

dr Liwiusz SIEMIANOWSKI

Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi  
University of Humanities and Economics in Lodz

## SYSTEMY EKSPERTOWE WE WSPOMAGANIU ZARZĄDZANIA KOMPONENTAMI ŚRODOWISKA

### Streszczenie

**Wstęp i cel:** W pracy zaprezentowano zastosowania wybranych systemów ekspertowych we wspomaganii zarządzania komponentami środowiska. Przedstawiono ogólny model oraz typologie systemów ekspertowych dla wspomaganii podejmowania decyzji w działaniach zarządzania i ochrony środowiska. Scharakteryzowano wybrane systemy United States Environmental Protection Agency - U.S. EPA: EXAMS II - Exposure Analysis Modelling System II oraz system FGETS - Food and Gill Exchange of Toxic Substances Simulation System. Wyszczególniono szereg przykładów systemów ekspertowych klasy symulacyjno-prognostycznej jak systemy CORMIX I/II - Cornell University on Mixing Zone Model Expert System, HSPF, SWMM, WASP i in. Systemy znajdują m.in. zastosowanie we wspomaganii analizy i oceny stanu środowiska wodnego oraz wspomaganii decyzji w dziedzinie ochrony i zarządzania komponentami środowiska.

**Materiał i metody:** Metody syntezy, przegląd literatury.

**Wyniki:** Wskazanie przydatności systemów ekspertowo-symulacyjnych z celowością ich dalszego rozwoju i adaptacji.

**Wniosek:** Możliwość wykorzystania i adaptacji pakietów systemów ekspertowych w diagnozowaniu oraz wspomaganii podejmowania decyzji w ochronie i zarządzaniu komponentami środowiska oraz w dydaktyce.

**Słowa kluczowe:** Systemy ekspertowe US.EPA, EXAMS II, FGETS.

(Otrzymano: 01.06.2018; Zrecenzowano: 11.06.2018; Zaakceptowano: 30.06.2018)

## EXPERT SYSTEMS FOR ENVIRONMENT MANAGEMANT SUPPORT

### Abstract

**Introduction and aim:** The selected expert systems for support the environmental management and protection were presented. The general model of environmental expert system for decision support for management and analysis of the environment condition were depicted. Selected examples of expert systems from United States Environmental Protection Agency - U.S. EPA were shortly characterized. There were systems for analyzing the water environment as EXAMS II - Exposure Analysis Modelling System II and FGETS - Food and Gill Exchange of Toxic Substances Simulation. A few another systems especially for the prediction and simulation the water environment parameters were pointed: CORMIX I/II - Cornell University on Mixing Zone Model Expert System, HSPF, SWMM, WASP and others. Systems are found, among others application in supporting the analysis and assessment of the condition of the water environment and supporting decision in the field of protection and management of environmental components.

**Material and methods:** method of synthesis, bibliographical review

**Results:** Pointing the useful functionality the expert system in Environmental management protection and didactics. Pointing the possibility of adapting and developing mentioned systems.

**Conclusion:** Usability the depicted expert systems in supporting processes of decision making and performing didactics.

**Keywords:** Expert systems for environment protection, U.S. EPA systems: EXAMS II, FGETS.

(Received: 01.06.2018; Revised: 11.06.2018; Accepted: 30.06.2018)

## 1. Wprowadzenie i cele

Wspomaganie procesu racjonalnego podejmowania decyzji wymaga zastosowania technologii i narzędzi komputerowych dla przygotowania wariantów decyzji oraz sporządzania analiz i ocen stanu środowiska. Zastosowania technologii informatycznej zapewniają efektywną realizację zadań, stawianych celów w ochronie i zarządzaniu komponentami środowiska oraz przestrzeganiu określonych normatywów. Służą przeciwdziałaniu i zapobieganiu degradacji środowiska poprzez wspomaganie kontroli dotrzymywania parametrów fizyko-chemicznych w wyznaczonych bezpiecznych granicach wartości.

Celem artykułu jest zaprezentowanie zastosowania wybranych systemów ekspertowych we wspomaganie zarządzania komponentami środowiska, w szczególności w ocenie wskaźników dotyczących jakości wód powierzchniowych.

Komputerowe systemy wspomagając ocenę i wybór wariantów decyzji określono mianem systemów wspomaganie decyzji (*ang. DSS - Decision Support System*).

Ogólny model struktury funkcjonalnej systemu wspomaganie decyzji obejmuje [8] podsystem zarządzania danymi - bazę wiedzy oraz podsystem modelowania i dialogu z użytkownikiem. Wyróżnione elementy DSS stanowią: bazę danych/wiedzy, generator modelu odpowiadający danej sytuacji decyzyjnej, moduł diagnostyki określonej klasy problemów oraz interface użytkownika.

Dialog i definicje modelu stanowią narzędzia realizacji podstawowego celu systemu tj. wspomaganie decyzji w wyborze sposobu działania. Zapewnia określenie semantyki oraz translacje terminologii użytkownika na wewnętrzne słownictwo systemowe.

Zarządzanie danymi zapewnia baza danych z mechanizmami dostępu do danych. Ponadto model struktury funkcjonalnej systemu wspomaganie decyzji obejmuje słowniki danych systemu, układ interpretujący polecenia dotyczące danych, moduły łączenia i wymiany danych oraz pozyskiwania źródeł.

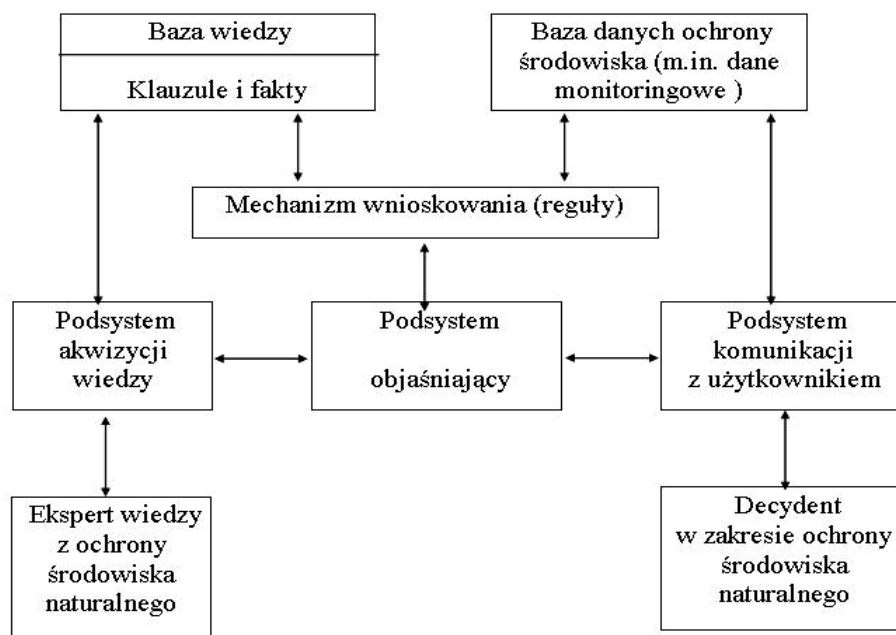
Podsystem zarządzania modelami zawiera bazę modeli z możliwością tworzenia, modyfikacji, wyszukiwania i analizowania poszczególnych parametrów oraz przebudowy i doskonalenia lub adaptacji modeli i słownika danych. Umożliwia przechowywanie rezultatów modelowania do późniejszego wykorzystania. Doskonalenie systemów wspomaganie decyzji DSS doprowadziło do wykształcenia nowej klasy technologii informacyjnych - systemów ekspertowych (*ang. Expert Systems - ES*).

System ekspertowy SE - (*ang. expert system*) stanowi komputerowy system umożliwiający wnioskowanie i udzielanie odpowiedzi na podstawie zgromadzonej specjalistycznej wiedzy. System ekspertowy tj. doradczco - decyzyjny [1], [4], [5], [9] stosowany jest w szczególności do problemów których rozwiązanie wymaga metod nie tylko algorytmicznych lecz heurystycznych (*gr. Heurisko - znajduję*).

Ogólny model budowy [8] systemu ekspertowego dla wspomaganie zarządzania komponentami środowiska został przedstawiony na rysunku 1.

W strukturze funkcjonalnej systemu ekspertowego dla oceny i wspomaganie decyzji w ochronie poszczególnych komponentów środowiska wyróżniono elementy:

- baza wiedzy (*ang. knowledge-base*),
- bazy danych (*ang. data bases including monitoring data ...*) m.in. z danymi monitoringu środowiska,
- mechanizm wnioskowania (*ang. inference engine*), z określonymi zestawami reguł w modelach,
- podsystem akwizycji wiedzy (*ang. expert knowledge aquisition*) od eksperta zapewniający wspomaganie implementacji modeli do systemu,
- podsystemy komunikacji z użytkownikiem (*ang. user interface*) - decydemem,
- podsystem objaśniający (*ang. explanation subsystem*).



Rys. 1. Ogólny model struktury funkcjonalnej systemu ekspertowego w ochronie środowiska [8]

Fig. 1. General model of functional structure of the environmental management support expert system [8]

Główne elementy systemu ekspertowego stanowią baza wiedzy (*ang. knowledge base*) i mechanizm wnioskowania (*ang. inference engine*) oraz interfejs komunikacyjny. Zapewniają realizację szczególnej cechy systemu ekspertowego jaką stanowi możliwość uzasadniania przebiegu wnioskowania i proponowanej decyzji, diagnozy lub rozwiązania.

Systemy DSS-ES dla zastosowań ekonomicznych i ochrony środowiska zapewniają obok manipulacji danymi i modelami, również możliwości wizualizacji, wykorzystanie metod statystycznych, analizę ryzyka, optymalizację, symulację itd.

Systemy ekspertowe stanowią rodzaj technologii informatycznej w zakresie systemów wspomaganie decyzji DSS zaliczane jednocześnie do realizacji idei sztucznej inteligencji obok sztucznych sieci neuronowych ANN (*ang. Artificial Neural Networks*).

Sztuczna inteligencja AI (*ang. Artificial Intelligence*) określana jako zdolność komputera do odwzorowania ludzkiej umiejętności rozwiązywania postawionego zadania. Sztuczne sieci neuronowe zaprojektowano celem odzwierciedlenia procesów myślowych sieci neuronów mózgu człowieka. Technologia ANN wykorzystywana jest m.in. w modelowaniu procesów, prognozowaniu i sterowaniu. Dotyczy zagadnień rozpoznawania obrazów, komunikacji z komputerem w języku naturalnym tj. uzyskania przez maszynę zdolności do rozpoznawania i rozumienia zdań, udowadniania twierdzeń, wyprowadzania wniosków.

Narzędzia Sztucznych Sieci Neuronowych okazują się również pomocne w obszarze wspomaganie prognozowania parametrów jakości środowiska oraz wspomaganie decyzji w zarządzaniu komponentami środowiska.

W dziedzinie ekonomii i ochrony środowiska przy zastosowaniu ANN zostały m.in. zaprojektowane modele oceny skuteczności [6] prowadzenia wspólnej polityki rolnej Unii Europejskiej (*ang. CAP - Common Agricultural Policy*).

Systemy wspomaganie decyzji znajdują miejsce w regionalnych systemach wspomaganie zarządzania środowiskiem [7] i Państwowym Systemie Monitoringu Środowiska realizowanym przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska, ponadto zapewniają wspomaganie wykonywania ocen stanu środowiska z modelami prognozowania zanieczyszczenia powietrza, parametrów fizyko-chemicznych jakości wód powierzchniowych i innych komponentów.

## 2. Ogólna typologia systemów ekspertowych wspomaganie zarządzania środowiskiem

Technologia systemów ekspertowych znajduje zastosowanie w dziedzinie zarządzania i ochrony i wspomaganie zarządzania komponentami środowiska szczególnie od połowy lat osiemdziesiątych.

W rozwoju technologicznym wyróżniono [12] wg kryterium zastosowania funkcjonalnego szereg grup systemów ekspertowych:

- ⟨1⟩ Interpretacyjne Systemy Ekspertowe (*ang. Interpretation Expert Systems*),
- ⟨2⟩ Nakazowo-zaleceniowe Systemy Ekspertowe (*ang. Prescription or Debugging Expert SYSTEM*),
- ⟨3⟩ Progностyczno-symulacyjne systemy ekspertowe (*ang. Expert Systems for Prediction and Simulation*),
- ⟨4⟩ Kompozycyjno-konfiguracyjny system ekspertowy (*ang. Design and Configuration Expert Systems*),
- ⟨5⟩ Systemy Ekspertowe planowania (*ang. Planning Expert Systems*),
- ⟨6⟩ Systemy ekspertowe sterowania i monitoringu (*ang. Monitoring and Control Expert Systems*),
- ⟨7⟩ Systemy ekspertowe diagnozująco-korygujące (*ang. Diagnosis and Repair Expert Systems*) zbliżone funkcjonalnie do podklasy II,
- ⟨8⟩ Systemy Ekspertowe szkoleniowe (*ang. Expert Systems for Instruction*).

Zadaniem systemu ekspertowego interpretacyjnego (typ ⟨1⟩) jest określenie aktualnego stanu rozważanego zagadnienia poprzez porównywanie opisów z modelem opartym na regułach spodziewanego zachowania zjawiska. Zastosowania systemów ekspertowych typu interpretacyjnego dotyczyły zadań jak: identyfikacja szkodników lucerny, identyfikacja szczepów chwastów, wybór alternatywnych miejsc pod uprawę, określenie stanu rzeki w oparciu o pomiary jakości wody.

Zadaniem Ekspertowych Systemów diagnozujących (typ ⟨7⟩) oraz zbliżonego funkcjonalnie typu ⟨2⟩ jest identyfikowanie problemu (stawianie diagnozy) oraz wskazywanie możliwych działań zaradczych dla skorygowania lub eliminacji problemu. Spotykane zastosowania systemów ekspertowych (typ ⟨7⟩) dotyczyły zarządzania uprawami winogron, produkcji mlecznej, rozpoznawania i zwalczania szkodników w przechowywanym ziarnie/zbożu, pszenicy, roślin tropikalnych.

Diagnostyczne systemy ekspertowe dla gospodarki leśnej zapewniały, m.in. określanie niedoborów składników odżywczych w wybranych gatunkach świerku oraz szybkiego zestawiania środków i potrzebnego wyposażenia w akcji ratowniczej podczas pożarów lasów

Progностyczno-symulacyjne systemy ekspertowe (typ ⟨3⟩) [12] zapewniają określanie prawdopodobnych następstw danej sytuacji oraz testowanie scenariuszy alternatywnych. Bazę reguł progностycznych skonstruowano w oparciu o modele statystyczne i symulacyjne. Przykładowe systemy ekspertowe tej klasy: GOSSYM - Comax - dot. przewidywania wielkości zbiorów bawełny, SOYGRO dot. upraw soi, COTFLEX: pozwalające np. określić scenariusz rozwoju szkodników bawełny, SWMM – dot. spływu wód burzowych.

Progностyczno-symulacyjne systemy ekspertowe dotyczą również modelowania gospodarki leśnej i z uwzględnieniem strat z powodu szkodników, symulowania migracji zwierzyny płowej w tym łośi na pastwiska leśne. Systemy ekspertowe tej klasy dotyczą również symulowania procesów hydrologicznych i rozprzestrzeniania zanieczyszczeń wprowadzonych do wód płynących (CORMIX I i II), dynamiki związków azotowych lub pestycydów (PRZM) w glebie oraz osadów na brzegach zbiorników wodnych.

Zadania systemów ekspertowych typu kompozycyjno-konfiguracyjnego (typ ⟨4⟩) stanowi wybór stosownej opcji z zestawu predefiniowanych wariantów dla uzyskania celu. W syste-

mie ekspertowym tego typu nie przewidziano innowacyjnego lub koncepcyjnego łączenia nowych elementów dla znalezienia rozwiązania. Systemy ekspertowe kompozycyjno-konfiguracyjne stosowane są w planowaniu systemów gospodarki rolniczo-leśnej (*ang. agroforestry*), doborze herbicydów (chemicznych środków chwastobójczych) w uprawie buraka cukrowego oraz określania wielkości plonów/zbiorów.

Systemy ekspertowe planowania (typ <5>) zapewniają całościowe określenie szczegółowych procedur postępowania przed rozpoczęciem działań na podstawie zadanych kryteriów. Systemy ekspertowe planowania cechuje możliwość przełamania pewnych ograniczeń i założeń rozważanego problemu przez ponawianie przebiegu wnioskowania lub odrzucanie niektórych szczegółów. Wykorzystywane są przy analizie wzrostu pszenicy ozimej z uwzględnieniem przygotowania rozsadnika i siewu, zwalczania szkodników i chwastów, nawożenia związkami azotowymi, nawadniania i sposobu zbioru z pola (koszenia). Systemy ekspertowe typu <5> są wykorzystywane w gospodarce i planowaniu przestrzennym i zarządzaniu terenem, w produkcji mleczarskiej, uprawie pszenicy, i systemach rolniczo-leśnych, strategicznym planowaniu gospodarki rolnej (*ang. farming*) i zasobów pastwiskowych.

Systemy ekspertowe sterowania i monitoringu typ 6-kontrolne zapewniają analizowanie napływających danych w czasie rzeczywistym i podają zalecenia stosownych akcji korygujących. Spotykane w systemach sterowania zintegrowanego nawadniania, systemach przeciwpowodziowych na Florydzie, systemach ochronnych pomieszczeń klimatyzowanych, w tym w produkcji szklarniowej pomidorów.

Systemy ekspertowe szkoleniowe (typ <8>) pozwalają na przekazywanie wiedzy studentom, wykorzystywane w różnych poziomach edukacji – średnim i wyższym.

Systemy symulacyjne zapewniają prowadzenie analiz na podstawie zaimplementowanych modeli - ekonomicznych, fizycznych, chemicznych, środowiskowych. Systemy takie mogą również zaliczać się do klasy systemów doradczo-ekspertowych.

Przykłady systemów ekspertowo-symulacyjnych wspomagających badanie rozprzestrzeniania zanieczyszczeń stanowią systemy Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (U.S. EPA) jak EXAMS II, FGETS II, CORMIX I/II i in. Znalazły zastosowanie [7], [10] również na uczelniach polskich i w Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska.

### 3. System ekspertowo-symulacyjny EXAMS II

System EXAMS II (*ang. Exposure Analysis Modeling System II*) zapewnia możliwość budowy modeli symulacji przekształceń organicznych chemikaliów syntetycznych (pestycydów) wprowadzonych do środowiska i obecnych w jeziorach, rzekach i estuariach. Zapewnia [10] szybkie przewidywanie przekształceń i dalszych losów związków chemicznych wprowadzonych do środowisk wodnych. Możliwe jest prowadzenie równoczesnej symulacji dla dwóch związków lub jednego związku i jednego produktu degradacji, oraz zdefiniowanie do 32 elementów środowiska.

System EXAMS korzysta z wprowadzonych parametrów dotyczących związku, fotolizy, hydrolizy, biolizy, biotransformacji itd.. Posiada możliwość działania ze zredukowaną liczbą określonych parametrów wejściowych - charakterystyczny wyróżnik systemu ekspertowego. Specyfikowanie i przechowywanie danych o określonych substancjach chemicznych i ekosystemach zapewniają tzw. bazy danych użytkownika, User DataBase - UDB. Manipulację danymi zapewnia wbudowany, specyficzny język automatyzacji pracy i zarządzania danymi.

Typy baz danych użytkownika UDB systemu EXAMS obejmują:

- Chemiczna (*ang. chemical*) - każdy zapis odpowiada jednej substancji chemicznej i zawiera dane laboratoryjne opisujące jonizację, dynamikę reakcji itp.;

- Środowiskowa (*ang. environment*) - zawiera fizyko-chemiczne modele systemów wodnych, włącznie z danymi środowiskowymi do obliczania „reaktywności” i przemieszczania się związków w środowisku,
- Ładunków/zrzutów (*ang. load*) - wprowadzane ładunki w środowisku. Dane zawierają miesięczne wielkości ładunków (kg/h), z podziałem na ładunki o nieokreślonym źródle, ładunki przesączające się z wód powierzchniowych, opadowych, z równoczesnym wskazaniem miesiąca i dnia „zrzutu”;
- Produktów (przekształceń substancji - Product) - określa (przez numer) proces, który spowodował przekształcenie i jego wydajność (mol/mol).

W trakcie symulacji EXAMS operuje na wartościach w tzw. aktywnej bazie danych ADB (*ang. Active DataBase*) wczytującej wartości z przygotowanych wcześniej, odpowiedników UDB.

System EXAMS II wyposażono w system pomocy dla użytkownika. System umożliwia:

- prace interakcyjną oraz automatyzację poprzez uruchamianie zbiorów poleceń we własnym specyficznym języku (Rys. 2),
- specyfikowanie i przechowywanie danych o substancjach chemicznych i ekosystemach (w tzw. bazach danych użytkownika UDB (*ang. User DataBase*) manipulacje danymi zapewnia wbudowany, specyficzny język zarządzania bazami danych)
- modyfikowanie powyższych charakterystyk,
- szybkie przewidywanie rozprzestrzeniania i przemian substancji,
- prowadzenie równoczesnej symulacji dla dwóch związków lub jednego związku i jednego produktu degradacji,
- określenie do 32 elementów /segmentów środowiska.

```

! Przykładowy program TEST.EXA automatyzacji pracy w systemie EXAMS II
! otwarcie bazy danych o srodowisku nr 3 (Zestaw danych
! testowych o zbiorniku wodnym - Monthly POND - AERL TEST Code data)
REC ENV 3
! symulacja dotyczy dwóch chemikaliów równocześnie
SET KCHEM=2
! otwiera baze chemiczna - UDB nr 6 (Benzo[f]quinoline)
REC CHEM 6
! otwiera druga baze chemiczna - UDB nr 5 (Quinoline)
REC CHEM 5 AS 2
! Tryb symulacji nr 3 (analiza kilkuletnia z uwzględnieniem
! sezonowej zmienności srodowiska)
SET MODE=3
! PRSWG - zmienna kontrolująca opcje drukowania tabel wynikowych
SET PRSWG=0
! Rok początkowy dla symulacji w trybie nr 3
SET YEAR1=1989
! Symulacja dla jednego roku
SET NYEAR=1
recall prod 2
recall load 2
! rozpoczęcie symulacji
RUN
! wyjście z programu EXAMS II
! zapis wyników następuje do zbioru REPORT.DAT
EXIT

```

Rys. 2. Przykładowy kod programu test.exe automatyzacji pracy w systemie EXAMS II

*Źródło: Opracowanie na podstawie pliku test.exe systemu EXAMS II*

Fig. 2. The example source program code for batch work in EXAMS II system

*Source: Elaboration on base of test.exe file of System EXAMS II*

System EXAMS II korzysta z wprowadzonych parametrów dotyczących związku i procesów reakcji i przekształceń: fotolizy, hydrolizy, biolizy, biotransformacji itd. System może również pracować z poważnie zredukowaną liczbą określonych parametrów wejściowych - cechą charakterystyczną systemów ekspertowych heurystycznego wnioskowania przy występowaniu niepełnych lub niepewnych danych.

System EXAMS II wytwarza tablice wyników i proste wykresy opisujące:

- spodziewane/przewidywane stężenia chemikaliów w środowisku,
- rozkład w ekosystemie,
- czas potrzebny na oczyszczenie ekosystemu wodnego (środowiska) poprzez procesy przekształceń i przemieszczania związku/ów.

Na rysunku 3 uwidoczniło przykład tabeli wynikowej oceny przekształceń substancji benzo(f) quinoline.

```

Exposure Analysis Modeling System -- EXAMS Version 2.94, Mode 3
Ecosystem: Monthly pond -- AERL code test data
Chemical: Benzo[f]quinoline
-----
Table 20.01. Exposure analysis summary: 1989.
-----
Exposure Concentrations      96-h Acute   21-d Chronic   Long-Term
=====
Water Column      Baseline   0.158         0.180         9.626E-04
dissolved plus   Average    0.319         0.185         0.118
complexed mg/L   Peak      0.539         0.199         0.539
Water Column      Baseline   78.3          89.3          0.478
plankton         Average    158.          91.8          58.6
ug/g dry weight  Peak      267.          98.7          267.

Benthic Sediment  Baseline   0.151         0.143         2.563E-05
dissolved in     Average    0.156         0.149         8.975E-02
pore water mg/L Peak      0.162         0.162         0.162
Benthic Sediment Baseline   67.3          63.4          1.139E-02
benthos         Average    69.1          66.1          39.9
ug/g dry weight Peak      72.1          72.1          72.1

Fate: Average Resident Mass -- kg          72.5
====
      Water Column . . . . .          3.39 %
      Benthic Sediments . . . . .      96.61 %
Total Flux of Chemical -- kg / day      0.685
      Chemical Transformations: . . . . . 66.60 %
      Biological Transformations: . . . . . 21.96 %
      Volatilization: . . . . .          0.02 %
      Water-borne Export: . . . . .      11.42 %
    
```

Rys. 3. Widok tabeli wynikowej systemu EXAMS II  
 Źródło: Opracowanie na podstawie emisji z systemu EXAMS II

Fig. 3. The view of result table from system EXAMS II  
 Source: Elaboration on base of emitted results from system EXAMS II

Udział poszczególnych procesów w oczyszczeniu środowiska zbiornika wodnego w analizowanym modelu w systemie ekspertowo-symulacyjnym EXAMS II pokazuje tablica 1.

Tab. 1. Procesy w oczyszczeniu środowiska zbiornika wodnego w systemie ekspertowo-symulacyjnym EXAMS II

Tab. 1. Processes in cleaning the water reservoir environment in the EXAMS II expert-simulation system

	<i>Benzo[f]quinoline</i>	<i>Quinoline</i>
Przekształcenia chemiczne	66,6 %	0,01 %
Przekształcenia biologiczne	21,96 %	99,44 %
Ulatnianie/Parowanie	0,02 %	0,01 %
Spływ z wodą	11,42 %	0,55 %

Źródło: Opracowanie na podstawie emisji z systemu EXAMS II

Source: Elaboration on base of emitted results from system EXAMS II

#### 4. System ekspertowo-symulacyjny FGETS

System FGETS (*ang. Food and Gill Exchange of Toxic Substances*) stanowi narzędzie modelowania i symulacji dynamiki stężeń organicznych związków toksycznych w rybach [10], [11]. Model uwzględnia cechy biologiczne ryb i parametry fizyko-chemiczne substancji wchłanianych z pokarmem i poprzez oddychanie.

System FGETS zapewnia utworzenie modeli symulacji dynamiki stężeń organicznych związków toksycznych w rybach. Model uwzględnia cechy biologiczne ryb i parametry fizyko-chemiczne substancji wchłanianych z pokarmem i poprzez oddychanie.

System FGETS II podczas pracy korzysta ze zbiorów tekstowych *physio.dat* i *morpho.dat* zawierającymi dane fizjologiczne i morfologiczne ryb. Zapisy w plikach *dat* mogą być aktualizowane i uzupełniane. Dane empiryczne pochodzą ze źródeł bibliograficznych na podstawie wieloletnich badań, Szczegółowy opis [11] zamieszczono w dokumentacji systemu oraz pliku podręcznika *FGETS 2.man*.

Zbiór wejściowy z definicjami parametrów przygotowany zostaje przy wykorzystaniu przy edytora tekstowego. Pomocny jest wzorcowy plik *fg1.dat* zawierający zestaw dyrektyw *dot*. jednostek miary, czasu analizy rodzaju danych wyjściowych, rodzaju emitowanych wykresów itd. Obejmuje również zapis wartości zmiennych jak nazwa ryby, waga, nazwa substancji, masa molowa związku chemicznego ... itd.) dla symulacji przeprowadzanej przez system FGETS. System pracuje w trybie wsadowym tzw. *batch mode*. Podanie nazwy zbioru wejściowego rozpoczyna przebieg symulacji. Przykład zbioru [10] z deklaracjami parametrów i dyrektywami *dot*. wyznaczenia wartości przedstawiono na rysunku 4.

W zbiorze wejściowym *fg1.dat* litera *c* oznacza komentarz, znak */* rozpoczyna deklarację zmiennej modelu z listą wartości oddzielanych spacjami. Objaśnienie wybranych parametrów zamieszczono w liniach komentarzy poprzedzających wystąpienie definicji zmiennych w zbiorze. Szczegółowy opis zmiennych, jednostek i dopuszczalnych zakresów wartości oraz komunikatów błędów zawarto w dokumentacji oraz podręczniku w zbiorze *fgets2.man*.

System FGETS pozwala na prace z częściowo określonymi zmiennymi – tj. występowaniem niedoboru danych. Stanowi to wyróżnik funkcjonalny technologii systemów ekspertowych. Niemożność określania wartości dla wybranych zmiennych oznaczana jest w zbiorze wejściowym zapisem liczby ujemnej 999, tzn. fraza *-999* oznacza brak danych. Koniec definicji zbioru wejściowego oznaczany jest dyrektywą */ end*.



Zakończenie przebiegu analizy systemie FGETS oznacza zapis wyników do zbioru z rozszerzeniem .out. Nazwa właściwa pliku pozostaje bez zmiany np. zb\_wejsc.dat na zb\_wejsc.out. Przebieg sesji pracy programu zapisywany jest w zbiorze fgets.log.

Przykład wyprowadzenia rezultatów z systemu FGETS II w postaci wykresu semigraficznego zaprezentowano na rysunku 5.

```
c okreslenie nazwy ryby, grupy oraz slodkowodnego srodowiska bytowania
/ spplab      salvelinus namaycush
/ famlab      salmonidae
/ ecolab      fresh piscivore
c grupa parametrow fizjologicznych
/ physiol     0.202 0.693 0.046 0.759 1.320 0.724
/ physio2     1.929 0.500 0.740 0.348 0.705 1.0
c poczatek i koniec okresu prognozowania bioakumulacji substancji chemicznej
c w masie ryby w latach
/ tstart      2
/ tend        12
c opcje dotyczace zalozen prognostycznych symulacji
c gill - wchlanianie substancji chemicznych tylko przez skrzela
/ mod$opt     growth(holling, 0.50) joint(partition) gill
c parametr dot. czesci skrzeli fizjologicznie aktywnej
/ act-gill    0.33
c okreslenie emitowanych wykresow: wt(time) - wykres zmiany wagi w czasie,
c cfish(wt) - zobrazowanie stezenia zwiazku w zaleznosci od wagi ryby,... itd.
/ plot        wt(time) cfish(wt) cfish(time) time_series
/ plot        ctotalsean(wt) cfishmean(wt) ctotalsean(time) cfishmean(time)
c deklaracje jednostek: czasu, wagi ryby (g), stezen zwiazku chemicznego,...
/ tunits      year
/ wtunits     g
/ cfunits     ppm
c zmienne dotyczace substancji chemicznych: nazwa, waga molowa (g/mol),...
/ chemical    1
/ toxlab      aroclor 1254
/ molwt       326
c stezenia poczatkowe w rybie i pokarmie (tj. innej rybie)
/ cfish       0.0
/ cprey       5.0
c wspolczynnik biologicznego wzrostu masy ryby (biomagnification factor)
/ bmf         1.0
```

Rys. 4. Widok fragmentów zbioru wejściowego z systemu FGETS II

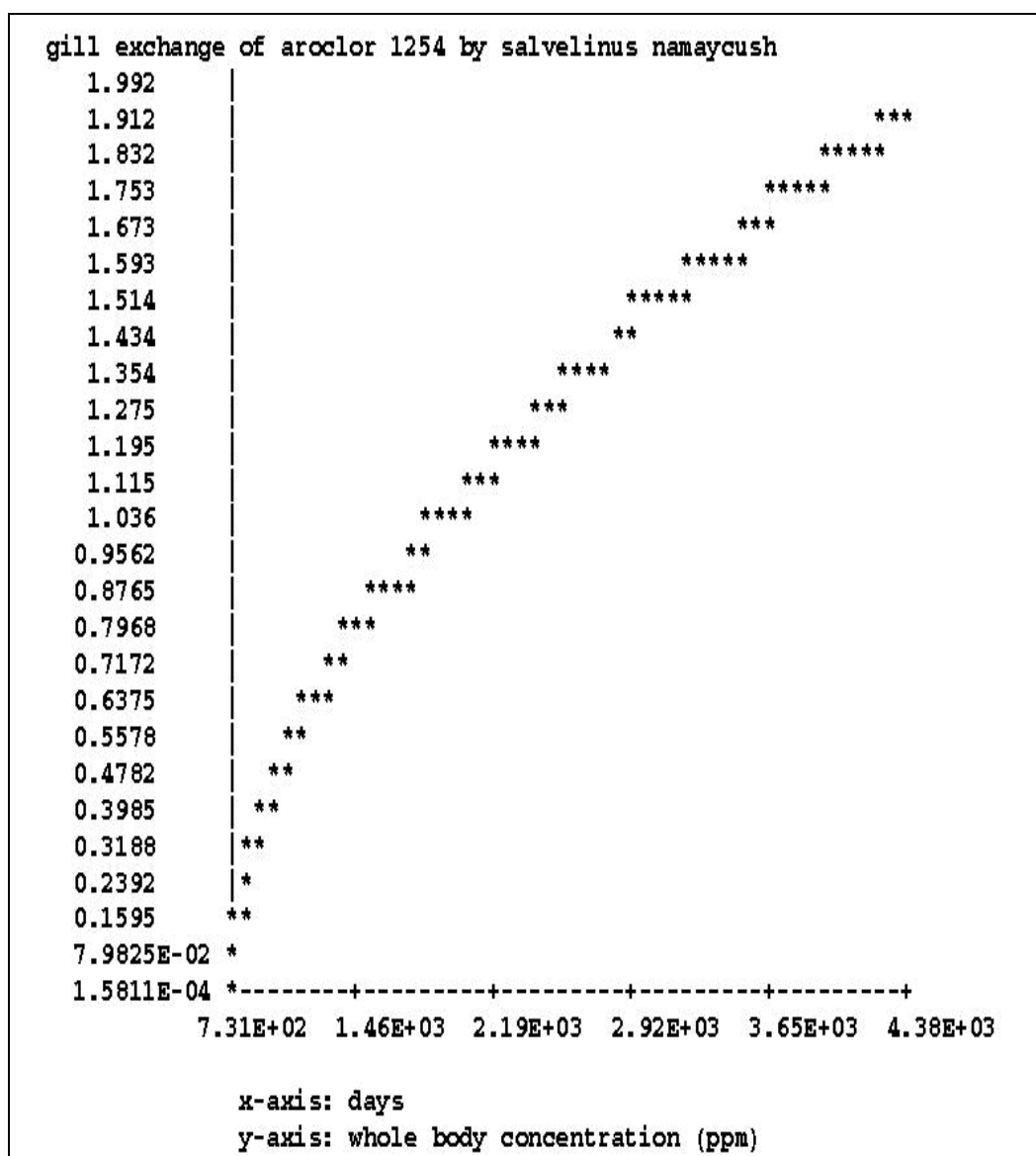
Źródło: Opracowanie na podstawie pliku FGI.in

Fig. 4. The fragmentary view of input file of system FGETS II with definitions basic parameters of simulation

Source: Elaboration on base of fgl.in file of the FGETS II system

Na wykresie z rysunku 5 zobrazowano wzrost (w dniach) stężenia pestycydu aroclor1254 wchłanianego poprzez skrzela w masie (w ppm/parts per milion) ciała ryby salvelinus.

Wykres stanowi fragment zbioru wynikowego fgl.out scharakteryzowanego systemu ekspertowo-symulacyjnego FGETS (*ang. Food and Gill Exchange of Toxic Substances Simulation System*).



Rys. 5. Widok wykresu semigraficznego - rezultatu z systemu FGETS II  
*Źródło: Opracowanie na podstawie pliku FG1.out*

Fig. 5. The view of semigraphic chart emitted from system FGETS II  
*Source: Elaboration on base of fg1.out file of FGETS II system*

## 5. Przykłady innych systemów ekspertowych dla ochrony środowiska

Przykłady opracowanych i wdrożonych systemów ekspertowych podanych w literaturze m.in. [8], [10], [12] obejmują stosunkowo liczny szereg z różnorodnych dziedzin w szczególności dot. zastosowań w hydrologii, rolnictwie leśnictwie oraz w zakresie środków ochrony roślin i zwalczania szkodników doboru zestawów wyposażenia ratowniczo-gaśniczego w ochronie przeciwpożarej.

Poniżej wyszczególniono przykłady systemów ekspertowych zaliczanych do klasy prognostyczno-symulacyjnej znajdujących zastosowania w ochronie i zarządzaniu komponentami środowiska, znajdujące się obok wcześniej scharakteryzowanych systemów w m.in. dyspozycji U.S. EPA - (*ang. United States Environmental Protection Agency*).

Zestawienie obejmuje:

- CORMIX I i II (*ang. CORnell MIXing Zone Expert Systems*) - systemy ekspertowe opracowane [3] na Uniwersytecie Cornell służące do analizy mieszania się z wodami odbiornika wprowadzanych chemikaliów nawet toksycznych. System dotyczy modeli odprowadzania ze ściekami przez dyfuzory jedno- (*ang. Cormix I*) lub wielodyszowe (*ang. Cormix II*),
- HSPF (*ang. Hydrological Simulation Program*) - symulacje procesów hydrologicznych w działach wodnych i oceny jakości wód zanieczyszczanych związkami organicznymi również toksycznymi,
- MULTIMED (*ang. Multimedia Exposure Assesment Model for Evaluating the Land Disposal of Wastes*) zapewnia możliwość symulacji rozprzestrzeniania i przekształcania zanieczyszczeń pochodzących z gospodarowania odpadami i oddziałujących na wszystkie komponenty środowiska,
- PRZM (*ang. Pesticide Root Zone Model*) umożliwia prowadzenie symulacji pionowej migracji pestycydów i innych związków organicznych w glebie,
- SWMM (*ang. Storm Water Management Model*) stanowi system wspomaganii zarządzania odpływem wód burzowych, zapewnia możliwości prowadzenia analizy ilościowej i jakościowej spływu ścieków miejskich,
- WASP4 (*ang. Water Quality Analysis Simulation Program*) - system typu prognostyczno-symulacyjnego realizuje zadania przewidywania zmian parametrów zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych.

## 6. Wnioski

- W pracy zaprezentowano przegląd zastosowania wybranych systemów ekspertowych we wspomaganii zarządzania komponentami środowiska.
- Przedstawiono ogólny model oraz typologię systemów ekspertowych dla wspomaganii podejmowania decyzji w działaniach zarządzania i ochrony środowiska. Scharakteryzowano wybrane systemy United States Environmental Protection Agency - U.S. EPA US. EPA jak EXAMS II - Exposure Analysis Modeling System II oraz FGETS - Food and Gill Exchange of Toxic Substances Simulation System.
- Wyszczególniono szereg przykładów systemów ekspertowych klasy symulacyjno-prognostycznej jak systemy CORMIX I/II - Cornell University on Mixing Zone Model Expert System, HSPF, SWMM, WASP i in. Systemy znajdują, między innymi, zastosowanie we wspomaganii analizy i oceny stanu środowiska w szczególności wodnego oraz wspomaganii decyzji w dziedzinie ochrony i zarządzania komponentami środowiska.
- Zaletę zaprezentowanych narzędzi stanowi dostępność kodu źródłowego, na przykład, dla systemu EXAMS II w języku programowania Fortran. Zapewnia to możliwości ewentualnej modyfikacji modelu, adaptacji do specyficznych potrzeb i normatywów określonego kraju jak i dalszego rozwoju systemu po rekompilacji udoskonalonego kodu źródłowego.
- Systemy wykazują również przydatność w zastosowaniach dydaktycznych.

## Literatura

- [1] Bubnicki Z.: *Wstęp do systemów ekspertowych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1991.
- [2] Burns L.A.: *Exposure Analysis Modeling System. User's Guide for EXAMS II Version 2.94*, publikacja Agencji Ochrony Środowiska USA U.S. Environmental Protection Agency, - EPA/600/3-89/084, Athens, Georgia, USA 1990.
- [3] Jirka G.H., Doneker R.L., Hinton S.W.: *User's manual for CORMIX: A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters*. Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, USA 1996.
- [4] Kisielnicki J.: *Systemy ekspertowe*. PC Kurier 9/1991.
- [5] Patterson D.: *Introduction to artificial intelligence and expert systems*. Prentice Hall International Editions 1991.
- [6] Prospero M.: *Application of feedforward neural networks for evaluation of policy impacts in local agricultural systems*. The 73<sup>rd</sup> Seminar of European Association of Agricultural Economists-EAAE, University of Ancona, 28-30 June 2001, [www.econ.unian.it/EAAE](http://www.econ.unian.it/EAAE), 2001 (dostęp 05.05.2018).
- [7] Siemianowski L.: *Information systems for the supporting the rural development policy and environmental protection in West Pomeranian Region*. [In:] *Policy Experiences with Rural Development in a Diversified Europe*. Proceedings of The 73<sup>rd</sup> Seminar of the EAAE, University of Ancona, 28-30 June 2001, [www.econ.unian.it/EAAE](http://www.econ.unian.it/EAAE), 2001, (dostęp 05.05.2018).
- [8] Siemianowski L.: *Technologia informacji w monitoringu i ochronie środowiska ujścia Odry, rezultaty grantu uczelnianego BW/HE/01/2004*. Maszynopis, 110 s., tabele, ilustracje, bibliografia, streszczenie, summary, 2006.
- [9] Siemianowski L.: *Wspomaganie procesów podejmowania decyzji przy zastosowaniu narzędziowego systemu ekspertowego „CLIPS”*. [W:] *Problemy Nauk Stosowanych*, Tom VI (pod red. Andrzeja Antoniego Czajkowskiego), Wydawnictwo Wyższej Szkoły Techniczno-Ekonomicznej w Szczecinie, Szczecin 2017, s. 15-28.
- [10] Siemianowski L.: *Wybrane programy komputerowe do analizy stanu środowiska*. [W:] *Metodyka zastosowań informatyki w badaniach naukowych i dydaktyce*. Akademia Rolnicza w Poznaniu, Poznań 1995, s. 215-225.
- [11] Suarez L.A., Craig Barber M.: *Food and gill exchange of toxic substances, FGETS user's manual*. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development United.States Environmental Protection Agency - U.S. EPA, Athens, Georgia, USA, 1989.
- [12] Warwick C.J., Mumford J.D., Norton G.A.: *1993 Environmental management expert systems*. *Journal of Environmental Management*, 1993, 39, pp. 251-270, Academic Press Limited 1993.