.EXE.

W skład dokumentacji pakietu wchodzi także dyskietka zawierająca wersje źródłowe składników pakietu.

## b. Instalacja pakietu

Program główny pakietu ECOTEST.EXE umożliwia ustalenie konfiguracji katalogów roboczych i domniemanych nazw zbiorów danych i zbiorów do zapisu wyników. Pozwala także wybrać język komunikatów (angielski lub polski).

Program ECOTEST uruchamia się w katalogu roboczym przez polecenie do DOS: TEST <ENTER> lub TEST p <ENTER> (w drugim przypadku program wystartuje w polskiej wersji językowej). Dalsze działanie programu zależy od wyboru jednej z opcji menu głównego:

KATALOGI  
WYBOR PLIKOW  
GENERACJA WE  
DYSTRYBUANTY  
DANE SIECI  
SCHEMAT  
SYMULACJA  
WYKRESY  
TABELE  
ANALIZA

oraz menu pomocniczego: INFORM JEZYK WYKONAJ.

W pozycji INFORM menu pomocniczego wyświetlana jest informacja o działaniu aktualnie wybranej opcji menu głównego, opcja JEZYK powoduje ewentualną zmianę języka komunikatów, natomiast w pozycji WYKONAJ uruchamiana jest opcja wybrana z menu głównego. Żądanie wykonania polecenia określonego przez stan obu menu zgłaszamy wciskając klawisz <ENTER>. Instalację pakietu rozpoczynamy wybierając polecenie 'WYKONAJ'-'KATALOGI'. Dopóki nie ma w aktualnym katalogu zbioru CONFIG.SYM, jako katalog aktywny wybrany jest automatycznie katalog, w którym uruchomiono ECOTEST.EXE. Równocześnie, jeśli CONFIG.SYM nie istnieje w katalogu aktualnym, to jako katalog danych i programów, DATA i EXEC, użyty jest katalog aktualny. Jest to najprostsza konfiguracja, umożliwiającą również korzystanie ze zbiorów danych z innych katalogów i napędów, jeśli w miejsce nazw zbiorów będziemy używać nazw z pełnymi ścieżkami dostępu.

Jeśli chcemy, aby katalogi DATA lub EXEC były inne, niż katalog aktywny w chwili uruchamiania programu ECOTEST, ich ścieżki muszą być zapisane w specjalnym zbiorze CONFIG.SYM za pomocą polecenia w opcji KATALOGI menu głównego i zapamiętane poleceniem (F10). Jawne definiowanie katalogu DATA jest zalecane

jedynie wtedy, gdy wszystkie zbiory danych, których zamierzamy używać, będą z niego dostępne, natomiast definiowanie katalogu EXEC wymaga, aby znajdowały się w nim wszystkie kody wykonywalne programów pakietu (z wyjątkiem ECOTEST.EXE) wraz z bibliotekami graficznymi.

Wybór nazw plików dyskowych z danymi i wynikami jest w większości przypadków możliwy na bieżąco w czasie pracy programów pakietu. Wyjątkiem jest sam program symulacyjny ECOSYM.EXE, który wymaga jednoznacznego określenia zbiorów danych sieci (dane węzłów i gałęzi) oraz danych ciągu wejściowego zmiennych niezależnych, bądź to w scenariuszu symulacji (segment główny programu ECOSYM.PAS), bądź też (co jest wygodniejsze) w zbiorze o nazwie PLIKI.DAT, którego edycję realizuje opcja WYBOR PLIKOW menu głównego programu ECOTEST. Zbiór ten określa nazwy następujących zbiorów danych (w nawiasach domniemane rozszerzenia nazw):

```
Dystrybuanty zmiennych losowych (*.DYS)
Ciąg zmiennych wejściowych (*.WEJ)
Dane węzłów sieci (*.WEZ)
Dane gałęzi sieci (*.GAL)
Wyniki symulacji (*.WYJ)
Tabele wyników (*.RES)
Dane hist. tekst. (*.TXT)
Scenario symulac. (*.BAT)
Reguły decyzyjne (*.REG)
Funkcje przepływu (*.FUN)
```

Po ustaleniu pożądanej konfiguracji plików, ich nazwy zapisywane są (poleceniem F10) w zbiorze PLIKI.DAT w aktywnym katalogu i od tej chwili służą jako nazwy domniemane dla wszystkich programów pakietu, niezależnie od tego, czy programy te są wywoływane jako opcje programu ECOTEST, czy też niezależnie od niego. Jeśli w katalogu DATA nie ma utworzonego pliku PLIKI.DAT jako domniemane używane są odpowiednio następujące nazwy zbiorów danych:

```
DYSTR.DAT
CIAGWE.WEJ
WEZLY.WEZ
GALEZIE.GAL
RAPORT.WYJ
WYKRES.RES
DANE.TXT
SCENARIO.BAT
REGUŁY.REG
FUNG.FUN .
```

Program symulacyjny ECOSYM wymaga przed uruchomieniem utworzenia trzech zbiorów danych: ciąg zmiennych wejściowych, opis węzłów sieci i opis gałęzi sieci, które mają struktury plików rekordów o określonym formacie (pliki o domniemanych nazwach CIAGWE.WEJ, WEZLY.WEZ, GALEZIE.GAL). Działający program symulacyjny generuje plik rekordów z wynikami. Conajmniej jeden taki plik wyników musi być dostępny w chwili uruchomienia programu ECORES. Pozostałe programy pakietu nie wymagają żadnych wstępnie przygotowanych zbiorów danych (choć mogą



z nich korzystać) ponieważ zawierają procedury edycyjne pozwalające tworzyć nowe zbiory, określać ich nazwy, niektóre parametry jak horyzont czasu, liczba okresów w roku, liczba węzłów i gałęzi sieci, oraz generować nowe lub modyfikować istniejące rekordy danych.

Dysponując pełnym zestawem programów i danych (dyskietki 1, 2) możemy oczywiście uruchamiać programy w dowolnej kolejności, jednakże rozpoczynając rozwiązywanie nowego problemu, należy w pierwszej kolejności uruchomić program *ECODANE* i przy jego pomocy utworzyć zbiory opisujące strukturę sieci i jej elementy, następnie wykorzystać program *ECOGEN* do generacji ciągów czasowych zmiennych egzogenicznych i dopiero wówczas przystąpić do właściwej symulacji. Jeśli wszystkie powyższe czynności są wykonywane pod nadzorem programu *ECOTEST* to zapewni on zgodność generowanych zbiorów danych z formalnymi wymaganiami programu symulacyjnego (nazwy zbiorów, ścieżki dostępu, formaty przekazywanych danych).

Poniżej przedstawiamy opis poszczególnych programów pakietu w kolejności, w jakiej najczęściej są one używane.

## 2.. Baza danych sieci wodnej

### a. Struktura danych

Struktura danych sieci wodnej pakietu *ECOSYM* jest wzorowana na strukturze pakietu *SYMWOD* [35]. Zewnętrzna reprezentacja danych zawartych w plikach *WEZLY.WEZ* i *GALEZIE.GAL* oparta jest na typach rekordów zdefiniowanych zdefiniowane w module pascalowskim *Ecodef*.

Najważniejsze z nich to:

```
AllWater = record           { opis strumienia jako wektora: przepływ +
                             zanieczyszczenia o różnych cechach }
    quant:real;
    qu:TZZ;
    transf:klucz;
end;
NazwaElementu=record       {wizytowka elementu sieci}
    numer:word;
    nazwa:string[15];
end;
RekordWezla=record         {dane wezla sieci wodnej w pliku danych
                             *.WEZ}
    nazwa:NazwaElementu;
    RodzajWezla:string[15];
    polozenie:T2;
    dystryb:word;
    doplywy:T4;
    wyplywy:T4;
    ograniczenia:T3;
    pojemnosc:real;
    ksztalt:T6;
    parowanie:T1;
    stan:AllWater;
end;
RekordGalezi=record       {dane galezi sieci wodnej w pliku
                             danych *.GAL }
    nazwa:NazwaElementu;
    RodzajGalezi:string[15];
    poczatek:word;
```

```

koniec:word;
nrfunkcji:word;
WspolczynnikiFunkcji:T5;
ograniczenia:T3;
koszty:T6;
przeplyw:AllWater;
end;
gdzie
ILO=26;      (*maksymalna liczba okresow w roku *)
NN=20;      (*maksymalna liczba wezlow *)
LL=30;      (*maksymalna liczba galezi *)
KK=10;      (*liczba punktow dystrybuanty *)
delta=10;   (*odstep miedzy punktami dystrybuanty na osi x *)
KZ=10;      (*maksymalna ilosc niezaleznych zmiennych losowych w ciagu
*)
              (* wejsciuwym *)
ZZ=3;       (* liczba skladnikow zanieczyszczen *)

type
TZZ = array[1..ZZ] of real;
T = array[0..KK] of real;
TZ = array[1..NN] of real;
TZI = array[1..NN] of word;
TG = array[1..LL] of real;
TB = array[1..LL] of boolean;
TZm = array[1..KZ] of real;
TKZ = array[1..ILO,1..KZ] of real;
T0 = array[1..ILO] of integer;
T1 = array[1..ILO] of real;
T2 = array[1..2] of real;
T3 = array[1..2,1..ILO] of real;
T4 = array[1..4] of word;
TW = array[1..4] of real;
T5 = array[1..4,1..ILO] of real;
TZZ = array[1..ZZ] of real;
T6 = array[1..2,1..5] of real;
tab2 = array[1..NN,1..2] of real;
tab3 = array[1..LL,1..2] of real;
tab4 = array[1..NN,1..4,1..2] of real;
itab3 = array[1..LL,1..2] of integer;
nazwa = string[15];
przy = string[2];
klucz = 0..6;
NumerGalezi= 0..LL;
NumerWezla = 0..NN;

RekordyWezlow = file of RekordWezla;
RekordyGalezi = file of RekordGalezi;
ZbiorWyjsciuwy = file of RekordEtapu;
ListaDystrybuant= file of dyst;
Fil = file of Rok;
var
{zmienne globalne wystepujace w kazdym programie pakietu
(lecz nie wspolne! - programy wymieniaja dane przez pliki
dyskowe). Uzycie jednakowej definicji tych zmiennych dla
wszystkich programow umozliwia tylko poslugiwanie sie
tymi
samymi jednostkami *.TPU korzystajacymi z dostepu przez
zmienne globalne}
wezla :RekordWezla;
galaz :RekordGalezi;
ListaWezlow :RekordyWezlow;
Listagalezi :RekordyGalezi;
wejscie :okres;
RokWejscie :rok;
CiagWejscie :Fil;
WejscieConfig,Parametry,Raport :text;
Wynik_roku :RgkordEtapu;

```

```

Wyniki      :ZbiorWyjsciovy;
rokpocz     :word;
F           :dyst;
TabF        :array[1..ILO] of dyst;
ListaF      :ListaDystrybuant;
Katalog     : array[0..3] of Kstring;
NazwaPliku  : array[1..10] of GString;
...

```

Dane dotyczące sieci wodnej są zawarte w dwóch zbiorach dyskowych:

- dane węzłów (WEZLY.WEZ),
- dane gałęzi (GALEZIE.GAL).

Jako węzły reprezentowane są następujące elementy systemu wodnego:

- zbiorniki,
- punkty spływu (łączenia) dwóch lub więcej strumieni,
- punkty rozpływu (dystrybucji) strumienia na dwa lub więcej strumieni,
- konsumenci wody.

Gałęzie sieci reprezentują takie elementy systemu, jak:

- naturalne dopływy zewnętrzne (rzeki i skupione modele spływu powierzchniowego),
- przepływy między węzłami (w rzekach, kanałach),
- przepływy z ujęć wody do odbiorców,
- zrzuty odbiorców wody,
- odpływy z systemu,
- przerzuty wody za pomocą rurociągów lub innych urządzeń technicznych,
- niektóre wyróżnione przepływy, fizycznie transportowane przez wyżej wymienione gałęzie, lecz wydzielone przez szczególny sposób użytkowania (np. priorytet), powodujące równocześnie potrzebę wprowadzenia sztucznych węzłów.

Zauważmy, że dla gałęzi i węzłów przewidziano dwie struktury danych :

typy *NodeRec* i *ArcRec* (p. 6.2) i odpowiednio *RekordWezla* i *RekordGalezi*. Wynika to stąd, że ze względów historycznych (poprzednie wersje programu pisano w *Turbo Pascal v.5.0*) nie wykorzystano możliwości tworzenia plików danych różnych typów i rozmiarów z użyciem polimorficznych *strumieni*. Stąd konieczność zastąpienia wskazań wirtualnych metod (modeli) występujących w strukturze danych węzłów i gałęzi (*NodeRec*, *ArcRec*) wewnątrz programu symulacyjnego przez odpowiednie dane typu *integer* w rekordach zapisywanych w plikach (dyskowych). Tak więc poza programem symulacyjnym węzły i gałęzie sieci są reprezentowane przez rekordy typu *RekordWezla* i *RekordGalezi*, odpowiednio. Dalsza część opisu w tym rozdziale dotyczy takiej właśnie struktury danych. W stosunku do pakietu *SYMWOD* różnice sprowadzają się do dodatkowych pól w rekordach węzłów i gałęzi: stan i przepływ, zawierających informacje o poziomie zanieczyszczeń i ich rodzaju, natomiast rekord węzła został wzbogacony o informację o typie reguły rozdziału wody przy więcej niż jednym wypływie.

Przyjęto także następujące konwencje:

- węzły początkowe strumieni wejściowych z poza sieci mają numer 0 (źródła),
- węzły końcowe strumieni wyjściowych mają numer 100 (węzeł pochłaniający),

- numeracja elementów jest dowolna, lecz zaleca się zgodność z przewidywaną kolejnością obliczeń bilansów,
- maksymalna liczba węzłów = 30, maksymalna liczba gałęzi = 50 (w niektórych przypadkach, liczby te muszą być zmniejszone do wartości 20 i 30, odpowiednio, z uwagi na ograniczenie (w DOS-ie) rozmiarów struktur danych),
- numeracja funkcji przepływu (zależności nie sterowanych przepływów od stanu systemu) i numeracja funkcji (reguł) sterowania są niezależne (numery 1 .. 6) i odpowiadają porządkowi odpowiednich procedur *pascalowskich* w zbiorach FUNG.DAT i REGUŁY.DAT.

Tablica *WspółczynnikiFunkcji* zawiera zestawy czterech współczynników parametryzujących funkcje przepływu dla każdego okresu roku i pozwalających uwzględnić w modelu roczny cykl zmienności systemu wodnego. Znaczenie i wartości tych współczynników związane są postacią funkcji przepływu. Dla gałęzi sterowanych są to w szczególności dobierane (optymalizowane) parametry reguł decyzyjnych.

Jak widać dane węzłów i gałęzi zawierają pewną redundancję: w danych węzłów wprowadzono numery gałęzi wejściowych i wyjściowych, a dla gałęzi podaje się węzeł początkowy i końcowy. Z jednej strony umożliwia to weryfikację poprawności wprowadzanych danych, a z drugiej ułatwia manipulację danymi przy wprowadzaniu ich do obliczeń symulacyjnych.

Duża liczba i złożona struktura danych sieci wodnej skłaniają do wykorzystania specjalnego edytora, ułatwiającego operację wprowadzania i przeglądu tych danych.

## **b. Obsługa edytora danych sieci ECODANE**

Po uruchomieniu programu *ECODANE* (bezpośrednio pod DOS-em lub z programu *ECOTEST* przez opcję "DANE SIECI") operator ma do dyspozycji następujące możliwości:

- Informacja ogólna** - opis formatu rekordów zawierających dane sieci;
- Edytor** - edycja danych węzłów lub gałęzi ze zbioru wybranego jednym z dwóch poleceń:
- Wybór zbioru węzłów;**
- Wybór zbioru gałęzi;**
- Kopiowanie** - kopiowanie całych rekordów danych z jednego zbioru na inny;
- Schemat** - edycja schematu sieci opisanej przez wybrane zbiory danych węzłów i gałęzi;
- Koniec** - zakończenie pracy programu.

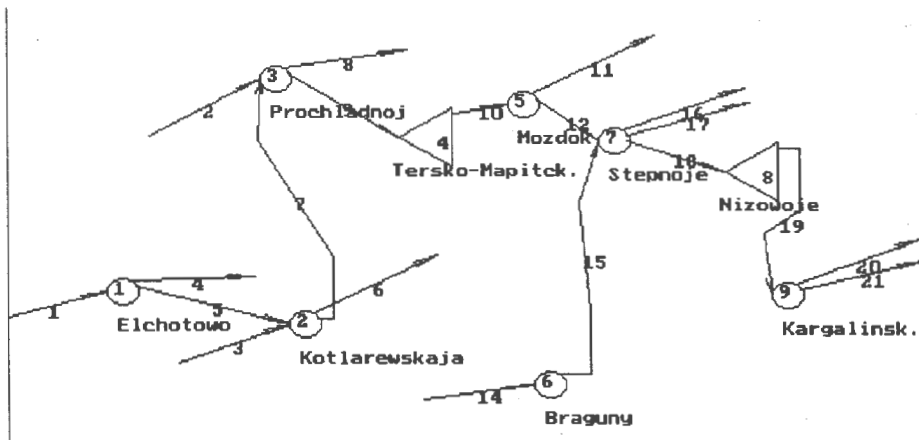
Podstawową opcją programu jest **Edytor**. Umożliwia ona czytania i zapis danych wybranego zbioru (węzły lub gałęzie). Obiektem edycji jest jeden wybrany element sieci (określony przez numer). Niektóre, bardziej rozbudowane pola rekordu (np. tablica współczynników funkcji przepływu gałęzi dla kolejnych okresów roku) są dostępne do edycji po wybraniu odpowiedniej nazwy na liście podstawowej, inne - prostsze, pojawiają się na ekranie wraz z tą listą. Na każdym etapie edycji program informuje w dolnym okienku informacyjnym ekranu o możliwych komendach i ich efektach. W

zasadzie każde pole rekordu danych musi być wprowadzone przez operatora. Dla ułatwienia inicjalizacji nowego elementu sieci wszystkie pola jego danych wypełnione są wartościami domniemanymi, które w wielu nie muszą być zmieniane. Dla danych tablicowych przewidziano też komendę, która pozwala wyzerować równocześnie całą tablicę. Tworzenie nowego elementu następuje wówczas, gdy jako numer elementu do edycji podamy liczbę, której wartość przekracza liczbę elementów już istniejących, a następnie odpowiemy twierdząco (T lub Y) na pytanie: "Czy tworzyć nowy element?".

W przypadku, gdy edycja polega na zmianie struktury sieci przy wykorzystaniu elementów już zapisanych na dysku, wygodnie jest posługiwać się opcją **Kopiowanie**. Umożliwia ona szybkie budowanie nowej struktury (np. mniejsza liczba elementów) z elementów poprzednio zdefiniowanych.

### c. Reprezentacja graficzna sieci

Opcja **Schemat** programu *ECODANE* (podprogram *ECOFIG*) pozwala, na podstawie zbiorów danych o węzłach i gałęziach sieci wodnej, wygenerować rysunek przedstawiający schemat tej sieci. Schemat ten umożliwia szybką kontrolę wzrokową poprawności danych strukturalnych oraz ułatwia orientację w numeracji elementów i ich kompletności. Poniżej (Rys. A.1) zamieszczono kopię ekranu komputera, przedstawiającą uproszczony schemat sieci wodnej rzeki Terk (północny Kaukaz) omawianej w pracach [68], [80].



Rys.A.1 Przykład schematu sieci wygenerowanego przez program.

Obsługa opcji **Schemat** dokonywana jest przez wybór z menu:

DANE  
RYSUJ

ZAPIS  
KONIEC

Opcja DANE pozwala wprowadzić nazwy zbiorów danych węzłów i gałęzi, opcja RYSUJ uruchamia automatyczną generację schematu i jego rysowanie na ekranie, opcja ZAPIS pozwala wykonać kopię ekranu z rysunkiem na dysku lub na drukarce.

### 3.. Generator ciągów wejściowych

#### (1) Struktura rekordów ciągu wejściowego

Zakłada się, że ciąg czasowy zmiennych wejściowych (niezależnych) do symulacji jest przygotowywany przed rozpoczęciem symulacji w postaci zbioru dyskowego (CIAGWE.DAT). Pozwala to prowadzić wielokrotne eksperymenty symulacyjne na tych samych ciągach czasowych w celu porównania różnych reguł sterowania, różnych poziomów poboru wody lub różnych stanów początkowych zbiorników. Ciąg taki może zawierać do 10-ciu zmiennych niezależnych, których wartości są określone dla 2 do 36 okresów roku w horyzoncie do 100 lat. Zmienne ciągu mogą reprezentować dowolne zmienne egzogeniczne modelowanego systemu: dopływy zewnętrzne, pobory użytkowników, stężenia zanieczyszczeń w dopływach (zrzutach użytkowników).

Struktura rekordów pliku danych wejściowych umożliwia zapis informacji dla zmiennej długości okresów roku. Oprócz wartości bieżących podane są wartości średnie (oczekiwane) poszczególnych zmiennych dla każdego okresu roku. Każdy rekord zawiera także informację opisującą jego położenie na osi czasowej (numer roku i numer okresu).

Poniżej (patrz także p.6.5.1) przedstawiono wyciąg z definicji typów i zmiennych używanych w programach pakietu do reprezentacji ciągów wejściowych oraz dystrybuant dla zmiennych, które są zmiennymi losowymi o danym rozkładzie:

```
const
  ILO=36;      (*maksymalna liczba okresów w roku *)
  KK=10;      (*liczba punktów dystrybuanty *)
  delta=10;   (*odstęp między punktami dystrybuanty na osi x *)
  KZ=10;      (*maksymalna ilość niezależnych zmiennych losowych w ciągu
*)
              (* wejściowym *)

type          { typy zmiennych opisujących ciąg wejściowy i jego
dystrybuanty}

T =array[0..KK] of real;      {tablica wartości dyskretnych dystrybuanty
zmiennej losowej}
TZs=array[1..KZ] of real;    {tablica zmiennych wejściowych dla jednego
okresu}

Okres = record                {rekord danych ciągu wejściowego (jeden
okres)}
  NrOkresu:byte;              { 1 .. 36}
  DlugoscOkresu:real;        { w miesiącach}
  Zmienna:TZs;               { wektor}
  WartoscOczekiwana:TZs;    { wektor}
end;
```

```

TR = array[1..Ilo] of okres;  {tablica zmiennych wejściowych dla całego
roku}

Rok = record                  {dane ciągu wejściowego dla jednego roku}
    NrRoku:word;             {dla ciągów historycznych rok
                             kalendarzowy}
    IleOkresow:byte;        {aktualnie przyjęta liczba okresów w
                             roku}
    IloscZmiennych:byte;
    ciagwe:TR;
end;

dyst = record                {dane dyskretnej dystrybuanty zmiennej losowej w
                             postaci unormowanej (zakres zmienności dla
                             każdej zmiennej i okresu przyjęty jako 100%}
    NrOkresu:byte;
    DlugoscOkresu:real;     { jak dla zmiennej wejściowej}
    dystrybuanta:T;        {tablica wartości}
    WartoscOcz:real;        {wartość oczekiwana lub średnia dla
                             okresu }
    WartoscMin:real;       {dolna wartość zakresu zmienności}
    WartoscMax:real;       {górną wartość zakresu zmienności}
end;

Fil =file of Rok;           {plik ciągu wejściowego o długości do 100 lat}

var                          {deklaracje zmiennych opisu ciągu wejściowego}
    wejście                 :okres;
    RokWejście              :rok;
    CiagWejście             :Fil;
    F                       {deklaracje zmiennych opisu dystrybuant}
    F                       :dyst;
    TabF                    :array[1..ILO] of dyst;
    ListaF                  :ListaDystrybuant;

```

Przyjęto, że dane liczbowe określające zmienne wejściowe podane są w następujących jednostkach fizycznych:

dopływy, pobory -  $m^3/s$   
 opad - mm/miesiąc  
 długość okresu - miesiące.

Jeśli zmienną wejściową jest stężenie zanieczyszczenia, jednostki będą zależne od typu zanieczyszczenia.

Wartości średnie, max, min zmiennych w takich jednostkach jak odpowiednie zmienne.

## (2) Obsługa programu ECOGEN

Obsługa polega na wyborze odpowiednich opcji z menu i wpisywaniu danych na żądanie programu. Operator określa nazwę roboczego pliku dyskowego, do którego jest wpisywany konstruowany ciąg i ewentualnie pliku z danymi o rozkładzie prawdopodobieństwa generowanej zmiennej losowej. Jeśli plik roboczy nie zawiera żadnych danych (nowo utworzony), należy wprowadzić ilość okresów w roku oraz rok i okres początku i końca ciągu. Następnie wybiera się sposób wpisywania danych oraz numer zmiennej. Dodatkowa opcja menu głównego umożliwia oglądanie na ekranie lub druk zawartości zbioru.

## 4.. Program symulacyjny

### (1) Scenariusz symulacji i jego zmiany

Program symulacyjny *ECOSYM* budowany jest jako program w języku *Turbo-Pascal* przy maksymalnym wykorzystaniu biblioteki *ECOSWM.TPU*, specjalnie zdefiniowanych procedur, co daje w efekcie prosty język symulacyjny. Elementami tego języka są instrukcje w *Turbo-Pascalu* oraz sekwencje wywołań procedur, których zadania oraz reguły kolejności występowania są specjalnie określone.

Głównym elementem (procedurą), który został zdefiniowany, jest procedura *SolveStage*, której wywołanie powoduje:

a) odczytanie z rekordu danych ciągu wejściowego danych dotyczących jednego etapu roku,

b) ewentualne wprowadzenie przez operatora zmian parametrów danego etapu

b) wykonanie obliczeń dla wszystkich węzłów i gałęzi sieci w zadanej kolejności (obliczane są przepływy etapowe i stany zbiorników na końcu etapu przy zadanych stanach początkowych oraz poziom zanieczyszczeń w zbiornikach na końcu etapu oraz zanieczyszczeń w strumieniach na początkach i na końcach gałęzi ).

Ze względu na przeznaczenie programu symulacyjnego do badań porównawczych, szczególną uwagę poświęcono możliwościom wariantowania danych. Do wprowadzania danych i ich zmian mogą być wykorzystywane trzy różne mechanizmy:

- procedury czytające zbiory dyskowe z przygotowanymi zestawami danych, (w tym danych o nazwach zbiorów źródłowych i docelowych),
- procedury pozwalające wprowadzić grupy danych w postaci parametrów w tekście źródłowym segmentu głównego programu,
- procedury konwersacyjne umożliwiające interwencje operatora w wybranych momentach w trakcie działania programu.

### (2) Struktura programu *ECOSYM*.

Prawidłowa struktura programu powinna zawierać conajmniej jedno wywołanie procedury *SolveStage* oraz wywołania procedur obsługowych:

- a) Procedury wprowadzania danych,
- b) Procedura nagłówka programu symulacyjnego,
- c) Procedury kontrolne,
- d) Procedury sterujące symulacją,
- e) Procedury zapisu wyników symulacji,

W praktyce segment główny programu symulacyjnego ma postać jak w przykładzie poniżej:

```
Program EcoSym;
```

```
uses Crt, Dos, EcodeF, Ecoobs, EcoReg, EcoSwm;
```

```
    {dołączenie biblioteki funkcji i procedur modeli elementów systemu:}
    {$I EcoFung.dat}
    {$I EcoReg.dat}
```



```

({$I EcoBil.dat}
{$I EcoPoll.dat}
begin { aktualizacja tablic wskaźników procedur bibliotecznych: }
  FunRegister;
  RegRegister;
  BillRegister;
  PollRegister;
  { wstępne ustawienie zmiennych komunikacji z operatorem:}
  symu_reczna:=true;
  odpowiedz:=' ';
  InitSym; { inicjuje ekran }
  if odpowiedz=ESC then exit;
  { określenie zbioru danych i czyta podstawowe parametry tych zbiorów }
  ReadData(standard,NazwaPliku[3],NazwaPliku[4],NazwaPliku[2], '');
  { wydruk kontrolny danych }
  ShowData(NazwaPliku[3],NazwaPliku[4],NazwaPliku[2]);
  { wprowadzenie danych o ilości okresów w roku }
  PutIntervals;
  { określenie nazwy zbioru wyników }
  WhereResults(NazwaPliku[5]);
  { ustawienie wartości stanu początkowego }
  Start;
  Showdata(NazwaPliku[3],NazwaPliku[4_],NazwaPliku[2]);

  repeat { petla dla lat }
    ReadYearData; { wprowadza dane jednego roku z ciągu we }
    repeat { petla dla etapów roku }
      SolveStage;
      PrintStage(2,Tetap,DataRok,0,4,nodes[1]^Stan.quant,
nodes[1]^stanPocz.quant,arcs[4]^XX.quant,0,0,0,0);
      SaveResults;
      CloseStage;
      { .... } { ...zmień dane etapu }
    until FinOfYear; { koniec pętli etapów roku }
    CloseYear;
    { ..... } { ... zmień dane roku }
  until FinOfSerie; { koniec petli dla lat }
  Finish; { po tej instrukcji usunięcie danych sieci }
  { ... } { .... zmień dane ciągu symulowanego i modelu }
}
end. { zakończenie programu }

```

Dzięki takiej strukturze programu zmiana w definicji funkcji lub procedury opisującej element sieci wymaga jedynie kompilacji segmentu głównego *EcoSym.pas* z dołączonymi zbiorami *EcoBil.dat*, *EcoPoll.dat*, *EcoReg.dat*, *EcoFung.dat*. Jeśli dołączane biblioteki nie są modyfikowane, a zmian modelu dokonujemy przez zmiany parametrów w danych sieci (także zmiany przypisania istniejących procedur modeli poszczególnym elementom sieci), nie wymaga to powtórnej kompilacji programu.

### (3) Funkcje przepływu, algorytmy sterowania i modele zanieczyszczeń

Ponieważ głównym celem badań symulacyjnych jest badanie efektów stosowania określonych algorytmów sterowania systemem wodnym, zbiory procedur określających przepływy gałęzi zostały wydzielone w formie plików *pascalowskich* dołączanych przy kompilacji programu ECOSYM.PAS. Zbiory te (ECOFUNG.DAT i COREG.DAT) zawierają listy procedur opisujących zależności przepływu od wielkości mierzonych (zmiennne systemu wodnego) i parametrów dobieranych (np optymalizowanych). W ten sam sposób dołączane są zbiory procedur modelowania procesów transformacji zanieczyszczeń i rozdziału wypływu ze zbiornika na kilka strumieni - ECO POLL.DAT

i ECOBIL.DAT . Jeśli chcemy wprowadzić nowe zależności do listy procedur, ponowna kompilacja programu *ECOSYM* jest niezbędna, natomiast, jeśli zmiany algorytmów polegają na zmianach przypisania poszczególnych procedur do poszczególnych gałęzi w ramach istniejącej listy - kompilacja nie jest potrzebna: wystarczy w zbiorze danych gałęzi zmienić numer identyfikujący odpowiednią procedurę. Zmiana taka jest możliwa w pełnym zakresie przez edycję danych sieci, natomiast w trakcie symulacji możliwa jest doraźna zmiana funkcji przepływu i algorytmów sterowania pojedynczych gałęzi w bieżącym okresie.

Dla użytkownika, który jest zainteresowany możliwościami ingerowania w wewnętrzną strukturę modeli elementów sieci istotna jest lista parametrów i zmiennych służących do wymiany informacji między tymi modelami i programem symulacyjnym. Zbiór zmiennych programowych, do których wartości mają dostęp procedury algorytmów sterowania (a także funkcje określające przepływy w gałęziach nie sterowanych i modele zanieczyszczeń) jest określony przez definicje w nagłówkach modułów *EcoDef* (cytowanego częściowo w rozdz.A.2.1) i *EcoReg* :

```
Unit EcoReg;

interface

  uses Dos,Ecoobs,Ecodef;

var ZmianaG:array[1..LL] of boolean;
    horyz:boolean;
    sequence:zmiana;
    Nodes: array [1..NN] of NodePtr; {wskazania danych wezlow sieci}
    Arcs: array [1.. LL] of ArcPtr; {wskazania danych galezi sieci}
    NoNode,FirstNode,Node,LastNode:NodePtr; {wskazania robocze wezlow}
    Fun:ArcFunType;    {zmienna funkcyjna okreslajaca sposob liczenia
przeplywu
                                galezi (funkcje przeplywu i reguly sterowania)}
    WskFun: array[1..6] of ArcFunRef; {wskazania zarejestrowanych funkcji
przeplywu}
    WskReg: array[1..6] of ArcFunRef; {wskazania zarejestrowanych regul
sterowania }
    WskPoll: array[0..6] of ModelRef; {wskazania zarejestrowanych procedur
transformacji zanieczyszczen}
    WskBil: array[1..3] of NodeDystrRef; {wskazania zarejestrowanych
procedur
                                liczenia rozplywow w wezlach}
    bilans:NodeDystrType; {zmienna proceduralna sposobu liczenia rozplywu
wezla}
    Flow:FlowType; {zmienna funkcyjna reprezentujaca sposob liczenia galezi}
    PollModel:ModelPol; {zmienna proceduralna reprezentujaca procedure
liczenia transformacji zanieczyszczen w
elemencie sieci}
    Spoj: array[1..NN] of real; {tablica pojemnosci zbiornikow}
    RP,RPP,r,r0,r00,Er: real;    {zmienne okreslajace opady lub doplywy z
opadów w jednostkach natezenia przeplywu
[m3/miesiac]}
    poj, {pojemnosc zbiornika}
    deltat, {dlugosc biezacego okresu dyskretyzacji}
    we,we_proгноza, {faktyczna i prognozowana suma doplywow do wezla dla
biezacego okresu}
    weloc, {zasoby okresowe: doplywy*deltat + stan poczatkowy zbiornika}
    wy,wyl, {suma wyplywow sterowanych i niesterowanych w biezacym
okresie}:real;
    IlG,IlZ, {rzeczywista liczba galezi i wezlow sieci}
    Ilol, {liczba okresow w roku}
```

```

Izm,      {liczba zmiennych egzogenicznych}
i,j,l,l,m, {liczniki petli obliczeniowych - lokalne w wielu
           procedurach}
k,        {numer iteracji (0 .. 4) liczenia sieci w procedurze SolveStage}
trokp,trokk, {rok początkowy i końcowy ciągu danych (daty)}
DataRok,trok, {bieżący rok symulacji (data)}
RokKoniec,EtapKoniec, {rok i okres końcowy horyzontu symulacji}
tetap,tetap1:word; {bieżący numer okresu i jego numer początkowy}
wej,Ewej:TZO; {tablice zmiennych egzogenicznych i ich wartości
              oczekiwanych (dane okresowe kopiowane z ciągu
              wejściowego)}
TablicaKolejnoscWezlow:TZI; {kolejność liczenia węzłów }

```

Korzystanie z tych zmiennych programowych na poziomie procedur i funkcji typu *ArcFunType*, *NodeDystrType* i *ModelPol* podlega istotnym ograniczeniom. Po pierwsze, mimo zdefiniowania, część zmiennych ma nieokreślone w trakcie działania programu wartości lub wartości nie aktualne w danej chwili. Po drugie, część zmiennych określa globalne dane systemu i nie mogą one być modyfikowane przy obliczeniach modeli. Dane dotyczące węzłów i gałęzi dostępne są dwoma drogami: modele gałęzi (węzłów) mają dostęp do rekordu danych aktualnie liczonej gałęzi (zmienna globalna *arc* lub odpowiednio *node*) i poprzez odpowiednie pola wskaźników w tym rekordzie do rekordów danych węzłów na początku i końcu liczonej gałęzi lub gałęzi wejściowych i wyjściowych liczonego węzła (adresowanie względne); tablice wskaźników *Arcs[1..LL]* i *Nodes[1..NN]* umożliwiają dostęp do danych dowolnego elementu sieci o określonym numerze (adresowanie bezwzględne). Drugi sposób wymaga założenia, że model elementu jest formułowany wyłącznie do użytku w konkretnej sieci. Bardziej uniwersalne modele można formułować korzystając z pierwszej drogi. Po trzecie, w żadnym przypadku procedury użytkownika nie mogą modyfikować wartości zmiennych wskaźnikowych. Ponieważ użytkownik ma dostęp do wszystkich zmiennych wskazywanych, co umożliwia ich modyfikację, należy przestrzec przed zbyt swobodnym manipulowaniem zmiennymi nie związanymi bezpośrednio z licznym elementem. Dla celów praktycznych należy przyjąć następującą listę parametrów i zmiennych przeznaczonych dla użytkownika:

- a) parametry zawsze dostępne, które nie mogą być modyfikowane w procedurach użytkownika:

*IIZ* - liczba węzłów sieci,

*IIG* - liczba gałęzi sieci,

*Izm* - liczba zmiennych wejściowych egzogenicznych,

*deltat* - długość bieżącego okresu dyskretyzacji,

*tetap* - numer bieżącego okresu,

*trok* - numer bieżącego roku,

*wej[1..Izm]*, *Ewej[1..Izm]* - wektory zmiennych wejściowych i ich wartości oczekiwanych,

*Spoj* - tablica pojemności zbiorników,

*r*, *Er* - opad i jego wartość oczekiwana,

*r0*, *r00* - opady poprzednich okresów,

*RP*, *RPP* - wartości oczekiwane opadów w poprzednich okresach,

*TablicaKolejnoscWezlow[1..NN]* - kolejność liczenia węzłów,

*arcs[1..LL]^* - rekordy danych gałęzi,

- nodes[1..NN]^* - rekordy danych węzłów,  
*ster[1..NN]* - podział gałęzi na sterowane i nie sterowane.
- b) parametry, które są określone i dostępne w chwili wywołania procedur ze zbioru ECOBIL i ECO POLL (dla tego ostatniego w wariantach *pnode* i *pstock*):  
*we* - suma dopływów aktualnie liczonego węzła,  
*we\_prognoza* - suma prognoz dopływów aktualnie liczonego węzła,  
*weloc* - suma zasobów węzła (*stan zbiornika* + *we\*deltat*),  
*wy, wyl* - sumy wypływu sterowanego i nie sterowanego aktualnego węzła,  
*node^* - rekord aktualnie liczonego węzła (niektóre składowe tego rekordu mogą lub powinny być modyfikowane - patrz niżej)
- c) parametry dostępne dodatkowo w czasie obliczania gałęzi:  
*arc^* - rekord aktualnie liczonej gałęzi (niektóre składowe tego rekordu mogą lub powinny być modyfikowane - patrz niżej)
- d) zmienne, których wartości są obliczone:  
 - w funkcjach typu *ArcFunType* (w zbiorach ECOFUNG.DAT i COREG.DAT) są to  
*arc^.xx.quant* - wartość funkcji przepływu, gdy *prognoza=false*,  
*arc^.xx\_prog.quant* - wartość funkcji przepływu wykorzystana jako prognoza, gdy *prognoza = true*,  
 - w funkcjach typu *NodeDystrType* (w zbiorze ECOBIL.DAT)  
*node^.stan.quant* - stan końcowy zbiornika (w przypadku węzła bez pojemności sygnalizacja błędu), jako wartość funkcji,  
*poła xx.quant* i *x\_prog.quant* rekordów gałęzi wyjściowych liczonego węzła, w wyniku wywołania funkcji *p^(wskaźnik gałęzi)*  
*wy, wyl* - sumy sterowanych i niesterowanych wpływów węzła,  
*OgrS* - przekroczenia ograniczeń dolnych lub górnych stanu zbiornika,  
 - w procedurach typu *ModelPoll* (zbiór ECO POLL.DAT) oblicza się:  
 w przypadku *psource* lub *pflow* (tj dla gałęzi) :  
*arc^.XX.pollut^* - wektor zanieczyszczeń na początku gałęzi (dla gałęzi wejściowych *psource*)  
*aqua.pollut^* - wektor zanieczyszczeń po transformacji, który, zależnie od kontekstu, oznacza  
 procedury modeli *arc^.Y.pollut^* - wektor zanieczyszczeń na końcu gałęzi,  
 lub  
*arc^.X\_prog.pollut^* - prognoza " - ",  
 w przypadku *pnode* lub *pstock* :  
*node^.Stan.pollut^* - wektor zanieczyszczeń w zbiorniku na końcu okresu,  
*StanRob.pollut^* - wektor zanieczyszczeń na wyjściu węzła w bieżącym okresie.

Dla każdej gałęzi (sterowanej lub nie sterowanej) dysponujemy sześcioma postaciami zależności określających przepływ, które można wymieniać bez potrzeby kompilacji programu. Podobnie dla modelowania zanieczyszczeń w węzłach i gałęziach przewidziano 6 typów modeli. Bilansowanie deficytów wpływów węzłów może być oparte na jednej z trzech postaci procedury. Ponadto, zależnie od postaci wybranej procedury, jest możliwe użycie jednego do czterech parametrów o wartościach

określanych dla każdego okresu w roku (tablice tych parametrów zawarte są w rekordach opisujących gałęzie w zbiorze GALEZIE.GAL lub analogicznym i ich wartości dla każdego okresu są kopiowane do rekordu *arc*) - oczywiście modyfikacja modelu przez zmianę wartości tych parametrów również nie wymaga ponownej kompilacji.

#### (4) Podstawowe procedury biblioteczne

Do budowy prostego scenariusza symulacji poza omówionymi wyżej procedurami i słowami kluczowymi *Turbo-Pascala* wykorzystuje się skompilowane moduły Ecodef, Ecoobs, EcoReg i EcoSwm zawierające definicje zmiennych i procedury obsługowe i uniwersalne algorytmy obliczeniowe. Poniżej przedstawiono wyciąg z tekstu źródłowego modułu EcoSwm.tpu, który zawiera w zasadzie wszystkie procedury i funkcje potrzebne do budowy scenariusza symulacji.

```

procedure InitSym; {naglowek programu}
Function Surface(Wsp:T6;objetosc:real):real;{obliczanie powierzchni
zbiornika}
Function Level(Wsp:T6;objetosc:real):real;{ obliczanie poziomu wody w
zbiorniku}
Procedure SymError(i:byte); {obsługa błędów wykonania programu symulacji}
Procedure ObliczGalaz(arc:ArcPtr); {obliczanie przepływu gałęzi i jego
prognozy}
Procedure SolveNode(j:word;var wezel:NodePtr;
                    delta:real); {jedna iteracja obliczenia wezła
dla jednego okresu}
procedure ReadData(sequence:zmiana;nazwa1,nazwa2,nazwa3,nazwa4:Gstring
g);{określenie nazw zbiorów dyskowych, z których czytane są
dane}
procedure ShowData(nazwa1,nazwa2,nazwa3:Gstring);{wyswietlenie na
ekranie wyciągu z danych zawartych w 3 zbiorach: danych
wezlow, galezi i ciagu wejsciowego}
procedure PutInitialState; {konwersacyjne wpisanie stanów początkowych
zbiorników}
procedure FixIntervals(a,b,c,d:word);{programowe ustawienie horyzontu
symulacji}
procedure PutIntervals;{konwersacyjne ustalenie horyzontu symulacji}
procedure ReadParameters( NazwaP:Gstring;var ex:boolean);{określenie
zbioru dyskowego z parametrami symulacji}
procedure WhereResults(NazwaP:Gstring);{określenie zbioru do zapisu
wyników}
procedure SolveStage; {obliczenie sieci dla jednego okresu}
procedure PrintStage(i,int1,int2,int3,r:word;
                    re1,re2,re3,re4,re5,re6,re7:real); {druk okresowych
wartości (dla bieżącego okresu) listy parametrów}
procedure SaveResults;{zapis kompletu wyników obliczeń bieżącego okresu}
procedure Start; {inicjalizacja zmiennych symulacji}
procedure CloseStage;{przeniesienie wyników okresowych jako danych do
kolejnego okresu}
procedure CloseYear;{zerowanie licznika okresów i zmiana daty (roku)}
procedure Finish;{czynności końcowe: zapis ostatnich wyników i zamknięcie
zbiorów}
procedure ReadYearData;{czytanie kolejnych danych z ciągu wejściowego}
function FinOfYear:boolean;{detekcja końca roku}
function FinOfSerie:boolean;{detekcja końca ciągu danych lub horyzontu
symulacji}

```

#### (5) Uruchomienie symulacji

a) W środowisku zintegrowanym przez uruchomienie opcji SYMULACJA-WYKONAJ w menu programu *ECOTEST* po wybraniu języka

komunikatów

b) Jako niezależny program pod DOS-em:

ECOSYM<ENTER> lub

ecosym p<ENTER>

W obu przypadkach wymagane jest, aby w chwili wywołania programu w katalogu DATA lub, jeśli taki nie jest zdefiniowany, to w katalogu roboczym, znajdowały się trzy zbiory danych: ciąg zmiennych wejściowych, dane węzłów i dane gałęzi o nazwach określonych w zbiorze PLIKI.DAT lub domniemanych (patrz wyżej), jeśli taki zbiór nie jest dostępny w katalogu roboczym.

Z uwagi na szybkość działania programu symulacyjnego zaleca się, aby w miarę możliwości katalog DATA był umieszczony na RAM-dysku.

Należy także przewidzieć, że w wyniku działania programu symulacyjnego zostaje utworzony zbiór wyników o nazwie i katalogu określonym analogicznie do zbiorów danych (nazwa domniemana tego zbioru: RAPORT.WYJ). Jeśli więc na ścieżce działania programu istnieje już zbiór o takiej nazwie to symulacja nie zostanie rozpoczęta bez zgody operatora na zamazanie starego zbioru. Należy także przewidzieć, że rozmiar tego zbioru rośnie wraz z liczbą elementów sieci wodnej oraz z czasem trwania symulowanego procesu (łączna liczba etapów) i przy symulacji okresów kilkudziesięcioletnich może łatwo osiągnąć kilkaset KBajtów. Nie jest więc wskazane bezpośrednie zapisywanie wyników na dyskietkach z małą gęstością zapisu (360 kB). Uwaga ta dotyczy również korzystania z RAM-dysku dla katalogu DATA, w którym znajduje się również zbiór wyników. Jeśli przewidujemy duży zbiór wyników, a równocześnie chcemy korzystać z RAM-dysku dla zbiorów danych do symulacji, wówczas katalog DATA pozostawiamy niezdefiniowany, natomiast w zbiorze PLIKI.DAT zamiast nazw odpowiednich zbiorów, użyjemy pełnych ścieżek dostępu, np.:

D:\[SUBDIR\]CIAGWE.DAT

D:\[SUBDIR\]WISLA.W

d:\[SUBDIR\]WISLA.G

**Uwaga:** Powyższa procedura instalacyjna dotyczy programu symulacyjnego, w którym segment główny ECOSYM.PAS specyfikuje nazwy zbiorów jako parametry (jak w przykładzie poniżej), a nie jako wartości. Pisząc ten segment można niezależnie działanie programu (całkowicie lub częściowo) od konfiguracji CONFIG.SYM i PLIKI.DAT przez zastąpienie zmiennych globalnych *Katalog*[1..3] i *NazwaPliku*[1..10] odpowiednimi wartościami tekstowymi katalogów i nazw zbiorów.

## 5.. Opracowywanie wyników symulacji

### (1) Format zbioru wyników

Wyniki symulacji zapisywane są w zbiorach dyskowych w formie ciągu rekordów pascalowskich (patrz także definicje stałych i zmiennych w rozdziale A.2.1):

```
RekordEtapu = record           {rekord wyników symulacji dla jednego okresu}
                KolejnyRok, Etap:word;
```

```

Zmienna:TZm;
PrzeplywGalezi:array[1..LL] of AllWater;
StanZbiornika:array[1..NN] of AllWater;
OgraniczenieP:array[1..LL] of real;
OgraniczenieS:array[1..NN] of real;
end;

```

Liczba rekordów w zbiorze równa jest liczbie okresów w ciągu symulowanym + 1 (ostatni rekord zawiera stany końcowe zbiorników). Ze względu na parametry LL i NN w opisie rekordów, program korzystającym z wyników symulacji powinien być kompilowany z tym samym modułem SYMDEF.TPU, który był użyty do kompilacji programu ECOSYM.EXE. Pozwala to uniknąć ewentualnej niezgodności wymiarów tablic.

## (2) Obsługa programu *ECORES*

Program uruchamia się z menu programu *ECOTEST* lub bezpośrednio komendą DOS-a : *ECORES*<ENTER>

Bezpośrednio po uruchomieniu i wyświetleniu nagłówka pojawia się Menu główne programu *ECORES*:

- Wybor Zbioru** - wybór nazwy zbioru wyników z dysku
- Wybor Sieci** - wybór nazw zbiorów danych sieci (z dysku)
- Wybor Horyzontu** - określenie przedziału czasu obserwacji
- Wybor Zmiennych** - wybór 1..4 zmiennych do obserwacji
  - Wykresy** - wyświetlenie wykresów dla danych określ. wyżej
  - Raporty** - obliczanie i wyświetlanie wybranych wskaźników
  - Przeogl.rys.** - wyświetlanie zapamiętanych na dysku rysunków
  - Dystryb.** - wykresy dystrybuant zmiennych wejściowych
  - Koniec** - zakończenie pracy programu

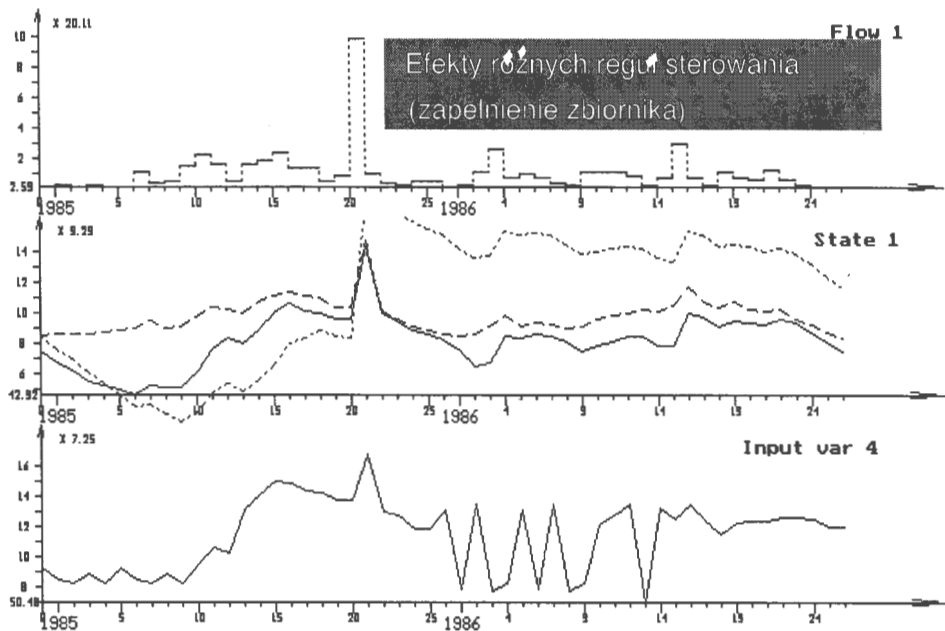
Pierwsza opcja menu musi być użyta przynajmniej raz po uruchomieniu programu. Może być pominięta tylko w przypadku, gdy korzystamy tylko z opcji 7 (**Przeogląd rysunków**).

Opcja 2 służy do uzyskania informacji o liczbie węzłów i gałęzi sieci i ułatwia korzystanie z opcji 4. Opcja 3 i 4 muszą być uruchomione przed opcją 5 (**Wykresy**) i 6 (**Raporty**)

## (3) Podstawowe funkcje programu *ECORES*

### (a) Wykresy przebiegów czasowych

Jednym z wygodniejszych sposobów analizy wyników symulacji jest obserwacja przebiegów czasowych równocześnie różnych zmiennych procesu (np. Rys.A.2). Ze względu na dużą naogół liczbę zmiennych i długi horyzont symulacji (50 lat i więcej) program zapewnia możliwość wyboru 1 - 4 zmiennych do jednoczesnego wykreślenia oraz dowolnego odcinka czasu z symulowanego przedziału (długość tego odcinka może wynosić od 2 do 99 okresów -- to znaczy do około 4 lat przy 26 okresach w roku).



Rys.A.2 Przykład nałożenia wykresów uzyskanych w różnych eksperymentach symulacyjnych (różne reguły sterowania)

(b) Porównywanie różnych przebiegów

Szczególnie przydatna do porównywania lokalnych skutków różnych sposobów sterowania jest metoda nakładania przebiegów czasowych uzyskanych w różnych wariantach symulacji. Operacja porównywania wykresów jest możliwa do wykonania, jeśli dysponujemy wieloma ciągami wyników symulacji zapisanymi w zbiorach dyskowych i w ciągach tych występuje jeden wspólny przedział czasu (ogólnie horyzonty czasowe ciągów nie muszą być identyczne).

Operację porównania rozpoczyna się od wykonania wykresu grupy zmiennych jednego ciągu w określonym przedziale czasu (jak w punkcie wyżej). Następnie klawiszem F4 uruchamiamy opcję porównywania. Po wpisaniu nazwy zbioru z drugim ciągiem wyników program odnajduje w nim zmienne określone wyżej w tym samym horyzoncie czasu i nakłada ich wykresu na odpowiednie wykresy pierwszego ciągu (np. Rys.A.2). W ten sam sposób można nałożyć wykresy większej liczby ciągów symulowanych.

Pojedynczy wykres 1 oznacza, że odpowiednie zmienne miały przebiegi jednakowe we wszystkich trzech eksperymentach (w tym przypadku, zmienne wejściowe niezależne od wariantu sterowania).



(c) Statystyki i wskaźniki syntetyczne

Zgodnie z rozważaniami rozdz. 3 należy brać pod uwagę wiele możliwości analizy statystycznej wyników symulacji (3.1),(3.4 - 3.11),(3.12 - 3.17). Wybór metod obliczeń podyktowany jest zarówno uwzględnianymi celami sterowania, jak też cechami scenariuszy symulacji, długością ciągów wejściowych i charakterystykami stochastycznymi. Z tego względu w programie przewidziano możliwość dołączanie dowolnych procedur obliczeniowych według potrzeb eksperymentatora. W charakterze przykładu program aktualnie dysponuje procedurami obliczającymi sumy poborów wody przez poszczególnych użytkowników w zadanym horyzoncie czasu oraz liczenie liczby przypadków przekroczenia ograniczeń przez wybrane zmienne. Podobnie jak w przypadku modeli elementów sieci, operator ma możliwość definiowania różnych procedur obliczeniowych wskaźników syntetycznych (w pliku ZADANIA.PAS), których zmiana wymaga kompilacji jedynie pliku ECORES.PAS bez zmiany jakiegokolwiek z modułów \*.TPU. Procedury te mogą korzystać ze wszystkich zmiennych globalnych programu *ECORES*, których wartości zostają określone po wybraniu pliku wyników, horyzontu obserwacji i 1 .. 4 zmiennych obserwowanych.

Niezależnie od tych możliwości istnieje możliwość obliczania histogramów i dystrybuant wybranych zmiennych z wyników symulacji przy wykorzystaniu programu *ECOGEN*: po skopiowaniu wyników symulacji do zbioru w formacie ciągu wejściowego, dystrybuanty liczy się w ten sam sposób jak dla ciągów wejściowych historycznych. Zgodnie z założeniem istotnej okresowości procesów symulacji, dystrybuanty są liczone oddzielnie dla każdego okresu roku.

(d) Druk raportów

Jako uzupełnienie powyższych funkcji programu przewidziano możliwość wyprowadzania na drukarkę (plik dyskowy) zarówno wszystkich sporządzanych wykresów, jak również tablic z wynikami numerycznymi. Te ostatnie mogą być również importowane do środowiska WINDOWS (np. do pakietu EXCEL) w celu dalszej obróbki.



---

---

Michał Inkielman

SYMULACYJNE METODY ANALIZY STEROWANYCH  
WIELOZBIORNIKOWYCH SYSTEMÓW WODNYCH

Praca stanowi opracowanie syntetyczne badań nad zastosowaniem metod obliczeniowych i symulacyjnych do rozwiązywania zadań sterowania zasobami wodnymi w skali regionalnej w horyzoncie rocznym i wieloletnim. Celem pracy jest przedstawienie metodologii modelowania systemowego w zastosowaniu sterowania systemem wodnym, który jest systemem hydrologicznym, ekonomicznym, technicznym i ekologicznym równocześnie. Wyniki zaadresowane są do specjalistów i pracowników badawczych pracujących w dziedzinie zastosowania badań systemowych dla gospodarki wodnej. W pracy przedstawiono system wodny jako obiekt sterowania, metody sterowania oraz sposoby oceny efektywności podejmowanych decyzji. Szczególną uwagę poświęcono analizie metod sterowania, opartych na koncepcji tzw. reguł decyzyjnych i zagregowanych modeli optymalizacyjnych oraz ich weryfikacji na drodze symulacji. Rozważane są problemy skuteczności reguł sterowania ocenianych z punktu widzenia różnorodnych kryteriów, w tym także z punktu widzenia wpływu sterowania ilościowego zasobami na parametry jakości wody.

Omówiono także zagadnienia praktyczne związane z budową pakietu komputerowego realizującego zadania konstruowania modeli symulacyjnych, generowania scenariuszy symulacji i analizy wyników. Przy konstrukcji modeli symulacyjnych wykorzystano obiektowo zorientowaną strukturę programu komputerowego i topologię sieci systemu wodnego. Podejście to pozwala formułować modele różnych elementów systemu na dowolnym poziomie szczegółowości, rozwijać je lub agregować, w zależności od potrzeb i dostępności danych, bez potrzeby przebudowy programu.

ISBN 83-85847-31-6

ISSN 0208-8029

---

---

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN,  
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa  
tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl